

## 24 Ocak 2020 Elazığ Depreminde Hasar Gören Yapıların Sismik Davranışlarının İncelenmesi

Reşat Atalay Oyuç<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, 34469, Maslak/İstanbul, Türkiye*  
(ORCID: [0000-0002-9874-3763](https://orcid.org/0000-0002-9874-3763))



**Anahtar kelimeler:**  
Sismik davranış, 2020 Elazığ depremi, Betonarme ve yığma yapılar, Cami minareleri.

**Öz**

24 Ocak 2020 tarihinde merkez üssü Elazığ ilinin Sivrice ilçesi olan orta büyüklükte bir deprem meydana gelmiştir. Bu deprem bölgede büyük ölçekte can kaybına ve mali kayıplara yol açmıştır. Deprem büyüklüğü orta düzeyde olmasına rağmen, yapılarda oluşturduğu hasar incelemeye değerdir. Gözlenen hasarın temel nedeni olarak düşük kaliteli yapı stoku gösterilebilir. Bu çalışmada, bölgedeki betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip bina türü yapıların yanı sıra cami minarelerinin sismik davranışları incelenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle depremden etkilenen alan hakkında genel bilgiler verilmiş, gözlenen hasarların istatistiksel dağılımı incelenmiş ve yürütülen yeniden yapılandırma çalışmaları tartışılmıştır. Sonrasında, genel jeolojik yapı ve daha önceki tarihi depremler incelenmiştir. Depreme ait bilgiler özetlendikten sonra, betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip binalar ve cami minarelerinde gözlenen hasarlar detaylı olarak paylaşılmıştır. Bu çalışma düşük kaliteli yapıların deprem performanslarının ve davranışlarının anlaşılmasına ışık tutacak olup, bölgedeki yapıların sismik kapasitelerinin uygun bir güçlendirilme yöntemi ile iyileştirilmesi gerekliliğini ortaya koyacaktır. 2020 Elazığ depreminden sonra hasar gören yapılar üzerinde yapılan bu ve benzeri incelemelerin gelecekte olması muhtemel depremlere kadar yapıların sismik performanslarının iyileştirilmesine vesile olacağı düşünülmektedir.

## Seismic Assessment of Damaged Buildings after 24 January 2020 Elazığ Earthquake

**Keywords:** Seismic behavior, 2020 Elazığ earthquake, Reinforced concrete buildings, masonry dwellings, mosque minarets.

**Abstract**

On January 24, 2020, a medium-magnitude earthquake hit the Province of Elazığ which is established in the eastern part of Turkey. The epicenter of the excitation was reported to be at Sivrice village. Although the ground excitation may be classified as a medium one, the damage to structures was found to be dared to investigate. The main reason of this excessive damage is because of the poor-quality building stock of the affected region. In this study, the seismic behavior of reinforced concrete buildings, masonry dwellings and mosque minarets were examined. General information about earthquake affected region was first discussed. Then, observed damage distribution and conducted resettlement studies were examined. The seismicity of the region and past earthquakes were considered to bring forward the effectiveness of the current excitation. After considering the parameters of the mentioned excitation, the reasons of the observed damage during the in-situ investigations were argued in terms of reinforced concrete buildings, masonry dwellings and mosque minarets. This study is expected to highlight the understanding

\*Sorumlu yazar: [oyuc@itu.edu.tr](mailto:oyuc@itu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 25.09.2021, Kabul Tarihi: 26.11.2021

of the seismic behavior of low-quality structures, and it is expected to encourage developments that will help enhance the seismic capacity of existing buildings in the region. It is believed that studies on the reasons of the observed damage after 2020 Elazığ ground excitation will help to enhance the seismic performance of building type structures against future earthquakes.

## 1. Giriş

Mevcut tarihi kaynaklara göre Elazığ ilinin geçmişi M.Ö. 2000 yıllarında ilk olarak Hurriler tarafından kurulmuş olan Harput kentine kadar gitmektedir. Günümüzde hala ayakta olan Harput kalesi, burada uzun süre hüküm süren Urartuların izlerini taşımaktadır. Harput, günümüz Türkçesinde Taş Kale anlamına gelmektedir. Elazığ iline bağlı 11 ilçe, 151 mahalle ve 550 köy bulunmakta olup, ilin nüfusu Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) [1] tarafından yaklaşık 591000 olarak açıklanmıştır. Bu nüfusun yaklaşık %74'ü il merkezinde, %26'sı kırsal kesimde yaşamaktadır. Elazığ ili sosyoekonomik gelişmişlik sıralamasında 81 il içerisinde 39. sırada, illerin gelişmişlik seviyesinde ise 28. sırada yer almakta olup, kişi başı gayri safi yurt içi hasılası (GSYİH) 6674 dolar ile Türkiye ortalamasının yaklaşık yarısıdır [2].

24 Ocak 2020 saat 20:55'te, merkez üssü Elazığ ilinin Sivrice (38.3593° enlem ve 39.0630° boylamı) ilçesi olarak belirlenen, en büyük ivme (PGA) değeri 292.77 gal ve etkin süresi 20.3 s olarak tespit edilen bir deprem meydana gelmiştir. Depremin moment büyüklüğü Mw 6.8 ve odak derinliği ise 8.05 km'dir. Deprem üssünün Elazığ iline uzaklığı 36.47 km, en yakın yerleşim yeri olan Çevrimtaş beldesine uzaklığı ise 0.81 km'dir. Depremden sonraki iki aylık süreçte 6424 artçı deprem kaydedilmiş olup bunlardan 38 tanesinin büyüklükleri Mw 4'ten büyüktür [3]. Depremden en çok etkilenen iller olan Elazığ, Malatya ve Diyarbakır'da toplam can kaybı 41, yaralı sayısı ise 1607'dir.

Depremden sonra T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) hasar değerlendirme ekipleri tarafından Elazığ'ın Merkez, Baskil, Karakoçan, Keban, Kovancılar, Maden, Palu ve Sivrice ilçelerinde gözlemsel bir hasar tespit çalışması yürütülmüştür. Hasar tespit çalışması yürütülen bölge Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu incelemeler neticesinde söz konusu ilçelerdeki konutların yanı sıra, okullar, resmi yapılar, camiler, ticarethaneler, depolar, müstemilatlar, ortak alanlar, ahırlar ve samanlıklar incelenmiş olup, 84385 binada gözlenen hasarlar derecelendirilmiştir. Bu derecelendirmenin özeti Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, Elazığ ili genelinde incelenen bölüm toplam sayıları dikkate alınır, bölümlerin

%13.7'si yıkık, acil yıkılacak ve ağır hasarlı kategorisinde, %2.9'u ise orta hasarlı kategorisinde yer almaktadır. 2002 yılında afet yönetimi alanında araştırmalar yapmak amacı ile kurulmuş olan Afet Yönetimi ve Risk Azaltma Teknoloji Merkezi'nin (CEDIM) depremden sonra yayınladığı raporunda tahmin edilen hasar 1.13 milyar dolar olarak açıklanmıştır [4]. Bu rakam, Elazığ ilinin GSYİH değerinin %46.1'ine karşı gelmektedir. CEDIM, bu oranın %33'ten fazla olduğu durumlarda ilgili afetin şiddetli olarak değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir.



Şekil 1. Elazığ ili bölge haritası.

Depremden sonra yürütülen hasar değerlendirme çalışmaları tamamlandıktan sonra Elazığ il Valiliği tarafından üç aşamalı yeniden yapılandırma planı açıklanmıştır. Buna göre, depremden etkilenen halk öncelikli olarak konteyner kentlerde barındırılacak, sonrasında ise kentsel dönüşüm projesi kapsamında ya da kent dışına kurulacak yeni afet yerleşkelerinde hak sahibi olacaktır. Bu amaçla ilk etapta Aşağıdemirtaş, Kırklar, Doğukent mahalleleri ve Sivrice ilçesinde geçici konaklama merkezleri kurulmuştur. Dört konaklama merkezinde toplam 1745 ailenin (yaklaşık 6000 kişi) barındığı 980 konteynerin ise boş olduğu bildirilmiştir [5].

Yaklaşık 3 aylık bir süreçte, Tablo 1'de acil yıkılması gereken ve ağır hasarlı olarak belirtilen toplam 36291 bölümden 6048 tanesinin yıkımı tamamlanmış ve hak sahipliği işlemleri başlatılmıştır. Yeniden yapılanmanın ikinci aşaması olarak, Elazığ merkez ve Sivrice ilçelerinde kentsel dönüşüm çalışmaları yapılması kararlaştırılmış ve bu kapsamda depremden en çok etkilenen bölgeler belirlenmiştir: Karşıyaka, Kızılay, Sürsürü, Mustafapaşa, Rüstempaşa,

Abdullahpaşa mahalleleri ve Sivrice ilçesi. Bu bölgelerde, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) tarafından toplam 6596 konut inşa edilmesi kararlaştırılmış olup, Mayıs 2021 itibari ile bu konutların Abdullahpaşa ve Mustafapaşa mahallelerinde %85'i, Rüstempaşa mahallesinde %75'i, Sürsürü mahallesinde %83'ü, Karşıyaka'da tamamı ve Sivrice'de %60'ı tamamlanmıştır [6], [7].

Yeniden yapılandırma çalışmasının son etabı olarak il ve ilçe merkezlerinde afet konutları inşa edilmeye başlanmıştır. Buna göre, 11502 tanesi Elazığ şehir merkezi rezerv alanında olmak üzere, Elazığ ilindeki rezerv alanlarında toplam 12598 afet konutu inşa edilmesi kararlaştırılmıştır. Yanı sıra, kırsal bölgede toplam 2015 tek katlı konut inşa edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmalar neticesinde kentsel dönüşüm alanlarında 6596 konut, rezerv alanlarda 12598 konut ve köy evleri rezerv alanlarında 2015 konut olmak üzere toplam 21209 konut inşa edilmektedir [6]. Türkiye'de

başlatılmış olan en büyük kentsel yeniden yapılandırma projesi olarak lanse edilen bu çalışma tamamlandığında Elazığ ilçeleri ve kırsalının modern bir görünüme kavuşacağı aşikardır. Açıklanan bu çalışmalara ait örnek fotoğraflara Şekil 2'de yer verilmiştir.

Depremlerden sonra sahada yapılan çalışmaların gelecekte olası yer hareketlerine karşı dayanıklı yapı tasarlanmasına katkı sağladığı aşikardır. Deprem bölgelerinde yapılacak sismik risk belirleme çalışmalarında, geçmiş depremlerden elde edilen can kaybı ve yapı hasar envanterlerinin önemli rol oynadığı bilinmektedir. İnceleme bölgesinde tespit edilen kusurlar mühendisler arasında aktararak yeni yapılacak yapıların bu kusurlardan uzak olması sağlanmaktadır. Söz konusu depremin ardından İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) bölgede bir saha çalışması düzenlemiş ve yazar da bu çalışmada aktif rol alarak bölgedeki yapılardaki hasarların nedenlerini araştırmıştır.

**Tablo 1.** Elazığ Merkez ve çevre ilçelerdeki hasar dağılımı

Hasar Sonuç		Acil	Ağır	Az	Hasarsız	Orta	Tescilli	Yıkık	Topla
		Yıkılacak	Hasarlı	Hasarlı		Hasarlı			m
<b>Baskil</b>	Bina	50	1016	1513	1643	9	0	35	4266
	Bölüm	86	1946	2532	2532	36	0	56	7188
<b>Karakoçan</b>	Bina	17	1174	1563	4662	23	0	47	7486
	Bölüm	32	1575	2376	11416	91	0	55	15545
<b>Keban</b>	Bina	0	73	10	13	0	0	0	96
	Bölüm	0	141	17	24	0	0	0	182
<b>Kovancılar</b>	Bina	33	1106	1165	3307	21	0	29	5661
	Bölüm	46	1635	2432	10433	67	0	37	14650
<b>Maden</b>	Bina	19	1076	1499	2509	4	0	18	5125
	Bölüm	44	2247	2837	4511	30	0	32	9701
<b>Merkez</b>	Bina	515	8341	16804	26774	862	17	408	53721
	Bölüm	1907	22566	71750	110792	7612	20	1519	216166
<b>Palu</b>	Bina	12	729	936	2202	8	0	16	3903
	Bölüm	17	1227	1548	4926	22	0	19	7759
<b>Sivrice</b>	Bina	148	1442	1057	1316	56	1	107	4127
	Bölüm	306	2516	1733	1838	130	1	178	6702
<b>Toplam</b>	<b>Bina</b>	<b>794</b>	<b>14957</b>	<b>24547</b>	<b>42426</b>	<b>983</b>	<b>18</b>	<b>660</b>	<b>84385</b>
	<b>Bölüm</b>	<b>2438</b>	<b>33853</b>	<b>85225</b>	<b>146472</b>	<b>7988</b>	<b>21</b>	<b>1896</b>	<b>277893</b>



Şekil 2. Yeniden yapılandırma etaplarına ait örnekler.

## 2. Bölgenin Genel Jeolojik Yapısı

Depremi merkez üssü ve en çok etkilediği iller ülkenin doğu bölgesinde olup, aynı zamanda Doğu Anadolu Fay (DAF) sistemi üzerinde yer almaktadır. DAF, Kuzey Anadolu Fay (KAF) sisteminden sonra ülkemizin ikinci büyük fay sistemi olup, Arap ve Anadolu plakaları arasında 580 km uzunluğunda sol-yanal atımlı bir fay sistemi oluşturmaktadır. Bu fay sistemi üzerinde tarih boyu sığ ve etkin depremler raporlanmıştır.

Literatürde DAF sisteminin alt kısımlarını belirleyebilmek için birçok çalışma yapılmıştır. Hempton ve Dewey [8], Şaroğlu vd [9], Barka ve Kadinsky-Cade [10], Duman ve Emre [11] çalışmalarında DAF sistemi için farklı sayılarda esas ve alt kollar önermişlerdir. Burada Duman ve Emre [11] çalışması dikkate alınarak değerlendirilmeler yapılacaktır. Buna göre, DAF sisteminin esas kolları güney ve kuzey kollar ile Karasu çukurundan oluşmaktadır. Güney esas kol Karlıova ve Antakya bölgeleri arasında olup 580 km uzunluğundadır. Bu kolun alt kısımları Kuzey Doğudan (KD) Güney Batıya (GB) doğru; Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos'tur. 2020 Elazığ depremi DAF sisteminin güney esas sistemi üzerinde bulunan Pütürge alt

segmenti üzerinde olmuştur. 2020 Elazığ depremi ve artçılarının meydana geldiği kısım daha önce büyük bir deprem üretmemiştir. Buna göre bu fay kesimi “sismik boşluk” olarak adlandırılabilir.

DAF sistemi üzerinde tarihsel dönemde meydana gelen yıkıcı depremler; 1544 Elbistan, 1568 Lazkiye, 1626 Halep, 1726 Harim, 1738 Amik Gölü, 1789 Elazığ, 1796 Lazkiye, 1822 Antakya, 1866 Elazığ, 1872 Hatay, 1873, 1874, 1875 Elazığ depremleri olarak belirtilebilir. Bu depremler arasında 1789 Palu/Elazığ depremine özel bir yer ayırmak gerekmektedir. Bu depremin yüzey dalgası ( $M_s$ ) büyüklüğü  $0 \leq M_s \leq 7.8$  arasındadır. Söz konusu depremden sonra yaklaşık 75 km yarıçaplı bölgede 51000 kişi hayatını kaybetmiştir [3].

Bölgede aletsel dönemde kaydedilen sismik hareketler 1905 Malatya depremi ile başlatılabilir. Bu depremi takiben; 1945 ve 1952 Adana depremleri, 1964 Adıyaman, 1971 Bingöl, 1986 Malatya, 1997 Hatay, 1998 Adana, 2003 Bingöl, 2004 ve 2007 Elazığ depremleri, 2010 Elazığ ve 2020 Elazığ depremleri kaydedilmiştir. Bu depremlerin büyüklüklerine ve yerlerine ait veriler Tablo 2’de özetlenmiştir.

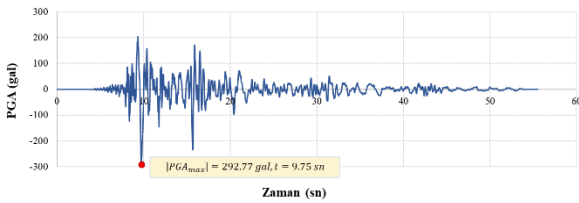
**Tablo 2.** Aletsel dönemde kaydedilen büyüklüğü 5.0’ten büyük olan depremler

Tarih	Yer	Büyüklük
04.12.1905	Malatya (Pütürge)	$M_s = 6.8$
20.03.1945	Adana (Ceyhan)	$M_s = 6.0$
22.10.1952	Adana (Misis)	$M_s = 5.6$
14.06.1964	Adıyaman (Sincik)	$M_s = 6.0$
22.05.1971	Bingöl	$M_s = 6.8$
05.05.1986	Malatya (Sürgü)	$M_s = 6.0$
22.01.1997	Hatay (Samandağ)	$M_s = 5.7$
27.06.1998	Adana (Yüreğir)	$M_s = 6.2$
01.05.2003	Bingöl	$M_s = 6.3$
11.08.2004	Elazığ (Sivrice)	$M_s = 5.6$
09.02.2007	Elazığ (Sivrice)	$M_s = 5.5$
21.02.2007	Elazığ (Sivrice)	$M_s = 5.7$
08.03.2010	Elazığ (Kovancılar)	$M_s = 6.1$
24.01.2020	Elazığ (Sivrice)	$M_s = 6.8$

Her ne kadar DAF sisteminde oluşan depremlerin tekrarlanma periyotlarını hesaplayabilmek için yeteri kadar veri olmasa da Duman ve Emre [11] yaptıkları çalışmada Pütürge, Pazarcık ve Amanos fay segmentlerinin gelecek zamanlarda büyük ve yıkıcı depremler oluşturabileceklerini belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada yazarlar, Gökdere sıkışma bükümünün orta büyüklükte depremler, kuzey kolun ise yıkıcı depremler meydana getirme potansiyeline sahip oldukları sonucuna varmışlardır. 2020 Elazığ depreminin belirtilen segmentlerde yer aldığı düşünülürse bu bulgu çok önem kazanır.

### 3. 2020 Elazığ Depreminin Özellikleri

Elazığ depremine ait kayıtların incelenmesinden en büyük ivme değerinin Sivrice 2308 istasyonunda ölçüldüğü anlaşılmaktadır. Bu istasyonda en büyük deprem ivme değeri doğu-batı doğrultusunda 292.77 gal olarak ölçülmüştür. İstasyonun deprem merkez üssüne olan uzaklığı 23.81 km, odak mesafesi 25.14 km, Joyner Boore mesafesi 17.86 km ve fay uzunluğu 17.89 km olarak açıklanmıştır. Şekil 3'te en büyük ivme değerinin ölçüldüğü Sivrice istasyonuna ait ivme-zaman grafiğine yer verilmiştir. 0.1-25 Hz aralığında Butterworth filtrelemesi yapılarak, Sivrice istasyonu için en büyük hız  $PGV = 40.3$  cm/sn, en büyük yerdeğiştirme  $PGD = 11.4$  cm olarak elde edilmiştir [3].



Şekil 3. 2308 Sivrice istasyonundan elde edilen doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği [12].

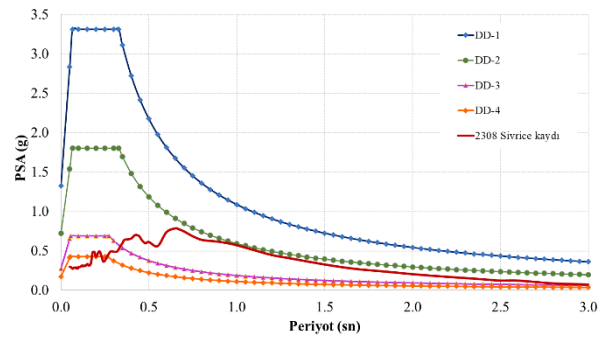
2020 Elazığ depreminden etkilenen bölgenin sismik riskini belirleyebilmek amacı ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY) [13] tanımlanan dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem parametreleri hesaplanmıştır. Burada, DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 yer hareketi düzeyleri 50 yılda aşılma olasılıkları sırası ile %2, %10, %50 ve %68 olan depremlere karşı gelmektedir. Bu depremlerin tekrarlanma periyotları ise sırasıyla 2475, 475, 72 ve 43 yıldır. Bu dört deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan parametreler Tablo 3'te gösterilmiştir. Burada,  $S_s$  kısa periyot harita spektral ivme değerini,  $S_1$ , 1.0 saniye periyoda karşı gelen harita spektral katsayısını,  $S_{DS}$ , kısa periyot

tasarım spektral ivme katsayısını,  $S_{D1}$  ise, 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir.

Tablo 3. Farklı deprem yer hareketi düzeyleri için deprem parametreleri

2308 Sivrice İstasyonu				
PGA (DD-2 deprem yer hareket düzeyi için): 0.622 g				
	DD1	DD2	DD3	DD4
$S_s$	2.762	1.504	0.539	0.330
$S_1$	0.778	0.396	0.126	0.075
$S_{DS}$	3.314	1.805	0.692	0.429
$S_{D1}$	1.089	0.594	0.189	0.113
PGA	1.101	0.622	0.230	0.145
PGV	82.291	44.035	12.853	7.463

Tablo 3'te verilen deprem parametreleri kullanılarak TBDY [13]'de tanımlanan dört farklı yer hareketi düzeyine ve Sivrice istasyonundan alınan kayda ait spektral ivme-periyot değişim grafikleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere, 24 Ocak Elazığ depremi, bölge tasarım depremine erişememiş, altında kalmıştır. Bu boyutta bir depremin yapılara verdiği hasar ise bölge yapı stoku hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 4. Sismik risk seviyeleri için tasarım spektrumu.

### 4. Yerinde Yapılan Hasar Değerlendirmeleri

Elazığ şehrinin yapı stoku betonarme ve yığma yapılardan oluşmaktadır. Yerinde yapılan incelemelerde, bu yapıların büyük bir çoğunluğunun mühendislik hizmeti almadığı ve mühendislik kurallarına uyulmadan yapı sahipleri tarafından inşa edildikleri anlaşılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar deprem sırasında yapıların sismik performanslarının inşaat kaliteleri ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Ulusal yapı denetim yasanın bölgede 2011 yılı itibari ile uygulanmaya

başlaması ve bölgedeki yapıların çoğunun bu tarihten önce yapılmış olması nedeniyle bu yapıların güncel Türk deprem yönetmeliğinde hedeflenen performans düzeylerini yakalayamadığı belirlenmiştir. Köy yerleşkelerinde bulunan yapıların büyük çoğunluğunun kerpiçten imal edilmiş olduğu ve bu sistemin yatay ahşap kirişlerle desteklendiği belirlenmiştir. Bu tarz yapıların büyük bir çoğunluğunun ağır toprak çatıya sahip oldukları görülmüştür.

Bu bölümde, söz konusu depremden sonra sahada yürütülen hasar tespit çalışmalarından elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Buna göre, tespit edilen hasarların nedenleri üç ana başlık altında incelenmiştir: İlk bölümde şehir merkezinde yer alan betonarme yapısal sisteme sahip olan binalar; ikinci bölümde kırsal bölgede hâkim olan yığma yapılar ve üçüncü bölümde minare tarzı yapılarda gözlenen hasarlar ve nedenleri tartışılmıştır.

#### 4.1. Betonarme Yapılarda Tespit Edilen Hasarlar

Yerinde yapılan incelemelerde, betonarme yapılarda tespit edilen hasarların aşağıda belirtilen bir veya birkaç maddenin bir arada etkimesi sonucunda ortaya çıktığı düşünülmektedir: basınç dayanımı düşük beton kullanımı, kolon ve kiriş elemanlarda eğilme ve kesme hasarları, kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarlar, sargı eksikliği ve yetersiz donatı kullanımı, kısa kolon etkisi, perde duvar hasarı, yapının oturmasından dolayı oluşan hasarlar, yapı sahiplerinin verdiği hasarlar ve yapısal olmayan hasarlar.

##### 4.1.1. Basınç Dayanımı Düşük Beton Kullanımı

Depremden sonra Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) tarafından yerinde incelemeler yapılmış ve bölgede hasar gören birçok betonarme yapıda düşük dayanıma sahip beton kullanıldığı rapor edilmiştir. Ayrıca THBB tarafından hasar gören yapılarda karot numuneler alınmış ve incelenen binaların beton sınıflarının C6 ile C12 arasında değiştiği belirtilmiştir [14].

Her ne kadar Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) [15] ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [13] hazır beton kullanılmasını zorunlu kılsa da hasar gören yapılarda elle dökülmüş beton kullanıldığı ve agrega dane çapının büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni olarak, ulusal yapı denetim uygulamasının bölgede 2011 yılında başlamış olması gösterilebilir.

Literatürde birçok deneysel çalışma ile betonun herhangi bir yüke maruz kalmadan kendi bünyesinde mikro-çatlaklar içerdiği gözlenmiştir. Bu çatlakların genellikle agrega ve çimento bulamacı arasında ortaya çıktığı ve dış yüke maruz kalan beton elemanda bozulmalara yol açtığı deneysel çalışmalar ile kanıtlanmıştır. Bu nedenle betonarme taşıyıcı sisteme sahip olan yapılarda betonun basınç dayanımı çok önemli bir role sahiptir. DBYBHY [15] yeni yapılacak betonarme yapılarda betonun minimum basınç dayanım değerinin 20 MPa olmasını öngörürken, TBDY [13]'de bu değer 25 MPa'a yükseltilmiştir. Hasar gören bölgede yapılan incelemelerde, anılan yönetmeliklerde belirtilen dayanım sınırlarının çok altında kaldığı anlaşılmıştır. Şekil 5'te inceleme konusu bölgede basınç dayanımı düşük beton eleman kullanım örneklerine yer verilmiştir.



Şekil 5. Düşük dayanımlı beton kullanımı örnekleri.

##### 4.1.2. Kolon Elemanlarda Gözlenen Eğilme ve Kesme Hasarları

Depremlerden sonra kolon elemanlarda gözlenen hasarlar iki başlık altında toplanabilir: (a) çevrimsel eğilme hasarı ve (b) çevrimsel kesme hasarı. Çevrimsel eğilme hasarları genellikle kolon elemanın üst ve alt bölgelerinde gözlenir. Bu tarz hasarlar genellikle orta ve yüksek narinlik oranlarına sahip kolon elemanlarında gözlenir. Kolon elemanın üst ve alt bölgelerinde biriken yüksek moment aksel kuvvet ile birleşince kolonun her iki yüzünde beton basınç bölgesinde ezilme meydana gelir. Bu bölgedeki donatı eksikliği söz konusu hasarın yaygınlaşmasına yol açar [16]. Çevrimsel eğilme hasarında öncelikle basınç bölgesindeki ezilmeden dolayı kabuk betonu dökülerek donatıyı açığa bırakır. Ardından basınç etkisi altındaki donatılarda burkulma gözlemlenir. Kolon elemanda hem ani rijitlik azalımı hem de düşey yüklerini taşıyabilme kapasitesi azaldığı için kolon elemanlarda oluşan eğilme hasarları ciddi tehlikeler oluştururlar. 24 Ocak depreminin ardından sahada yapılan incelemelerde kolon elemanların en çok eğilme hasarlarına maruz

kaldıkları tespit edilmiştir. Şekil 6'da bu tarz hasarlara örnekler gösterilmiştir.



Şekil 6. Çevrimsel eğilme hasarı örnekleri.

Kolon elemanların kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin yetersiz olduğu durumlarda çevrimsel kesme hasarı oluşmaktadır. Kesme çatlakları yaklaşık 45° eğimli çatlaklar olarak görülmektedir [17]. Genellikle, kısa kolon oluşumlarında ve kolon kesitlerinin fazla olduğu en alt katlarda bu tarz hasarlar gözlenmektedir. Şekil 7'de deprem bölgesinde kesme hasarı alan kolon elemanlara yer verilmiştir.

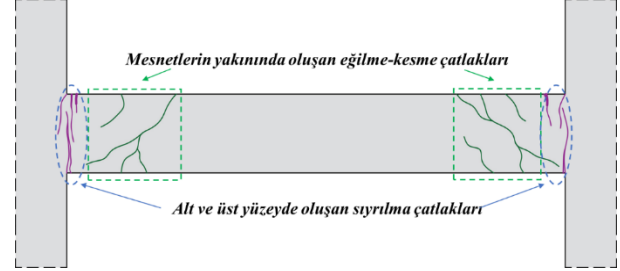


Şekil 7. Çevrimsel kesme hasarı örnekleri.

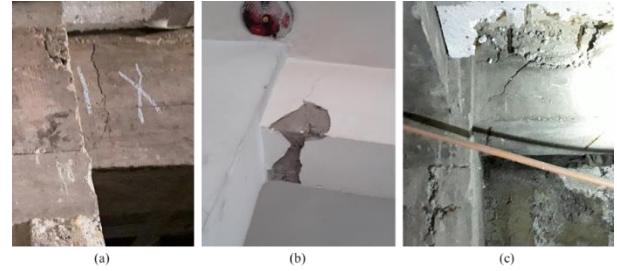
#### 4.1.3. Kiriş Elemanlarda Gözlenen Eğilme ve Kesme Hasarları

Geçmiş depremlerden elde edilen tecrübe ile kiriş elemanlarda gözlenebilecek deprem hasarları Şekil 8'de gösterilmiştir [16]. Depremlerden sonra kiriş elemanlarda en sık gözlenen hasar tipi kiriş mesnetlerine yakın yerlerde oluşan eğilme-kesme çatlaklarıdır. Yapı stabilitesi üzerine olumsuz etkisi azdır. Diğer bir hasar türü ise kiriş üst ve alt yüzeylerinde oluşan sıyrılmaya hasarlarıdır. Bu hasar

tipinde, kiriş alt yüzeyinde gözlenen çatlaklar genellikle alt donatının mesnetlere iyi ankre edilememesi nedeniyle oluşur. Tali kirişlerin esas kirişe mesnetlendiği noktalarda kesme ya da eğilme çatlakları görülebilmektedir. Deprem bölgesinde yapılan incelemelerde kiriş elemanlarında gözlenen hasarlara Şekil 9'da yer verilmiştir.



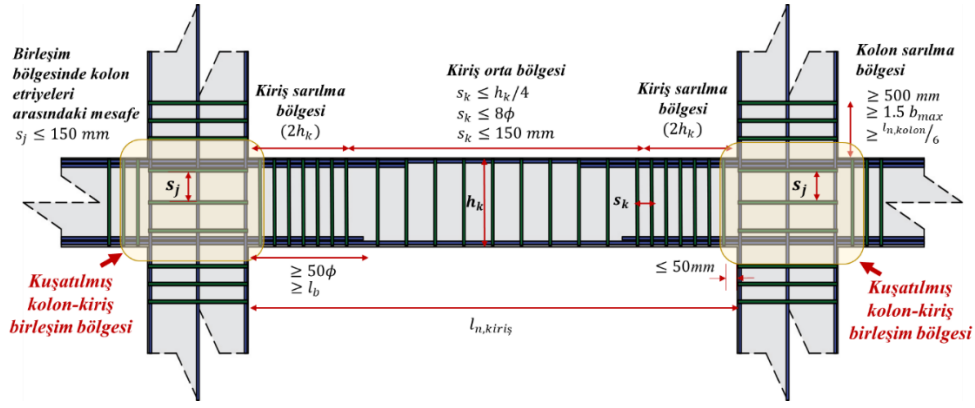
Şekil 8. Kiriş elemanlarda gözlenebilecek deprem hasarları.



Şekil 9. Kiriş hasarlarına örnek: (a) ve (b) alt ve üst yüzeyde oluşan eğilme çatlakları, (c) mesnetlerin yakınında oluşan eğilme-kesme çatlakları.

#### 4.1.4. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinde Görülen Hasarlar

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar, depremlerden sonra yapı stabilitesi için en tehlikeli hasar türü olarak gösterilebilir. Bu tür hasarlarda yapısal elemanların rijitlikleri ani olarak azalmakta ve yapı göçme seviyesine yaklaşmaktadır. Türk Deprem Yönetmeliklerinde kolon-kiriş birleşim bölgelerine önem verilmiş olup bu bölgelerde donatı sıklaştırılması yapılması koşulu getirilmiştir [18], [19], [20], [15], [13]. Şekil 10'da yürürlükte olan TBDY [13] yönetmeliğinde zorunlu tutulan donatı sıklaştırması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. Kirişlerde ve kolonlarda TBDY [13]'e göre zorunlu tutulan donatı sıklığı.

Buna göre, kolonların alt ve üst uçlarında, kiriş mesnetlerinde kolon yüzünden itibaren belirli uzunlukta sarılma bölgeleri bulunmaktadır. Kolon sarılma bölgelerinin uzunluğu, kolon serbest yüksekliğinin ( $l_{n,kolon}$ )  $1/6$ 'sından, kolon en büyük kesit boyutunun ( $b_{max}$ ) 1.5 katından ve 500 mm'den büyük olmalıdır. Kiriş sarılma bölgesinin uzunluğu, kiriş yüksekliğinin ( $h_k$ ) 2 katı kadar olmalı ve ilk etriyenin kolon yüzüne uzaklığı en çok 50 mm olmalıdır. Her iki taraftan kirişlerin kolonlara birleşmesi durumunda kiriş alt donatıları, açıklığa komşu olan kolon yüzünden itibaren,  $50\phi$ 'den az olmamak üzere, TS500'de [21] verilen kenetlenme boyu ( $l_{b,kiriş}$ ) kadar uzatılmalıdır. Ayrıca, kuşatılmış kolon-kiriş birleşim bölgesinde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için hesaplanan enine donatı miktarının en az %40'ı, birleşim bölgesi için kullanılmalıdır. Kuşatılmamış birleşimlerde ise, bu oran en az %60 olmalıdır [13]. Şekil 11'de deprem bölgesinde tespit edilen kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarlarına yer verilmiştir.



Şekil 11. Kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları.

#### 4.1.5. Sargı Eksikliği ve Yetersiz Donatı

Beton elemanın enine donatılar kullanılarak sargılanması sargı etkisi olarak bilinmektedir. Sargılanmanın en belirgin özelliği betonun dayanımını ve elemanın süneklik kapasitesini arttırmasıdır. ACI 318 [22] enine sargılanmanın tek ya da üst üste binen spirallerle, dairesel etriyeler ile

veya çirozlu/çirozsuz etriyeler kullanılarak sağlanmasını belirtmiştir. Park ve Paulay [23], yaptıkları deneysel çalışmalar ile dairesel spiraller kullanılarak yapılan sargılanmanın kare ya da dikdörtgen etriyelere nazaran daha etkili olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, 90°'lik kancalara sahip etriyelerin 135°'lik kancalara sahip etriyeler kadar sargılama sağlayamadıkları da belirtilmiştir.

TBDY [13], betonarme kolonlarda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinin her iki ucunda 135° kıvrımlı kancalara sahip özel deprem etriyeleri ve özel deprem çirozları kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, TBDY [13] betonarme yapılarda, DBYBYH [15]'de olduğu gibi kolon elemanların kirişlerden daha güçlü olması koşulunu getirmektedir. Şekil 12'de etriye ve çirozların farklı pozisyonları gösterilmiştir.



Şekil 12. Etriye ve çirozların gösterimi.

Hasar gören yapılarda yerinde yapılan incelemelerde, anılan yönetmeliklerin aksine, kiriş elemanların kolonlardan daha güçlü imal edildiği gözlenmiştir [24]. Şekil 13'te enine ve boyuna donatılarda sıklaştırma yapılmamış olmasının ve yönetmeliklere uygun olmayan aralıklarda donatı yerleştirilmesinin deprem sırasında ortaya çıkardığı hasarlara yer verilmiştir.



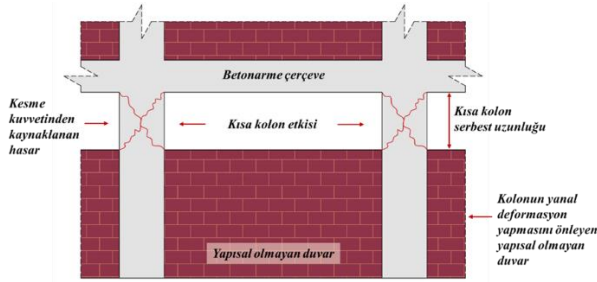


Şekil 13. Donatı ve sargı eksikliği örnekleri.

#### 4.1.6. Kısa Kolon Etkisi

Guevara and Garcia [25] kısa kolon etkilerini deneysel olarak incelemişler ve bu durumun betonarme çerçevelerin, bölme duvarlar gibi, yapısal olmayan elemanlarla etkileşimleri sonucunda oluştuğunu belirtmişlerdir. Buna göre kısa kolon davranışı, kolon elemanın yanal deformasyonunun yapısal olmayan duvar eleman tarafından önlenmesi sonucunda oluşmaktadır.

Şekil 14'te şematik olarak gösterildiği gibi, kolon elemanların alt kısımlarının yerdeğiştirmeleri önlenmiş, belirli bir yükseklikten sonra kolonun kısmi bir bölümünün yerdeğiştirme yapmasına izin verilmiştir.



Şekil 14. Kısa kolon davranışı.

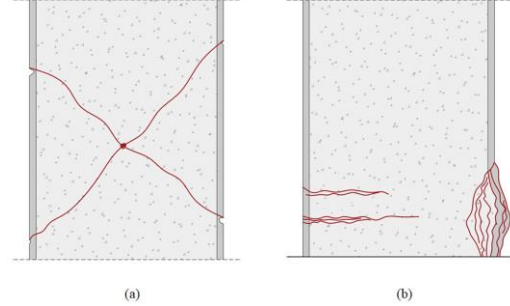
Yerinde yapılan incelemelerde bant pencereler açabilmek amacı ile dolgu duvarların yüksekliklerinin tam kat yüksekliğinde olmadığı ve bant pencerelerin kısa kolon davranışına yol açtığı tespit edilmiştir. Bu duruma ait örnek Şekil 15'te verildiği gibidir.



Şekil 15. Kısa kolon oluşumuna örnek.

#### 4.1.7. Perde Duvar Hasarı

Depremlerden sonra perde elemanlarında gözlenen hasarlar X şeklinde kesme hasarları ve eğilme hasarları olarak iki alt başlıkta toplanabilir. Eğilme hasarları daha seyrek olup, X şeklinde oluşan kesme hasarları daha yaygın görülmektedir. Kesme hasarı gevrek davranış olarak sınıflandırılabilir ve göçmeye yol açabileceği için eğilme hasarına göre daha tehlikelidir. Şekil 16'da perde elemanlarda olası deprem hasarları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 16. Perde duvarı hasarı (a) kesme hasarı, (b) eğilme hasarı.

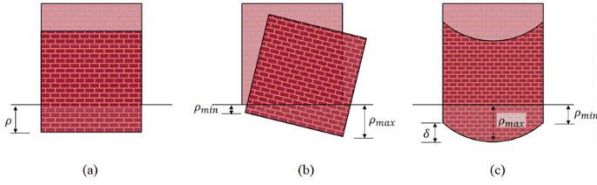
Birçok yabancı deprem yönetmeliğinde olduğu gibi, TBDY [13]'de de perdenin her iki yüzeyinde başlık bölgeleri oluşturulması zorunlu tutulmaktadır. Böylelikle perde elemanı enine ve boyuna donatılarla güçlendirilmiş olmaktadır. Başlık bölgesi içerisinde tek çevre etriyesi ve ek çirozlar kullanılması yerine çevre etriyelerinin sayılarının artırılması ve bu etriyelerin en az 150 mm birbirleri üzerine bindirme yapmaları önerilmiştir [26]. Segura ve Wallace [26] yaptıkları deneysel çalışmalarda, perde duvarın başlık bölgesinin hasar görmesi durumunda elemanın aksel yük taşıma kapasitesinin ani olarak azaldığını, bu nedenle plastik mafsallardaki gövde düşey donatısının gövdeye eklenecek çirozlar ile sabitlenmesi gerektiğini tespit etmişlerdir. Şekil 17'de, deprem bölgesinde gözlenen perde hasarlarına yer verilmiştir.



Şekil 17. Yerinde yapılan incelemelerde gözlenen perde duvar hasarı: (a) ve (b) kesme hasarı, (c) eğilme hasarı.

#### 4.1.8. Yapının Oturmasından Dolayı Gözlenen Hasarlar

Geçmiş depremlerden sonra yürütülen zemin çalışmalarında, konsolidasyon ya da sıvılaşma gibi etmenlerden dolayı zeminlerde farklı deformasyonlar oluşabileceği ve bunların üst yapıyı etkileyeceği tespit edilmiştir. Zemin özelliklerine göre yapılarda gözlenen oturma hasarları üç alt başlıkta gruplandırılabilir. Bunlar, Şekil 18’de gösterildiği gibi (a) düzgün oturma, (b) devrilme ve (c) farklı deformasyon şeklindedir.



Şekil 18. Oturma hasarları (a) düzgün oturma, (b) devrilme ve (c) farklı deformasyon.

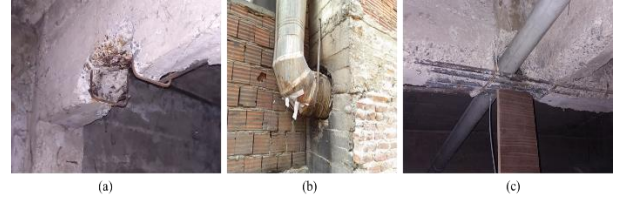
Düzgün oturma, yapı temelının her noktasının eşit miktarda deplasman yapması olarak adlandırılırken (Şekil 18. a); devrilme, yapı temelının karşılıklı iki noktasının farklı düzeyde yer değiştirme yaptığı durumdur (Şekil 18.b). Farklı deformasyon durumu yapı temelının bir bölümünün diğer kesitlerinden daha fazla deplasman yaptığı duruma karşı gelmektedir. Temeldeki bu yer değiştirmelerden özellikle farklı deformasyon durumu üst yapıda büyük hasarlara yol açabilmektedir. Deprem bölgesinde yapılan çalışmalarda, zemin özelliklerine bağlı olarak bazı binalarda oturmalarından dolayı oluşan düşey çatlaklar tespit edilmiştir. Ayrıca, inceleme konusu bazı binaların giriş merdivenlerinin yol kotunda olmadığı, zemin hareketlerinden dolayı merdivenlerin zemin kotundan yüksekte kaldığı ve yolların göçtüğü gözlenmiştir. Detaylı yapılan incelemeler neticesinde bu binalar boşaltılarak yıkılmaya başlanmışlardır. Bu hasar türüne örnekler Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Zemine bağlı oturma hasarları: (a) düzgün oturma, (b) ve (c) farklı deformasyon.

#### 4.1.9. Yapı Sahipleri Tarafından Verilen Hasarlar

Depremden sonra bölgede yapılan incelemelerde yapı elemanlarına yapı sahipleri tarafından hasarlar verildiği gözlenmiştir. Birçok yapıda kiriş elemanların donatılarının kesildiği ve çekirdek betonun kırılarak buralardan su borularının geçirildiği tespit edilmiştir. Şekil 20’de gösterildiği gibi, bazı yapılarda kolon ve perde elemanlara da hasarlar verildiği belirlenmiştir, öyle ki perde elemanın içerisine fırın bacası yerleştirebilmek için bu elemanın donatıları kesilmiş ve çekirdek betona hasar verilmiştir.



Şekil 20. Yapı sahiplerinin yapıya verdiği hasarlara örnekler: (a) donatısı kesilen kiriş elemanı, (b) çekirdek betonu kırılan perde elemanı, (c) betonu kırılarak alttan sunta ile desteklenen kiriş elemanı.

#### 4.1.10. Yapı Sahipleri Tarafından Verilen Hasarlar

Deprem bölgesinde yapılan incelemeler neticesinde yapısal olmayan hasarlar esas olarak dört kategoriye ayrılabilirler: Bölme duvar hasarları, dış cephe kaplama elemanlarında dökülmeler, bacaların kırılması ve çatı hasarları. Bu hasar türleri içerisinde en çok bölme duvarlarda çatlaklar gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak duvar ve çerçeve arasında gereken bağlantının yapılamaması gösterilebilir. Bu hasar türüne ait fotoğraflara Şekil 21’de yer verilmiştir.



Şekil 21. Yapısal olmayan hasar örnekleri: (a) dış cephe kaplama elemanlarında dökülmeler, (b) bölme duvar çatlakları, (c) çatı hasarı.

#### 4.2. Yığma Yapılarda Tespit Edilen Hasarlar

İnceleme bölgesindeki yığma türü yapılarda gözlenen hasarların yığma duvarların düzlem dışı ve düzlem içi davranışları neticesinde oluştuğu

belirtilebilir. Bilindiği üzere düzlem dışı davranış yığma duvarlara dik etki eden yer hareketi sonucu gözlenirken, düzlem içi davranış yığma duvar doğrultusunda etki eden düzlem kuvvetleri neticesinde gözlenir [27]. Bölgedeki hasarın daha çok düzlem dışı davranış sonucunda olduğu söylenebilir. Bu bölümde inceleme bölgesindeki yığma yapılarda tespit edilen düzlem dışı ve düzlem içi hasarların nedenleri tartışılacaktır.

#### 4.2.1. Düşük Dayanımlı Malzeme Kullanımına Bağlı Olan Hasarlar

Her ne kadar daha önce bu bölgelerde meydana gelen depremlerden kerpiç malzemelerin sismik performanslarının düşük olduğu bilinse de ülkemizin özellikle Doğu bölgelerinde yığma yapılar hala kerpiç elemanlar tercih edilerek inşa edilmektedirler. Yanı sıra, bölgede yapılan incelemelerde farklı yapı malzemeleri kullanılarak inşa edilen yığma duvarlara sahip konutlarda duvarların devrildiği gözlenmiştir. Bölgede sıkça tercih edilen çamur ve kirecin yapıştırıcı harç olarak kullanılmasının gözlenen hasarı arttırdığı düşünülmektedir. Şekil 22’de bu hasar türüne ait örnekler yer verilmiştir.



Şekil 22. Düşük dayanımlı malzemeye bağlı hasarlar.

#### 4.2.2. Yetersiz İşçiliğe Bağlı Hasarlar

Düşük dayanımlı malzemelerin kullanımı yanı sıra, yetersiz işçilik ve imalat kusurları da bölgedeki yığma yapılarıdaki hasarı arttırmıştır. Gelişigüzel yerleştirilen kerpiç ve taş elemanlar yapının sismik davranışı olumsuz yönde etkilerken, bu elemanlar arasında yeterli bağlantıların sağlanmaması da beklenen hasarın daha da artmasına neden olmaktadır. Özellikle köşe birleşimlerde harç kullanılmaması bu noktalarda boşluklar oluşturmuş ve bu boşluklar da duvarın düzlem dışı davranışa karşı eğilme rijitliğini azaltmıştır. Bu maddede incelenen hasara örnekler Şekil 23’te verilmiştir.



Şekil 23. Yetersiz işçiliğe bağlı hasarlar.

#### 4.2.3. Ağır Toprak Çatı Kullanımı

Yöreye uygun bir özellik olan kalın tabaka kurumuş çamurdan çatı yapımı, depremden sonra bu tarz yapılarda gözlenen hasarı arttırmıştır. Genelde yalıtımı sağlamak amacı ile tercih edilen bu uygulamada toprak kalınlığı yer yer 50 cm’yi bulabilmektedir. Kabaca bir hesapla bu kalınlıkta bir toprak tabaka çatının ağırlığına  $0.1 \text{ kgf/cm}^2$  ilave yük getirmektedir. Her ne kadar bu uygulama TBDY [13]’de yasaklanmış olsa da ülkemizin Doğu bölgelerinde sıklıkla rastlanan bir uygulamadır. Şekil 24’te ağır toprak çatı kullanımından dolayı oluşan hasarlara yer verilmiştir.



Şekil 24. Ağır toprak kullanımdan dolayı oluşan hasarlar.

#### 4.2.4. Hatıl Kullanılmamasından Dolayı Oluşan Hasarlar

Her ne kadar deprem yönetmeliklerinde yığma yapılar için yatay ve düşey hatıllar kullanma zorunluluğu var ise de inceleme konusu bölgede birçok yığma yapıda hatıl kullanılmadığı ve bu yüzden depremden sonra hasarlar görüldüğü tespit edilmiştir. Hatıllar çerçeve kirişi gibi davranarak yığma duvarların arzu edilen kutu davranışını sergilemesine katkı sağlamaktadırlar. Hatıl kullanılmaması ile alakalı gözlenen hasarlar Şekil 25’te verilmiştir.



Şekil 25. Hatıl kullanılmamasından dolayı oluşan hasarlar.

#### 4.2.5. Çatı-Duvar Bağlantısının Yeterli Düzeyde Sağlanamaması

Depremden etkilenen bölgede yığma yapıların büyük çoğunluğunda çatılar doğrudan yığma duvarların üzerine mesnetlenmişlerdir. Duvar ve çatının hatıllar ile bağlanmaması sonucunda yığma duvarlarda düzlem dışı davranış ortaya çıkmıştır. Çatı seviyesinde hatıl elemanlara yer verilmemesi kutu davranışını bozarak yığma duvarların düzlem dışı davranışlarına yol açmıştır. Çatı-duvar bağlantısının yetersizliğinden dolayı oluşan hasarlara Şekil 26'da yer verilmiştir.



Şekil 26. Çatı-duvar bağlantısının yeteri düzeyde sağlanamaması.

#### 4.2.6. Köşe Hasarları

Daha önceki depremlerden sonra yapılan saha çalışmalarında da rapor edildiği üzere, yığma duvar ve çatıların yine yığma duvarlar ile uygun bir şekilde bağlanmaması köşelerin depremlerde daha da zorlanmalarına yol açmaktadır. Köşeler tutulu olarak inşa edilmedikleri için bu noktalarda stabilite kaybı olmaktadır. Bu hasar tipine örnekler Şekil 27'de verildiği gibidir.



Şekil 27. Köşe duvarlar arasında yeterli bağlantının olmaması.

#### 4.2.7. Dik Duvarların Düzlem Dışı Davranışı Sonucu Ortaya Çıkan Hasarlar

Bölgede yapılan incelemelerde, birbirine dik duvarların ayrılmalarının kısmi ya da toptan göçmeye yol açtığı tespit edilmiştir. Yetersiz işçilik ve özellikle de birleşim detaylarının yönetmeliklere uygun yapılmaması neticesinde duvarların düzlem dışı davranışı kaçınılmaz olmaktadır. Önceki çalışmalardan, yığma elemanın çekme gerilmesinin aşılması durumunda birbirine dik duvarların ayrıldıkları bilinmektedir [27]. Bu hasar türüne örnekler Şekil 28'de gösterildiği gibidir.



Şekil 27. Dik duvarların düzlem dışı davranışları.

#### 4.2.8. Düzlem İçi Davranıştan Dolayı Oluşan Hasarlar

Yığma yapılarda gözlenen ikinci mekanizma tipi ikinci göçme modu olarak da bilinen hasar türü düzlem içi davranıştır. Duvar geometrisi, malzeme bileşeni türü ve yüklemenin şekli (monotonik veya çevrimsel) düzlem içi davranışı doğrudan etkilemektedir [27]. Calderini vd. [28] düzlem içi davranıştan dolayı oluşan hasarları iki alt grupta incelemiştir: Eğilmeden dolayı oluşan yatay çatlaklar ve kesmeden dolayı oluşan diyagonal çatlaklar. Yapısal sistem elemanları arasında kurulacak etkin bağlantı gözlenebilecek hasar düzeyini azaltmaktadır. Ayrıca, sisteme eklenecek döşemeler yatay yükün duvarlara aktarılmasında etkin rol oynayarak yapının deprem etkisi altında "kutu" davranışını göstermesine yardımcı olacaktır. Dolayısıyla, her ne kadar düzlem içi davranış kesme hasarına yol açmakta ise de bu durum tek başına yapısal göçmeye neden olmamaktadır.

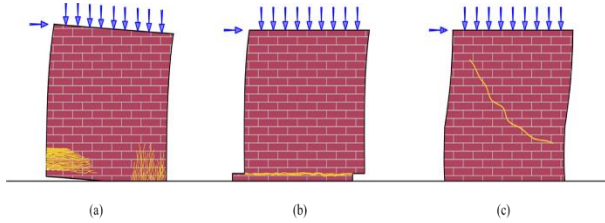
##### a) Eğilmeden dolayı oluşan düzlem içi davranışı

Bu davranış iki farklı göçme modu içermektedir. Etki eden düşey yük duvar elemanın basınç dayanımından düşük ise, bu durumda yapıya etki eden yanal kuvvet köşelerde çekme çatlaklarına yol açarak duvarın mesnetlendiği kesitte devrilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, sistemde belirgin bir eğilme çatlağı oluşmamış ise, etkiyen düşey yükten

dolayı, duvar eleman köşelerinde basınç bölgelerine doğru yoğunlaşan düşey çatlaklar (ezilme) gözlenmektedir (Şekil 29.a).

#### b) Kesmeden dolayı oluşan düzlem içi davranışı

Bu tip davranışta da iki farklı göçme modu söz konusudur: Kesme hasarı ve diyagonal çekme çatlakları hasarı. Eğilme çatlaklarının duvarın köşesinde yığılması neticesinde bu kesit yatay yataklama derzleri boyunca hareket ederek kesme hasarını oluşturur (Şekil 29.b). Diyagonal çekme çatlakları hasarı ise genellikle yığma duvarın merkezinde oluşan çatlakların köşelere doğru yayılması neticesinde gözlenir (Şekil 29.c). Çatlaklar harç derzlerinden geçebilecekleri gibi blok elemanlara da hasar verebilirler. Şekil 30'da depremden sonra gözlenen düzlem içi hasar tiplerine örnekler verilmiştir.



Şekil 29. Yığma duvarlarda tipik göçme modları.

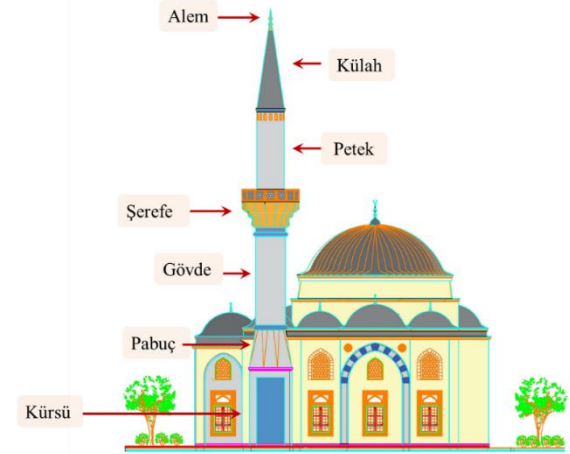


Şekil 30. Yığma yapılarda gözlenen düzlem içi hasar davranışı: (a) çekme çatlakları, (b) eğilme çatlakları, (c) diyagonal çekme çatlakları.

### 4.3. Minarelerde Gözlenen Hasarlar

Minareler genellikle camilere bitişik yapılan güç ve inancın simgeleridir. Her ne kadar yeni yapılan minarelerin büyük bir kısmında betonarme yapı elemanı tercih edilse de tarihi minareler taş yığma yapı tarzıdır. Anadolu'da ilk minareler Selçuklular zamanında yapılmıştır. Bu minarelerin birçoğunun taş temele sahip çift kule şeklinde yapıldığı ve tuğla kullanılarak inşa edildiği bilinmektedir. Konya'da yapılmış olan Alaeddin Camisi gibi tek minareye sahip camiler de bulunmaktadır. Cami yapılarında Osmanlı mimarisi uzun, tepesi noktasal olan minareleri ve kurşun kaplı çatı ile farklılık

yaratır. Birçok küçük Osmanlı camisinde, tek minare caminin yanına mesnetlenmiştir. Daha çok büyük şehirlerdeki camilerde ise iki, dört veya altı minare cami duvarı ile birleştirilmiştir. Şekil 31'de bir minare yapısının bölümleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 31. Osmanlı minaresi bölümleri.

Her ne kadar, betonarme bir minarenin mimari stili yapıldığı döneme bağlı ise de minareler genel olarak kürsü (kaide), küp (pabuç), gövde, şerefe, petek, kûlah ve alem olarak isimlendirilen bölümlerden oluşmaktadır. Kürsü, temel ve pabuç arasındaki kısma verilen isim olup, kare veya poligon formlarında olabilmektedir. Genellikle caminin dış duvarı ve kürsü yan yana gelecek şekilde inşa edilir. Pabuç, konik şekle sahip olup poligon kesitli kürsü ve dar silindirik kesitli gövde kısımları arasında geçiş sağlamaktadır. Bu nedenle bu bölüm minarenin en önemli bölgesi olarak nitelendirilebilir. Gövde, pabuç ve şerefe arasında kalan kısma verilen isimdir. Betonarme minareler genellikle poligon veya dairesel kesitte yapılmakta olup alttaki kalınlık üst tarafta da korunmaktadır. Bu bölgeye spiral formunda merdivenler yerleştirilerek şerefeye ulaşılmaktadır. Petek, kûlah ve en yüksekteki şerefe arasında kalan kısım olup, betonarme minarelerde gövde ile aynı kalınlıkta inşa edilir. Kûlah, petek kısmının üzerindeki bölgedir. Günümüz teknolojisinde kûlahlar ahşap çerçevelerin kurşun ile kaplanması ile imal edilirler ve tek bir parça olarak minarenin tepesine yerleştirilirler. Alem, genellikle bakır ve kurşun karışımından yapılarak kûlah kısmının tepesine yerleştirilir. Alem, İslamın sembolü olup hilal geometrisine sahiptir.

Bilindiği üzere minareler sismik etkileşime karşı narin yapılar olup depremlerden sonra büyük hasarlar alabilmektedirler. Minarelerin hasar

görmesi sonucu kürsüye bitişik olan camiler de hasar görürler. Günümüzde betonarme ve yığma minarelerin yapım tekniklerine ait bir yönetmelik yoktur ve birçok cami, Osmanlı tekniklerinin tekrar uygulanması sonucu inşa edilirler. Her ne kadar minareler insanları namaza çağırmak için kullanılınsalar da İslami geleneklerden dolayı hala inşa edilmektedirler.

2020 Elazığ depreminden sonra cami türü yapılarda oluşan hasarları belirlemek için yürütülen

çalışmalar neticesinde 676 cami incelemiştir. Bunların %46.45'i hasarsız olarak nitelendirilmiştir. Geriye kalan kısmın %35.95, %3.99 ve %13.02'si sırasıyla, hafif, orta ve ağır hasarlı olarak raporlanmıştır. Kalan %0.59'lık kısım ise depremden hemen sonra göçen minare oranını göstermektedir. Depremden sonra betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip minare ve camilerde gözlenen hasarlar Şekil 32'de gösterilmiştir.



Şekil 32. Cami ve minarelerde gözlenen hasarlar: (a), (b), (c), (d) minare hasarı, (e) kolon hasarı, (f), (g), (h), (i) yapısal olmayan eleman hasarları.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı 24 Ocak 2020 Elazığ depreminden sonra bölgede hasar gören betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip bina türü yapılarda ve cami minarelerinde yazar tarafından yerinde yapılan incelemeler sonucunda gözlenen hasarların nedenlerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, öncelikle depremden etkilenen bölge hakkında genel bilgiler verilmiş, gözlenen hasarların dağılımı incelenmiş ve söz konusu bölgede yürütülen yeniden yapılandırma çalışmaları tartışılmıştır. Daha sonra, bölgenin genel jeolojik yapısı ve bölgede olmuş tarihi depremler incelenmiştir. Depreme ait bilgiler özetlendikten sonra, betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip binalar ve cami minarelerinde gözlenen hasarlar detaylı olarak paylaşılmıştır.

Yerinde yapılan saha çalışmaları ülkemizdeki yapı stokunun kalitesini bir kez daha göz önüne sermiştir. Özellikle doğu bölgelerinde ve kırsalda denetlemenin de çok fazla olmadığı dönemlerde yapılan düşük kaliteli betonarme ya da yığma yapıların hasar gördükleri tespit edilmiştir.

Yerinde yürütülen bu çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara varmak mümkündür:

- Ulusal yapı denetim yasasının bölgede 2011 yılı itibari ile uygulanmaya başlaması ve bölgedeki yapıların çoğunun bu tarihten önce yapılmış olması nedeniyle bu yapıların güncel Türk deprem yönetmeliğinde hedeflenen performans düzeylerini yakalayamadığı belirlenmiştir.
- Elazığ depreminde kaydedilen en büyük ivme değeri, mevcut deprem yönetmeliğine göre inceleme konusu bölgede beklenen en büyük yer hareketi ivme değerinin altında kalmıştır. Bu açıdan bakıldığında, ekonomik ve insani kayıplar göreceli olarak yüksektir.
- Hem betonarme hem de yığma taşıyıcı sisteme sahip binalar incelendiğinde, yetersiz işçiliğin yanı sıra, yetersiz yapısal

detaylandırmanın bulunması, düşük kaliteli malzeme kullanımı ve yapıların herhangi bir mühendislik hizmeti almamış olmasının gözlenen hasarı arttırdığı düşünülmektedir. Deprem sonrası inceleme sırasında birçok farklı tasarım ve yapım kusurları tespit edilmiştir.

- Köy yerleşkelerinde bulunan yapıların büyük çoğunluğunun kerpiçten imal edilmiş olması ve bu tarz yapıların ağır toprak çatıya sahip olmasının, yapıların depremde düşük performans göstermelerine neden olduğu anlaşılmıştır.
- Günümüzde betonarme ve yığma minarelerin yapım tekniklerine ait bir yönetmelik bulunmamasının, yanlış imalat uygulamalarına yol açtığı düşünülmektedir.

Depremden etkilenen bölgelerde yapılacak değerlendirmelerde yapı stokunun deprem sonrasında hızlıca incelenerek gerekli ve uygun iyileştirme tekniklerinin uygulanması da önemli bir parametredir. 2020 Elazığ depreminden sonra hasar gören yapılar üzerinde yapılan bu ve benzeri incelemelerin gelecekte olması muhtemel depremlere kadar yapıların sismik performanslarının iyileştirilmesine vesile olacağı düşünülmektedir.

## Teşekkür

Yazar, bu çalışmada desteklerinden dolayı İTÜ Rektörlüğü'ne ve saha çalışmalarına katılan bütün akademisyenlere teşekkürlerini sunar. Yazar ayrıca misafirperverliğinden dolayı AFAD Elazığ İl Müdürü Sayın Osman Pıhtılı'ya teşekkürlerini sunar.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Referanslar

- [1] "TÜİK - Coğrafi İstatistik Portalı," *Gov.tr*. [Online]. Available: <https://cip.tuik.gov.tr/>. [Accessed: 15-June-2021].
- [2] Elazığ Ekonomik Raporu, *Elazığ Ticaret ve Sanayi Odası*, Elazığ TSO, 2019, Elazığ, Türkiye.
- [3] 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw 6.8 Deprem Raporu, *T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, AFAD 2020. Ankara, Türkiye. [Online]. <https://deprem.afad.gov.tr/depremdokumanlari/1831> [Erişim tarihi: 26-Mar-2021].
- [4] Earthquake Doğanyol, Turkey 24 January 2020 (Report 1), *Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology*, CEDIM 2020, [Online]. <http://www.cedim.de/> [Accessed: 05-May-2021].

- [5] T.C. Elazığ Valiliği 2020. [Online]. <http://www.elazig.gov.tr/> [Erişim tarihi: 04.04.2020].
- [6] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, TOKİ, 2021. [Online]. <https://www.toki.gov.tr/illere-gore-projeler> [Accessed: 26-Jul-2021].
- [7] Elazığ Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Elazığ AFAD, 2021. [Online]. <https://elazig.afad.gov.tr/duyurular> [Accessed: 30-Aug-2021].
- [8] M.R. Hempton and J.F. Dewey, "Structure and tectonics of the lake hazar pull-apart basin, SE Turkey," *Transactions*, American Geophysical Union, EOS, vol: 62, pp: 1033, 1981.
- [9] F. Şaroğlu F, O. Emre, and I. Kuscü, "The east anatolian fault zone of Turkey," *Annalae Tectonicae*, vol: 6, pp: 99-125, 1992.
- [10] A. Barka and K. Kadinsky-Cade, "Strike-slip fault geometry in turkey and its influence on earthquake activity," *Tectonics*, vol: 7 (3), pp: 663-684, 1988.
- [11] T. Duman and Ö. Emre, "The east anatolian fault: geometry, segmentation, and jog characteristics, geological development of anatolia and the easternmost mediterranean region," *Geological Society*, London, Special Publications, vol: 372, pp: 495-529, 2013.
- [12] Türkiye İvme Veri Tabanı Analiz Sistemi, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı. 2021, [Online]. <https://tadas.afad.gov.tr/list-event> [Accessed: 30-Mar-2021].
- [13] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, TBDY. Ankara, Türkiye. 2018.
- [14] Türkiye Hazır Beton Birliği Derneği, *Hazır Beton Dergisi*. THBB, vol: 157, pp: 15-17, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [15] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, DBYBHY, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, Türkiye, 2007.
- [16] G.G. Penelis and A.J. Kappos, *Earthquake Resistant Concrete Structures*, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2019.
- [17] N. Bayülke, Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi. *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, İzmir, Türkiye, 1995.
- [18] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, ABYYHY 1968, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1968.
- [19] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, ABYYHY 1975. T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1975.
- [20] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, ABYYHY 1998. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1998.
- [21] Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TS 500, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 2000.
- [22] Building Code Requirements for Structural Concrete. ACI 318-11 and Commentary, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, MI: ACI, 2011.
- [23] R. Park and T. Paulay, *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley and Sons, Inc. United States of America, 1975.
- [24] E. Sayın, B. Yön, O. Onat, M. Gör, M.E. Öncü, E.T. Tunç, D. Bakır, M. Karaton, and Y. Calayır, "24 January 2020 Sivrice-Elazığ, Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures", *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol: 19, pp: 657-684, 2021.
- [25] L.T. Guevara and L.E. Garcia, "The captive and short column effects," *Earthquake Spectra*, vol: 21 (1), pp: 141-160. 2005.
- [26] C.L. Segura and J.W. Wallace, "Seismic performance limitations and detailing of slender reinforced concrete walls," *ACI Structural Journal*, vol: 115 (3), pp: 849-859, 2018.
- [27] R. Oyguc and E. Oyguc, "2011 Van earthquakes: lessons from damaged masonry structures," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol: 31 (5), 04017062, 2017.
- [28] C. Calderini, S. Cattari, and S. Lagomarsino. "In-plane strength of unreinforced masonry piers," *Earthquake engineering and structural dynamics*, vol: 38, pp: 243-267, 2009.