

DEPREM MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

6 ŞUBAT 2023

Kahramanmaraş Depremleri Pazarcık [Mw=7.7] ve Elbistan [Mw=7.6],

İnceleme ve Değerlendirme Raporu

Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR Prof. Dr. Beyhan BAYHAN Doç. Dr. Eyübhan AVCI Dr. Öğr. Üyesi Sedef KOCAKAPLAN Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ÖZEN Dr. Öğr. Üyesi Eray YILDIRIM Arş. Gör. Dr. Gökhan Barış SAKCALI

> BTÜ-DEPAR RAPOR 2023/02

İçindekiler İçindekiler
Şekil Listesi iv
Tablo Listesi xi
1. GİRİŞ 1
2. BÖLGENİN TEKTONİK YAPISI 1
2.1. Doğu Anadolu Fayı ve Ölü Deniz Fayının Genel Özellikleri
2.1.1. Doğu Anadolu Fay Sisteminin Genel Özellikleri2
2.1.2. Ölü Deniz Fay Sisteminin Genel Özellikleri
2.2. 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri ve Bölgenin Tarihsel Deprem Etkinliği 4
2.3. Kahramanmaraş İli, Türkoğlu İlçesi, Şekeroba Mevkiindeki Deprem Yüzey Kırığının Saha Gözlemleri
3. GEOTEKNİK DEĞERLENDİRME 10
3.1. Hasar Gören İllerde Genel Jeolojik Yapı 10
3.2.Geoteknik Bulgular15
3.2.1. Sıvılaşma Kaynaklı Yapısal Hasarlar15
3.2.2. Kum Kaynamaları 18
3.2.3. Yer Altı Suyu Çıkışı 19
3.2.4. Yanal Yayılmalar 20
3.2.5 Sıvılaşma kaynaklı yol hasarları 22
3.2.6. Gömülü Yapıların Yüzeylenmesi
3.2.7. Zemin İyileştirilmesi Yapılmış Olan Yapılarda Gözlemler 24
4. KUVVETLİ YER HAREKETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 25
5. MALZEME KAYNAKLI HASARLAR
5.1. Betonda Agrega Kaynaklı Problemler
5.2. Donatı kaynaklı problemler
i

	5.3. Yığma yapılarda malzeme kaynaklı problemler	43
6.	. GÖZLENEN TASARIM VE UYGULAMA HATALARI	46
	6.1. Betonarme Yapılarda Gözlenen Hasar Tipleri	46
	6.1.1. Toptan Göçen Bina Örnekleri	46
	6.1.2. Taşıyıcı Elemanlarda Gözlenen Hasarlar	50
	6.1.3. Taşıyıcı Olmayan Elemanlarda Gözlenen Hasarlar	57
	6.1.4. Taşıyıcı Sistemde Gözlenen Hasarlar	58
	6.1.4.1. Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş İlkesine Uyulmaması	58
	6.1.4.2. Yumuşak Kat Düzensizlikleri	60
	6.1.4.3. Kısa Kolon Hasarı	61
	6.1.4.4. Deprem Derzi Kaynaklı Hasar	62
	6.1.4.5. Ağır Konsol Hasarları	64
	6.1.4.6. Değişken Kesit Sebebiyle Meydana Gelen Hasarlar	65
	6.1.4.7. Burulma Nedeniyle Meydana Gelen Hasar	65
	6.1.4.8. Asmolen Döşeme Kaynaklı Hasar	66
	6.1.4.9. Soğuk Derz ve Kolonlarda Yeterli Filiz Bırakılmaması	67
	6.2. Prefabrik Yapılarda Gözlenen Hasar Tipleri	68
	6.3. Yığma Yapılarda Gözlenen Hasar Tipleri	69
	6.3.1. Duvarlarda Düzlem Dışı Hasarlar	69
	6.3.2. Duvarlarda Düzlem İçi Hasarlar	71
	6.3.3. Duvar Köşelerinde Birleşim Hataları	72
	6.3.4. Duvar Tabakaları Arasında Bağlantı Sorunları	72
	6.3.5. Minare Hasarları	73

	6.3.6.	Kemer ve Kubbe Hasarları	74
	6.4.	Gözlenen Diğer Hasar Tipleri	75
7.	SON	NUÇLAR	
8.	ÖNI	ERİLER	81
K	AYNAI	KLAR	83
Т	EŞEKK	KÜR	87

Şekil Listesi

<u>Sayfa</u>

Şekil 2.1. Türkiye ve çevresinin başlıca neotektonik yapılarını gösteren basitleştirilmiş tektonik haritası.
KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KM: Kahramanmaraş. (Şengör
1980; Şengör vd. 1985)
Şekil 2.2. Doğu Anadolu fay sisteminin kol ve segmentlerini gösteren harita (Duman ve Emre, 2013).3
Şekil 2.3. Ölü Deniz Transform fay haritası, GA: Aqaba Körfezi, DS: Ölü Deniz ve HB: Hula Baseni
(Barnea Cohen vd., 2022)
Şekil 2.4. AFAD tarafından tanımlanan Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan deprem lokasyonları,
bölgenin deprem tehlike ve diri fay haritası (URL-3, 2023; AFAD, 2023)
Şekil 2.5. USGS değerlendirmesine göre deprem bölgelerinin şiddet haritası. AFAD tarafından yapılan
tanımlamaya göre; soldaki Mw= 7,7 büyülüğündeki Kahramanmaraş-Pazarcık depremi, sağdaki Mw=
7,6 büyülüğündeki Kahramanmaraş-Elbistan depremi şiddet haritalarını göstermektedir
Şekil 2.6. Bölgede meydana gelen 4 ve üzeri depremlerin lokasyonları (URL-1, 2023)
Şekil 2.7. Bölgede M.S 1-1900 yılları arasında şiddeti 9-11 arasında olan depremlerin lokasyonları
(URL-4, 2023)
Şekil 2.8. Bölgede 1900-2023 tarihleri arasında ve aletsel büyüklüğü 5 ve üzeri depremlerin
lokasyonlarını gösteren harita (URL-4, 2023)
Şekil 2.9. Kahramanmaraş ili, Türkoğlu ilçesi, Şekeroba mevkisinde gözlenen fay yüzey kırığı9
Şekil 2.10. Tren raylarında fay yüzey kırığının neden olduğu deformasyon (URL-5, 2023) 10
Şekil 3.1. Hatay İlinin Jeomorfolojik konumu (Özşahin, 2010) 11
Şekil 3.2. Hatay ili Jeoloji Haritası (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü,
2019)
Şekil 3.3. Adıyaman ili Jeoloji Haritası (Sevimli, 2022) 12
Şekil 3.4. Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi Jeoloji Haritası (İmamoğlu 1993) 13
Şekil 3.5. Kahramanmaraş şehir merkezinin ve yakın çevresinin jeolojisi (Sarıgül ve Turoğlu, 2020).

Şekil 3.6. İslahiye İlçesinin Jeoloji Haritası (İleri, E., 2018)
Şekil 3.7. Hatay ili İskenderun ilçesinde sıvılaşma kaynaklı oturma hasarları
Şekil 3.8. Adıyaman Gölbaşı ilçesi sıvılaşma kaynaklı taşıma gücü kaybı 17
Şekil 3.9. Hatay ili İskenderun ilçesinde sıvılaşma sonrasında (a) meydana gelen kum konileri ve kum çıkışları, (b) bina çevresinde görülen kum çıkışları ve (c) Deniz kenarında yer alan kayalık alanda gözlemlenen kum çıkışları.
Şekil 3.10. Hatay İskenderun ilçesinde sıvılaşma sonrası yeraltı suyu çıkışı
Şekil 3.11. Hatay İskenderun ilçesinde sıvılaşma sonrası meydana gelen yanal yayılmalar 21
Şekil 3.12. Hatay İskenderun ilçesinde sıvılaşma kaynaklı yol hasarları
Şekil 3.13. Hatay İskenderun ilçesinde sıvılaşma kaynaklı altyapı elemanlarının yüzeylenmesi 23
Şekil 3.14. Hatay ili İskenderun ilçesi Çay Mahallesinde Zemin İyileştirilmesi Yapılmış Olan Bina . 24
Şekil 4.1. Türkiye deprem kayıt istasyonlarının konumları (AFAD-TADAS, 2023)
Şekil 4.2. Maksimum ivme değerlerinin (PGA) yatay bileşenler için (N-S ve E-W) merkez üssünden olan uzaklıklarına göre karşılaştırılması
Şekil 4.3. Maksimum ivme değerlerinin (PGA) yatay bileşenler için (N-S ve E-W) merkez üssünden olan uzaklıklarına göre karşılaştırılması

Şekil 4.7. Kaydedilmiş 3-yönlü yer hareketi ivmesi, ilgili Fourier Genlik Spektrum	ıları ve %5 sönüm
oranı için ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018 tasarım spektrumları ile karşılaş	tırılması (Pazarcık
depremi (M _w =7.7), istasyon 2718 (İslahiye-Gaziantep)).	

Şekil 4.9. Kaydedilmiş 3-yönlü yer hareketi ivmesi, ilgili Fourier Genlik Spektrumları ve 9	%5 sönüm
oranı için ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018 tasarım spektrumları ile karşılaştırılması	(Pazarcık
depremi (M _w =7.7), istasyon 3126 (Antakya-Hatay)).	33

- Şekil 5.5. Düz donatı (nervürsüz) kullanılan yapılarda deprem esnasında donatının betondan sıyrılması.

Şekil 5.13. Eski yapılarda betonda bulunan tüvenan agrega ve yetersiz bağlayıcı bağlı segregasyon oluşumu.
42
Şekil 5.14. Yeni yapılarda betonda vibratör uygulamasının yetersiz olmasından kaynaklı segregasyon

Şekil 5.15. Yeni yapılarda merdiven betonlarında vibratör uygulamasının yetersiz olmasından kaynaklı segregasyon oluşumu.
43
Şekil 5.16. Yığma yapı hasarları.
44
Şekil 5.17. Deprem esnasında kerpiç yapılarda kerpiç harcının stabilitesini koruyamaması ve dağılması.
44
Şekil 5.18. Çimento ve puzolan içeren bağlayıcıları içeren yığma yapılarda malzeme kaynaklı hasarlar.
45

Şekil 5.19. Deprem sonrası stabilitesini koruyan yığma yapı. 45

Şekil 6.6. Donatı çubuğunun betondan sıyrılması (a) Gaziantep' de yıkılmış binalardaki gözlem (b)Malatya' da ağır hasarlı bir binadaki gözlem.50

Şekil 6.12. Yetersiz etriye nedeniyle etriyelerin kopması (**a**) Gaziantep' de yıkılmış binada etriyenin kopması (**b**) Malatya' da ağır hasarlı bir binada etriyenin kopması nedeniyle meydana gelen hasar... 55

Şekil	6.13.	Kolon	boyutunda	yetersizlik (a	ı) Elbistan	' da boyutı	ı yetersiz	bir ko	lon (b)	İslahiye'	de
boyut	u yetei	rsiz bir	kolon								56

Şekil 6.15. Perde duvarlarda hasarlar (a) Kesme hasarı (Antakya) (b) Eğilme Hasarı (İskenderun). .. 57

Şekil 6.16. Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlar (a) Düzlem içi hasar meydana gelen dolgu duvarlar (İskenderun) (b) Düzlem dışı hasar meydana gelen dolgu duvarlar (Antakya).
58

Şekil 6.17. Antakya' daki binalarda meydana gelen Güçlü Kiriş-Zayıf Kolon Hasarları (a) Güçlü kolon-zayıf kiriş mekanizması (b) Zayıf kolon-güçlü kiriş mekanizması (c) Antakya-1 (d) Antakya-2 (e)
Antakya-3 (f) Antakya-4.

Şekil 6.18. Farklı bölgelerde gözlenen yumuşak kat hasarları (a) Yumuşak kat mekanizması (Ouazir vd. 2018 revize edilerek sunulmuştur) (b) Antakya-1 (c) Doğanşehir (d) Elbistan (e) İskenderun (f) Pazarcık.

Şekil 6.19. Kısa kolon hasarı (a) Kısa kolon hasar mekanizması [4] (b) Malatya' da bant pencere nedeniyle gözlenen kısa kolon hasarı (c) Kolon boyunun kısaltılmasından dolayı oluşan kısa kolon hasarı (Nurdağı) (d) Guseli kolonda kısa kolon etkisi (İslahiye).

Şekil 6.20. Çekiçleme hasarları (a) Çekiçleme hasar mekanizması Sharma (2008) (b) Çekiçleme hasarı
(Iskenderun-1) (c) Çekiçleme hasarı (Iskenderun-2) (d) Çekiçleme hasarı (Adıyaman-1) (e) Çekiçleme
hasarı (Adıyama-2)
Şekil 6.21. Adana' da meydana gelen konsol hasarları 64
Şekil 6.22. Değişken kesitli elemanlarda meydana gelen hasarlar (a) İslahiye' de bir minare (b)
Şekeroba' da bir minare
Şekil 6.23. İskenderun' da burulma nedeniyle meydana gelen hasar (a) Yapısal davranış (b) Deprem sonrasındaki bina görünümü (c) Bitişik nizamdaki bina
Şekil 6.24. Asmolen döşemeli binada meydana gelen hasarlar (a) Soldaki bina (b) Ortadaki bina (c)
Sağdaki bina (d) Binadaki asmolen döşeme görseli (e) Orta binada meydana gelen hasar
Şekil 6.25. Soğuk derz ve kolonlarda yeterli filiz bırakılmaması (Elbistan) 67
Şekil 6.26. Prefabrik yapılarda meydana gelen hasarlar (a) Binadaki birleşim hatası (Şekeroba) (b)
Binadaki birleşim hatası (Türkoğlu) (c) Açıklığın fazla olması sebebiyle oluşan sehim problemi ve
kolonlarda plastik deformasyon (Narlı) (d) Açıklığın fazla olması sebebiyle oluşan sehim problemi ve
kolonlarda plastik deformasyon yakın görünüm (Narlı)
Şekil 6.27. Yığma Yapılar (a) düzlem dışı davranış, (b) düzlem içi davranış (Oyguç, 2011) 69
Şekil 6.28 Köşe detayları (a) kilit taşı eksikliği, (b) yetersiz mesnetlendirme, (c) yeterli birleşim (Oyguç, 2011)
Sekil 6.29. Bölgedeki viğma vapılarda mevdana gelen düzlem dısı hasarlar (a) Doğansehir-1 (b)
Doğansehir-2 (c) Doğansehir-3 (d) Doğansehir-4 (e) Gaziantep Kaleşi (f) Kahramanmaraş-1 (g)
Kahramanmaraş-2 (h) İskenderun (i) Pazarcık. 70
Şekil 6.30. Düzlem içi göçme modları: (a) Kayma kesme hasarı, (b) diyagonal kesme hasarı, (c)
devrilme ve (d) tabanda ezilme Tomazevic (2000)71
Şekil 6.31. Bölgedeki yığma yapılarda meydana gelen düzlem içi hasarlar (a) Nurdağı (b) İskenderun.
Şekil 6.32. İskenderun' daki yığma yapılarda duvar köşelerinde meydana gelen birleşim hataları 72

Şekil 6.34. Gözlemlenen minare hasarları (a) Karagöz Camii, Gaziantep, (b) Payas II. Selim Camii,
İskenderun74
Şekil 6.35. Gözlenen çatı hasarları (a) Aziz Nikola Ortodoks Kilisesi, İskenderun, (b) Kurtuluş Camii,
Gaziantep, (c) Adıyaman Ulu Camii, (d) Yeni Camii, Malatya
Şekil 6.36. Gözlenen çatı hasarları (a) Elbistan' da ahşap çatı (e) İskenderun' da çelik çatı
Şekil 6.37.Buğday silolarında meydana gelen hasar (Narlı)
Şekil 6.38. Tren köprüsü hareketli mesnetinde meydana gelen kayma
Şekil 6.39. Sütun başlığında sıyrılma (Pazarcık)
Şekil 6.40. İstinat duvarında devrilme (Antakya)

Tablo Listesi

<u>Sayfa</u>

Tablo 2.1 Mw=7,7 Kahramanmaraş-Pazarcık ve Mw=7,6 Kahramanmaraş-Elbistan depremlerinden
etkilenmiş başlıca yerleşim birimlerinin depremlerin merkez üstelerine olan mesafeleri (Mesafe, kuş
uçuşu düzlemsel olarak hesaplanmıştır)
Tablo 4.1. Pazarcık depremi PGA değerleri 0.5g' den büyük olan deprem kayıt istasyonları özellikleri.
Tablo 4.2. Elbistan depremi Repi, 100 km'den küçük olan deprem kayıt istasyonları özellikleri 27

1. GİRİŞ

Afet ve Acil Durum Başkanlığı (AFAD) kayıtlarına göre, 6 Şubat 2023' te yerel saat ile 04.17'de yerin 8,6 km derinliğinde merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) olan M_w= 7.7 büyüklüğünde ve aynı tarihte yerel saat ile 13.24' te yerin 7,0 km derinliğinde merkez üssü Elbistan (Kahramanmaraş) olan M_w= 7.6 büyüklüğünde oldukça yıkıcı iki adet deprem yaşanmıştır. Meydana gelen depremler sonucunda Kahramanmaraş, Hatay, Gaziantep, Adıyaman, Malatya, Kilis, Adana, Diyarbakır, Osmaniye ve Şanlıurfa il ve ilçelerinde hasarlar meydana gelmiş ve çok sayıda can kaybı yaşanmıştır. Yaşanan depremler sonrası afetin yaşandığı bu on ilde Bursa Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi (BTÜ-DEPAR) öğretim üyeleri tarafından teknik inceleme ve gözlemler yapılmıştır. Bu kapsamda hasar gören ve yıkılan betonarme, prefabrik, yığma ve tarihi yapılar gibi birçok yapının malzeme ve zemin özellikleri ile yapısal davranışları gözlemlenmiştir. Sahada yapılan gözlemler ve elde edilen bulgular dikkate alınarak bir değerlendirme raporu hazırlanmıştır. Hazırlanan değerlendirme raporu; bölgenin genel Tektonik ve Jeolojik yapısı ile ilgili bilgileri, Geoteknik gözlem ve değerlendirmeleri, depremin kuvvetli yer hareketi ve ivme tepki spektrumlarının değerlendirmesini, yapı malzemelerine ilişkin gözlem ve değerlendirmeleri ve yapısal performansa dayalı gözlem ve incelemeleri içermektedir.

2. BÖLGENİN TEKTONİK YAPISI

Türkiye ve yakın çevresi Avrasya, Arap ve Afrika levhalarının etkisi altında sıkışmalı tektonik süreçlere maruz kalmaktadır. Arap ve Afrika levhaları kuzeye doğru hareket etmekte ve Avrasya levhası ile birbirine yaklaşma ve çarpışma meydana gelmektedir (McKenzie, 1972; Şengör ve Yılmaz, 1981). Özellikle Avrasya levhası ile Arap levhası arasında Doğu Anadolu bölgesinde kıtasal bir çarpışma gözlenmektedir. Avrasya ve Arabistan levhaları arasındaki kıtasal çarpışma neticesinde kabuk yapısı kalınlaşmaktadır. Bahsi geçen levhaların hareketi neticesinde farklı tektonik bölgeler oluşmuş ve genellikle bölgelerin sınırlarında fay zonları meydana gelmiştir. Anadolu bölgesinde meydana gelen en önemli fay zonları; Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ, North Analotian Fault Zone, NAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ, East Anatolian Fault Zone, EAFZ) olup doğrultu atım özellik göstermektedir. Bu fay zonları Anadolu levhasının batıya doğru saatin tersi yönünde hareketine sebep olmakta ve bu hareketlilik neticesinde Anadolu ve yakın çevresinde oldukça yıkıcı depremler oluşturmaktadır (Barka ve Kadinsky-Cade 1988; Duman ve Emre 2013). Yaklaşık 1500 km uzunluğunda olan KAFZ sağ yanal atım özelliği göstermesine karşın yaklaşık 550 km uzunluğa sahip olan DAFZ ise sol yanal atımlıdır (Şekil 2.1) (Şengör vd., 1985; Barka 1992; Westaway, 1994).



Şekil 2.1. Türkiye ve çevresinin başlıca neotektonik yapılarını gösteren basitleştirilmiş tektonik haritası. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KM: Kahramanmaraş. (Şengör 1980; Şengör vd. 1985).

2.1. Doğu Anadolu Fayı ve Ölü Deniz Fayının Genel Özellikleri

2.1.1. Doğu Anadolu Fay Sisteminin Genel Özellikleri

Anadolu levhasının güney sınırını oluşturan DAFZ, Antakya bölgesinde Ölü Deniz Fayı ile Bingöl'ün Karlıova mevkiinde ise KAFZ ile birleşmektedir (Barka ve Kadinsky-Cade 1988; Duman ve Emre 2013). DAFZ, Adıyaman ilinin Çelikhan bölgesinde kuzey ve güney fay kollarına ayrılmaktadır (Duman ve Emre, 2013). DAFZ'nun güney kolu Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos olmak üzere 7 fay segmentinden oluşmakta, kuzey kol ise Sürgü, Çardak, Göksun, Savrun, Çokak, Misis, Toprakkale, Yumurtalık, Karataş ve Düziçi-İskenderun olmak üzere 9 segmentten oluşmaktadır (Duman ve Emre, 2013, Kürçer vd., 2023). DAFZ'nun kuzey kolu İskenderun körfezinden Misis-Girne zonuna bağlanmakta, güney kol ise Ölü Deniz Fay Zonu ile birleşmektedir (Şekil 2.2) (Kürçer, 2023).



Şekil 2.2. Doğu Anadolu fay sisteminin kol ve segmentlerini gösteren harita (Duman ve Emre, 2013).

2.1.2. Ölü Deniz Fay Sisteminin Genel Özellikleri

Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ), Afrika ile Arap levhaları sınırında bulunan Kuzey – Güney yönelimli, yaklaşık 1000 km uzunluğunda, sol yönlü doğrultu atımlı bir özellik göstermektedir (Garfunkel ve Ben-Avraham, 1996; Wdowinski ve Zilberman, 1996). ÖDFZ, güney kesimlerinde bir çizgisellik göstermesine karşın Türkiye sınırları içerisinde de kalan kuzey kesimlerinde ise çeşitli kollara ayrılmakta ve Karasu vadisine bağlanmaktadır (Şekil 2.3) (Karabacak vd., 2006). ÖDFZ'nun Türkiye sınırları içerisinde kalan kuzey kesimlerinde ise çeşitli kollara



Şekil 2.3. Ölü Deniz Transform fay haritası, GA: Aqaba Körfezi, DS: Ölü Deniz ve HB: Hula Baseni (Barnea Cohen vd., 2022).

2.2. 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri ve Bölgenin Tarihsel Deprem Etkinliği

Kahramanmaraş – Pazarcık mevkiinde meydana gelen Mw=7,7 büyüklüğündeki ilk deprem Ölü Deniz Fay Zonunun kuzey ucundaki Narlı segmentinde meydana gelirken, ikinci deprem Kahramanmaraş – Elbistan mevkiinde Mw=7,6 büyüklüğünde olup Doğu Anadolu Fay Zonunundan ayrılan bir kol olan Çardak fayında meydana gelmiştir (Şekil 2.4) (AFAD, 2023). Akyüz vd. (2023) deprem bölgesi ön inceleme raporundaki saha incelemelerine göre Amanos segmenti üzerinde 4,7 metre, Pazarcık segmentinde 3,2 metre ve Çardak fayında toplamı 8 metreyi aşan yüzey kırıkları gözlemiştir.



Şekil 2.4. AFAD tarafından tanımlanan Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan deprem lokasyonları, bölgenin deprem tehlike ve diri fay haritası (URL-3, 2023; AFAD, 2023).

AFAD tarafından tanımlanan merkez üstlerine göre iki deprem arası mesafe yaklaşık 91 km'dir. Mw=7,7 olan birinci depreme Tablo 2.1'de tanımlanan 17 yerleşim birimleri arasında en yakın yerleşim birimi 29 km'lik bir mesafe ile Gaziantep ili Nurdağı ilçesidir. Bu yerleşim birimini 32 km ile Pazarcık, 34 km ile Kahramanmaraş-Merkez, 40 km ile Gaziantep-Merkez, 46 km ile İslahiye takip etmektedir. Bu deprem odağına en uzak yerleşim birimi ise yapı hasar ve yıkıntılarının gözlendiği Diyarbakır ilidir. İkinci depreme (Kahramanmaraş – Elbistan Mw = 7,6) en yakın yerleşim birimi 14 km'lik mesafe ile Kahramanmaraş ili Elbistan ilçesidir. Bu yerleşim birimini 50 km ile Adıyaman-Gölbaşı, 63 km ile Gaziantep-Merkez, 67 km ile Pazarcık ilçesi takip etmektedir. Birinci depremde olduğu gibi Diyarbakır ili bu deprem odağına en uzak il olmuştur.

Depremden Etkilenen Baslıca	Depremlerin Yerleşim Birimlerine Yaklaşık Mesafeleri (km)	
Yerleşim Birimleri	Kahramanmaraş – Pazarcık Mw = 7,7	Kahramanmaraş – Elbistan Mw = 7,6
	(Birinci Deprem)	(Ikinci Deprem)
Hatay - Antakya	144	229
Hatay – İskenderun	110	192
Kahramanmaraş - Pazarcık	32	67
Kahramanmaraş - Merkez	34	63
Kahramanmaraş - Elbistan	104	14
Gaziantep - Merkez	40	114
Gaziantep - İslahiye	46	130
Gaziantep - Nurdağı	29	110
Kilis	64	152
Malatya - Merkez	165	101
Adıyaman	122	99
Adıyaman - Gölbaşı	77	50
Adana	155	207
Osmaniye	73	142
Elazığ	248	187
Şanlıurfa	158	173
Diyarbakır	290	263

Tablo 2.1 Mw=7,7 Kahramanmaraş-Pazarcık ve Mw=7,6 Kahramanmaraş-Elbistan depremlerinden etkilenmiş başlıca yerleşim birimlerinin depremlerin merkez üstelerine olan mesafeleri (Mesafe, kuş uçuşu düzlemsel olarak hesaplanmıştır).

Şekil 2.5'de her iki depremin USGS (United States Geological Survey, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu) tarafından hazırlanmış şiddet haritaları görülmektedir. Şekildeki siyah yıldız deprem merkez üstünü üçgen simgeler sismik kayıtçıları, daire simgeler rapor edilen şiddet lokasyonlarını göstermektedir. Şiddet haritası oluşturulurken Worden vd., 2012 yılında tanımlamış olduğu skala kullanılmıştır. Buna göre mavi rengi ile tanımlanan bölgelerde deprem şiddeti düşük iken kırmızı ve tonlarına yaklaştıkça şiddetin arttığı görülmektedir. Şekil 2.5'te görülen şiddet haritaları ile yerleşim birimlerinde gözlenen deprem etkilerinin uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 2.5. USGS değerlendirmesine göre deprem bölgelerinin şiddet haritası. AFAD tarafından yapılan tanımlamaya göre; soldaki Mw= 7,7 büyülüğündeki Kahramanmaraş-Pazarcık depremi, sağdaki Mw= 7,6 büyülüğündeki Kahramanmaraş-Elbistan depremi şiddet haritalarını göstermektedir.

Kahramanmaraş depremleri sonrasında bölgede meydana gelen büyüklüğü 4 ve üzeri artçı depremlerin harita üzerindeki dağılımı Şekil 2.6'de görülmektedir. Artçılar her iki deprem odağı ve fay üzerinde yoğunlaşmıştır. Artçı depremlerin dağılımı Şekil 3.2'teki şiddet haritaları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Artçı depremlerin odak derinlikleri ana depremler gibi yüzeye yakındır. Bölgede artçı depremlerin devam ettiği görülmektedir. 06.02.2023 – 22.02.2023 tarihleri arasında büyüklüğü 5 ve üzeri (Ana depremlerde dahil olmak üzere) 45 sismik aktivite izlenmiştir.



Şekil 2.6. Bölgede meydana gelen 4 ve üzeri depremlerin lokasyonları (URL-1, 2023).

Şekil 2.7'de Milattan Sonra 1 ile 1900 yılları arasında bölgede meydana gelmiş yıkıcı depremlerin yerleri görülmektedir. Tarihsel depremlerin de günümüzde olduğu DAFZ üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Özellikle DAFZ ve ÖDFZ'nun kesiştiği Hatay bölgesinde depremler dikkat çekmektedir. Birçok tarihsel kaynakta da bölge için yıkıcı depremler tanımlanmıştır.



Şekil 2.7. Bölgede M.S 1-1900 yılları arasında şiddeti 9-11 arasında olan depremlerin lokasyonları (URL-4, 2023).

Şekil 2.8'de sismik aletsel dönem olarak tanımlanan 1900 – 2023 arasında aletsel büyüklüğü 5 ve üzeri depremlerin yerleri ve fay hatları görülmektedir. Şekildeki birçok depremin meydana geldiği lokasyonlar KAFZ ve DAFZ üzerine düşmektedir. İlgili dönemde 7 ve üzeri 3 deprem görülmektedir. Bu depremler 1939 yılında Erzincan ve 2023 yılında Kahramanmaraş illerinde meydana gelen depremlerdir. Depremlerin özellikle KAFZ ve DAFZ'ın birleştiği Bingöl ve civarında ve Hatay bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 2.8. Bölgede 1900-2023 tarihleri arasında ve aletsel büyüklüğü 5 ve üzeri depremlerin lokasyonlarını gösteren harita (URL-4, 2023).

2.3. Kahramanmaraş İli, Türkoğlu İlçesi, Şekeroba Mevkiindeki Deprem Yüzey Kırığının Saha Gözlemleri

Kahramanmaraş ili, Türkoğlu ilçesi, Şekeroba mevkiindeki arazi gözlemlerinde meydana gelen depremin (06.02.2023) yüzey kırıkları gözlenmiştir. Şekeroba mevkiinde gözlenen fay hattı Kahramanmaraş Türkoğlu ile Hatay Kırıkhan arasında uzanmaktadır. Bu hat KD-GB uzanımlı olup hat üzerinde birbirine paralel faylar bulunmaktadır (Ambraseys, 1970; URL-2, 2013).

Şekeroba mevkiinde deprem yüzey kırığına ait fotoğraflar Şekil 9'da görülmektedir. Yapılan gözlemlerde yüzey kırığının KD-GB uzanımlı olduğu anlaşılmaktadır. Fotoğraflardan da görüleceği üzere fayın karekteristik olarak sol yanal atımlı olduğu görülmektedir. Fotoğraflarda belirtilen kırmızı çizgi yüzey kırığını, siyah oklar ise atım yönünü göstermektedir. Yüzey kırığı görülen bölgede atım miktarının 1,02 ile 1,23 metre arasında değiştiği görülmektedir.







Şekil 2.9. Kahramanmaraş ili, Türkoğlu ilçesi, Şekeroba mevkisinde gözlenen fay yüzey kırığı.

Deprem yüzey kırığı tren raylarında deformasyona neden olarak kullanılamaz hale getirmiştir (Şekil 2.10). Tren rayların sol yanal ötelenme görülmektedir.



Şekil 2.10. Tren raylarında fay yüzey kırığının neden olduğu deformasyon (URL-5, 2023).

3. GEOTEKNİK DEĞERLENDİRME

3.1. Hasar Gören İllerde Genel Jeolojik Yapı

Hatay ve çevresinde etkili olan tektonik rejim farklı zemin özelliklerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Antakya Şehri Antakya - Samandağ grabeni içinde yer alır (Şekil 3.1). Bu graben (10 - 20 km genişliğindeki) Asi Nehri"nin Amik Ovası ile Akdeniz arasındaki vadisini oluşturur. Bu grabenin batısında Amanos Dağları (2250 m), doğusunda kel dağı (1729 m) ve onun kuzeyinde Habibineccar Dağının (509 m) bulunduğu horstlarla sınırlanır. Bu horstlar ise ana kaya özelliğindedir. Şehirdeki yerleşimlerin büyük bir bölümü graben tabanındaki dolgu alanları üzerinde yer almaktadır (Engin, 2010). Hatay ilinde Jura-Kretase kireçtaşları, Measthrihtiyen yaşlı ofiyolitler, Pliyosen yaşlı kumtaşı, kiltaşı, çamurtaşı ve Kuvaterner yaşlı alüvyal akarsu çökelleri ve yamaç molozu çökelleri gözlemlenmektedir (Şekil 3.2) (Engin, 2010). Hatay ilinin Güneydoğusunda Kuzeydoğu ve Güneybatı doğrultusu boyunca Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı birimler bulunmaktadır. Bu kireçtaşı birimler beyaz-sarımsı renkli, yer yer tabakalı ve yer yer masif bir görünümdedir. Bazı bölgelerde kireçtaşı birimlerin kırıklı, çatlaklı yapıya sahip olduğu görülmektedir (Engin, 2010).

Alüvyon bölgeler Amik Ovasının bulunduğu bölgelerde geniş bir yayılım göstermektedir. Ayrıca İskenderun ilçesinde de sahile yakın kesimlerde alüvyon birimlerin varlığı göze çarpmaktadır. Alüvyon alanlar gri, açık gri renkli, polijenik taneli, çakıl, kum, kil ve silt birimlerden oluşmaktadır. Alüvyon tabakaların kalınlıkları Amik Ovası'nın kenarlarından (15 - 30 m) ortaya ve kuzeyden (140 m) güneye (300 m) doğru belirgin bir artış göstermektedir. Asi Nehrinde ise vadi tabanından uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir (Engin, 2010). Asi Nehri'nin doğu ve batısında ki Kuvaterner akarsu taraçaları yer almaktadır. Bu birimler süreksizlik yüzeyleri tanımlamasına göre zayıf kayaç grubunda yer almaktadır. Asi Nehri'nin doğu-batısında mostra veren Üst Pliyosen birimler bulunmaktadır. Bu birimlerin litolojisine bakıldığında çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve kiltaşı ardalanmalarına sahip olduğu görülmektedir. Ancak saha genelinde hakim birimler kumtaşlarıdır. Ayrıca il sınırları içerisinde Orta Miyosen kumtaşı, killi kalker, silttaşı, kiltaşı ve marn ardalanması ile Alt Miyosen çakıltaşı ve kumtaşı birimleri de yer almaktadadır (Engin, 2010).





Şekil 3.1. Hatay İlinin Jeomorfolojik konumu (Özşahin, 2010).

Şekil 3.2. Hatay ili Jeoloji Haritası (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2019).

Adıyaman ve yakın çevresi genel olarak 3 tektonik kuşağın etkisindedir. Şehrin güney kısmı Arap Platformunda yer almaktadır (Aydın vd., 2013; Sevimli, 2022; Adıyaman Üniversitesi, 2021). Arap platformu üzerinde Ekay zonu yer almakta olup bu bölgenin kuzeyinde naplı alanlar bulunmaktadır (Perinçek, 1990; Aydın vd., 2013; Sevimli, 2022; Adıyaman Üniversitesi, 2021). Ekay Zonu Arap platformunda kuzeyden itibaren görülmeye başlar ve doğu batı uzanımlı ters faylardan oluşan birimleri içerir. (Perinçek, 1990; Bolat, 2012; Aydın vd., 2013; Adıyaman Üniversitesi, 2021; Sevimli, 2022). Naplı alanlar ofiyolitik kayaç gruplarını barındırmaktadır. Metamorfik birliklerin çoğu bu zon içerisinde yer almaktadır. Sincik İlçesinde ağırlıklı olarak Naplı birimler bulunmaktadır (Perinçek, 1990; Adıyaman Üniversitesi, 2021; Sevimli, 2022). Adıyaman ilinin merkezi ve çevresinde Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler yer almaktadır (Şekil 3.3, Şekil 3.4) (Perinçek, 1990; Sevimli, 2022; Adıyaman Üniversitesi, 2021).



Şekil 3.3. Adıyaman ili Jeoloji Haritası (Sevimli, 2022).



Şekil 3.4. Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi Jeoloji Haritası (İmamoğlu 1993).

Kahramanmaraş ili, Avrasya, Afrika ve Arap levhalarının hareketlerinden etkilendiğinden dolayı oldukça karmaşık bir jeolojik yapı göstermektedir. Kahramanmaraş ili kuzeyindeki Ahır dağı'nın eteklerine yerleşmiştir. Kahramanmaraş şehir merkezinin (güney kısımları) önemli bir bölümü Kuvaterner alüvyon zemin üzerinde kalmaktadır. Kent alanının kuzey kesimi ise Kuvaterner - Yamaç molozu, Orta Miyosen – Çakıltaşı ve Pliyosen yaşlı Çakıl-Çamurtaşı-Kumtaşı zeminlerden oluşmaktadır (Sekil 3.5). Kent alanının kuzey kesimleri daha yüksek rakımlara sahip topografik yapı göstermektedir. Bu bölgelerde Ağırlıklı olarak farklı jeolojik yaşlarda kireç taşları bulunmaktadır (Şekil 3.5). Yüksek kesimlerden şehir merkezine birçok dere ve çaylarda su akışı mevcuttur. Kent merkezinden geçen baslıca dereler Ağcalı, Oklu, Akdere, Kerhan, Gök, İğdeliöz, Boğaz, Domuz, Cephanelik, Nal, Çakalın ve Keklik dereleridir. Ayrıca Aksuçayı, Erkenez çayı, Deliçay ve Mikail çayı diğer akarsulardır. Mevcut akarsular şehrin jeolojik yapısının gelişiminde oldukça etkili olmuştur. Bu akarsular vasıtasıyla alüvyonel ortamlar meydana gelmiştir. Kent merkezinin kuzey kısımları güney kısımlara nazaran daha pekismis ve kayalık zeminlerden oluşmuştur. Kahramanmaraş ilinin yakın çevresinde birçok fay hattı bulunmaktadır. Bu fay hatları üzerinde geçmiş tarihlerde VIII - IX - X şiddetlerinde birçok deprem meydana gelmiştir (TMMOB, 2021). Kahramanmaraş kent merkezi 06.02.2023 Kahramanmaraş depremlerinde (Pazarcık Mw=7,7, Elbistan Mw=7,6) oldukça büyük bir yıkıma maruz kalmıştır. Bu depremlerin büyüklüğü, kent merkezine yakınlığı odak derinliğinin az olması yıkıcı etkinin artmasında etkili olmuştur. Kent merkezinde özellikle şehrin güney kesimlerinde yıkımın daha fazla olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde yıkımın olmasının sebeplerinden biriside zemin özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle alüvyon zeminler deprem dalgalarını diğer zeminlere nazaran daha fazla büyütmektedir. Alüvyonel alanlar kuzey kesimlerdeki sağlam zeminlere göre daha şiddetli sarsılmışlardır.



Şekil 3.5. Kahramanmaraş şehir merkezinin ve yakın çevresinin jeolojisi (Sarıgül ve Turoğlu, 2020).

Gaziantep ili Şahinbey, Şehitkamil, Araban, Karkamış, Nizip, Oğuzeli, Yavuzeli, İslahiye ve Nurdağı olmak üzere 9 ilçesi bulunmaktadır. 06.02.2023 Kahramanmaraş depremlerinden kırılan fay hattına yakınlığı ve zemin yapısı sebebiyle en çok etkilenen ilçeleri İslahiye ve Nurdağı'dır. Diğer bazı ilçelerde de yıkımlar olmasına karşın bahsi geçen ilçelerde yıkım derecesi çok daha yüksek olmuştur. Nurdağı ve Islahiye yerleşim birimlerinin oldukça yakınında Türkoğlu-Antakya fay segmenti yer almaktadır (Şaroğlu vd. 1987). Gaziantep ili İslahiye ilçesinde şehir merkezi ovalık alanda bulunmaktadır (Şekil 3.6.). İlçe merkezinin büyük bir kısmı Alüvyon zemin üzerinde yer almaktadır. İlçenin kuzey batısında Ofiyolitik kayaçlar ve yamaç moluzu, kuzeyinde ise bazaltik yapılar mevcuttur. (Şekil 2.6) (İleri, E., 2018). Nurdağı ilçe merkezinin bir bölümü İslahiye'de olduğu gibi alüvyonel zemin üzerinde yer almaktadır. Nurdağı ilçesinin batı kısmında Amanos dağları, doğu kısmında ise Kartal dağı bulunmaktadır. 06.02.2023 Kahramanmaraş depremlerinde her iki ilçede oldukça büyük yıkım gözlenmiştir. Deprem yıkım derecesinin artmasında zemin koşulları ve deprem odağına ve fay hattına yakınlığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.6. İslahiye İlçesinin Jeoloji Haritası (İleri, E., 2018).

3.2.Geoteknik Bulgular

3.2.1. Sıvılaşma Kaynaklı Yapısal Hasarlar

Deprem nedeniyle boşluk suyu basıncındaki artışlar kum ve silt zeminlerde sıvılaşmaya neden olur. Zemin sıvılaştıktan sonra aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenmeye başlar. Zeminin sıvılaşmış halde kalma süresi sismik sarsıntının süresine ve sıvılaşan zeminin drenaj şartlarına bağlıdır. Depremden kaynaklanan devirsel kayma gerilmeleri ne kadar uzun ve güçlü ise, sıvılaşma durumu da o kadar uzun sürer. Ayrıca, sıvılaşan zemin katmanı üstten ve alttan geçirimsiz bir zemin tabakası ile sınırlanmış ise, sıvılaşan zeminden suyun drene olma süresi ile aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi süresi daha uzun olacaktır (Day, 2012; Mollamahmutoğlu ve Babuççu, 2021). Kahramanmaraş ili Pazarcık İlçesi (Mw=7.7) ve Elbistan ilçesinde (Mw=7.6) yaşanan depremler (06.02.2023) sonrasında Hatayın İskenderun ilçesi ile Adıyamanın Gölbaşı ilçesinde sıvılaşma kaynaklı yapısal hasarların varlığı gözlemlenmiştir. Sıvılaşma nedeniyle oluşan yapısal hasarların tipik göstergesi yapıların zemin içine gömülmesi veya yan yatmasıdır. Sıvılaşma sonrası binanın yan yatması taşıma gücü yenilmesine maruz kaldığını gösterirken zemin içine gömülmeler aşırı oturmaya maruz kaldığını gözlemlerde genellikle yapıların zemine gömülmesi şeklinde sıvılaşma kaynaklı hasar belirlenmiştir (Şekil 3.7). Adıyaman Gölbaşı ilçesinde ise binalarda yan yatma ve zemine gömülme görülmüştür (Şekil 3.8). Yapılan ölçümlerde sıvılaşma kaynaklı oturma değerlerinin 30 cm ile 50 cm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Saha gözlemlerinde sıvılaşma sonucu bazı binalarda oturma ve yan yatma olayları gözlemlenirken bu yapıların büyük ölçüde yapısal bütünlüklerini korudukları görülmüştür. İskenderun ve Gölbaşı ilçelerinde sıvılaşma potansiyelinin bulunduğu bazı bölgelerde yüzeye kum ve su çıkışları görülmemiştir. Bunun nedeni zemin yüzeyinde yer alan sıvılaşmayan zemin tabakasının kalınlığı ile açıklanabilir. Sıvılaşma olayının yüzeyde görülmesini etkileyen faktörlerden biri, sıvılaşmaya yatkın zemin çökelleri üzerinde bulunan ve sıvılaşmayan zeminlerin tabaka kalınlığıdır. Yüzeyde yer alan zemin tabakasının örtü kalınlığının kalın olması halinde aşırı boşluk suyu basıncı nedeniyle kaldırma kuvveti yüzey tabakada bir yarığa neden olacak kadar güçlü olmaz dolayısı ile yüzeye kum ve su çıkışı gözlemlenmez (Day, 2012; Mollamahmutoğlu ve Babuççu, 2021).





Şekil 3.7. Hatay ili İskenderun ilçesinde sıvılaşma kaynaklı oturma hasarları.





Şekil 3.8. Adıyaman Gölbaşı ilçesi sıvılaşma kaynaklı taşıma gücü kaybı.

3.2.2. Kum Kaynamaları

Sıvılaşma nedeniyle kum kaynamaları meydana gelmektedir. Kum kaynamaları çoğunlukla bir hat üzerinde gözlemlenir. Kum kaynamaları görülen bölgelerin yakın çevresinde genelde çatlak veya yarıklar oluşmaktadır (Day, 2012; Mollamahmutoğlu ve Babuççu, 2021). Kum kaynamaları sonucunda zemin tabakasında hacimsel kayıplar yaşanabilmektedir. Hatay ili İskenderun ilçesi sahil şeridinde de kum kaynamaları ve kum konilerine rastlanmıştır (Şekil 3.9).



(a)

(c)

Şekil 3.9. Hatay ili İskenderun ilçesinde sıvılaşma sonrasında (a) meydana gelen kum konileri ve kum çıkışları,
(b) bina çevresinde görülen kum çıkışları ve (c) Deniz kenarında yer alan kayalık alanda gözlemlenen kum çıkışları

3.2.3. Yer Altı Suyu Çıkışı

Sıvılaşma sonrası aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenirken zemin yüzeyinde su çıkışları görülebilmektedir. Hatay ili İskenderun ilçesinde sahile yakın bölgelerde yüzeye ciddi miktarda su çıkışı gözlemlenmiştir (Şekil 3.10) Çıkan su sebebiyle sahil kesiminin bir bölümü su basmış ve bazı binaların bodrum katlarına su dolmuştur.



Şekil 3.10. Hatay İskenderun ilçesinde sıvılaşma sonrası yeraltı suyu çıkışı



Şekil 3.10. (devam) Hatay İskenderun ilçesinde sıvılaşma sonrası yeraltı suyu çıkışı

3.2.4. Yanal Yayılmalar

Zemin eğiminin düşük olduğu ve düze yakın arazilerde yanal yayılmalar görülebilmektedir. Yanal yayılma sonucunda zemin yüzeyinde çatlaklar, diklikler ve çöküntüler oluşur. Bu çatlaklar zemin yüzeyinde birbirine paralel olma eğilimindedir. Çatlakların araları çoğu durumlarda su ile dolar ve zemin yanal olarak hareket ederken çatlaklar arasındaki zemin blokları oturma eğilimi gösterir, hatta daha küçük parçalara bölünür (Day, 2012; Mollamahmutoğlu ve Babuççu, 2021). Yapılan incelemelerde Hatay ili İskenderun ilçesinde de sahil şeridi boyunca yanal yayılmaların varlığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Hatay İskenderun ilçesinde sıvılaşma sonrası meydana gelen yanal yayılmalar

3.2.5 Sıvılaşma kaynaklı yol hasarları

Hatay İli, İskenderun İlçesinde Atatürk Bulvarı üzerindeki yolda sıvılaşma kaynaklı hasarlar gözlemlenmiştir. Zeminin sıvılaşması sonucu oluşan çatlaklardan su ve kum çıkışları olmuştur (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Hatay İskenderun ilçesinde sıvılaşma kaynaklı yol hasarları

3.2.6. Gömülü Yapıların Yüzeylenmesi

Sıvılaşma esnasında kaldırma kuvveti etkisiyle, kanalizasyon hatları, muayene bacası, altyapı tesisatları ve benzeri hafif yapılar zemin yüzeyine yükselir (Day, 2012; Mollamahmutoğlu ve Babuççu, 2021). Hatay ili İskenderun ilçesinde yapılan gözlemlerde muayene bacalarında yüzeylenme olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.13). Yapılan ölçümlerde muayene bacalarındaki yüzeylenme miktarlarının 20 cm ile 30 cm arasında değiştiği görülmüştür.



Şekil 3.13. Hatay İskenderun ilçesinde sıvılaşma kaynaklı altyapı elemanlarının yüzeylenmesi.

3.2.7. Zemin İyileştirilmesi Yapılmış Olan Yapılarda Gözlemler

Hatay ili İskenderun ilçesinde sıvılaşmanın bulunduğu bölgelerde bazı binalarda zemin iyileştirilmesi yapıldığı sahada yapılan gözlemlerde görülmüştür (Şekil 3.14). İyileştirme yapılmayan az katlı binalarda sıvılaşma kaynaklı oturma tespit edilirken iyileştirme yapılmış olan binalarda sıvılaşma kaynaklı oturmalara rastlanmamıştır. Hatay ili İskenderun ilçesi Çay Mahallesinde (Bahçeli Sahil Evleri Caddesi) zemin iyileştirmesi yapılmış olan binada sıvılaşma sonrası oturma meydana gelmemiş iken bina çevresinde ortalama 40 cm'lik çökmenin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 3.14. Hatay ili İskenderun ilçesi Çay Mahallesinde Zemin İyileştirilmesi Yapılmış Olan Bina
4. KUVVETLİ YER HAREKETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Türkiye' deki güncel deprem kayıt istasyonları toplamda 950 tane olup (Şekil 4.1), incelenen bölgedeki depremler çok sayıda kayıt istasyonu tarafından (merkez üssüne 460 km' ye kadar olan mesafede) kaydedilmiştir. Deprem kayıtları, AFAD' ın (Afet Acil Durum Yönetim Başkanlığı) (AFAD-TADAS, 2023) web sitesinden alınmıştır.



Şekil 4.1. Türkiye deprem kayıt istasyonlarının konumları (AFAD-TADAS, 2023)

Bu raporda; Pazarcık depremi için, Tablo 4.1.' de PGA (maksimum yer ivmesi) değerlerinin 0.5g' den büyük olduğu istasyonlar listelenmiştir. Tablo 4.2.' de ise, Elbistan depremi için, merkez üssüne uzaklığı 100 km' den az olan (Repi<100 km) deprem kayıt istasyonları listelenmiştir. Maksimum yer ivme büyüklük yatay bilesenlerinin, merkez üssüne olan uzaklığına göre dağılımı Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' de sunulmuştur. Şekil 4.2.' de kırmızı renkle gösterilen yatay ivme bileşenleri, kırılan fay hattına en yakın olan ivme ölçerlerden alınan ivme değerlerinin yatay bileşenlerini göstermektedir. Tablo 4.1.'de verilen deprem kayıtlarından altı tanesi için, ivme-zaman kayıtları, Fourier Genlik Spektrumu ve %5 sönüm oranı için elde edilen ivme tepki spektrumları Sekil 4.4 ve Sekil 4.9 arasında verilmistir. Kayıtlar için, VS30 (üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı) değerleri, AFAD-TADAS (2023) tarafından sağlanmıştır. TBDY-2018 (2018)' e göre, kayıt istasyonlarının çoğu ZC zemin sınıfında bulunmaktadır. Tablo 4.1 ve 4.2' de bu zemin sınıfı Eurocode-8 (2004)' de zemin sınıfı B olarak gösterilmektedir. Geri kalan istasyonlar ZD (Eurocode-8 (2004)' de zemin sınıfı C' ye karşılık gelmektedir) zemin sınıfındadır. İlişkili tablolarda gösterilen U*, zemin sınıfı tanımlanmamış istasyonlar içindir ve tasarım spektrumları çizilirken bu zemin sınıfları ZC olarak varsayılmıştır. TBDY-2018 (2018)' de tanımlanan tasarım spektrumları tekrarlanma periyotları 475 (DD-2) ve 2475 (DD-1) yıl olan deprem yer hareketi düzeyleri için çizilmiştir.

1	Enlem	Boylam	PGAns	PGAEw	PGAID	Repi	V _{s30}	Zemin
Istasyon			(cm/sn ²)	(cm/sn ²)	(cm/sn ²)	(km)	(m/s)	Sınıfı
4615	37.14	37.39	587.74	556.46	664.58	13.83	484.00	В
NAR	37.16	37.39	646.50	578.80	398.66	15.35	U^{*}	U^{*}
4616	36.84	37.38	652.76	502.87	397.27	20.54	390.00	В
2712	36.73	37.18	554.85	602.66	346.12	29.79	U^{*}	U^{*}
2718	36.63	37.01	702.42	644.97	585.79	48.30	U^{*}	U^{*}
3137	36.49	36.69	453.09	848.01	501.98	82.48	688.00	В
3139	36.41	36.58	577.13	504.82	378.62	96.19	272.00	С
3142	36.37	36.50	646.63	749.51	505.89	106.49	539.00	В
3117	36.17	36.56	968.90	1093.25	1111.02	112.08	597.00	В
0201	38.27	37.76	474.12	879.95	318.97	120.12	391.00	В
3141	36.22	36.37	961.12	868.82	722.66	125.42	338.00	С
3124	36.17	36.24	572.63	638.32	578.08	140.11	283.00	С
3125	36.13	36.24	822.62	1121.95	1151.56	142.15	448.00	В
3135	35.88	36.41	740.97	1372.07	588.97	142.15	460.00	В
3123	36.16	36.21	655.57	593.94	867.58	143.00	470.00	В
3132	36.17	36.21	515.31	514.63	354.18	143.12	377.00	В
3126	36.14	36.22	1211.04	1030.18	1071.45	143.54	350.00	С
3129	36.13	36.19	1353.02	1209.57	826.36	146.39	447.00	В

Tablo 4.1. Pazarcık depremi PGA değerleri 0.5g' den büyük olan deprem kayıt istasyonları özellikleri

U*: Zemin sınıfı bilinmeyen istasyonlar



Kırmızı: Fay hattı boyuncu ivme kaydı alan istasyonlar Mavi: Fay hattı üzerinde bulunmayan ancak yakın bölgelerde bulunan ivme kaydı alan istasyonlar

Şekil 4.2. Maksimum ivme değerlerinin (PGA) yatay bileşenler için (N-S ve E-W) merkez üssünden olan uzaklıklarına göre karşılaştırılması.

İstasyon	Enlem	Boylam	PGA _{NS} (cm/sn ²)	PGA _{EW} (cm/sn ²)	PGA _{UD} (cm/sn ²)	R _{epi} (km)	V _{s30} (m/s)	Zemin Sınıfı
4631	37.43	37.97	0.25	0.19	0.15	21.43	543	В
4628	36.92	38.24	0.06	0.08	0.04	32.41	186	С
4611	37.28	37.75	194.40	139.04	72.57	38.21	731	В
4408	37.89	38.10	52.37	142.29	275.29	56.74	654	\mathbf{U}^{*}
4409	37.49	38.56	287.04	218.04	124.28	56.86	U^{*}	\mathbf{U}^{*}
4620	36.90	37.59	66.82	81.33	57.03	63.46	484	В
4617	36.83	37.59	55.97	82.69	54.79	66.50	574	В
4612	36.48	38.02	635.45	523.21	494.91	66.68	246	С
4614	37.30	37.49	160.82	206.05	89.21	67.35	671	В
4624	36.92	37.54	65.00	79.75	38.61	67.65	280	С
213	37.93	37.80	121.30	126.62	71.35	68.73	U^{*}	\mathbf{U}^{*}
4406	37.97	38.34	467.20	409.31	318.75	70.17	815	А
5807	37.25	38.73	93.37	73.62	55.45	70.94	445	В
3802	36.50	38.48	195.79	220.88	122.81	77.41	305	С
NAR	37.16	37.39	126.52	110.42	84.82	77.85	U^{*}	\mathbf{U}^{*}
4615	37.14	37.39	44.47	73.75	41.67	78.59	484	В
4616	36.84	37.38	57.55	53.50	28.05	86.81	390	В
129	36.21	38.26	154.46	172.18	83.75	91.84	965	А
4410	37.68	38.87	112.10	127.25	54.08	94.59	U^{*}	U^{*}
4613	36.36	37.57	80.61	78.25	75.74	96.56	U^{*}	U^{*}
4412	38.18	38.60	159.03	126.38	79.90	99.89	U^{*}	\mathbf{U}^{*}

Tablo 4.2. Elbistan depremi Repi, 100 km'den küçük olan deprem kayıt istasyonları özellikleri.

U*: Zemin sınıfı bilinmeyen istasyonlar



Şekil 4.3. Maksimum ivme değerlerinin (PGA) yatay bileşenler için (N-S ve E-W) merkez üssünden olan uzaklıklarına göre karşılaştırılması.

4615 istasyonu, Pazarcık, Kahramanmaraş'ta yer almaktadır ve zemin sınıfı ZC'dir. Merkez üssüne olan uzaklığı 13.83 km' dir. Bu istasyonda kaydedilen maksimum ivme değeri düşey (U-D) bileseni için olan 664 cm/s²'dir. Periyodu 0.5s' den büyük olan değerlerdeki spektral ivme değerleri, TBDY-2018 (2018)' de verilen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareket düzeyi için verilen elastik tasarım spektrumunu aşmaktadır.



Şekil 4.4. Kaydedilmiş 3-yönlü yer hareketi ivmesi, ilgili Fourier Genlik Spektrumları ve %5 sönüm oranı için ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018 (2018) elastik tasarım spektrumları ile karşılaştırılması (Pazarcık depremi $(M_w=7.7)$, istasyon 4615 (Pazarcık-Kahramanmaraş)).

4616 istasyonu, Türkoğlu, Kahramanmaraş'ta yer almaktadır ve zemin sınıfı ZC'dir. Merkez üssüne olan uzaklığı 20.54 km'dir. Bu istasyonda kaydedilen maksimum ivme değeri kuzey-güney yatay (N-S) bilesen için olan 653 cm/s²'dir. Yatay yöndeki bileşen için, geniş aralıktaki periyota karşılık gelen spektral ivme değerleri, TBDY-2018 (2018)' de verilen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareket düzeyi için verilen elastik tasarım spektrumunu aşmaktadır.



Şekil 4.5. Kaydedilmiş 3-yönlü yer hareketi ivmesi, ilgili Fourier Genlik Spektrumları ve %5 sönüm oranı için ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018 tasarım spektrumları ile karşılaştırılması (Pazarcık depremi (M_w=7.7), istasyon 4616 (Türkoğlu -Kahramanmaraş)).

2712 istasyonu, Nurdağı, Gaziantep'te yer almaktadır ve zemin sınıfı ZC olarak varsayılmıştır. Merkez üssüne olan uzaklığı 29.79 km'dir. Bu istasyonda kaydedilen maksimum ivme değeri doğu-batı yatay (E-W) bilesen için olan 602 cm/s²'dir. Yatay yöndeki bileşen için, geniş aralıktaki periyota karşılık gelen spektral ivme değerleri, TBDY-2018 (2018)' de verilen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareket düzeyi için verilen elastik tasarım spektrumunu aşmaktadır.



Şekil 4.6. Kaydedilmiş 3-yönlü yer hareketi ivmesi, ilgili Fourier Genlik Spektrumları ve %5 sönüm oranı için ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018 tasarım spektrumları ile karşılaştırılması (Pazarcık depremi (M_w=7.7), istasyon 2712 (Nurdağı-Gaziantep)).

2718 istasyonu, İslahiye, Gaziantep'te yer almaktadır ve zemin sınıfı ZC olarak varsayılmıştır. Merkez üssüne olan uzaklığı 48.30 km'dir. Bu istasyonda kaydedilen maksimum ivme değeri kuzeygüney yatay (N-S) bilesen için olan 702 cm/s²'dir. Yatay yöndeki bileşen için, geniş aralıktaki periyota karşılık gelen spektral ivme değerleri, TBDY-2018 (2018)' de verilen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareket düzeyi için verilen elastik tasarım spektrumunu aşmaktadır.



Şekil 4.7. Kaydedilmiş 3-yönlü yer hareketi ivmesi, ilgili Fourier Genlik Spektrumları ve %5 sönüm oranı için ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018 tasarım spektrumları ile karşılaştırılması (Pazarcık depremi (M_w=7.7), istasyon 2718 (İslahiye-Gaziantep)).

3139 istasyonu, Kırıkhan, Hatay'da yer almaktadır ve zemin sınıfı ZD'dir. Merkez üssüne olan uzaklığı 96.19 km'dir. Bu istasyonda kaydedilen maksimum ivme değeri kuzey-güney yatay (N-S) bilesen için olan 557 cm/s²'dir. Yatay yöndeki bileşen için, geniş aralıktaki periyota karşılık gelen spektral ivme değerleri, TBDY-2018 (2018)' de verilen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareket düzeyi için verilen elastik tasarım spektrumunu aşmaktadır.





Şekil 4.8. Kaydedilmiş 3-yönlü yer hareketi ivmesi, ilgili Fourier Genlik Spektrumları ve %5 sönüm oranı için ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018 tasarım spektrumları ile karşılaştırılması (Pazarcık depremi (M_w=7.7), istasyon 3139 (Kırıkhan-Hatay)).

3126 istasyonu, Antakya, Hatay'da yer almaktadır ve zemin sınıfı ZD'dir. Merkez üssüne olan uzaklığı 143.54 km'dir. Bu istasyonda kaydedilen maksimum ivme değeri kuzey-güney yatay (N-S) bilesen için olan 1211 cm/s²'dir. Yatay yöndeki bileşen için, geniş aralıktaki periyota karşılık gelen spektral ivme değerleri, TBDY-2018 (2018)' de verilen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareket düzeyi için verilen elastik tasarım spektrumunu aşmaktadır.



Şekil 4.9. Kaydedilmiş 3-yönlü yer hareketi ivmesi, ilgili Fourier Genlik Spektrumları ve %5 sönüm oranı için ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018 tasarım spektrumları ile karşılaştırılması (Pazarcık depremi (M_w=7.7), istasyon 3126 (Antakya-Hatay)).

istasyon No:3126

5. MALZEME KAYNAKLI HASARLAR

Bu bölümde, hasarlı ve yıkılan binalarda malzeme özelliklerine bağlı problemler agrega kaynaklı, donatı kaynaklı, beton uygulaması ve kalitesine bağlı olarak 3 başlık altında toplanmıştır.

5.1. Betonda Agrega Kaynaklı Problemler

Deprem bölgesinde özellikle 2000 yılı öncesi eski yapılarda kullanılan betonlarda tüvenan agregaların kullanıldığı görülmektedir (Şekil 5.1). Bu tip agregalar dereden alınan yuvarlak ve yüzeyi pürüzsüz agregalardan oluşmaktadır. Günümüzde kullanılan kırma taş agregaları köşeli ve yüzeyi pürüzlü olduğundan çimento hamuruna aderansı güçlü olmaktadır. Ancak, tüvenan agregaların yuvarlak şekli ve pürüzsüz yüzeyinden dolayı beton içerisinde hamur fazı ile aderansı zayıf olmaktadır. Böylece; yük altında betonun bütünlüğünün sağlanamamasına, bu agregaların kolaylıkla hamur fazından ayrılıp betonun dağılmasına ve parçalanmasına sebep olmuştur. Şekil 5.1'de deprem bölgesinde 2000 yılı öncesi birçok yapıda aderansını kaybetmiş ve ayrılmış agregaların görüldüğü beton yüzeylerinin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.1. Betonun tüvenan agrega içermesi ve agrega-hamur aderansının zayıf olması.

Bu tip agrega içeren betonların büyük çoğunluğunda maksimum agrega tane boyutunun 7-8 cm kadar olduğu görülmektedir (Şekil 5.2). Agrega gradasyonunun uygunsuzluğuna da bağlı olarak böyle büyük agregalarının betonda bulunması birim hacimde bağlayıcının (çimento) az olmasına sebep olmaktadır. Böylece betonun iskeletini oluşturan agregaları kaplamak ve bir arada tutmak için yeterli çimento hamuru bulunmamakta ve betonun dağılması ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca bu büyük agregaların donatılar arasına girerek betonun kalıpta altlara doğru akışını engellediği görülmektedir (Şekil 5.3). Böylece beton donatıların etrafını tam olarak saramamakta ve donatı-beton aderans problemleri meydana gelmektedir. Bu durum deprem etkisi altında beton kesitinin kolaylıkla dağılması ile sonuçlanmaktadır.



Şekil 5.2. Beton maksimum agrega tane boyu.



Şekil 5.3. Maksimum agrega tane boyunun fazla olması ve betonun kalıbı doldurma problemi.

5.2. Donatı kaynaklı problemler

Deprem bölgesindeki eski binalarda (2000 yılı öncesi) çoğunluklu olarak düz yüzeyli ve nervürlü donatı birlikte kullanılmıştır (Şekil 5.4). Düz yüzeyli donatıların beton ile aderansı nervürlü donatılara kıyasla zayıf olduğundan, deprem esnasında donatı betondan sıyrılmıştır. Şekil 5.5' te söz konusu bu donatı sıyrılmaları ve Şekil 5.6' da düz yüzeyli donatı-beton aderansının yetersizliğine bağlı olarak betonun donatı etrafından dökülmesi sahada gözlemlenmiştir. Ayrıca beton kalitesinin düşük olması bu durumu etkilemektedir. Betonda yetersiz bağlayıcının bulunması buna bağlı olarak dayanım ve durabilite performanslarının düşük olmasından dolayı betonun donatı ile aderansı tam olarak sağlanamamaktadır. Böylece deprem etkileri altında beton kolaylıkla dökülmek suretiyle donatının etrafından ayrılmakta ve parçalanmaktadır. Bu durum sadece düz yüzeyli donatı bulunan yapılarda değil beton kalitesi düşük nervürlü donatı içeren yapılarda da görülmüştür (Şekil 5.7).



Şekil 5.4. Betonarme binalarda düz ve nervürlü donatının birlikte kullanılması.



Şekil 5.5. Düz donatı (nervürsüz) kullanılan yapılarda deprem esnasında donatının betondan sıyrılması.



Şekil 5.6. Düz donatı-beton aderansının yetersizliğinden dolayı betonun donatı etrafından ayrılması ve dökülmesi.



Şekil 5.7. Beton kalitesinin düşük olmasına bağlı donatı-beton aderansının zayıf olması.

Deprem bölgesinde hasar gören ve yıkılan birçok yapıda betonarme sistemde donatıların korozyona uğradığı belirgin olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.8). Bunun etkisinin betonda yetersiz paspayı ve beton kalitesinin düşük olmasına bağlı olarak geçirgenliğinin fazla olmasından kaynaklandığı görülmüştür. Böylece donatının korozyona uğramasına sebep olacak zararlı maddeler betonun paspayını geçerek donatının korozyonunu başlatmıştır.



Şekil 5.8. Korozyona uğramış donatı.



Şekil 5. 9. (devam) Korozyona bağlı beton-donatı aderansının kaybolması.



Şekil 5.9. Korozyona bağlı beton-donatı aderansının kaybolması.

Donatı korozyonunun ileri aşamalarında beton-donatı aderansının kaybolduğu ve betonarme sistem içerisinde birlikte çalışmada problem olduğu görülmüştür (Şekil 5.9). Böylece deprem esnasında oluşan çatlaklardan donatının kolaylıkla betondan sıyrıldığı tespit edilmiştir.

Donatıda korozyon sürecinin uzun süre devam etmesine bağlı olarak donatılarda kesit kayıplarının olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.10' da donatılarda söz konusu bu kesit kayıpları gösterilmiştir. Donatının korozyona bağlı kesit kayıpları sonucu donatı betonla aderansını kaybetmiştir. Ayrıca çekme dayanımında önemli mertebelerde azalmalar olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.10. Donatılarda korozyona bağlı kesit kaybı oluşumu.



Şekil 5.10. (devam) Donatılarda korozyona bağlı kesit kaybı oluşumu.

Kırmataş agrega içeren beton ve nervürlü donatı kullanılan bazı yapılarda yine betonun geçirgenliğine bağlı olarak donatıda korozyon meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Kırmataş agrega içeren beton ve nervürlü donatı kullanımı.

Deprem bölgesinde hasar gören ve yıkılan binaların beton kaliteleri incelendiğinde çoğunluklu olarak 90'lı ve önceki yıllarda yapılan yapılarda beton kalitesinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun o dönemlerde hazır beton olmadığından ve betonun şantiye ortamında hazırlanmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. O dönemlerde verimli su azaltıcı katkıların bulunmamasından ve erişimin zor olmasından dolayı beton yerleştirilirken işlenebilirliğin sağlanması için betona ilave edilen kontrolsüz fazla suyun betonun dayanımını düşürdüğü ve durabilite performansını zayıflattığı bilinmektedir. Ayrıca; önceden de belirtildiği üzere tüvenan agregalar kullanılarak üretilen betonun servis ömrü, günümüzde kullanılan geleneksel agregalarla üretilen betonlara kıyasla daha kısa olduğu görülmektedir. Zamanla bu tip agregaların hamur fazından ayrılarak betonun dağılmasına ve kalitesinin düşmesine sebep olmuştur.

İncelenen yapılardaki betonun kalitesini düşüren diğer etmen ise betonlarda birim hacimde iri agreganın gereğinden fazla olması ve agrega gradasyonunun uygun olmamasına bağlı olarak yetersiz bağlayıcının (çimento hamurunun) bulunması ile betonda agregalardan oluşan iskeletin stabilitesinin sağlanamamasıdır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Bağlayıcı eksikliğine bağlı olarak beton kalitesinin düşük olması.

Deprem bölgesinde yeni ve eski yapılarda beton uygulamaları incelenmiştir. Hasar gören ve yıkılan birçok eski yapıda betonda segregasyon olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.13). Eski yapılarda bulunan tüvenan agregaların yüzeylerinin pürüzsüz ve maksimum tane boyutlarının fazla olması betonda segregasyonu kolaylaştırmış ve betonun kalıpta homojen dağılımını engellemiştir. Ayrıca deprem bölgesinde yeni yapılmakta olan ve son 1-2 yılda yapılmış olan yapıların bazılarında da vibratör uygulamasının yetersiz olmasından dolayı segregasyonun meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 5.14). Özellikle daha az akışkan betonun kullanıldığı merdiven betonlarında segregasyonun olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.15).



Şekil 5.13. Eski yapılarda betonda bulunan tüvenan agrega ve yetersiz bağlayıcı bağlı segregasyon oluşumu.



Şekil 5.14. Yeni yapılarda betonda vibratör uygulamasının yetersiz olmasından kaynaklı segregasyon oluşumu.



Şekil 5.15. Yeni yapılarda merdiven betonlarında vibratör uygulamasının yetersiz olmasından kaynaklı segregasyon oluşumu.

2004 yılından itibaren bakanlığın yayınladığı genelge ile hazır betonun zorunlu hale gelmesiyle beton kalitesinin zamanla iyileşmeye başladığı ve günümüze kadar yapılan yapılarda kalitenin arttığı bilinmektedir. Deprem bölgesindeki yeni yapılarda beton kalitesinin genel olarak iyi mertebelerde olduğu düşünülmektedir. Ancak önceden de belirtildiği üzere taze betonun kalıba yerleştirilmesi sırasında kıvama bağlı olarak problemler oluşabilmektedir. Buna bağlı deprem esnasında hasarlar gözlenebilmektedir. Geniş kapsamda düşünüldüğünde yeni betonarme binaların hasar almasının genel olarak tasarımsal hatalardan kaynaklandığı düşünülmekte ve bu hatalar Bölüm 6'da ayrıntılı olarak incelenmiştir.

5.3. Yığma yapılarda malzeme kaynaklı problemler

Deprem bölgesindeki birçok yığma yapılarda malzemelerin deprem etkilerine direnç gösterememesinden kaynaklı olarak yapının hasar görmesine ve yıkılmasına sebep olmuştur (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Yığma yapı hasarları.

Kerpiç yapıların taşları arasında çimento içermeyen kerpiç harcının kullanılması taşlar arası bağın zayıf olmasına sebep olmaktadır. Söz konusu harcın içine saman vb. malzemelerin ilave edilmesi bile deprem esnasında malzemenin bütünlüğünü sağlayacak yeterli stabiliteyi sağlayamamıştır (Şekil 5.17).



Şekil 5.17. Deprem esnasında kerpiç yapılarda kerpiç harcının stabilitesini koruyamaması ve dağılması.

Harcında çimento ve puzolan içeren bağlayıcıların bulunduğu yığma yapılarda hasar ve yıkımlar meydana gelmiştir (Şekil 5.18). Deprem esnasında söz konusu binalarda betonarme sistemin bulunmamasına bağlı olarak harç malzemeleri yanal deprem yüklerine karşı stabilitesini koruyamamakta ve dağılmaktadır. Bu derece büyük depremde betonarme sistem olmayan yapıların depreme karşı yeterli düzeyde direnç göstermesi beklenmemektedir. Taşlar arasında yeterli harç kullanılmaması veya harcında yeterli düzeyde bağlayıcının bulunmaması da yığma yapının toptan göçme eğilimi göstermesini sağlamış olabilir.



Şekil 5.18. Çimento ve puzolan içeren bağlayıcıları içeren yığma yapılarda malzeme kaynaklı hasarlar.

Diğer taraftan deprem sonrasında hasar alan ancak yıkılmadan stabilitesini koruyan yapılarda gözlemlenmiştir (Şekil 5.19). Söz konusu yapıda betonarme elemanların olması, tasarımının doğru bir şekilde yapılması, tuğlaların arasındaki harcın yeterli miktarda ve bağlayıcının güçlü olması sonucu harcın tuğlalar ile aderansının yeterli düzeyde olması ile yapının toptan göçme olmadan ayakta kalmasını sağladığı düşünülmektedir.



Şekil 5.19. Deprem sonrası stabilitesini koruyan yığma yapı.

6. GÖZLENEN TASARIM VE UYGULAMA HATALARI

Bu bölümde; betonarme, yığma gibi farklı taşıyıcı sistemlere sahip yapılarda gözlenen tasarım ve uygulama hataları incelenmiştir.

6.1. Betonarme Yapılarda Gözlenen Hasar Tipleri

6.1.1. Toptan Göçen Bina Örnekleri

Adana' da Turgut Özal Bulvarı üzerinde bulunan Kubilay Apartmanının deprem sırasında göçtüğü tespit edilmiştir. Google Earth incelemeleriyle 2000 yılı öncesinde tamamlanan bina da beton kalitesinin oldukça düşük olduğu ayrıca, beton üretiminde düz yüzeyli, yuvarlak ve pürüzsüz agregaların kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu agregaların çimento hamuruyla iyi bağ kuramadığı ve beton içerisinde aderans problemi yaşadığı gözlenmiştir. Ayrıca, binanın zemin katında dükkân katı bulunmakta olup, bu durum binanın yumuşak kat etkisine maruz kaldığını göstermektedir (Şekil 6.1).





Şekil 6.1. Adana Kubilay Apartmanı (a) 2000 yılı Google Earth görünümündeki konumu (b) Deprem öncesi Google Earth' deki görünümü (d) Deprem sonrasındaki durum durum.

Adıyaman' da Atatürk Bulvarı üzerinde bulunan ve toptan göçen bina Google Earth görsellerine dayanılarak 2011 yılından sonra inşa edildiği tepit edilmiştir. İnşa edildikten sonra 2013 yılına kadar yanında bina bulunmayan bina daha sonraki yıllarda bitişik nizam olarak kullanılmıştır. Zemin katında dükkan sebebiyle yumuşak kat meydana gelen bu binada, ayrıca yeterli derz boşluğunun bırakılmadığı tespit edilmiştir (Şekil 6.2).



(a)





(c)

(**d**)

Şekil 6.2 Adıyaman' da Atatürk Bulvarı üzerinde bulunan bina (a) 2011 yılı Google Earth görünümündeki konumu (b) Deprem öncesi Google Earth' deki konumu (c) Deprem öncesi Google Earth' deki görünümü (d) Deprem sonrasındaki durum durum.

Hatay' da Atatürk Caddesinde bulunan ve toptan göçen bina Google Earth görsellerine dayanılarak 2002 yılından önce inşa edildiği tepit edilmiştir. Bu binada iki adet yumuşak kat bulunmaktadır. Ayrıca, bitişik nizam şeklinde tasarlanan binada yetersiz dilatasyon derzi bırakılmıştır. Ayrıca, binada düz yüzeyli donatı çubukları bulunmakta ve kolon kenetlenmeleri kancalı olarak oluşturulduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.3).



(c)

(**d**)

Şekil 6.3 Hatay' da Atatürk Caddesi üzerinde bulunan bina (a) 2002 yılı Google Earth görünümündeki konumu (b) Deprem öncesi Google Earth' deki konumu (c) Deprem öncesi Google Earth' deki görünümü (d) Deprem sonrasındaki durum durum.

Gaziantep' de Batıkent mahallesinde bulunan bina ve toptan göçen bina Google Earth görsellerine dayanılarak 2003 yılından önce inşa edildiği tepit edilmiştir. Bu binada dükkan katı bulunmakta ve bu kat yumuşak kat düzensizliği oluşturmaktadır. Ayrıca, binada malzeme kalitesinin yetersiz olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Gaziantep' de Batıkent mahallesinde bulunan bina (a) 2003 yılı Google Earth görünümündeki konumu(b) Deprem öncesi Google Earth' deki konumu (c) Deprem öncesi Google Earth' deki görünümü (d) Deprem sonrasındaki durum durum.



(c)

(**d**)

Şekil 6.4. (devam) Gaziantep' de Batıkent mahallesinde bulunan bina (a) 2003 yılı Google Earth görünümündeki konumu (b) Deprem öncesi Google Earth' deki konumu (c) Deprem öncesi Google Earth' deki görünümü (d) Deprem sonrasındaki durum durum.













(c)

(**d**)

Şekil 6.5. Malatya' da kanal boyu caddesi üzerinde bulunan bina (a) 2001 yılı Google Earth görünümündeki konumu (b) Deprem öncesi Google Earth' deki konumu (c) Deprem öncesi Google Earth' deki görünümü (d) Deprem sonrasındaki durum durum.

Malatya' da Kanalboyu Caddesi üzerinde bulunan bina ve toptan göçen bina Google Earth görsellerine dayanılarak 2001 yılından önce inşa edildiği tepit edilmiştir. Bu bina eşlenik bir bina ile bitişik olarak inşa edilmiş olup, binada yeterli dilatasyon derzi bırakılmadığı gözlenmiştir (Şekil 6.5).







(a)



(b)

Şekil 6.6. Donatı çubuğunun betondan sıyrılması (a) Gaziantep' de yıkılmış binalardaki gözlem (b) Malatya' da ağır hasarlı bir binadaki gözlem. Bölgede bulunan yapıların birçoğunda boyuna donatı olarak düz yüzeyli donatı çubuğu kullanılmıştır. Yüzey özelliği nedeniyle bu donatı çubuğunun bağ dayanımı düşüktür. Bu duruma düşük basınç dayanımına sahip beton da eklendiğinde, bölgede bulunan birçok binada donatı çubuğunun betondan sıyrıldığı gözlenmiştir (Şekil 6.6). Bazı durumlarda ise kolon ile temel arasında donatı detaylandırılmasının iyi yapılmadığı bu sebeple de kolon donatılarının temelden sıyrıldığı gözlenmiştir (Şekil 6.7.a). Benzer durum yetersiz ankraj boyuna sahip betonarme bir minarede gözlenmiştir (Şekil 6.7.b). Ayrıca, kolon kiriş birleşimlerinde boyuna donatı detaylandırmasının iyi yapılmaması ve yeterli kenetlenmenin sağlanmaması kirişin kolondan sıyrılmasına sebep olmuştur (Şekil 6.7.c).





(a)









(**d**)

Şekil 6.7. Elemanların birbirinden ayrılmasI (a) Kolonun temelden sıyrılması (Antakya) (b) Minare donatılarının iyi ankrajlanamaması (Antakya) (c) Kirişin kolondan sıyrılması (Nurdağı) (d) Kirişin kolondan sıyrılması (İslahiye).

Bölgede bulunan binalarda, kolon boyuna donatılarının alt bölgesinde kancalı kenetlenme yöntemi kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu uygulamanın yapıldığı kolonlarda donatı çubuğuna gelen eksenel yükle birlikte donatı çubuğunun yanal deformasyon isteğinin arttığı ve donatı çubuğunun burkulma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.8.a). Ayrıca, donatı çubuğundan çıkan kanca çekirdek betona doğru kıvrıldığı ve imalat sırasında donatı çubuklarına bağlanmadığı için eksenel basınç etkisinde betonu yardığı tespit edilmiştir (Şekil 6.8.b).



(a)

(b)

Şekil 6.8. Kancalı kenetlenme nedeniyle meydana gelen hasarlar (a) Antakya' da yıkılmış binalardaki gözlem(b) Şekeroba' da imalat sırasında donatılara bağlanmamış kancalı kenetlenme.



(a)

(b)

Şekil 6.9. Donatı detaylandırması nedeniyle meydana gelen hasarlar (a) Boyuna donatı aralığı fazla olması nedeniyle meydana gelen hasar (Antakya) (b) Yetersiz miktarda ve küçük çaplı donatı donatı kullanılması nedeniyle meydana gelen hasar (İslahiye).

Betonun düşük çekme dayanımı nedeniyle betonarme elemanlarda öncelikle çekme çatlağı meydana gelir. Çekme bölgesine yerleştirilen donatı çubukları arasındaki mesafe, bu çatlağın gelişimini

doğrudan etkiler. Eğer çekme donatı çubukları arasındaki mesafe fazla ise, çekme çatlağı hızla artar ve kabuk beton dökülür. Bu dökülme, yetersiz etriyenin kullanıldığı betonarme elemanlarda donatı burkulmasına neden olmuştur (Şekil 6.9.a). Ayrıca, bölgede sıklıkla küçük çaplı boyuna donatı çubukların kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, betonarme kolonlarda donatı çubuğunun daha kolay burkulmasına neden olmaktadır (Şekil 6.9.b)



(a)



(b)



(c)



Şekil 6.10 Yetersiz etriye kullanılmış betonarme elemanlar (a) Gaziantep' de yıkılmış bir bina (b) Şekeroba' da bir okul binasında perde duvar (c) Şekeroba' da bir okul binasında kolon (d) TBDY-2018 sonrası yapılan Malatya' daki bir konut binası.

Bölgedeki binalarda karşılaşılan en önemli sorunlardan biri etriyelerin yetersiz miktarda kullanılmasıdır. Deprem sırasında kabuk betonu dökülen betonarme elemanda etriye aralıkları yetersiz ise donatı çubukları burkulabilmektedir. Ayrıca, yetersiz etriyenin kullanılması çekirdek betonun dayanımını ve deformasyon kapasitesini düşürür. Bu sebeple; yetersiz etriyeye sahip olan betonarme eleman istenilen dayanım ve deformasyona ulaşamadan çekirdek beton ezilebilir. Deprem bölgesinde

imalat sırasında yetersiz etriye kullanılması nedeniyle, betonarme elemanlarda meydana gelen hasarlar Şekil 6.10' da sunulmuştur.

TBDY-2018 (2018)' e göre özel deprem etriyeleri Şekil 6.11.a' da görüldüğü gibi kancalar 135⁰ kıvrımlı şekilde oluşturulması gerektiği vurgulanmaktadır. Özel deprem çirozları ise bir uçta 90⁰ kıvrım olacak şekilde oluşturulmalıdır (Şekil 6.11.a). Ancak, bölgedeki birçok yapıda bu uygulamalara uyulmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple, etriyelerin açıldığı buna bağlı olarak boyuna donatı çubuklarının burkulduğu ve çekirdek betonun ezildiği gözlemlenmiştir (Şekil 6.11.b-c).



(b)

(c)

Şekil 6.11. Etriyede kanca açısı (a) TBDY-2018 (2018)' e göre olması gereken etriye ve çiroz düzeni (b) İskenderun' da etriye açılması nedeniyle meydana gelen hasar (c) Nurdağ' da etriye açılması nedeniyle meydana gelen hasar.

135⁰ kıvrımlı kancaların iç büküm çapı en az etriye çapının 5 katı olmalıdır. Kancaların ucundaki kanca boyu nervürlü çubuklar için boyuna donatı çapının 6 katı (düz yüzeyli çubuklar için 10 katı (ABYYHY, 1998) ve 80 mm' den küçük alınmamalıdır (Şekil 6.12.a). Bölgedeki binalarda kanca uzunluklarının genellikle yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun etriyelerin açılmasına neden olarak boyuna donatının burkulması ve çekirdek betonun ezilmesine sebep olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.12.b-c).



Şekil 6.11 Etriyede kanca uzunluğu (a) TBDY-2018 (2018)' e göre olması gereken kanca uzunluğu (b) Malatya' daki eski bir binada yetersiz kanca uzunluğu (c) Kahramanmaraş' taki yeni bir binada yetersiz kanca uzunluğu.

Bölgede bulunan bazı binalardaki kolonlarda yetersiz etriyenin bulunması etriyelerin kesme etkisine maruz kalmasına sebep olmuştur. Bu durum, genellikle donatı çubuklarının bükülmüş (zayıflatılmış) kısımlarına yakın bölgelerde meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12. Yetersiz etriye nedeniyle etriyelerin kopması (a) Gaziantep' de yıkılmış binada etriyenin kopması(b) Malatya' da ağır hasarlı bir binada etriyenin kopması nedeniyle meydana gelen hasar.

Bölgedeki binalarda yetersiz kesit boyutlarına sahip kolonların kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, deprem etkisindeki kolonların düşey yükleri taşıyamamasına sebep olmuştur. Bu durum, kolon

orta bölgelerinde eksenel yük nedeniyle donatılarda burkulma ve kolonda kesme hasarları birlikte gözlenmiştir (Şekil 6.13).



(a)

(b)

Şekil 6.13. Kolon boyutunda yetersizlik (a) Elbistan' da boyutu yetersiz bir kolon (b) İslahiye' de boyutu yetersiz bir kolon.

Bölgedeki özellikle yeni binalarda kısa kiriş yapıldığı gözlenmiş ve bu kirişlerin boyut yetersizliği nedeniyle kesme hasarları meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 6.14).



Şekil 6.14. Kiriş boyutunda yetersizlik (Antakya).

Bölgede bulunan perdeli çerçeveli binalarda perde duvarların kesme veya eğilme nedeniyle hasar aldığı gözlemlenmiştir. Ancak, perde duvarlarda kayma hasarı gözlenmemiştir. Antakya ve İskenderun' daki binalarda kesme ve eğilme hasarı almış perde duvar görselleri sırasıyla Şekil 6.15.a ve Şekil 6.15.b' de sunulmuştur. Ayrıca, perde duvarlar ağır hasar almış olmasına rağmen diğer yapısal elemanlarda önemli derecede hasarlar gözlenmemiştir. Bu durum, betonarme perde duvarların taşıyıcı

sisteme gelen taban kesme kuvvetlerinin büyük bir bölümünü karşıladığını, bu sebeple diğer yapısal elemanlarda hasarları azaltarak sistemin toptan göçmesini engellediğini göstermiştir.



(a)

(b)

Şekil 6.15. Perde duvarlarda hasarlar (a) Kesme hasarı (Antakya) (b) Eğilme Hasarı (İskenderun).

6.1.3. Taşıyıcı Olmayan Elemanlarda Gözlenen Hasarlar



(a)

Şekil 6.16. Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlar (a) Düzlem içi hasar meydana gelen dolgu duvarlar (İskenderun) (b) Düzlem dışı hasar meydana gelen dolgu duvarlar (Antakya).



(b)

Şekil 6.16. (devam) Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlar (a) Düzlem içi hasar meydana gelen dolgu duvarlar (İskenderun) (b) Düzlem dışı hasar meydana gelen dolgu duvarlar (Antakya).

Bölgede bulunan birçok binada dolgu duvar olarak delikli tuğla kullanılmasına rağmen, Malatya' da ısı yalıtım sebebiyle konutlarda gaz betonun da kullanıldığı gözlenmiştir. Bölgedeki yapı stoğunun birçoğunda bulunan dolgu duvarlarda sıva çatlakları (Şekil 6.16.a), kolon kiriş birleşimlerinden düşey ve yatay ayrılma çatlakları (Şekil 6.16.a), düzlem içi hareketten kaynaklı X çatlakları (Şekil 6.16.a) ve düzlem dışı hareketten kaynaklı devrilme hasarları sıklıkla gözlenmiştir (Şekil 6.16.b).

6.1.4. Taşıyıcı Sistemde Gözlenen Hasarlar

6.1.4.1. Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş İlkesine Uyulmaması

Spektral büyüklükleri 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olan çok seyrek (göz önüne alınan en büyük) deprem yer hareketine maruz bir binanın taşıyıcı sisteminde ciddi derecede hasarlar meydan gelebilir. Bu deprem etkisindeki bir binanın niteliğine göre kontrollü hasar veya göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlaması beklenir. Bu durum, binaların sünek davranış sergilemisiyle mümkündür. Binanın taşıyıcı sistemi oluşturulurken kolonların güçlü, kirişlerin bu kolonlara nazaran daha güçsüz olacak şekilde tasarlanması (güçlü kolonzayıf kiriş); binaların büyük deformasyonlarda bile sistem stabilitesini korumasını ve sünek davranış sergilemesini sağlar (Şekil 6.17.a). Ancak; taşıyıcı sistemin herhangi bir katındaki kolonların kirişlerden daha önce hasar alması sistemin gevrek bir davranış sergileyerek aniden göçmesine neden olabilir (Şekil 6.17.b). Bu sebeple, taşıyıcı sistem tasarımı yapılırken güçlü kolon-zayıf kiriş prensibine uyulması beklenir. Deprem bölgesindeki bazı binalarda güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesine uyulmadığı tespit edilmiştir (Şekil 6.17.c-f).





(a)



(c)



(b)





(e)



(**f**)

Şekil 6.17. (devam) Antakya' daki binalarda meydana gelen Güçlü Kiriş-Zayıf Kolon Hasarları (a) Güçlü kolon-zayıf kiriş mekanizması (b) Zayıf kolon-güçlü kiriş mekanizması (c) Antakya-1 (d) Antakya-2 (e) Antakya-3 (f) Antakya-4.

6.1.4.2. Yumuşak Kat Düzensizlikleri



(a)





(b)





(c) (d) Şekil 6.18. Farklı bölgelerde gözlenen yumuşak kat hasarları (a) Yumuşak kat mekanizması (Ouazir vd. 2018 revize edilerek sunulmuştur) (b) Antakya-1 (c) Doğanşehir (d) Elbistan (e) İskenderun (f) Pazarcık.


(e)

(**f**)

Şekil 6.18. (devam) Farklı bölgelerde gözlenen yumuşak kat hasarları (a) Yumuşak kat mekanizması (Ouazir vd. 2018 revize edilerek sunulmuştur) (b) Antakya-1 (c) Doğanşehir (d) Elbistan (e) İskenderun (f) Pazarcık.

Yumuşak kat düzensizliği, bitişik katlar arasındaki veya diğer katların ortalama rijitliği ile karşılaştırıldığında daha az rijitliğe sahip bir kattan dolayı ani rijitlik değişimini ifade eder (Köroğlu, 2022). Deprem etkisindeki bir binada, rijitliği düşük olan yumuşak katın, göreli kat ötelenmesi diğer katlara nazaran daha fazla olur. (Şekil 6.18.a). Bu sebeple, deprem sırasında taşıyıcı sistemde ciddi hasarlar (Şekil 6.18.a) ya da yerel (yumuşak katta) göçme mekanizması meydana gelebilir (Şekil 6.18.b-f). Ayrıca, bölgede yıkılan birçok binada da yumuşak kat düzensizliğinin olduğu (genellikle dükkan/iş yeri olarak kullanılan katlarda) tespit edilmiştir.

6.1.4.3. Kısa Kolon Hasarı

Binalarda farklı nedenlerden dolayı kolonların etrafında boşluklar bırakılmaktadır. Kolonun iki yanında bulunan dolgu duvarlar kolonu rijitleştirerek deformasyon miktarını azaltır. Ancak, bırakılan boşluk o bölgenin rijitliğinin azalmasına, bu sebeple de o bölgenin daha fazla deformasyon yapmasına sebep olur. Ancak bu duruma analiz ve tasarım sırasında çoğunlukla dikkat edilmemektedir. Çünkü, binanın taşıyıcı olmayan elemanlarla etkileşime girmediği ve serbestçe yanal ötelenme yapabildiği varsayımı yaygın olarak kabul edilir (Guevara ve García, 2005). Ayrıca, kolonun net boyu düşük olan bu elemanlarda oluşan kesme kuvveti artacaktır. Bu durumdaki elemanların iyi tasarlanmaması durumunda elemanın eğilmeden değil kesmeden göçmesine neden olacaktır (Şekil 6.19). Bu durum, kısa kolonun gevrek davranış sergilemesine bu sebeple de, deprem sırasındaki yeterince enerji tüketememesine neden olacaktır. Bölgede incelenen bazı binalarda kısa kolon hasarı gözlenmiştir (Şekil 6.19.b-c). Kesme hasarı alan bu elemanlarda betondaki dökülmeler ve etriyenin kopmasıyla birlikte donatılarda burkulma olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, guseli bir kolonda hem kolonun

üstünde başlık için kullanılan gusenin hem de kolonun alt ucunda her iki tarafta duvarlar bulunması kolonun kısa kolon gibi davranmasına ve hasar almasına sebep olmuştur (Şekil 6.19).



(c)

(**d**)

Şekil 6.19. Kısa kolon hasarı (a) Kısa kolon hasar mekanizması [4] (b) Malatya' da bant pencere nedeniyle gözlenen kısa kolon hasarı (c) Kolon boyunun kısaltılmasından dolayı oluşan kısa kolon hasarı (Nurdağı) (d) Guseli kolonda kısa kolon etkisi (İslahiye).

6.1.4.4. Deprem Derzi Kaynaklı Hasar

Farklı dinamik karakteristiğe sahip iki binanın bitişik nizam olarak tasarlanması durumunda, farklı periyota sahip bu iki bina deprem sırasında faz dışı titreştiğinden dolayı binalarda çarpışma meydana gelebilir (Şekil 6.20.a). Bu çarpışma senaryosu genel olarak iki türe ayrılabilir. Bunlar aynı kat yüksekliğine sahip binalarda kat seviyelerinin birbiriyle çarpışması ve farklı kat seviyelerine sahip binalarda kat döşemesinin kolona çarpması şeklinde gözlenmektedir. İkinci tür çarpışmadan kaynaklı

kolonun orta bölgesinde yüksek kesme kuvvetleri meydana gelebilir. Bu sebeple. Bu durumun diğerinden daha kritik öneme sahip olduğu kabul edilir (Sharma, 2008). İncelenen bölgede hem birinci tür çarpışmanın (Şekil 6.20.b) hem de ikinci tür çarpışmanın olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.20.c-e).











(c) (d) Şekil 6.20. Çekiçleme hasarları (a) Çekiçleme hasar mekanizması (Sharma, 2008) (b) Çekiçleme hasarı (İskenderun-1) (c) Çekiçleme hasarı (İskenderun-2) (d) Çekiçleme hasarı (Adıyama-1) (e) Çekiçleme hasarı (Adıyama-2).



Şekil 6.20. (devamı) Çekiçleme hasarları (a) Çekiçleme hasar mekanizması Sharma (2008) (b) Çekiçleme hasarı (İskenderun-1) (c) Çekiçleme hasarı (İskenderun-2) (d) Çekiçleme hasarı (Adıyaman-1) (e) Çekiçleme hasarı (Adıyama-2).

6.1.4.5. Ağır Konsol Hasarları

Bölgede bulunan bazı binalarda ağır konsolların yapıldığı tespit edilmiştir. Bu elemanların hem ağır olması hem de konsoldaki donatı yerleşiminin yanlış yapılmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, düşey deprem etkisinde bu konsollarda ciddi iç kuvvetler oluştuğu ve bu beklenmedik iç kuvvetlerin hasarlara sebep olduğu düşünülmektedir (Şekil 6.21).





(a)

(b)

Şekil 6.21. Adana' da meydana gelen konsol hasarları.

6.1.4.6. Değişken Kesit Sebebiyle Meydana Gelen Hasarlar

Bölgede yapılan inceleme neticesinde kesit geometrisinin değiştiği bölgelerde hasarlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu betonarme elemanlardan minarelerde kaide ile gövde arasına yapılan pabuç veya küp şeklinde isimlendirilen bölgede değişken kesit bulunmaktadır. Deprem sırasında, değişken kesit nedeniyle gövdenin en alt kısmında gerilme yığılmaları meydana geldiği düşünülmektedir. Bu sebeple de minarelerin bu bölgelerden hasar aldığı düşünülmektedir (Şekil 6.22).



(a)

(b)

Şekil 6.22. Değişken kesitli elemanlarda meydana gelen hasarlar (a) İslahiye' de bir minare (b) Şekeroba' da bir minare.

6.1.4.7. Burulma Nedeniyle Meydana Gelen Hasar



Şekil 6.23. İskenderun' da burulma nedeniyle meydana gelen hasar (a) Yapısal davranış (b) Deprem sonrasındaki bina görünümü (c) Bitişik nizamdaki bina.



Şekil 6.23. (devam) İskenderun' da burulma nedeniyle meydana gelen hasar (a) Yapısal davranış (b) Deprem sonrasındaki bina görünümü (c) Bitişik nizamdaki bina.

Deprem bölgesinde bitişik nizam olarak inşa edilmiş iki binanın uzunluğu birbirinden farklıdır. Bu binalardan uzun olan binanın bitişiğindeki bina ile temasının olmadığı bölgeden hasar aldığı tespit edilmiştir. Bu durumun; bitişik nizamda bulunan binanın, hasar alan binanın salınımını değiştirdiği bu sebeple de binanın burulmaya maruz kalmasına ve hasar almasına neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 6.23).

6.1.4.8. Asmolen Döşeme Kaynaklı Hasar

Asmolen döşemeler kalıp işçiliği az, sıva ve boya yüzü az olmasından kaynaklı maliyeti düşürmesi, düz tavan görüntüsü gibi parametrelerden dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu döşeme sistemler genellikle genişliği ve yüksekliği düşük sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistemlerdeki asmolen olarak kullanılan kirişlerin bina ağırlığını artırarak binaya gelecek deprem kuvvetini artırır. Ayrıca, deprem sırasında diş doğrultusundaki döşeme rijit davranır. Ancak, dişlere dik yönde gelen bir deprem kuvvetinde dişlerin katkısı olmaz ve sadece ince döşeme tabakası yükleri ana kirişlere aktarmaya çalışır. Bu durum, taşıyıcı sistemin kat seviyelerinde rijit diyafram davranışını sergilemesinin önüne geçer. Deprem bölgesinde zemin katı yumuşak kat olan bitişik nizam halindeki üç bloklu binanın asmolen döşemeler kullanılarak inşa edildiği tespit edilmiştir (Şekil 6.24). Bu binalardan köşelerdeki binaların göçtüğü, ortadaki binanın ise ağır hasar aldığı tespit edilmiştir.



(**d**)

(e)

Şekil 6.24. Asmolen döşemeli binada meydana gelen hasarlar (a) Soldaki bina (b) Ortadaki bina (c) Sağdaki bina (d) Binadaki asmolen döşeme görseli (e) Orta binada meydana gelen hasar.

6.1.4.9. Soğuk Derz ve Kolonlarda Yeterli Filiz Bırakılmaması

Elbistan' da bulunan bir binada katlar arasında kaymalar gözlenmiştir. Bu hasarın sebebinin, beton dökümü sırasında oluşan soğuk derz veya inşaat sırasında kolonlarda yeterli filizlerin bırakılmaması olduğu düşünülmektedir (Şekil 6.25).



Şekil 6.25. Soğuk derz ve kolonlarda yeterli filiz bırakılmaması (Elbistan).

6.2. Prefabrik Yapılarda Gözlenen Hasar Tipleri

Bölgedeki prefabrik yapılarda da hasarlar gözlenmiştir. Deprem etkisindeki prefabrik yapılarda meydana gelen en önemli hasar tiplerinden biri, birleşim bölgesindeki yetersizlik nedeniyle elemanın devrilmesi veya düşmesidir (Şekil 6.26). Bu hasarların mafsallı bağlantı detaylarının iyi bir şekilde tasarlanmaması ya da uygulanmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu hasar türünden farklı olarak, bölgede bulunan prefabrik yapılarda bulunan kirişlerde aşırı sehim nedeniyle hasarlar meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 6.26.c-d).









(c)

(b)



Şekil 6.26. Prefabrik yapılarda meydana gelen hasarlar (a) Binadaki birleşim hatası (Şekeroba) (b) Binadaki birleşim hatası (Türkoğlu) (c) Açıklığın fazla olması sebebiyle oluşan sehim problemi ve kolonlarda plastik deformasyon (Narlı) (d) Açıklığın fazla olması sebebiyle oluşan sehim problemi ve kolonlarda plastik deformasyon yakın görünüm (Narlı).

6.3. Yığma Yapılarda Gözlenen Hasar Tipleri

Yığma yapılarda hasarlar belirli başlıklar altında incelenebilir. Bu başlıklar; duvarlarda düzlem dışı hasarlar, duvarlarda düzlem içi hasarlar, minare, çatı (ağır çatılar gibi), kubbe ve kemerlerde görülen hasarlar olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 6.27. Yığma Yapılar (a) düzlem dışı davranış, (b) düzlem içi davranış (Oyguç, 2011).



Şekil 6.28 Köşe detayları (a) kilit taşı eksikliği, (b) yetersiz mesnetlendirme, (c) yeterli birleşim (Oyguç, 2011).

6.3.1. Duvarlarda Düzlem Dışı Hasarlar

Yığma yapılarda deprem etkisi sonucu meydana gelen düzlem dışı davranış, yığma duvar doğrultusuna dik etki eden sismik hareket sonucu oluşur (Şekil 6.29). Düzlem dışı hasarların belirli sebepleri vardır. Bunlardan bazıları, düşük kaliteli malzeme, yetersiz işçilik, hatıl kullanılmaması, çatı ve duvar arasındaki yetersiz bağlantılar, duvar köşe birleşimlerindeki yetersizlik (Şekil 6.29) ve dış sıvaların düşmesidir (Oyguç, 2011). Deprem bölgesinin birçok noktasında düzlem dışı davranış sonucu hasarların oluştuğu gözlemlenmiştir Şekil 6.29. ve b Doğanşehir' de bulunan kerpiç evleri göstermektedir. Bu iki yapıda yetersiz malzeme, duvar-duvar ve duvar-çatı birleşimlerine bağlı olarak düzlem dışı duvar hasarları gözlemlenmiştir. Bilinmektedir ki, kerpiç elemanların neme ve suya dayanımları oldukça azdır, bu da zamanla bu yapılarda dayanım azalmasına sebebiyet vermektedir. Şekil 6.29. c ve d benzer olarak Doğanşehir' de bulunan iki kerpiç yığma evi göstermektedir. Bu iki yapıda

kullanılması gereken ahşap hatılların yetersiz kullanımı ve düşük kaliteli malzeme sonucu düzlem dışı duvar göçmesi gözlemlenmiştir.



Şekil 6.29. Bölgedeki yığma yapılarda meydana gelen düzlem dışı hasarlar (a) Doğanşehir-1 (b) Doğanşehir-2 (c) Doğanşehir-3 (d) Doğanşehir-4 (e) Gaziantep Kalesi (f) Kahramanmaraş-1 (g) Kahramanmaraş-2 (h) İskenderun (i) Pazarcık.

Şekil 6.29, kültür mirasımızın önemli eserlerinden ve yapılardan birisi olan, Gaziantep Kalesinde meydana gelen düzlem dışı duvar hasarlarını göstermektedir. Kale dört bir çevresi boyunca ciddi hasar almış ve kaleyi oluşturan taş parçaları dökülmüştür. Ek olarak, Şekil 6.29.f.' de Kahramanmaraş'ta Tarihi Acar Hamamı duvarında da düzlem dışı hasar meydana gelmiştir. Şekil 6.29.g. Kahramanmaraş Saraç Hane Camii'ni göstermektedir. Taş tipi yığma yapı ve 1700'lü yıllarda yapıldığı düşünülen bu tarihi camide Kahramanmaraş depremlerinden sonra ciddi hasar meydana gelmiştir. Kemerlerle desteklenen konsol bölümün çökmesi ve uzun duvar sisteminin yatay yük karşısında düzlem dışı göçmesi gerçekleşmiştir. Şekil 6.29.h, 1858 yılında yapımına başlanan İskenderun Latin Katolik Kilisesi'nde deprem sonucu meydana gelen düzlem dışı duvar hasarını göstermektedir. Giriş seviyesi kemerli sistemden oluşan, malzeme olarak taş ile yapılmış olan bu yapı, uzun duvarlar sonucu zayıf yönde, deprem altındaki davranışı düzlem dışı göçme ile sonuçlanmıştır. Şekil 6.29.i, Pazarcık ilçesinde bulunan bir hizmet binasında meydana gelen hasarı göstermektedir. Bu yapıda işçilik kaynaklı olarak,

yetersiz harç kullanımı sonucunda meydana gelen boşluklar duvarların düzlem dışı dayanımını azaltmış ve hasarın artmasına sebebiyet vermiştir. Ek olarak, pencere üzerinde kullanılan ahşap hatılların olduğu bölgede hasar oluşmamışken, bu ahşap hatılların bulunmadığı bölgelerde duvarlar çökmüştür.

6.3.2. Duvarlarda Düzlem İçi Hasarlar

Yığma yapılarda görülebilecek önemli hasarlardan biri de duvarların düzlem içi hasarlarıdır. Pazarcık ve Elbistan depremi sonrasında, geleneksel olarak yapılmış tek veya iki katlı yığma yapılar ile tarihi eserlerde düzlem içi duvar hasarları yaygın olarak gözlemlenmiştir. Tomazevic (2000), düzlem içi davranışı üç gruba ayırmıştır: kayma kesmesi, diyagonal kesme ve eğilme hasarları (Şekil 6.30). Şekil 6.31.a, Nurdağı'nda tuğla yığma olarak yapılmış bir konut yapısında meydana gelen diyagonal düzlem içi kesme hasarlarını göstermektedir. Şekil 6.31.b. ise, İskenderun Aziz Nikola Ortodoks Kilisesi'nde meydana gelen diyagonal kesme ve hemen üzerinde meydana gelmiş kayma kesme hasarını göstermektedir.



Şekil 6.30. Düzlem içi göçme modları: (a) Kayma kesme hasarı, (b) diyagonal kesme hasarı, (c) devrilme ve (d) tabanda ezilme Tomazevic (2000).



(a)

(b)

Şekil 6.31. Bölgedeki yığma yapılarda meydana gelen düzlem içi hasarlar (a) Nurdağı (b) İskenderun.

6.3.3. Duvar Köşelerinde Birleşim Hataları

Sahada gözlemlenen önemli hasarlardan bir tanesi de duvar köşelerindeki birleşim kaynaklı hasarlardır. Bu hasarların ilerlemesi, duvarların düzlem dışı göçmesi ile sonuçlanmaktadır. Şekil 6.32. a ve b, İskenderun Aziz Nikola Ortodoks Kilisesi güney cephesinde meydana gelen duvar birleşim hasarlarını göstermektedir. Şekil 6.32.b Şehit Pamir Caddesi üzerindeki bölümde birbirine dik olan duvarlarda ayrışma gözlemlenmiştir. Şekil 6.32.a güney cephesinde caddenin arka tarafında kalan güney-doğu köşesidir ve burada köşe duvar bağlantı eksikliğinden dolayı göçme oluşmuştur.



(a)







6.3.4. Duvar Tabakaları Arasında Bağlantı Sorunları

Özellikle tarihi taş yığma yapılarda meydana gelen bu hasar tipi, bölgede birçok yapıda gözlemlenmiştir. Şekil 6.33' de de görülebileceği gibi yapısal olmayan nesnelerde de hasarlar meydana gelmiştir. Bu hasar tipi aynı zamanda, Habib-i Neccar Camii, Beyazıtlı Camii minaresi ve Malatya Gazi İlkokulunda da meydana gelmiştir.





Şekil 6.33. Duvar tabakaları arasında bağlantı sorunu (a) Hasarsız tokalaşma sütunu (Karakuş Tümülüsü, Kahta) (b) Yıkılmış tokalaşma sütunu (Kahta) (c) Habib-i Neccar Caminin Girişi (Antakya) (d) Beyazıtlı Caminin Minaresi (Kahramanmaraş) (e) Gazi İlkokulu (Malatya).





(c)







Şekil 6.33. (devam) Duvar tabakaları arasında bağlantı sorunu (a) Hasarsız tokalaşma sütunu (Karakuş Tümülüsü, Kahta) (b) Yıkılmış tokalaşma sütunu (Kahta) (c) Habib-i Neccar Caminin Girişi (Antakya) (d) Beyazıtlı Caminin Minaresi (Kahramanmaraş) (e) Gazi İlkokulu (Malatya).

6.3.5. Minare Hasarları

Minareler narin yapılarından dolayı, deprem gibi yatay yükler altında yapısal hasar alma ihtimalleri çok yüksektir. Şekil 6.34, Karagöz Camii ve Payas'da bulunan II. Sarı Selim Camii minarelerinde meydana gelen hasarları göstermektedir. Minare hasarları, bölgede tarihi ve yeni camilerde de gözlemlenmiştir. Bu hasarlar genellikle minarenin Şerefe kısmında (kesit değişiminin olduğu bölgelerde) olduğu gözlemlenmiştir. Bunun, sebebi bu bölgelerdeki kesit değişiminin bölgesel gerilme yığılmalarına sebep olduğu düşünülmektedir.







(b)

Şekil 6.34. Gözlemlenen minare hasarları (a) Karagöz Camii, Gaziantep, (b) Payas II. Selim Camii, İskenderun.

6.3.6. Kemer ve Kubbe Hasarları

Tarihi yapılar başta olmak üzere, deprem sonrasında, yapılarda kemer, kubbe ve çatı hasarı bağlantılı göçmeler meydana gelmiştir. Kemer ve kubbeler büyük açıklıklardan oluşmaktadır. Genellikle, kemer ve kubbeler yapımı zordur ve ana yapıyla bağlantı noktaları iyi sağlanamamaktadır (Şekil 35.a ve b). Şekil 6.35.d. kubbe ve duvar hasarlarına bağlı olarak, Malatya Yeni Camii' de meydana gelen göçmeyi göstermektedir. Şekil 6.35.c. ise Adıyaman Ulu Camii'de meydana kubbe kaynaklı duvar göçmesini göstermektedir. Çatı göçmeleri, kerpiç evlerde ağır toprak çatılarda da gözlemlenmiştir.





(a)

(b)

Şekil 6.35. Gözlenen çatı hasarları (a) Aziz Nikola Ortodoks Kilisesi, İskenderun, (b) Kurtuluş Camii, Gaziantep, (c) Adıyaman Ulu Camii, (d) Yeni Camii, Malatya.



Şekil 6.35. (devam) Gözlenen çatı hasarları (a) Aziz Nikola Ortodoks Kilisesi, İskenderun, (b) Kurtuluş Camii, Gaziantep, (c) Adıyaman Ulu Camii, (d) Yeni Camii, Malatya.

6.4. Gözlenen Diğer Hasar Tipleri

Belirtilen hasarlar dışında deprem bölgesinde çatı hasarları (Şekil 6.36), buğday silolarında (Şekil 6.37), tren köprüsü hareketli mesnetinde kayma (Şekil 6.38), Pazarcık' ta sütun başlığında yetersiz kenetlenme boyundan kaynaklı sıyrılma ve istinat duvarında devrilme (Şekil 6.39) gibi hasarların meydana geldiği gözlenmiştir.





(a)



Şekil 6.36. Gözlenen çatı hasarları (a) Elbistan' da ahşap çatı (e) İskenderun' da çelik çatı.



(a)



Şekil 6.37.Buğday silolarında meydana gelen hasar (Narlı).



(a)



(b)

Şekil 6.38. Tren köprüsü hareketli mesnetinde meydana gelen kayma.





(a)

(b)

Şekil 6.39. Sütun başlığında sıyrılma (Pazarcık).





(a)

(b)

Şekil 6.40. İstinat duvarında devrilme (Antakya).

7. SONUÇLAR

6 Şubat 2023'de, Kahramanmaraş'a bağlı Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde meydana gelen Mw=7.7 ve Mw=7.6 büyüklüğündeki depremlerde oluşan yapısal hasarı ve yapıların temel yapısal özelliklerini yerinde belirlemek amacıyla Bursa Teknik Üniversitesi DEPAR araştırma ekibi, depremin hemen sonrasında bölgede detaylı olarak incelemelerde bulunmuştur. Yapılan incelemelerde elde edilen sonuçlar a) Malzeme ve Detaylandırma, b) Zemin, c) Betonarme Yapı Tasarımı ve İmalatı ve d) Yığma Yapılar başlıkları altında aşağıda özetlenmiştir:

Malzeme ve Detaylandırma

- 2000 yılı öncesi inşa edilmiş yapıların taşıyıcı sistemlerinde büyük oranda sadece düz yüzeyli donatıların kullanıldığı veya nervürlü donatılarla birlikte düz yüzeyli donatıların beraber kullanıldığı gözlemlenmiştir. Düz yüzeyli donatıların beton ile aderansının zayıf olmasından dolayı deprem esnasında kolaylıkla betondan sıyrıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bazı yapılarda nervürlü donatılarda sıyrılmalar gözlemlenmiş; bu durumun beton kalitesinin düşük olmasından kaynakladığı belirlenmiştir. Bu bağlamda beton ve donatının yeterli düzeyde kenetlenmesi hem donatının nervürlü olması hem de betonun kaliteli olması ile ilgili olduğu görülmüştür.
- 2000 yılı öncesi eski yapıların betonlarında kullanılan yuvarlak ve yüzeyi pürüzsüz tüvenan agregalar, çimento hamuru ile aderans problemi oluşturmuştur. Deprem esnasında agregalar betondan ayrılmış, betonun bütünlüğü bozulmuş ve parçalanmaya sebep olmuştur.
- Eski yapıların betonlarında maksimum agrega tane boyunun 7-8 cm'lerde olduğu gözlemlenmiştir. Agrega tane boyunun büyük olması betonun donatılar arasında akışını olumsuz etkilemiş ve çimento hamurunun kalıp boyunca homojen dağılımını engellemiştir. Ayrıca birim hacimde agregaların fazla olması hamur fazının azalmasına sebep olmuş ve betonda agregaları saracak yeterli düzeyde hamurun olmamasına neden olmuştur. Bu durum donatı-beton aderansını olumsuz etkilemiştir.
- Deprem bölgelerinde eski binalarda donatıların birçoğunda korozyona rastlanmıştır. Betonda yetersiz paspayı olması ve betonun kalitesinin düşük olması ile betonda geçirgenliğin artması sonucu korozyona sebep olacak zararlı maddelerin betonun paspayını geçerek donatının korozyonunu başlatmıştır. Donatı korozyonunun ileri aşamalarında donatıda kesit kayıplarına neden olduğu, beton-donatı aderansının zayıfladığı, donatının betondan sıyrıldığı ve betonda çatlakların olduğu gözlemlenmiştir.
- Hasar gören ve yıkılan binaların beton kaliteleri incelendiğinde, özellikle 2000 yılı öncesi eski yapıların beton kalitesinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Beton kalitesinin düşük olması, o yıllarda hazır betonun yaygın olarak kullanılmamasına ve betonun şantiye ortamında hazırlanmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca betonun yerleştirilmesi sırasında kontrolsüz ve

hesap dışı su verilmesi, tüvenan agregaların kullanılması, hamur fazının az olması ve agrega gradasyonunun uygun olmaması betonun dayanımının ve durabilite performansının düşük olmasına sebep olmuştur. Böylece betonun servis ömrü kısalmış; beton, deprem öncesi bir kısım stabilitesini kaybetmiş, deprem esnasında tamamen dağılmış ve parçalanmıştır.

- Deprem bölgesinde yeni ve eski yapıların bazılarında beton taze halde yerleştirme aşamasında segregasyonun (ayrışma) meydana geldiği gözlemlenmiştir. Segregasyon, eski yapılarda agregaların pürüzsüz olmasından, maksimum tane boyutunun çok yüksek olmasından ve gradasyonun uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Yeni yapılarda ise vibratör uygulamasının yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır.
- Deprem bölgesinde yığma yapıların birçoğunda deprem esnasında hasarlar meydana gelmiştir. Söz konusu hasarlarda harç fazının depreme karşı yeterli direnci gösteremediği ve dağıldığı gözlemlenmiştir. Özellikle harç fazında çimentolu sistem içermeyen birçok kerpiç yapıda malzemenin boyutsal stabilitesi sağlanamamıştır. Çimentolu sistemlere sahip harç kullanılan yığma yapılarda ise yeterli düzeyde harç kullanılmaması veya harcında yeterince bağlayıcının bulunmaması deprem esnasında yapının hasar görmesini sağlamış olabilir. Diğer taraftan yığma yapılarda betonarme hatılların bulunması, tasarımın doğru yapılması, harcın yeterli miktarda ve bağlayıcının güçlü olması yapının toptan göçme olmadan ayakta kalmasını sağladığı düşünülmektedir.

Zemin

- Hatay ili İskenderun ilçesi ile Adıyaman ili Gölbaşı ilçesinde zemin sıvılaşması görülmüştür. Sıvılaşma sonucunda İskenderun ilçesinde bazı yapılarda oturmalar, zeminde yanal yayılmalar, yol hasarları ve gömülü yapılarda yüzeylenmeler gözlemlenmiştir. Adıyaman ili Gölbaşı İlçesinde, sıvılaşma kaynaklı taşıma gücü yenilmeleri tespit edilmiştir.
- Yapılan saha incelemelerinde alüvyon zemine oturan yapıların sağlam zeminlere (kayalık vb.) oturan yapılara göre daha fazla hasar aldığı tespit edilmiştir. Bu durum, özellikle Hatay ili, Antakya ve İskenderun ilçelerinde, Adıyaman ili, Gölbaşı ilçesinde, Gaziantep ili, Nurdağı ve Islahiye ilçelerinde, Kahramanmaraş ili, Merkez ve Elbistan ilçelerinde belirgin bir şekilde görülmüştür.
- Hatay ili, İskenderun ilçesinde yapılan saha gözlemlerinde zemin iyileştirmesi ve/veya derin temel yapıldığı tespit edilen bazı binalarda sıvılaşma kaynaklı hasarın oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, zemin iyileştirmesi ve/veya derin temel yapılmasının zeminin sıvılaşmaya karşı direncinin arttırmadaki etkisini ortaya koymuştur.
- Hatay ili İskenderun ilçesinde sıvılaşma sebebiyle sahil kesiminin bir bölgesinde zeminden su çıkışları meydana gelmiş, çıkan su sebebiyle sahil kesiminin bir bölümünü su basmış ve bazı binaların bodrum katları su ile dolmuştur.

Betonarme Yapı Tasarımı ve İmalatı

- Betonarme perde duvarların taşıyıcı sistemine gelen taban kesme kuvvetlerinin büyük bir bölümünü karşıladığı, sistemin toptan göçmesini engellediği gözlemlenmiştir.
- Bölgedeki binalarda karşılaşılan en önemli sorunlardan biri etriyelerin yetersiz miktarda kullanılmasıdır.
- Bölgedeki birçok yapıda etriye ve çiroz detaylandırılmasına uyulmadığı tespit edilmiştir.
- Etriyelerin açılması, eksenel basınç altındaki boyuna donatının burkulmasına ve çekirdek betonun ezilmesine sebep omuştur.
- 180 derece kancalı boyuna donatı kullanılan betonarme kolonlarda, donatı çubuğuna gelen eksenel basınç yüküyle birlikte donatı çubuğunun yanal deformasyon isteğinin arttığı ve donatı çubuğunun burkulma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.
- Bölgedeki yapı stoğunun birçoğunda bulunan dolgu duvarlarda sıva çatlakları, kolon kiriş birleşimlerinden düşey ve yatay ayrılma çatlakları, düzlem içi hareketten kaynaklı X çatlakları ve düzlem dışı hareketten kaynaklı devrilme hasarları sıklıkla gözlenmiştir.
- Deprem bölgesindeki bazı binalarda güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesine uyulmadığı tespit edilmiştir.
- Bölgede yıkılan birçok binada yumuşak kat düzensizliğinin olduğu tespit edilmiştir.
- Bazı binalarda kısa kolon tespit edilmiştir.
- Bazı binalarda yeterli deprem derzi bırakılmadığı tespit edilmiştir.
- Bazı binalarda ağır konsollar yapıldığı tespit edilmiştir.
- Bazı yapı elemnanlarında kesit geometrisinin ani değişmesi elemanlarda hasara neden olabilmektedir.

Yığma Yapılar

- Yığma yapılarda çimento içeren ve içermeyen harç malzemeler deprem etkilerine karşı direnç gösterememiş ve dağılmıştır. Ayrıca taşlar arasında yeterli harç kullanılmaması veya harcında yeterli düzeyde bağlayıcının bulunmaması da yığma yapılarda hasara veya göçmeye sebep olmuştur.
- Yığma duvarların düzlem dışı davranışı sonucu yapısal hasarların oluştuğu gözlemlenmiştir
- Cami minarelerinde orta-ağır hasar veya göçmeler tespit edilmiştir. Göçmeler genellikle minare kesitinin değiştiği alt kısımda meydana gelmiştir.
- Tarihi yığma yapılarda kemer, kubbe ve çatı hasarı bağlantılı göçmeler meydana gelmiştir.

8. ÖNERİLER

Deprem bölgesinde yapılan incelemeler sonrasında, yaşadığımız bölgeleri depreme karşı güvenli hale getirebilmek için alınması gereken tedbirler ve öneriler aşağıda özetlenmiştir:

- Deprem esnasında tamamen göçerek yıkılan binalar dikkate alındığında, düz donatı ile birlikte çok düşük kalitede beton kullanılmasının belirleyici olduğu gözlenmiştir. Düz donatı kullanılmış ve aynı zamanda beton dayanımı 10MPa dan daha düşük olan binalarda güçlendirme uygulaması yerine bu binaların yıkılarak yeniden yapılması daha doğru bir seçenektir.
- 2000 yılı öncesi inşa edilmiş binaların genel olarak detaylı performans değerlendirilmesinin gerçekleştirilmesi, risk durumlarına göre güçlendirilmesi veya yıkılıp yeniden inşası gereklidir.
- Kentsel dönüşümün hızlandırılması için cazip finansman yöntemlerinin gerçekleştirilmesi gereklidir.
- Binaların proje, yapım, denetim vb. bilgilerini içeren Bina Kimlik Sertifikası sistemi ivedilikle ülke genelinde uygulanmalıdır; sorumlulular şeffaf bir biçimde ortaya konmalıdır.
- Şehirlerin bina envanteri ve risk durumları ortaya çıkarılmalı, riskli binalar arasında önceliklendirme yapılarak, kısa, orta ve uzun vadeli planlar kapsamında depreme dirençli şehirler inşa edilmelidir.
- Hastane, okul, yurt, valilik, belediye, afet koordinasyon merkezi vb. deprem sonrası hemen kullanım gerektirecek kamu binaları depremden sonra işlevine hemen devam edebilecek şekilde tasarlanmalı ve inşa edilmeli; veya depremden hemen sonra işlevine devam ettiği bilinen sismik izolasyonlu yapı sistemi kullanılarak inşa edilmelidir.
- Sıvılaşma potansiyeli olan alanlar, yumuşak zeminler, heyelan riski olan alanlar tespit edilmelidir.
- Zemin iyileştirme gereken alanlarda, zemin iyileştirmeler usulüne uygun teknik ve yöntemlerle gerçekleştirilmelidir.
- Mikrobölgeleme çalışmalarına önem verilmeli, detaylı zemin haritaları çıkartılmalıdır.
- Hazır beton firmalarının kalite kontrolü düzenli olarak bağımsız kuruluşlar tarafından yapılmalıdır. Şantiyede taze beton dökümü yetkin inşaat mühendislerin kontrolü altında yapılmalıdır. Uygulama sırasında betonun dayanım ve durabilitesini olumsuz etkileyecek maddeler betona ilave edilmemelidir. Betonda çevresel etki sınıfları ve olumsuz hava koşulları dikkate alınarak gerekli önlemler alınmalı, beton tasarımları ve uygulaması yapılmalıdır. Üretilen betonlardan yönetmeliklere uygun olarak örnek betonlar alınarak 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki minimum beton sınıfını (C25/30) sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.

- Donatı (İnşaat çeliği) üretimi yapan fabrikalar ve ürünleri düzenli olarak kontrol edilmelidir.
 Donatının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde belirtilen koşulları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.
- Depreme hazırlık konusunda ilgili bakanlık, kamu kurumları ve yerel yönetimlerin görev ve sorumlulukları olmakla birlikte bina sahiplerinin de sorumlulukları bulunmaktadır. İçerisinde yaşadıkları konutların depreme karşı güvenliğinin belirlenmesi konusunda bina sahiplerinin bireysel olarak da gerekli adımları bir an önce atması gerekmektedir. Bina sahipleri öncelikle uzmanlara başvurarak içinde yaşadıkları binaların deprem riskini öğrenmelidirler. Şayet binaları riskli ise riskin azaltılması için gerekli işlemleri zaman kaybetmeden yerine getirmelidirler.

KAYNAKLAR

ABYYHY-98 (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik) (1998). T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) (2023). 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, AFAD, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Akyüz, S., Yaltırak, C., Sunal, G., Zabcı, C., Tarı, U., Uçarkuş, G., Sancar, T., Köküm, M., Yakupoğlu, N., Kiray, H.V., Kırkan, E., Sabuncu, A., Şahin, M. (2023). 6 Şubat 2023 04.17 Mw 7,8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan) ve 13.24 Mw 7,7 Kahramanmaraş (Elbistan/Nurhak-Çardak) Depremleri Ön İnceleme Raporu, Bölüm 1: 1. Depreme Dair Jeolojik, Jeofizik, Jeodezik ve Jeomorfolojik Ön Tespitler, İTÜ, İstanbul.

Ambraseys, N. N. (1970). Some Characteristic Features of the Anatolian Fault Zone, Tectonophysics, 9(2–3), 143-165.

Aydın, M., İnan, U.İ., Zorlu, K., Servi, T., Günaydin, O. (2013). Adıyaman İlinin İstatistiksel Deprem Risk Analizi, Doğrudan Faaliyet Destek Programı (TRC1/13/DFD/3027), 71.

Barka, A. (1992). The North Anatolian Fault Zone, Annales Tecton. 6, 164–195.

Barka, A. A., Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and its Influence on Earthquake Activity. Tectonics, 7(3), 663-684.

Barnea Cohen, O., Cesca, S., Dahm, T., Hofstetter, A., Hamiel, Y., Agnon, A. (2022). Seismicity Induced at the Northern Dead Sea Transform Fault, Kinneret (Sea of Galilee) Basin, by shallow creep involving a salt body. Tectonics, 41.

Bolat, A. (2012). Adıyaman İli Kuzeyini Jeolojisi ve Petrol Potansiyeli, Yüksek Lisans tezi, yayınlanmamış, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 112 s., Adana.

Day, R. W. (2012). Geotechnical Earthquake Engineering. McGraw Hill; 2nd edition, 1-692.

Duman, T. Y., Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: Geometrysegmentation and Jog Characteristics. Geol Soc London SpecPubl 372: 495-529.

Engin, Ö. B. (2010). Hatay Bölgesi için Deprem Tehlike Analizleri. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-93

Eurocode 8 (2004). EN 1998-1:2004 Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings.

Garfunkel, Z., Ben-Avraham, Z. (1996). The Structure of the Dead Sea Basin, Tectonophysics 255, 155–176.

Guevara, L. T., García, L. E. (2005). The Captive-and Short-Column Effects. Earthquake Spectra, 21(1), 141-160.

İleri, E. (2018). Nüfus ve Yerleşme Coğrafyasi Bakimindan İslahiye, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya anabilim dali, İstanbul.

Karabacak, V., Altunel, E., Meghraoui, M., Ferry, M., Bertrand S. (2006). Ölü Deniz Fay Zonu'nun Amik Ovası (Antakya) ve Türkoğlu (Kahramanmaraş) Civarında Holosen Aktivitesi, ATAG10 - Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, 2 – 4 Kasım 2006, İzmir.

Köroğlu, A. (2022). Rehabilitation of Building Structures with Soft Story Irregularity via Optimal Viscous Damper Distribution. Graduate School of Science and Engineering of Hacettepe University as a Partial Fulfillment to the Requirements for the Award of the Degree of Master of Science in Civil Engineering.

Kürçer, A., Elmacı, H., Özdemir, E., Güven, C., Özalp, S. (2023). Kahramanmaraş Depremleri Genişletilmiş Bilgi Notu, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara.

McKenzie, D. P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30, 109-185.

Mollamahmutoğlu, M., Babuççu, F. (2021). Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Akademisyen Kitabevi, 1-300.

Oyguç, R. A. (2017). 2011 Van Depremlerinden Sonra Yığma Yapılarda Gözlemlenen Hasarlar. BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 19(2), 296-315.

Özşahin, E. (2010). Antakya'da (Hatay) Yer Seçiminin jeomorfolojik Özellikler ve Doğal Risk Açısından Değerlendirilmesi. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 13(23), 1-16.

Perinçek, D., Eren, A. G., (1990). Doğrultu atımlı Doğu Anadolu ve Ölü Deniz fay zonları etki alanında Gelişen Amik Havzası'nın kökeni, 8. Petrol Kongresi, 180-192.

Sarıgul, O., Turoğlu, H. (2020). Flashflood and flood geographical analysis and foresight in Kahramanmaraş city. Cografya Dergisi. Advance online publication.

Saroglu, F., Emre O., Boray A. (1987). Turkiye'nin diri faylari ve depremsellikleri, Min. Res. Expl. Inst. Turkey Rept. No. 8174.

Sevimli, U. İ. (2022). Adıyaman ve Civarının İstatistiksel Deprem Risk Analizi Geosound 56(1), 62-80.

Şengör, A. M. C. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları (Fundamentals of the neotectonics of Turkey). Geological Society of Turkey, Conference series 2, Ankara, 40 p [in Turkish].

Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F. (1985). Strike slip faulting and related basin formations in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: K.T. Biddle and N. Christie Blick (Editors), Strike-Slip Faulting and Basin Formation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma. Special Publication No. 37, 227 – 264.

Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach: Tectonophysics. 75, 181-241.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2019). Asi ve Seyhan Havzaları Taşkın Yönetim Planının Hazırlanması Projesi. Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı.

TMMOB (Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği) (2021). Jeoloji Mühendisleri Odası, Fay Üzerinde Yaşayan İllerimi-Kahramanmaraş Raporu-9, Jeodergi, 22.

Tomazevic, M. (2000). Shaking Table Tests of Small-Scale Models of Masonry Buildings: Advantages and Disadvantages, Massivbau: Forschung, Entwicklungen, Anwendungen.

TBDY-2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

URL-1, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM), <u>http://udim.koeri.boun.edu.tr</u>, Erişim tarihi: 22.02.2023.

URL-2, Maden Tetkik ve Arama (MTA), 2013. Yenilemiş Diri Fay Haritaları. https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay haritalari, Erişim Tarihi: 22.02.2023.

URL-3, T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, https://deprem.afad.gov.tr/map, Erişim tarihi: 20.02.2023. URL-4, T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog, Erişim tarihi: 22.02.2023.

URL-5, Türkiye Radyo Televizyon Kurumu, <u>https://www.trthaber.com/haber/</u>, Erişim Tarihi: 23.02.2023.

URL-6, Adıyaman Üniversitesi Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, <u>https://uzalcbs.adiyaman.edu.tr/tr/haritalar/jeoloji-haritasi</u>, Erişim tarihi: 23.02.2023.

URL-7, Afad Tadas. Türkiye İvme Veritabanı Ve Analiz Sistemi, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye <u>https://tadas.afad.gov.tr/map</u>, Erişim tarihi: 17 Şubat 2023.

Wdowinski S., Zilberman E. (1996). Kinematic Modelling of Large-Scale Structural Asymmetry Across the Dead Sea Rift, Tectonophysics 266,187–201.

Westaway, R. (1994). Present day kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean, J. Geophys. Res. 99, 12071–12090.

Worden, C. B., Gerstenberger, M. C., Rhoades, D. A., Wald, D. J. (2012), Probabilistic Relationships between Ground-Motion Parameters and Modified Mercalli Intensity in California, Bulletin of the Seismological Society of America, 102(1), 204-221.

TEŞEKKÜR

Bu raporun hazırlanması sırasında deprem bölgelerinde gerçekleştirilen saha çalışmaları "TÜBİTAK 1002-C Doğal Afetler Odaklı Saha Çalışması Acil Destek Programı" kapsamında TÜBİTAK tarafından 2 adet proje desteklenmiştir. Ayrıca saha çalışmaları sırasında bizlere ulaştırmada destek olan Bursa Teknik Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Hatay saha çalışmalarında bizlere vakit ayırıp destek olan Dr. Öğretim Üyesi Ali BİRVURAL ve Öğretim Görevlisi Burak ERDOĞAN'a ve rapor formatının düzenlemesinde yardımcı olan Arş. Gör. Damla YILMAZ'a teşekkür ederiz.



6 ŞUBAT 2023

Kahramanmaraş Depremleri Pazarcık [Mw=7.7] ve Elbistan [Mw=7.6], İnceleme ve Değerlendirme Raporu



BTÜ-DEPAR RAPOR 2023/02