



**T.C. İSTANBUL T CARET
ÜNİVERSİTESİ**

LİSANSÜSTÜ E TİM ENSTİTÜSÜ

**DEPREM BÖLGESİ KONUTLARININ HASAR ALMA SEBEPLERİ VE
DEPREM ETKİLERİNİN AZALTILMASI İÇİN ÖNERİLER**

Turhan Miraç SELÇUK

Danışman

Dr.   r. Üyesi Makbule Tuba BOSTANCI BAŞKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İ  M MARLIK ANABİLİM DALI**

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

Tarih

İmza

Turhan Miraç SELÇUK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
1.2 Çalışmanın Kapsamı	2
1.3 Çalışmanın Yöntemi.....	3
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
3. DEPREM.....	7
3.1 Deprem Kavramı.....	8
3.2 Deprem Türleri.....	10
3.3 Türkiye’de Depremsellik Potansiyeli.....	12
3.4 Türkiye’de Tarihsel Depremler.....	14
4. YAPI HASARLARI, NEDENLERİ VE ALINABİLECEK ÖNLEMLER	16
4.1 Yapı Hasarlarını Ortaya Çıkaran Unsurlar ve Alınabilecek Önlemler .	17
4.1.1 Çatlaklar.....	19
4.1.1.1 Ayrışmalar (Segregasyon)	20
4.2 Hasar Türleri	22
4.2.1. Taşıyıcı Unsurlardaki Hasarlar	23
4.2.1.1 Döşeme Hasarları.....	24
4.2.1.2 Kolon Hasarları.....	27
4.2.1.2.1 Kolonlarda Deprem Hasarları	28
4.2.1.2.2 Kolonlarda Kesme Hasarı	30
4.2.1.2.3 Kolonlarda Basınç Çatlakları	32
4.2.1.2.4 Burulma Düzensizliği.....	34
4.2.1.2.5 Kısa Kolon Hasarları	41
4.2.1.3 Kirişlerde Ortaya Çıkan Hasarlar	44
4.2.1.3.1 Kirişlerde Eğilme Hasarı	45

4.2.1.3.2	Kirişlerde Kesme Hasarı.....	46
4.2.1.3.3	Kirişlerde Burulma Hasarı.....	47
4.2.1.4	Kolon-Kiriş Birleşim Noktası Hasarı.....	48
4.2.1.5	Perde Hasarları.....	53
4.2.1.5.1	Perdelerde Eğilme Hasarları.....	54
4.2.1.5.2	Perdelerde Kesme Hasarları.....	55
4.2.1.5.3	Perde Elemanlarda Burulma Hasarı	57
4.2.1.6	Temelde Oluşan Hasarlar.....	58
4.2.2	Taşıyıcı Olmayan Unsurlarda Ortaya Çıkan Hasarlar	62
4.2.2.1	Sıva Çatlakları.....	62
4.2.2.2	Duvar Hasarları.....	64
4.2.2.2.1	Deprem Titreşimlerinden Kaynaklanan Duvar Çatlakları	66
4.2.2.2.2	Temel Oturmasına Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Hasarlar.	70
4.2.2.2.3	Çevresel Titreşimlerden Kaynaklanan Hasarlar	72
4.2.2.2.4	Aşırı Sehim Kaynaklı Hasarlar	72
4.3	Yapısal Hasar Kaynakları.....	74
4.3.1	Zemin Özellikleri	77
4.3.2	Proje Hatalarından Kaynaklanan Hasarlar	79
4.3.2.1	Kapalı ve Açık Çıkmalar	81
4.3.2.2	Döşeme Süreksizliği	84
4.3.2.3	Güçlü Kiriş Zayıf Kolon.....	85
4.3.2.4	Burulma Düzensizliği	88
4.3.2.5	Zayıf Kat Düzensizliği	89
4.3.2.6	Yumuşak Kat Düzensizliği	92
4.3.2.7	Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanların Süreksizliği	95
4.3.2.8	Çekiçleme (Çarpışma) Etkisi.....	97
4.3.2.9	Kısa Kolon Davranışı.....	99
4.3.3	Malzeme Özellikleri.....	100
4.3.3.1	Agrega ve Beton Kalitesi.....	102
4.3.4	İşçilik Hataları	106
4.3.4.1	Yetersiz Pas Payı Bırakılması	107
4.3.4.2	Enine Donatıların Uygunsuzluğu	108
4.3.4.3	Beton Dökümü ve Sonrası Süreçteki Hatalar	110

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPREM BÖLGESİ KONUTLARININ HASAR ALMA SEBEPLERİ VE DEPREM ETKİLERİNİN AZALTILMASI İÇİN ÖNERİLER

Turhan Miraç Selçuk

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İç Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Makbule Tuba Bostancı Başkan

2024, 153 sayfa

Dünya genelinde sıklıkla yaşanan sismik aktiviteler, yerleşim yerlerindeki yapı stokunu önemli ölçüde tehdit etmektedir. Özellikle 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde meydana gelen 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki depremler, geniş bir coğrafyayı etkileyerek Türkiye'de büyük bir insani ve ekonomik krize yol açmıştır. Bu yıkıcı olay sonucunda, depremten etkilenen illerde gerçekleştirilen detaylı saha incelemeleri, yapısal hasarların belirgin bir benzerlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Yaşanan bu felaket, deprem mühendisliği alanında yeni araştırmalara ve yapı güvenliği standartlarının gözden geçirilmesine duyulan ihtiyacı bir kez daha gözler önüne sermiştir. Deprem kaynaklı yapısal hasarların detaylı bir şekilde incelenmesi ve bu hasarlara yönelik etkili çözüm önerilerinin geliştirilmesi, gelecekte benzer afetlerin etkilerini minimize etmek adına büyük önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda araştırmada Malatya ilinde hasar gören ve yıkılan binalar incelenerek, binalarda görülen hasar türleri ve bu hasarların ortaya çıkma nedenleri araştırılmıştır.

Malatya'da meydana gelen depremde, hasar dağılımının jeolojik ve jeoteknik faktörlerden önemli ölçüde etkilendiği belirlenmiştir. Özellikle zemin büyütmesi etkisi, alüvyal birimlerin yaygın olduğu bölgelerde (Bostanbaşı, Fahri Kayhan, Yüzakı, Battalgazi Eski Malatya, Orduzu, Fuzuli) gözlenen hasarların şiddetini artırmıştır. Merkez ilçelerde yaşlı yapı stoğu, kuzeyde ise düşük katlı betonarme yapılar ağırlıklı olmak üzere, depremde önemli yıkımlara neden olmuştur. Yeşilyurt ilçesindeki hasar dağılımı, Beylerderesi formasyonu olarak adlandırılan alüvyal birimlerin yüzeyleştigi bölgelerde yoğunlaşmıştır. Aksine, Yıldıztepe'nin batısında, farklı ayrışma dereceli kayaç birimlerinin bulunduğu Çamurlu bölgesinde hasarlar daha az görülmüştür. İlçeler arasında hasar yoğunluğu, yerel zemin koşulları ve yapısal özelliklere bağlı olarak farklılık göstermiştir. Yapısal hasarların önemli nedenleri arasında imalat hataları, zemin ve kat seviyelerindeki yumuşak kat oluşumları, yetersiz dilatasyon derzleri, beton kalitesi sorunları ve donatı eksiklikleri sayılabilir. Genel olarak, yapıların önemli bir kısmı yerel zemin koşulları nedeniyle zemin büyütmesi etkisi altında

kalmıştır. Ancak, ince taneli zemin profilinin yüksek ivmeli deprem yüklerine ve yeraltı su seviyesine rağmen sıvılaşma görülmemesi dikkat çekici bir bulgudur.

Anahtar Kelimeler: Malatya, Deprem, Yapısal hasar, Yapısal olmayan hasar, Kahramanmaraş depremleri



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

CAUSES OF DAMAGE TO HOUSES IN EARTHQUAKE ZONE AND SUGGESTIONS FOR MITIGATION OF EARTHQUAKE EFFECTS

Turhan Miraç Selçuk

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Interior Architecture and Environmental Design**

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Makbule Tuba Bostancı Başkan

2024, 153 pages

Seismic activities, which occur frequently throughout the world, significantly threaten the building stock in settlements. In particular, the 7.7 and 7.6 magnitude earthquakes that occurred on 6 February 2023 in Pazarcık and Elbistan districts of Kahramanmaraş caused a major humanitarian and economic crisis in Turkey, affecting a wide geography. As a result of this devastating event, detailed field investigations carried out in the affected provinces revealed that the structural damages were remarkably similar. This catastrophe has once again highlighted the need for new research in the field of earthquake engineering and revision of building safety standards. A detailed examination of earthquake-induced structural damages and the development of effective solutions for these damages are of great importance in order to minimise the effects of similar disasters in the future. For this purpose, the damaged and collapsed buildings in Malatya province were analysed and the types of damages and the reasons for the occurrence of these damages were investigated.

In the earthquake that occurred in Malatya, the damage distribution was significantly affected by geological and geotechnical factors. Especially the ground amplification effect increased the severity of the damages observed in the regions where alluvial units are common (Bostanbasi, Fahri Kayhan, Yüzakı, Battalgazi Eski Malatya, Orduzu, Fuzuli). Old building stock in the central districts and low-rise reinforced concrete structures in the north caused significant destruction in the earthquake. The damage distribution in Yeşilyurt district is concentrated in the areas where the alluvial units called Beylerderesi formation are surfaced. On the contrary, less damage was observed in Çamurlu region, west of Yıldıztepe, where rock units with different degrees of weathering are found. Damage intensity varied between districts depending on local soil conditions and structural characteristics. Major causes of structural damages include manufacturing defects, soft floor formations at ground and floor levels, inadequate dilatation joints, concrete quality problems and reinforcement deficiencies. In general, a significant portion of the structures were subjected to ground magnification due to local ground conditions. However, it is a remarkable

finding that the fine-grained soil profile did not show liquefaction despite high acceleration earthquake loads and groundwater level.

Keywords: Malatya, Earthquake, Structural damage, Non-structural damage, Kahramanmaraş earthquakes



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Makbule Tuba BOSTANCI BAŞKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Araştırma sürecinde bilgi ve deneyimiyle benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Leyla SURİ'ye teşekkür ederim.

Araştırmanın yürütülmesinde maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm Ad SOYAD ve Ad SOYAD'a olmak üzere tüm Kurum Adı personeline teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Turhan Miraç SELÇUK
İSTANBUL, 2024

ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 4.1. Betonda ayrışma (segregasyon)	21
Şekil 4.2. Depremlerin neden olduğu döşeme çatlağı ve sehim hasarları	24
Şekil 4.3. Kirişsiz döşemelerde deprem hasarları	26
Şekil 4.4. Döşeme hasarı oluşan yapıya ilişkin görüntü	27
Şekil 4.5. Malatya’da hasar tespiti yapılan bir yapının kolonunda gözlenen mafsallaşma hasarı	29
Şekil 4.6. Kolonlarda kesme hasarını ilişkin temsili bir görsel	30
Şekil 4.7. Kesme hasarı oluşmuş kolonlara ilişkin görseller	31
Şekil 4.8. Kesme ve eğme hasarı görülen bir kolon	31
Şekil 4.9. Kolonlarda görülen a) basınç çatlakları ve b) basınç kırılmalarının temsili görünümü	33
Şekil 4.10. Kolonlarda basınç kırılmalarına ilişkin örnek bir görünüm	34
Şekil 4.11. Yapılarda burulma düzensizliği	35
Şekil 4.12. Burulma düzensizliğine bağlı olarak ortaya çıkan dışmerkez oluşumu	38
Şekil 4.13. Burulma düzensizliği nedeniyle ağır hasar alan bir binaya ilişkin görünüm	40
Şekil 4.14. Merdiven sahanlık kirişleri tarafından oluşturulan kat içi kısa kolon etkisi	41
Şekil 4.15. Bodrum katı bant pencereleri ve kısa kolon oluşum durumu	42
Şekil 4.16. Endüstriyel yapılarda pencere açıklıkları ve kısa kolon oluşumu	42
Şekil 4.17. Asma katların ortaya çıkardığı kısa kolon	43
Şekil 4.18. Kot farkının ortaya çıkardığı kısa kolon	43
Şekil 4.19. Kısa kolon hasarı	44
Şekil 4.23. Kirişlerde oluşabilen çatlak türleri	45
Şekil 4.21. Kirişinde eğilme çatlağı oluşan yapı	46
Şekil 4.22. Kesme çatlağı oluşan kirişler	47
Şekil 4.23. Kirişlerde meydana gelen burulma çatlağı	48
Şekil 4.24. Elazığ (a) ve Malatya (b) depremlerinde yıkılan yapılar	49
Şekil 4.25. Malatya’daki konutlarda ortaya çıkan kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı	52

Şekil 4.26. Perde duvarların yanal yükler etkisindeki davranışları	54
Şekil 4.27. Perdelerde eğilme hasarlarına ilişkin temsili bir görünüm	55
Şekil 4.28. Perde elemanlarda oluşan kesme çatlaklarının temsili görünümü	56
Şekil 4.29. Kesme çatlağı ve segregasyon görülen perde duvar	56
Şekil 4.30. Perde elemanlarda burulma hasarının temsili görünümü	57
Şekil 4.31. Asansör perdesinde gözlenen burulma hasarı	58
Şekil 4.32. Suyu doygun kumlu zeminde sıvılaşma (Atak vd., 2003)	59
Şekil 4.33. Zemin tanecikleri arasındaki bağlantı kuvvetinin su basıncı ile ilişkisi	60
Şekil 4.34. Zemin sıvılaşması ve yumuşak kat nedeniyle ağır hasar alan yapı	60
Şekil 4.35. Zemin sıvılaşması ve temel derinliği yetersizliğine bağlı olarak ortaya çıkan subasman hasarı	61
Şekil 4.36. Deprem yükü altında oluşan dolgu duvar-taşıyıcı sistem çerçevesi sıva çatlaklarının şematik temsili	62
Şekil 4.37. Malatya’da betonarme bir yapıda oluşan sıva çatlağı	63
Şekil 4.38. Duvar tesisat boşluklarında oluşan sıva çatlağının görsel temsili	63
Şekil 4.39. Tesisat kaynaklı duvar çatlakları	64
Şekil 4.40. Deprem etkisiyle dolgu duvarlarda tipik çatlak oluşumu	66
Şekil 4.41. Malatya’daki bir yapıda ortaya çıkan kolon-kiriş-duvar birleşiminde oluşan çatlaklar	67
Şekil 4.42. Orta düzey hasar alan bir duvarın temsili görünümü	68
Şekil 4.43. Duvarları orta düzeyde hasar alan bir yapı	68
Şekil 4.44. Deprem nedeniyle ağır hasar almış bir duvarın temsili görünümü	69
Şekil 4.45. Malatya’da deprem nedeniyle duvarları kırılan yapılar	70
Şekil 4.46. Zemin-yapı etkileşimi sonucu oluşan hasarlar	71
Şekil 4.47. Temel oturmalarından kaynaklanan duvar hasarları	72
Şekil 4.51. Aşırı sehim kaynaklı duvar hasarları	73
Şekil 4.49. 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından Malatya’da hasar alan konutlardan görünüm	76
Şekil 4.50. Malatya’da hasar tespit çalışmaları sonucunda gevşek zemin nedeniyle hasar gören bazı yapılar	78
Şekil 4.51. Planda çıkıntı ve giriş süreksizliği	82
Şekil 4.52. Malatya’da çıkmalar nedeniyle kısmen yıkılan yapılar (Yeşilyurt)	83

Şekil 4.53. Döşeme süreksizliği nedeniyle hasar alan bir yapı	85
Şekil 4.54. Zayıf kolon güçlü giriş hasarı nedeniyle ağır hasar alan yapılar	87
Şekil 4.55. Malatya’da burulma hasarı görülen bazı yapılar	89
Şekil 4.56. Zayıf kat oluşumu	91
Şekil 4.57. Malatya’da zayıf kat hasarı alan bir yapı	91
Şekil 4.58. Yumuşak kat düzensizliğine bağlı olarak hasar alan Detay Park Konutlarına ilişkin görüntüler	94
Şekil 4.59. Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği	96
Şekil 4.60. Malatya Flamingo Sitesi’nde çekiçleme etkisiyle meydana gelen hasar	98
Şekil 4.61. Kısa kolon hasarı alan yapılar	100
Şekil 4.62. Düz demir ve düşük kalite beton kullanımına bağlı olarak ağır hasar alan yapı	103
Şekil 4.63. Betonarme elemanlarda segregasyon sonucu oluşan mikroyapısal bozulmalar ve makro ölçekli hasarlar	106
Şekil 4.64. Paspayı uygulaması	107
Şekil 4.65. Düz demir ve yatay donatıların uygun yerleştirilmemesine bağlı olarak hasar gören bir yapı	110
Şekil 4.66. Segregasyon nedeniyle hasar almış perde ve kolon	112
Şekil 4.67. Taşıyıcı elemanlar üzerinden tesisat elemanlarının geçirilmesine bağlı olarak ortaya çıkan yapı hasarları	113
Şekil 4.68. Korozyona uğramış donatı (Taşdemir vd., 2000)	115
Şekil 4.69. Statik hesaplama ve işçilik kaynaklı hasar	117

SİMGELER VE KISALTMALAR

TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Bina Hakkında Yönetmelik
AFAD	Afet Ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
FEMA	Federal Acil Durum Yönetim Kurumu
ASCE-7	Amerikan Deprem Yönetmeliği
EUROCODE 8	Avrupa Deprem Yönetmeliği
JSCE	Japonya Deprem Yönetmeliği
EMRCO	Avrupa Hazır Beton Birliği
NZS	Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği

1. GİRİŞ

21. yüzyıl, sismik aktivitenin yol açtığı en yıkıcı felaketlerin tanığı olmuştur. Bu olaylar insan yerleşimlerini, ekonomik dengeleri ve toplumsal yapıları derinden sarsmıştır. Türkiye'nin jeolojik konumu, dünyanın en hareketli tektonik plakalarından bazılarının kesişme noktasında yer aldığı için, ülke ciddi bir sismik risk altındadır. Geçmişte yaşanan depremler, bu gerçeğin acı verici kanıtlarını sunmuş ve ulusal hafızada derin izler bırakmıştır (Can ve Saka, 2022).

Türkiye, jeolojik tarih boyunca sayısız depremlere tanıklık etmiş ve bu doğal olaylar, defalarca geniş çaplı yıkıma ve insan kayıplarına sebep olmuştur. Özellikle, 2023 yılının Şubat ayında meydana gelen Kahramanmaraş Depremleri, Cumhuriyet döneminin en yıkıcı afetlerinden biri olarak kayıtlara geçmiştir. 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'nin Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ilçesinde sabah saat 04.17'de 7.7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş, aynı gün öğle saat 13.24'te ise Elbistan ilçesinde 7.6 büyüklüğünde ikinci bir sarsıntı kaydedilmiştir. Bu iki sismik olay, yüzyılın en yıkıcı doğal afetlerinden biri olarak kayıtlara geçmiştir. On bir ilde milyonlarca insan ve yapıyı olumsuz yönde etkileyen bu depremler, altyapı sistemlerinde ve konutlarda ciddi hasarlara yol açmıştır. Özellikle Kahramanmaraş, Hatay, Adana, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Adıyaman, Osmaniye, Kilis, Elâzığ ve Malatya illerinde geniş çaplı bina çökmeleri ve ağır hasarlar meydana gelmiştir (Kılıç Ekici, 2023). Kahramanmaraş merkezli depremler sonucunda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hızla hasar tespit çalışmaları yürütülmüş ve binalar hasar düzeylerine göre hasarsız, az hasarlı, orta hasar ve ağır hasarlı olmak üzere dört farklı kategoride sınıflandırılmıştır (Avcıl ve ark., 2024). Hasar tespit çalışmaları sonucunda, bu depremlerden etkilenen on bir ilde toplamda 5 milyon 4 bin bağımsız bölüm incelenmiş, bunlardan 821 bin 302'sinin orta veya ağır hasarlı olduğu, 279 bin yapının ise acil yıkım gerektirecek durumda veya zaten yıkılmış olduğu belirlenmiştir (TMMOB, 2023). Betonarme yapıların yıkıma uğramasına ve ağır hasarlar almasına sebep olan faktörler arasında, kolon-kiriş birleşim noktalarında etriye kullanımının yetersizliği, beton dayanımının düşük olması, malzeme kalitesinin kötü olması, beton ile çelik arasındaki aderansın sağlanmaması, soğuk derz oluşumu, zemin etütlerinin doğru yapılmaması veya

hiç yapılmamış olması gibi nedenler bulunmaktadır. Ayrıca, betonarme yapılarda düşey taşıyıcı elemanların ve kesitlerinin tüm katlarda devam etmemesi veya aynı olmaması, rijitliğin azalmasına; boyuna donatıların yetersizliği ise yapıda hasarlara neden olmaktadır (Elyiğit ve Ekinci, 2023).

Bu araştırmada, 6 Şubat 2023'te gerçekleşen Kahramanmaraş-Pazarcık/Elbistan depremleri sonucunda Malatya şehir merkezinde zarar gören binaların hasar çeşitleri ve bu hasarları alma sebepleri, Üniversite Deprem İlk Değerlendirme Raporları, iletişim kaynakları ve ilgili akademik yayınlar temel alınarak analiz edilmiştir. Araştırma bulguları, depremin etkilerini minimize etmeye yönelik stratejik öneriler geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Araştırmada 6 Şubat'ta meydana gelen depremlerin genel bir değerlendirmesinin sunulması, bu depremlerden etkilenen 11 ilden biri olan Malatya ilindeki yapıların maruz kaldığı hasarların boyutunun ve çeşitliliğinin incelenmesi ve her hasar tipinin ardındaki etmenlerin analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Araştırma, bu tür doğal afetlerin ardından yaşanan ağır kayıpları önlemek için, sorunların temelinde yatan sebeplerin ortaya konulmasını amaçlamaktadır. Diğer bir ifadeyle, sorunların daha açık bir şekilde tanımlanması ve anlaşılması, daha etkili çözüm stratejilerinin geliştirilmesine imkan tanıyacaktır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu araştırmanın kapsamı, depremler nedeniyle ortaya çıkan yapısal hasarların nedenlerini kapsamlı bir şekilde ele almak üzere tasarlanmıştır. İlk olarak araştırmanın ikinci bölümünde depremlerin yapılar üzerindeki etkilerini incelemeye yönelik literatürde yer alan araştırmaların kısa özetlerine yer verilmiştir. Araştırmanın üçüncü bölümünde deprem kavramının tanımı, çeşitleri ve Türkiye'deki tarihsel depremler hakkında genel bir bakış sağlanmıştır. Bu bölümde, Türkiye'nin deprem riski altındaki bölgeleri ve bu bölgelerde geçmişte yaşanan önemli depremler hakkında bilgiler verilmiştir.

Araştırmanın dördüncü bölümünde, 6 Şubat Kahramanmaraş merkezli depremlerin Malatya ilindeki yapılar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu inceleme, zemin kaynaklı hasarlar, proje kaynaklı hasarlar, malzeme kaynaklı hasarlar ve işçilik kaynaklı hasarlar olmak üzere dört ana kategori altında yapılmıştır. Her bir hasar türü, oluşum mekanizmaları ve özellikleri ile birlikte detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Betonarmede görülen çatlaklar, ayrışmalar, parça kopmaları gibi yapısal hasarlar ve bunların nedenleri üzerinde durulmuştur. Bu bölümde ayrıca yapısal hasarların önlenmesi veya azaltılması için gerekli olan tasarım ve inşaat süreçlerinde dikkate alınması gereken hususlar vurgulanmıştır. Dördüncü bölümde aynı zamanda deprem etkilerinin azaltılması için öneriler sunulmuştur. Bu öneriler, hem teorik hem de pratik çözümler içermekte olup, deprem riski altındaki bölgelerde yapıların daha dayanıklı hale getirilmesi için gerekli adımları içermektedir.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Bu araştırma, niteliksel metodoloji çerçevesinde yürütülmüştür. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş Depremleri ile ilgili saha çalışmasından toplanan veriler, örneklem analizi kullanılarak kategorize edilmiş ve analiz edilmiştir. 6 Şubat depremlerinden etkilenen 11 ilden biri olan Malatya ilinin farklı bölgelerinde yer alan, orta ile ağır hasar görmüş yapıların incelenmesi, belirlenen örneklem yöntemi doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışma; Malatya Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü hasar tespit raporları ve fotoğrafları, çeşitli medya kaynakları ve literatür taraması sayesinde elde edilen bulgulara dayanarak oluşturulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu çalışma kapsamında, 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkez üssünde meydana gelen 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki depremlerin kapsamlı bir analizi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu depremlerden etkilenen on bir il arasında yer alan Malatya’da, yapı stokunun maruz kaldığı hasar türleri ve bu hasarların düzeyleri detaylı bir şekilde irdelenmiş, hasar tiplerinin altında yatan faktörlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Araştırmanın bu bölümünde, depremlerin yapılar üzerindeki etkilerini ele alan mevcut literatür, sistematik bir yaklaşımla gözden geçirilmiştir.

Kırıcı ve Soyluk (2024) araştırmalarında depremin neden olduğu yapısal hasarların boyutlarını ve yıkımın arkasındaki nedenleri anlamayı, ayrıca mimarlık etiğinin bu yıkım çeşitlerindeki rolünü değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Araştırmada yöntem olarak, çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından hazırlanan ön inceleme raporları, deprem raporları, literatür ve haber kaynaklarından elde edilen veriler kullanılmış ve nitel araştırma yöntemi ile örnekler üzerinden yıkım çeşitleri incelenmiştir. Bulgular, yapı-zemin ilişkisinin yanlış kurulmasından, düşük kaliteli malzeme kullanımına, yetersiz kolon ve kiriş boyutlarından, taşıyıcı sistemlere zarar verici müdahalelere kadar çeşitli nedenlerle hasarların meydana geldiğini göstermektedir. Sonuç olarak, deprem kuşağında yer alan bir ülke olarak, sadece yönetmeliklerin değiştirilmesi veya güncellenmesi değil, aynı zamanda bu düzenlemelerin sahada uygulanmasının önemi vurgulanmaktadır. Ayrıca, yapıların tasarım ve inşasında mimar ve mühendislerin geniş kapsamlı sorumluluklarına ve meslek etiğine uygun davranışların önemine dikkat çekilmektedir. 12 Mayıs 2023’te yapılan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği değişikliklerinin bu bulguları desteklediği belirtilmektedir. Yapıların doğru ilkeler ışığında inşa edilmesinin, deprem anında ve sonrasında yıkım hasarlarını büyük ölçüde engelleyebileceği sonucuna varılmıştır.

Büyük (2023), araştırmasında deprem riski yüksek olan Türkiye gibi ülkelerde yaygın olarak kullanılan betonarme yapıların tasarım ve analiz süreçlerinde genellikle göz ardı edilen dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmanın konusu, kısmi dolgu duvarların, yani tamamen

duvarla kaplanmayan ve yapıların taşıyıcı sistemine dahil olan duvarların, betonarme yapıların sismik performansına olan etkisidir. Amacı, bu etkilerin anlaşılması ve yapı tasarımında bu duvarların dikkate alınmasının gerekliliğini vurgulamaktır. Yöntem olarak, 2020 yılında Elazığ'da meydana gelen 6.8 Mw büyüklüğündeki deprem sırasında ağır hasar görmüş beş katlı bir apartmanın detaylı bir analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, bant pencere ile sınırlandırılmış kısmi boşluklu dolgu duvarlar ele alınmış ve SeismoStruct (v2022) bina analiz programı kullanılarak, beton ve donatı malzemelerinin lineer olmayan davranışları dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım analiz yöntemi uygulanarak, Sivrice, Malatya ve Elazığ-Merkez istasyonlarından alınan verilerle yapısal tepkiler hesaplanmıştır. Bulgular, kısmi dolgu duvarların ve üzerlerinde bırakılan boşlukların, kolonlarda kısa kolon etkisi yaratabileceğini ve bu durumun yapısal hasarı artırabileceğini göstermiştir. Sonuçlar ise, saha gözlemleriyle uyumlu olup, kısmi dolgu duvarların yapı tasarımında önemli bir faktör olduğunu ve bu duvarların göz önünde bulundurulmasının, yapıların deprem performansını iyileştirebileceğini ortaya koymaktadır. Araştırma, betonarme yapı tasarımında kısmi dolgu duvarların rolünün daha iyi anlaşılması için ileri araştırmaların yapılmasının önemini vurgulamaktadır. Bu tür çalışmalar, deprem güvenliği açısından kritik öneme sahip olan yapıların tasarım ve analiz süreçlerine katkıda bulunabilir.

Yüksel (2008) deprem sonrası betonarme binalarda yapılan acil hasar değerlendirmelerini incelediği araştırmasında deprem sonrası hızlı bir şekilde yapılan hasar tespiti ve kullanılabilirlik araştırmalarının ilkelerini açıklamayı amaçlamıştır. Bu süreç, genellikle acil bir durumda gerçekleştirilir ve elde edilen bilgilerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapısal hasarların sınıflandırılması ve tek bir nedene dayandırılması zor ve bazen olanaksızdır. Ancak, bu çalışma, yapısal hasarları sınıflandırmaya ve sık gözlenen yapısal hasar nedenlerini açıklamaya yönelik bir girişimde bulunmuştur. Ayrıca, deprem sonrası acil hasar tespit ve kullanılabilirlik araştırmasının ilkeleri vurgulanmıştır. Bu tür incelemelerin sistematik bir şekilde yapılabilmesi için deprem öncesinde organizasyonların yapılması gerektiği de belirtilmiştir.

Koç (2016) depremler sonrası betonarme binalarda gözlenen ağır hasar tiplerinin sınıflandırılması ve yapısal davranışla ilişkilendirilmesi üzerine

yoğunlaştığı araştırmasında özellikle kolon ve kolon-kiriş birleşim hasarlarından kaynaklanan ağır hasarları incelemeyi ve bu hasar tiplerini yapısal sistem ve elemanlarına göre sınıflandırmayı amaçlamıştır. Yöntem olarak, yapısal sistemin hasar türleri ve yapısal elemanların hasarları detaylı bir şekilde gruplandırılmış ve bu hasar tiplerinin önlenmesi için gerekli önlemler özetlenmiştir. Bulgular, yapısal hasarların çeşitliliğini ve karmaşıklığını ortaya koymakta ve sınıflandırma, yapısal mühendislerin hasar tespiti ve değerlendirme süreçlerinde karşılaştıkları zorlukları anlamalarına yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak, araştırma, betonarme binaların deprem sonrası hasarlarının daha iyi anlaşılması ve etkili önlemlerin alınması için kapsamlı bir rehber sunmaktadır. Ayrıca, yapısal eleman hasarlarının önlenmesi ve iyileştirilmesi konusunda pratik bilgiler sağlamaktadır.

Ergün ve Yurtcu (2007) çalışmalarında yapıların zamanla ve özellikle depremler sonucunda nasıl hasar gördüğünü ve bu hasarların yapısal mekanizmalarını araştırmışlardır. Araştırmanın amacı, tamamen çöken yapıların hasar mekanizmalarını değil, orta ve ağır hasarlı yapıları incelemektir. Yöntem olarak, hasarlar özet fotoğraflarla sunulmuş ve teknik analizler yapılmıştır. Araştırma bulguları, betonarme ve yığma yapı sistemlerindeki deprem hasarlarının geniş yelpazesini ve taşıyıcı sistemin güvenliğini nasıl etkilediğini göstermektedir.

3. DEPREM

Dünya, jeolojik açıdan aktif bir gezegendir ve bu durum, depremler gibi doğal afetlerin oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Depremler, karmaşık yapıları ve yarattıkları yıkıcı etkiler nedeniyle, insan yaşamı üzerinde önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Sabah ve Bayraktar, 2020). Yerkürenin iç dinamiklerinden kaynaklanan depremler, zamansal ve mekansal ölçekte farklı etkilere sahiptir. Toplumların depremlerden etkilenme biçimleri, depremin algılanması ve değerlendirilmesi ile yakından ilişkilidir ve bu algı zaman içerisinde değişim göstermektedir. Bu durum, dünya literatüründe farklı deprem tanımlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Selçuk ve Erem, 2022; Aytıs, 2023).

Deprem, yerkabuğunun kırılması sonucu aniden ortaya çıkan ve genellikle tahmin edilemeyen sonuçlara yol açan, toplumsal yaşamı ve ekonomiyi olumsuz etkileyebilen jeolojik bir doğal felakettir (Tağıl, 2004). Deprem, yer kabuğu içerisinde biriken elastik enerjinin serbest bırakılmasıyla meydana gelen ve sismik dalgaların kaynak noktasından dışarıya doğru yayılmasıyla karakterize edilir (Tinal, 2009). Bu dalgalar, geçtikleri ortamları ve yüzeyi sarsarak, yapısal hasarlara ve potansiyel olarak can kayıplarına neden olabilir (Aytıs, 2023). Litosferde, yani yer kabuğunda, biriken kinetik enerjinin aniden açığa çıkmasıyla oluşan bu sismik hareketlilik, yer kabuğunun sarsılmasına ve böylece deprem olayının gerçekleşmesine sebep olur (Yön, Sayın ve Onat, 2017). Uzun süreli gerilim birikiminin, kayaçların dayanıklılığını aşması sonucu ani bir enerji boşalımı şeklinde kendini gösteren depremler, yerkürenin yüzeyine yakın bölgelerde özellikle tehlikeli olabilmektedir (Akkoyunlu, 2021).

Dünya'nın sismik hareketlerinin tetiklediği depremler, her gün artan bir oranda insan topluluklarının yaşam düzenlerini, ekonomik ve sosyal faaliyetlerini etkilemekte, bu da bilim insanlarının bu konulara olan ilgisini artırmaktadır. 'Depremsellik' terimi, depremlerin zaman içinde ve coğrafi alanda nasıl dağıldığını tanımlar. Bir bölgedeki depremlerin sıklığı ve büyüklüğü, o bölgenin depremselliğinin bir göstergesidir (Aytıs, 2023).

3.1 Deprem Kavramı

Depremlerin kompleks doğasının anlaşılması ve bu doğal olayları etkileyen faktörler arasındaki etkileşimin açıkça tanımlanabilmesi için, sismoloji ile ilgili terimlerin ve kavramların iyi bilinmesi zorunludur (AFAD, 2022).

Deprem: Tektonik hareketlerin ya da volkanik aktivitelerin neden olduğu yer kabuğu kırıkları, enerjinin sismik dalgalar şeklinde yayılmasına ve bu dalgaların geçtikleri ortamları, aynı zamanda yeryüzünü şiddetle sarsmasına yol açar.

Öncü Deprem: Bir fay hattı üzerinde, büyük bir sismik olaydan önce, aynı bölgede daha düşük şiddette sarsıntılar meydana gelebilir. Bu tür sarsıntılar, potansiyel olarak daha büyük bir depremin habercisi olabilir; ancak bunların gerçekten öncü deprem olup olmadıkları, takip eden dönemde aynı fay üzerinde daha büyük bir sismik olayın gerçekleşip gerçekleşmediği gözlemlenerek anlaşılır (.

Artçı Deprem: Birincil sismik olayın akabinde, aynı coğrafi konumda gerçekleşen, daha düşük şiddetli sarsıntılar mevcuttur. Bu artçı sismik aktiviteler, başlangıçta yoğun bir frekansta meydana gelir ve zamanla azalarak, haftalar, aylar hatta yıllar boyunca sürebilir.

Deprem Kuşağı: Tektonik plakaların kenarlarında meydana gelen ve bu sınırlar boyunca büyük ölçekli sismik olayların ortaya çıktığı, dünya genelinde tanımlanan zonlar, belirli bir terminoloji ile adlandırılır.

Depremin Büyüklüğü: Depremler tarafından üretilen toplam enerjinin ölçümünü temsil eden değerler, aletsel analizler ve hesaplamalar neticesinde elde edilir. Çeşitli sismik dalga verileri ve özgün kriterler kullanılarak, değişik deprem büyüklüğü ölçüm yöntemleri ve formülleri geliştirilmiştir. Bu büyüklükler, Md, Ms, Ml, Mb, Mw gibi kısaltmalarla ifade edilir. Sismolojide yaygın olarak kullanılan büyüklük ölçümleri arasında, cisim dalgası fazlarından elde edilen Mb, yüzey dalgalarından hesaplanan Ms ve dalga şekillerinin modellemesiyle tespit edilen Mw değerleri bulunmaktadır.

Depremin Şiddeti: Depremler tarafından insanlara, çevreye, yapısal varlıklara ve doğal düzene yönelik olarak meydana getirilen etkilerin, zararların veya değişikliklerin, gözlemsel verilere dayanarak sınıflandırılması süreci. Şiddet, yalnızca depremin büyüklüğüne bağlı olmayıp, aynı zamanda merkez üssüne olan mesafe ve ilgili yerin yerel jeolojik özelliklerine de bağlıdır. Depremin şiddeti,

bireysel yapılar üzerindeki etkileri değil, bir yerleşim bölgesindeki çeşitli yapı tiplerinde ortaya çıkan toplam zararları ifade eder.

Episantr (Dış merkez): Depremi merkez üssü

Hiposantr (Odak noktası): Dünya'nın derinliklerinde, sismik kırılmanın başlangıç noktası olarak kabul edilen ve burada enerjinin serbest bırakıldığı alan, iç odağın veya hiposantrın kendisidir. Bu, genellikle tek bir nokta olarak düşünülse de, aslında enerjinin açığa çıktığı daha geniş bir bölgeyi ifade eder.

Odak Derinliği: Depremi meydana geldiği esnada, yer kabuğunda enerjinin serbest bırakıldığı noktanın, yeryüzüne olan en kısa mesafesi, sismolojide özel bir öneme sahiptir.

Sismoloji: Sismoloji, depremlerin oluşum mekanizmalarını, yer kabuğu içerisinde sismik dalgaların yayılımını, hem zayıf hem de güçlü yer hareketlerinin kaydedilmesi, ölçülmesi ve analiz edilmesi yöntemlerini, deprem riskinin değerlendirilmesini ve bu risklerin minimize edilmesi stratejilerini inceleyen jeofizik biliminin bir dalıdır.

Yer kabuğunu meydana getiren tektonik levhaların hareketleri sonucunda, belirli bölgelerde uzun süreçler boyunca enerji birikimi gerçekleşir. Bu enerji, tahmin edilemeyen zamanlarda serbest bırakılır ve bu hareketli yer kabuğu bölümleri fay olarak tanımlanır (Edemen vd.,). Deprem, fay hatları boyunca biriken elastik gerilimin ani bir şekilde boşalmasıyla oluşan, yer değiştirme hareketine bağlı karmaşık elastik dalga hareketleridir. İki tür deformasyon, statik ve dinamik, deprem sonrası gözlemlenir. Statik deformasyon, fay ve çevresinde meydana gelen ve fayın hareket miktarı ile mekanizmasına bağlı olan kalıcı deformasyondur. Dinamik deformasyon ise, fayın kırılması esnasında oluşan elastik dalgaların yayılmasıyla ve deprem dalgasının geçtiği ortamda gerçekleşen sıkışma, bükülme ve dönme hareketleriyle zamanla ortaya çıkar (Durmaz ve Soyaslan, 2023). Deprem araştırmalarının temel verileri arasında, fayların konumu, uzunluğu, karakteri, geometrik yapısı, segmentasyonu, deformasyon alanının genişliği, uzun ve kısa vadeli kayma hızları, büyük depremlerin tekrarlanma periyotları, deprem sırasında oluşan yer değiştirme miktarları ve fayların ürettiği büyük depremlerin kronolojisi gibi canlı fay parametreleri bulunur (Nurlu, 2017). Yer kabuğundaki fay hatlarında meydana gelen bu

hareketler, dünya çapında yaşanan depremlerin büyük bir kısmını oluşturur (Şengöz, 2019).

3.2 Deprem Türleri

Depremlerin karmaşık ve çok faktörlü yapısı, Dünya'nın içsel dinamikleriyle ilişkili olarak, çeşitli etmenlerin birbiriyle etkileşimi sonucu ortaya çıkar. İnsanların depremlere verdiği tepkiler ve bu doğal olaylardan çıkardıkları anlamların çeşitliliği, depremlerin farklı türlerde ve sınıflarda incelenmesine yol açmıştır. Depremler genellikle oluşum sebeplerine göre sınıflandırılır (Çizelge 3.1). Levha hareketlerinin sonucunda meydana gelen depremler, tektonik depremler olarak adlandırılır ve çoğunlukla levha sınırlarında gerçekleşir. Dünya üzerindeki depremlerin yaklaşık %90'ı tektonik kökenlidir. Türkiye'de yaşanan depremlerin büyük çoğunluğu da tektonik doğadadır. Volkanik depremler, volkanların faaliyetleri sonucunda ortaya çıkar ve genellikle magmanın yüzeye doğru hareketi sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal süreçlerle ilişkilidir. Bu tür depremler, Japonya ve İtalya gibi aktif volkanların bulunduğu ülkelerde gözlemlenir. Türkiye'de aktif volkanik dağların olmaması nedeniyle, bu tür depremler günümüzde nadiren rastlanır. Çöküntü depremleri ise yer altındaki boşlukların (örneğin mağaraların), maden galerilerinin veya tuz ve jips yataklarının çökmesiyle meydana gelir. Ayrıca, büyük heyelanlar ve göktaşlarının düşmesi de küçük çaplı sarsıntılara sebep olabilir (Şengöz, 2019).

Çizelge 3.1. Türlerine göre depremler

1. Kaynağına Göre Deprem Türleri	
Tektonik depremler	Tektonik depremler, dünya genelinde en yaygın deprem türü olarak bilinmektedir. Yerkabuğu, tektonik plakalar olarak adlandırılan gevşek ve çatlak toprak parçalarından oluşur. Bu plakalar, yavaş ve kademeli olarak hareket edebilir. Plakaların hareketi, birbirine doğru, birbirinden uzağa, yan yana kayarak veya çarpışarak farklı şekillerde gerçekleşir. İki tektonik plakanın birbiri üzerinde kayması sonucu büyük sarsıntılar meydana gelir ve bu tür sarsıntılara tektonik deprem denir (Converse Energy Future, 2023). Kıta sahanlığı, kıta kabuğunun altında, sıg sularla kaplı geniş ve dar alanlardır. Bu sahanlıklar, kıtasal yamaçlarla buluşana kadar kıyı şeridinden birkaç yüz kilometre dışarıya uzanır. Kıtasal yamaçlar, kalın tortu ve kaya yığınlarının derin okyanusa kaydığı ve basamaklandığı dik inişlerdir (Kusky, 2008, s. 5). Jeologlar, plaka tektoniği modeliyle, dünyanın yüzey katmanı olan litosferin her biri yılda birkaç santimetre hızla hareket eden bir düzineden fazla sert plakaya bölündüğünü açıklamışlardır. Plakaların kenarları boyunca gerçekleşen hareketler depremlere neden olurken, bu kenarlar boyunca meydana gelen kıvrılma ve kırılma gibi deformasyonlar dağ kuşaklarının oluşumunu sağlar. Plakaların birbirleriyle etkileşiminde üç tür sınır mevcuttur: ıraksak, yakınsak ve dönüşüm sınırları. ıraksak sınırda iki plaka birbirinden uzaklaşırken, aradaki boşluk erimiş magma tarafından doldurularak yeni plaka malzemesi oluşur. En karmaşık plaka sınırları olan yakınsak sınırda ise bir plaka diğerinin altına kayar ve derinlikte kısmen eriyerek dalma-batma bölgesi oluşturur (Kusky, 2008).
Volkanik depremler	Volkanik patlamalar, yerkabuğunun derinliklerinden gelen erimiş kaya ve gazların atmosfere salınmasıyla karakterize edilen, jeolojik açıdan son derece dinamik olaylardır. Bu patlamalar, sadece doğal güzellikler sunmakla kalmaz, aynı zamanda yıkıcı lav akıntıları, kül yağmurları ve tsunamiler gibi tehlikelere de yol açabilir. Volkanlar, tektonik plakaların hareketleri sonucu oluşan jeolojik yapılardır ve farklı türlerde ve boyutlarda olabilirler. Bazı volkanlar sadece bir kez patlarken, bazılarının milyonlarca yıl boyunca aktif olduğu bilinmektedir. Volkanik patlamalar sırasında açığa çıkan erimiş kaya (magma) "lav" olarak adlandırılırken, havaya saçılan kül ve kaya parçacıkları ise "tefra" olarak bilinir. Volkanik patlamaların tetiklediği depremler ise "volkanik depremler" olarak adlandırılır ve patlama öncesi, sırası veya sonrasında meydana gelebilir. Volkanik depremler, magmanın yerkabuğunda yarattığı boşlukların kayalar tarafından doldurulmaya çalışılması sonucu oluşur ve sismik açıdan oldukça tehlikeli olabilir (Converse Energy Future, 2023).
Çöküntü depremleri	Maden çökme depremleri, yeraltı madencilik faaliyetleri sırasında kayaların içinde biriken basıncın tetiklediği nispeten küçük büyüklükteki depremlerdir. Halk arasında "mayın patlaması" olarak da bilinen bu depremler, madenin çatısının çökmesine ve artçı sarsıntılara yol açarak önemli can ve mal kayıplarına neden olabilir. Özellikle yeraltı madenlerinin yoğun olduğu küçük kasabalarda yaygın olan çökme depremleri, bölgedeki ekonomiyi ve altyapıyı da olumsuz etkileyebilir. Arkeolojik bulgular, insan ırkının 74.000 yıl önce büyük volkanik patlamaların tetiklediği kitlesel yok olma tehdidiyle karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Daha yakın zamanlarda ise 14. yüzyılda "Kara Ölüm" olarak bilinen veba salgını, insanlığın hayatta kalma mücadelesini ciddi şekilde zorlamıştır. Bu iki olay, doğal afetlerin ve salgın hastalıkların insan uygarlığı üzerinde yaratabileceği yıkıcı etkileri açıkça göstermektedir. Maden çökme depremlerinin önlenmesi için jeolojik etütler, risk analizleri ve madencilik faaliyetlerine yönelik katı düzenlemeler hayati önem taşımaktadır. Ayrıca, afet planlaması ve hazırlık çalışmaları, can kayıplarını ve maddi hasarı en aza indirmek için gereklidir.
Beşeri depremler	İnşaat, maden arama, taşocağı vb. gibi beşeri faaliyetler sonucunda ortaya çıkan sarsıntılardır.

2. Derinliklerine Göre Deprem Türleri	
Sığ depremler	Yerin 0-70 km altında gerçekleşen depremlerdir.
Orta derinlikteki depremler	Yerin 70-300 km altında gerçekleşen depremlerdir.
Derin odaklı depremler	Yerin 300-700 km altında gerçekleşen depremlerdir.
3. Uzaklıklarına Göre Deprem Türleri	
Yerel deprem	Depremin merkez üssüne 100 km'den daha az mesafede bulunan bir alanda hissedilen depremlerdir.
Yakın Deprem	Depremin merkez üssüne 100-1000 km arasındaki mesafede bulunan bir alanda hissedilen depremlerdir.
Bölgesel Deprem	Depremin merkez üssüne 1000-5000 km arasındaki mesafede bulunan bir alanda hissedilen depremlerdir.
Uzak Deprem	Depremin merkez üssüne 5000 km'den daha fazla mesafede bulunan bir alanda hissedilen depremlerdir.
4. Büyüklüklerine Göre Deprem Türleri	
Çok büyük depremler	8.0 ve üzeri şiddette gerçekleşen depremlerdir.
Büyük depremler	7.0-8.0 arası şiddette gerçekleşen depremlerdir.
Orta büyüklükte depremler	5.0-7.0 arası şiddette gerçekleşen depremlerdir.
Küçük depremler	3.0-5.0 arası şiddette gerçekleşen depremlerdir.
Mikro depremler	1.0-3.0 arası şiddette gerçekleşen depremlerdir.

Kaynak: Şengöz, 2019

3.3 Türkiye’de Depremsellik Potansiyeli

Türkiye ve yakın çevresi, sismotektonik açıdan aktif bir bölgedir ve karmaşık jeolojik yapısı ile jeodinamik konumu nedeniyle birçok aktif fay hattına sahiptir. Ülkemiz sınırları içinde meydana gelen depremler, diri fayların konumlarına, jeolojik özelliklere ve litolojik yapıya bağlı olarak farklı zaman aralıklarında ve farklı büyüklüklerde gerçekleşebilir. Türkiye’nin toprakları, dünya karasal yüzeyinin sadece %0,5’ini oluşturur. Ancak ülkemizin yüzölçümünün %75’i tehlikeli veya yüksek tehlikeli alanlar olarak değerlendirilmektedir (Şahin ve Üçgül, 2019). Türkiye tarih boyunca birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Afetlerin neden olduğu can kaybı ve etkilenen yerleşim bölgeleri göz önüne alındığında, depremlerin ülkemizde %61’lik bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Sabah ve Bayraktar, 2020). Sanayi tesisleri ve barajlar da deprem riski taşıyan bölgelere inşa edilmiştir. Sanayi tesislerinin %98’i yüksek deprem

riski olan bölgelerde bulunurken, %78'i aktif fay zonları boyunca konumlanmıştır. Benzer şekilde, ülkemizdeki barajların %95'i deprem bölgelerinde yer almaktadır. Türkiye nüfusunun %98'i deprem tehdidi altındaki bölgelerde yaşamaktadır (Tağıl, 2004).

20. yüzyılın başlarından itibaren ivmelenen şehirleşme ve endüstrileşme, dünya genelinde yeni yerleşim alanlarının kurulmasına ve mevcut şehirlerin hızlı bir şekilde büyümesine yol açmıştır. Bu yerleşimlerin önemli bir kısmı, tektonik açıdan aktif bölgelerde veya yakın çevrelerinde konumlanmıştır. Bu durum, kentsel alanlar ve hassas yapıların deprem fay hatlarına yakın veya diğer afete maruz kalan bölgelerde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bu yoğunlaşma, dünya çapında ve Türkiye'de de afet zararlarının artmasına zemin hazırlamıştır. Türkiye, deprem açısından oldukça aktif bir coğrafyada yer almaktadır. Her yıl ortalama 22.000'den fazla deprem meydana gelmektedir. 1900 yılından günümüze kadar uzanan bir zaman diliminde incelendiğinde, her yıl ortalama 2 adet can kaybına veya hasara yol açan deprem yaşandığı görülmektedir. Ülkemizde her 6 yılda bir 7.0 ve üzeri büyüklükte deprem meydana gelmiş olup, bu depremler toplamda 240.000'den fazla can kaybına ve hasara neden olmuştur (Şahin, 2019). Bu veriler ışığında Türkiye'nin deprem riski oldukça yüksektir. 1900-2020 yılları arasında meydana gelen büyük depremler bakımından Türkiye, 77 deprem ile dünyada dördüncü sırada yer almaktadır (Can ve Saka, 2022). Can kaybına neden olan depremler açısından ise Türkiye üçüncü, etkilenen insan sayısı bakımından ise sekizinci sıradadır. Bu depremler sonucunda yaklaşık 100.000 kişi hayatını kaybetmiş ve 700.000'den fazla bina hasar görmüştür (Karademir ve ark., 2019).

Türkiye, Alp-Himalaya Deprem Kuşağı'nın en aktif bölgelerinden biri olarak kabul edilir. Bu konum, ülkeyi deprem riski yüksek bir bölge haline getirmektedir. Türkiye'deki aktif deprem kaynakları, jeolojik geçmişi ve plaka hareketleri ile yakından ilişkilidir ().

Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF): KAF, dünyadaki en aktif sağ-yanal atımlı faylardan biridir. Yaklaşık 1100 km uzunluğunda olan fay, doğuda Van Gölü'nden batıda Saros Körfezi'ne kadar tüm kuzey Anadolu'yu kesmektedir. Avrasya levhası ile Anadolu Levhası arasındaki hareketlilik, KAF'ın sürekli aktif olmasına neden olmaktadır. Bu fay hattı, son yüz yılda birçok yıkıcı depreme sahne

olmuştur. Bunlardan en bilineni 17 Ağustos 1999 Gölcük depremidir. Gölcük depremi, 7.6 büyüklüğünde ve 17.000'den fazla can kaybına neden olmuştur.

Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF): DAF, Ölü Deniz Transform Fayı'nın kuzey ucundaki Maraş üçlü eklemi ile başlayıp Kuzey Anadolu Fayı ile birleştiği Karlıova üçlü eklemine kuzeydoğu yönünde son bulmaktadır. Doğrultu atımlı olan bu fay, Anadolu levhası ile Arap levhası arasındaki tektonik sınırdır. DAF boyunca birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bunlardan biri de 6 Şubat 2023 Pazarcık merkezli Kahramanmaraş depremidir. 7.7 büyüklüğündeki bu deprem, Türkiye Cumhuriyeti'nin en büyük felaketi olarak tarihe geçmiştir.

Ege Graben Sistemi (EGS): EGS, Anadolu'nun batısında doğu-batı yönlü uzanan ve kuzeyden güneye doğru yaklaşık 200 km boyunca sıralanan çok sayıda faydan oluşan bir deprem kuşağıdır. Arap levhasının baskılaması sonucu batı yönünde itilen Anadolu Levhası batıda sıkışma yaratmaktadır. Bu olay, depremlerin ve grabenlerin oluşmasına neden olmaktadır. EGS'de meydana gelen depremler genellikle daha küçük büyüklükte olmakla birlikte, yine de önemli can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir.

3.4 Türkiye'de Tarihsel Depremler

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem – Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM)'nden alınan verilere göre Türkiye'de 1927-2023 yılları arasında meydana gelen 6,0 ve üstü büyüklüğündeki depremlerde oluşan can kaybı ve hasarlı bina sayıları Çizelge 3.2'de verilmiştir (www.koeri.boun.edu.tr).

Çizelge 3.2. Türkiye’de 1923-2023 yılları arasında meydana gelen depremler

Tarih	Yer	MAG (Ms)	Can Kaybı	Hasarlı Bina
13.09.1924	Horasan (Erzurum)	6.8	60	380
22.10.1926	Kars-Ermenistan	6.0	3	2043
31.03.1928	Torbalı (İzmir)	6.5	50	2500
18.05.1929	Suşehri (Sivas)	6.1	64	1357
04.01.1935	Erdek (Balıkesir)	6.4	5	600
19.04.1938	Kırşehir	6.6	160	4066
27.12.1939	Erzincan	7.9	32968	116720
23.05.1941	Muğla	6.0	-	200
15.11.1942	Bigadiç (Balıkesir)	6.1	16	2187
20.12.1942	Erbaa (Tokat)	7.0	3000	32000
20.06.1943	Hendek (Adapazarı)	6.6	336	2240
27.11.1943	Ladik (Samsun)	7.2	4000	40000
01.02.1944	Gerede-Çerkeş (Bolu)	7.2	3959	20865
25.06.1944	Gediz (Uşak)	6.0	21	3476
06.10.1944	Ayvalık (Balıkesir)	6.8	30	5500
20.03.1945	Ceyhan-Misisi (Adana)	6.0	13	2500
23.07.1949	Karaburun (İzmir)	6.6	7	865
17.08.1949	Karlıova (Bingöl)	6.7	450	3500
13.08.1951	Kurşunlu (Çankırı)	6.9	50	3354
18.03.195	Kurşunlu (Çankırı)	6.0	2	230
16.07.1955	Söke-Balat (Aydın)	6.8	23	470
20.02.1956	Eskişehir	6.4	1	2819
25.04.1957	Fethiye-Rodos (Muğla)	7.1	67	3200
26.05.1957	Abant (Bolu)	7.1	52	5200
23.05.1961	Fethiye-Rodos (Muğla)	6.3	-	61
18.09.1963	Çınarcık (İstanbul)	6.3	1	230
14.06.1964	Malatya	6.0	8	847
06.10.1964	Manyas (Balıkesir)	7.0	23	5398
19.08.1966	Varto (Muş)	6.9	2396	20007
22.07.1967	Mudurnu (Adapazarı)	6.8	89	7116
03.09.1968	Bartın (Zonguldak)	6.5	29	2478
28.03.1970	Alaşehir (Manisa)	6.5	53	3072
28.03.1970	Gediz (Kütahya)	7.2	1086	19291
22.05.1971	Bingöl	6.8	878	9111
06.09.1975	Lice (Diyarbakır)	6.5	2385	8149
24.11.1976	Muradiye (Van)	7.5	3840	9232
05.07.1983	Biga (Çanakkale)	6.1	3	85
30.10.1983	Erzurum-Kars	6.9	1155	3241
18.09.1984	Balkaya (Erzurum)	6.4	3	570
07.12.1988	Kars-Ermenistan	6.9	4	546
13.03.1992	Erzincan	6.8	65	8057
06.11.1992	Doğanbey (İzmir)	6.0	-	55
01.10.1995	Dinar (Afyon)	6.1	90	14.156
27.06.1998	Ceyhan (Adana)	6.2	146	31463
17.08.1999	Gölcük (Kocaeli)	7.8	17480	73342
12.11.1999	Düzce	7.5	763	35.519
06.06.2000	Orta (Çankırı)	6.1	1	1766
03.02.2002	Çay (Afyon)	6.4	44	622
27.01.2003	Pülümüc (Tunceli)	6.2	1	50
01.05.2003	Bingöl	6.4	176	6000
08.03.2010	Başyurt (Elazığ)	6.1	42	-
23.10.2011	Van	7.2	644	17005
24.01.2020	Elazığ	6.8	41	10694
30.10.2020	Seferihisar (İzmir)	6.6	117	633
06.02.2023	Pazarcık ve Elbistan (Kahramanmaraş)	7.6	53537	240000

Kaynak: Şenol, Akbaş ve Çalışkan, 2023

4. YAPI HASARLARI, NEDENLERİ VE ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Türkiye'nin yapı stoğu incelendiğinde, önemli bir kısmının betonarme ve yığma yapılardan oluştuğu görülmektedir. Bu bağlamda, betonarme yapıların deprem karşısındaki dinamik davranışlarının doğru şekilde projelendirilmesi, deprem kaynaklı can ve mal kayıplarının önlenmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Gerçekleşen depremler sonrasında betonarme yapılarda gözlemlenen hasarlar incelendiğinde, bu hasarların büyük ölçüde yönetmelik ihlallerinden kaynaklandığı açıkça görülmektedir. Özellikle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018)'de belirtilen betonarme yapıların tasarım ve uygulamasındaki düzensizlikler, deprem performanslarının olumsuz etkilenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de meydana gelen depremlerden elde edilen hasar tespit raporları ışığında, betonarme yapılarda gözlemlenen hasar türleri ve bu hasarların oluşum nedenleri derinlemesine analiz edilmiştir. Bu sonuçlara göre;

- *Kısa Kolon Etkisi:* Bodrum katlarda pencere gibi açıklıklar oluşturulması ve zemin katlarda taşıyıcı duvarların kaldırılması, kolonlarda kısa kolon etkisi yaratarak kesme hasarlarına yol açmıştır.
- *Zayıf ve Yumuşak Kat Düzensizliği:* Ticari amaçlarla zemin katların yüksek tasarlanması ve taşıyıcı duvarların kaldırılması, zayıf ve yumuşak kat düzensizliği oluşmasına neden olmuştur. Bu durum, katlarda farklı rijitliklerin oluşmasına ve deprem yüklerinin zayıf katlara yoğunlaşmasına yol açmıştır.
- *Kolon-Kiriş Birleşim Noktalarında Hasarlar:* Kolon-kiriş birleşimlerinde etriye sıklaştırmalarının yapılmaması veya etriye sayısında yetersizlik, mafsallaşmalara ve hasara neden olmuştur.
- *Plan ve Düşey Düzensizliklerden Kaynaklı Hasarlar:* Betonarme binaların planlarında ve düşey yönlerindeki düzensizlikler, hasarın artmasına katkıda bulunmuştur.
- *Malzeme Kalitesi Sorunları:* Kullanılan betonda ve çelik donatılarda korozyon gibi kalite sorunları, taşıyıcı sistemin direncini önemli ölçüde azaltmıştır.

- *Soğuk Derz Oluşumu:* Kolon-kiriş betonlarının dökümlerinin farklı zamanlarda yapılması, birleşim bölgelerinde soğuk derz oluşumuna ve hasara yol açmıştır.
- *Yetersiz Temel Tasarımı:* Temel tasarımında zemin etütlerinin eksik veya hatalı olması, zeminde sıvılaşma ve taşıma gücü kaybına neden olmuştur.
- *Rijitlik Azalması:* Taşıyıcı elemanların kesitlerinin ve boyuna donatı miktarının yetersizliği, rijitlik azalmasına ve hasara yol açmıştır.

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli 7.7 ve 7.6 şiddetindeki depremler sonucunda 11 il etkilenmiş, birçok yapı ciddi hasarlar almış/yıkılmış ve on binlerce kişi enkaz altında kalarak yaşamlarını yitirmişlerdir. Depremi hemen ardından Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hasar tespit çalışmaları başlatılmış ve bu çalışmalar sonucunda 1.712.182 bina ve 5.117.036 bağımsız bölümde hasar tespit çalışmaları yürütülmüştür. Deprem sonucunda en fazla yapı hasarı ve can kaybı yaşanan illerden biri de Malatya olmuştur. Malatya’da yürütülen hasar tespit çalışmalarında toplam 171.153 bina incelenmiş ve hasar tespit çalışması sonucunda 71.519 konutun acil yıkılacak + ağır hasarlı ve yıkık; 12.801 konutun orta hasarlı ve 107.765 konutun da az hasarlı olduğu belirlenmiştir (TMMOB, 2023). Bu araştırmada bakanlık tarafından gerçekleştirilen hasar tespit sonuçlarına göre, hasar görmüş binalarda ortaya çıkan hasar türleri, bu hasarların ortaya çıkma nedenleri değerlendirilmiş ve hasarların önlenmesine yönelik önlemler araştırılmıştır.

4.1 Yapı Hasarlarını Ortaya Çıkaran Unsurlar ve Alınabilecek Önlemler

Maddi ve manevi kayıpları kapsayan genel bir ifade olan hasar kavramı, Türk Dil Kurumu (2024) tarafından bir malda istenmeyen nedenlere bağlı olarak ortaya çıkan kırılma, bozulma ve dökülme gibi durumlar olarak tanımlanmıştır. Yapısal hasarların ortaya çıkmasında etkili olan önemli unsurlardan birini depremler oluşturmaktadır. Depremlerin oluşturduğu fay kırılmaları, titreşimler ve zemin hareketleri yapılarda dökülme, bozulma, kırılma, parçalanma ve yıkılma gibi yapısal ve yapısal olmayan hasarların ortaya çıkmasına neden olur. Yapıların kolon, kiriş, temel, perde, döşeme, çatı ve taşıyıcı duvar gibi elemanlarında meydana gelen hasarlar yapısal hasarlar olarak ifade edilirken; kapı, pencere,

boya, sıva, kaplama, lento, harpuşta, tesisat, parapet ve bölme duvarı gibi taşıyıcı olmayan elemanlarında meydana gelen hasarlar ise yapısal olmayan hasarlar olarak ifade edilmektedir (Elyiğit ve Ekinci, 2024).

Depremler, mühendislik yapıları üzerinde önemli etkilere sahip doğal afetlerdir. Bu etkiler, depremin büyüklüğüne, yapının bulunduğu bölgenin jeolojik ve jeofiziksel özelliklerine ve yapının tasarım ve inşaat kalitesine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Deprem sonucu oluşan hasarlar, can ve mal kayıplarına yol açarak sosyo-ekonomik açıdan büyük zararlara neden olabilir. Bu bağlamda, depreme dayanıklı yapılar tasarlamak ve inşa etmek, can ve mal güvenliğini korumak için kritik önem taşımaktadır. Yapıların deprem gibi dinamik yüklere karşı dirençli olabilmesi için istenen rijitlik, süneklik ve dayanımı sağlayabilmesi esastır. Bu direnç, yapının planlama ve tasarım aşamasından uygulama ve inşaat aşamasına kadar her adımda titizlikle takip edilen mühendislik ilkelerine ve yönetmeliklere uygunluğu ile sağlanabilir. Türkiye'de yakın zamanda yaşanan depremler, yapısal hasarlara neden olan çeşitli etkenleri gözler önüne sermiştir. Yüksel (2008) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, deprem hasarları dört ana gruba ayrılabilir:

Projelendirme hataları: Projelendirme hataları, deprem hasarlarının en yaygın nedenlerinden biridir. Bu hatalar şunları içerir:

- Yumuşak kat
- Yetersiz yanal rijitlik
- Kısa kolon
- Güçlü kiriş-zayıf kolon bağlantısı
- Düşey ve yatay doğrultuda düzensizlikler

Donatı hataları: Donatı hataları, betonarme yapıların taşıma kapasitesini önemli ölçüde azaltabilir. Bu hatalar şunları içerir:

- Yetersiz sargılama
- Düğüm noktalarında yetersiz veya eksik donatı düzenlemeleri
- Yetersiz veya yanlış kenetlenme

Yapım hataları: Yapım hataları, projenin en iyi şekilde uygulanmamasına neden olur ve bu da yapısal hasarlara yol açabilir. Bu hatalar şunları içerir:

- Kötü işçilik
- Kontrol ve denetim yetersizliği

- Düşük malzeme dayanımı
- Eksik veya yanlış etriye bağlantıları
- Yanlış düzenlenmiş kolon filizleri

Zeminden kaynaklı hasarlar: Doğrudan zeminle ilgili problemler de yapısal hasara neden olabilir. Bu problemler şunları içerir:

- Sıvılaşma
- Zeminde aşırı oturma
- Kaymalar

4.1.1 Çatlaklar

Beton, sertleşme aşamasında ve sonrasında çeşitli etkenlerden dolayı ayrılmalara ve kırılmalara maruz kalabilir. Bu ayrılmalar, çatlak olarak adlandırılır ve yüzeyde ilk belirtileri görülür. Çatlaklar, boyut ve derinlikleri bakımından farklılık gösterebilir ve oluşum sebeplerine göre de çeşitli şekillerde ortaya çıkabilirler (Yu ve ark., 2016).

Betonarme yapılarda hasarın en belirgin göstergelerinden biri çatlaklardır. Çatlaklar, binanın taşıyıcı sisteminde oluşan gerilmelerin bir göstergesidir ve farklı boyutlarda ve şekillerde ortaya çıkabilir. Çatlağın oluştuğu bölge, genişliği ve eski ya da yeni oluşu gibi parametreler, hasarın derecesini ve kaynağını belirlemede önemli rol oynar.

Çatlakların oluşum sebeplerine ulaşmak için, çatlağın oluştuğu bölge, genişliği, derinliği, yönü ve şekli gibi parametrelerin detaylı bir şekilde incelenmesi ve tespit edilen sorunlara yönelik uygun çözümler geliştirilmesi yapısal güvenlik açısından önem arz etmektedir.

Betonarme yapılar, günümüz inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan ve yüksek dayanıklılıkları ile öne çıkan yapılardır. Bu yapılarda, çeşitli etkenler sonucu çatlaklar oluşabilmektedir. Çatlakların tipi ve genişliği, yapının güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, betonarme yapılarda görülen çatlaklar genel olarak yapısal çatlaklar ve yapısal olmayan çatlaklar olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır.

Binanın taşıyıcı sistemini oluşturan kolonlar, kirişler, döşemeler, temeller ve duvarlar gibi elemanlar, yapısal elemanlar olarak adlandırılmaktadır. Bu

elemanlar, binanın ağırlığını ve dış etkenlerden kaynaklanan yükleri taşımaktan sorumludur. Yapısal elemanlarda meydana gelen çatlaklar, yapısal çatlaklar olarak tanımlanır. Deprem, beton kalitesi, üretim hataları, hatalı inşaat teknikleri ve tasarım hataları gibi çeşitli faktörler, yapısal çatlakların oluşmasına neden olabilir (Güneş ve Arslan, 2021).

Yapısal olmayan çatlaklar, betonda meydana gelen ve yapısal bütünlüğü doğrudan tehdit etmeyen çatlak türleridir. Bu çatlaklar, genellikle estetik açıdan problem yaratmalarına ve su girişine izin vermelerine rağmen, binanın taşıyıcı kapasitesini etkilemezler. Üç ana yapısal olmayan çatlak türü şunlardır (Elyiğit ve Ekinci, 2024):

- Plastik çatlaklar
- Isı gerilme çatlakları
- Kuruma büzülmesi çatlakları

4.1.1.1 Ayırışmalar (Segregasyon)

Beton, kaba ve ince agregalar, çimento ve sudan oluşan bir kompozit malzemedir. Bu bileşenlerin homojen bir şekilde karıştırılması ve yerleştirilmesi, betonun istenilen dayanım ve diğer özelliklerini elde etmesi için kritik önem taşır. Ayırışma (segregasyon) ve oturma, beton karışımında istenmeyen iki olgudur ve bu olgular birbirinden farklıdır. Oturma, beton karışımındaki suyun yukarı doğru hareketi ve katı parçacıkların bu boşluklara çökmesi sonucu oluşan bir olgudur. Bu olay, betonun sertleşmesi sırasında meydana gelir ve betonun gözenekliliğinin artmasına ve dayanımının azalmasına yol açabilir. Oturma, genellikle betonun yeterince sıkıştırılmamasından veya düşük su-çimento oranından kaynaklanır. Ayırışma yani segregasyon ise, beton karışımındaki ağır ve kaba parçacıkların dibe doğru çökmesi veya iri agregaların taşıma, karıştırma ve yerleştirme sırasında betonun harç fazından ayrılması olarak tanımlanır (Güçlüer vd., 2020). Malatya'nın Yeşilyurt İlçesi'ndeki Bostanbaşı semtinde bulunan Panaroma Evleri'nde segregasyon ve işçilik kaynaklı hasar Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Betonda ayrışma (segregasyon)

Bu olay, betonun homojenliğini bozar ve dayanım, işlenebilirlik ve durabilite gibi özelliklerini olumsuz etkiler. Ayrışma, genellikle aşırı titreşim, yüksek döküm yüksekliği, yetersiz karıştırma veya düşük viskoziteli beton kullanımı gibi faktörlerden kaynaklanır. Ayrışma, iki ana türe ayrılabilir (Vanhove ve Khayat, 2016):

- *İçsel ayrışma:* Kaba ve ağır parçaların dibe doğru çökmesiyle oluşan ayrışmadır. Bu tür ayrışma, genellikle betonun kendi ağırlığından dolayı meydana gelir.
- *Dışsal ayrışma:* İri agregaların taşıma, karıştırma ve yerleştirme sırasında ana gövdeden ayrılmasıyla oluşan ayrışmadır. Bu tür ayrışma, genellikle yanlış taşıma ve yerleştirme tekniklerinden kaynaklanır.

Bu tanımlardan görüleceği gibi ayrışmada oturmadakinin tersine tüm katı parçacıkları aynı çökmeyi yapmaz. Bu her şeyden önce, betonu oluşturan kumçakıl ve çimento gibi değişik büyüklük ve yoğunlukta olan malzemelerin uygun oranlarda kullanılmamış olmasından kaynaklanır. Ayrışmayı artıran etmenlerin başlıcaları; büyük agrega boyutu ($>25\text{mm}$) ve yüksek oranlarda kullanımı, ince agregaya kıyasla kaba agreganın yoğunluğunun fazla olması, kum ve çimento gibi ince malzemelerin miktarının az olması, pürüzsüz ve yuvarlak şekilli parçacıklar yerine pürüzlü ve düzgün olmayanları kullanmak ve aşırı kuru veya aşırı sulu karışımlar kullanmaktır (Keske, Schindler ve Barnes, 2016). Ayrışma olan bir betonda oturma da olmaktadır ve ayrışma, oturma gibi homojen olmadığından betonun tüm hacminde aynı şekilde, aynı miktarda oluşmaz. Ayrıca çöken sadece katı bileşenlerden büyük olanlarıdır. Yani terleme ile arasındaki ilişki oturma ile terleme arasındaki ilişkiden daha zayıftır. Yine de oturmadan dolayı oluşacak çatlaklar üzerinde ayrışmanın artırıcı etkisin olacağı kesindir (Ben aicha vd., 2017).

4.2 Hasar Türleri

Türkiye, jeolojik konumu itibarıyla deprem riski yüksek bir ülkedir. Bu nedenle, depremler sonrasında yapıların hasar görmesi ve can kayıplarının yaşanması ne yazık ki olağan bir durum haline gelmiştir. Bu durum, her deprem sonrası ülke gündeminde benzer tartışmaların alevlenmesine yol açmaktadır. Tartışmaların odağında ise genellikle binalarda kullanılan malzemelerin niteliksizliği, tasarım ve uygulama hataları ile yürürlükte olan yönetmelik ve standartların yetersizliği yer almaktadır (Binici, Kaplan ve Görür, 2005).

Meydana gelen depremlerde hasar gören binalar ve oluşan can ve mal kayıpları, özellikle eski yönetmeliklere göre inşa edilmiş binaların depreme karşı dirençsizliğini açıkça göstermektedir. Bu durum, sadece yönetmeliklerin yetersizliğine bağlanmak eksik bir bakış açısı olacaktır. Hasarlı binaların temel sebeplerinden biri de mevcut yönetmeliklerin uygulanmaması ve yapıların hem projelendirilmesi hem de inşa edilmesi aşamasında yeterli mühendislik hizmeti almamış olmasıdır (Çalışkan ve Şenol, 2023).

Ülkemizdeki deprem deneyimleri, orta büyüklükteki bir depremde bile mevcut yapıların ağır hasar aldığı veya tamamen yıkıldığı gerçeğini gözler önüne

sermektedir. Deprem sırasında yıkılan binaların yanında, birçok yapıda hem yapısal hem de yapısal olmayan hasarlar meydana gelmektedir. Bu durum, deprem riski taşıyan bölgelerde binaların güvenliğinin sağlanması için sadece yönetmeliklerin güncellenmesinin yeterli olmadığını göstermektedir (Yakut ve ark., 2021). Yönetmeliklerin yanında, bu yönetmeliklerin titizlikle uygulanması ve yapıların tüm aşamalarında gerekli mühendislik hizmetlerinin alınması hayati önem taşımaktadır.

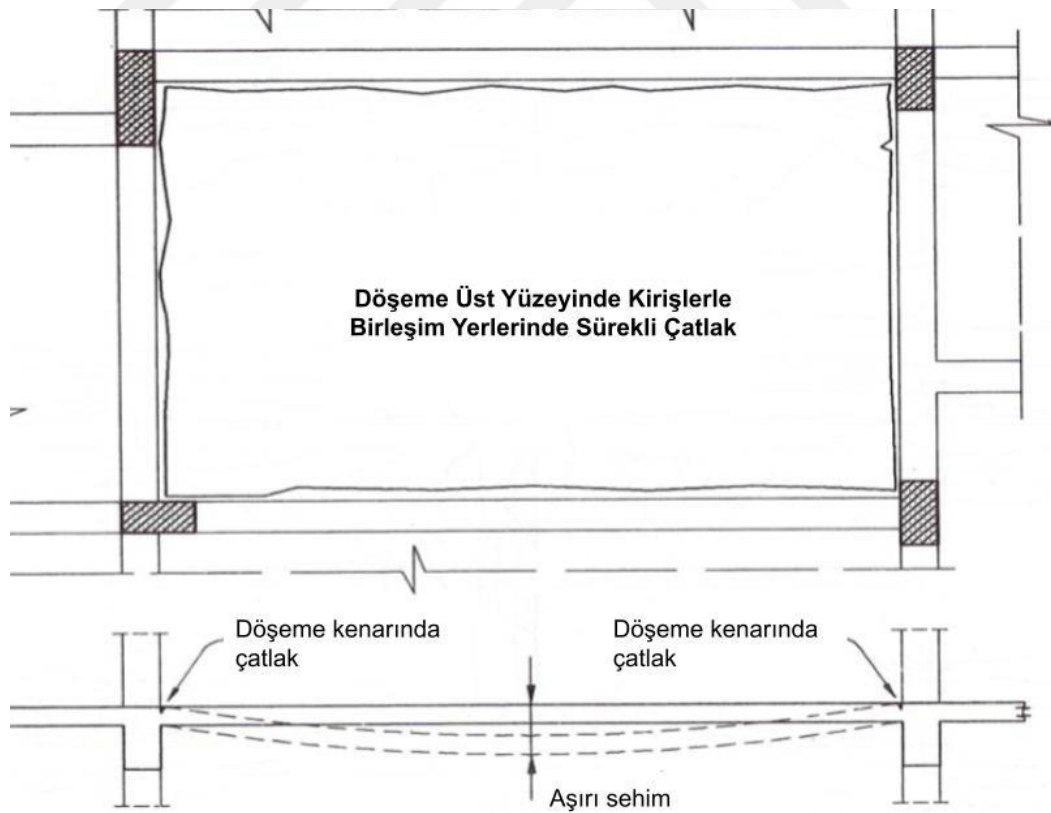
Deprem sonrası tartışmaların odağını sadece yönetmeliklerin yetersizliği üzerine kurmak yerine, uygulama ve denetim eksikliklerinin de sorunun önemli bir parçası olduğunu kabul etmek ve bu konuda somut adımlar atmak gerekmektedir. Aksi takdirde, gelecekteki depremlerde de benzer can ve mal kayıplarının yaşanması kaçınılmaz olacaktır. Bu bağlamda depremler sonucunda yapılarda ortaya çıkan hasar türlerinin ve ortaya çıkma nedenlerinin bilinmesinin, yapısal hasarların asgari düzeye indirilmesinde etkili olabileceği söylenebilir. Araştırmanın bu bölümünde depremler sonucunda ortaya çıkan hasar türleri ve nedenleri 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş merkezli depremler sonucunda Malatya'daki yapılar örneğinde ele alınarak değerlendirilmiştir.

4.2.1 Taşıyıcı Unsurlardaki Hasarlar

Betonarme yapılar, karmaşık bir yapıya sahip yatay ve düşey taşıyıcı elemanlardan oluşan yapılardır. Kirişler ve döşemeler yatay taşıyıcı elemanları, kolonlar ve perdeler ise düşey taşıyıcı elemanları oluşturur. Bu elemanlar, binanın ağırlığını ve diğer yükleri güvenli bir şekilde taşımak için birlikte çalışırlar. Depremler, bu karmaşık sistemlerde önemli hasarlara yol açarak can ve mal kaybına neden olabilmektedir. Depremlerde betonarme yapılarda oluşan hasarların en belirgin göstergesi, taşıyıcı elemanlarda gözlenen çatlaklardır. Bu çatlakların konumu, genişliği ve oluşum şekli, hasar tespit ve değerlendirme çalışması yapan uzmanlara yapı hakkında önemli bilgiler vermektedir (Atar ve ark., 2024). Depremlere bağlı olarak betonarme yapılarda meydana gelebilecek temel hasar türleri şu şekilde sıralanabilir:

4.2.1.1 Döşeme Hasarları

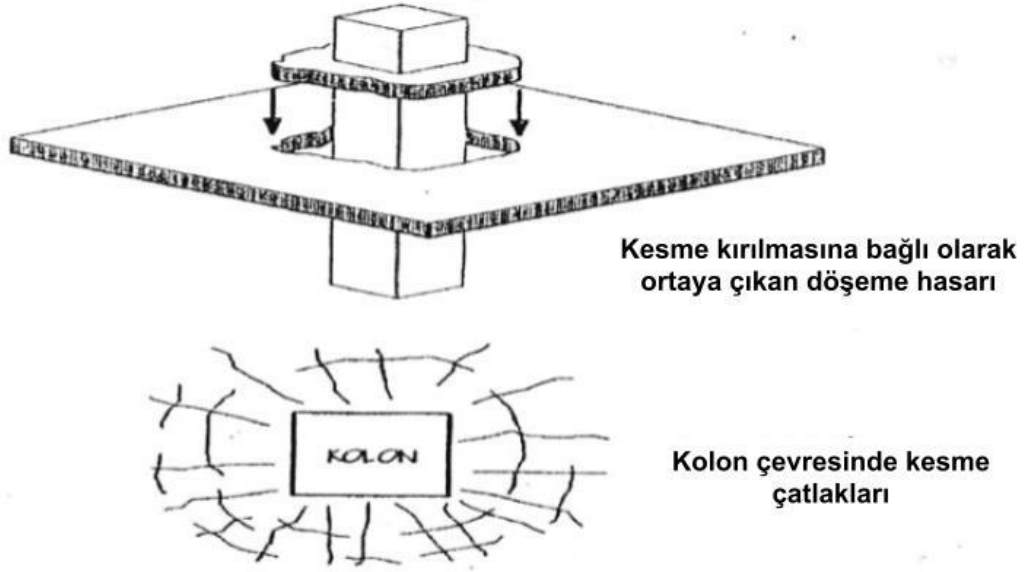
Yapılarda taşıyıcı sistemin önemli bir bileşeni olan döşemeler, etkiyen düşey yükleri kenardaki perde, kiriş veya kolonlara aktararak alanları kapatmanın ötesinde, deprem gibi yatay yüklerin de taşınmasında kritik rol oynar (Ekinci ve İpek, 2023). Yüksek rijitlikleri sayesinde deprem yüklerine karşı mukavemet gösteren döşemeler, bu yükleri kolon ve perdelerle rijitlikleri oranında aktararak binanın stabilitesini sağlar. Ancak, depremin yıkıcı etkisi altında kalan döşemelerde çeşitli hasar türleri gözlemlenebilmektedir. Büyük açıklıklı döşemelerde aşırı sehim ve perdelerin dönmesiyle oluşan çatlaklar, deprem kaynaklı hasarların en yaygın örnekleridir. Önceden var olan küçük çatlakların deprem etkisiyle büyüyerek daha belirgin hale gelmesi de sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Bunlara ek olarak, konsol döşemelerde donatı yerleştirme hataları, mesnet bölgesinde kritik öneme sahip olan bu alanda ciddi çatlaklara ve göçmelere yol açabilmektedir (Kurtuluş, 2009). Döşeme köşelerinde ve büyük tekil yüklerin etki ettiği noktalarda da hasar oluşum riski yüksektir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Depremlerin neden olduğu döşeme çatlağı ve sehim hasarları

Kirişli betonarme döşemelerde, asal çekme gerilmelerinin nispeten düşük olması nedeniyle kesme güvenliği genellikle kritik bir unsur olarak değerlendirilmez. Buna karşın, kolonların doğrudan döşemeyi taşıdığı düz döşemelerde durum farklıdır. Bu tür sistemlerde, kolon çevresinde oluşan asal çekme gerilmeleri, betonun çekme dayanımını aşacak kadar yüksek seviyelere ulaşabilir. Bu durum, betonarme kirişlerdeki eğik çekme problemine benzerlik gösterir. Ancak düz döşemelerde, kolon çevresindeki asal gerilmelerden kaynaklanan eğik çekme problemi, döşemelerdeki gerilme dağılımının üç boyutlu olması nedeniyle kirişlere kıyasla daha karmaşık bir hal alır (Koç, 2016). Bu karmaşıklık, sorunun analizini ve tasarımda ele alınmasını da zorlaştırmaktadır.

Düz döşemelerde, kolonlar tarafından doğrudan taşınan yüksek yükler, kolon çevresinde önemli asal çekme gerilmelerine yol açar. Bu gerilmeler, betonun çekme dayanımını aştığında, asal çekme gerilmelerine dik yönde eğik çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar, döşeme düzlemine yaklaşık 45° açı ile meydana gelir ve kesme kuvvetini karşılayan betonun dayanımını önemli ölçüde azaltır. Bu durum, zımbalama göçmesi olarak bilinen ani ve gevrek bir çökmeye yol açar. Zımbalama göçmesinde, kolon başlığı etrafında oluşan konik beton parçası, oluşan eğik çatlaklarla aynı açıda kopar. Bu çatlaklar, genellikle döşeme üst yüzeyinde oluşan eğilme çatlaklarının alttaki basınç bloğuna doğru uzanması ve eğilmesi sonucu oluşur. Son derece gevrek bir yapıya sahip olan zımbalama göçmesi, tüm yapının saniyeler içinde çökmesine neden olabilir (Dönmez, 2018). Şekil 4.3 döşemenin zımbalama göçmesi anındaki davranışını göstermektedir. Şekilde kolon başlığı etrafında oluşan konik beton parçası ve eğik çatlaklar net bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 4.3. Kirişsiz döşemelerde deprem hasarları

Perde duvarın dönmesi, döşemeye moment aktarır. Bu moment, döşemenin orta açıklığında en yüksek değere ulaşır ve kenarlara doğru azalır. Döşemenin rijitliği ne kadar düşükse, moment o kadar yüksek olur. Döşemedeki moment, alt ve üst yüzeylerde gerilmelere neden olur. Bu gerilmeler, betondaki çekme dayanımını aşarsa, çatlaklar oluşur. Çatlaklar, genellikle döşemenin orta açıklığında ve perde duvarın kenarlarına yakın bölgelerde meydana gelir (Zengin ve Usta, 2021). Zımbalama göçmesi, betonarme yapılarda nadir görülen bir olay olsa da, meydana geldiğinde yıkıcı sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, özellikle kolonların doğrudan döşemeyi taşıdığı yapılarda zımbalama göçmesi riskinin göz ardı edilmemesi ve gerekli önlemlerin alınması hayati önem taşımaktadır. 6 Şubat tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş merkezli depremde Malatya ilindeki bazı evlerde döşeme hasarlarına rastlanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Döşeme hasarı oluşan yapıya ilişkin görüntü

4.2.1.2 Kolon Hasarları

Depremelerin neden olduğu sarsıntı ve titreşim hareketlerine bağlı olarak kolonlar, kesme, burulma, eğilme ve basınç gibi çeşitli eş zamanlı etkilere maruz kalmaktadır. Bu karmaşık yükler, kolonlarda farklı hasar tiplerine yol açabilmektedir. Depremelerin neden olduğu yaygın hasar tipleri şunlardır (Korkmaz, 2023):

Eğilme Kırılması: Deprem dalgalarının neden olduğu yatay yer değiştirmeler, kolonlarda eğilme momentlerine yol açar. Bu momentler, kolonun taşıma kapasitesini aşarsa, eğilme kırılması olarak bilinen ani bir kırılma meydana gelebilir.

Basınç Kırılması: Eksenel yük ve deprem yüklerinin birleşimi, kolonlarda yüksek basınç gerilmelerine neden olabilir. Bu gerilmeler, kolonun betonunun ezilmesine ve basınç kırılmasına yol açabilir.

Kesme Kırılması: Deprem dalgaları, kolonlarda kesme gerilmelerine de neden olur. Bu gerilmeler, kolonun donatı çubuklarının kaymasına ve kesme kırılmasına yol açabilir.

Burulma Kırılması: Özellikle narin kolonlarda, burulma momentleri de önemli hasarlara neden olabilir. Bu momentler, kolonun betonunun çatlamasına ve burulma kırılmasına yol açabilir.

Kolonlarda oluşan hasarlar, yapının deprem performansı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

4.2.1.2.1 Kolonlarda Deprem Hasarları

Depremler, binalarda yıkıcı etkilere yol açabilen, farklı mekanizmalara sahip doğal afetlerdir. Bu karmaşık yüklerin etkisiyle kolonlarda kesme, burulma, eğilme ve basınç gibi çeşitli hasar tipleri gözlemlenebilir. Bu hasarlar, tek başına veya birden fazla etkileşim halinde ortaya çıkabilir.

Kolonun basınç bölgesinde ezilme, taşıma gücüne ulaşıldığı anlamı taşır. Tasarım dayanımına göre imal edilmiş betonun zaten deprem yükü altında hasar seviyesinde kalması öngörülmüştür. Betonun parçalanıp kopmaması için ise etriye sıkılaştırması ilkesine uygun tasarım ve uygulama şarttır. Eğilme çatlakları kolon eksenine dik doğrultuda, kesme çatlakları genellikle 45 derecelik açı yapacak şekilde oluşur. Betonarme binaların deprem enerjisini sönmülemesi ve binanın deprem büyüklüğüne bağlı olarak çökmeden veya en az hasarı görmesi beklenir ve tasarımlar bu yönde yapılır (Kırıcı ve Soyluk, 2024).

Deprem kuvvetinin etkime yönüne bağlı olarak kolonlarda asimetrik gerilmeler oluşmaktadır. Bu durum, bir tarafta çekme gerilmeleri ve çatlaklar, diğer tarafta ise basınç gerilmeleri ve ezilmeler meydana getirir. Deprem hareketinin yön değiştirmesi ile gerilmelerin yönü de tersine döner ve daha önce çekmeye maruz kalan bölgede ezilmeler, ezilmiş olan bölgede ise dökülmeler oluşabilir (Hacımustafaoğlu, Altan ve Naimi, 2021).

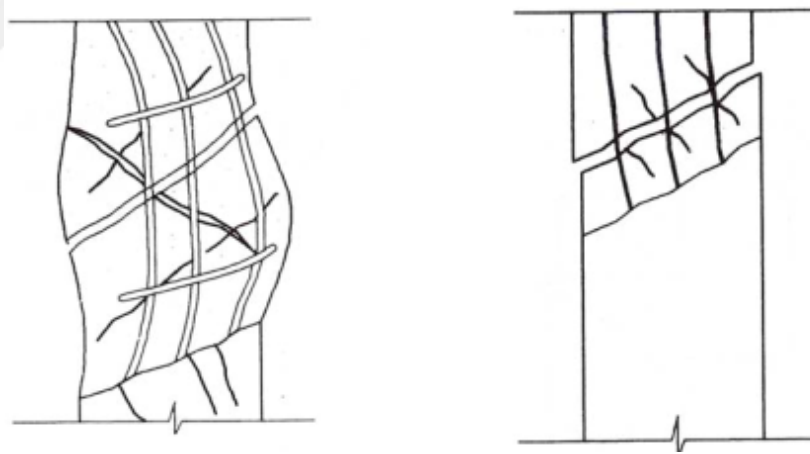


Şekil 4.5. Malatya’da hasar tespiti yapılan bir yapının kolonunda gözlenen mafsallaşma hasarı

Kolonlarda oluşan hasarın şiddeti, etriyelerin sıklaştırma durumuna göre değişmektedir. Etriye sıklaştırılması yapılmamış kolonlarda, çekirdek betonda ezilmeler ve dökülmeler daha yaygın görülür. Etriye sıklaştırılması yapılmış kolonlarda ise çekirdek betonda aşırı çatlama riski azalır. Ancak, şiddetli depremlerde etriyelerin açılması ve boyuna donatılarda burkulma meydana gelebilir. Bu durum, kolonun düşey yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde azaltır ve kolonun boyunun ksalmasına neden olur. Kolon boyunda ileri derecede kılma olması halinde yapı onarılamaz hale gelir. Depremde mafsallaşma hasarı, kabuk betonunda çatlak ve hafif dökülme ile sınırlı kalmalıdır (Bakırcı Er, Aykaç ve Can, 2014). Daha ileri düzeyde mafsallaşma hasarı, yatay ötelemelere ve ikinci mertebeden ek momentlerin oluşmasına yol açarak yapının stabilitesini bozabilir. Bu durum, yapının hızla yıkılmasına neden olabilir. Ayrıca, ileri düzeyde mafsallaşma hasarı sonucu parçalanan betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi de azalır. Etriyelerin açılması da bu durumu daha da kötüleştirir ve kolonlarda kesme kırılması riski oluşur (Çatal, 2019).

4.2.1.2.2 Kolonlarda Kesme Hasarı

Taşıyıcı sistemlerin hayati önemi göz önüne alındığında, kolonların maruz kaldığı kesme kuvvetlerini karşılamak amacıyla kullanılan etriyelerin önemi de artmaktadır. Ne yazık ki, şantiyelerde etriyelerin düzgün ve yeterli kullanımı sıklıkla ihmal edilen bir husustur. Oysa kolonlarda etriyeler, yanal deprem ve rüzgar yüklerini karşılamanın yanı sıra donatıların burkulmasını da engelleme görevini üstlenir. Yeterli aralık ve sayıda kullanılmadıkları takdirde kolonlarda kesme çatlakları oluşması kaçınılmazdır. Kolonlarda yeterli etriye bulunmadığı durumlarda ise ani ve gevrek kırılmalar ortaya çıkabilir (Kırıcı ve Soyluk, 2024). Derin kesme çatlaklarının gözlemlenmesi, yapının depremde ciddi hasar aldığı açık bir göstergesidir. Bu çatlaklar, 45° açığa sahip diyagonal bir görünüm sergileyebilir veya bazı durumlarda "X" şeklinde de oluşabilirler (Sayın ve ark., 2021). Kolonlara etkiyen kesme kuvvetleri arttıkça, ileri derecede kesme kırılmaları da meydana gelebilir. Şekil 4.6'da kolonlarda oluşan kesme çatlaklarına ve ileri derecede kesme kırılmalarına örnekler sunulmuştur.



Şekil 4.6. Kolonlarda kesme hasarını ilişkin temsili bir görsel

Şekil 4.7 ise 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta gerçekleşen depremin ardından Malatya'da yapılan hasar tespit çalışmalarında kesme çatlağı oluşmuş bir kolonun görüntüsünü göstermektedir. Bu görüntü, etriyelerin yetersizliğinin yol açtığı yıkıcı hasarın somut bir örneğidir.



Şekil 4.7. Kesme hasarı oluşmuş kolonlara ilişkin görseller

Kolonlar depremsel etkiler altında karmaşık bir hasar tablosu sergileyebilirler. Bu bağlamda, kolonlarda eğilme ve kesme hasarlarının aynı anda oluşması oldukça yaygın bir durumdur. Şekil 4.8’de kesme ve eğilme hasarı oluşan bir kolon örneğine yer verilmiştir.



Şekil 4.8. Kesme ve eğilme hasarı görülen bir kolon (Çırak, 2011)

Şekil 4.11'de kolonun hem eğilme nedeniyle eğildiği hem de kesme nedeniyle çatladığı açıkça görülmektedir. Eğilme ve kesme hasarlarının eşzamanlı olarak oluşması, kolonların taşıma kapasitesini önemli ölçüde azaltır ve ani ve yıkıcı göçmelere yol açabilir. Bu nedenle, depremsel açıdan güvenli binalar tasarlamak için kolonların bu tür karmaşık hasar modlarına karşı direncinin artırılması büyük önem taşımaktadır.

4.2.1.2.3 Kolonlarda Basınç Çatlakları

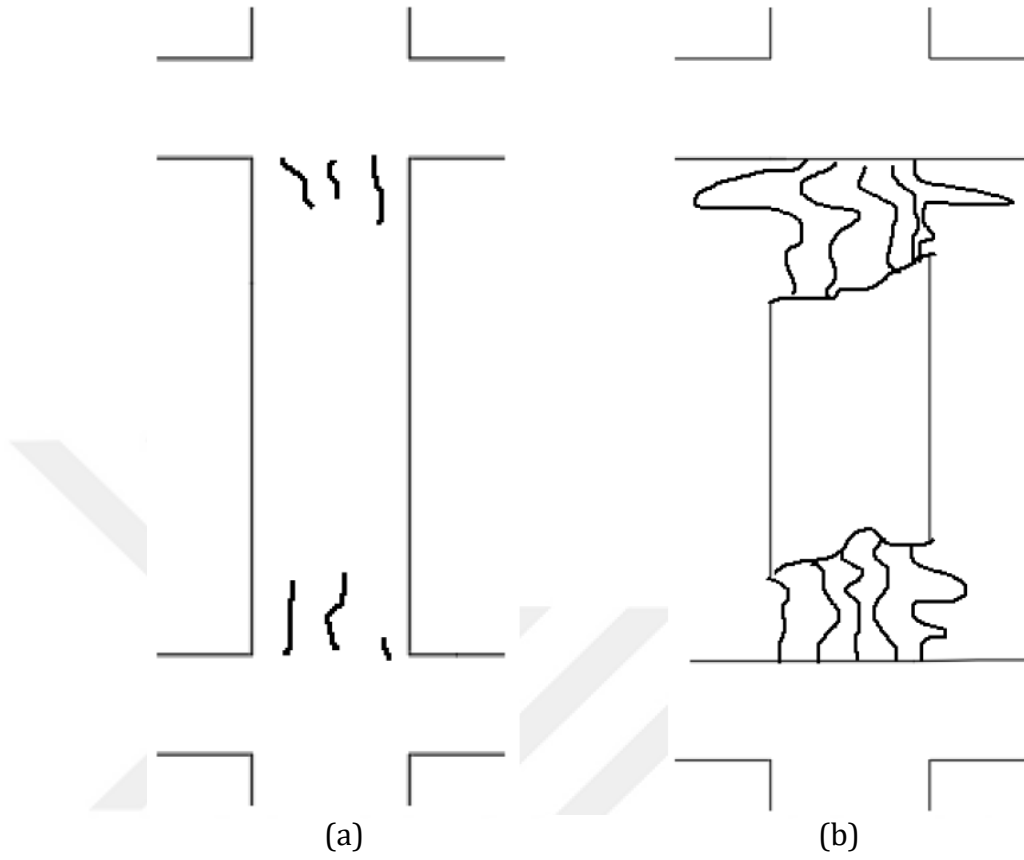
Deprem gibi dinamik yüklemelere maruz kalan yapılarda kolonlar, kritik yük taşıma elemanları olarak öne çıkar. Bu elemanlarda, eksenel basınç gerilmeleri ön plana çıkar ve deprem sırasında bu gerilmeler kolonların eksenel yük taşıma kapasitesini aşabilir. Bu aşma, kolonlarda "basınç kırılması" olarak adlandırılan ani ve gevrek bir hasar tipinin oluşmasına yol açar (Al Asadi, 2022).

Basınç kırılması, kolonun eksenel yükünün, kolonun eksenel yük taşıma kapasitesinin %50'sinden fazla olması durumunda oluşur. Bu aşırı yüklenme, betonun ezilmesine ve kolon boyuna donatıların akma sınırına ulaşmadan kırılmasına neden olur. Kolon dış yüzünde, dikey yönde çatlaklar oluşur ve donatı dışarı doğru burkulmaya başlar. Bu durum, kolonun taşıma kapasitesini ani olarak sıfıra indirir ve yapının çökmesine yol açabilir. Basınç kırılmasının oluşumuna katkıda bulunan çeşitli faktörler şunlardır (Elyiğit ve Ekinci, 2023):

- *Düşük Beton Dayanımı:* Projede öngörülen beton dayanımının altında kalan veya kalitesiz beton kullanımı, kolonun eksenel yük taşıma kapasitesini düşürerek basınç kırılmasına zemin hazırlar.
- *Yetersiz Donatı:* Kolonlarda kullanılan donatı miktarının ve dağılımının yetersiz olması, betondan gelen gerilmeleri karşılayamayarak kırılmaya yol açabilir.
- *Yüksek Eksenel Yükler:* Kolonun maruz kaldığı eksenel yüklerin, kolonun kapasitesini aşacak seviyede olması basınç kırılmasına neden olabilir.
- *Geometrik Faktörler:* Kolonların aşırı ince veya uzun olması, eksenel yük taşıma kapasitesini düşürerek basınç kırılmasına zemin hazırlar.

Basınç kırılması, deprem sırasında yapısal güvenliği tehdit eden kritik bir hasar tipidir. Bu hasarın oluşması, kolonun ani olarak taşıma kapasitesini kaybetmesine ve yapının çökmesine yol açabilir. Şekil 4.9'da kolonlarda görülen

basınç çatlaklarını, basınç kırılmasını ve donatı burkulmalarını temsil eden görüntüye yer verilmiştir.



Şekil 4.9. Kolonlarda görülen a) basınç çatlakları ve b) basınç kırılmalarının temsili görünümü

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta meydana gelen ve geniş bir coğrafyayı etkileyen depremler, Malatya'daki binalarda da önemli hasarlara yol açmıştır. Deprem sonrası gerçekleştirilen hasar tespit çalışmaları kapsamında, kolonlarda basınç çatlakları ve basınç kırılmalarının varlığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.10). Bu hasar tipi, depremin şiddetini ve binalar üzerinde yarattığı etkileri açıkça göstermektedir.



Şekil 4.10. Kolonlarda basınç kırılmalarına ilişkin örnek bir görünüm

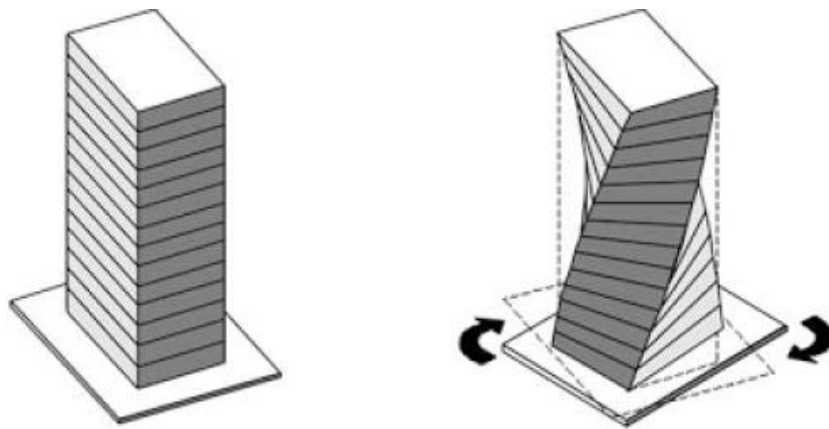
4.2.1.2.4 Burulma Düzensizliği

Yapı tasarımı, estetik kaygılar ötesinde, her şeyden önce güvenli ve dayanıklı bir yaşam alanı inşa etmeyi amaçlar. Bu bağlamda, yapısal sistem ve elemanların yatay ve düşey yükleri güvenli bir şekilde yapı zeminine aktarabilmesi temel ilke olarak kabul edilir. Bu ilke doğrultusunda, yeterli rijitlik, dayanım ve dengeli yük dağılımı sağlanması hayati önem taşır. Düzenli ve simetrik plan geometrisine

sahip binalar, deprem gibi yatay yüklere karşı daha tahmin edilebilir bir davranış sergiler. Bu tür binalarda, yüklerin dağılımı daha homojendir ve yapısal elemanlar üzerindeki gerilmeler daha kolay öngörülebilir. Buna karşın, düzensiz geometrili binalarda, depremsel yanıt karmaşıklaşır ve kesin olarak tahmin etmek oldukça zor ve karmaşık bir problem haline gelir. Bu durum, yapısal güvenlik açısından önemli bir risk oluşturur (Erdem, 2016).

Plan düzensizlikleri arasında yer alan burulma düzensizliği, bir yapının herhangi bir katındaki düşey taşıyıcı elemanların hesaplanan maksimum görelî yer değiştirmesinin, yine aynı kattaki ortalama görelî yer değiştirmesine oranlanmasıyla tanımlanır. Bu oranın 1,2'den büyük olması durumunda, yapısal sistemde burulma düzensizliği varlığından söz edilir.

Burulma düzensizliği, deprem gibi yatay yüklere maruz kalan yapılarda önemli bir risk oluşturur. Bu tür yapılarda, yatay yüklerin dağılımı homojen değildir ve hem ötelenme (yatay yer değiştirme) hem de dönme hareketi meydana gelir (Şekil 4.11). Bu durum, yapısal elemanlar üzerinde asimetric gerilmeler oluşmasına ve ek kesme kuvvetlerinin ortaya çıkmasına neden olur. Burulma düzensizliğinin önlenmesi için en temel ve etkili yöntemlerden biri, rijitlik merkezi ve kütle merkezinin çakışmasını sağlamaktır. Rijitlik merkezi, bir yapının yatay yüklere karşı direncini temsil eden hayali bir noktadır. Kütle merkezi ise yapının toplam kütlesinin ortalama konumunu gösterir. Bu iki noktanın çakışması, burulma halinde oluşan burulma momentlerinin yapıda oluşturacağı ek kesme kuvvetlerinin önüne geçilmesini sağlar (Balta, 2020).



Şekil 4.11. Yapılarda burulma düzensizliği

Deprem, binalarda yıkıcı hasarlara yol açabilen doğal afetlerdir. Bu hasarların temel sebeplerinden biri, burulma düzensizliği olarak adlandırılan bir olgudur. Burulma düzensizliği, bir binanın kütlelerinin, rijitliğinin veya dayanımının dengesiz bir şekilde dağılımından kaynaklanır. Bu dengesizlik, deprem sırasında binanın farklı bölümlerinde farklı titreşimlere yol açarak aşırı gerilmelere ve hasara neden olur. Burulma düzensizliği, deprem gibi yatay yüklere maruz kalan yapılarda kritik bir kusurdur. Bu durum, binanın farklı kısımlarında orantısız yer değiştirmelere yol açarak, yapısal güvenliği tehlikeye atar. Bu çalışmada, burulma düzensizliğinin oluşumuna katkıda bulunan başlıca etkenler, akademik bir bakış açısıyla ele alınacaktır (Türkay, 2019).

1. *Asimetrik Plan Geometrisi*: Düzensiz plan formuna sahip yapılar, doğal olarak burulma momentine maruz kalma eğilimindedir. Bu durum, dikdörtgen, L veya T gibi asimetrik şekillerde daha belirgindir. Özellikle binaların köşelerinde ve çıkıntılı kısımlarında, konsantrasyon halinde burulma gerilmeleri oluşur.

2. *Perdelerin Konumu ve Dağılımı*: Perdeler, binaların yatay yük taşıma kapasitesinde önemli rol oynar. Fakat perdelerin plandaki konumu ve dağılımı, burulma direncini doğrudan etkiler. Eşitsiz aralıklı veya asimetrik şekilde yerleştirilmiş perdeler, binanın burulma eğilimini artırır.

3. *Kat Sayısı*: Yüksek katlı binalarda, yer çekimi kuvvetinin artmasıyla birlikte burulma momenti de artar. Bu nedenle, kat sayısı arttıkça burulma düzensizliğinin riski de yükselir. Özellikle alt katlarda, kolonların ve perdelerin yeterince sağlam olmaması, bu riski daha da artırabilir.

4. *Kütle ve Rijitlik Merkezlerinin Göreceli Konumu*: Binalarda kütle ve rijitlik merkezlerinin konumu, burulma davranışını önemli ölçüde etkiler. Bu merkezlerin birbirine yakın olması idealdir. Fakat herhangi bir katta kütle veya rijitlik merkezinin diğerinden önemli ölçüde uzaklaşması, burulma düzensizliğine yol açar.

5. *Simetrik Plan ve Rijitlik Dağılımında Kenar Akslarda Düşük Rijitlik*: Plan ve rijitlik dağılımı simetrik olsa bile, kenar akslarda rijitliğin düşük olması burulma riskini doğurabilir. Bu durum, özellikle açıklıkların geniş olduğu yapılarda daha belirgindir.

6. *Deprem Derzi Yetersizliği*: Farklı geometrik formlara sahip yapılarda, deprem derzi bırakılmaması veya yetersiz bırakılması, burulma düzensizliğine yol

açabilir. Deprem derzleri, binanın farklı kısımlarının bağımsız hareket etmesine izin vererek, burulma momentini azaltır.

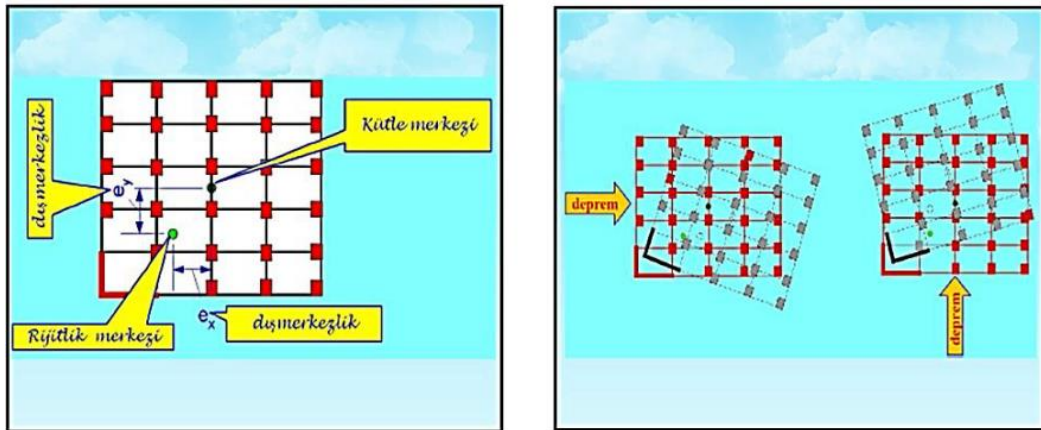
Yatay ve düşeyde yük aktarımını sağlayan yapı elemanlarında süreksizlikler, rijitlik ve dayanım süreksizlikleri, döşemelerde boşluklar ve yapı elemanlarının kesit boyutlarının gerekenden çok daha fazla veya çok daha az olması düzensiz bir plan geometrisi oluşturur. Bu sebepler planda kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafenin artmasına sebep olur. Düzensiz plan geometrisine katkı sağlayan faktörler aşağıdaki gibidir (Kırıcı ve Soyluk, 2023):

- *Rijitlik ve Dayanım Süreksizlikleri:* Farklı yapı elemanlarının rijitlik ve dayanım değerlerindeki önemli farklılıklar, plan geometrisini düzensiz hale getirir. Bu durum, özellikle kolonların ve kirişlerin kesit boyutlarının veya malzemelerinin değişkenlik gösterdiği durumlarda gözlemlenir.
- *Döşemelerde Boşluklar:* Döşemelerde bulunan açıklıklar, pencereler veya havalandırma delikleri gibi boşluklar, yük dağılımını bozarak plan geometrisini düzensizleştirir. Bu boşlukların konumu ve boyutları, yapısal davranış üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.
- *Aşırı veya Yetersiz Kesit Boyutları:* Gerekenden çok daha büyük veya çok daha küçük kesit boyutlarına sahip yapı elemanları, plan geometrisinde dengesizliklere yol açar. Bu durum, hem malzemede israfa neden olur hem de yapısal davranışı olumsuz etkiler.

Yapılarda kütle merkezi hesaplamasında kolon, kiriş, kat döşemeleri, bölme duvarları ve kat düzleminde yer alan hareketli ve sabit yükler göz önünde bulundurulmalıdır. Depremler, bu kuvvetleri ve dolayısıyla yapının kütle merkezini doğrudan etkilemektedir. Deprem kuvvetlerinin düşey taşıma elemanlarında ortaya çıkardığı kesme kuvvetlerinin toplandığı nokta ise rijitlik merkezi olarak ifade edilmektedir. Rijitlik düzeyleri, taşıyıcı elemanların kuvvet düzeyleri ile orantılı bir şekilde değişmektedir. Kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafe dışmerkezlilik ya da kaçıklık olarak tanımlanmaktadır. Taşıyıcı elemanlar, rijitlikleri ile orantılı olarak deprem kuvvetlerinden kaynaklanan yükleri alırlar. Burulma etkisi söz konusu olduğunda, rijitlik merkezine olan uzaklıklarına göre burulma momentinden kaynaklı ek kuvvetlere maruz kalırlar. Dışmerkezlilik oluşması halinde, bu burulma etkilerinin yapısal elemanlarda yol açacağı ek gerilmeler ve deformasyonlar dikkatle değerlendirilmelidir (Erdem,

2016). Bu amaçla, Şekil 4.10'da gösterildiği gibi, ayrıntılı bir analiz yapılması ve gerekli önlemlerin alınması önem taşımaktadır.

Perdeler, yatay kuvvetlere karşı direnç sağlayan ve yapıların deprem performansına önemli katkıda bulunan temel taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Kolonlara kıyasla daha yüksek rijitlikleri ve duyarlı davranışları sayesinde, yapıdaki yer değiştirmeleri sınırlandırıp burulmayı engelleme konusunda daha etkilidirler. Ancak perdelerin bu avantajlarını tam olarak sağlayabilmeleri için yapı plan geometrisine uygun şekilde yerleştirilmeleri kritik önem taşımaktadır. Perde ve kolonların simetrik bir şekilde düzenlenmemesi, kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmasını engelleyerek, x ve y yönlerinde sırasıyla e_x ve e_y dışmerkezliliklerinin oluşmasına yol açar. Bu durum, deprem yönüne bağlı olarak yapının ötelenmesine ve rijitlik merkezi etrafında dönmesine neden olur (Erdem, 2016). Şekil 4.12'de bu durum açıkça gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Burulma düzensizliğine bağlı olarak ortaya çıkan dışmerkez oluşumu (Özkul, 2016)

Perdelerin asimetrik yerleştirilmesinden kaynaklanan dışmerkezlilik problemini önlemek için bazı önemli hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir (Akdemir ve İnan Günaydın, 2024):

1. *Simetrik Kolon ve Perde Düzeni:* Kolonların ve perdelerin, yapı planında mümkün olduğunca her iki yönde simetrik bir şekilde yerleştirilmesi esastır. Bu sayede, kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki kaçıklık minimize edilerek, dışmerkezlilik riski azaltılır.

2. *Stratejik Duvar Konumlandırma*: Perdelerin, yapı dış kenarlarına yakın ve merkez bölümlerde de belli aralıklarla yerleştirilmesi önerilir. Bu şekilde, perdelerin rijitlik sağlayıcı etkisi optimize edilir ve yapıdaki yük dağılımı dengeli hale getirilir.

3. *Eşit Rijitlik Dağılımı*: Perdelerin plan geometrisinde her iki yöne göre eşit rijitlik sağlayacak şekilde konumlandırılması önemlidir. Bu sayede, yapısal deformasyonların her iki yönde de dengeli bir şekilde dağılması sağlanır.

4. *Karmaşık Planlarda Deprem Derzleri*: L, H veya T gibi karmaşık plan geometrisine sahip yapılar, deprem derzleri ile bölünerek dışmerkezlilik etkisinin minimize edilmesi önerilir. Deprem derzleri, farklı kısımların bağımsız hareket etmesine izin vererek, burulma ve dışmerkezlilikten kaynaklı gerilmeleri azaltır.

5. *Esnek Bölgelerin Güçlendirilmesi*: Zemin koşullarının elverişsiz olduğu durumlarda, rijitliği artırmak amacıyla stabilite duvarları eklenmesi gibi esnek bölgelerin güçlendirilmesi faydalı olacaktır. Bu tip önlemler, yapısal deformasyonları sınırlandırarak genel performansı iyileştirir.

Perde duvarlar, yapıların dış cephesini oluşturan ve taşıyıcı sistemle entegre şekilde çalışan duvar sistemleridir. Bu sistemlerin, yapıya sağladığı önemli katkılardan biri, burulma rijitliğini artırmasıdır. Burulma rijitliği, bir yapının burulma momentlerine karşı direncini temsil eder. Perde duvarların, yapı dış kısmına yakın ve simetrik olarak yerleştirilmesi, burulma momentlerinin daha etkin bir şekilde dağılmasını ve sönümlenmesini sağlar. Bu sayede, yapı tüm plan kesitinde daha dengeli bir davranış sergiler ve burulma düzensizliği riski minimize edilir. Perde duvarların burulma rijitliğini artırması, deprem gibi dinamik yüklere karşı da önemli bir avantaj sağlar. Deprem sırasında oluşan yatay kuvvetler, yapıyı burulmaya zorlar. Burulma rijitliği yüksek olan yapılar, bu kuvvetlere karşı daha dirençli olur ve deformasyonları daha az olur. Bu durum, yapıdaki hasar riskini ve can kaybı riskini önemli ölçüde azaltır (Özmen, 2012).

Burulma hasarı, deprem sırasında oluşan yatay kuvvetlerin yapıyı burulmasına ve kolonların eksen dışı yükler almasına neden olmasıyla meydana gelir. Bu durum, kolon alt uçlarında donatıların dışa doğru bükülmesine ve kabuk betonun patlamasına yol açar. Burulma hasarını diğer hasarlardan ayırt etmek için bazı belirtilere dikkat etmek gerekir. En önemli belirti, kolonların ortak kenara sahip

yüzeylerinde kesilmeden devam eden çatlağın olmasıdır (Güney, 2012). Bu çatlaklar, kolonun köşelerinde ve birleşme noktalarında daha belirgindir. Burulma hasarının belirtileri aşağıdaki gibidir (Demir ve Dönmez, 2008):

- Kolonlarda eğilme ve eksen dışı deformasyon
- Kolon-kiriş eklemlerinde çatlaklar ve ayrılmalar
- Perdelerde ve duvarlarda çatlaklar
- Binanın katlarında ve seviyelerinde dengesizlikler

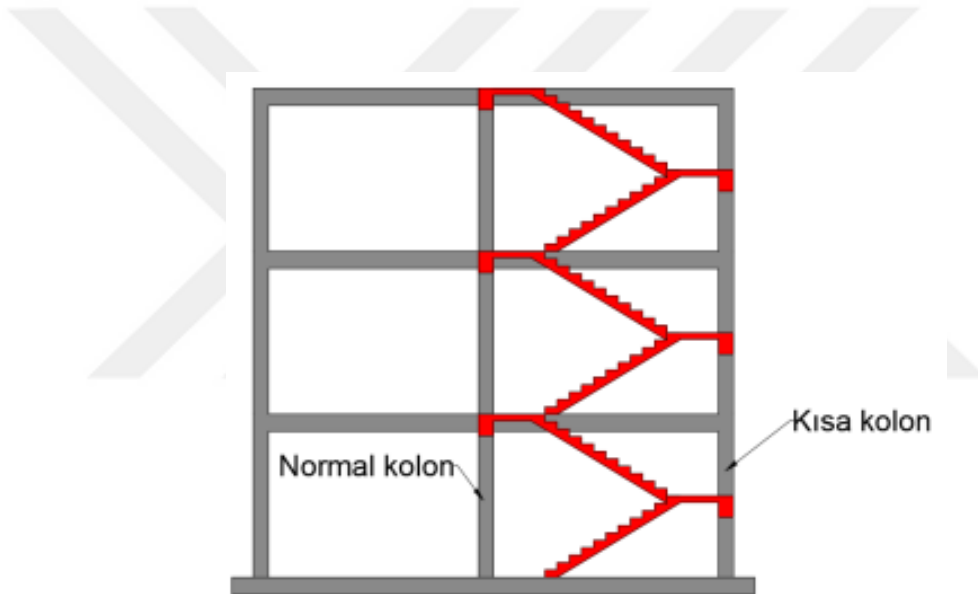
Malatya’da hasar tespiti yapılan bazı yapılarda burulma hasarına rastlanmıştır. Şekil 4.13’te burulma hasarı görünen bir kolona ait görüntü verilmiştir.



Şekil 4.13. Burulma düzensizliği nedeniyle ağır hasar alan bir binaya ilişkin görünüm

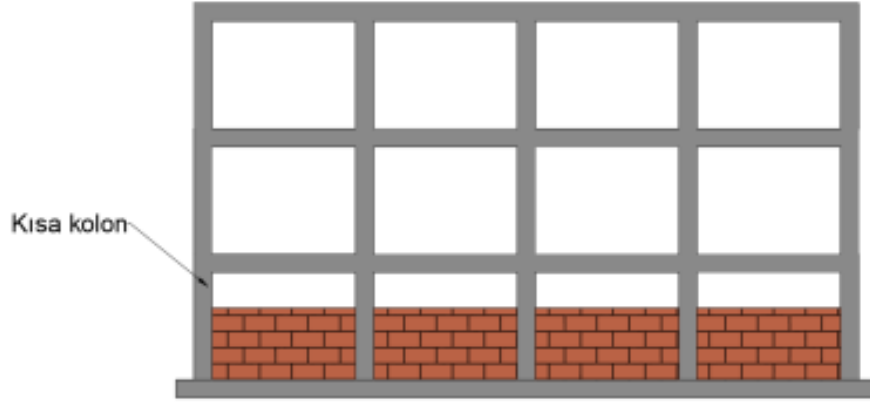
4.2.1.2.5 Kısa Kolon Hasarları

Yapısal tasarımda, çeşitli etkenlerden dolayı, deprem performansını olumsuz etkileyen kısa kolonlar yaygın bir problem teşkil etmektedir. Yönetmeliklere uygun şekilde tasarlanan kısa kolonlar, yatay deprem kuvvetlerine karşı yeterli dayanımı sağlayabilirken, uygulama aşamasında öngörülemeyen veya hatalı uygulamalarla oluşturulan kısa kolonlar, yapı güvenliğini önemli ölçüde tehdit etmektedir (Atar ve ark., 2024). Bu bağlamda, merdiven sahanlıklarının kolonlara bağlantısı, Şekil 4.14'de de görüldüğü üzere, kolonların efektif boyunu kısaltabilir ve kısa kolon davranışına yol açabilir. Bu durum, kolonların taşıma kapasitesini ve deformasyon kabiliyetini önemli ölçüde azaltarak, deprem gibi dinamik yüklere karşı direncini zayıflatmaktadır (Arslan ve Korkmaz, 2007).



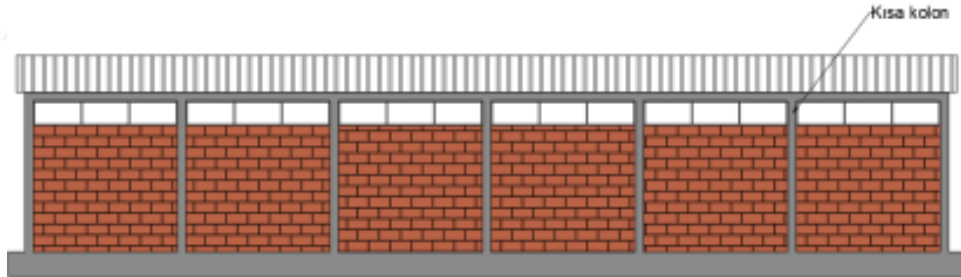
Şekil 4.14. Merdiven sahanlık kirişleri tarafından oluşturulan kat içi kısa kolon etkisi

Betonarme çerçeveli yapılarda, kat yüksekliği boyunca örülen dolgu duvarları, taşıyıcı sistem elemanlarının davranışını ve deprem performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu duvarlar, kolonların etrafında rijit bir çerçeve oluşturarak kolonların efektif boyunu kısaltmakta ve yatay deprem kuvvetlerine karşı normalde olduğundan daha fazla kat kesme kuvvetine maruz kalmasına neden olmaktadır (Şekil 4.15). Bu durum, kolonların taşıma kapasitesini ve deformasyon kabiliyetini olumsuz etkileyerek, deprem gibi dinamik yüklere karşı direncini zayıflatmaktadır (Şeker ve Bedirhanoğlu, 2019).



Şekil 4.15. Bodrum katı bant pencereleri ve kısa kolon oluşum durumu

Mevcut binaların önemli bir kısmında, özellikle yetersiz kesme donatısının kullanımı, bodrum ve zemin katlarda örülen yarım duvarlar, dolgu duvarlar arasında bırakılan boşluklar, pencere üstü hatıllar, endüstriyel tesislerde aydınlatma ve havalandırma amaçlı açılan bant pencereler ve kapı açıklıkları gibi unsurlar, kısa kolon oluşumuna zemin hazırlamaktadır (Şekil 4.16). Bu durum, söz konusu binaların deprem gibi dinamik yüklere karşı direncini ve genel güvenliğini önemli ölçüde tehdit etmektedir (Promis ve Ferrier, 2012).

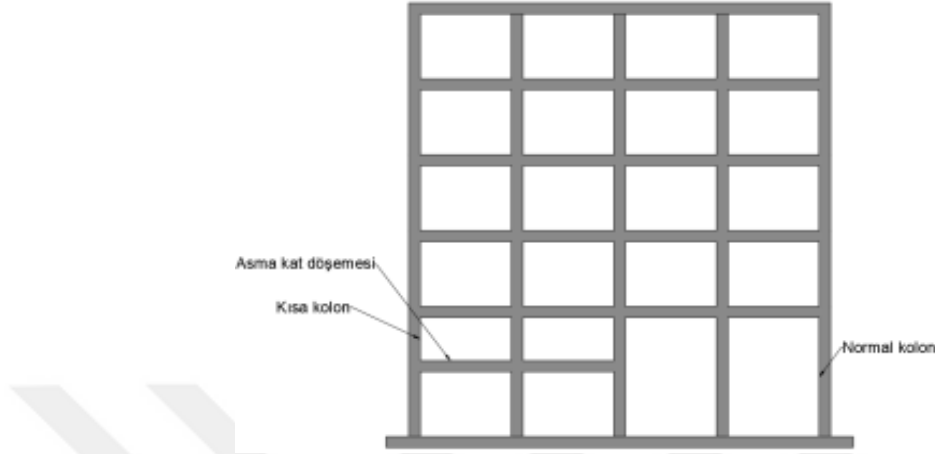


Şekil 4.16. Endüstriyel yapılarda pencere açıklıkları ve kısa kolon oluşumu

Betonarme yapılarda, kolonların rijitliğinin artması, istenmeyen bir durum olan "kısa kolon davranışı"na yol açabilir. Bu etki, kesme kuvvetlerine karşı direncin azalmasına ve gevrek bir göçme şekli olan "kesme kırılması"na neden olur. Kısa kolon davranışı, yapısal güvenliği tehdit eden önemli bir olgudur ve çeşitli faktörlerden etkilenebilir (Ma, Xue ve Zhang, 2015).

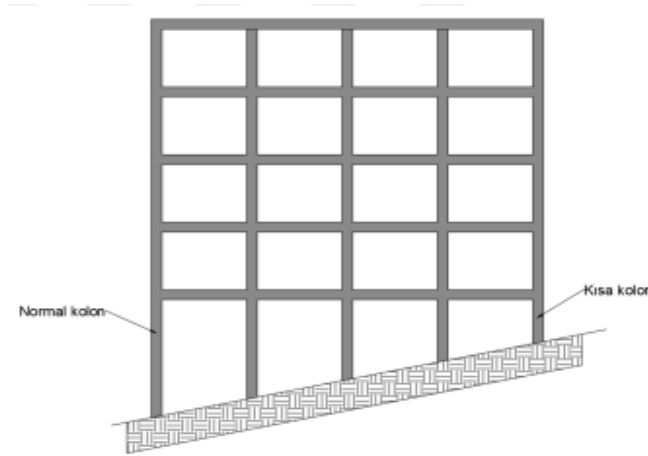
Betonarme bina yapılarında, özellikle zemin katlarda, artan kullanım alanı ihtiyacı ve ekonomik kaygılar, asma kat uygulamalarının yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Bu tip uygulamalar, Şekil 4.17'de de görüldüğü gibi, kolonların serbest boyunu kısaltarak ve rijitliklerini artırarak, kısa kolon davranışı olarak

bilinen istenmeyen bir yapısal etkiye yol açmaktadır. Kısa kolonlar, deprem gibi dinamik yüklemeler altında gevrek bir şekilde kırılmaya ve binanın göçmesine neden olma potansiyeline sahiptir (Avcil ve ark., 2024).



Şekil 4.17. Asma katların ortaya çıkardığı kısa kolon

Kısa kolon davranışına yol açan bir diğer uygulama ise, topografik eğim nedeniyle zemin kat kolonlarının farklı boylarda tasarlanmasıdır (Şekil 4.18). Bu tip yapılarda, kolon boylarının farklı olması, yatay deprem kuvvetlerinin kolonlara rijitlikleriyle orantılı olarak dağılmasına neden olur. Dolayısıyla, daha kısa ve daha rijit kolonlar, orantısız bir şekilde daha fazla yatay deprem kuvveti karşılamak zorunda kalır ve bu da kısa kolon davranışına yol açar (Akbaş ve Çalışkan, 2023).



Şekil 4.18. Kot farkının ortaya çıkardığı kısa kolon

Viyadüklerde, arazinin engebeli olması, kolon ayaklarının temel seviyelerinin farklı kotlarda konumlandırılmasını zorunlu kılabilir. Bu durum, kolon boylarının değişkenlik göstermesine ve kısa kolon davranışı olarak adlandırılan istenmeyen bir etkiye yol açar. Kısa kolonlar, deprem gibi dinamik yüklemeler altında gevrek bir şekilde kırılmaya ve viyadük göçmesine neden olma potansiyeline sahiptir. Kısa kolon davranışının oluşum mekanizması şu şekilde açıklanabilir: Farklı kotlarda oturtulan kolon ayakları, viyadük kütlelerinin yatay deprem kuvvetlerine karşı direncini temsil eden rijitlikleri de etkiler. Daha kısa kolonlar, daha yüksek rijitlik değerlerine sahip olur. Deprem esnasında, yatay deprem kuvvetleri kolonlara rijitlikleri ile orantılı olarak dağılır. Bu durum, daha kısa ve daha rijit kolonların orantısız bir şekilde daha fazla yatay deprem kuvvetine maruz kalmasına neden olur. Bu aşırı yüklenme, kolonlarda aşırı gerilmelere ve hasara yol açarak viyadük göçmesine yol açabilir (Duran, Tunaboyu ve Avşar, 2020).



Şekil 4.19. Kısa kolon hasarı

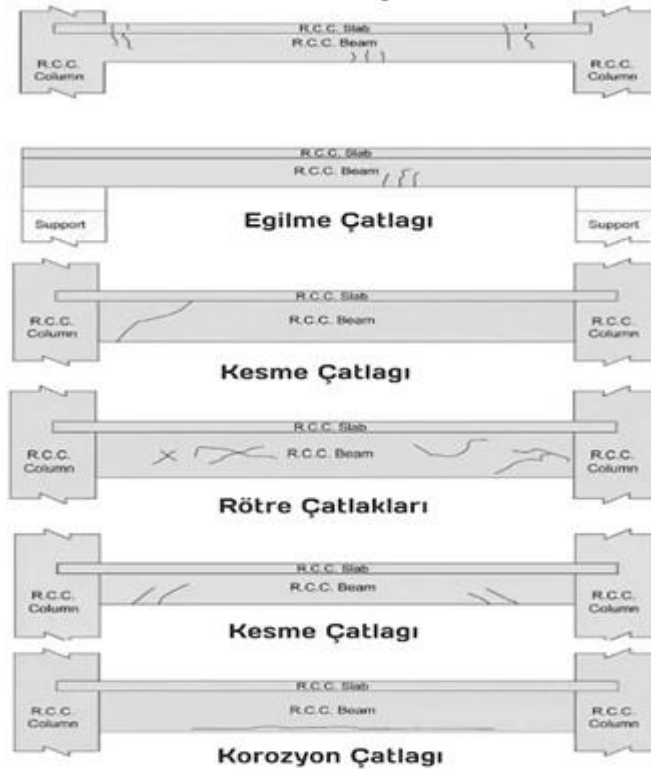
4.2.1.3 Kirişlerde Ortaya Çıkan Hasarlar

Deprem gibi dinamik yüklemeler, yapılarda bulunan kirişlerde de kolonlarda olduğu gibi eğilme, kesme ve burulma çatlaklarına yol açmaktadır. Bu çatlaklar, kirişlerin taşıma kapasitesini doğrudan etkileyebilme potansiyeline sahip olsa da, her çatlak kritik değildir. Kirişlerde oluşan çatlakların genişlikleri, taşıyıcı sistemin ne kadar etkilendiğini belirlemede önemli bir göstergedir. İnce ve kılcal çatlaklar, betonun normal gerilme toleransı dahilinde kalabilir ve acil bir risk oluşturmayabilir. Ancak, daha geniş çatlaklar, donatı çubuklarının kopmasına

veya betonda ayrışmalara yol açarak, kirişin taşıma kapasitesinde önemli azalmalara neden olabilir (Çırak, 2011).

4.2.1.3.1 Kirişlerde Eğilme Hasarı

Betonarme yapılarda, kirişlerin maruz kaldığı momentlerin yoğunlaştığı uç bölgelerde eğilme çatlakları oluşması yaygın bir durumdur. Bu çatlaklar, kiriş eksenine dik yönde ve boyuna donatıların yetersizliği veya uygunsuz seçimi sonucu meydana gelir. Eğilme çatlaklarının mesnetlere yaklaştıkça büyüyüp artması, yapısal elemanın ağır hasar aldığına işaret eder. Bu durum, kirişin taşıma kapasitesini önemli ölçüde zayıflatarak binanın genel güvenliğini tehlikeye atabilir (Gemi ve Köroğlu, 2018). Yılmaz ve Umu (2017) tarafından yapılan araştırmada belirtildiği üzere, saplama kiriş sistemlerinde ana kiriş, tali kirişin saplandığı noktada yoğun eğilme momentlerine maruz kalır. Bu da ana kirişte eğilme çatlaklarının oluşmasına yol açar. Çırak (2011) ise bir kirişte oluşan eğilme çatlaklarının, içerideki donatıların akmasına işaret ettiğini ifade eder. Bu durum, kirişin dayanıklılığını ve taşıma kapasitesini doğrudan etkileyerek binanın genel güvenliğini tehlikeye atabilir. Şekil 4.20’de kirişlerde meydana gelen tipik çatlakları gösterilmektedir.



Şekil 4.23. Kirişlerde oluşabilen çatlak türleri

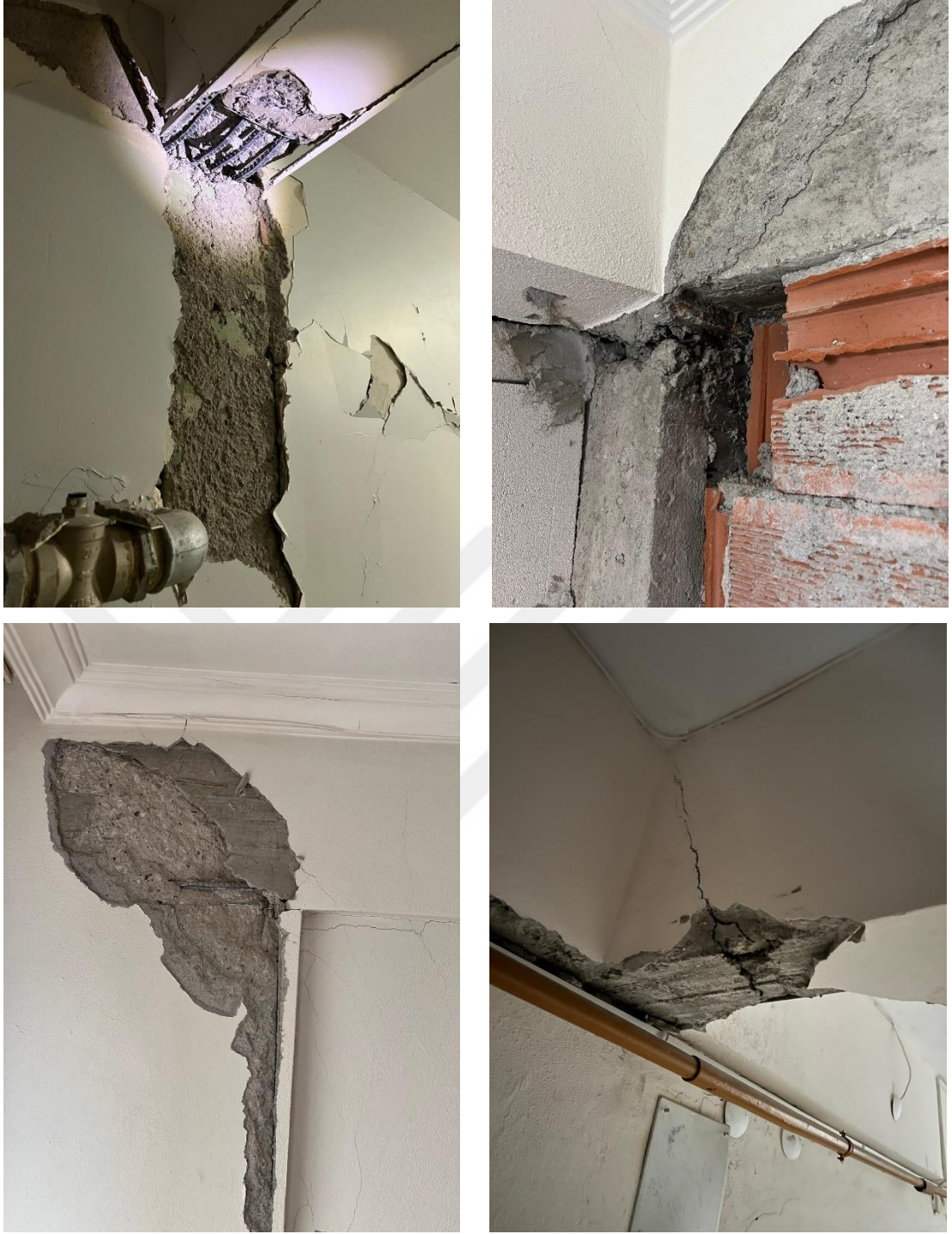
Nervürlü donatı çubukları, yüzeylerinde bulunan çıkıntılar sayesinde betona daha iyi tutunur. Bu sayede, donatı çubuğunun betondan kaymasını ve dolayısıyla çatlak oluşumunu engeller. Nervürlü donatılı kirişlerde, eğilme sonucu oluşan çatlaklar daha fazla sayıda fakat daha küçük boyutlarda gözlemlenir. Nevürsüz donatı çubukları, pürüzsüz bir yüzeye sahiptir ve betona nervürlü donatılı çubuklara kıyasla daha az tutunur. Bu nedenle, nevürsüz donatılı kirişlerde eğilme sonucu oluşan çatlaklar daha az sayıda fakat daha büyük boyutlarda gözlemlenir. Ayrıca, Mertol ve Mertol (2002)'un çalışmasında da belirtildiği gibi, kirişlerde oluşan eğilme çatlakları, kirişin eğilme rijitliğini %30 oranında azaltmaktadır. Şekil 4.21'de ise 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremde eğilme çatlağı oluşmuş bir kiriş nedeniyle ağır hasar alan bir yapının fotoğrafı yer almaktadır. Bu görseller, eğilme çatlaklarının görünümünü ve kiriş üzerindeki etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 4.21. Kirişinde eğilme çatlağı oluşan yapı

4.2.1.3.2 Kirişlerde Kesme Hasarı

Kolon ve perdelerde olduğu gibi etriye eksikliği, kirişlerde de kesme çatlaklarının oluşmasına yol açmaktadır. Bu çatlaklar, 45° açıyla uzanan diyagonal çatlaklar şeklindedir ve "X" şeklinde de ifade edilebilirler. Bu tip hasar, özellikle iki perde arasında bulunan ve "bağ kirişi" olarak adlandırılan kirişlerde sıklıkla görülmektedir (Yılmaz ve Umu, 2017). Şekil 4.21'de kirişlerde oluşan kesme çatlaklarının şematik gösterimi yer almaktadır. Şekil 4.22'de ise Malatya ilindeki farklı yapılarda kesme çatlakları oluşmuş kirişlerin fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 4.22. Kesme çatlağı oluşan kirişler

4.2.1.3.3 Kirişlerde Burulma Hasarı

Depremler, binalar üzerinde önemli bir risk oluşturmaktadır ve bu risklerin değerlendirilmesinde taşıyıcı sistemin hasarlanması kritik önem taşımaktadır. Kolonlarda yaygın olarak gözlenen burulma çatlakları, kirişlerde de meydana gelebilmektedir. Bu tür çatlakların oluşumunun temel göstergesi, birbirine bitişik

üç ardışık kenarda çatlakların devam etmesi ve kalan diğer kenarda ezilmeler gözlemlenmesidir (Çırak, 2011).

Kirişlerde oluşan burulma çatlakları, yapının burulma rijitliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Çırak'ın (2011) çalışmasında, bu azalmanın %10'a kadar ulaştığı belirtilmektedir. Burulma rijitliğindeki bu azalma, binanın deprem yüklerine karşı direncini zayıflatarak, daha büyük hasarlara ve hatta yıkıma yol açabilmektedir.



Şekil 4.23. Kirişlerde meydana gelen burulma çatlağı

Bu görselde, kirişin üç kenarında oluşan burulma çatlakları ve diğer kenarda meydana gelen ezilmeler açıkça görülmektedir. Bu hasar tipi, kirişin burulma gerilmelerine karşı yetersiz kaldığını göstermektedir.

4.2.1.4 Kolon-Kiriş Birleşim Noktası Hasarı

Türkiye'nin coğrafi konumu ve jeolojik yapısı gereği deprem riski yüksek bir ülkedir. Mevcut yapı stoğunun önemli bir kısmının deprem bölgelerinde yer alması ve bu yapılarda yaygın olarak gözlenen yapısal yetersizlikler, olası bir depremde büyük bir yıkım riskini beraberinde getirmektedir (Atar ve ark., 2024). Bölgemizde geçmişte yaşanan depremler (Düzce 1999, Van 2011, Elazığ 2020,

İzmir 2020 ve Kahramanmaraş 2023) de bu riski teyit etmektedir. Bu depremlerde gözlemlenen hasarlardan en yaygını ise kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen yapısal hasarlardır (Kaya ve Yalçın, 2017). "Riskli yapı" olarak kategorize edilebilecek yapılarda yapılan incelemeler, yaygın olarak düşük dayanımlı beton kullanımı, birleşim bölgelerinde yetersiz enine donatı kullanımı, kiriş boyuna donatılarının birleşim bölgelerinde kanca yapılmaması ve düz donatı kullanımı gibi hataların yapıldığını ortaya koymaktadır (Realfonzo, Napoli ve Pinilla, 2014). Mevcut yapı stoğumuzun büyük kısmını oluşturan eski binalarda ise betonun el ile kontrolsüz dökülmesi ve bunun sonucunda düşük dayanımlı beton kullanımı, binaların sadece düşey yükler göz önünde bulundurularak tasarlanması, yürürlükteki yönetmeliklere uyulmadan hatta proje çizimi yapılmadan inşa edilmesi gibi sorunlar göze çarpmaktadır (Hassan, 2011).



(a)



(b)

Şekil 4.24. Elazığ (a) ve Malatya (b) depremlerinde yıkılan yapılar

Deprem gibi yanal yüklemelere maruz kalan yapılarda, birleşim bölgeleri kritik öneme sahiptir. Bu bölgeler, kolonlar, kirişler ve döşemeler gibi taşıyıcı elemanların bir araya geldiği noktalardır ve yapıya gelen yüklerin güvenli bir şekilde aktarılmasından sorumludur. Deprem etkisi altında, birleşim bölgelerinde tersinir yükler oluşmakta ve bu durum kritik bölgelerde önemli hasarlara yol açabilmektedir. Yönetmelikler, birleşim bölgelerinin sünek bir yapısal davranış sergilemesini ve hasarların bu bölgelerde yoğunlaşmamasını öngörmektedir. Sünek davranış, yapının belirli bir hasar seviyesine kadar dayanıklılığını korumasını ve aşırı deformasyon veya ani göçme olmadan kademeli olarak yük taşıma kapasitesini kaybetmesini ifade eder. Birleşim bölgelerinde oluşabilecek hasarlar, yapıda ani göçmelere yol açabilir. Bu durum,

yük aktarımının sekteye uğramasına ve betonarme elemanların kesme ve eğilme kapasitelerine ulaşmadan yıkılmasına neden olabilir (Karayannis ve Golias, 2022).

Deprem etkileriyle oluşacak tersinir yüklerin karşılanabilmesi için birleşim bölgelerinde çeşitli önlemler alınması gerekmektedir. Bu önlemlerden bazıları şunlardır (Laseima, Mutalib, Osman ve Hamid, 2020; Yurdakul ve ark., 2020):

- *Beton ve Donatının Özellikleri:* Betonarme elemanların dayanımı ve sünekliği, kullanılan beton ve donatıların özelliklerine bağlıdır. Daha yüksek dayanımlı ve sünek beton ve donatı kullanımı, birleşim bölgesinin daha yüksek dayanım ve deformasyona karşı direnç göstermesini sağlar.
- *Enine Donatının Miktarı ve Dağılımı:* Birleşim bölgesindeki enine donatı, betonun çekme gerilmelerini karşılar ve elemanların göçmesini engeller. Yeterli veya uygun şekilde dağıtılmamış enine donatı eksikliği, birleşim bölgesinin erken ve kırılgan bir şekilde göçmesine neden olabilir.
- *Kiriş Donatısının Ankraj Uzunluğu:* Kiriş donatısının birleşime yeterince ankrajlanmaması, donatıların kaymasına ve birleşim bölgesinde göçme oluşmasına yol açabilir.
- *Donatı Detaylandırılması:* Donatıların birleşim bölgesindeki detaylandırılması, yüklerin düzgün dağılımı ve birleşim bölgesinin dayanımı için kritik önem taşır. Hatalı veya eksik donatı detaylandırılması, birleşim bölgesinin zayıflamasına ve erken göçmesine neden olabilir.

Ülkemizdeki birçok binada, birleşim bölgelerinde yeterince güvenlik önlemi alınmadığı gözlemlenmektedir. Özellikle kolondan gelen etriyelerin devam ettirilmesi ve kanca uygulaması gibi kritik öneme sahip detaylar ihmal edilmektedir. Ayrıca, düşük dayanımlı beton kullanımı ve düz yüzeyli donatıların tercih edilmesi de birleşim bölgelerinin zayıflamasına yol açmaktadır (Çetin, Altıok ve Demir, 2022).

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin davranışı, çeşitli faktörlerden etkilenir ve bu faktörlerin bir araya gelmesi farklı göçme şekillerine yol açabilir. Bu bölgelerde görülen göçme şekilleri aşağıdaki gibidir (Helal, 2012):

Birleşim Göçmesi: Bu göçme türünde, kolon ve kiriş donatılarında akma olmadan, birleşimin kesme dayanımının aşılması sonucu kırılgan bir göçme meydana gelir. Bu durum, ani ve yıkıcı bir hasara yol açabilir.

Kiriş-Birleşim Göçmesi: Bu göçme türünde, giriş donatılarında akma gözlemlenir ve bu akma, birleşim bölgesine doğru ilerler. Ardından, birleşim kesme dayanımını kaybederek göçer. Girişin eğilme kapasitesi, kesme dayanımı üzerinde belirleyici bir rol oynar ve bu göçme türünü, giriş göçmesine göre daha sünük hale getirir.

Kolon-Birleşim Göçmesi: Zayıf kolon ve güçlü giriş birleşimlerinde yaygın olarak görülen bu göçme türünde, kolon donatılarında başlayan akma, birleşim bölgesine ilerler ve kolonun kesme dayanımı aşıldığında göçme meydana gelir. Bu durum, yapının genel kararlılığını tehlikeye atabilir.

Sıyırılma Göçmesi: Yetersiz ankraj uzunluğu veya zayıf donatı detayına sahip giriş donatısının, birleşim bölgesinden sıyırılması sonucu bu göçme türü meydana gelir. Birleşim, kesme kapasitesinin tamamını kullanmadan göçer ve bu durum ani bir hasara yol açabilir.

Kolon-Kiriş-Birleşim Göçmesi: Bu göçme türünde, giriş ve kolon donatılarında eş zamanlı olarak akma gözlemlenir ve birleşim kesme dayanımını kaybederek göçer. Bu durum, yapının bütünlüğünü doğrudan etkileyerek yıkıcı sonuçlara yol açabilir.

Kiriş Göçmesi ve Kolon Göçmesi: Bu göçme türünde, birleşimde kesme göçmesi gözlemlenmez. Giriş veya kolon donatılarında akma meydana gelir ve bu elemanlarda mafsallaşma oluşur. Eğilme kapasitelerinin davranışı, bu göçme türünde belirleyici rol oynar.

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremde Malatya'da kolon-kiriş birleşim noktası hasarlarına yaygın bir şekilde rastlanmıştır. Malatya'daki konutlarda görülen kolon-kiriş birleşim noktasına ilişkin hasarlardan bazıları Şekil 4.28'de görülmektedir.



Şekil 4.25. Malatya'daki konutlarda ortaya çıkan kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı

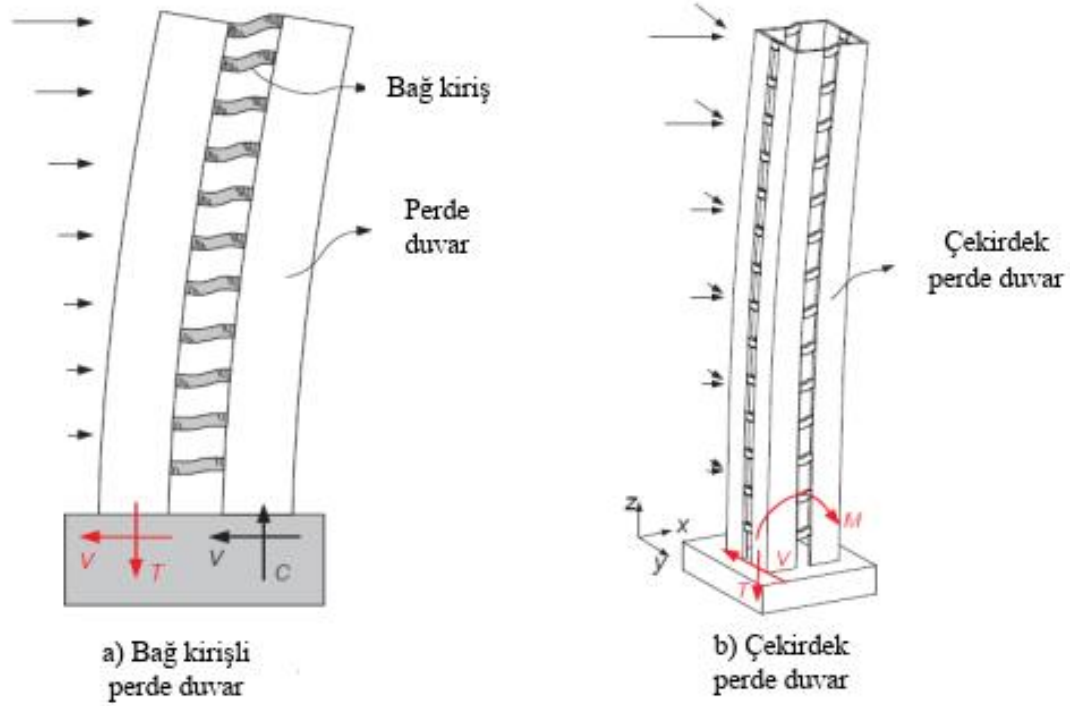
Malatya ilinde 2024 yılında meydana gelen deprem, binalarda önemli hasarlara yol açmıştır. Yapılan hasar tespit çalışmaları sonucunda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde yaygın hasar gözlemlenmiştir. Araştırmacının kendi evinde gerçekleştirdiği hasar tespit çalışması, kolon-kiriş birleşim bölgesinde önemli

hasar olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 4.25'de görüldüğü üzere, kolon ve kirişlerin birleştiği noktada beton kırılmaları ve donatıların açığa çıkması gözlemlenmiştir. Bu hasar tipi, binanın taşıma kapasitesini önemli ölçüde azaltarak ağır hasarlı olarak sınıflandırılmasına yol açmıştır.

4.2.1.5 Perde Hasarları

TBDY-2018'e göre betonarme perde duvarlar, planda uzun kenarının kısa kenarına oranı en az 6 olan düşey taşıyıcı sistem elemanları olarak tanımlanır. Dikdörtgen, U, L ve T gibi farklı geometrilerde üretilebilen perde duvarlar, kompozit (beton, donatı ve çelik gibi), dolu gövdeli, boşluklu ve bağ kirişli gibi çeşitli formlarda da karşımıza çıkabilir. Betonarme yapılar, servis ömürleri boyunca çeşitli iç ve dış yük etkilerine maruz kalırlar. Bu yüklerden deprem, rüzgar ve yanal toprak itkisi gibi yatay kuvvetler, binalarda hasara yol açabilir. Yüksek rijitliklere sahip olan perde duvarlar, bu yatay kuvvetleri karşılamak ve yapının denge ve stabilitesini korumak için kritik rol oynarlar. Perde duvarlar, dikey yükleri de taşıyarak kolon ve kirişlerin yükünü azaltır ve genel yapısal davranışı iyileştirir. Zaman içinde gelişen teknoloji, iş imkanları ve sosyo-ekonomik faktörler, kırsal kesimden şehirlere göçü teşvik etmiştir. Bu durum, kent nüfusunun artmasına ve çok katlı binalara olan ihtiyacın artmasına yol açmıştır. Perde duvarlar, bu tür binalarda yatay yükleri taşımak ve deprem performansını artırmak için ideal bir çözüm sunmaktadır (Koç, 2021).

Teknolojinin hızla geliştiği günümüzde, inşaat sektörü de bu gelişmelerden nasibini alarak daha güvenli ve detaylı tasarım imkânları sunmaktadır. Bu durum, daha yüksek ve estetik açıdan daha narin yapılara olanak tanımaktadır. Fakat bu artan yükseklik ve narinlik, yatay yüklere karşı hassasiyeti de beraberinde getirmektedir. Kat sayısı arttıkça taşıyıcı sistemlerde görelî kat ötelemesi de artmakta ve bu durum, yönetmeliklerde belirtilen sınırları aşma riskini doğurmaktadır. Bu noktada, burulma düzensizliklerinden kaynaklı görelî kat ötelemelerini kontrol altına almak ve yapısal güvenliğı sağlamak için yüksek yapılarda perde duvar kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Perde duvarlar, dikey taşıyıcı elemanların yanı sıra yatay yönde de enine bir stabilite sağlayarak yapının rüzgar ve deprem gibi yatay yüklere karşı direncini önemli ölçüde artırmaktadır (Öztürk, 2005).

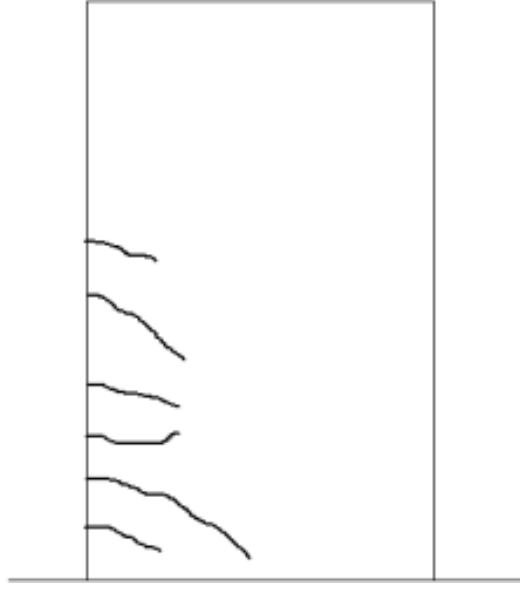


Şekil 4.26. Perde duvarların yanal yükler etkisindeki davranışları

Yüksek katlı binalarda, betonarme perde duvarlar, yanal yüklerin önemli bir kısmını karşılayan taşıyıcı elemanlardır. Bu duvarlar, kesme kuvveti, eğilme momenti ve eksenel basınç gibi çeşitli kuvvetlere maruz kalırlar. Güçlü zemin hareketleri sırasında ise bu kuvvetlere ek olarak, eksenel çekme ve kesme kuvveti kombinasyonu da oluşabilir.

4.2.1.5.1 Perdelerde Eğilme Hasarları

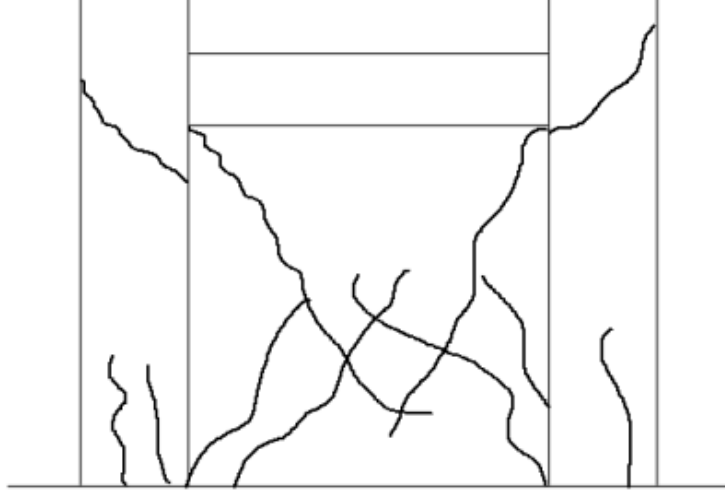
Perdelerde, kolonlarda olduğu gibi perde düzlemine dik konumda oluşan çatlaklar, eğilme çatlakları olarak adlandırılır. Bu çatlaklar, pencere veya kapı boşluğu barındırmayan perdelerde ve yüksekliği fazla olan betonarme binalarda, özellikle zemin ve zemine yakın katlarda sıklıkla gözlemlenir (Yüksel, 2008). Eğilme çatlaklarının oluşumunun temel sebebi, perdenin maruz kaldığı eğilme momentleridir. Bu momentler, binanın kendi ağırlığı, canlı ve ölü yükler ile deprem gibi etkenlerden kaynaklanabilir. Eğer eğilme çatlakları boyunca donatılar aşırı akmaya maruz kalırsa, bu durum perdenin eğilme kırılması olarak adlandırılan ani bir hasara yol açabilir. Bu hasar, binanın taşıyıcı sisteminin bütünlüğünü tehlikeye atabilir ve yıkılmaya neden olabilir. Perdelerde oluşan eğilme çatlaklarına örnek olarak Şekil 4.27 gösterilebilir.



Şekil 4.27. Perdelerde eğilme hasarlarına ilişkin temsili bir görünüm

4.2.1.5.2 Perdelerde Kesme Hasarları

Perde elemanları, binalarda hem taşıyıcı hem de bölücü görev üstlenen kritik öneme sahip yapılardır. Bu elemanlarda gözlenen hasar türleri arasında ise kesme çatlakları, oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Kolonlarda da görüldüğü gibi 45° açıyla diyagonal şekilde ortaya çıkan bu çatlaklar, perde üzerinde etkili olan düşey yüklerin artmasıyla daha dik bir hale de bürünebilir. Kesme çatlaklarının oluşumunda, etriye aralıklarının uygunsuzluğu, etriyelerin yetersizliği ve perdenin optimal boyutlarda tasarlanmaması gibi etkenler rol oynamaktadır. Kolonlarda da gözlemlenen bu eksiklikler, perdelerde de kesme çatlaklarının ilerlemesine ve nihayetinde kesme kırıklarının oluşmasına yol açabilmektedir. Perdelerde en sık rastlanan çatlak tipi ise "X" şeklindeki kesme çatlaklarıdır (Şekil 4.28). Bu tür çatlaklar, eğilme çatlaklarından farklı olarak, genellikle az katlı betonarme yapılarda bulunan perde duvarlarda görülmektedir (Sakcalı, Tekeli ve Demir, 2015).



Şekil 4.28. Perde elemanlarda oluşan kesme çatlaklarının temsili görünümü

Şekil 4.29’da Malatya’daki bir yapının kesme çatlakları oluşmuş bir asansör perdesinin fotoğrafı sunulmaktadır.



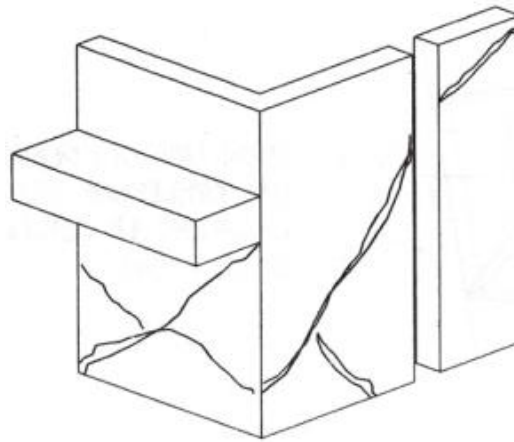
Şekil 4.29. Kesme çatlağı ve segregasyon görülen perde duvar

Betonarme yapılarda perdelerin taşıyıcı sistemin en kritik elemanlarından biri olduğu bilinmektedir. Bu elemanların yerleşimi, binanın deprem gibi yatay yüklere karşı olan davranışını doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, perde

duvarların simetrik olarak yerleştirilmesi, hem yapısal rijitliği hem de burulma düzensizliğini minimize ederek binanın genel performansını optimize etmede kritik önem taşımaktadır. Yılmaz ve Umu'nun (2017) çalışmasında da vurgulandığı gibi, burulma düzensizliği, rijitlik merkezinin kütle merkezinden farklı konumda olması durumudur. Bu durum, binanın yatay yüklere karşı direncini zayıflatarak, özellikle köşelerde ve kenarlarda aşırı gerilmelere yol açabilir. Perde duvarların simetrik yerleştirilmemesi, bu rijitlik merkezinin çakışmamasına ve dolayısıyla burulma hasarının oluşmasına neden olmaktadır. Tek yönde perde duvarlar ile inşa edilmiş bir yapı, deprem gibi yatay kuvvetlerin etkisinde asimetric bir davranış sergileyecektir. Bu asimetric davranış, zayıf yöndeki perdelerin düğüm noktalarında hasar oluşmasına ve hatta yıkılmasına yol açabilir. Bu durum, binanın genel güvenliğini tehlikeye atabilecek ve can kayıplarına neden olabilecek kritik bir sorundur.

4.2.1.5.3 Perde Elemanlarda Burulma Hasarı

Perde elemanların tasarım aşamasında yapılan hatalar, bu duvarların konumunun yapı içerisinde asimetric olmasına yol açabilmektedir. Bu asimetric konumlandırma, deprem gibi yatay yüklemelerin söz konusu olduğu durumlarda, yapı üzerinde istenmeyen burulma etkilerine sebep olabilir (Öztürk Kardoğan ve Kılıç Demircan, 2016). Şekil 4.30'da da görülebileceği üzere, asimetric konumlandırılmış bir perde duvarı, deprem sırasında önemli burulma gerilmelerine maruz kalmaktadır.



Şekil 4.30. Perde elemanlarda burulma hasarının temsili görünümü

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremleri sonucunda Malatya ilindeki bir yapının asansör perdesinde meydana gelen burulma hasarına ilişkin fotoğraf Şekil 4.31’de verilmiştir.

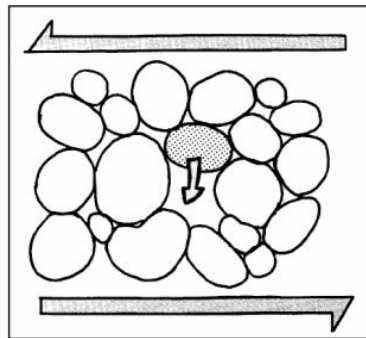


Şekil 4.31. Asansör perdesinde gözlenen burulma hasarı

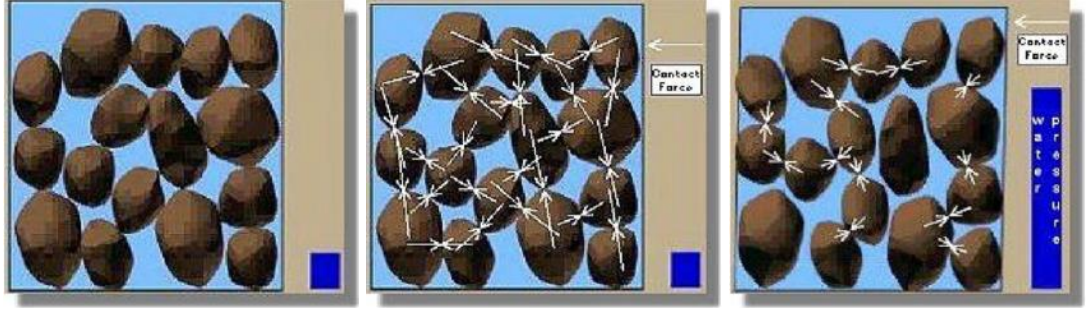
4.2.1.6 Temelde Oluşan Hasarlar

Depremler, yol açtıkları yıkımların yanında, zeminde sıvılaşma olarak bilinen ve önemli ölçüde yapısal hasara neden olabilen bir olguya da ev sahipliği yapar. Bu olgu, suyla doymuş kumlu ve silteli zeminlerin, deprem sırasında oluşan sismik dalgaların etkisiyle sıvı gibi davranmaya başlamasıdır. Sıvılaşmanın temel mekanizması, deprem esnasında zemindeki yüklerin artması ve bunun sonucunda boşluk kanallarına aşırı miktarda suyun dolmasıdır. Bu durum, boşluk suyu basıncında artışa ve efektif gerilmelerin azalmasına yol açar (Yaşar, Tanrıverdi ve Baytan Özmen, 2022).

Sıvılaşma, depremler sırasında gözlemlenen yıkıcı bir jeolojik olaydır ve suyla doymuş kumlu zeminlerin geçici olarak katı halini kaybedip sıvı gibi davranmasıyla karakterize edilir. Bu olgu, deprem dalgaları, özellikle de makaslama dalgaları (S dalgaları) tarafından tetiklenir. Bu dalgalar, zemin tabakalarında titreşime neden olarak boşluk suyu basıncında ani artışlara yol açar. Youd (1992) tarafından yapılan çalışmalarda da belirtildiği üzere, sıvılaşma için kritik faktör, deprem öncesi zeminin durumu ve bileşimidir. Gevşek kumlu ve suyla doymuş zeminler, sıvılaşmaya karşı en hassas olanlardır. Bu tür zeminlerde, tanecikler arasındaki temas ve sürtünme kuvvetleri, artan boşluk suyu basıncına karşı koymak için yetersiz kalır. Sonuç olarak, tanecikler ayrılır ve zemin sıvılaşarak mukavemetini kaybeder. Sıvılaşma olayının daha iyi anlaşılması için, deprem öncesi zeminin statik dengesini ve taneciklerin yerleşimini göz önünde bulundurmak önemlidir (Eroğlu ve İpek, 2023). Şekil 4.32 ve 4.33'de de görüldüğü gibi, gevşek kumlu zeminlerde tanecikler birbirine temas halindedir ve aralarında boşluklar bulunur. Bu boşluklarda su ve hava bulunur. Deprem sırasında, makaslama dalgaları tarafından üretilen titreşimler, suyun sıkışmasına ve boşluk suyu basıncında artışa neden olur. Eğer bu artış, tanecikler arasındaki temas kuvvetlerini aşarsa, tanecikler birbirinden ayrılır ve zemin sıvılaşmaya başlar. Şekil 4.36'da da gösterildiği gibi, sıvılaşma sırasında tanecikler, su basıncı tarafından yukarı doğru itilerek yerden kabarabilir ve zemin dalgaları oluşturabilir. Bu durum, binaların temellerinin altından zeminin kaymasına ve yapıların çökmesine neden olabilir (Alpaslan, 2013).



Şekil 4.32. Suyla doymuş kumlu zeminde sıvılaşma (Atak vd., 2003)



Şekil 4.33. Zemin tanecikleri arasındaki bağlantı kuvvetinin su basıncı ile ilişkisi

Şekil 4.33’de okların uzunluğu, bağlantı kuvvetini temsil eder ve ok ne kadar uzunsa, bağlantı kuvveti de o kadar büyüktür. 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş merkezli depremlerde Malatya’daki bazı yapılarda zemin sıvılaşmasına bağlı olarak ağır hasar alan binalara ilişkin görünüm Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’de yer almaktadır.



Şekil 4.34. Zemin sıvılaşması nedeniyle ağır hasar alan yapı



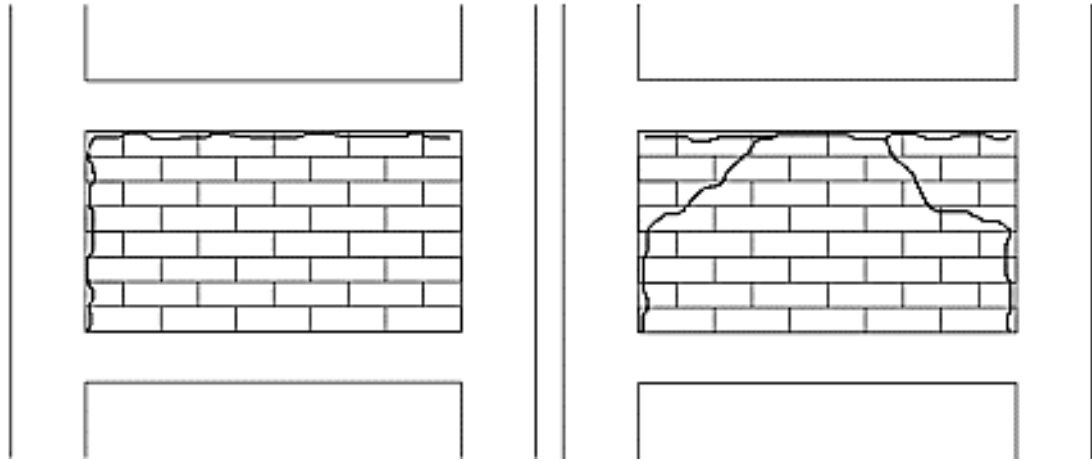
Şekil 4.35. Zemin sıvılaşması ve temel derinliği yetersizliğine bağlı olarak ortaya çıkan subasman hasarı

4.2.2 Taşıyıcı Olmayan Unsurlarda Ortaya Çıkan Hasarlar

Depremler, binalarda hem yapısal hem de estetik açıdan hasarlara yol açabilen doğal afetlerdir. Betonarme yapılar, depremlere karşı nispeten dirençli olsalar da, sıva ve duvarlarda hasar oluşması yaygın bir durumdur. Bu hasarlar, yapının taşıyıcı sistemini doğrudan etkilemese de, estetik açıdan rahatsız edici olabilir ve onarılmadığı takdirde zamanla daha büyük problemlere yol açabilir.

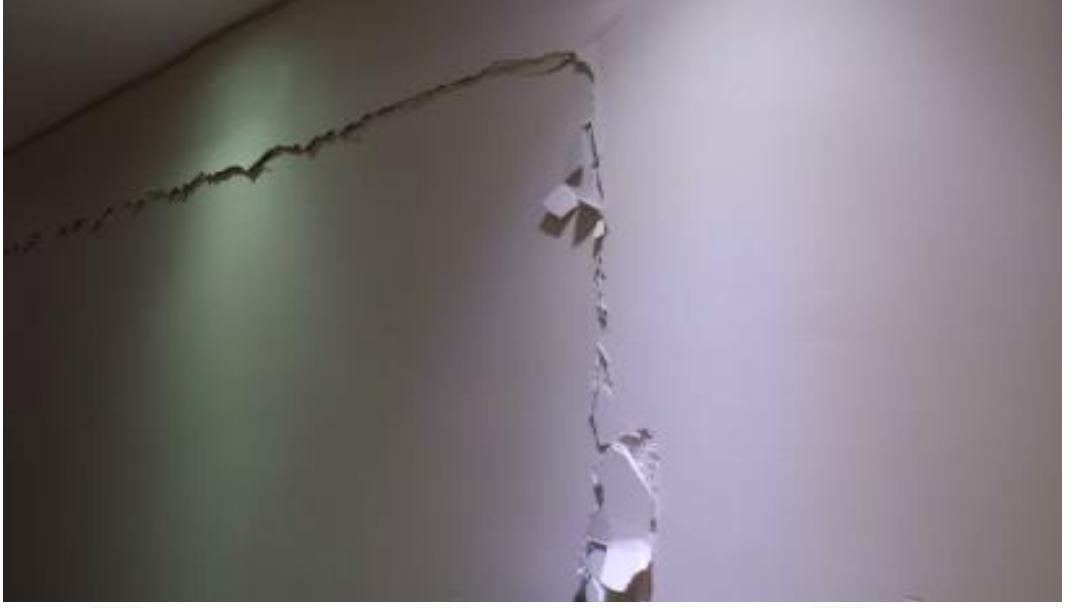
4.2.2.1 Sıva Çatlakları

Deprem gibi dinamik yüklerin yol açtığı titreşimler, betonarme yapılarda hasar oluşumunun en belirgin göstergelerinden biri olan sıva çatlaklarına sebep olmaktadır. Bu çatlaklar, öncelikle dolgu duvarların kirişlerle birleşim yerlerinde gözlemlenmeye başlar ve daha sonra kolonlar ile dolgu duvarlar arasında da yayılma eğilimi gösterir (Yılmaz ve Umu, 2017). Şekil 4.36'da bu tip sıva çatlaklarının şematik bir gösterimi sunulmuştur. Şekil 4.37'de ise depremlerden sonra hasar görmüş binalarda dolgu duvar ile taşıyıcı sistem çerçevesi arasında oluşan çatlakların fotoğrafı yer almaktadır.



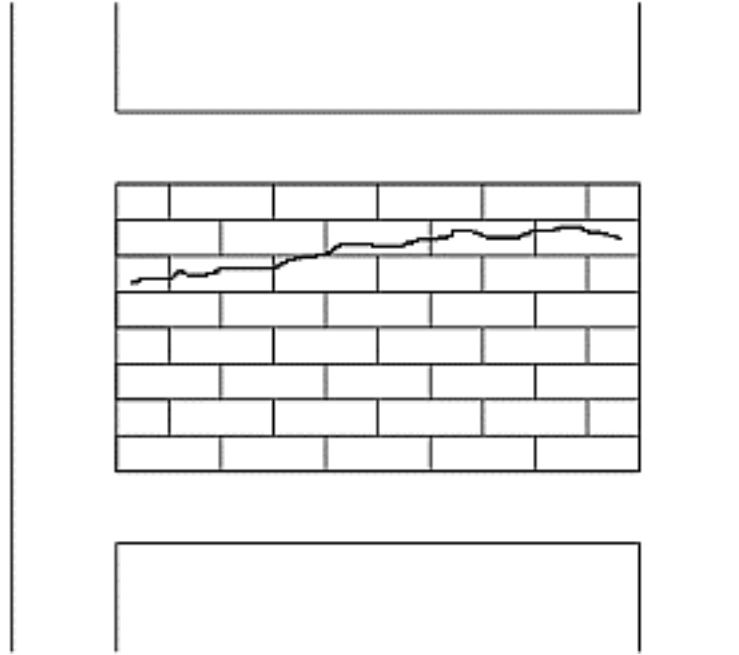
Şekil 4.36. Deprem yükü altında oluşan dolgu duvar-taşıyıcı sistem çerçevesi sıva çatlaklarının şematik temsili

6 Şubat depremlerinde Malatya'da dolgu duvar-taşıyıcı sistem çerçevesi sıva çatlakları birçok yapıda yaygın olarak gözlenmiştir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Malatya’da betonarme bir yapıda oluşan sıva çatlağı

5 ve 6 büyüklüklerindeki depremler, duvarlardaki tesisat boşlukları boyunca sıva çatlaklarına neden olabilir. Bu çatlaklar, yapısal elemanlarda herhangi bir hasar olmaksızın, sadece sıva düzeyinde kalabilir (Tan, 2000). Şekil 4.38’de tesisat boşluklarında oluşan bu çatlakların temsili görüntüsü verilmektedir. Şekil 4.39 ise Malatya’daki bir yapıda ortaya çıkan söz konusu tesisattan kaynaklanan duvar sıva çatlaklarına ilişkin görsel yer almaktadır.



Şekil 4.38. Duvar tesisat boşluklarında oluşan sıva çatlağının görsel temsili



Şekil 4.39. Tesisat kaynaklı duvar çatlakları

4.2.2.2 Duvar Hasarları

Betonarme çerçeve sistemleri, yapısal dayanıklılık ve esneklik sağladıkları için modern mimaride sıklıkla tercih edilen bir yapı sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerde, taşıyıcı elemanlar arasındaki boşlukları doldurmak amacıyla kullanılan dolgu duvarlar, hem yapısal hem de mimari açıdan önemli bir rol üstlenmektedir. Dolgu duvarlar, farklı ebatlarda ve çeşitli malzemelerden üretilerek yapısal ve estetik gereksinimlere cevap verebilecek şekilde tasarlanabilmektedir (Çırak, 2011). Günümüzde sıklıkla tercih edilen dolgu duvar malzemeleri arasında tuğla, delikli tuğla, briket ve gazbeton sayılabilir. Bu malzemelerin seçimi, yapının bulunduğu iklim koşulları, yangın güvenliği gereklilikleri ve akustik performans beklentileri gibi faktörlere bağlı olarak yapılmaktadır. Dolgu duvarların, betonarme çerçeve sistemlerinin davranışı üzerindeki etkileri, yapısal mühendislik araştırmalarında sıklıkla incelenen bir konudur. Özellikle deprem gibi yatay yükler altında, dolgu duvarların varlığı, yapının genel rijitliğini artırarak enerji dağılımını etkilemekte ve dolayısıyla yapısal hasarın azalmasına katkıda bulunmaktadır. Bu durum, dolgu duvarların yapıya önemli bir sönümleme mekanizması kazandırdığını göstermektedir (Akyürek, Tekeli ve Demir, 2018).

Betonarme çerçeveli yapı sistemlerinde yaygın olarak kullanılan dolgu duvarlar, geleneksel olarak taşıyıcı olmayan, sadece kalıcı yük olarak kabul edilen elemanlar olarak değerlendirilmiştir. Ancak güncel bilimsel çalışmalar, dolgu duvarların yapıların yatay yük taşıma kapasiteleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve bu etkinin, özellikle deprem koşullarında yapının davranışını belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. FEMA-178 (1989) raporunda

da vurgulandığı üzere, deprem yüklerine maruz kalan dolgu duvarlar, belirli sınırlar dahilinde perde duvarlara benzer bir davranış sergilemektedir. Yani, taşıma kapasitelerine ulaşıncaya kadar yatay yükleri taşıyabilirler. Ancak perde duvarlardan farklı olarak, dolgu duvarlar genellikle daha az sünek bir davranışa sahiptir ve düşey yükler altında taşıyıcı bir eleman olarak tasarlanmazlar. Dolgu duvarlar ile çerçeve arasındaki etkileşim, yapının genel davranışı üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. Bu etkileşim, tasarım parametrelerine bağlı olarak hem olumlu hem de olumsuz sonuçlar doğurabilir. Örneğin, uygun bir şekilde tasarlanmış dolgu duvarlar, yapıya ek rijitlik kazandırarak yatay yükler altındaki deformasyonları azaltabilir ve böylece yapının dayanımını artırabilir. Ancak, yanlış tasarlanmış veya malzeme kalitesi düşük dolgu duvarlar, yapısal düzensizliklere neden olarak deprem sırasında beklenmedik hasarlara yol açabilir (Aksoy ve Avşar, 2015).

Betonarme çerçeveli yapılarda dolgu duvarların sismik davranışı, yapı sisteminin genel performansını doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Yapı sistemleri, dışarıdan gelen yer hareketlerine karşı tüm bileşenlerinin (taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan) ortaklaşa tepkisi ile direnç gösterirler. Dolgu duvarlar, yapı sistemine kattıkları ek rijitlik sayesinde yatay yük taşıma kapasitesini artırırken, aynı zamanda düşey yüklerin taşınmasında da önemli bir rol oynarlar (André Furtado, Rodrigues, Arêde ve Varum, 2017).

Ancak, dolgu duvarların malzemesi ve yapım tekniği, sismik performans üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Düşük dayanımlı ve gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarlar, tekrarlı yatay yükler altında hızla hasar görerek taşıma kapasitelerini kaybedebilirler. Bu durumda, yapı sisteminin dayanımı sadece çerçeve veya çerçeve-perde sisteminin taşıyıcı elemanlarının dayanımına indirgenir (Kalman Šipoš ve Zvonko Sigmund, 2014).

Dolgu duvarların sismik performansını etkileyen başlıca faktörler arasında;

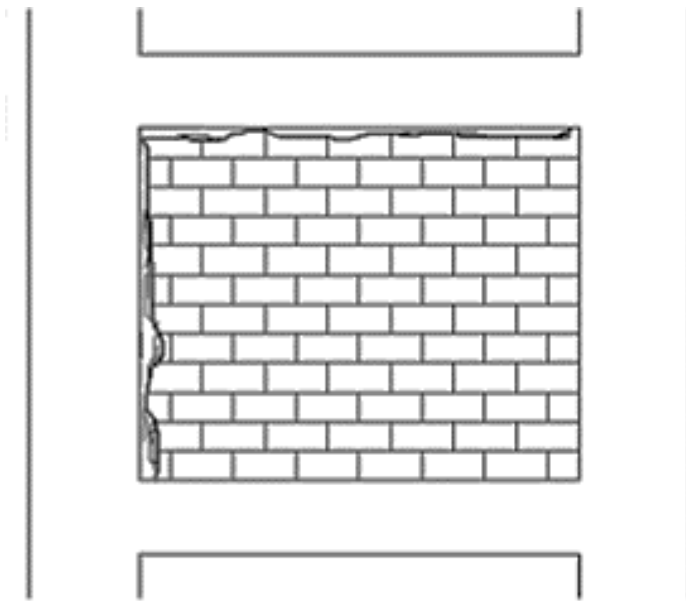
- *Malzeme Özellikleri:* Dolgu duvar malzemesinin dayanımı, sünekliği ve enerji soğurma kapasitesi, duvarın sismik davranışını doğrudan etkiler.
- *Bağlantı Detayları:* Dolgu duvarların çerçeveye bağlantı detayları, duvarın çerçeve ile birlikte çalışmasını sağlamak açısından büyük önem taşır.
- *Duvarın Geometrisi:* Duvarın kalınlığı, yüksekliği ve açıklık oranı, duvarın rijitliğini ve dayanımını etkiler.

- *Yapı Sisteminin Genel Düzeni*: Dolgu duvarların yapı sistemindeki konumu ve dağılımı, yapının sismik davranışını etkileyen önemli bir faktördür.

Yapı elemanları içerisinde önemli bir yere sahip olan duvarlar, çeşitli nedenlere bağlı olarak hasar görebilmektedir. Bu hasarlar, yapının güvenliği ve kullanım ömrünü olumsuz etkilediği gibi, estetik kayıplara da neden olabilmektedir. Duvarlarda ortaya çıkan hasarlar nedenlerine göre sismik aktiviteler sonucunda ortaya çıkan titreşimler, aşırı sehim, temel oturması ve dış ortamdaki titreşimler olmak üzere dört grupta incelenmektedir (Çırak, 2011).

4.2.2.2.1 Deprem Titreşimlerinden Kaynaklanan Duvar Çatlakları

Deprem sırasındaki yer hareketleri, yapıda çeşitli gerilme ve şekil değiştirmelere yol açar. Bu gerilmeler, özellikle dolgu duvarların taşıyıcı sistemle birleştiği bölgelerde yoğunlaşarak, malzeme yorulmasına ve dolayısıyla çatlak oluşumuna neden olur. Kiriş-duvar ve kolon-kiriş birleşimleri, bu açıdan en kritik bölgelerdir, çünkü bu bölgelerde farklı elemanların farklı rijitlikleri nedeniyle gerilme konsantrasyonları oluşur. Şekil 4.40'ta temsili olarak gösterilen hafif dolgu duvar hasarı, genellikle ince çatlaklar ve sıva ayrılmaları şeklinde kendini gösterir. Bu tür hasarlar, yapının genel taşıyıcı sistemini henüz tehdit etmese de, ilerleyen depremlerde daha büyük hasarlara yol açabileceği için ihmal edilmemelidir (Bayrak, Yedek, Erdem ve Bikce, 2017).



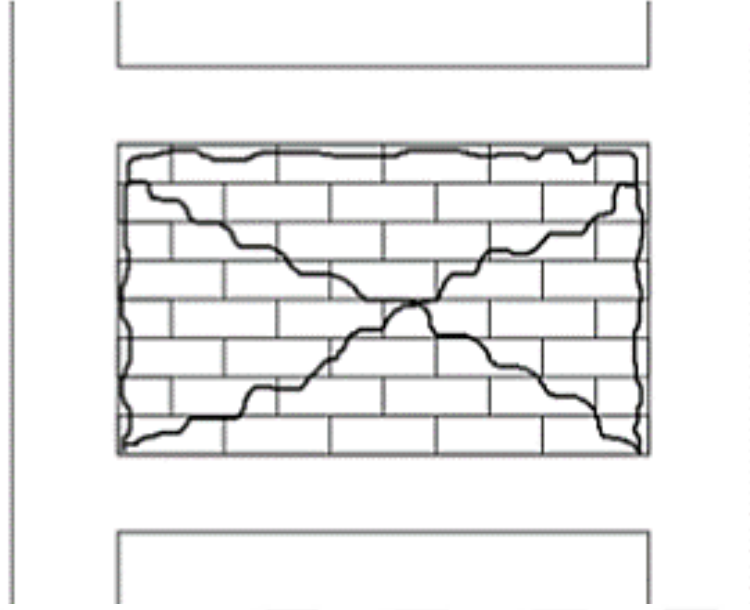
Şekil 4.40. Deprem etkisiyle dolgu duvarlarda tipik çatlak oluşumu (Tan, 2000)

6 Şubat depremlerinden sonra Malatya'da gözlenen ve Şekil 4.41'de sunulan fotoğraf, hafif duvar hasarının gerçek bir örneğini sunmaktadır. Bu fotoğrafta, kiriş-duvar birleşiminde oluşan çatlaklar ve sıva ayrılımları net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.41. Malatya'daki bir yapıda ortaya çıkan kolon-kiriş-duvar birleşiminde oluşan çatlaklar

Yüksek şiddetli sismik olaylar, dolgu duvar sistemlerinde karakteristik bir hasar mekanizması olan çapraz veya "X" biçiminde çatlak oluşumuna neden olmaktadır (Koç, 2016). Şekil 4.42'de sunulan temsili model, orta seviyede hasar görmüş bir dolgu duvarın bu tip çatlaklarla nasıl etkileşime girdiğini görselleştirmektedir.



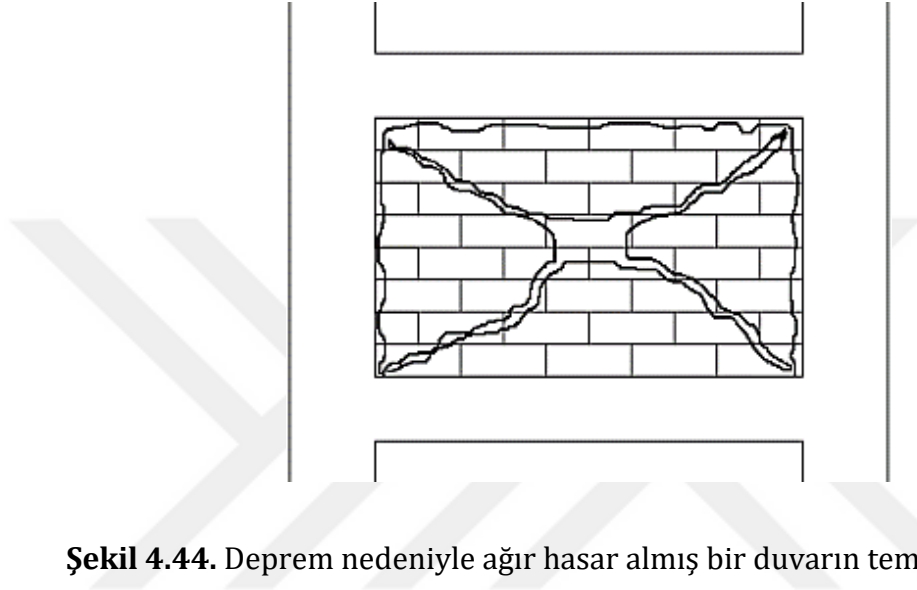
Şekil 4.42. Orta düzey hasar alan bir duvarın temsili görünümü

Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından Malatya'da incelenen yapılar üzerindeki dolgu duvarlarda gözlemlenen hasarlar (Şekil 4.43), bu teorik modelin saha koşullarındaki karşılığını desteklemektedir.



Şekil 4.43. Duvarları orta düzeyde hasar alan bir yapı

Yüksek şiddetteki depremler, yapısal bütünlüğün bozulmasına yol açan çeşitli hasar türlerini beraberinde getirir. Bu hasar türlerinden biri de, özellikle dolgu duvarlarda yaygın olarak gözlenen "X" tipi çatlaklardır. Yapılan araştırmalar (Yüksel, 2008), bu tür çatlakların yapı malzemesinin yetersizliği ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 4.44'deki görüntü, bu durumun somut bir örneğini sunmaktadır.



Şekil 4.44. Deprem nedeniyle ağır hasar almış bir duvarın temsili görünümü

Yapısal analizlerde sıklıkla gözlenen bir olgu olarak, yüksek duvarların üst bölgelerinde yer alan elemanlarda yıkılma eğilimi belirgindir. Özellikle kapı ve pencere açıklıklarının köşe bölgelerinde oluşan konsantrasyonlar, çatlak ve kırılma gibi hasar türlerinin tetiklenmesine neden olmaktadır. Şekil 4.45'de görülen "X" tipi çatlaklar, dolgu duvar sistemlerinde sıkça karşılaşılan ve yapısal bütünlüğün ciddi şekilde tehlikede olduğunu gösteren bir hasar tipi olarak değerlendirilebilir. Bu tür hasarların varlığı, taşıyıcı sistemin diğer elemanlarında da benzer nitelikte hasarların oluşmuş olabileceği ihtimalini güçlendirmektedir (Koç, 2016).

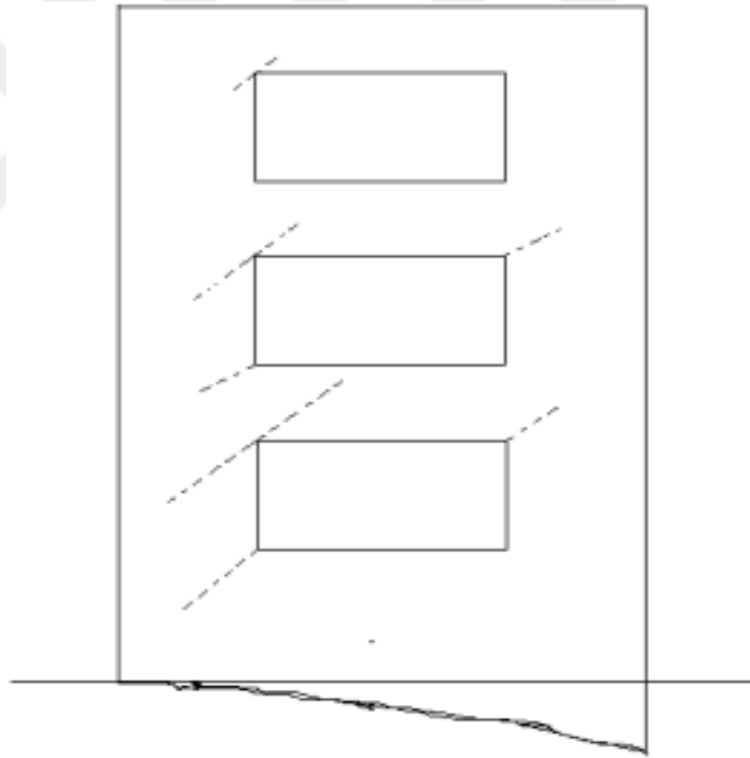


Şekil 4.45. Malatya’da deprem nedeniyle duvarları kırılan yapılar

4.2.2.2.2 Temel Oturmasına Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Hasarlar

Yapılar, taşıdıkları yükleri temel elemanları vasıtasıyla zemine aktarır. Temel sistemleri, yapı yüklerini daha geniş bir alana yayarak zemin üzerindeki basınçları azaltır ve böylece yapı güvenliğini sağlar. İnşaat sürecinde ve sonrasında zeminlerin farklı özelliklerine (nemli, doymun veya kuru) bağlı olarak yapıların oturma hareketleri gözlemlenir. Ani oturmalar, zemin içerisindeki su içeriğinde önemli bir değişiklik olmaksızın, yükün aniden uygulanmasıyla meydana gelen elastik deformasyonlardır (Ekmen ve Güllü, 2022). Bu tür oturmalar, genellikle inşaat sürecinde ve hemen sonrasında gerçekleşir. Konsolidasyon oturmaları ise, özellikle doymun zeminlerde, zamanla gelişen daha yavaş bir süreçtir. Zemin gözeneklerindeki suyun sıkışması ve boşluk hacminin azalmasıyla birlikte meydana gelir. Bu süreç, özellikle kil gibi düşük geçirgenlikli

zeminlerde daha belirgindir. Konsolidasyon oturmaları, yapı yükü altında zemin taneciklerinin yeniden düzenlenmesi ve boşlukların kapanması sonucu oluşur. Bu durum, yapı elemanlarında, özellikle dolgu duvarlarında, çatlak ve deformasyon gibi hasarlara yol açabilir. Temel oturmaları sonucu oluşan çatlaklar, genellikle alt katlarda daha belirgin olmakla birlikte, yapı yüksekliği arttıkça şiddetleri azalma eğilimi gösterir. Bu durum, yapı yükünün alt katlara daha yoğun olarak etki etmesi ve üst katlara doğru dağılmasıyla açıklanabilir (Akyıldız, Adar ve Sevimli, 2022). Şekil 4.46'da görselleştirildiği üzere, temel oturmaları yapıların taşıyıcı sistemlerinde çeşitli hasarlara neden olabilir. Bu hasarlar, yapının güvenliği ve ömrü açısından önemli riskler taşımaktadır. Bu nedenle, yapı projelerinde zemin etütleri ve analizleri titizlikle yapılmalı, yapıların oturma hareketleri dikkate alınarak gerekli önlemler alınmalıdır.



Şekil 4.46. Zemin-yapı etkileşimi sonucu oluşan hasarlar

Temel oturmalarından kaynaklanan duvar çatlakları görülen bazı yapıların görüntüleri Şekil 4.47'de gösterilmektedir.



Şekil 4.47. Temel oturmalarından kaynaklanan duvar hasarları

4.2.2.2.3 Çevresel Titreşimlerden Kaynaklanan Hasarlar

Betonarme yapılar, statik yüklerin yanı sıra dinamik yükler altında da davranış sergilemektedir. Yapısal elemanların yetersiz rijitliği, yapay titreşim kaynaklarının etkisiyle bu elemanlarda istenmeyen titreşim hareketlerine yol açmaktadır. Özellikle çerçeveler arasına yerleştirilen dolgu duvarlar, yapısal elemanlardan gelen titreşimlerin etkisiyle farklı doğal frekanslarda titreşim gösterme eğilimindedir. Bu durum, dolgu duvarlarında çeşitli hasar mekanizmalarının tetiklenmesine neden olmaktadır. Yapı içerisinde sürekli çalışan makine ekipmanları, yoldan geçen ağır yük araçları ve yakın çevredeki demiryolu hatlarında işletilen metro sistemleri gibi dışsal kaynaklar, bu yapay titreşimlerin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır (Yanık, Kamber Yılmaz ve Türker, 2018).

4.2.2.2.4 Aşırı Sehim Kaynaklı Hasarlar

Yapı elemanlarında meydana gelen sehimler, özellikle dolgu duvarlarda çeşitli hasarlara yol açmaktadır. Konsol çıkımların uç noktalarında oluşan büyük sehimler, bu çıkımların bitişiğinde yer alan dış cephe duvarlarında, pencere açıklıklarının alt veya üst seviyelerinde boylamasına uzanan çatlaklara neden

olmaktadır. Benzer şekilde, yan duvarlarda eğik çekme çatlakları gözlemlenebilir. Bu çatlakların oluşumu, yapının diğer bölgelerindeki paralel duvarlarda da tespit edilebilmektedir. Söz konusu hasarın temel nedeni olarak genellikle kalıbın yetersizliği öne sürülse de, asıl etken konsol uçlarının büyük sehimler oluşturma potansiyelidir (Demirbaş, Şahin ve Durucan, 2021). Betonarme elemanlarda zamanla meydana gelen deformasyon artışı olarak tanımlanan sünme, özellikle betonun erken yüklenmesi durumunda daha belirgin hale gelir. Kalıbın erken sökülmesiyle beton tam dayanımına ulaşmadan yüklendiğinde, zaman içinde uç sehimleri artış gösterir. Konsol çıkmalarının kolon veya kirişlere tam ankastre bağlanmaması ve beton dayanımının proje değerlerinin altında kalması da aşırı uç sehimlerine ve dolayısıyla çatlak oluşumuna zemin hazırlar (Hassan, Hossain, Lachemi, 2010).



Şekil 4.51. Aşırı sehim kaynaklı duvar hasarları (URL-1)

Türkiye genelinde birçok yapıda bu tür hasarlara sıklıkla rastlanılmaktadır (Şekil 4.48). Zaman içinde uç sehimlerinde artış göstermeyen konsol çıkmaları olduğu gibi, bu sehimlerinin tehlikeli boyutlara ulaştığı yapılar da mevcuttur. Konsol uçlarının kolonlarla desteklenmesi, sehim artışını önlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu tür hasarlar, hem betonarme taşıyıcı sistemli hem de tuğla yığma duvarlı yapılarda gözlemlenmektedir. Hasarın ileri evrelerinde ise konsol çıkmasının mesnedi üzerinde sürekli çatlak oluşumu meydana gelmektedir (Mari, Bairan ve Duarte, 2010).

4.3 Yapısal Hasar Kaynakları

Türkiye'nin aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer alması, ülkedeki yapı stokunun büyük bir bölümünü oluşturan betonarme yapıların deprem performansını kritik bir hale getirmektedir. Özellikle son yıllarda meydana gelen yıkıcı depremler, betonarme yapıların tasarım ve uygulama aşamalarındaki eksikliklerin ne kadar büyük sonuçlar doğurabileceğini gözler önüne sermiştir (Akdemir ve İnan Günaydın, 2024).

Yapılan araştırmalar ve hasar tespit raporları, Türkiye'deki betonarme yapılarda meydana gelen hasarların büyük bir kısmının, yapısal düzensizlikler, malzeme kalitesi yetersizliği ve yönetmeliklere uygunluk eksikliği gibi nedenlere bağlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenler arasında en sık karşılaşılanlar şunlardır (Büyüksaraç ve ark., 2023; İnce, 2023; Ivanov ve Chov, 2023; Kahya ve ark., 2023; Mercimek, 2023; Mertol ve ark., 2023):

- Yapısal Düzensizlikler:

- *Kısa kolon etkisi:* Bodrum katlarında kullanılan bant pencereler gibi yapısal elemanlar, kolonlarda kesme hasarlarına neden olan kısa kolon etkisi oluşturmaktadır.
- *Zayıf ve yumuşak kat düzensizliği:* Zemin katların ticari amaçlarla yüksek tasarlanması ve taşıyıcı duvarların kaldırılması, yapıya zayıf ve yumuşak kat düzensizliği getirerek hasar riskini artırmaktadır.
- *Kolon-kiriş birleşim noktalarındaki mafsallaşmalar:* Yetersiz etriye kullanımı, birleşim noktalarında mafsallaşmalara ve dolayısıyla yapısal hasarlara yol açmaktadır.
- *Plan ve düşey yöndeki düzensizlikler:* Yapının plan ve düşey eksenlerindeki düzensizlikler, deprem yüklerinin eşit dağılmasını engelleyerek hasar riskini artırmaktadır.

- Malzeme Kalitesi ve Uygulama Eksiklikleri:

- *Beton dayanımının yetersizliği:* Kullanılan betonun projede belirtilen dayanımı karşılamaması, yapının genel taşıma kapasitesini düşürmektedir.

- *Çelik donatılarda korozyon:* Çelik donatılarda meydana gelen korozyon, beton ile çelik arasındaki bağın zayıflamasına ve yapının dayanımının azalmasına neden olmaktadır.
- *Soğuk derz oluşumu:* Beton dökümlerinin farklı zamanlarda yapılması, birleşim bölgelerinde soğuk derz oluşumuna ve bu bölgelerde zayıflıklar oluşmasına yol açmaktadır.

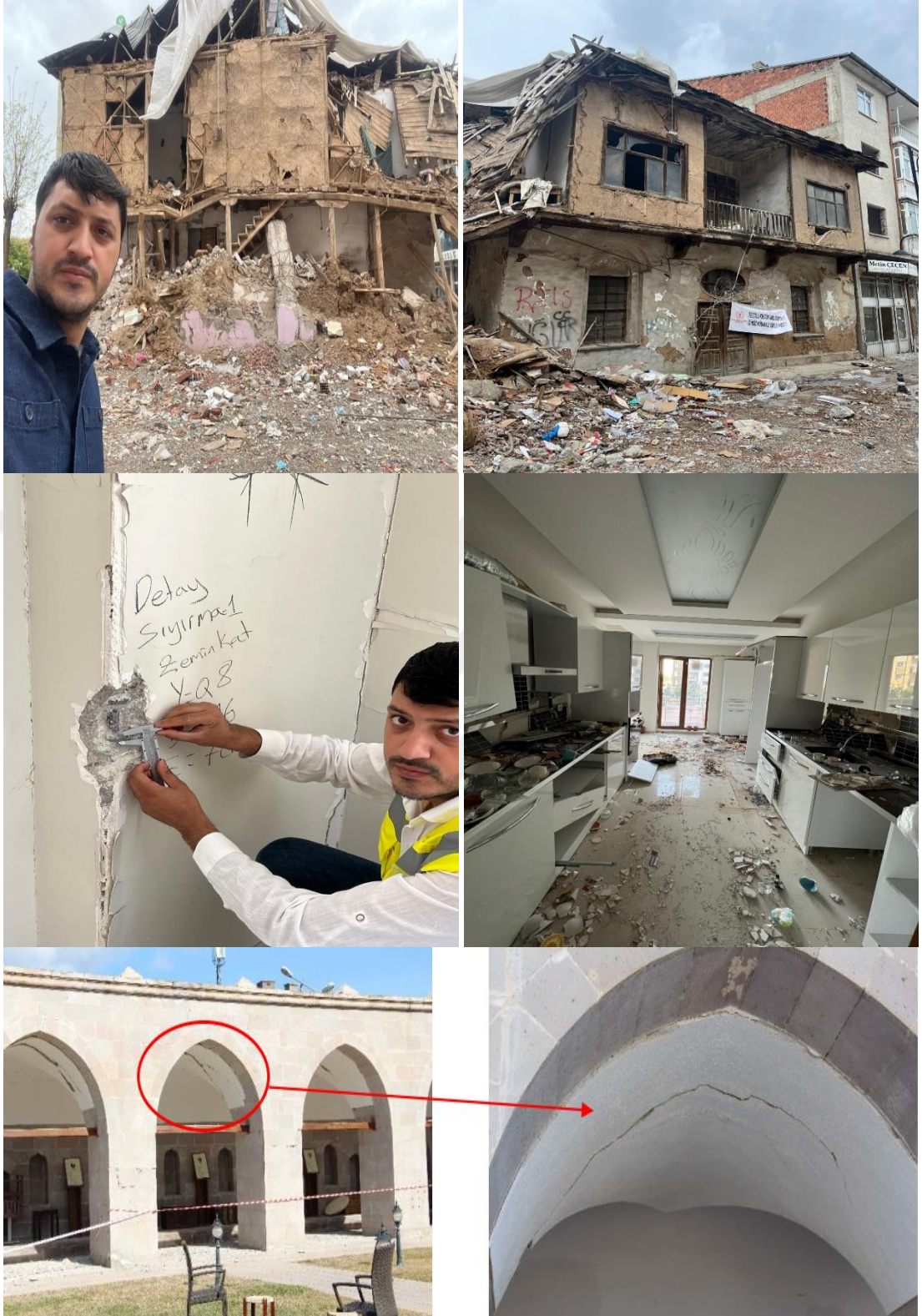
- Zemin Etkileşimleri:

- *Zemin sıvılaşması ve taşıma gücü kaybı:* Zemin etütlerinin eksik veya yanlış yapılması, zemin sıvılaşması ve taşıma gücü kaybı gibi sorunlara neden olarak yapıya zarar vermektedir.

- Diğer Nedenler:

- *Düşey taşıyıcı elemanlardaki kesit değişiklikleri:* Düşey taşıyıcı elemanların kesitlerinin tüm katlarda aynı olmaması, yapının rijitliğini azaltarak hasar riskini artırmaktadır.
- *Boyuna donatılardaki yetersizlik:* Boyuna donatılardan yetersiz olması, çekme kuvvetlerine karşı yapının direncini azaltmaktadır.

Deprem kuşağında yer alan Türkiye’de meydana gelen depremler sonucunda bu unsurlar nedeniyle konutlar, kamu binaları, tarihi yapılar, yol ve köprü gibi yapılar zarar görmüşlerdir. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler sonucunda Malatya’da hasar gören yapılara ilişkin fotoğraflar Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.49. 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından Malatya’da hasar alan konutlardan görünüm

4.3.1 Zemin Özellikleri

Yapıların deprem altındaki davranışlarının doğru bir şekilde modellenmesi, yapısal güvenliğin temini açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, yapı-zemin etkileşimi, yani yapının oturduğu zemin ile yapı arasındaki karşılıklı etkiler, göz ardı edilemeyecek bir parametredir (Eroğlu ve İpek, 2023).

Zeminlerin heterojen ve karmaşık yapısı, yapı-zemin etkileşiminin tam olarak anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Zemin özellikleri, yüklenme koşulları ve sistem frekansı gibi birçok faktör, bu etkileşimi belirleyen önemli parametreler arasında yer almaktadır. Klasik yapısal analizlerde, zemin genellikle rijit bir ortam olarak kabul edilerek, yapı-zemin etkileşimi ihmal edilir. Ancak özellikle yumuşak zeminler üzerindeki yapılar için bu yaklaşım, önemli hatalara yol açabilmektedir. Zeminlerin deformasyon kabiliyeti, yapıların doğal titreşim periyotlarını uzatarak, deprem yüklerine karşı daha duyarlı hale gelmelerine neden olmaktadır (Aykaç, Akın ve Çabalar, 2021).

Literatürdeki birçok çalışma, yapı-zemin etkileşiminin deprem hasarları üzerindeki önemli etkilerini ortaya koymaktadır (Akdemir ve İnan Günaydın, 2024; Atar ve ark., 2024; Avcıl ve ark., 2023; Elyiğit ve İkinci, 2023). 1985 Meksika depreminde, yumuşak zeminler üzerindeki yapıların hasarlarının daha şiddetli olduğu ve bu yapıların doğal titreşim periyotlarının, etkileşim nedeniyle önemli ölçüde uzadığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, Adana-Ceyhan depreminde de etkileşimin yapı çökmelerindeki rolü vurgulanmıştır. 1989 Loma Prieta depreminde ise, yumuşak zeminlerin yer aldığı bölgelerde ivmelerin daha yüksek olduğu ve hasarların daha yoğun olduğu tespit edilmiştir (Kıvrak, 2019). Ülkemizdeki depremler de, yapı-zemin etkileşiminin önemini bir kez daha ortaya koymuştur. 1999 Marmara depremi sırasında, özellikle Adapazarı gibi yumuşak zeminlerin hakim olduğu bölgelerde, yapı hasarları ile zemin koşulları arasında doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir. Zemin sıvılaşması, zemin türünün uygunsuzluğu ve zemin güçlendirme çalışmalarının yetersizliği gibi faktörler, bu bölgelerdeki hasarların artmasında önemli rol oynamıştır (Akbaş ve Çalışkan, 2023).

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler de Malatya ili, yapı stoku üzerindeki yıkıcı etkilerini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Özellikle Yüzakı Bulvarı gibi yeni yerleşim alanlarında, zemin-yapı

etkileşimi nedenleriyle farklı boyutlarda hasarlar tespit edilmiştir. Bölgede ağırlıklı olarak 8-12 katlı, görece yeni inşa edilmiş betonarme yapılar yer almasına rağmen, deprem yüküne karşı yetersiz kalmışlardır. Yapıların dış cephelerindeki önemli çatlaklar, sıva ve boya dökülmeleri, zemin sıvılaşması ve yer sarsıntısının şiddetli etkilerinin bir göstergesi niteliğindedir (Şekil 4.50). Bu durum, bölgenin zemin özelliklerinin ve deprem yükünün doğru olarak değerlendirilmediğini düşündürmektedir. İnşa halindeki projelerin de benzer riskler taşıdığı ve yapı güvenliği açısından detaylı incelemelere tabi tutulması gerektiği açıktır.



Şekil 4.50. Malatya’da hasar tespit çalışmaları sonucunda gevşek zemin nedeniyle hasar gören bazı yapılar

Farklı yüksekliklerde yapıların yer aldığı Yüzakı bölgesinde tarımsal faaliyetlerin hâlâ aktif bir şekilde sürdürüldüğü görülmektedir. Bu durum, bölgenin zemin özelliklerinin tarıma elverişli olduğunu düşündürmektedir. Sulama kanallarının varlığı ise yeraltı su seviyesinin yüksek olabileceği ihtimalini güçlendirmektedir. Yapılan yüzeyel incelemeler, özellikle çevreyolunun güneyinde, üst kısımlarda (yaklaşık 5-7 metre derinliğe kadar) zayıf mühendislik özelliklerine sahip killi-kumlu birimlerin hakim olduğunu ortaya koymuştur. Yüksek yeraltı suyu seviyesiyle birlikte bu zemin özellikleri, bölgenin jeoteknik koşulları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Malatya şehir merkezi, inceleme alanındaki mevsimsel akışa sahip derelerin taşıdığı ve biriktirdiği, tutturulmamış çakıl, kum, şist ve kil gibi alüvyal birimler üzerine kurulmuştur. Saha çalışmaları sırasında özellikle Bostanbaşı, Fahri Kayhan, Yüzakı, Battalgazi Eski Malatya, Orduzu ve Fuzuli bölgelerinde meydana gelen hasarların değerlendirilmesi, bu alüvyal birimlerin zemin büyütme etkisiyle deprem sırasında sarsıntı şiddetini önemli ölçüde artırdığını düşündürmektedir. Bu birimlerin gevşek yapısı ve su ile doygunluk durumları, deprem dalgalarının bu bölgelerde amplifikasyonuna neden olarak yapı hasarlarını tetiklemiş olabilir.

4.3.2 Proje Hatalarından Kaynaklanan Hasarlar

Mimari tasarım ve yapısal oluşum, bir yapının bütünlüğünü oluşturan iki temel bileşendir. Bu bileşenler, birbirleriyle sıkı bir etkileşim içindedir ve yapının genel performansını, özellikle de deprem karşısındaki davranışını belirleyen önemli faktörlerdir. Yapısal elemanların boyutları, türleri ve yerleşimleri, mimari tasarımın doğrudan bir sonucudur. Mimari tasarım, binanın estetik görünümü, işlevselliği ve kullanıcılara sunduğu deneyimi belirlerken aynı zamanda yapısal sistemin de temelini oluşturur (Çalışkan ve Şenol; 2023; Özdemir ve Karataş, 2024). Kolonlar, kirişler, döşemeler gibi yapısal elemanlar, mimari tasarımın gerektirdiği boşlukları oluşturmak ve yükleri taşımak üzere konumlandırılır. Bu nedenle, yapısal sistem, mimari tasarımın sınırları içinde şekillenir ve mimari tasarımın belirlediği kısıtlamalara uymak zorundadır. Mimari tasarımın yapısal sisteme olan bu etkisi, dolaylı olarak yapının deprem davranışını da etkiler. Binanın düzensizlikleri, kat yükseklikleri, çıkıntılar, açıklıklar gibi mimari

özellikler, yapının deprem yüklerine verdiği tepkiyi belirler. Düzensiz geometrilere sahip binalar, daha karmaşık ve öngörülemez deprem davranışları sergileyebilir (Gerek ve Soyluk, 2016).

Yapısal olmayan elemanlar, binanın taşıyıcı sistemine doğrudan dahil olmayan ancak yapının genel performansını etkileyen elemanlardır. Duvarlar, döşemeler, tavanlar, merdivenler, asansörler gibi elemanlar bu kategoriye girer. Yapısal olmayan elemanların deprem sırasında hasar görmesi, binanın genel güvenliğini tehlikeye atabilir ve can kayıplarına neden olabilir. Bu nedenle, yapısal olmayan elemanların da deprem yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanması ve detaylandırılması büyük önem taşır (Gültekin, 2022; Korkmaz, 2022).

Yapıların deprem karşısındaki davranışları, yapısal düzenlilik ve düzensizlik durumlarıyla doğrudan ilişkilidir. Düzenli yapılar, basit geometrik formları, simetrik düzenlemeleri ve homojen malzeme dağılımlarıyla karakterize edilirken, düzensiz yapılar ise bu özelliklerden bir veya birkaçında sapmalar gösterir. Düzenli yapıların sahip olduğu avantajlar aşağıdaki gibidir (Akbaş ve çalışan, 2023; Akdemir ve İnan Günaydın, 2024; Çırak, 2011):

- *Tahmin Edilebilir Davranış:* Düzenli yapıların deprem altındaki davranışı, analitik yöntemlerle daha güvenilir bir şekilde tahmin edilebilir. Bu durum, tasarım süreçlerini kolaylaştırır ve yapı güvenliğini artırır.
- *Basit Detaylar:* Düzenli yapılar için yapısal detayların geliştirilmesi daha kolaydır. Bu, yapısal birleşimlerin daha sağlam ve güvenilir olmasını sağlar.
- *Daha İyi Performans:* Genel olarak, düzenli yapılar deprem etkilerine karşı daha iyi direnç gösterir. Basit geometrileri, kuvvetlerin daha eşit dağılmasını sağlayarak yapısal hasarı sınırlar.

Düzensiz yapıların sahip oldukları dezavantajlar ise aşağıdaki gibidir (İnan ve Korkmaz, 2012):

- *Karmaşık Davranış:* Düzensiz yapılar, deprem altında daha karmaşık ve öngörülemeyen davranışlar sergileyebilir. Bu durum, yapısal analizleri zorlaştırır ve tasarım süreçlerinde belirsizlikler yaratır.
- *Burulma Etkileri:* Düzensiz yapılar, deprem sırasında şiddetli burulma momentlerine maruz kalabilir. Bu durum, yapısal elemanlarda aşırı gerilmelere neden olarak hasara yol açabilir.

- *Analiz Zorlukları:* Düzensiz yapıların analizi için genellikle gelişmiş analiz yöntemleri (dinamik analiz vb.) kullanılması gerekir. Bu, tasarım maliyetlerini artırabilir ve süreci uzatabilir.

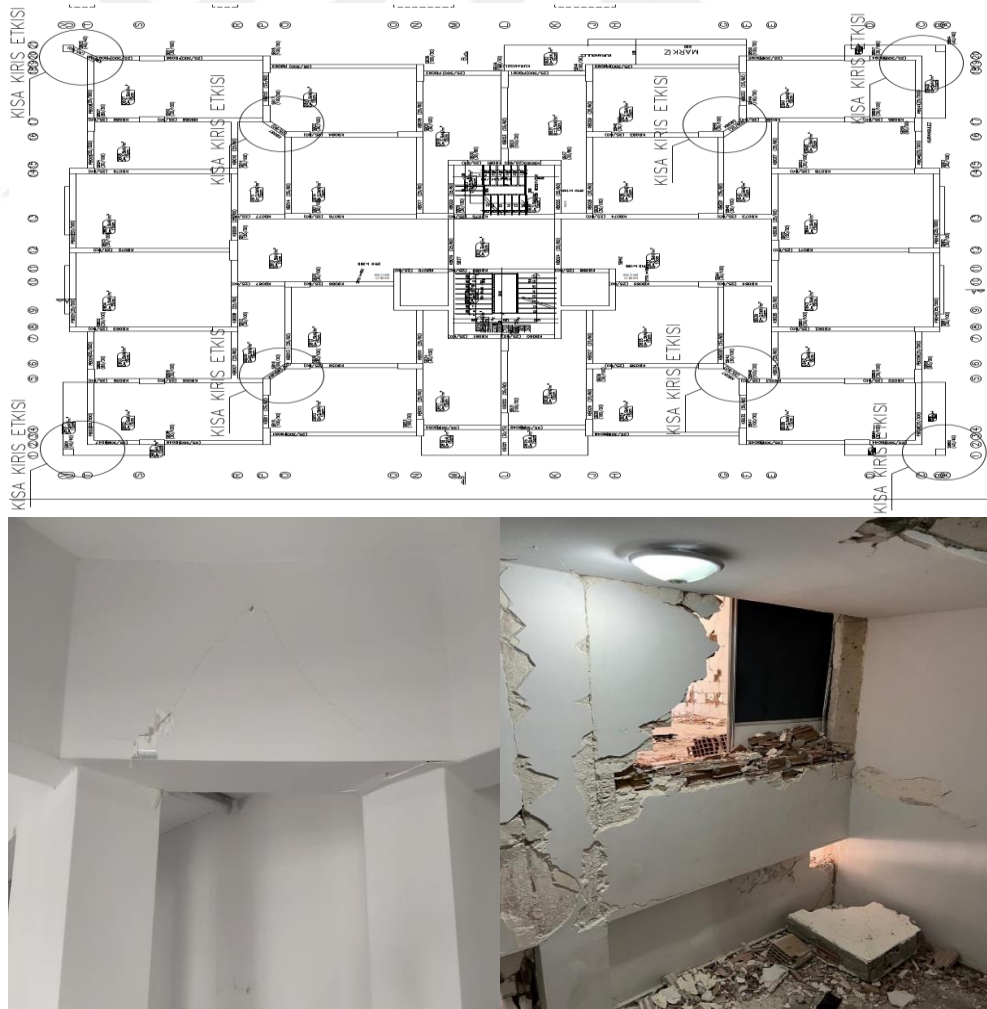
Yapısal düzensizlikler, plan düzensizlikleri, yükseklik düzensizlikleri, kat sertliği düzensizlikleri gibi farklı türlerde olabilir. Her bir düzensizlik türünün, yapıya olan etkisi ve deprem performansı üzerindeki etkisi farklıdır. Proje hatalarından kaynaklanan düzensizlikler ve bu hataların neden olduğu hasarlar bu bölümde detaylı bir şekilde ele alınmıştır (Akbaş ve Çalışkan, 2023).

4.3.2.1 Kapalı ve Açık Çıkmalar

Geleneksel Türk mimarisinin karakteristik unsurlarından biri olan cumbalı evlerde sıklıkla görülen kapalı ve açık çıkmalar, günümüz imar mevzuatının da izin vermesiyle modern yapılarda yaygınlaşan bir tasarım öğesi haline gelmiştir. Bu çıkmalar, binaların estetik görünümüne katkı sağlamasının yanı sıra, yaşam alanlarına çeşitli fonksiyonel avantajlar sunmaktadır. Ancak, bu mimari detayın yapısal performans üzerindeki olumsuz etkileri, özellikle deprem bölgelerinde yaşayanlar için önemli bir endişe kaynağıdır. Çıkmaların varlığı, binaların kütle dağılımını düzensizleştirerek deprem yüklerine karşı daha duyarlı hale gelmelerine neden olmaktadır. Özellikle yapı boyunca uzanan çıkmalar, döşemelerin de dışarıya taşmasına yol açmakta ve bu durum, kirişlerle desteklenen sürekli döşeme sistemlerinin yerini kirişsiz döşeme sistemlerine bırakmasına neden olmaktadır. Kiriş süreksizlikleri, yapısal sistemde zayıf halkalar oluşturarak, binanın genel taşıyıcı kapasitesini düşürmekte ve deprem sırasında hasarın daha yoğunlaşmasına zemin hazırlamaktadır. Bal ve Özdemir (2006) tarafından yapılan çalışmada da vurgulandığı üzere, çıkmaların neden olduğu bu yapısal düzensizlikler, binaların deprem performansını olumsuz etkileyen önemli bir faktördür. Bu durum, özellikle yüksek sismik risk taşıyan bölgelerde inşa edilen yapılar için büyük bir tehdit oluşturmaktadır.

Yapısal tasarımda, zemin kat kullanım alanını maksimize etme amacıyla sıklıkla başvurulmuş kapalı çıkmalar, yapısal davranış üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Plan düzenlemelerindeki bu çıkıntılar, kiriş ve çerçeve süreksizliklerinin yoğunlaşmasına neden olmakta, bu durum da yapısal sistemin bütünlüğünü olumsuz etkilemektedir. Kapalı çıkmaların bina ağırlığı üzerindeki

dengelessiz dağılımlı, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki farkı artırarak, deprem yükleri altında yapının daha kırılğan hale gelmesine yol açmaktadır. Bu durum, özellikle deprem bölgelerinde yer alan yapılar için ciddi bir risk faktörüdür. Literatürdeki alışmalar (zmen ve ark., 2011), kapalı çıkmalara sahip binaların deprem performansının, benzer özelliklere sahip ancak çıkması olmayan binalara göre daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır. şekil 4.51'de görselleştirildiği üzere, kapalı çıkmalara oluşturduğu kiriş süreksizlikleri, taşıyıcı sistemin bütünlüğünü zayıflatmaktadır. Özellikle estetik kaygılarla, oda ortasında sarkık kiriş görünümünden kaçınmak amacıyla, kiriş-kolon bağlantıları genellikle saplama kiriş olarak tasarlanmaktadır. Bu durum, ereve sistemin rijitliğini azaltarak, deprem yükleri altında oluşabilecek hasar riskini artırmaktadır. Kiriş süreksizliğine bağlı olarak hasar alan Malatya'nın Yeşilyurt İlçesi'ne bağlı Bostanbaşı semtinde bulunan Detay Park konutlarına ilişkin kat planı ve hasar görüntüleri şekil 4.51'de verilmiştir.



şekil 4.51. Planda çıkıntı ve kiriş süreksizliği

Kat alanı kazanmak adına planda yapılan konsol çıkıntılar yapının kütle merkezinin kaymasına neden olur. Şekil 4.52’de 6 Şubat 2023 tarihli Pazarcık ve Elbistan Depremlerinde Malatya’da görülen binada planda aşırı çıkıntıların bulunması düzensizliğinin de etkisiyle bina kısmen göçmüştür.



Şekil 4.52. Malatya’da çıkmalar nedeniyle kısmen yıkılan yapılar (Yeşilyurt)

TBDY (2018) yönetmeliği, yapıların plan düzenlemeleri konusunda önemli bir kıstas olarak "planda çıkıntılar bulunması düzensizliği" kavramını tanımlamaktadır. Yönetmeliğe göre, bir binanın kat planında yer alan çıkıntılı kısımların, binanın o katındaki toplam plan boyutlarının belirli bir oranını aşması durumunda bu düzensizlikten söz edilebilir. Yönetmelikte bu düzensizlik, "bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu" şeklinde net bir şekilde ifade edilmiştir. Bu tanım, çıkıntıların hem yatay hem de dikey boyutlarını değerlendirerek, plan düzeninin genel bütünlüğünü etkileyebilecek potansiyel sorunları önlemeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle, TBDY (2018), planlarda yapılacak çıkıntıların boyutlarının, binanın toplam plan boyutlarının %20'sinden daha az olmasını şart koşturmaktadır.

4.3.2.2 Döşeme Süreksizliği

Binalarda deprem yüklerinin ana taşıyıcı sistem elemanlarına aktarılmasında döşemelerin hayati bir rolü bulunmaktadır. Deprem esnasında oluşan atalet kuvvetleri, yapının kütlesi ve ivmesiyle doğru orantılı olarak döşemelerde yoğunlaşır ve buradan kiriş, kolon ve perde duvar gibi düşey taşıyıcı elemanlara dağıtılır. Döşemelerin bu yük aktarımı görevi, yapısal bütünlüğün sağlanması ve deprem hasarlarının sınırlandırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak, binalarda aydınlatma, galeri boşluğu gibi mimari veya asansör kovası, tesisat kuyuları gibi mekanik nedenlerle farklı boyut ve şekillerde döşeme açıklıkları bulunması kaçınılmazdır. Bu açıklıklar, belirli bir oranı aştığında döşemelerin yapısal bütünlüğünü bozarak deprem kuvvetlerinin etkin bir şekilde iletilmesini engelleyebilir. Bu durum, diyaframda süreksizliklere ve gerilme yoğunlaşmalarına neden olarak yapının davranışını olumsuz yönde etkiler (Öztürk, 2013). Yapılan araştırmalar, sismik yönetmeliklerde diyafram süreksizliğinin değerlendirilmesinde plan geometrisinin önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Plan üzerindeki ani rijitlik değişimleri, yapısal düzensizliklere ve dolayısıyla hasar riskine yol açabilir. Ancak farklı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde döşeme açıklıkları için belirlenen sınır değerleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır (Akbaş ve Çalışkan, 2023; Sağlıyan ve Yön, 2018). Örneğin, Meksika (FDGM, 1995), Çin (MOHURD, 2010) ve Türkiye (TBDY 2018) yönetmeliklerinde döşemelerdeki boşluk oranı sırasıyla %20, %30 ve %33 ile sınırlandırılmıştır. Bu farklılıklar, ülkelerin jeolojik koşulları, yapı stoku ve tasarım felsefelerindeki farklılıklar ile açıklanabilir (İlerisoy, 2019). 6 Şubat 2023 depremlerinde döşeme süreksizliklerine bağlı olarak birçok yapıda ağır hasarlar ortaya çıkmış ve hatta kısmi çökmeler görülmüştür (Şekil 4.53).



Şekil 4.53. Döşeme süreksizliği nedeniyle hasar alan bir yapı

4.3.2.3 Güçlü Kiriş Zayıf Kolon

Deprem gibi şiddetli sismik olaylar sırasında yapısal elemanların birleşim bölgelerindeki davranış, yapının genel performansı üzerinde belirleyici bir rol oynar. Özellikle kolon-kiriş birleşim noktalarındaki dönme kapasitesi, yapının hasar görmesi durumunda enerjiyi dağıtma ve yapısal bütünlüğün korunması açısından kritik öneme sahiptir. Kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibi, bu bağlamda sıkça kullanılan bir tasarım ilkesidir. Bu prensip, deprem yükleri altında kolonların kirişlere göre daha fazla dönme kapasitesine sahip olmasını ifade eder. Bu sayede, enerji öncelikle kirişlerde yoğunlaşır ve kolonlar daha az hasar görerek yapının genel taşıyıcı sisteminin çökmesi geciktirilir. Karmaşık çerçeve sistemlere sahip yapılar, sismik etkiler altında doğrusal olmayan bir davranış sergileme eğilimindedir. Bu nedenle, bu tür yapıların güvenli bir şekilde tasarlanabilmesi için yüksek düzeyde süneklik ve yeterli enerji yutma kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Süneklik, yapının büyük deformasyonlara uğramasına rağmen taşıma kapasitesini koruması anlamına

gelirken, enerji yutma kapasitesi ise deprem enerjisini sönümleme yeteneğini ifade eder (Avcıl ve ark., 2024; Korkmaz, 2023; Shen, Li, Chen ve Tizani, 2021). Liu, Liao ve Zheng (2012) tarafından yapılan çalışmada da vurgulandığı gibi, kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibine uygun tasarlanan yapılar, istenen bu koşulları daha iyi sağlamaktadır. Bu sayede, deprem sırasında yapı hasar görebilse dahi, can ve mal kayıplarını en aza indirmek mümkün olmaktadır.

Güçlü kolon-zayıf kiriş prensibi bir düğüm noktasında birleşen kolonların toplam eğilme moment kapasitelerinin, aynı düğüm noktasında birleşen kirişlerin toplam eğilme moment kapasitelerinden en az %20 daha büyük olmasını öngörür. Böylelikle, yapıya etkiyen yükler altında plastik mafsalların öncelikli olarak kirişlerde oluşması hedeflenir. Bu durum, enerji disipasyonu mekanizmasının etkin bir şekilde çalışmasını sağlayarak yapının hasar görmesini geciktirir ve can güvenliğini artırır. Diğer yandan, taşıyıcı sistemin tümü için kesme ve aderans gibi gerilme türlerine karşı yeterli güvenlik payı sağlanacak şekilde boyutlandırma yapılması, yapının genel taşıma kapasitesini ve dayanımını olumlu yönde etkiler (Özer, 2007).

Birçok ülkenin deprem yönetmeliği, yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını iyileştirmek amacıyla kapasite tasarımı prensibini benimsemiştir. Bu prensip, yapıların belirli bölgelerinde plastik deformasyonun oluşmasına izin vererek, enerjiyi sönümleyerek ve yapıya zarar verme potansiyelini azaltmayı hedefler. Ancak, yapıların yetersiz detaylandırılması veya yanlış malzeme kullanımı gibi nedenlerle plastik mafsalların istenmeyen bölgelerde (örneğin kolon uçlarında) oluşması, yapıların gevrek göçmelerine yol açabilmektedir. Özellikle kolon-kiriş birleşimlerindeki süneklik eksikliği, kolon uçlarında plastik mafsalların yoğunlaşmasına ve bu bölgelerde kesit hasarlarının hızla ilerlemesine neden olmaktadır. Bu durum, yapıda göçme mekanizmalarının tetiklenmesine ve yapının genel olarak hasar görmesine yol açar. Deprem yönetmeliklerinde genel olarak kolonların kirişlerden daha güçlü boyutlandırılması önerilmesine rağmen, bu tek başına yeterli olmamaktadır. Kolon-kiriş birleşimlerinin detaylı bir şekilde tasarlanması ve detaylandırılması, plastik mafsalların istenen bölgelerde oluşmasını sağlamak ve yapının genel performansını artırmak için büyük önem taşımaktadır (Işık ve Özemir, 2016). 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinde

gözlemlenen yapı hasarları, bu konunun önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Şekil 4.54'de görüldüğü gibi, birçok yapıda kolon uçlarında oluşan plastik mafsallar nedeniyle toptan göçmeler meydana gelmiştir. Bu durum, yapıların tasarım ve detaylandırma aşamasında yapılan hatalara işaret etmektedir.



Şekil 4.54. Zayıf kolon güçlü kiriş hasarı nedeniyle ağır hasar alan yapılar

Yapıların deprem performansının artırılması amacıyla, kolonların detaylandırılmasında yapısal deprem mühendisliği kurallarına titizlikle uyulması gerekmektedir. Bu sayede, yapı deprem etkisi altında sünek bir davranış sergileyerek hasarın yapı genelinde dağılması sağlanır. Plastik mafsalların öncelikle kiriş uç noktalarında oluşması hedeflenirken, kolon uç noktalarında oluşmaları da belirli koşullar altında kabul edilebilir. Ancak, tek bir katta yoğunlaşan plastik mafsall oluşumu, yapısal bir zayıflık olan 'yumuşak kat' hasarına yol açarak göçme riskini artırır. Bu durum, yapıdaki enerji disipasyonu mekanizmasının yetersiz kaldığını gösterir. Dolayısıyla, yapısal sistemde çok sayıda ve farklı katlarda plastik mafsall oluşumu teşvik edilerek, deprem enerjisinin daha etkin bir şekilde sönmelenmesi sağlanmalıdır. Yapısal perdelerin kullanımı, bu amaç doğrultusunda önemli bir katkı sağlayarak yapının enerji yutma kapasitesini artırır ve plastik mafsall dağılımını iyileştirir (Işık ve Özdemir, 2016).

4.3.2.4 Burulma Düzensizliği

Yapısal sistemlerin deprem yükleri altındaki davranışları, yapısal düzensizliklerin varlığına bağlı olarak önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu düzensizliklerden biri olan burulma düzensizliği, yapıların deprem performansını olumsuz yönde etkileyerek hasar riskini artırmaktadır. Burulma düzensizliği, bir yapının katlarında meydana gelen görelî yer değıştirmelerin dağılımındaki homojensizlik olarak tanımlanabilir. Basitçe ifade etmek gerekirse, bir kat içerisindeki en büyük görelî yer değıştirmenin, aynı kat içerisindeki ortalama görelî yer değıştirmeye oranı olan burulma düzensizliği katsayısı (η_b), belirli bir eşik değıerin üzerinde olduğıunda burulma düzensizliği olduğı söylenir (Aydın ve Bayrak, 2019). Bu eşik değıer, Türk Bina Deprem Yönetmeliğı (TBDY-2018) tarafından 1.2 olarak belirlenmiştir. Burulma düzensizliği, yapısal sistemin geometrik özellikleri, kütle dağılımı, rijitlik özellikleri ve destek koşulları gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Özellikle, yapısal sistemde asimetrik düzensizlikler, düzensiz kat yükseklikleri, farklı rijitlikte elemanların varlığı ve kütle merkezinin rijitlik merkezine göre konumu burulma düzensizliğini tetikleyen önemli parametrelerdir (Çetin, Demir ve Altıok, 2020). Burulma düzensizliğinin yapı üzerindeki etkileri oldukça ciddi olabilir. Yüksek burulma düzensizliği değıerlerine sahip yapılarda, deprem sırasında büyük dönme hareketleri oluşabilir. Bu dönme hareketleri, yapı elemanlarında aşırı gerilmelere neden olarak hasar oluşumunu hızlandırır. Özellikle, sünek olmayan malzemelerden yapılmış kolon ve perdeler, burulma etkisi altında daha kolay hasar görür ve hatta göçme riski artabilir. Ayrıca, burulma düzensizliği, zayıf kat düzensizliği gibi diğér yapısal düzensizliklerle bir araya geldiğinde, yapıların deprem performansını daha da olumsuz etkileyebilir (Yakut ve Binici, 2023).

TBDY-2018 gibi yapı yönetmelikleri, burulma düzensizliğinin olumsuz etkilerini sınırlamak amacıyla çeşitli tasarım kriterleri ve kontrol yöntemleri belirlemektedir. Bu yönetmeliklere göre, burulma düzensizliği katsayısı (η_b) belirli bir sınır değıerin altında tutulmalıdır. Ancak, bazı durumlarda, özellikle orta yaşlı ve sünek olmayan yapılarda, burulma düzensizliği bu sınır değıerleri aşabilir. Bu gibi durumlarda, yapıya daha detaylı bir analiz yapmak ve gerekirse güçlendirme önlemleri almak gerekmektedir (Akbaş ve Çalışkan, 2023).

Malatya'da gerçekleştirilen hasar tespit çalışmaları sonucunda Kahramanmaraş ve Pazarcık depremlerinin etkisiyle birçok yapıda burulma hasarının ortaya çıktığı gözlenmiştir (şekil 4.55).



şekil 4.55. Malatya'da burulma hasarı görülen bazı yapılar

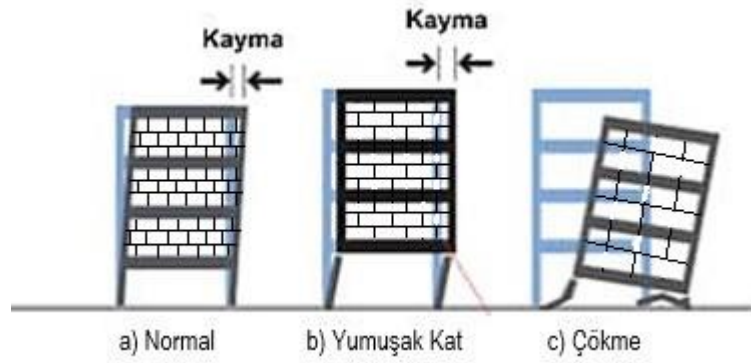
4.3.2.5 Zayıf Kat Düzensizliği

TBDY 2018, betonarme yapıların deprem performansını değerlendirirken, katlar arasındaki dayanım farklılıklarının neden olduğu düzensizliklere büyük önem vermektedir. Bu düzensizliklerden biri olan B1 tipi düzensizlik, bir yapının iki komşu katı arasındaki kesme kuvvetlerini taşıma kapasitesindeki önemli bir farklılığı ifade eder. Söz konusu yönetmelik, B1 düzensizliğini, birbirine dik iki deprem etkisi altında, herhangi bir katın toplam etkili kesme alanı ile bir st katın aynı doğrultudaki kesme alanı arasındaki oran olan dayanım düzensizliği katsayısının (η_{ci}) 0.80'in altında olması durumunda oluştuğunu belirtmektedir (Shreyasvi ve Shivakumaraswamy, 2015).

Deprem gibi yatay kuvvetlerin etkisi altında kalan yapılar, katlar arasındaki dayanım farklılıkları nedeniyle çeşitli hasar mekanizmaları sergileyebilir. Bu farklılıkların en belirgin olduğu durumlardan biri, zayıf kat düzensizliği olarak tanımlanan durumdur. Zayıf kat, yapıdaki diğer katlara göre düşey yönde daha az dayanım gösteren ve dolayısıyla deprem yüklerine karşı daha duyarlı olan kat olarak ifade edilebilir (Ertürkmen ve ağatay, 2016). Literatürdeki araştırmalar, ABD, Japonya, Meksika ve Türkiye gibi sismik aktivitenin yüksek olduğu

lkelerde meydana gelen depremler sonrasında zayıf kat hasarına uğramış çok sayıda yapının varlığını ortaya koymaktadır. Bu hasarlar, özellikle zemin katların mağaza, restoran veya banka gibi ticari amaçlarla kullanıldığı ve bölme duvarların sınırlı olduğu durumlarda sıklıkla gözlemlenmektedir. Böylesi yapılarda zemin katın yatay deplasmanlara karşı direnci, üst katlara göre daha zayıf kalmakta ve bu durum kesme kuvveti etkisiyle zayıf kat düzensizliğine yol açmaktadır (Tezcan ve Özdemir, 2004). Zayıf kat düzensizliğinin temel nedeni, katlar arasındaki düşey yönde rijitlik ve dayanım farkıdır. Bu farklılık, yapısal elemanların kesit boyutlarındaki değişimler, malzeme özelliklerindeki farklılıklar veya katlarda bulunan dolgu duvar gibi elemanların dağılımındaki düzensizlikler gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Zemin katlarda bölme duvarların az olması, bu katın yatay yük taşıma kapasitesini düşürerek zayıf kat oluşumunu tetikleyen önemli bir faktördür (Akdemir ve İnan Günaydın, 2024).

Yapısal sistemlerde sıklıkla karşılaşılan zayıf kat düzensizliği, özellikle farklı bölme duvar düzenlemesine sahip orta katlar ve kat yükseklikleri birbirinden farklı olan yapılarda belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Bu düzensizliğin temelde iki ana nedeni bulunmaktadır. Birincisi, yapıların zemin katının sismik yüklere karşı yeterli dayanım gösterememesidir. Zemin katın, üst katlara göre daha esnek veya daha az rijit olması, deprem sırasındaki enerji dağılımını etkileyerek zayıf kat oluşumunu tetiklemektedir. İkinci neden ise, çerçeve sistemlerde bölme duvarların kesintiye uğraması veya sayıca azalmasıdır. Bölme duvarlar, yapıya yatay yük taşıma kapasitesi kazandıran önemli elemanlardır. Bu elemanların eksikliği veya düzensiz dağılımı, katlar arasında rijitlik farklarına yol açarak zayıf kat oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Charleson (2014) tarafından yapılan çalışmada, zayıf kat düzensizliğinin oluşum mekanizması kesme kuvvetleri üzerinden açıklanmaktadır (Şekil 4.56). Deprem esnasında, zayıf kat üzerindeki kesme kuvvetleri diğer katlara göre daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu durum, zayıf katın aşırı deformasyona uğramasına ve diğer katlara göre daha büyük yer değiştirmeler yapmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, yapıdaki plastik mafsalların büyük bir kısmı kolon uç bölgelerinde yoğunlaşmakta, yatay deprem kuvvetleri yeterli şekilde sönmelenememekte ve zemin katında göçme gibi ciddi hasarlar meydana gelmektedir.



Şekil 4.56. Zayıf kat oluşumu

Deprem sonrası yapısal hasarların en sık gözlemlenen nedenlerinden biri, özellikle zemin katlarda ortaya çıkan zayıf kat düzensizliğidir. Bu düzensizlik, yapıların deprem yüklerine karşı gösterdiği dirençte önemli farklılıklar yaratarak, hasarın şiddetlenmesine ve yayılmasına neden olmaktadır. Türkiye’deki depremsellik tarihine bakıldığında, zayıf kat hasarının sıklıkla gözlemlendiği ve yapı stokunun önemli bir kısmını etkilediği görülmektedir. Özellikle 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, Malatya ili başta olmak üzere geniş bir coğrafyada zayıf kat oluşumuna bağlı olarak çok sayıda yapının ağır hasar görmesine ve yıkılmasına yol açmıştır (Şekil 4.57). Bu durum, zayıf kat düzensizliğinin yapı güvenliği açısından taşıdığı riski bir kez daha ortaya koymuştur.



Şekil 4.57. Malatya’da zayıf kat hasarı alan bir yapı

Yapısal güvenlik açısından kritik bir öneme sahip olan zayıf kat düzensizliği, özellikle deprem gibi doğal afetlerde yapıların hasar görmesinin başlıca nedenlerinden biridir. Bu düzensizliğin en etkin çözümü, şüphesiz ki yapı tasarımı aşamasında alınacak önlemlerdir. Mimari estetik kaygılarla oluşturulan yüksek ve açık giriş katları, zayıf kat düzensizliğine davetiye çıkarma potansiyeli taşıdığından, yapısal güvenlik ile estetik kaygılar arasındaki denge özenle kurulmalıdır. Zayıf kat düzensizliği, yapısal davranışta beklenmedik sonuçlara yol açabileceğinden, bu durumun göz ardı edilmesi ciddi riskler barındırır. Bu nedenle, zayıf kat düzensizliğinin olduğu veya oluşma ihtimali bulunan yapılarda çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olanı, yapıya yatay rijitlik kazandıracak perdelerdir. Perde sistemleri, zayıf katın taşıma kapasitesini artırarak yapısal güvenliğini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Diğer bir güçlendirme yöntemi ise, zemin kata kolon, çapraz eleman veya payanda eklemektir. Bu sayede, zemin katın kesit alanı artırılarak, zayıf katın taşıma kapasitesi güçlendirilir. FEMA454 (2006) gibi uluslararası standartlarda da belirtildiği üzere, bu yöntemler zayıf kat düzensizliğinin giderilmesinde sıklıkla kullanılan etkili çözümler arasındadır.

4.3.2.6 Yumuşak Kat Düzensizliği

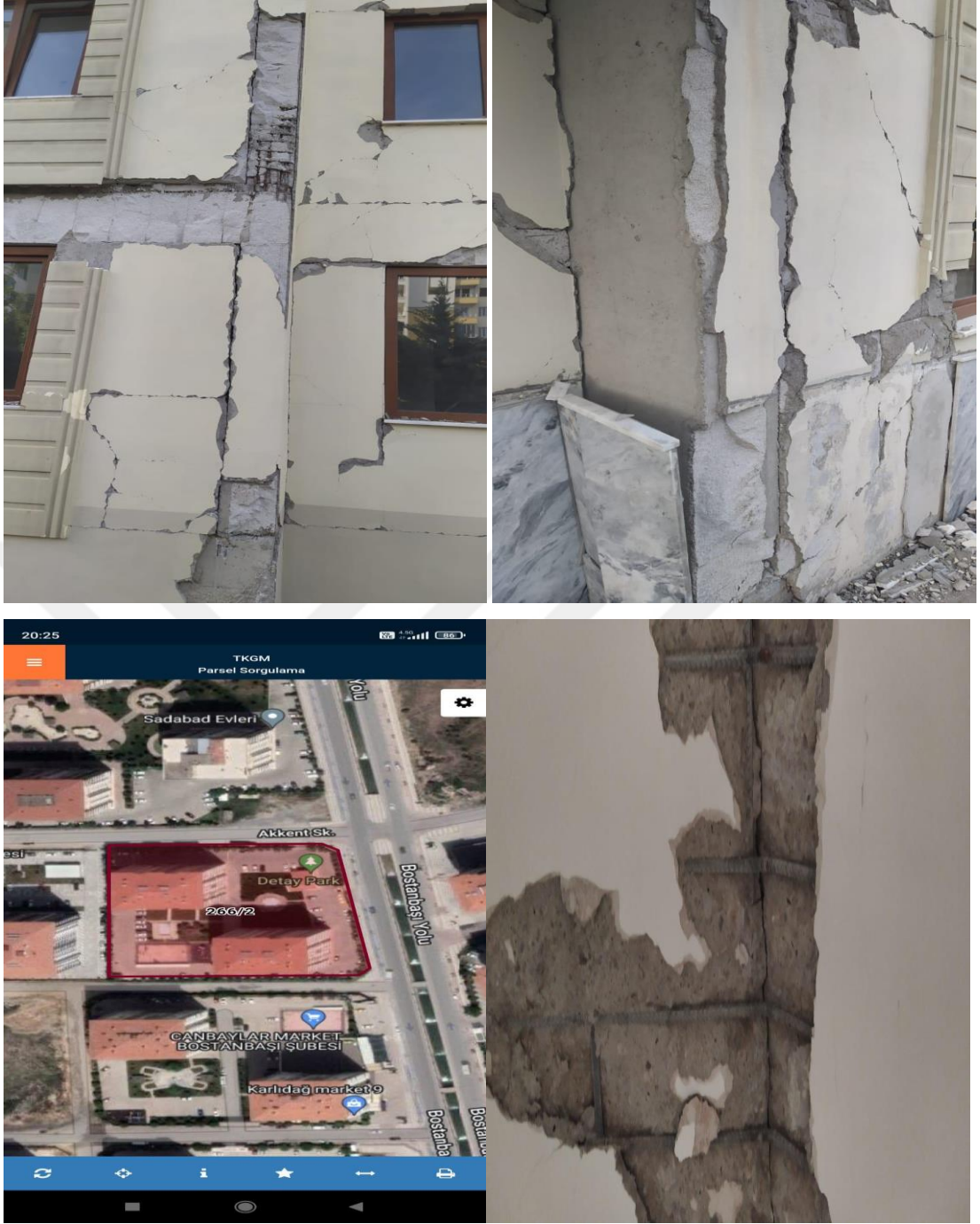
TBDY 2018, yapısal düzensizliklerin sınıflandırılması içerisinde, A3 düzensizliğini, bina kat planlarında belirgin çıkıntılar veya kolların varlığına bağlı olarak oluşan bir geometrik düzensizlik olarak tanımlar. Yönetmelikte, bu düzensizliğin varlığı için nicel bir kriter belirtilerek, çıkıntılı kısımların boyutlarının, binanın toplam boyutlarına göre belirli bir oranda büyük olması gerektiği vurgulanır. Bu durum, yapısal sistemin düzgün dağılımını bozarak, deprem yüklerinin yapıya aktarılma şeklini etkileyebilir ve dolayısıyla yapı güvenliğini açısından risk oluşturabilir.

Yumuşak kat düzensizliği, bir yapının katları arasındaki rijitlik farklılığından kaynaklanan ve deprem gibi yatay yüklere karşı yapısal davranışı olumsuz yönde etkileyen bir durumdur. Bu düzensizlik, genellikle taşıyıcı olmayan elemanların katlar arasında homojen dağılımının olmaması sonucu ortaya çıkar. Özellikle zemin katında taşıyıcı olmayan elemanların azlığı, bu katın diğer katlara göre daha esnek bir davranış sergilemesine neden olur. Bu durum, deprem anında

yapının enerji dağılımını olumsuz etkileyerek, yumuşak kata daha fazla yük bindirir. Sonuç olarak, yumuşak kat bölgesinde aşırı deformasyonlar ve gerilmeler oluşur. Bu durum ise, yapısal elemanlarda çatlaklar, hasarlar ve hatta göçmelere yol açabilir. Charleson (2014) tarafından yapılan çalışmada, yumuşak kat düzensizliğinin deprem sonrası binalarda gözlenen bölgesel ve hatta toptan göçmelerin başlıca nedenlerinden biri olduğu vurgulanmaktadır.

Modern yapılarda, üst katlarda sıklıkla kullanılan rijit taşıyıcı olmayan yığma duvarlar, kolonların yatay deplasmanlarını sınırlayarak yapının genel davranışını olumlu yönde etkiler. Ancak zemin katlarda mimari nedenlerle bu duvarların kullanımı sınırlı kaldığında, yumuşak kat düzensizliği ortaya çıkma riski artar. Düzenli bir yapıda kesme kuvveti, katlar arasında homojen bir şekilde dağılırken, yumuşak kat düzensizliği olan yapılarda bu dağılım bozulur ve yumuşak kat, daha fazla kesme kuvvetini alır. Bu durum, Guevara (2012) tarafından da vurgulandığı gibi, özellikle ilk iki kat arasında gözlenen bu düzensizliğin ciddi yapısal hasarlara ve hatta göçmelere neden olabileceğini göstermektedir.

Birçok ülkenin deprem yönetmeliğinde üzerinde durulan yumuşak kat düzensizliği deprem sonrası sıklıkla karşılaşılan yapı hasarlarından biridir. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerde Malatya'da ve depremle etkilenen diğer illerde yumuşak kat düzensizliği nedeniyle birçok yapı kısmen göçmüş veya ağır hasar almıştır. Şekil 4.61'de Malatya'nın Bostanbaşı ilçesinde yumuşak kat düzensizliği nedeniyle hasar alan Detaypark Konutları'na ilişkin görseller yer almaktadır.



Şekil 4.58. Yumuşak kat düzensizliğine bağlı olarak hasar alan Detay Park Konutlarına ilişkin görüntüler

Yumuşak kat düzensizliğinin giderilmesinde en etkili ve ekonomik yöntemlerden biri, rijit perde duvarlar veya çapraz elemanlar kullanarak yapının genel rijitliğini artırmaktır. Bu sayede, deprem yükleri altındaki kat ötelemeleri eşitlenir ve yumuşak kat etkisi azaltılır. Bununla birlikte, diğer mühendislik çözümleri de mevcuttur. Örneğin, asansör ve merdivenkovalarının rijit tasarımı, yapının genel

rijitliğine önemli katkılar sağlayabilir. Ayrıca, ilk katlarda rijit çapraz elemanların kullanılması da benzer bir etki yaratır. Tasarım aşamasında, ilk kata daha fazla yük etki ettirerek çerçeve sisteminin daha düşük yer değiştirmeler yapması sağlanabilir. Bu yaklaşım, yumuşak kat oluşumunu engellemeye yönelik proaktif bir stratejidir (Guavera, 2012).

4.3.2.7 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanların Süreksizliği

TBDY 2018'de yer alan B3 düzensizliği, yapısal bir süreklilik bozulması olarak tanımlanabilir. Mimari estetik kaygılar ve işlevsellik arayışı, yapısal tasarımlarda sıklıkla düzensizliklere yol açmaktadır (Akbaş ve Çalışkan, 2023). Bu düzensizlikler, yapıların deprem karşısındaki davranışını olumsuz yönde etkileyerek hasar riskini artırmaktadır. Yapısal düzensizlikler, genel olarak yatay ve düşey düzensizlikler olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Yatay düzensizlikler, yapının kat planında veya yükseklik doğrultusunda meydana gelen geometrik veya rijitlik farklılıklarıdır. Bu tür düzensizlikler, yapının periyodunu ve dolayısıyla deprem kuvvetlerine olan duyarlılığını artırarak, hasar potansiyelini yükseltmektedir. Özellikle, kat planında düzensizlikler, yapıda burulma momentlerinin oluşmasına ve taşıyıcı sistem elemanlarında eşit olmayan kuvvet dağılımlarına neden olarak, yapısal güvenliği tehdit etmektedir (Mert, Ahmadi ve Kasap, 2021). Düşey düzensizlikler ise, yapının yükseklik doğrultusunda taşıyıcı sistem elemanlarının kesit alanları, malzeme özellikleri veya bağlantı detaylarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu tür düzensizlikler, yapıda zayıf kat ve yumuşak kat mekanizmalarının oluşmasına zemin hazırlayarak, deprem sırasında hasarın yoğunlaştığı bölgelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Zayıf katlar, göreceli olarak daha az dayanım kapasitesine sahip katlar olup, deprem sırasında aşırı deformasyonlara uğrayarak yapı genelinde hasarın yayılmasına yol açabilir. Yumuşak katlar ise, göreceli olarak daha az rijitliğe sahip katlar olup, deprem sırasında diğer katlara göre daha büyük ötelemeler yaparak, yapısal güvenliği tehlikeye atabilir (Avcıl ve ark., 2024). Dünya genelinde pek çok ülkenin deprem yönetmeliklerinde, yapısal düzensizliklerin önlenmesi amacıyla çeşitli kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler, yapıların deprem karşısında güvenli bir şekilde davranmasını sağlamak ve can kayıplarını minimize etmek için büyük önem taşımaktadır. Ancak, birçok deprem

bölgesinde hala yatay ve düşey düzensizliklere sahip yapılar bulunmaktadır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği de, yapısal düzensizlikler konusunda önemli düzenlemelere yer vermektedir. Özellikle, taşıyıcı sistem elemanlarının sürekliliği ve düzgünlüğü üzerinde durularak, süreksiz kolon ve perdelerle izin verilmemektedir. Ayrıca, konsol kirişlere oturan kolonlar ve kolona oturan perdeler de yönetmelik tarafından yasaklanmıştır (Celep ve Kara, 2012). Bu düzenlemeler, yapıların deprem performansını artırmak ve can güvenliğini sağlamak amacıyla büyük önem taşımaktadır.



Şekil 4.59. Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği

Düşey geometrik düzensizlikler, yapıların sismik performansı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu tür yapılarda, düzenli yapılara kıyasla çok daha yüksek düzeyde süneklik talep edilmektedir. Geometrinin ani değiştiği bölgelerde, malzemelerin elastik sınırlarını aşan ve yapısal hasara yol açabilecek elastik olmayan davranışlar gözlemlenmektedir. Özellikle deprem anında, bu bölgeler kesme kuvvetlerinin yoğunlaştığı ve dolayısıyla en büyük zorlanmalara maruz kalan kısımlar olmaktadır. Alirezaei ve Vahdani (2015) tarafından yapılan çalışmada da vurgulandığı gibi, sismik etkiler altında yatayda meydana gelen düzensizlikler, rijitlik ve kütle düzensizliklerinden çok daha büyük tehdit

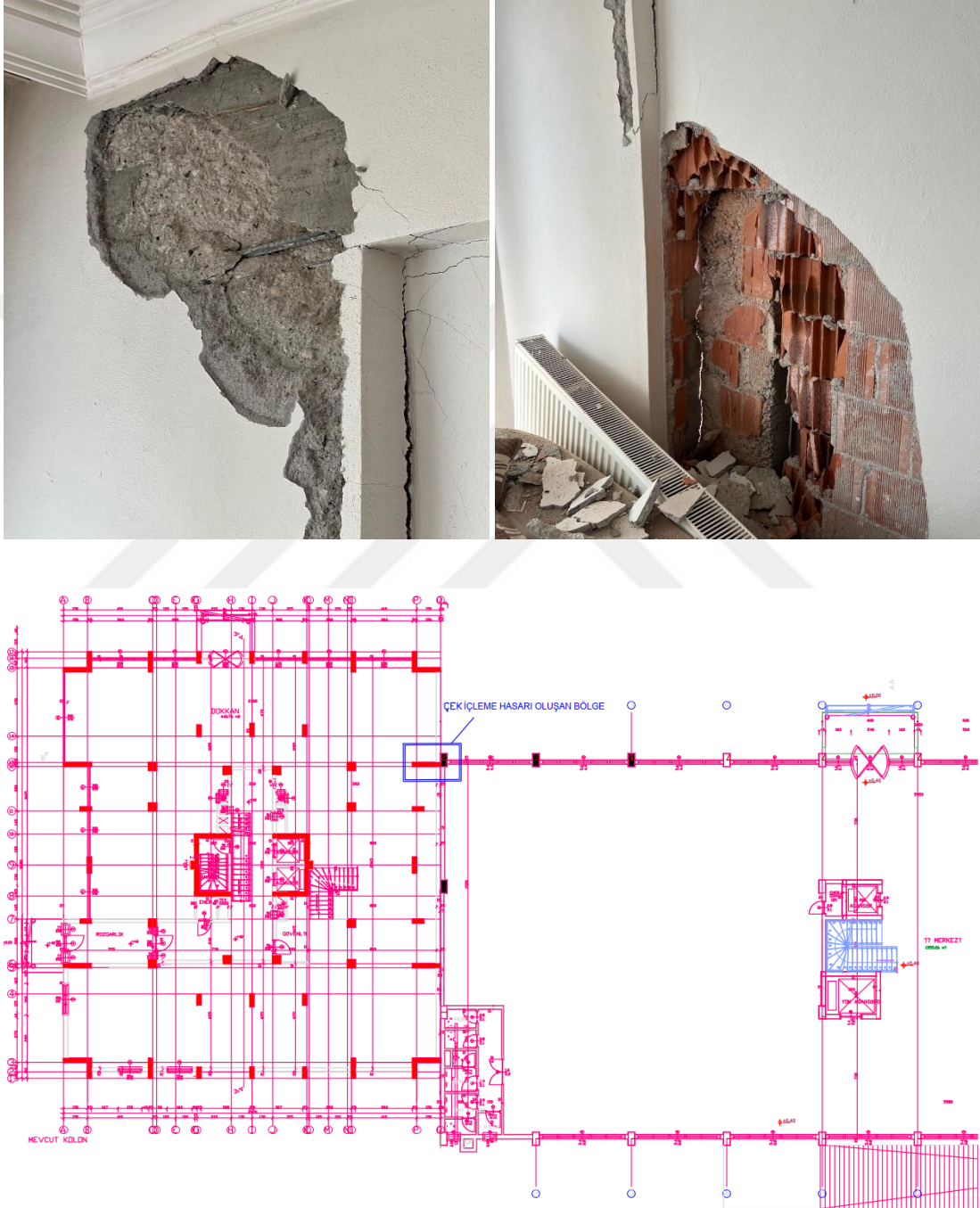
oluşturmaktadır. Şekil 4.62’te görüldüğü üzere, Malatya’da düşey geometrik düzensizliğe sahip birçok yapıda deprem sonucu hasar oluşmuştur. Bu durum, düşey geometrik düzensizliklerin yapısal güvenlik üzerindeki olumsuz etkilerini bir kez daha ortaya koymaktadır.

4.3.2.8 Çekiçleme (Çarpışma) Etkisi

Deprem esnasında, farklı yapısal özelliklere sahip binaların yer değiştirme davranışlarındaki farklılıklar, birbirleri ile çarpışmalarına ve dolayısıyla çekiçleme etkisi adı verilen yıkıcı bir olaya yol açmaktadır. Bu durum, özellikle binalar arasında yeterli genişlikte derz mesafesinin bırakılmaması halinde daha sık gözlemlenmektedir. Çarpışma sonucu oluşan kuvvetler, binalarda ciddi yapısal hasarlara neden olmakta ve hatta göçmelere yol açabilmektedir (Sak ve Beyen, 2017). Yapılan araştırmalar, Türkiye’de meydana gelen önemli depremlerde çekiçleme etkisinin sıklıkla gözlemlendiğini göstermektedir (Akdemir ve İnan Günaydın, 2024; Kamal ve İnel, 2021; Pala ve Şaşmaz, 2019). Örneğin, Van (2011), Elazığ (2020), İzmir (2020) ve Kahramanmaraş (2023) depremlerinde birçok binada, birbirine çarpan yapıların oluşturduğu hasarlar tespit edilmiştir. Bu durum, deprem bölgelerinde inşa edilen yapılar için çekiçleme etkisinin önemli bir risk faktörü olduğunu ortaya koymaktadır.

Derz mesafesi yetersizlikleriyle inşa edilmiş yapılar, sismik olaylar sırasında komşu yapılara çarpışarak "çekiçleme" olarak adlandırılan ciddi hasarlar meydana getirir (Karabulut ve ark., 2018). Bu çarpışmalar, genellikle yapısal bütünlüğün bozulmasına yol açar. Özellikle döşemelerin kolonlara çarpmasıyla oluşan kolon hasarları, çekiçleme etkilerinin sık karşılaşılan sonuçları arasında yer alır. Betonarme ve yığma yapıların sismik davranışları arasında önemli farklılıklar bulunur. Yığma yapıların süneklik kapasitesi, betonarme yapılara göre oldukça düşüktür. Bu nedenle, betonarme bir yapıyla yığma bir yapının çarpışması durumunda yığma yapıda genellikle göçme meydana gelir. Betonarme yapılarda ise yapısal hasarlar daha yaygın olarak görülür. Son zamanlarda yaşanan büyük depremler, çekiçleme etkisinin yıkıcı sonuçlarını bir kez daha gözler önüne sermiştir (Kamal ve İnel, 2021). Özellikle 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, birçok yapıda çekiçleme hasarı nedeniyle göçmelere neden olmuştur. Malatya’da bulunan Flamingo Hill

evlerinde ve diğer yapılarda çekiçleme etkisiyle ortaya çıkan fotoğraflar Şekil 4.60'da görülmektedir. Bu durum, derz mesafelerinin önemini ve yapıların sismik performansını artırmak için alınması gereken önlemleri bir kez daha gündeme getirmiştir.



Şekil 4.60. Malatya Flamingo Sitesi'nde çekiçleme etkisiyle meydana gelen hasar

4.3.2.9 Kısa Kolon Davranışı

Yapısal sistemlerin deprem performansı, yapı elemanlarının boyutları, malzeme özellikleri ve geometrik düzenlemeleri gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden biri olan kolon boyunun kısalması, deprem yükleri altında yapısal hasarlara yol açan önemli bir parametredir. Özellikle yatay yükler altında, kolon boyunun kısalmasıyla ortaya çıkan kısa kolon hasarı, yapı güvenliği açısından ciddi riskler taşımaktadır. Kısa kolon, kolon boyunun çevresindeki elemanlara göre belirgin şekilde daha kısa olması durumunda ortaya çıkan bir yapısal düzensizliktir (Yön ve Sayın, 2008). Bu durum, kolonun deprem yükleri altında daha büyük momentler ve kesme kuvvetleri almasına neden olur. Sonuç olarak, kolonun eğilme ve kesme deformasyonları artar ve yapının taşıma kapasitesi düşer. Bu durum, özellikle yatay yüklerin yoğun olduğu bölgelerde, örneğin bant pencere açıklıklarının altında veya bodrum katlarında sıklıkla gözlenir. Kısa kolon hasarının temel nedenleri arasında mimari gereksinimler, yapısal düzensizlikler ve inşaat hataları sayılabilir. Bant pencereler, havalandırma açıklıkları ve bodrum katlarında bırakılan boşluklar, kısa kolon oluşumuna zemin hazırlayan tipik mimari detaylardır (Avcıl ve ark., 2024). Bu gibi durumlarda, kolon boyunun kısalması, kolonun kesit boyutlarının yetersiz olması veya donatının uygun şekilde yerleştirilmemesi gibi faktörlerle birleştiğinde, yapısal hasar riski önemli ölçüde artar. Kısa kolon hasarının sonuçları oldukça ciddi olabilir. Bu tür hasarlar, yapının genel taşıma kapasitesini düşürerek, çökme riskini artırır. Ayrıca, yapısal hasarlar, yangın güvenliği ve insan sağlığı gibi diğer konularda da olumsuz etkilere neden olabilir. Özellikle hastane, okul ve kamu binaları gibi toplu kullanım alanlarında meydana gelen kısa kolon hasarları, can kayıplarına ve büyük ekonomik kayıplara yol açabilir (Guevara ve Garcia, 2005). Deprem esnasında binalara etki eden yatay kuvvetler, yapısal elemanların süneklik kapasiteleri doğrultusunda yer değiştirmelerine yol açar. Mimari gereklilikler doğrultusunda oluşturulan pencere açıklıklarının alt kısımlarındaki yarım yükseklikteki dolgu duvarlar, deprem anında kolonların hareketini kısıtlayıcı bir etki yaratır. Bu durum, kolonun tamamına etki etmesi gereken kesme kuvvetinin, dolgu duvarın bulunmadığı bölgeye yoğunlaşmasına neden olur (Duman, Tunaboyu ve Avşar, 2020). Sonuç olarak, bant pencere olarak adlandırılan bu bölgede, kesme kuvvetinin etkisiyle yapısal hasarlar meydana

gelir. Kısa kolon hasarı olarak tanımlanan bu olgu, kolonun tamamının sönümlemesi gereken enerjinin, serbest bölge olarak adlandırılan dolgu duvarın bulunmadığı kısımda yoğunlaşmasıyla ortaya çıkar. Bu durum, uç bölgenin aşırı deplasman yapmasına ve dolgu duvarın bulunmadığı bölgede kesme hasarlarının oluşmasına sebep olur. Kolon boyunun kısalması, alana etki eden kesme kuvvetini artıran önemli bir faktördür. Şekil 4.61'te görüldüğü üzere, Dünya'da ve Türkiye'de bant pencere mantığıyla tasarlanan yapılarda bu tür kısa kolon hasarlarının sıkça gözlemlendiği belirtilmektedir.



Şekil 4.61. Kısa kolon hasarı alan yapılar

TBDY 2018, kısa kolon oluşumunun yapısal sistemin taşıyıcı elemanlarının geometrik düzensizlikleri ve dolgu duvarlarda bırakılan boşluklar gibi iki temel nedenden kaynaklandığını açıkça belirtmektedir. Yönetmelik, kısa kolon oluşumunun tamamen önlenemediği durumlarda, yapısal güvenliği sağlamak amacıyla kolon sargı donatısının miktarında artışa gidilmesi ve kolonların sarılma bölgeleri için belirlenen minimum enine donatı miktarı ve yerleştirme koşullarına titizlikle uyulması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu sayede, deprem gibi beklenmedik olaylar karşısında yapıların hasar görmesi riski önemli ölçüde azaltılmaktadır (Akbaş ve Çalışkan, 2023).

4.3.3 Malzeme Özellikleri

Türkiye'nin sıklıkla maruz kaldığı depremsellik, 6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan yıkıcı olayla bir kez daha gün yüzüne çıkmıştır. Bu felaket, yapıların deprem karşısındaki dayanıklılığının ne kadar kritik olduğunu bir kez daha gözler önüne

sermiştir. Mevcut literatür ve yaşanan deneyimler ışığında, depremde can ve mal kayıplarının en önemli nedenlerinden birinin yapı kalitesi olduğu söylenebilir (Avcıl ve ark., 2024).

Yapı mühendisliği disiplinde, yapıların güvenli, ekonomik ve fonksiyonel olması temel hedeftir. Bu hedefe ulaşmak için mühendislerin en kritik kararlarından biri, yapı malzemelerinin seçimidir. Özellikle deprem bölgelerinde, yapı malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri, yapıların deprem yüklerine karşı gösterdiği davranışı doğrudan etkiler. Gevrek malzemelerden yapılmış duvarlar, küçük depremlerde bile çatlayarak yapının genel stabilitesini tehlikeye atabilir. Bu durum, ağır çatılarla birleştiğinde, can kayıplarına yol açabilecek yıkıcı sonuçlar doğurabilir (Binici, Kaplan ve Görür, 2005).

Yapı mühendisliği disiplinde, yapıların güvenli, ekonomik ve fonksiyonel olması temel hedeftir. Bu hedefe ulaşmak için mühendislerin en kritik kararlarından biri, yapı malzemelerinin seçimidir. Özellikle deprem bölgelerinde, yapı malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri, yapıların deprem yüklerine karşı gösterdiği davranışı doğrudan etkiler. Gevrek malzemelerden yapılmış duvarlar, küçük depremlerde bile çatlayarak yapının genel stabilitesini tehlikeye atabilir. Bu durum, ağır çatılarla birleştiğinde, can kayıplarına yol açabilecek yıkıcı sonuçlar doğurabilir (Aykanat, 2014).

Son yıllarda yaşanan depremlerde, yapıların yıkılmasında beton kalitesinin önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Özellikle düşük beton kalitesine sahip yapılar, depremde daha fazla hasar görmüştür. Bu durum, yapı malzemelerinin sadece doğru seçilmesi değil, aynı zamanda doğru bir şekilde üretilmesi ve kullanılmasının da önemini vurgulamaktadır (Utkutuğ, 2006).

Türkiye gibi hızlı bir yapılaşma sürecinde olan ülkelerde, yapı kalitesinin düşüklüğü sıklıkla karşılaşılan bir sorundur. Yapı maliyetlerini düşürme çabaları, bazen yapı kalitesinden ödün verilmesine neden olabilmektedir. Ancak bu yaklaşımın, uzun vadede daha büyük maliyetlere yol açabileceği unutulmamalıdır. Deprem gibi doğal afetler, yapı kalitesindeki eksiklikleri acımasızca ortaya koymaktadır (Vapur, Kara ve Akın, 2023).

Deprem sonrası yapılan incelemelerde, yapıların hasar görmesinde sadece malzeme kusurları değil, aynı zamanda tasarım ve mühendislik hataları ile işçilik kusurları da önemli rol oynamaktadır. Beton dayanımını etkileyen faktörlerin göz

ardı edilmesi, donatı detaylarındaki hatalar ve işçilik hataları, yapıların deprem performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Oyguç, 2022).

4.3.3.1 Agrega ve Beton Kalitesi

Betonarme sistemlerde betonun basınç dayanımı, yapının genel davranışı ve taşıma kapasitesi üzerinde kritik bir role sahiptir. Beton, doğası gereği gevrek bir malzeme olup, enerji emme kapasitesi ve çekme dayanımı oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, betonarme sistemlerde betonun basınç dayanımının düşük olması, yapının güvenliği ve dayanımı açısından ciddi riskler taşımaktadır. Betonun basınç dayanımının düşük olması durumunda, beton ile donatı arasındaki aderans zayıflamakta ve donatı, düşük gerilme seviyelerinde bile betondan ayrılma eğilimi göstermektedir (Çağlar ve ark., 2023a). Bu durum, betonarme elemanlarda erken çatlamaya, donatı kopmalarına ve sonuç olarak yapının göçmesine neden olabilmektedir. Özellikle deprem gibi dinamik yükler altında, düşük basınç dayanımına sahip betonarme elemanlar, beklenen enerji emme kapasitesini gösteremez ve yapının hasar görmesi kaçınılmaz hale gelir. Betonarme sistemlerde, plastik mafsal oluşumu, deprem enerjisinin emilmesi ve yapının hasarının lokalize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Plastik mafsal oluşumu için, beton ve donatı arasında güçlü bir aderans ve gerilme transferi gereklidir (Güçlüer vd., 2020). Düşük basınç dayanımına sahip betonlarda, bu aderans zayıf olduğu için plastik mafsal oluşumu engellenir ve yapının genel taşıma kapasitesi düşer. Betonun basınç dayanımındaki azalma, sadece çekme ve eğilme dayanımını değil, aynı zamanda kesme dayanımını da olumsuz etkilemektedir. Kesme dayanımı, betonun basınç dayanımı ile doğrusal bir ilişki gösterdiğinden, basınç dayanımındaki düşüş, kesme dayanımında da orantılı bir azalmaya neden olur. Bu durum, özellikle yüksek kesme kuvvetlerine maruz kalan elemanlarda (kirişler, kolonlar) ciddi hasarlara yol açabilir (Giyik, 2023).

Türkiye'de yapı stoğunun önemli bir kısmında, inşa edildiği 1975-1998 yılları arasında geçerli olan Deprem Yönetmeliğine göre betonarme yapılarda minimum C14 beton sınıfı kullanılmıştır. 1998 yılında yürürlüğe giren yönetmelikle, deprem bölgesine göre C16-C20 beton sınıfları kabul edilmiş, yapı önemi yüksek kamu binaları (okul, hastane vb.) için ise en az C20 beton sınıfı şartı getirilmiştir.

2007 yılında yayımlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBH) ile minimum beton sınıfı tüm ülke genelinde C20 olarak belirlenirken, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ile bu değer C25'e yükseltilmiştir (Yeniçelik, Er ve Avanoğlu Sıcacık, 2023). Yapı stoğunun önemli bir bölümünün 2000'li yıllar öncesinde inşa edilen binalardan oluştuğu 6 Şubat depremlerinde Malatya'da yıkılan ve hasar gören binaların büyük bir kısmının düz demir ve düşük kalitede beton kullanılan binalardan oluştuğu görülmüştür (Şekil 4.62).



Şekil 4.62. Düz demir ve düşük kalite beton kullanımına bağlı olarak ağır hasar alan yapı

Beton yapılarının temel bileşenlerinden biri olan agregalar, çimento-su karışımı ile bir araya gelerek betona hacim ve dayanım kazandıran doğal veya yapay kökenli inorganik taneciklerdir. Betonun hacimsel olarak büyük bir kısmını oluşturan agregaların, yapı malzemesi olarak betonun genel performansında kritik bir rolü bulunmaktadır. İdeal bir agrega, beton karışımında homojen bir dağılım sağlayarak, yüksek yoğunluklu ve düşük gözenekli bir yapı oluşumuna katkıda bulunur. Bu sayede beton, basınç ve çekme kuvvetlerine karşı yüksek direnç gösterir, aşınma ve yıpranmaya karşı daha dayanıklı hale gelir ve çevresel etkenlerden daha az etkilenir. Agrega tanelerinin boyut ve şekil dağılımı (granülometri), betonun işlenebilirliği, dayanımı ve dayanıklılığı üzerinde doğrudan etkilidir. Uygun bir granülometri ile elde edilen beton karışımları, daha az su ile daha yüksek dayanım değerlerine ulaşır ve çatlamalara karşı daha dirençli olur (Ekin, Uyanık ve Uyanık, 2023).

Betonda kullanılan agregaların sahip olması gereken temel özellikler arasında (Eryılmaz ve ark., 2023);

- *Yeterli mukavemet:* Betonun taşıyıcı sistemde görev alması için gerekli olan mekanik dayanımı sağlamak.
- *Düşük su emme:* Donma-çözülme döngülerine karşı dayanımı artırmak ve betonun dayanımını uzun süre korumasını sağlamak.
- *Kimyasal dayanım:* Çevresel koşullar (asit yağmurları, tuzlu su vb.) ve diğer kimyasal maddelere karşı dayanıklılık göstermek.
- *Düşük aşınma:* Betonun yüzeyinin aşınma ve yıpranmaya karşı dirençli olmasını sağlamak.
- *Temizlik:* Yabancı madde ve organik kirlilik içermemek, böylece betonun dayanımını olumsuz etkileyecek reaksiyonları engellemek.

Beton teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte, özel amaçlı beton üretiminde farklı türde ve özelliklerde agregalar kullanılmaktadır. Hafif betonlarda yoğunluğu düşük olan agregalar, yüksek performanslı betonlarda ise özel işlenmiş agregalar tercih edilmektedir. Ancak tüm bu farklılıklar içinde, temel amaç her zaman aynıdır: Betonun dayanımını, dayanıklılığını ve ömrünü en üst düzeye çıkarmak (Başyigit, Çomak, Kılınçarslan ve Kamacı, 2013).

Beton yapıların dayanımını ve ömrünü belirleyen en önemli faktörlerden biri olan agregalar, bünyesinde bulundurduğu zararlı maddeler nedeniyle betonun bozulmasına neden olabilmektedir. Özellikle sülfatlı, klorürlü ve alkaliye duyarlı agregalar, betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumsuz etkileyerek yapısal hasarlara yol açmaktadır. Betonda kullanılan sülfatlı agregalar (alkali sülfatlar, jips, anhidrit gibi), çimento içindeki kireç ve alüminyum bileşikleriyle reaksiyona girerek ettringit adı verilen bir mineral oluştururlar. Bu mineralin kristalleri zamanla büyüyerek betonun içyapısında gerilmelere neden olur ve sonuçta çatlamlara yol açar. Sülfat saldırısı, özellikle deniz kıyısı gibi agresif ortamlarda bulunan beton yapılar için önemli bir risk faktörüdür. Beton içindeki klorür iyonları, betonarme yapıların en önemli elemanı olan çelik donatıların korozyonuna neden olur. Klorür iyonları, pasif film olarak adlandırılan ve çeliği korozyondan koruyan ince bir tabakanın bozulmasına yol açarak çeliğin paslanmasına ve betonun dayanımının azalmasına neden olur. Silisli bileşenler içeren bazı agregalar, beton içindeki alkali hidroksitler (sodyum ve potasyum hidroksitleri) ile reaksiyona girerek alkali-silika reaksiyonu (ASR) adı verilen bir kimyasal reaksiyona neden olur. Bu reaksiyon sonucu oluşan jel benzeri madde, betonun içyapısında hacimsel genleşmeye yol açarak çatlaklar, kabarmalar ve hatta betonun parçalanmasına neden olur (Baradan ve Aydın, 2013). Türk Standartları Enstitüsü tarafından yayınlanan TS 706 standardı, beton üretiminde kullanılan kum ve iri agregaların sahip olması gereken fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemektedir. Bu standartta, agregaların su emme, aşınma, tane boyutu dağılımı, yassılık ve uzunluk oranı gibi özellikleriyle ilgili sınır değerler belirtilmiştir. Standarda ayrıca, agregaların zararlı madde içeriği (sülfatlar, klorürler, alkaliye duyarlı maddeler gibi) ile ilgili de limitler belirtilmiştir (Tuğrul ve Yılmaz, 2023).

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli meydana gelen yıkıcı depremlerde, betonarme yapıların birçoğu, düşük kalite ve uygunsuz boyutlardaki agregaların kullanımı sonucu ortaya çıkan segregasyon ve hatalı imalat uygulamaları nedeniyle ciddi hasarlar görmüş ve hatta tamamen yıkılmıştır (Şekil 4.63). Bu durum, yapıların taşıyıcı sistemlerinde beklenmeyen zayıflıklar oluşmasına ve deprem yüklerine karşı yetersiz kalmalarına neden olmuştur.



Şekil 4.63. Betonarme elemanlarda segregasyon sonucu oluşan mikroyapısal bozulmalar ve makro ölçekli hasarlar

4.3.4 İşçilik Hataları

Deprem gibi doğal afetlerde yapıların yıkılması veya ağır hasar görmesi, pek çok faktörün bir araya gelmesiyle ortaya çıkan kompleks bir süreçtir. Bu süreçte, yapısal tasarım hatalarının yanı sıra, yapı inşaat sürecinde yaşanan işçilik hataları ve uygunsuz malzeme seçimi de önemli bir rol oynamaktadır. Çalışkan ve Şenol (2023) tarafından yapılan çalışmada, deprem sonrası yıkılan veya hasar gören binalarda en sık karşılaşılan işçilik hataları aşağıdaki gibidir:

4.3.4.1 Yetersiz Pas Payı Bırakılması

Betonarme binaların kolon ve kirişlerinde görülen paslanmış, korozyona uğramış, dökülen demir donatı parçalarının sebebi pas payı kullanılmaması ve taze beton dökülürken uygun vibrasyon yapılmamasıdır. Pas payları; temelde, kolonlarda, kirişlerde ve döşemelerde farklı büyüklüklerde kullanılmalıdır (Şekil 4.64) (Göktuğ Keleş, Koç ve Taştepe, 2020).



Şekil 4.64. Paspayı uygulaması

Yapılan kapsamlı araştırmalar, yapı denetim raporları ve deprem sonrası hasar tespitleri, betonarme yapı elemanlarında donatı yerleşimine ilişkin ciddi işçilik hatalarını ortaya koymaktadır. Bu hataların başlıcaları arasında, donatı çubukları için gerekli olan minimum pas paylarının (1,5-5 cm) sağlanmaması, donatıların yapı yüzeyine aşırı yakın yerleştirilmesi ve kalıp-donatı arasına pas payı bırakılmadan beton dökümünün gerçekleştirilmesi sayılabilir. Bu tür hataların sonucunda, donatı çubukları etrafında yetersiz beton örtüsü kalınlıkları oluşmakta ve maksimum agrega dane boyutundan daha dar olan pas payı bölgelerinde beton dolumu gerçekleşmemektedir (Ekinci, 2024). Bu durum, kalıp sökümü sonrası beton yüzeyinde boşlukların oluşmasına neden olmakta ve bu boşluklar, genellikle çimento harcı ile basitçe kapatılmak suretiyle hatalı bir

şekilde onarılmaktadır. Zaman içerisinde, nem, rutubet ve su gibi çevresel etkiler, bu bölgelerdeki donatı çubuklarında korozyon oluşumunu tetiklemektedir. Korozyonun ilerlemesiyle birlikte donatı çubuklarının kesit alanlarında kayıplar meydana gelmekte ve bu durum, betonarme yapının taşıyıcı sisteminin zayıflamasına yol açmaktadır. Sonuç olarak, donatı yerleşimindeki bu tür hatalar, yapının ömrünü kısaltacak ve deprem gibi dış etkenlere karşı daha duyarlı hale gelmesine neden olacak yapısal riskler taşımaktadır (Özer, 2021).

4.3.4.2 Enine Donatıların Uygunsuzluğu

Deprem gibi doğal afetlere karşı yapıların güvenliği, yapısal elemanların doğru tasarımı ve detaylandırılması ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, enine donatılar, yapısal elemanlara sağladıkları dayanım ve şekil değiştirme kapasitesi ile deprem yüklerine karşı yapıların güvenilirliğini önemli ölçüde etkileyen bir parametredir (Şenol, 2023). Enine donatılar, betonarme elemanlarda çekme kuvvetlerinin meydana getirdiği çatlakların açılmasını sınırlayarak, elemanın taşıma kapasitesini artırır ve betonun sıkışma dayanımını daha etkin kullanılmasını sağlarlar. Ayrıca, elemanın şekil değiştirme kapasitesini artırarak, enerji sönmülmesine katkıda bulunur ve böylece deprem esnasında oluşabilecek hasarları azaltır. Deprem yönetmeliklerinde, enine donatılarının miktarı, çapı, aralığı ve yerleştirilme şekli gibi parametreler, elemanın tipi, boyutları, taşıdığı yükler ve maruz kaldığı çevresel koşullar gibi faktörlere bağlı olarak detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Bu yönetmeliklerde belirtilen tasarım esasları, yapıların deprem etkileri altında güvenli bir şekilde davranmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir (Çağlar ve ark., 2023b).

Betonarme yapıların dayanıklılığını ve güvenliğini sağlayan en önemli elemanlardan biri de etriyelerdir. Etriyeler, betonarme elemanlara hem geometrik hem de mekanik bir katkı sağlayarak, yapıların dış etkilere karşı direncini önemli ölçüde artırır. Etriyelerin temel görevleri aşağıdaki gibidir (Işık, Avcıl ve Büyüksaraç, 2023; Yakut ve ark., 2021; Dogan ve ark., 2021):

1. *Kesme Kuvvetlerinin Dağılımı:* Beton, çekme kuvvetlerine karşı zayıf bir malzemedir. Bu nedenle, betonarme elemanlarda oluşan kesme kuvvetleri, çoğunlukla etriyeler tarafından taşınır. Özellikle deprem gibi dinamik yükler

altında, betonun çatlamasıyla birlikte kesme gerilmeleri artar. Etriyeler, bu gerilmeleri dağıtarak, elemanın kesme göçmesini engeller.

2. *Boyuna Donatıların Stabilizesi*: Boyuna donatılar, betonarme elemanların çekme kuvvetlerini taşımakla görevlidir. Etriyeler ise, boyuna donatılara dik konumda yerleştirilerek, bunların burkulmasını önler ve elemanın genel stabilitesini artırır.
3. *Betonun Yanal Desteği*: Etriyeler, betonun yanal olarak sıkıştırılmasını sağlayarak, onun basınç dayanımını artırır. Bu sayede, betonarme elemanlar daha yüksek yükleri taşıyabilir hale gelir.
4. *Donatı-Beton Aderesinin Geliştirilmesi*: Etriyeler, donatıların betona daha iyi tutunmasını sağlayarak, aderans kuvvetlerini artırır. Bu durum, özellikle donatıların birleştirildiği bölgelerde önemlidir.
5. *Enerji Disipasyonu*: Deprem gibi ani yükler altında, etriyeler enerjiyi emerek, yapının hasar görmesini geciktirir ve hasarın büyüklüğünü azaltır.

Betonarme yapılar, deprem gibi dinamik yüklere maruz kaldıklarında, taşıyıcı elemanlarının çekirdek betonunda oluşabilecek hasarlar, yapının genel güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Çekirdek betonun hasar görmemesi, elemanların yük taşıma kapasitelerini korumaları ve dolayısıyla yapının göçmesini engellemek için elzemdir. Ancak, incelenen betonarme yapılarda tespit edilen hasarlar, yapısal elemanlardaki donatı detaylarının yönetmeliklere uygun olarak gerçekleştirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Özellikle, etriyelerin (enine donatı) uçlarındaki kancaların eksik veya hatalı bağlanması, etriyelerin beton içerisindeki ankraj boylarının yetersiz bırakılması ve kolon ile kirişlerde etriye mesafelerinin yönetmeliklerde belirtilen değerlerden daha büyük olması gibi durumlar, taşıyıcı elemanlardaki hasarların başlıca nedenleri arasında yer almaktadır (Kırıcı ve Soyluk, 2024). Bu durum, betonarme yapıların tasarım ve uygulama aşamalarında yönetmeliklerin tam olarak dikkate alınmamasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Yönetmeliklerde belirtilen donatı detayları, yapıların deprem karşısında güvenli bir şekilde davranabilmeleri için oldukça önemlidir. Bu detaylara uyulmaması, yapının deprem performansını olumsuz etkileyerek, hasar riskini artırmaktadır. 6 Şubat 2023 depremlerinde hasar gören ya da yıkılan bazı binalarda işçilik kaynaklı hatalar görülmüştür (Şekil 4.65).



Şekil 4.65. Düz demir ve yatay donatıların uygun yerleştirilmemesine bağlı olarak hasar gören bir yapı

4.3.4.3 Beton Dökümü ve Sonrası Süreçteki Hatalar

Betonarme yapılarında, özellikle donatı yoğunluğunun yüksek olduğu kiriş-kolon birleşim bölgelerinde, yeterli dayanım ve süreklilik için betonun tüm hacmi boyunca homojen bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla, taze betonun yerleştirilmesi esnasında vibrasyon yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir. Vibrasyon işlemi, beton içerisindeki hava boşluklarını gidererek, betonun kalıba tam oturmasını sağlayarak ve donatı ile beton arasındaki aderansı artırarak betonun dayanımını ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkilemektedir.

Ancak, vibratörün yanlış kullanımı betonun kalitesini olumsuz yönde etkileyebileceğinden, vibratörün donatıya veya kalıba doğrudan temas ettirilmesi kesinlikle önlenmelidir. Vibratörün donatıya veya kalıba temas etmesi, donatı çevresinde çimento şerbeti oluşmasına neden olarak beton-donatı aderansını zayıflatacak ve böylece yapının genel taşıma kapasitesini düşürecektir. Bu nedenle, dalgıç vibratörlerin kullanımı sırasında vibratörün beton içerisine daldırılma derinliği ve vibrasyon süresi gibi parametrelerin titizlikle belirlenmesi gerekmektedir (Atar ve ark., 2024; Güçlüer vd., 2020).

Taze betona su ilavesi, inşaat mühendisliğinde sıklıkla karşılaşılan ve ciddi sonuçlara yol açabilen bir uygulamadır. Betonun işlenebilirliğini artırma amacıyla yapılan bu müdahale, aslında betonun mikro yapısını bozarak, dayanımını önemli ölçüde düşürmektedir. Beton, çimento, su, agrega ve bazen de katkı maddelerinden oluşan bir kompozit malzemedir. Bu bileşenlerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen taze betonun, istenen şekle getirilmesi ve sertleşerek taşıyıcı bir eleman haline gelmesi gerekmektedir. Su, çimentonun hidrasyon reaksiyonunu başlatarak betonun sertleşmesini sağlar. Ancak su miktarının artması, agrega-çimento hamuru arasındaki bağların zayıflamasına ve segregasyon adı verilen bir olayın meydana gelmesine neden olur (Şenol ve Çalışkan, 2023). Segregasyon, beton karışımında bulunan iri ve ince taneciklerin birbirinden ayrılması anlamına gelir. Bu durum, betonun homojenliğini bozarak, dayanımını önemli ölçüde düşürür. İnşaat sahalarında çalışan işçiler, genellikle kuru kıvamlı betonu yerleştirmekte zorlanırlar. Bu nedenle, iş kolaylığı sağlamak amacıyla betona su ilave etme eğiliminde olurlar. Ancak bu durum, betonun tasarım mukavemetini elde edememesine yol açar. Betonun işlenebilirliğini artırmak için su yerine, uygun katkı maddeleri kullanılmalıdır. Katkı maddeleri, betonun kıvamını değiştirmeden, işlenebilirliğini artırmaya yardımcı olur (Baradan ve Aydın, 2013).



Şekil 4.66. Segregasyon nedeniyle hasar almış perde ve kolon

Beton döküm işleminin kesintiye uğraması, betonun homojenliğini ve taşıyıcı sistemin bütünlüğünü olumsuz etkileyen soğuk derz oluşumuna neden olur. Bu durum, önceden yerleştirilmiş ve sertleşmeye başlamış beton ile yeni dökülen beton arasında yeterli bağlanmanın gerçekleşmemesinden kaynaklanır. Soğuk derzlerin önlenmesi için, betonun kesintisiz olarak dökülmesi ve miktarının doğru hesaplanması kritik öneme sahiptir. Betonun yerleştirilmesi sırasında, segregasyon riskini azaltmak amacıyla, maksimum 60 cm kalınlığında tabakalarda ve pompanın uygun yükseklikte tutulması gibi hususlara dikkat edilmelidir (Erdoğan, 2005). Yapılan saha incelemeleri, hazır betonun yaygınlaşmasına rağmen, özellikle birleşim bölgeleri ve köşelerde segregasyon kaynaklı boşlukların hala gözlemlendiğini göstermektedir (Şekil 4.69). Bu durum, beton döküm uygulamalarındaki dikkat eksikliğine ve standartlara uygunluk sorunlarına işaret etmektedir.

4.3.4.4 Taşıyıcı Elemanlar Üzerinde Yapılan Montaj İşlemleri

Son dönemde yaşanan depremlerin ardından yürütülen hasar tespit çalışmalarında, betonarme yapılarda taşıyıcı sistem elemanları üzerindeki müdahalelerin binaların yapısal güvenliğini ciddi şekilde tehlikeye attığı tespit

edilmiştir (Şekil 4.67). Bu müdahaleler, genellikle tesisat uygulamaları sırasında, taşıyıcı sistem elemanlarının içine tesisat borularının döşenmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir (Ekinci, 2024).



Şekil 4.67. Taşıyıcı elemanlar üzerinden tesisat elemanlarının geçirilmesine bağlı olarak ortaya çıkan yapı hasarları

Betonarme yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan kolon ve kirişler, yapıya dış kuvvetlere karşı direnç kazandıran en önemli elemanlardır. Bu elemanların içine yapılan herhangi bir müdahale, elemanın kesit alanını azaltarak taşıma kapasitesini düşürmekte ve dolayısıyla yapının genel taşıma kapasitesini zayıflatmaktadır. Özellikle donatıların kesilmesi, betonarme elemanın çekme

kuvvetlerine karşı direncini önemli ölçüde azaltarak, elemanın kırılma riskini artırmaktadır (Mert, Ahmadi ve Kasap, 2021).

Tesisat uygulamaları sırasında yapılan bu tür müdahalelerin en önemli nedenlerinden biri, tesisat borularının görünümünden kaçınmak ve daha estetik bir görünüm elde etmek isteği olarak gösterilebilir. Ancak, bu tür uygulamaların yapısal güvenlik açısından ne kadar riskli olduğu göz ardı edilmektedir. Tesisat borularının, kolon ve kirişlerin etrafından dolaştırılarak veya uygun tekniklerle gizlenerek döşenmesi, hem yapısal güvenliği tehlikeye atmaz hem de estetik kaygıları giderir (Gültekin, 2022).

Betonarme yapılarda tesisat uygulamalarının neden olduğu yapısal riskler ve sonuçları şu şekilde özetlenebilir (Çalışkan ve Şenol, 2023):

- *Taşıma kapasitesinin azalması:* Kolon ve kirişlerin içine yapılan müdahaleler, elemanın kesit alanını azaltarak taşıma kapasitesini düşürür.
- *Kırılma riskinin artması:* Özellikle donatıların kesilmesi, betonarme elemanın çekme kuvvetlerine karşı direncini azaltarak, elemanın kırılma riskini artırır.
- *Deprem performansının düşmesi:* Zayıflatılmış taşıyıcı sistem elemanları, deprem sırasında daha büyük hasar görerek yapının çökmesine neden olabilir.
- *Yapı ömrünün kısalması:* Yapılan müdahaleler, yapının ömrünü kısaltabilir ve bakım maliyetlerini artırabilir.

4.3.4.5 Donatı Korozyonu

Betonarme yapılar, yapısal dayanımın yanı sıra, içinde barındırdığı çelik donatıya sağladığı koruma özelliği ile de ön plana çıkar. Bu koruma mekanizması, betonun yüksek alkalin ortamı sayesinde donatı yüzeyinde pasif bir oksit tabakasının oluşmasına dayanır. Ancak, beton kalitesindeki düşüklük ve çevresel etkenler, bu koruyucu tabakanın etkinliğini azaltarak donatı korozyonunu tetikleyebilir. Betonun gözenekli yapısı ve düşük kaliteye bağlı olarak artan geçirgenliği, dış ortamdaki zararlı maddelerin beton içine nüfuz etmesine olanak tanır. Özellikle havadaki karbondioksit, betonun gözenekleri aracılığıyla iç kısma ulaşarak hidrasyon sonucu oluşan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda kalsiyum karbonata dönüşüm gerçekleşir ve betonun pH değeri, doğal alkali ortamından (11-12) daha düşük bir seviyeye (yaklaşık 8) düşer. pH'taki bu

düşüş, donatı yüzeyindeki pasif oksit tabakasının stabilitesini bozarak korozyon reaksiyonlarının başlamasına neden olur (Yavuz, Günaydın ve Güçlüer, 2022).



Şekil 4.68. Korozyona uğramış donatı (Taşdemir vd., 2000)

Betonarme yapıların dayanımını ve ömrünü önemli ölçüde etkileyen korozyon, donatı çeliğinin kimyasal reaksiyonlara girerek bozulması olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, donatıda korozyona neden olan faktörler, korozyonun yapısal hasarlara yol açtığı şekiller ve korozyonu önlemek için alınabilecek önlemler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Korozyonun başlıca nedenlerinden biri, betonun gerekli geçirimsizliği sağlayamaması ve dolayısıyla karbondioksit (CO_2), klor (Cl_2), oksijen (O_2) gibi zararlı maddelerin ve nemin donatıya ulaşmasına izin vermesidir. Özellikle klorür iyonları, pasif film olarak adlandırılan ve donatı yüzeyini koruyan tabakayı bozarak korozyon hızını önemli ölçüde artırır. Deniz kenarı gibi klorürlü ortamlarda bu durum daha da kritik hale gelir. Korozyonun yapısal hasarları, donatı çapının azalması, sargı donatılarında kopmalar ve betonun çatlaması şeklinde kendini gösterir (Konus ve Dal, 2017). Şekil 4.70'de görüldüğü gibi, ileri derecede korozyona uğramış elemanlarda paspayı tamamen kaybolmuş ve taşıyıcı sistemin güvenliği ciddi şekilde tehlikeye girmiş olabilir. Korozyonu önlemek için en etkili yöntem, betonu mümkün olduğunca geçirimsiz hale getirmektir. Bu amaçla, su/çimento oranı düşük beton karışımları kullanılmalı, beton yerleştirilmesi sırasında standartlara uygun vibratörler kullanılmalı, yeterli paspayı bırakılmalı ve beton kür işlemi titizlikle

uygulanmalıdır. Ayrıca, klorürlü ortamlarda durabiliteyi sağlamak için gerekli beton dayanım sınıfından daha yüksek dayanımlı beton kullanılması önerilir.

4.3.4.6 Statik Hesaplama ve İşçilik Hataları

Statik hesaplamalardaki hataların, bir yapının deprem performansını doğrudan etkileyerek ciddi hasarlara yol açabileceği, mühendislik disiplinde tartışmasız bir gerçektir. Ancak, ne kadar doğru hesaplamalar yapılırsa yapılsın, uygulama aşamasında işçilik hatalarının meydana gelmesi kaçınılmazdır. Yapının taşıyıcı sisteminin doğru bir şekilde modellenmesi ve yüklerin güvenilir bir biçimde belirlenmesi, deprem esnasında yapının güvenli bir şekilde davranabilmesi için kritik öneme sahiptir. Hatalı statik hesaplamalar sonucunda, yapı elemanlarının boyutlandırılması yetersiz kalabilir, kritik bölgelerde gerilme yoğunlaşmaları oluşabilir ve yapı genelinde beklenmeyen deformasyonlar meydana gelebilir. Bu durum, deprem yükleri altında yapının taşıma kapasitesini azaltır, enerji dağılımını olumsuz etkiler ve dolayısıyla hasarın şiddetini artırır. Özellikle, taşıyıcı sistemin zayıf halkaları olarak tanımlanabilecek bölgelerdeki hatalı hesaplamalar, yapının çökmesi gibi en kötü senaryolara zemin hazırlayabilir. Bu nedenle, yapıların statik hesaplamalarının titizlikle yapılması ve bağımsız uzmanlar tarafından denetlenmesi, deprem güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır (Çalışkan ve Şenol, 2023). 6 Şubat 2023 depremlerinde Malatya'daki birçok yapıda statik hesaplama ve işçilik kaynaklı hasarlar birçok yapıda gözlenmiştir (Şekil 4.69).



Şekil 4.69. Statik hesaplama ve işçilik kaynaklı hasar

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli meydana gelen 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki depremlerin tetiklediği yıkıcı etkiler, Türkiye'nin yapısal güvenlik konusundaki acil sorunlarını bir kez daha gözler önüne sermiştir. Kapsamlı bir hasar analizi, Malatya ve depremin etkilediği diğer 10 ildeki yapı stokunun büyük bir bölümünde benzer yapısal yetersizliklerin olduğunu ortaya koymuştur. Yapısal Deprem Mühendisliği ilkeleri ve yürürlükteki yönetmeliklere uyulmadan inşa edilen binaların büyük çoğunluğu depremde ağır hasar görerek çökmüş, yaklaşık 50.000 insan hayatını kaybetmiş ve milyar dolarları aşan boyutlarda ekonomik kayıplara yol açmıştır. Yapısal düzensizlikler, malzeme kalitesindeki yetersizlikler ve işçilik hataları, gözlemlenen hasarların başlıca nedenleri olarak tespit edilmiştir. Bu durum, ülkemizde yapı denetimi ve uygulama süreçlerinin etkinliğinin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini açıkça göstermektedir.

5.1 Zemin Özelliklerinden Kaynaklanan Hasarlara İlişkin Sonuçlar

Yapısal hasarların Malatya ili özelinde incelenmesi, incelenen yapı stokunun, imalat hataları, yapısal düzensizliklerin yanı sıra zemin-yapı etkileşiminden kaynaklı hasarlara maruz kaldığını göstermektedir. Betonarme eleman birleşimlerindeki yetersiz donatılar, dilatasyon eksikliği ve yumuşak kat oluşumları gibi yapısal yetersizlikler, hasarların başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Zemin etütleri, yapıların önemli bir kısmının yerel zemin koşulları nedeniyle zemin büyütmesi etkisi altında kaldığını ortaya koymaktadır. Ancak, inceleme alanında sıvılaşma ile ilişkili herhangi bir zemin davranışı gözlenmemiştir. İnce taneli zemin profilinin hakim olduğu bölgede, yüksek ivmeli deprem etkileri ve yeraltı su seviyesi altında bile sıvılaşmanın gerçekleşmemesi, zemin parametrelerinin detaylı incelenmesini gerektirmektedir. Bu durum, zemin-yapı etkileşiminin karmaşık doğasını ve deprem hasarlarının çoklu faktörlü bir etkileşim sonucu oluştuğunu göstermektedir.

Malatya şehir merkezi ve çevresindeki alüvyal birimler, mevsimlik akışlı dereler tarafından taşınan ve biriktirilen çakıl, kum, şist ve kil gibi gevşek sedimanlardan oluşmaktadır. Bu birimlerin yaygın olarak bulunduğu Bostanbaşı, Fahri Kayhan, Yüzakı, Battalgazi Eski Malatya, Orduzu ve Fuzuli gibi bölgelerde meydana gelen

yapısal hasarlar, zemin büyütme etkisiyle yakından ilişkilidir. Özellikle Elbistan merkezli depremde bu bölgelerdeki yapı stoğu önemli ölçüde zarar görmüştür. Malatya şehir merkezi, yaşlı yapıların yoğun olduğu geleneksel yerleşim alanları ile daha yeni ve yüksek katlı betonarme yapılardan oluşan modern yerleşim alanlarını bir arada barındırmaktadır. Kuzeyde yer alan düşük katlı betonarme yapılar da depremden önemli ölçüde etkilenmiştir. Merkez Yeşilyurt ilçesindeki hasar dağılımı, Beylerderesi formasyonu olarak adlandırılan alüvyal birimlerin yüzeyleştiği bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu bölgelerdeki 15 yaş ve üzeri betonarme yapılar, orta ve ağır hasar görmüştür. Malatya şehir merkezinin kuzeydoğusunda yer alan Çamurlu bölgesinde ise farklı ayrışma derecelerine sahip kayaç birimlerinin varlığı, yapı stokunun daha az hasar almasına neden olmuştur. Doğanşehir ve Akçadağ ilçelerinde gözlenen yaygın yıkımın aksine, Kale, Hekimhan ve Yazihan ilçelerindeki hasar yoğunluğu daha düşüktür.

5.2 Proje Hatalarından Kaynaklanan Hasarlara İlişkin Sonuçlar

Son yıllarda yaşanan deprem felaketlerinin ortaya çıkardığı yapısal hasarlar, yapı mühendisliği camiasında önemli bir tartışma konusu olmuştur. Bu hasarların, yapısal deprem mühendisliğinin temel prensiplerine aykırı bir şekilde inşa edilen yapıların bir sonucu olduğu açıkça görülmektedir. Yapısal düzensizlikler, malzeme ve işçilik hataları, deprem sırasında binalarda meydana gelen hasarların başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Deprem esnasında binalarda gözlemlenen burulma etkileri, yapıların kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki uyumsuzluk ve taşıyıcı sistemin asimetrik yerleşimi gibi yapısal düzensizliklerden kaynaklanmaktadır. Özellikle L, T ve U gibi düzensiz geometrilere sahip binalarda, derz boşluklarının yetersiz olması gerilme yoğunlaşmalarına ve dolayısıyla hasara neden olmaktadır. Bu tür düzensizliklerin önlenmesi için, yapıların mümkün olduğunca düzenli geometrilere sahip olması, taşıyıcı sistemin simetrik olarak yerleştirilmesi ve derz boşluklarının yönetmeliklere uygun olarak bırakılması gerekmektedir. Katlar arasında ani dolgu duvar değişimleri, binalarda yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliklerine yol açarak deprem sırasında hasar riskini artırmaktadır. Özellikle ofis binalarında sıklıkla karşılaşılan bu durum, katlar arasındaki dolgu duvar dağılımının homojen hale getirilmesi ve zemin katlarda yatay yerdeğiştirmelerin kontrol altına alınmasıyla önenebilir. Perde duvarlı sistemler, yumuşak kat ve zayıf kat oluşumunu engellemede etkili bir çözüm sunmaktadır. Büyük şehirlerde arazilerin sınırlı olması nedeniyle

binaların bitişik olarak inşa edilmesi, yeterli derz boşluklarının bırakılmaması durumunda deprem sırasında binaların birbirine çarpmasına ve hasar görmesine neden olmaktadır. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen derz boşluğu mesafelerine uyulması, bu tür hasarların önlenmesinde önemli bir adımdır.

Yapılarda kolondan kolona uzanan ve alt kısmı dolgu duvarlarla sınırlandırılan mimari tasarımlar, deprem koşullarında ciddi yapısal riskler taşımaktadır. Bu tür tasarımlarda, özellikle bant pencerelerin yer aldığı bodrum katlarında, kısa kolon etkisi olarak adlandırılan bir durumun ortaya çıkma olasılığı oldukça yüksektir. Kısa kolon etkisi, deprem sırasında dolgu duvarların hareketini engellemesi sonucu, kolonun üst kısmında aşırı kesme kuvvetlerinin oluşması ve bu kuvvetlerin kolonun kapasitesini aşmasıyla meydana gelen bir yapısal hasar türüdür. Bu durum, genellikle kolonun kesme kırılması şeklinde kendini gösterir ve taşıyıcı sistemde ciddi hasarlara yol açarak binanın genel güvenliğini tehdit eder. Bant pencereler, doğal ışıklandırma ve havalandırma açısından önemli olsa da, aynı zamanda kısa kolon oluşumuna zemin hazırlayan önemli bir faktördür. Dolgu duvarlarla sınırlandırılan bu bölgelerde, kolonun efektif boyu kısalır ve bu durum, kolonun rijitliğini artırarak deprem yüklerine karşı daha duyarlı hale gelmesine neden olur.

Yine yapılarda, kolondan kolona uzanan ve alt kısmı dolgu duvarlarla çevrili, üst kısmı ise pencereless mimari tasarımlar, yapısal bir risk olan kısa kolon etkisini beraberinde getirmektedir. Benzer şekilde, bodrum katlı yapılarda ışıklandırma ve havalandırma amacıyla kullanılan bant pencereler de bu etkinin tetikleyicileri arasında yer almaktadır. Deprem gibi yatay yüklere maruz kaldığında, dolgu duvarlarla desteklenen alt kısım hareketsiz kalırken, üst kısım aşırı kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu durum, yapı elemanlarında ciddi hasarlara yol açabilecek olan kısa kolon etkisini ortaya çıkarmaktadır. Genellikle taşıyıcı sistemde meydana gelen bu hasar, binaların göçmesine kadar varabilecek yıkıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Kısa kolon etkisi, yapısal güvenliği tehdit eden ciddi bir risk olduğundan, mimari tasarım aşamasında bu etkinin önlenmesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Bant pencere kullanımı minimize edilmeli ve mümkün olduğunca kısa kolon oluşumuna neden olacak geometrik düzenlemelerden kaçınılmalıdır. Ancak, bazı durumlarda kısa kolon oluşumu kaçınılmaz olabilir. Bu gibi durumlarda, yapısal elemanlara eklenen sargı donatısı ve kesit boyutlarının arttırılmasıyla kısa kolon etkisi nedeniyle oluşabilecek hasarlar en aza indirilebilir.

Binalarda alan kazanımı amacıyla sıklıkla başvuru alan kapalı çıkmalar, yapısal sistemin bütünlüğünü bozarak deprem performansını olumsuz etkileyen önemli bir parametredir. Kapalı çıkmalar, bina kütlelerinin düzensiz dağılımına neden olarak, yapısal sistemde konsol kirişler oluşturmakta ve çerçeve sistemin rijitliğini azaltmaktadır. Bu durum, deprem yükleri altında yapısal elemanlarda aşırı gerilmelere yol açarak hasar ve göçme riskini artırmaktadır. Özellikle 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde kapalı ve açık çıkmalar için getirilen kat boyutunun %20'sinde az olma şartı, bu riskleri azaltmak adına önemli bir adım olsa da, yapısal tasarımın temel ilkeleri göz önünde bulundurulduğunda yeterli görülmemektedir. Yapısal tasarım aşamasında, kütle merkezi ile rijitlik merkezinin mümkün olduğunca çakışması hedeflenmelidir. Bu sayede, deprem yükleri altında oluşan momentlerin etkileri minimize edilerek yapısal hasarlar azaltılabilir. Bu bağlamda, açık ve kapalı çıkmalardan kaçınılması veya en aza indirgenmesi, yapısal güvenlik açısından büyük önem taşımaktadır. İşyeri gibi geniş alan ihtiyacı olan yapılar için sıklıkla başvuru alan taşıyıcı sistem elemanlarının kesilmesi, yapısal bütünlüğü bozarak deprem anında göçmelere neden olabilecek ciddi bir risk oluşturmaktadır. Mevcut yönetmeliklerde, taşıyıcı sistemin temelden çatıya kadar kesintisiz devam etmesi zorunluluğu vurgulanmaktadır. Kolonların veya perdelerin kiriş veya döşeme üzerine oturtulması gibi uygulamalar, yapısal güvenlik açısından kesinlikle kabul edilemez.

Yapısal bütünlük açısından ele alındığında, döşemelerde oluşturulan açıklıklar, yatay yüklerin kolonlara aktarılmasında önemli bir engel teşkil eder. Bu durum, döşemelerin diyafram görevi görememesine yol açarak, yapının yanal deplasmanlarını artırır ve dolayısıyla göçme mekanizmalarının tetiklenmesi riskini yükseltir. Bina tasarımı sürecinde, yapısal zorunluluklar gerektirmediği sürece döşeme açıklıklarından kaçınılmalı ve 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen %33'lük döşeme boşluk oranı sınırına uyulmalıdır.

5.3 Malzeme Özelliklerinden Kaynaklanan Hasarlara İlişkin Sonuçlar

6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'de meydana gelen Kahramanmaraş merkezli yıkıcı depremler, ülkedeki yapı stokunun deprem dayanıklılığı konusundaki eksikliklerini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Bu olay, özellikle yapı malzemelerinin kalitesinin ve mühendislik süreçlerinin ne kadar hayati olduğunu göstermiştir. Yapı mühendisliği disiplini içerisinde, yapıların güvenliği, fonksiyonelliği ve ekonomikliği her zaman

temel hedefler arasında yer almıştır. Ancak bu hedeflere ulaşabilmek için yalnızca yapı tasarımı ve mühendislik hesaplamaları değil, kullanılan yapı malzemelerinin kalitesi de büyük önem arz etmektedir.

Türkiye’deki yapı stoğunun büyük bir kısmı, eski deprem yönetmeliklerine göre inşa edilmiş olup, bu yapılarda genellikle düşük kaliteli beton ve yetersiz mühendislik uygulamaları dikkat çekmektedir. Bu durum, özellikle deprem gibi doğal afetler karşısında ciddi can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Yapı malzemelerinin, özellikle beton ve agrega kalitesinin, binaların deprem yüklerine karşı gösterdiği performans üzerinde doğrudan etkili olduğu bir gerçektir. Nitekim, düşük basınç dayanımına sahip beton kullanımı, betonarme yapılarda aderans zayıflığına, erken çatlamalara ve genel taşıma kapasitesinin azalmasına yol açmakta; sonuç olarak yapısal hasarları kaçınılmaz kılmaktadır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar ve depremlerden sonra gerçekleştirilen incelemeler, yalnızca malzeme kusurlarının değil, tasarım hatalarının, yetersiz işçilik uygulamalarının ve uygun olmayan mühendislik çözümlerinin de yapıların yıkılmasında önemli bir paya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, düşük kaliteli beton ve uygunsuz agrega kullanımı gibi hatalı malzeme seçimlerinin yanı sıra, yapım sürecindeki mühendislik ve işçilik hatalarının da ciddi sorunlar oluşturduğu görülmektedir.

Türkiye’nin deprem riski yüksek bir bölgede bulunması ve hızlı yapılaşma süreçlerinin devam ediyor olması, yapı kalitesinin göz ardı edilemeyecek derecede önemli bir konu olduğunu göstermektedir. Uygun yapı malzemelerinin seçilmesi, malzeme kalitesinin denetlenmesi ve doğru mühendislik uygulamalarının kullanılması, uzun vadede can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi açısından hayati öneme sahiptir. Deprem sonrası oluşan zararlar, yapı maliyetlerini düşürme çabalarının uzun vadede çok daha büyük maliyetler doğurabileceğini acı bir şekilde ortaya koymuştur. Bu nedenle, yapı güvenliğinin sürdürülebilir şekilde artırılması için hem yapı malzemelerinin kalitesine hem de mühendislik uygulamalarına gereken önem verilmelidir.

5.4 İşçilik Hatalarından Kaynaklanan Hasarlara İlişkin Sonuçlar

Deprem gibi doğal afetlerde yapıların yıkılması veya ciddi hasar alması, çok boyutlu bir sorun olup, birçok faktörün bir araya gelmesiyle gerçekleşen karmaşık bir süreçtir. Bu süreçte, özellikle yapısal tasarım hataları, inşaat sırasında meydana gelen işçilik eksiklikleri ve uygun olmayan malzeme kullanımı önemli rol oynamaktadır.

Araştırmada Kahramanmaraş depremlerinde Malatya’da yıkılan veya hasar gören yapılarda işçilik kaynaklı hataların sıklıkla karşılaşıldığını ortaya koymaktadır.

Araştırmada betonarme binalarda yaygın olarak görülen işçilik hatalarından birinin, yetersiz pas payı bırakılmasının olduğu görülmüştür. Pas payının yeterince bırakılmaması, donatıların korozyona uğramasına neden olarak yapı elemanlarının dayanımını düşürmekte ve ömrünü kısaltmaktadır. Yapılan incelemelerde genellikle donatı çubuklarının beton yüzeyine çok yakın yerleştirilmesi veya kalıp-donatı arasına yeterli mesafe bırakılmadan beton dökülmesi sonucu ortaya çıktığı görülmüştür. Pas payının eksik bırakılması, donatıların çevresinde yetersiz beton örtüsü kalınlıklarına neden olmakta ve bu da donatıların çevresel etkiler nedeniyle hızla korozyona uğramasına yol açmaktadır. Zaman içinde donatılarda meydana gelen korozyon, yapı elemanlarının kesit alanlarında kayıplara ve nihayetinde yapısal dayanımın zayıflamasına neden olmaktadır.

Yapılan incelemelerde işçilik kaynaklı bir diğer yaygın sorunun ise enine donatıların uygun şekilde yerleştirilmemesidir. Deprem gibi dinamik yükler altında yapıların güvenliğini sağlayan en önemli unsurlardan biri, enine donatılardır. Enine donatılar, kesme kuvvetlerini taşımada kritik rol oynar ve yapı elemanlarının burkulmasını önleyerek stabiliteyi artırır. Ancak, saha incelemeleri, yönetmeliklere uygun şekilde yerleştirilmeyen enine donatıların yapıların taşıyıcı sistemlerinde ciddi zayıflıklara yol açtığını göstermektedir. Özellikle etriyelerin eksik bağlanması veya yanlış aralıklarla yerleştirilmesi, deprem anında yapısal hasarların artmasına neden olabilmektedir.

Beton döküm süreçlerindeki hatalar da deprem sırasında yapıların hasar görmesinde önemli bir faktördür. Betonun homojen bir yapıya sahip olması için vibrasyon uygulaması kritik öneme sahiptir. Ancak, vibrasyonun yanlış kullanımı, beton ile donatı arasındaki aderansı zayıflatarak yapının genel taşıma kapasitesini düşürmektedir. Ayrıca, beton döküm işlemi sırasında betona su eklenmesi, betonun dayanımını azaltmakta ve homojenliğini bozmaktadır. Bu tür hatalar, yapısal zayıflıklara yol açarak deprem gibi olaylarda yapıların güvenliğini tehlikeye atmaktadır.

Tesisat uygulamaları sırasında taşıyıcı elemanlara müdahale edilmesi de yapıların dayanıklılığını azaltan bir diğer önemli faktördür. Kolon ve kirişler gibi taşıyıcı elemanların içine tesisat borularının yerleştirilmesi, bu elemanların kesit alanlarını küçülterek taşıma kapasitelerini düşürmekte ve yapının genel stabilitesini zayıflatmaktadır. Özellikle, donatının kesilmesi, betonarme elemanların deprem

sırasında çekme kuvvetlerine karşı direncini önemli ölçüde azaltarak kırılma riskini artırmaktadır.

Sonuç olarak, yapıların depreme karşı güvenliğinin sağlanması için hem tasarım hem de uygulama aşamalarında titiz bir denetim gereklidir. Yapısal tasarımın yönetmeliklere uygun şekilde yapılması kadar, işçilik hatalarının önlenmesi de büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, özellikle betonarme yapı elemanlarının inşası sırasında donatı detaylarına, beton yerleştirme tekniklerine ve yapı elemanlarına yapılacak müdahalelere dikkat edilmelidir. Yapı denetimlerinin artırılması ve işçilik kalitesinin yükseltilmesi, olası depremler karşısında yapıların güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynayacaktır.



KAYNAKLAR

- Yön, B., Sayın, E., Onat, O. 2017. Earthquakes and Structural Damages, In: Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation, s. 319-338, Ed: Taher Zouaghi, Croatia: IntechOpen.
- AFAD, 2022. Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü, Erişim Adresi: <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>,
- Akbaş, A., Çalışkan, Ö., 2023. Deprem Etkisinde Hasar Alan Betonarme Yapıların Düzensizlik Türleri Yönü İle İncelenmesi. (s. 428-435), 2nd International Conference on Scientific and Academic Research, Konya, Türkiye.
- Akdemir, A., İnan Günaydın, T., 2024. Türkiye'nin Depremselliği ve Burulma Düzensizliği. International Journal of Social and Humanities Sciences Research, 11(104), 301-309.
- Aksoy, H.B., Avşar, Ö., 2015. Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeve Davranışına Etkisinin Basitleştirilmiş Bir Yöntemle Dikkate Alınması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(3), 115-122.
- Akyürek, O., Tekeli, H., Demir, F., 2018. Plandaki Dolgu Duvar Yerleşiminin Bina Performansı Üzerindeki Etkisi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 10(1), 42-55.
- Al Asadi, S., 2022. Betonarme Yapılarında Kolonların Güçlendirme ve Onarım Yöntemleri. Journal of Technical and Applied Sciences. 02(02), 25-34.
- Alirezai, A., Vahdani, S., 2015, Estimation of Seismic Deformation Demands of Tall Buildings with Symmetric Setbacks, World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Civil and Environmental Engineering, 9(4). 393-396.
- Çetin, K., Demir, A., Altıok, T.Y. 2020. 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Yerel Zemin Sınıflarının Yapılardaki Burulma Düzensizliğine Etkisi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 282-290.
- André Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H., 2017. Modal identification of infill masonry walls with different characteristics. Engineering Structures, 145, 118-134.
- Anonim, 2024. Erişim Tarihi: 20.07.2024, Sehim çatlakları. Erişim Adresi: <https://www.insaport.com/makale/bir-duvar-neden-catlar/>,
- Tuğrul, A., Yılmaz, M. 2023. Agregâ Üretim Sahalarındaki Belirsizlik ve Risklerin Azaltılmasında Jeoloji ve Mühendislik Jeolojisi Araştırmaların Önemi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 47(1), 87-102.

- Arslan, M.H., Korkmaz, H.H., 2007. What Is To Be Learned From Damage and Failure Of Reinforced Concrete Structures During Recent Earthquakes in Turkey?, *Engineering Failure Analysis*, 14, 1-22.
- Durmaz, S.G., Soyaslan, İ.İ. 2023. Zemin Sıvılaşmasını Denetleyen Koşulların ve Sıvılaşma Nedenli Deformasyonların İncelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(2), 401-411.
- Atak, V.O., Aksu, O., Önder, M., Aydan, Ö., Toz, G., 2003. Zeminlerde Sıvılaşmaya Ve Faylanmaya Bağlı Yer Değiştirmelerin Yön Ve Büyüklüklerinin Fotogrametrik Yöntemlerle Belirlenmesi, Küçükçekmece Ve Yakın Çevresi Teknik Kongresi 8-10 Kasım, 2003, 'Deprem Ve Planlama', İstanbul, Türkiye.
- Atar, M., Ince, O., Tas, O.F., Ozmen, A., Sayın, E., 2024. Investigation of the Damage Conditions of Reinforced Concrete Buildings and Steel Structures in Malatya Province Following the February 6, 2023 Kahramanmaraş. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 6(1), 60-80.
- Avçıl, F., Işık, E., İzol, R., Büyüksaraç, A., Arkan, E., Arslan, M.H., Aksoylu, C., Eyisüren, O., Harirchian, E., 2024. Effects of the February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquake on Structures in Kahramanmaraş City. *Natural Hazards*, 120, 2953-2991.
- Eryılmaz, K., Polat, R., Turhan, D., Karagöl, F. 2023. Geopolimer Beton Atıklarından Elde Edilen Agregaların Geopolimer Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 419-431.
- Aydın A. C., Bayrak B., 2019. The Torsional Behavior Of Reinforced Self-Compacting Concrete Beams. *Advances in Concrete Construction*, 8(3), 187-198.
- Aykaç, Z., Akın, M., Çabalar, A.F., 2021. $V_{s(30)}$ Tabanlı Yerel Zemin Koşulları ve Deprem hasar ilişkisi: Van Abdurrahmangazi Örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45, 181-198.
- Aykanat, A., 2014. Yapı Hasarları Açısından Doğru Malzeme Seçimini Sağlayan Kuramsal Tasarım ve Yapım Modeli. 2(1), 29-42.
- Alpaslan, N. 2013. Zemin Sıvılaşması ve Mekanizması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 3(2), 67-89.
- Bakırcı Er, Ş., Aykaç, S., Can, H., 2014. Betonarme Zayıf Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Davranışı, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(3), 537-547.
- Bal, İ.E., Özdemir, Z. 2006. Çevre Çerçeve Kirişi Süreksizliğinin Yapı Deprem Davranışı Üzerindeki Etkileri, İ.M.O. İstanbul Bülten, Sayı: 87, İstanbul.

- Yakut, A., Binici, B. 2023. Ülkemizdeki Riskli Yapıların Genel Özellikleri ve Deprem Performansı. Çevre Şehir Ve İklim Dergisi, 2(4), 220-237.
- Baradan, B., Aydın, S., 2013. Betonun Dürabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). Hazır Beton, 1, 54-68.
- Başıyigit, C., Çomak, B., Kılınçarslan, Ş., Kamacı, Z. (2013). Depremde Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Beton Kalitesini Belirlemede Yeni Yaklaşımlar: Görüntü İşleme Örneği. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül 2013, MKÜ- Hatay.
- Bayrak, O.F., Yedek, S., Erdem, M.M., Bikce, M., 2017. Çelik Çerçeve Yapılar Özelinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi. (s. 139-146), Uluslararası Katılımı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu, Gaziantep, Türkiye.
- Ben aicha, M., Burtschell, Y., Hafidi Alaoui, A., El Harrouni, K. and Jalbaud, O., 2017, Correlation Between Bleeding And Rheological Characteristics Of Self-Compacting Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 29(6), 05017001.
- Binici, H., Kaplan, H., Görür, E.B., 2005. Türkiye’de Yaşanan Son Depremlerde Malzeme Kalitesi Ve Kötü İşçiliğin Neden Olduğu Hasarlar. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli, Türkiye.
- Büyüksaraç A., Gündoğdu E., Bektaş Ö., Işık E., 2024. Failure Mechanism By Wrench Faulting In Central Anatolia, Engineering Failure Analysis, 156, 107786,
- Can, İ., Saka, A.E., 2022. Deprem Sonrası Geçici Barınma Birimleri İçin Alternatif Bir Çözüm Önerisi, Wikigeb. Online Journal Of Art And Design, 10(2), 115-125.
- Celep, Z., Kara, N., 2012, Nonlinear Seismic Response of Structural Systems Having Vertical Irregularities due to Discontinuities in Columns, 15 WCEE, Lisboa.
- Charleson, A., 2014. Promoting Earthquake – Resistant Construction in Developing Countries, Earthquake Hazard Centre, 18(1).
- Çağlar, N., Bayhan, B., Avcı, E., Kocakaplan, S., Özen, S., Yıldırım, E., Sakcalı, G.B. 2023a. Kahramanmaraş Depremleri Pazarcık [Mw=7.7] ve Elbistan [Mw=7.6], İnceleme ve Değerlendirme Raporu. Bursa Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa, Türkiye.
- Çağlar, N., Vural, I., Kırtel, O., Sarıbiyık, A., Sümer, Y., 2023b. Structural damages observed in buildings after the January 24, 2020 Elazığ-Sivrice earthquake in Türkiye. Case Studies in Construction Materials, 18, e01886.

- Çalışkan, Ö., Şenol, A.F., 2023. Betonarme Binaların Tasarım ve İnşasında Yapılan Yaygın Uygulama Hatalarının Değerlendirilmesi. Mühendislikte Yenilikçi Çalışmalar içinde (s. 443-468), Duvar Yayınları, İstanbul.
- Ekinci, E. 2024. 6 Şubat 2023 Tarihli Kahramanmaraş Depremi Sonrasında Betonarme Yapıların İncelenmesi: Malatya İli Saha Çalışması. Black Sea Journal of Engineering and Science, 7(2), 298-306.
- Çatal, H.H., 2019. Deprem Nedeniyle Binalarda Oluşan Hasarlar. 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2019), 4(1), 310-315, Ankara, Turkey.
- Çetin, K., Altıok, T. Y., Demir, A., 2022.. Yetersiz betonarme kolon-kiriş birleşim bölgelerinin EBROG yöntemi kullanılarak güçlendirilmesi, 8. Yapı Mekaniği Laboratuvarları Çalıştayı (Tam metin bildirisi), 14-15 Ekim, 2022, Eskişehir.
- Çırak, İ.F., 2011. Betonarme Binalarda Gözlenen Hasarlar, Nedenleri ve Öneriler, International Journal of Technological Sciences (IJTS), 3(3), 62-71.
- Demir, A., Dönmez, D., 2008. Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 4 (1), 31- 36.
- Demirbaş, N., Şahin, H., Durucan, C., 2021. Betonarme Yapılarda Deprem Sonrası Yapısal Hasarların Tahmini İçin Kullanılan Hızlı Değerlendirme Yöntemlerinin Etkinliklerinin Belirlenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 33(2), 125-134.
- Dogan, G., Ecemis, A. S., Korkmaz, S. Z., Arslan, M. H., Korkmaz, H. H., 2021. Buildings damages after elazığ, Turkey earthquake on january 24, 2020. Natural hazards, 109(1), 161-200.
- Dönmez, A., 2018. Zımbalama Boyut Etkisinde İkincil Değişkenlerin İşlevi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(4), 604-614.
- Duran, B., Tunaboyu, O., Avşar, Ö., 2020. Structural Failure Evaluation of a Substandard RC Building due to Basement Story Short-Column Damage. Journal of Performance of Constructed FacilitiesArchive, 34(4), 04020053.
- Işık, E., Özdemir, M. 2016. Betonarme Yapılarda Güçlü Kiriş – Zayıf Kolon Durumunun Yapı Performansına Etkisi. 1 st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), October 26-28, 2016, Adana/Turkey.
- Ekin, N., Uyanık, N. A., Uyanık, O., 2023. Düşük Dayanımlı Donatılı Betonlarda Donatının Sismik Hızlara Etkisi. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 5(1), 33-47.

- Ekinci, C.E., 2022. Betonda Rötire: Genel Bir Bakış. *Technological Applied Sciences*. 17(1), 1-38.
- Ekinci, E., 2024. 6 Şubat 2023 Tarihli Kahramanmaraş Depremleri Sonrasında Betonarme Yapıların İncelenmesi: Malatya İli Saha Çalışması. 7(2), 298-306.
- Ekinci, N., İpek, C., 2023. Farklı Döşeme Tiplerine Sahip Betonarme Binaların Deprem Yükleri Altında Davranışlarının İncelenmesi. (s. 69-80). *Ases Uluslararası Afet Kongresi*, 14-16 Nisan 2023, Kayseri, Türkiye.
- Elyiğit, B., Ekinci, C.E., 2023. Betonarme Yapılarda Yapısal ve Yapısal Olmayan Hasarlar ve Hasar Tespiti Üzerine Bir Araştırma. *Engineering Sciences*, 18(2), 19-42.
- Erdem, H., 2016. Burulma Düzensizliğinin Betonarme Kirişler Ve Kolonlar Üzerine Etkileri. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 148-156.
- Erdoğan, T. Y., 2005. Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul.
- Ergün, A., Yurtcu, Ş., 2016. Yığma ve Betonarme Yapılarda Deprem Sonrası Oluşan Hasarların Teknik Analizi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1), 65-76.
- Eroğlu, İ., İpek, C., 2023. Soil and Building Interaction Under Earthquake Loads. *International Journal Of New Horizons In The Sciences*, 1(1), 18-27.
- Gerek, A.E., Soyluk, A., 2016. Türkiye'deki İlköğretim Yapılarının Deprem Dayanımının İncelenmesi. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(3), 485-490.
- Giyik, C., 2023. Van Kent Yapı Stokunun Mimari Özellikleri ve Mühendislik Uygulamaları Üzerine Bir Değerlendirme. *Mimarlık Ve Yaşam*, 8(2), 503-528.
- Güçlüer, K., Günaydın, O., Tekin, Ö.F., Şahan, M.F. 2017. Farklı Tipte Agregaların Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 107-114.
- Göktaş Keleş, M., Koç, E., Taştepe, M., 2020. Betonarme Yapı Elemanlarının Dayanıklılığını Artırmak Üzerine Öneri: Betondan Pas Payı Elemanı. *Hazır Beton*, 65-69.
- Guevara, L.L., 2012. "Soft Story" and "Weak Story" in Earthquake Resistant Design, A Multidisciplinary Approach, Facultad de Arquitectura Urbanismo, Universidad Central de Caracas, Venezuela.

- Guevara, L.T., Garcia, L.E. 2005. The Captive- and Short-Column Effects. *Earthquake Spectra*, 21(1), 141-160.
- Akkoyunlu, M.F. 2021. Tarihsel Depremler ve Kullanılan Yöntemler. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*(21), 587-590.
- Güneş, S., Arslan, M., 2021. Depremden Etkilenen Betonarme Konutların Onarım/Yıkım Karar Sürecine Maliyetlerin Etkisi. *Afet Ve Risk Dergisi*, 4(2), 183-202.
- Güney, Y., 2012. Deprem ve Yapı İlişkisi, Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzak Bilimleri Araştırma Enstitüsü, Eskişehir.
- Hacımustafaoğlu, S.C., Altan, M.F., Naimi, S., 2021. Riskli Yapılan Risk Durumlarının Gözlemsel Analiz ile Tespiti. *AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture*, 5(1), 109-118.
- Hassan, A.A.A., Hossain, K.M.A., Lachemi, M., 2010. Strength, Cracking and deflection performance of large-scale self consolidating concrete beams subjected to shear failure. *Engineering Structures*, 32(5), 1262-1271.
- Hassan, W.M., 2011. Analytical and Experimental Assessment of Seismic Vulnerability of Beam-Column Joints without Transverse Reinforcement in Concrete Buildings. PhD Thesis. University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, Berkeley.
- Helal, Y. Seismic Strengthening of Deficient Exterior RC Beam-Column SubAssemblages Using Post-Tensioned Metal Strips. PhD Thesis. University of Sheffield, Department of Civil and Structural Engineering, Sheffield.
- Işık, E., Avcıl, F., Büyüksaraç, A., 2023. 06 Şubat 2023 Depremleri Sonrası Antakya'daki Betonarme Yapılarda Meydana Gelen Yapısal Hasarlar. 1. International Trakya Scientific Research Congress. 27/28 May 2023 Edirne / Turkey.
- Ivanov M.L., Chow W.K., 2023. December. Structural Damage Observed in Reinforced Concrete Buildings İn Adıyaman During the 2023 Türkiye Kahramanmaraş Earthquakes, *Structures*, 58, 105578.
- İlerisoy, Z. Y., 2019. Discussion of the Structural Irregularities in the Plan for Architectural Design within the Scope of Earthquake Codes, *Periodica Polytechnica Architecture*, 50(1), 50-62.
- İnce O., 2024. Structural Damage Assessment Of Reinforced Concrete Buildings in Adıyaman After Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023, *Engineering Failure Analysis*, 156, 107799.

- Kahya V., Genç A.F., Sunca F., Roudane B., Altunişik A.C., Yilmaz S., et all. 2023. Evaluation of Earthquake-Related Damages on Masonry Structures Due To The 6 February 2023 Kahramanmaraş-Türkiye Earthquakes: A Case Study For Hatay Governorship Building, Engineering Failure Analysis, 107855,
- Kalman Šipoš, T., Zvonko Sigmund, V., 2014. Damage Assesment of Masonry Infilled Frames. (s. 1-12), Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (2ECEES), İstanbul, Turkey.
- Kamal, M., İnel, M., 2021. Orta Yükseklikteki Betonarme Binalarda Çekiçlemenin Deplasman Talepleri Üzerindeki Etkileri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(6), 703-710.
- Karabulut, M., Kartal, M.E., Özil, E., Ünlü, R., 2018. Betonarme Binalarda Deprem Derz Mesafesinin İncelenmesi. Natural & Applied Sciences Journal, 1(1), 39-45.
- Karademir, N., Ortaç, Y., & Bilinir, Ş., 2019. Samsat'ta (Adıyaman) Deprem Algısı ve Yerleşme İlişkisi. International Journal Of Geography And Geography Education (IGGE), (40), 248-265.
- Karayannis, C. G., Goliaş, E., 2022. Full-scale experimental testing of RC beam-column joints strengthened using CFRP ropes as external reinforcement. Engineering Structures. 250(6), 1-13.
- Keske, S.D., Schindler, A.K. and Barnes, R.W., 2016, Fresh Stability And İn-Situ Hardened Uniformity Of SCC, 8. International RILEM Symposium on SelfCompacting Concrete, 103–112.
- Kılıç Ekici, Ö., 2023. “6 Şubat 2023 Depremleri”. TÜBİTAK Bilim ve Teknik, Ankara.
- İnan, T., Korkmaz, K. 2012. Düşey doğrultudaki yapı düzensizliklerinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 28(3), 240-248.
- Aytıs, S. 2023. Deprem Kavramı, Etkileri ve 6 Şubat 2023 Depremleri Bağlamında Süreçler Üzerinden Bütünsel Değerlendirmeler. Journal of Architectural Sciences and Applications, 8(Special Issue), 567-584.
- Kırıcı, S., Soyluk, A., 2024. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinde Meydana Gelen Yapı Hasar Türleri ve Yapı Yıkım Çeşitlerinin Saha Analizlerinin Değerlendirilmesi. Journal of Architectural Sciences and Applications, 9(Special Issue), 327-352.
- Edemen, M., Bircan, O, Okkay, M., Yoldaş, H., Tuğrul, R., Necimoğlu Güzel, M., Kurt, M.Ş., Aslan, A. 2023. Deprem Nedir? Nasıl oluşur? Türkiye’de Oluşmuş Depremler ve Etkileri Nelerdir? Depremlere Karşı Alınabilecek Tedbirler

Hususunda Öneriler. International Journal of Social and Humanities Sciences Researchs JSHSR, 10(93) 719-734.

Kızıllkan, Ö., Kabul, A., Yakut, A.K., 2010. Exergetic Performance Assessment. of a Variable-Speed R404a Refrigeration System. International Journal of Energy Research, 34(6), 463-475.

Koç, V., 2021. Betonarme Binalarda Perde Duvar ve Geniş Kolonların Deprem Hasar ve Davranışlarının İncelenmesi. Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar İçinde (s. 75-96). Eğitim Yayınevi, Ankara.

Koç, V., 2016. Deprem Sonrası Ağır Hasarlı Bina Hasarlarının Sınıflandırılması. Doğal Afetler Ve Çevre Dergisi, 2(1), 46-65.

Konuş, A., Dal, M., 2017. Betonarme Donatılarında ve Metal Yapı Elemanlarında Görülen Korozyon Hasarları. Bilim ve Gençlik Dergisi, 5(1), 7-22.

Korkmaz. H.H., 2023. 2023 Kahramanmaraş Depreminde Tasarım Hatalarının Deprem Hasarına Etkisi. (s. 365-367). Temiz Üretim, Yeşil Mutabakat Ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi İçinde, (Ed.: Mehmet Emin Aydın ve Güleda Engin), Türkiye Bilimler Akademisi, Ankara.

Laseima, S. Y., Mutalib, A. A., Osman, S. A., Hamid, N.H., 2020. Seismic behavior of exterior rc beam-column joints retrofitted using CFRP sheets. Latin American Journal of Solids and Structures. 17(5), 1-21.

Liu, Y., Liao, Y., Zheng, N., 2012. Analysis of Strong Column and Weak Beam Behavior of SteelConcrete Mixed Frames, 15 WCEE, Lisboa.

Ma, H., Xue, J., Zhang, X., 2015. Cyclic Loading Tests and Shear Strength of Steel Reinforced Recycled Concrete Short Columns. Engineering Structures, 92, 55-68.

Kaya, O., Yalçın, C. 2017. Ağır hasarlı kolon kiriş birleşim numunesinin kimyasal harçlar ile onarılarak sismik davranışının incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 171-176.

Marí, A.R., Bairán, J.M., Duarte, N., 2010. Long-Term Deflections in Cracked Reinforced Concrete Flexural Members. Engineering Structures. 32(3), 829-842.

Gemi, L., Köroğlu, M. A. 2018. Çekme Bölgesi Lifli Beton Olan Cam Fiber Takviyeli Polimer (GFRP) ve Çelik Donatılı Etriyesiz Kirişlerin Eğilme Etkisi Altındaki Davranışı ve Hasar Analizi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 6(4), 654-667.

Mercimek Ö., 2023. Seismic Failure Modes of Masonry Structures Exposed to Kahramanmaraş Earthquakes (Mw 7.7 and 7.6) on February 6, 2023, Engineering Failure Analysis, 151, 107422.

- Ekmen, A. B., Güllü, F. 2022. Farklı Sonlu Elemanlar Yaklaşımları Kullanılarak Radye Temel Parametrelerinin Temel Oturması Üzerine Etkisinin Araştırılması. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 7(3), 193-203.
- Mert, N., Ahmadi, N., Kasap, H., 2021. Düşey Düzensizliğe Sahip Betonarme Yapıların Performans Analizi. (s. 196-204). 5th International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Sakarya, Türkiye.
- Mertol H.C., Tunç G., Akış T., Kantekin Y., Aydın İ.C., 2023. Investigation of RC Buildings after 6 February 2023, Kahramanmaraş, Türkiye Earthquakes, Buildings, 13(7), 1789.
- Mertol, A., Mertol, H.C., 2002. Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.
- Özmen, G., 2012. Deprem Yönetmeliklerindeki Burulma Düzensizliği Koşulları. TMH-472, 2, 52-64.
- Nurlu, M., 2017. Planlama ve Yapılaşma Açısından Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi Kılavuzu. İçinde M. Nurlu (Eds.), Ankara, (s. 62). Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.
- Oyguç, R.A., 2022. 24 Ocak 2020 Elazığ Depreminde Hasar Gören Yapıların Sismik Davranışlarının İncelenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11 (1), 140-155.
- Özdemir, I., Karataş, N., 2024. Deprem Anında Yapıların Hasar Almasına Etki Eden Mimari Ölçekli Faktörler ve Yunuskent Sitesi Örnekleme. Turkish Journal of Earthquake Research, 6(1), 1-29.
- Özer, E., 2007. Kapasite Tasarımı İlkesi ve Türk Deprem Yönetmeliği, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Özer, N., 2021. Yapı Malzemelerinde Korozyon Ve Korozyondan Korunma Yöntemleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 26(3), 1159-1178.
- Özmen HB, İnel M, Çaycı BT. 2011. Kapalı Çıkma Düzensizliğinin Betonarme Yapıların Sismik Davranışına Etkilerinin Değerlendirilmesi. Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 30 Mayıs-3 Haziran 2011, İstanbul.
- Öztürk Kardoğan, P.S., Kılıç Demircan, R., 2016. Betonarme Perdelerin Yapılardaki Burulma Düzensizliğine Etkileri. (s. 647-654), 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) Çukurova University, Congress Center, October 26-28, Adana / Turkey.

- Öztürk, T. (2005). Betonarme Binalarda Deprem Perdelerinin Yerleşimi ve Tasarımı. İMO İstanbul Şubesi 2005 İlkbahar-Yaz Dönemi Mesleki Eğitim Kursları, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Öztürk, T., 2013. Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi. Teknik Dergi, 24(116), 6233-6256.
- Pala, M., Şaşmaz, Z., 2019. Kat Seviyeleri Farklı Bitişik Nizam Yapılarda Kat Kütlesinin Çarpışma Kuvvetine Etkisi. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10, 47-63.
- Promis, G., Ferrier, E., 2012. Performance Indices To Assess The Efficiency of External FRP Retrofitting of Reinforced Concrete Short Columns For Seismic Strengthening. Construction and Building Materials, 26, 32-40.
- Realfonzo, R., Napoli, A., Pinilla, J. G. R., 2014. Cyclic behavior of RC beam-column joints strengthened with FRP systems. Construction and Building Materials. 54, 282-297.
- Sabah, L., Bayraktar, H., 2020. Düzce Merkez ve İlçelerinin Deprem Senaryolarına Göre Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, (8), 1695-1705.
- Sağlıyan, S., Yön, B., 2018. Assessment of Earthquake Behavior of Reinforced Concrete Buildings with Slab Discontinuity. Turkish Journal of Science and Technology, 13(1), 87-92.
- Sak, Ö.F., Beyen, K., 2017. Bitişik Nizam Betonarme Yapılarda çarpışma Etkisi ve Zaman-Frekans Alanında Performans Analizleri. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim 2017, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Sakcalı, G.B., Tekeli, H., Demir, F., 2015. Betonarme Binalardaki Perde Duvar Miktarının Bina Performansına Etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2), 157-168.
- Sayın, E., Yön, B., Onat, O., Gör, M., Öncü, M. E., Tuğrul Tunç, E., Calayır, Y., 2021. 24 January 2020 Sivrice-Elazığ, Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures. Bulletin of Earthquake Engineering, 19(2), 657-684.
- Selçuk, E., Erem, M., 2022. Deprem Öncesi Hazırlık ve Deprem Anında Yapılması Gerekenler. Totbid Dergisi, (33), 249-252.
- Shen, X., Li, B., Chen, Y.T., Tizani, W., 2021. Seismic Performance Of Reinforced Concrete Interior Beam-Column Joints With Novel Reinforcement Detail. Engineering Structures, 227, 111408.

- Shreyasvi, C., & Shivakumaraswamy, B. (2015). Seismic Response of Buildings with Re-Entrant Corners in Different Seismic Zones. *International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET)*, 4(SpecialIssue:04), 55-60.
- Erdem, H., 2016. Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 459-468.
- Şahin, Ş., Üçgül, İ., 2019. Türkiye’de Afet Yönetimi ve İş Sağlığı Güvenliği. *Afet ve Risk Dergisi*, 2(1), 43-63.
- Şeker, M., Bedirhanoğlu, İ., 2019. Düşük Dayanımlı Betona Sahip Betonarme Kısa Kolonların Kesme Etkileri Altında Davranışlarının İncelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 385- 395.
- Şencan, A., Yakut, A., K., Kızılkın, Ö., 2003. Güneş Enerjili İklimlendirme Sistemi ve Bir Uygulama. *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu*, 20-21 Haziran 2003, Mersin, 172-177.
- Şengöz, T.E., 2019. Deprem Nedir? Deprem Nasıl Oluşur? Depremden Önce, Deprem Sırasında ve Depremden Sonra Yapılması Gerekenler. *Kutsal Kitabımız Kur’anı Kerim’deki Depremlerle İlgili Ayetler İle Depremlerle İlgili Okunabilecek Dualar*, (ss.26). Ankara.
- Şenol, A.F., 2023. Kahramanmaraş Depremleri (6 Şubat 2023) Sonrası Hatay İlindeki Yapıların Hasar Durumlarının Değerlendirilmesi, 2nd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences, April 4-6, Konya, Turkey.
- Şenol, A.F., Akbaş, A., Çalışkan, Ö., 2023. Türkiye’de Son Yüzyılda (1923-2023) Meydana Gelen Yıkıcı Depremler ve Kullanılan Deprem Yönetmelikleri. *Mühendislikte Yenilikçi Çalışmalar* (pp.75-97), İzmir: Duvar Yayınları.
- Tağıl, Ş., 2004. Balıkesir Ovası ve Yakın Çevresinin Neotektonik Özellikleri ve Depremselliği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2(1), 73-92.
- Tan, M.E., 2000, *Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, Ankara.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 30364 (Mükerrer) sayılı T.C. Resmi Gazete (18 Mart 2018).
- TDK, 2024. Türk Dil Kurumu Sözlüğü, Erişim Adresi: <https://sozluk.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 01.07.2024.
- Akyıldız, H., Adar, K., Sevimli, S., 2022. İnşaat Mühendisliği Uygulamalarında Hücresel Dolgu Sistemlerinin Kullanımı, *DÜMF MD*, 13(3), 551–555.

- Ertürkmen, Ç., Çağatay, İ.H., 2016. Dolgu Duvarlı Yapılarda Yumuşak Kat ve Zayıf Kat Düzensizliklerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 269-277.
- Akbaş, A., Çalışkan, Ö., 2023. Betonarme Yapılarda Yapısal Düzensizlikler. 2nd International Conference on Innovative Academic Studies, January 28 - 31, Konya, Turkey.
- Tezcan, S.S. and Özdemir, Z., 2004. Liquefaction Risk Analysis, Higher Education Research Foundation, İstanbul.
- Tinal, M., 2009. 1928 Torbalı (İzmir) Depremi. International Periodical For The Languages, Literature And History Of Turkish, 4(8), 2231-2043.
- TMMOB, 2023. Mimarlar Odası 6 Şubat 2023 Depremleri Raporu -2: Tespitler, Değerlendirmeler, Öneriler, Ankara.
- Türkay, A., 2019. Betonarme Perdelerde Burulma Davranışının Analitik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Utkuğ, Z., 2013. Konutta Kalite Kavramı Ve Yapı Hasarları. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(2), 205-211.
- Vanhove, Y., Khayat, K.H., 2016. Forced Bleeding Test To Assess Stability Of Flowable Concrete, ACI Materials Journal, 113(6), 753-758.
- Vapur, İ., Kara, İ.F., Akın, E., 2023. 2023 Kahramanmaraş ve Hatay depremlerinin Antakya ve Samandağ ilçelerindeki yapısal etkileri ve çözüm önerileri. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(4), 1260-1270.
- Yakut, A., Sucuoğlu, H., Binici, B., Canbay, E., Dönmez, C., İlki, A., Ay, B.Ö., 2021. Performance of structures in İzmir after the Samos Island earthquake. Bulletin Of Earthquake Engineering, 1-26.
- Yakut, A.K., Dikmen, E., Kabul, A., Şencan, A., Kızıllan, Ö., 2006. Konutlarda Optimum İzalasyon Malzemesi ve Kalınlığının Belirlenmesi. Enerji Teknolojileri ve Mekanik Tesisat Dergisi, 128, 158-162.
- Yalçın, H., 2012. Türkiye ve Kafkasların Depremselliği Deprem Tehlikesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yanık, Y., Kamber Yılmaz, G., Türker, T., 2018. Betonarme Binalarda Hasar Tespiti ve Hasar Belirleme Yöntemleri. Journal of Investigations on Engineering and Technology, 1(2), 30-36.

- Yaşar, N., Tanrıverdi, B., Baytan Özmen, H., 2022. 7 Katlı Betonarme Bir Binada Farklı Temel Durumları ve Zemin Rijitliğinin Yapı Davranışına Etkisi. *Journal of Interdisciplinary Innovation Studies*, 2(1), 1-14.
- Yatağan, S., 2010. Beton ve Harçlarda Agregada Dane Boyutunun Rötire ve Durabiliteye Etkisi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yavuz, R., Günaydın, O., Güçlüer, K., 2022. Agresif Kür Ortamının Beton-Donatı Aderansına Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*(35), 349-354.
- Yeniçelik, N., Er, Ş., Avanoğlu Sıcacık, E., 2023. Farklı Beton ve Çelik Sınıfı Kullanımının Yapıların Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarına Etkilerinin İncelenmesi (Ocak 2020 Elazığ Depremi Örneği). *International Journal of Engineering Research and Development*, 15(3), 166-178.
- Yılmaz, G., Umu, S.U., 2017. Yapılarda Hasar Ders Notları, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Yiğit, E., 2016. Betonda rötire ve sünme etkisi. <https://prezi.com/hjwzre8wx0x9/betonda-rotre-ve-sunmeetkisi/?frame=81f5cd36aad842b2074f4dde7ac2d0ae0c993b9c>
- Youd, T.L., 1992. Liquefaction, ground failure, and consequent damage during the 22 April 1991 Costa Rica Earthquake. *Proceedings of the NSF/UCR US.Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991, April 2 – 4, 1992, Effects on Soils and Structures, Oakland, California, ERI Publication, No: 93-A, 73-75.*
- Yön, B., Sayın, E., 2008. Kısa Kolon Teşkilinin Yapı Hasarlarına Etkisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, ISSN1012-2354 Erciyes Üniversitesi, Elâzığ.
- Yu, H., Chen, J., Bobet, A., Yuan, Y., 2016. Damage Observation And Assessment Of The Longxi Tunnel During The Wenchuan Earthquake. *Tunn Undergr Space Technol* 54:102–116.
- Yurdakul, Ö., Vecchio, C. D., Ludovico, M. D., Avşar, Ö., 2020. Numerical simulation of substandard beam-column joints with different failure mechanisms. *Structural Concrete*. 21(6), 2515-2532.
- Yüksel, İ., 2008. Betonarme Binaların Deprem Sonrası Acil Hasar Değerlendirmeleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1-2), 260-276.
- Zengin, B., Usta, P., 2021. Farklı Döşeme Tiplerine Sahip Betonarme Binaların Sismik Davranışı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27, 171-176.