

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREMLERDE MEYDANA GELEN TİPİK BETONARME YAPI
HASARLARINA 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE
ALINABİLECEK ÖNLEMLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdal YILMAZ

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Bölümü

AĞUSTOS 2019

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREMLERDE MEYDANA GELEN TİPİK BETONARME YAPI
HASARLARINA 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE
ALINABİLECEK ÖNLEMLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Erdal YILMAZ
501111215**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DEĞER

AĞUSTOS 2019

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 50111215 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Erdal YILMAZ ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DEPREMLERDE MEYDANA GELEN TİPİK BETONARME YAPI HASARLARINA 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ALINABİLECEK ÖNLEMLER” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DEĞER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Dr. Öğr. Üyesi Fatih SÜTCÜ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : 3 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 26 Ağustos 2019





Oğlum Hasan Yusuf YILMAZ'a,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezim boyunca değerli katkılarından dolayı tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DEĞER hocama, Dr. Öğr. Üyesi Fatih Sütçü ve Doç. Dr. Hasan Özkaynak hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca öğrencisi olmaktan onur ve gurur duyduğum İstanbul Teknik Üniversitesi'ne ve değerli hocalarıma saygılarımı sunarım. Bu günlere gelmemde maddi manevi desteğini esirgemediğim yanımda olan anneme, babama, kardeşime ve her zaman en büyük destekçim olan eşim Tuba YILMAZ'a minnettarım.

Yüksek lisans yapmamdaki en büyük sebebim, benimle birlikte ders çalışan, tez yazan 3 yaşındaki canım oğlum Hasan Yusuf YILMAZ'a sevgilerimle.

Ağustos 2019

Erdal Yılmaz
İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
1.3 Deprem Nedir? Nasıl Meydana Gelir?	6
1.4 Depremin Parametreleri	7
1.6 Dünya Üzerinde Meydana Gelmiş Büyük Depremler	8
1.7 Dünya Üzerinde Bulunan Aktif Fay Hatları	10
1.8 Dünyada Meydana Gelen Depremlerin Neden Olduğu Ekonomik Kayıplar... ..	12
1.9 Türkiye'nin Depremselliği Ve Aktif Fay Hatları	14
1.10 Depremler Sonrasında Binalarda Görülen Tipik Yapı Hasarları	17
2. BURULMA DÜZENSİZLİĞİ.....	19
2.1 Burulma Düzensizliği Nedir?	19
2.2 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Burulma Düzensizliği	20
2.2.1 ASCE-7 Amerikan deprem yönetmeliğinde burulma düzensizliği.....	20
2.2.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği'nde burulma düzensizliği.....	20
2.2.3 Japonya Deprem Yönetmeliği'nde burulma düzensizliği	21
2.3 Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler	21
2.4 Hareketli Yük Ve Dolgu Duvar Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi. ..	21
2.5 Plan Ve Geometrinin Burulma Düzensizliğine Etkisi.....	22
2.6 Burulma Düzensizliğinin Aks Sayısına Göre Değişimi	23
2.7 Burulma Düzensizliğinin Kat Sayısına Göre Değişimi.....	24
2.8 Burulma Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları	25
2.9 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Burulma Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler.....	28
3. DÖŞEME SÜREKSİZLİKLERİ DÜZENSİZLİĞİ.....	29
3.1 Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliği Nedir? Nasıl Oluşur?	29
3.2 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliği.....	30
3.2.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği'ne göre döşeme süreksizlikleri düzensizliği	30

3.2.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği'ne göre döşeme süreksizlikleri düzensizliği.....	30
3.2.3 Diğer ülkelerin deprem yönetmelikleri'ne göre döşeme süreksizlikleri düzensizliği.....	30
3.3 Döşeme Süreksizliği Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları.....	31
3.4 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde A2 -Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler	33
4. PLANDA ÇIKINTILAR BULUNMASI DÜZENSİZLİĞİ.....	35
4.1 Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği Nedir? Nasıl oluşur?	35
4.2 Köşe Kolon Düzensizliği Nedir? Nasıl Meydana Gelir?	36
4.3 Yabancı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği.....	37
4.3.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği'nde planda çıkıntılar bulunması düzensizliği.....	37
4.3.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği'ne göre planda çıkıntılar bulunması düzensizliği.....	37
4.3.3 Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği'ne göre planda çıkıntılar bulunması düzensizliği.....	36
4.4 Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları	37
4.5 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde A3-Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler	39
5. ZAYIF KAT DÜZENSİZLİĞİ	41
5.1 Zayıf Kat Düzensizliği Nedir?.....	41
5.2 Zayıf Kat Hasarlarının Oluşum Nedenleri	42
5.3 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Zayıf Kat Düzensizliği	42
5.3.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği'nde zayıf kat düzensizliği	42
5.3.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği'nde zayıf kat düzensizliği	42
5.3.3 Japonya Deprem Yönetmeliği'nde zayıf kat düzensizliği.....	42
5.4 Zayıf Kat Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları	44
5.5 Mevcut Binalarda Zayıf Kat Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler.....	45
5.6 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre, Zayıf Kat Düzensizliğine Karşı Alınacak Önlemler	46
6. YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ	47
6.1 Yumuşak Kat Düzensizliği Nedir?.....	47
6.2 Yumuşak Kat Düzensizliğinin Görüldüğü Yapılar	48
6.3 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Yumuşak Kat Düzensizliği	49
6.3.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği'nde yumuşak kat düzensizliği. 49	
6.3.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği'nde yumuşak kat düzensizliği.....	49
6.3.3 Japonya Deprem Yönetmeliği'nde yumuşak kat düzensizliği	49
6.3.4 Diğer ülkelerin deprem yönetmeliklerine göre yumuşak kat düzensizliği 49	
6.4 Yumuşak Kat Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları	50
6.5 Yumuşak Kat Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler.....	52
6.6 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Yumuşak Kat Düzensizliğine Karşı Alınacak Önlemler	53

7. TAŞIYICI SİSTEM DÜŞEY ELEMANLARI SÜREKSİZLİĞİ	55
7.1 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği nedir? Nasıl Meydana Gelir?	55
7.2 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği	58
7.2.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği'nde taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği	58
7.2.2 Diğer ülkelerin deprem yönetmeliklerinde taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği	58
7.3 Yüksek ve Asma Katlı Ofis Katları.....	58
7.4 Yatayda Geometrik Düzensizliği Olan Yapılar (Setbacks Tipi Yapılar).....	59
7.5 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanları Süreksizliği Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları	60
7.6 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde B-3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliğine Karşı Alınacak Önlemler	61
8. KUVVETLİ KOLON - ZAYIF KİRİŞ KURALI	63
8.1 Kapasite Tasarımı Nedir?	63
8.2 Kuvvetli Kolon - Zayıf Kiriş Prensibi.....	65
8.3 Kolon Kiriş Birleşim Noktaları	66
8.4 Plastik Mafsalsal Seçimi.....	67
8.5 Kuvvetli Kolon – Zayıf Kiriş Kuralına Uyulmaması Nedeniyle Meydana Gelen Yapı Hasarları	68
8.6 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde Kapasite Tasarımı ve Kuvvetli Kolon – Zayıf Kiriş Prensibine Karşı Alınacak Önlemler	70
9. ÇEKİÇLEME ETKİSİ	73
9.1 Çekiçleme Etkisi Nedir? Nasıl Meydana Gelir?	73
9.2 Sık Görülen Çekiçleme Etkisi Tipleri	74
9.2.1 Döşeme kolon yada döşemeden duvara çekiçleme etkisi	74
9.2.2 Farklı kütlelere sahip komşu binalarda meydana gelen çekiçleme etkisi .	74
9.2.3 Yükseklikleri farklı olan binalarda çekiçleme etkisi.....	74
9.2.4 Aynı sırada aralarında boşluk bulunmayan yapılarda çekiçleme etkisi	74
9.2.5 Çarpışma nedeniyle burulan yapılar	74
9.2.6 Gevrek malzemeden yapılmış binalarda çarpışma etkisi	74
9.3 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerine Göre Derz Mesafeleri.....	75
9.4 Çekiçleme Etkisi Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları	76
9.5 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde Göre Çekiçleme Etkisine Karşı Alınacak Önlemler	78
10. KISA KOLON ETKİSİ	79
10.1 Kısa Kolon Etkisi Nedir? Nasıl Meydana Gelir?	79
10.2 Kısa Kolon Oluşumuna Etki Eden Parametreler	80
10.3 Mimari Nedenlerden Dolayı Yapılarda Oluşan Kısa Kolon Tipleri	81
10.3.1 Bant pencereler	81
10.3.2 Eğimli arazilerde inşa edilen yapılar	82
10.3.3 Asma katlı binalarda kısa kolon etkisi	82
10.3.4 Kolona mesnetlenen merdiven sahanlığı nedeniyle oluşan kısa kolon etkisi	82
10.4 Depremlerde Meydana Gelen Kısa Kolon Hasarları.....	83
10.5 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Kısa Kolon Hasarlarına Karşı Alınacak Önlemler.....	85

11. KALİTESİZ İŞÇİLİK VE MALZEME KULLANILARAK DONATI DÜZENLEME KURALLARINA UYULMADAN İNŞA EDİLEN YAPILAR.	87
11.1 Yapıların İnşasında Düşük Dayanımlı Beton Kullanımı.....	87
11.2 Donatı Korozyonu	90
11.3 Beton Bakımının (Beton Kürünün) Ve Su/Çimento Oranının Beton Mukavemetine Etkisi.....	91
11.4 Kalitesiz Agrega Kullanımı.....	93
11.5 Haberli Göçme Habersiz Göçme.....	95
11.6 Betonarme Elemanlarda Görülen Göçme Türleri.....	96
11.6.1 Eğilme göçmesi.....	97
11.6.2 Kesme göçmesi	98
11.6.3 Basınç ve burkulma göçmesi.....	99
11.7 Sargı Donatısı Önemi	101
11.8 Kolon Kiriş Birleşim Bölgesinde Oluşan Hasarlar	103
11.9 Kalitesiz İşçilik ve Malzeme Kullanılarak Donatı Düzenleme Kurallarına Uyulmadan İnşa Edilen Binalarda Depremler Sonrasında Görülen Hasarlar	104
11.10 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Yapılarda Kullanılacak Malzemelere Ait Özellikler ve Donatı Düzenleme Kuralları.....	106
11.10.1 Boyuna donatı düzenleme ilkeleri.....	106
11.10.2 Enine donatı düzenleme ilkeleri.....	107
11.10.3 Perde donatı düzenleme ilkeleri	108
11.10.4 Kolon sargı donatı düzenleme ilkeleri	110
11.10.5 Özel deprem etriyeleri.....	111
12. SONUÇLAR	113
KAYNAKLAR.....	121
ÖZGEÇMİŞ.....	127

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



SEMBOLLER

η_{bi}	: Burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: Zayıf kat Düzensizliği katsayısı
ℓ_n	: Kısa kolon serbest boyu
F_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
I	: Bina önem katsayısı
M_r	: Kolon, kiriş veya perde kesitleri için f_{cd} ve f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan taşıma gücü momenti
M_{ri}	: Kirişin i ucundaki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{rj}	: Kirişin j ucundaki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{ra}	: Kolon serbest yüksekliğinin üst ucunda taşıma gücü momenti
$M_{r\underline{a}}$: Kolon serbest yüksekliğinin alt ucunda taşıma gücü momenti
V_e	: Kolon, kiriş ve perdeler için tasarıma esas kesme kuvveti
F_{yd}	: Donatı çeliğinin tasarım akma dayanımı
h_k	: Kiriş yüksekliği
S/C	: Su / Çimento oranı
I	: Bina Önem Katsayısı
H_w	: Perde yüksekliği [m]
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
α	: Deprem derz boşlukları için kullanılan deneysel katsayı
e	: %5'lik ek dışmerkezlilik [m]



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Dünyada meydana gelen en büyük depremler.....	8
Çizelge 1.2 : Dünyadaki aktif fay hatları ve ürettikleri depremler.	10
Çizelge 1.3 : Dünyada meydana gelen büyük depremlerin neden olduğu ekonomik kayıplar	12
Çizelge 1.4 : Türkiye’de meydana gelen şiddetli depremler.	16
Çizelge 1.5 : Farklı depremlerde görülen benzer yapı hasarları listesi.....	17
Çizelge 3.1 : Farklı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde döşeme süreksizliği düzensizliğine getirilen sınırlamalar	30
Çizelge 11.1 : EMRCO 2015 verilerine göre dünyada kullanılan beton sınıfları.....	88
Çizelge 11.2 : 1999 Kocaeli Depremi sonrasında yıkılan ve ağır hasar gören binalardan alınan karot numunelerinin basınç dayanımları.....	89
Çizelge 11.3 : Çimento dozajları aynı su/çimento oranları ve kür ortamları farklı üretilen beton numuneler.	91
Çizelge 11.4 : Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.....	92
Çizelge 11.5 : TS 706 Betonda kullanılan kum ve iri agrega standartları	94
Çizelge 12.1 : Binalarda görülen tipik yapı hasarları ve alınabilecek önlemler	116



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: 1900 - 2017 yılları arasında yeryüzünde meydana gelen depremlerin dağılım haritası.	6
Şekil 1.2	: Fay hattı, odak, dış merkez, odak derinliği ve deprem dalgaları.....	7
Şekil 1.3	: 1900 – 2012 Yılları arasında meydana gelen 7103 deprem sonucunda oluşan dolaylı ve dolaysız hasarların ekonomik dağılımı.....	13
Şekil 1.4	: Türkiye ve Avrupa deprem risk haritası.....	14
Şekil 1.5	: Anadolu plağı tektonik haritası	15
Şekil 2.1	: Burulma düzensizliği oluşum mekanizması.....	19
Şekil 2.2	: Burulma etkisi ve 1994 Northridge Depremi sonrasında burulma hasarı gözlenen bir bina.	20
Şekil 2.3	: Kütle merkezi ile ağırlık merkezi farklı bir bina	21
Şekil 2.4	: L, T ve U Formlu binalarda gerilme artışı.....	22
Şekil 2.5	: Farklı aks sayısına sahip binalar	23
Şekil 2.6	: 10 Katlı farklı aks sayısına sahip binalarda burulma düzensizliğinin değişimi.....	23
Şekil 2.7	: Kat sayısına göre burulma analizi yapılan yapının kalıp planı.....	24
Şekil 2.8	: Farklı kat ve aks sayılı binalarda burulma düzensizliğinin değişimi	24
Şekil 2.9	: 1964 Alaska Depremi’nde hasar gören L planlı bir okul binası ve hasar oluşum mekanizması	25
Şekil 2.10	: (a) 1999 Kocaeli Depremi sonrasında burulma hasarı gözlenen kamu binası (b) 1999 Chi Chi Depremi sonrasında burulma hasarı gözlemlenen bir bina.....	26
Şekil 2.11	: (a) 2006 Tayvan Tainan Depremi sonrasında gözlemlenen burulma hasarı. (b) 1995 Kobe Depremi’nde meydana gelen burulma hasarı ...	27
Şekil 2.12	: (a) 1989 Loma Prieta Depremi’nde meydana gelen burulma hasarı (b) 1994 Northridge Depremi’nde meydana gelen burulma hasarı.	27
Şekil 2.13	: A1 - Burulma düzensizliği.....	28
Şekil 3.1	: (a) 2017 Meksika Depremi’nde görülen döşeme hasarı. (b) 2009 İtalya L’aquila Depremi sonrasında meydana gelen döşeme hasarı	31
Şekil 3.2	: 2016 Ekvator Depremi’nde meydana gelen döşeme hasarlı bina.	32
Şekil 3.3	: 1999 Kocaeli Depremi’nde meydana gelen döşeme hasarları.....	32
Şekil 3.4	: 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne göre döşeme süreksizliği.	33
Şekil 4.1	: Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği ve giriş süreksizlikleri.	35
Şekil 4.2	: Köşe kolon düzensizliği.	36
Şekil 4.3	: Köşe kolon geçmesi sonrasında hasar alan binalar.	36
Şekil 4.4	: (a) 1999 Kocaeli Depremi’nde planda çıkıntılar bulunan bir binada meydana gelen deprem hasarı. (b) 2017 Meksika Depremi’nde meydana gelen köşe kolon hasarı.....	38
Şekil 4.5	: 2017 Meksika Depremi’nde aşırı konsol çıkıntısı olan bir alışveriş merkezinde meydana gelen göçme.	38

Şekil 4.6	: 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre A3 -Planda çıkıntılar bulunması durumu.....	39
Şekil 5.1	: Zayıf kat oluşum mekanizması.....	41
Şekil 5.2	: Zayıf kat düzensizliği örnekleri.....	42
Şekil 5.3	: (a) 1989 Loma Prieta Depremi zayıf kat hasarı (b) 1995 Kobe Depremi'nde meydana gelen zayıf kat hasarı.....	43
Şekil 5.4	: (a) 2003 Bingöl Depremi zayıf kat hasarı. (b) 2011 Van Depremi zayıf kat hasarı.....	44
Şekil 5.5	: (a) 1971 San Fernando Depremi zayıf kat hasarı. (b) 1994 Northridge Depremi zayıf kat hasarı.....	44
Şekil 5.6	: Zayıf kat probleminin çözüm yolları.....	45
Şekil 6.1	: Yumuşak kat oluşum mekanizması.....	47
Şekil 6.2	: Yumuşak kat düzensizlikleri içeren farklı yükseklikte giriş katı olan modern tasarımlı bina örnekleri.....	48
Şekil 6.3	: 1989 Loma Prieta Depremi'nde meydana gelen yumuşak kat hasarı nedeniyle kısmen göçen binalar.....	50
Şekil 6.4	: (a) 2010 Haiti Depremi'nde meydana gelen yumuşak kat hasarı. (b) 2006 Tayvan Tainan Depremi yumuşak kat Hasarı.....	51
Şekil 6.5	: (a) 2011 Van Depremi yumuşak kat hasarı (b) 1999 Kocaeli Depremi'nde meydana gelen yumuşak kat hasarı.....	51
Şekil 6.6	: San Fransisco'da oluşabilecek muhtemel yumuşak kat hasarına karşı önlem alınmış binalar.....	52
Şekil 7.1	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde üzerinde durulan taşıyıcı sistem düşey elemanları süreksizlikleri.....	56
Şekil 7.2	: Analizi yapılan binanın kalıp planı ve kolon boyutları.....	56
Şekil 7.3	: Analizi yapılan bina modelleri.....	56
Şekil 7.4	: Perde eğilme moment diyagramı.....	57
Şekil 7.5	: Yerdeğiştirme diyagramları.....	57
Şekil 7.6	: Sıklıkla görülen geometrik düzensizliği bulunan bina tipleri.....	59
Şekil 7.7	: 2010 Şili Depremi'nde düşey geometrisi düzensiz bina hasarları.....	60
Şekil 7.8	: (a) 1995 Kobe Depremi'nde hasar gören geometrisi düzensiz bina. (b) 2010 Haiti Depremi'nde kolon süreksizliği bulunan binada görülen hasarı.....	60
Şekil 7.9	: 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre B3- Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği.....	61
Şekil 8.1	: Çerçeve sistemlerde oluşması muhtemel plastik mafsallık mekanizmaları.....	63
Şekil 8.2	: Birleşik eğilme etkisindeki moment eğrilik grafiği.....	64
Şekil 8.3	: Kolon kiriş düğüm noktaları kuvvetli kolon - zayıf kiriş prensibi.....	65
Şekil 8.4	: Kolon kiriş birleşim noktaları.....	66
Şekil 8.5	: Plastik mafsallık oluşum mekanizmaları.....	67
Şekil 8.6	: 2017 Meksika Depremi'nde kuvvetli kolon – zayıf kiriş prensibine uyulmadan inşa edilen binalarda görülen toptan göçmeler.....	68
Şekil 8.7	: 2011 Christchurch Depremi'nde kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibine uyulmaması nedeniyle göçen binalar.....	69
Şekil 8.8	: (a) 1995 Kobe Depremi'nde orta katı göçen iş merkezi (b) 2003 Bingöl Depremi'nde tamamen yıkılan bir bina.....	69
Şekil 8.9	: Kolonlarda sargı donatısı düzenleme ilkeleri.....	71
Şekil 9.1	: Çekiçleme etkisi ve muhtemel çarpışma tipleri.....	73
Şekil 9.2	: Sık görülen çekiçleme hasarları.....	75

Şekil 9.3	: (a) 2011 Christchurch Depremi'nde çekişleme etkisi nedeniyle hasar görmüş iş merkezi (b) 2011 Van Deprem'inde çekişleme ve yumuşak kat hasarı nedeniyle ağır hasar gören bir bina	76
Şekil 9.4	: Farklı kütleli çekişleme etkiyle ciddi hasar almış bir işyeri ve konut	77
Şekil 9.5	: 1985 Meksika Depremi'nde birbirinden farklı yükseklikte çekişleme etkisi nedeniyle hasar görmüş binalar	77
Şekil 10.1	: Kısa kolon oluşum ve hasar mekanizması.....	79
Şekil 10.2	: Farklı boşluk oranına sahip 5 akslı yapı	80
Şekil 10.3	: Kesme kuvveti değişimi ve kesme kuvveti grafikleri	81
Şekil 10.4	: Deprem hasarı görmüş bant pencere örneği	81
Şekil 10.5	: (a) Eğimli arazide inşa edilen bina (b) Asmakat nedeni ile oluşan kısa kolon oluşum şeması.....	82
Şekil 10.6	: Kolona mesnetlenen merdiven sahanlığı ve kısa kolon etkisi.....	82
Şekil 10.7	: (a) 2011 Christchurch Depremi'nde görülen kısa kolon hasarı. (b). 1995 Kobe Depremi'nde görülen kısa kolon hasarı.	84
Şekil 10.8	: (a) 2010 Haiti Depremi'nde meydana gelen kısa kolon hasarı (b) 2003 Boumerdes Depremi'nde meydana gelen kısa kolon hasarı	84
Şekil 10.9	: (a) 2010 Haiti Depremi'nde kolona mesnetlenen merdiven sahanlığı nedeni ile oluşan kısa kolon hasarı. (b)1999 Kocaeli Depremi merdiven sahanlığın kısa kolon etkisi.	84
Şekil 10.10	: Ma ve Mü Eğilme momentleri	85
Şekil 10.11	: Kısa kolon parametreleri	86
Şekil 11.1	: Farklı ülkelerde kullanılan beton sınıfları.	89
Şekil 11.2	: Korozyona maruz kalmış donatı	90
Şekil 11.3	: Üretilen numunelerin kür ortamları.....	91
Şekil 11.4	: Haberli göçme ve habersiz göçme durumları.....	95
Şekil 11.5	: Deprem yükleri altında betonarme elemanlarda meydana gelen eğilme ve kesme çatlakları.....	96
Şekil 11.6	: Betonarme elemanlarda meydana gelen göçme türleri	97
Şekil 11.7	: Perde uç bölgesinde meydana gelen eğilme göçmesi.....	97
Şekil 11.8	: 2011 Tohoku Depremi'nde yapı malzemesi kaynaklı meydana gelen hasarlar	98
Şekil 11.9	: 2011 Christchurch Depreminde CCTV binasında meydana gelen perde göçmesi	98
Şekil 11.10	: Basınç etkisi altındaki kolonda meydana gelen göçme.....	99
Şekil 11.11	: (a) 2003 Bingöl Depremi'nde meydana gelen basınç göçmesi (b) 1994 Northridge Depremi'nde oluşan basınç göçmesi.....	99
Şekil 11.12	: Burkulma göçmesi.....	100
Şekil 11.13	: (a) 2010 Şili Depremi burkulma hasarı (b) 1994 Northridge Depremi burkulma hasarı.....	100
Şekil 11.14	: Sargılı ve sargısız kolon davranışı.....	101
Şekil 11.15	: Farklı sargı donatılı kolonların moment kapasitesi	101
Şekil 11.16	: Kolon giriş bölgesi donatı birleşim detayı.....	102
Şekil 11.17	: Kolon giriş birleşim noktalarında meydana gelen yapısal hasarlar..	103
Şekil 11.18	: Yeterince sıkıştırılmadan dökülen beton numunesi	104
Şekil 11.19	: (a) Segregasyona uğramış beton (b) Beton harcı az büyük agregalı beton numunesi.....	104
Şekil 11.20	: Betona eklenen ilave suyun beton mukavemetine etkisi	105
Şekil 11.21	: 1985 Meksika Depremi yapı malzemesi kaynaklı meydana gelen hasarlar	105

Şekil 11.22 : 2011 Tohoku Depremi'nde yapı malzemesi kaynaklı meydana gelen hasarlar	105
Şekil 11.23 : Boyuna donatı düzenleme ilkeleri	106
Şekil 11.24 : Enine donatı düzenleme ilkeleri	107
Şekil 11.25 : Perde donatı düzenleme ilkeleri.....	108
Şekil 11.26 : Perde sargı donatısı düzenleme ilkeleri	109
Şekil 11.27 : Sargı donatısı düzenleme ilkeleri.....	110
Şekil 11.28 : Deprem etriyesi detayları.....	111



DEPREMLERDE MEYDANA GELEN TİPİK BETONARME YAPI HASARLARINA 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ALINABİLECEK ÖNLEMLER

ÖZET

Dünya üzerinde her yıl birçok deprem meydana gelmekte ve birçok yapı yıkılıp hasar görmektedir. Son yüzyılda meydana gelen şiddetli depremler milyonlarca insanın hayatını kaybetmesine ve büyük ekonomik kayıpların oluşmasına neden olmuştur. Farklı bölgelerde meydana gelen depremler sonrasında yapılan saha incelemelerinde oluşan göçme mekanizmalarının ve hasar tiplerinin benzer özellikler taşıdığı görülmektedir. Depremlerin neden olduğu yapısal hasarları belirli başlıklar altında toplamak ve çözüm yollarını belirlemek mümkündür.

Binaların kütle merkezi ile rijitlik merkezleri arasındaki farklılıklar ve taşıyıcı sistemin simetrik olarak yerleştirilmemesi nedeniyle depremler sonrasında birçok binada burulma etkilerini gözlemlemek mümkündür. Mimari nedenlerden dolayı L, T, U gibi farklı tasarımlarda inşa edilen binalarda gerilme yığılmaları nedeniyle yapısal hasarlar sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Katlar arasındaki ani dolgu duvar değişimleri engellenmesi, kolon ve perdelerin planda olabildiğince simetrik yerleştirilmesi, yapılarda katlar arasındaki görelî kat ötelemelerinin yönetmelikte belirtilen sınırın altında tutulması ile burulma düzensizliği nedeniyle meydana gelebilecek yapı hasarlarının önüne geçilir.

Konut ve ticari amaçlarla inşa edilen yapılarda odaların teşkil edilmesi için dolgu duvarlar kullanılırken; işyerlerinde geniş hacimler elde etmek için dolgu duvarlara ihtiyaç duyulmamaktadır. Katlar arasında dolgu duvar dağılımındaki ani değişimler yapıda yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliğine neden olmaktadır. Deprem etkileri nedeniyle bu tip yapılarda ofis katlarının göçmesi sıklıkla karşılaşılan yapı hasarıdır. Zayıf kat ve yumuşak kat hasarını engellemek adına zemin katlarda kolon ve perde ilaveleri, çapraz elemanlar eklenerek yanal deplasmanlar azaltılır. Ayrıca iç kuvvetler arttırılarak kolon kiriş birleşimlerinde sargı donatısı ilave edilerek kesitler güçlendirilerek zayıf kat ve yumuşak kat hasarlarının önüne geçilir.

Binalarda alan kazanmak için yapılan kapalı çıkmalar sıklıkla görülen mimari tasarımlardır. Bu tip yapılar bina kütle dağılımını ve bina geometrisini olumsuz etkilemektedir. Kapalı çıkmalar inşa edilirken taşıyıcı sistemde konsol kirişler meydana gelir ve çerçeve sistem zayıflar. Taşıyıcı sistem deprem anında yapıya gelen yanal deprem kuvvetini kolonlara aktaramaz ve kapalı çıkmalarda ya da binanın tamamında göçmeler meydana gelir. Binalarda kütle rijitlik dengesini bozacak asimetrik kapalı ve açık çıkmalar inşa edilmemeli, taşıyıcı sistem yatay elemanları kesintiye uğratılmamalıdır.

Deprem yönetmeliklerinde kolon ve perde süreksizliklerine, kolon üzerine oturan perdeler ve kiriş üzerine oturan kolonlara kesinlikle izin verilmez. Taşıyıcı sistemin tüm bina boyunca kesintiye uğramadan devam etmesi istenir. Mimari açıdan aydınlık elde etmek için döşemelerde açılan döşeme yırtıkları yatay deprem kuvvetlerinin kolonlara aktarılmasını zorlaştırır. Döşemelerin diyafram olarak davranmaması deprem performansını olumsuz etkiler. Döşeme boşluğu toplam kat alanının %33'ünden fazla olamayacağı yönetmelikte belirtilmiştir.

Betonarme yapı tasarımının en önemli kuralı kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibidir. Yapılar tasarlanırken kolonların kirişlerden daha güçlü olması beklenir. Binalarda plastik mafsalların kiriş uç bölgelerinde oluşması istenir. Kiriş uçlarında oluşan plastik mafsallar yapı sünekliğine katkı sağlarken kolon uç bölgelerinde az sayıda oluşan plastik mafsallar yapılarda göçme mekanizmaları oluşmasına neden olur. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde kolonların kirişlerden % 20 oranında daha güçlü olarak tasarlanması istenir. Donatı düzenleme kurallarına uyularak, kaliteli beton kullanılarak, kolon kiriş bağlantı noktalarında gerekli sıkılaştırmalar yapılarak inşa edilen yapılarda kapasite tasarım hasarları engellenir.

Büyükşehirlerde arazilerin değerli olması nedeniyle aralarında hiç boşluk bırakılmaksızın bitişik bloklar halinde yapılar inşa edilmektedir. Yeterli derz boşlukları bırakılmadan inşa edilen bitişik nizamlı binalar sarsıntının etkisiyle birbirine çarpmakta ve çekiçleme hasarları meydana gelmektedir. Yönetmeliklerde binalar arasında bırakılması gereken derz boşlukları belirtilmiştir. Yeterli derz boşlukları bırakılarak çekiçleme etkisi engellenir.

Okul, hastane gibi kamu binalarında sıklıkla kolondan kolona uzanan alt kısmı dolgu duvarlı üst kısmı pencere olacak şekilde oluşturulan mimari tasarımlar nedeniyle kısa kolon etkisi meydana gelmektedir. Benzer bir durum da bodrum katlı binalarda ışıklandırma ve havalandırma sağlanması amacıyla oluşturulan bant pencerelerde karşımıza çıkmaktadır. Deprem anında dolgu duvarlı alt kısmın hareketi engellenirken üst kısımda aşırı kesme kuvveti nedeniyle yapısal hasar meydana gelmektedir. Tasarım aşamasında olabildiğince bant pencere oluşumundan kaçınılması alınabilecek en etkili önlemdir. Bant pencere oluşması zorunlu ise kolon uç bölgesinde sargı donatısı arttırılarak kolon hasarı engellenir.

Sonuç olarak betonarme yapılardan beklenen davranış yatay deprem yüklerini döşemelerden kirişlere, kirişlerden kolonlara, kolonlardan da temele iletilmesidir. Süneklik düzeyi yüksek, yerdeğiştirmeleri tatminkâr, içerisinde düzensizlikleri barındırmayan, kaliteli malzeme ve işçilikle inşa edilmiş yapılarda deprem etkileri minimuma indirilebilir. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde üzerinde durulan kurallar dikkate alınarak projelendirilip inşa edilen yapılarda depremin neden olduğu birçok olumsuz sonucun önüne geçilir.

PRECAUTIONS FOR TYPICAL REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL DAMAGES OCCURRED IN EARTHQUAKES BASED ON 2018 TURKISH BUILDING EARTHQUAKE CODE

ABSTRACT

Many earthquakes occur around the world each year, causing light-to-severe damage in structures. Severe earthquakes have caused loss of lives as well as great economic losses. Earthquake reconnaissance have shown that reinforced concrete buildings experience similar characteristics of damage and/or collapse around the world. Structural damages caused by earthquakes can be grouped under certain headings and precautions against them can be identified. Typical reasons for structural damages observed in reinforced concrete buildings are as follows: torsional effects, soft story irregularity, weak story irregularity, geometric irregularity, diaphragm discontinuity irregularity, and poor quality materials and workmanship. This thesis focuses on details of such damages as well as associated regulations required by the 2018 Turkish Building Earthquake Code.

Buildings with asymmetrical configuration of lateral load resisting systems where center of mass and center of rigidity do not coincide, typically experience structural damages associated with torsion. Nonrectangular building designs (such as L, T, U shaped), mostly due to architectural reasons, cause stress concentrations which also result in torsional damage. Structural damages that likely occur due to torsional irregularity can be prevented by avoiding rapid change of infill walls between adjacent floors, providing symmetrical placement of columns and partitions in plan, keeping interstory drifts between adjacent floors below the specified limits by seismic codes.

While infill walls are used for constructing rooms in the buildings, they are not needed for getting large volumes in the stores. Abrupt changes in distribution of walls between adjacent floor levels may cause soft-story and/or weak-story damages. Story collapse of in such buildings is one of the frequently observed structural damages. Lateral displacements can be reduced by adding columns and partitions or by installing diagonal members in ground floors for preventing weak floor and soft floor damage.

To gain additional space in the buildings, overhangs are often designed by architects. Such additions adversely affect building mass distribution of buildings. While building overhangs are being constructed, cantilever beams occur in the structure consequently framework system get weakness. During an earthquake, columns are not able resist lateral forces, thus close extension as well as all building may have sags. In buildings, asymmetrical close and open extensions should not be constructed that cause mass rigidity balance as well as column system horizontal components should not be interrupted.

Based on regulations of discontinuous vertical members, it is not allowed to use columns on beams. Column system is required to continue without any interruption through building. From architectural point of view, openings are used to acquire certain level of luminousness, however, they make the load transfer from slabs to the beams difficult, while also conflicting with the slab diaphragm behavior. In regulations, it has been stated that tiling hole could not be more than 33% of total flat area.

One of the most important principles in design of reinforced concrete structural members is the principle of “strong column – weak beam”, which requires columns be stronger than beams. This principle implies that plastic hinges occur in beam ends to enhance ductility of the building. 2018 Turkish Building Earthquake Code requires that columns should be %20 stronger than beams. Reinforcement are performed in beam-column joints by adhering to reinforcement arrangement guidelines by employing high-quality concrete and capacity design damages are prevented in the structures.

In metropolitan regions, buildings in adjacent blocks are sometimes constructed without leaving any gap in between. Blocks type buildings which are constructed without leaving enough gap, collide with the quake and resulting pounding damages. The regulations have prescribed the required seismic gaps to be allocated between adjacent buildings which aim to prevent pounding effects.

In public buildings (e.g. school, hospital), short column effect occurs due to architectural design that extend from column to column which the lower part is filled wall and upper part is a window

A similar case can be seen at basement floor with band type of windows with the purpose of lighting and air conditioning. During the earthquake, while movement of lower section is prevented by the wall whereas structural damage occurs due to excessive shear force in the upper section. During the design stage, band-type windows should be avoided as much as possible. If it is obliged to create band window, column damage can be prevented by adding stirrup equipment of column.

The expected behavior of the reinforced concrete building is to transfer lateral earthquake loads from floors to beams, from beams to columns, and from columns to foundation. Earthquake effects can be minimized in the building with high ductility level, satisfactory displacement, free of irregularities and as well as high quality materials and workmanship. If structures are built and design by considering the principles as specified in 2018 Turkish Building Earthquake Code, several adverse results caused by earthquakes can be prevented.



1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun büyük bir bölümü aktif tektonik levha plakaları üzerinde bulunmaktadır. Levha sınırları boyunca meydana gelen şiddetli depremlerde her yıl binlerce yapı yıkılmakta ve birçok insan hayatını kaybetmektedir. Depremler can kayıplarının yanı sıra büyük ekonomik kayıpların da meydana gelmesine neden olur. Ülkelerin gelişmişlik seviyeleri, yapı stoklarının kalitesi depremler sonrasında meydana gelen can ve mal kayıplarının büyüklüğüne önemli derecede etki eder.

Son yüzyılda farklı bölgelerde meydana gelen depremler incelendiğinde yapı hasarlarının çok benzer karakteristik özellikler gösterdiği görülmektedir. Yapılan saha incelemelerinde depreme dayanıklı yapı tasarımı kurallarına uyulmadan inşa edilen birçok binada göçmeler meydana gelmiştir. Yapılarda kullanılan malzeme ve işçilik binaların deprem performansı açısından hayati önem arz etmektedir. Kalitesiz malzemedен inşa edilmiş, mühendislik hizmeti almamış yapılarda deprem sonrasında göçmeler kaçınılmaz sonuçtur. Burulma düzensizliği, zayıf kat düzensizliği, yumuşak kat düzensizliği, kapasite tasarımı, döşeme süreksizlikleri, taşıyıcı sistem düşey elemanları düzensizliği, çekiçleme etkisi ve kısa kolon hemen hemen her deprem bölgesinde görülen en belirgin hasar tipleri olarak sıralanabilir. Özellikle kapasite tasarımı ve donatı düzenleme kurallarına uyulmadan kalitesiz beton ile inşa edilen yapılarda toptan göçmeler binlerce insanın ölümüne ve yaralanmasına neden olmuştur.

2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde yukarıda belirtilen yapısal hasar tiplerine vurgu yapılmış ve alınması gereken önlemler üzerinde durulmuştur. Yapıların depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerine ve deprem yönetmeliği kurallarına göre inşa edildiği sürece depremlerin meydana getirdiği kayıpları büyük ölçüde azaltmak mümkündür.

1.1 Tezin Amacı

Tasarım aşamasında gözden kaçan ya da önemsenmeyen, inşaat aşamasında da önlemi alınmayan, deprem yönetmeliklerindeki kısıt ve kurallara uyulmadan inşa edilen yapılarda deprem sonrası ciddi yapısal hasarlar gözlemlenmektedir. Dünyanın farklı bölgelerinde meydana gelen depremler sonrasında yapılan saha incelemelerinde, yıkılan ya da hasar gören yapılarda deprem hasarlarının benzer tipik özellikler taşıdığı gözlemlenmiştir. Yapısal düzensizlikler, malzeme ve işçilik kalitesi deprem hasarlarının oluşmasında en önemli sebeplerin başında sıralanır. Örneğin 1994 yılında Amerika’da meydana gelen Northridge Depremi ile 1995 yılında Japonya’da meydana gelen Kobe Depremi’nde ya da 1999 yılında Türkiye’de meydana gelen Kocaeli Depremi’nde yer sarsıntılarının farklı kıtalarda meydana gelmesine rağmen oluşan göçme mekanizmalarının ve bina hasarlarının benzer karakteristik özellikler taşıdığı görülmektedir.

Bu tezin amacı tasarım aşamasında yapısal özellikleri belirlenen betonarme bir binanın servis ömrü boyunca meydana gelebilecek depremlerde, yapının performansına etki edebilecek yapısal hataların belirlenmesi ve alınabilecek önlemlere vurgu yapmaktır. Amerika ve Avrupa Deprem Yönetmelikleri başta olmak üzere çeşitli deprem yönetmeliklerine değinilerek depremler sonrasında sıklıkla gözlemlenen hasarların oluşum mekanizmaları ve alınması gereken önlemler üzerinde durulmuştur. Dünyanın farklı bölgelerinde ve Türkiye’de meydana gelen deprem hasarları belirli başlıklar altında toplanarak 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne göre hasarların çözüm yolları incelenmiştir. Türkiye’de inşa edilen birçok binada yapısal düzensizlikler, kalitesiz malzeme kullanımı ve işçilik hatalarını gözlemlenmektedir. Bu tezde yapısal hasarlara vurgu yapılarak binalarda sıklıkla tekrarlanan tasarım ve uygulama hatalarına dikkat çekmek amaçlanmıştır. 2018 Türkiye Bina Deprem yönetmeliğinde üzerinde durulan önlem ve kurallara vurgu yaparak yapısal hasarların engellenmesi adına farkındalık yaratmak hedeflenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Literatür incelemesinde depremlerde meydana gelen bina hasarların sadece Türkiye’de değil tüm dünyada benzer özellikler taşıdığı görülmüştür. Bunu vurgulamak adına son yıllarda meydana gelen birçok deprem raporu incelenmiş görülen benzer bina hasarları belli başlıklar altında toplanmış ve bu hasar tipleri üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Yapısal hasarlarının evrensel nitelik taşıdığını kanıtlamak için son 50 yılda birçok binanın yıkılmasına neden olan büyük depremlere vurgu yapılmış oluşan göçme ve hasar mekanizmalarının benzerlikleri üzerinde durulmuştur.

Paulay (2001) tarafından ilk kez 1970 yılında Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği’nde bahsedilen kapasite tasarımı günümüzde birçok deprem yönetmeliğinde tanımlanmaktadır. DBYBHY (2007)’de ve TBDY (2018)’de üzerinde durulan kapasite tasarımında plastik mafsal oluşumu, süneklik talebi, binalarda donatı düzenleme kuralları ve kuvvetli kolon zayıf giriş prensibi üzerinde durulmuştur.

FEMA 454’de (2006) yapısal düzensizlikler ve mimari tasarımlar nedeniyle meydana gelen bina hasar örnekleri üzerinde durulmuş alınması gereken önlemlere vurgu yapılmıştır. Özellikle burulma düzensizliği, yumuşak kat, zayıf kat düzensizliği başta olmak üzere ASCE-7’de (2016) üzerinde durulan yapısal düzensizlikler incelenmiş hasarların engellenmesi için önerilerde bulunulmuştur.

Özmen (2004) tarafından yapılan analizlerde burulma düzensizliğinin kat sayıları ve aks sayılarına göre farklı modeller oluşturularak kat sayısı ile aks sayısının burulma düzensizliğine etkisi araştırılmıştır. Herrera ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada ise farklı plan geometriye sahip T, L ve U mimarili yapıların deprem anındaki gerilme dağılımları incelenmiş Meksika’da sıklıkla tercih edilen bu tip yapılarda alınması gereken önlemlere vurgu yapılmıştır.

Perez (2012) tarafından yapılan çalışmada ise yumuşak kat ve zayıf kat oluşum mekanizmaları üzerinde durulmuş farklı kat yükseklikleri olan yumuşak kat hasarı gözlenebilecek binalara dikkat çekilmiştir. İtalya, Venezuela ve Amerika'da meydana gelen depremlerde yumuşak kat nedeniyle oluşan bina hasarları üzerinde durulmuş, muhtemel yumuşak kat hasarının engellenmesi adına Amerika'da uygulanmış çapraz elemanlarla yapılan güçlendirme örnekleri ile bu tip hasarların önlenilebileceği belirtilmiştir.

Öztürk (2013) tarafından yapılan analizlerde döşeme boşluklarının taşıyıcı sistem davranışına etkisi farklı boşluk oranına sahip simetrik ve asimetrik modeller oluşturularak incelenmiş oluşan taban kesme kuvveti, maksimum yer değiştirme burulma düzensizliği değişimi gibi parametreler incelenmiş farklı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde izin verilen maksimum döşeme boşlukları üzerinde durulmuştur. Döşeme boşluğu nedeniyle depremlerde meydana gelen bina hasarları üzerinde durulmamıştır.

Cole ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada Christchurch Depremi sonrasında birçok binada görülen çekiçleme hasarlarının muhtemel oluşum nedeni ve çekiçleme hasar tipleri üzerinde durulmuştur. Çalışmada sadece Christchurch Depremi ele alınmış farklı depremler ya da yönetmelikler incelenmemiştir.

Guevera ve diğ. (2005) kısa kolon hasarlarına neden olan mimari tasarımlar üzerinde durmuştur. Ermenistan, Venezuela, Meksika, Kolombiya ve Cezayir'de meydana gelen depremler sonrasında gözlemlenen kısa kolon hasarı ve nedenleri araştırılmıştır. Çağatay (2007) tarafından yapılan çalışmada ise boşluk oranının kısa kolon hasarına etkisi incelenmiştir. Farklı boşluk oranına sahip modeller oluşturularak analiz yapılmış boşluk oranının kısa kolon hasarına neden olan kesme kuvvetindeki değişimini incelenmiştir.

Ishiyama (2011) tarafından yapılan çalışmada Japonya'da depremler sonrasında görülen hasarlar zemin kat, orta kat ve üst kat hasarları olmak üzere gruplandırılarak incelenmiştir. Ayrıca ahşap yapılarda ve yapısal olmayan elemanlarda meydana gelen hasarlara vurgu yapılarak, zemin etkisi nedeniyle binalarda oluşan hasarların oluşum nedenleri üzerinde durulmuştur. Japonya deprem mühendisliğinin ve Japonya deprem yönetmeliklerinin 1868 - 2010 yılları arasındaki gelişim süreci özetlenmiştir. Bu çalışmada ek olarak ISO3010, Eurocode 8, ASCE-7, IBC 2006 gibi deprem yönetmelikleri detaylı olarak incelenmiştir. Bina hasarları Japonya ile sınırlı kalmış farklı ülkelerde meydana gelen depremlerden ve Türkiye bina deprem yönetmeliklerinden bahsedilmemiştir.

Literatür incelemesinde yapısal hasarların tekil olarak araştırıldığı görülmüştür. Farklı ülkelerde meydana gelen bina hasarların bir arada incelendiği ve 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre irdelendiği bir çalışma yapılmamıştır. Bu tezin amacı literatürdeki bu eksikliğin giderilmesidir.

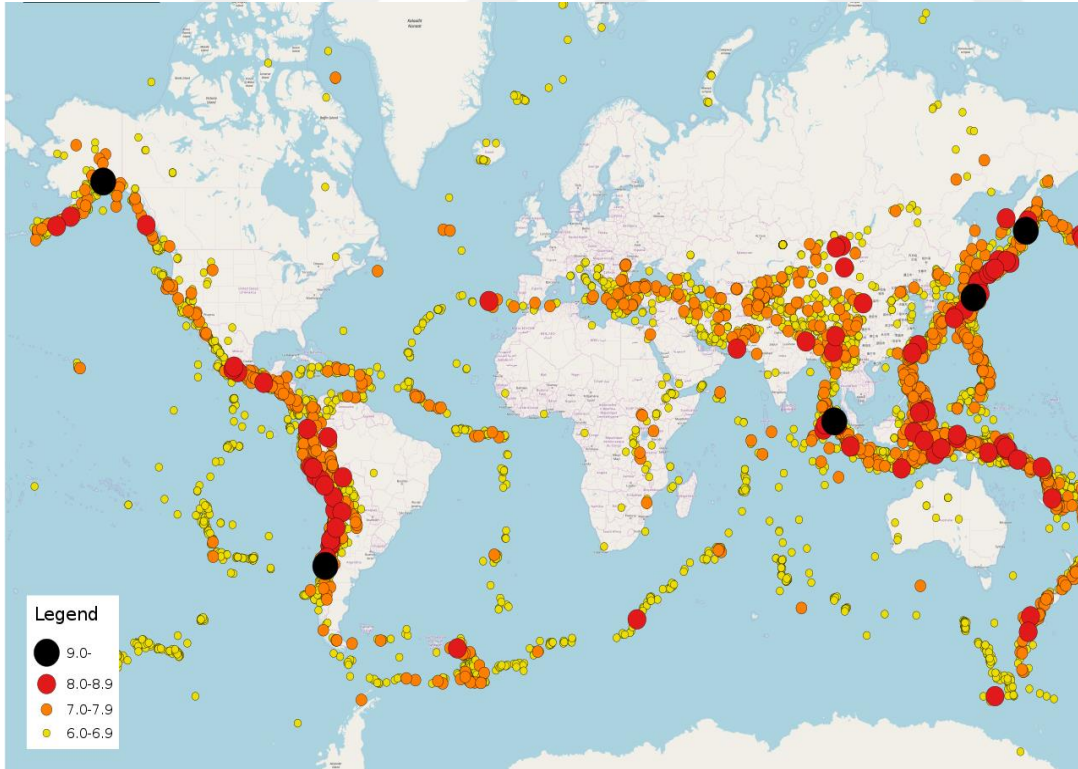
Bu tezde dünyada meydana gelen yapısal hasarlar belirli başlıklar altında toplanmış ve hasarları oluşturan parametreler üzerinde vurgu yapılarak nedenleri üzerinde durulmuştur. Amerika, Avrupa ve Japonya başta olmak üzere birçok ülkenin deprem yönetmelikleri incelenmiştir.

Tezin ilk bölümünde depremler hakkında genel bilgiler verilmiş Türkiye'nin ve dünyanın depremselliği üzerinde durulmuştur. Sonraki bölümlerde burulma düzensizliği, döşeme süreksizlikleri, planda çıkıntılar bulunması, zayıf kat düzensizliği, yumuşak kat düzensizliği, taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği, kapasite tasarımı, çekiçleme etkisi, kısa kolon etkisi, malzeme ve işçilik hatalarından meydana gelen hasarlar ve çözüm yolları incelenmiştir. Sıklıkla görülen hasarların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre çözüm yolları üzerinde durulmuş ve bu çalışma literatüre kazandırılmıştır.

1.3 Deprem Nedir? Nasıl Meydana Gelir?

Yerkabuğu içerisindeki ani göçmeler nedeniyle meydana gelen titreşim dalgalarının geçtikleri ortamları sarsması olayına deprem adı verilir. Yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirlerini sıkıştırarak zorladıkları ve birbirlerinin altına girdikleri levha sınırları, yerküre üzerinde depremlerin sıklıkla olduğu bölgeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Zorlanmakta olan bir levha ile diğer levha arasındaki sürtünme kuvveti aşılması halinde ani olarak bir hareket meydana gelir. Uzun mesafelere ulaşabilen zemin deformasyonu sonucunda deprem dalgaları ortaya çıkar. Yeryüzünde kilometrelerce uzunlukta olabilen bu arazi kırıklarına fay adı verilir.

Şekil 1.1’de 1900 - 2017 yılları arasında yeryüzünde meydana gelen 6,0 ve üzeri büyüklükteki depremlerin dünya haritası üzerinde dağılımı görülmektedir. Depremlerin yoğun olarak meydana geldiği bölgeler aynı zamanda tektonik levha sınırlarıdır. Yeryüzünde meydana gelen en şiddetli depremler bu levha sınırları üzerinde oluşmuştur. Son yüzyılda büyüklüğü 9 ve üzeri olan Şili, Alaska, Sumatra, Tohoku ve Kamchatka Depremleri meydana gelmiş çok sayıda can ve mal kaybına neden olmuştur.



Şekil 1.1 : 1900 - 2017 yılları arasında yeryüzünde meydana gelen depremlerin dağılım haritası (USGS, 2017).

1.4 Deprem Parametreleri

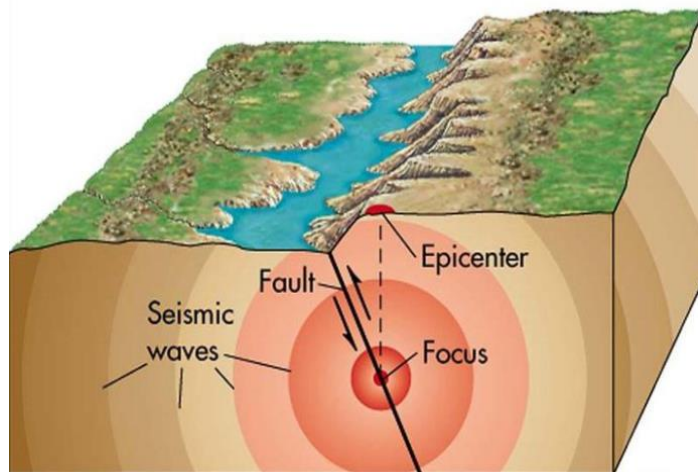
Odak (Hiposantr) : Meydana gelen bir depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktaya odak noktası veya hiposantr denir.

Dış merkez (Episantr): Odak noktasının yeryüzüne olan en yakın mesafesi olarak tanımlanır.

Odak Derinliği: Episantr ile hiposantr arasındaki mesafeye odak derinliği denir. 0-60 km derinlikteki depremler sığ depremler, 60-300 km derinlik arasındaki depremler orta derinlikli depremler, 300 km den daha derinde meydana gelen depremler ise derin deprem olarak tanımlanırlar. Ülkemizde meydana gelen depremler sığ depremler olarak sınıflandırılır.

Şiddet: Depremin insanlar, yapılar ve doğa üzerinde meydana getirdiği etkilerin bir ölçütü olarak tanımlanır. Şiddet cetvelleri ile değerlendirme yapılır. Yaygın olarak Mercalli Cetveli kullanılır.

Magnitüd: Deprem sonrasında açığa çıkan enerjinin ölçüsüdür. C. Richter tarafından 1930 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmuştur. 2800 Büyütmeli 0,8 saniye periyotlu %80 sönümlü wood anderson tipi burulma sarkacı ile kaydedilmiş hareketin mikron cinsinden 10 tabanına göre logaritması magnitüd olarak tanımlanmıştır. Şekil 1.2'de depremin parametreleri olan fay hattı, odak noktası, depremin merkez üssü, fay yüzeyi gibi kavramlar çizim üzerinde gösterilmektedir (AFAD, 2018).



Şekil 1.2 : Fay hattı, odak, dış merkez, odak derinliği ve deprem dalgaları (Wiley ve Sons, 2007).

1.5 Dünya Üzerinde Meydana Gelen Büyük Depremler

Son yüzyılda meydana gelen büyük depremlere bakıldığında en büyük depremin 1960 yılında Şili de meydana gelen 9,5 büyüklüğündeki deprem olduğu görülmektedir. 1900 – 2012 yılları arasında yeryüzünde 8,5 ve üzerinde 15 büyük deprem meydana gelmiştir. Çizelge 1.1’de yeryüzünde meydana gelen önemli depremlerin büyüklükleri, depremin meydana geldiği bölge ve tarihi hakkındaki çizelge görülmektedir.

Çizelge 1.1 : Dünyada meydana gelen en büyük depremler (USGS, 2012).

	Mw	Bölge	Depremin adı	Tarih	Referans
1.	9.5	Bio-Bio, Chile	Valdivia Earthquake	1960.05.22	Kanamori &Anderson,
2.	9.2	Southern Alaska	Alaska Earthquake	1964.03.28	Kanamori &Anderson,
3.	9.1	West Coast of Northern Sumatra	2004 Sumatra Earthquake	2004.12.26	Duputel et al., 2012
4.	9.1	Near the East Coast of Honshu, Japan	Tohoku Earthquake	2011.03.11	Duputel et al., 2012
5.	9.0	Off the East Coast of the Kamchatka Peninsula, Russia	Kamchatka, Russia	1952.11.04	Kanamori, 1976
6.	8.8	Offshore Bio-Bio, Chile	Maule Earthquake	2010.02.27	Duputel et al., 2012
7.	8.8	Near the Coast of Ecuador	1906 Ecuador–Colombia	1906.01.31	Kanamori, 1977
8.	8.7	Aleutian Islands, Alaska	Rat Islands Earthquake	1965.02.04	Kanamori &Anderson,

Çizelge 1.1 (devam) : Dünyada meydana gelen en büyük depremler (USGS, 2012).

	Mw	Bölge	Depremin adı	Tarih	Referans
9.	8.6	Eastern Xizang-India region	Assam, Tibet	1950.08.15	Kanamori, 1977
10.	8.6	West Coast of Northern Sumatra		2012.04.11	Duputel et al., 2012
11.	8.6	Northern Sumatra, Indonesia	Nias Earthquake	2005.03.28	NEIC
12.	8.6	Aleutian Islands, Alaska		1957.03.09	Johnson et al., 1994
13.	8.6	South of Alaska	Earthquake, Alaska	1946.04.01	Lopez & Okal, 2006
14.	8.5	Banda Sea		1938.02.01	Okal, 2003
15.	8.5	Atacama, Chile	Chile-Argentina	1922.11.11	Kanamori, 1977
16.	8.5	Kuril Islands		1963.10.13	Kanamori, 1975
17.	8.4	East Coast of Kamchatka Peninsula, Russia	Kamchatka, Russia	1923.02.03	Okal, 1992
18.	8.4	Sumatra, Indonesia		2007.09.12	NEIC
19.	8.4	Near the Coast of Southern Peru	Peru Earthquake	2001.06.23	Duputel et al., 2012
20.	8.4	Off the East Coast of Honshu, Japan	Sanriku, Japan	1933.03.02	Kanamori, 1971

1.6 Dünya Üzerinde Bulunan Aktif Fay Hatları

Tektonik plakaların sınırları boyunca oluşan sıkışma fay hatlarının meydana gelmesine neden olur. Levha sınırları boyunca sismik aktivite nedeniyle büyük depremler meydana gelir. Dünya üzerinde aktif olarak deprem üreten birçok fay hattı vardır. Bunların içerisinde belki de en çok bilineni Kuzey Amerika'nın Pasifik Okyanusu kıyısından geçip Meksika sınırı boyunca devam eden ve Kaliforniya Eyaleti'ni ikiye bölen San Andreas Fayı'dır. Türkiye'deki Kuzey Anadolu Fay Hattı ile de birçok benzer özellik taşıyan fay zonu tarih boyunca yıkıcı depremler üretmiş yanal atımlı bir fay hattıdır (Ketin, 1976). Çizelge 1.2'de dünyadaki aktif fay hatları ve ürettikleri büyük depremler sıralanmıştır.

Çizelge 1.2 : Dünyadaki aktif fay hatları ve ürettikleri depremler (USGS, 2012).

Fay hattı	Uzunluk [km]	Bölge	Hareket Yönü	Ürettiği Deprem
Port Hills Fault		South Island, New Zealand		2011 Christchurch (M6.3)
Gulf of California Rift Zone	1300	Mexico	Rift zone	2010 Mexicali (M7.2)
Enriquillo-Plantain fault zone		Hispaniola	Sinistral strike-slip	2010 Haiti (M7.0)
Greendale Fault		South Island, New Zealand	Dextral strike-slip	2010 Canterbury (M7.1)
Alpine Fault	1400	South Island, New Zealand	Dextral strike-slip	2009 Fiordland (M7.8)
Longmen Shan Fault		Sichuan, China	Thrust fault	2008 Sichuan (M8.0)
Kego Fault		Japan		2005 Fukuoka (M7.0)
Sunda subduction mega thrust	5000	South East Asia	Subduction zone	2004 Banda Aceh(M9.1), 2005 Nias (M8.6), 2007 Bengkulu (M8.4)

Çizelge 1.2 (devam) : Dünyadaki aktif fay hatları ve ürettikleri depremler
(USGS, 2012).

Fay hattı	Uzunluk [km]	Bölge	Hareket Yönü	Ürettiği Deprem
Denali Fault		British Columbia, Canada to Alaska, United States	Dextral strike-slip	2002 Denali (M7.9)
Kunlun fault	1500	Tibet	Sinistral strike-slip	2001 Kunlun (M7.8)
Alaska-Aleutian Megathrust	3600	Kamchatka, Russia to Gulf of Alaska	Subduction zone	1964 Prince William Sound (M9.2), 1965 Rat Islands(M8.7), 1957 Andreanof Islands (M8.6)
Chile subduction megathrust	3000	West coast of Chile	Subduction zone	1960 Valdivia (M9.5); 2010 Maule(M8.8); 2014 Iquique (M8.2)
Great Sumatran Fault		Sumatra, Indonesia	Strike-slip	1943 Alahan Panjang(M7.2), 1994 Liwa (M7.0)
Imperial Fault Zone		California, United States	Dextral strike-slip	1940 El Centro (M6.9), 1979 Imperial Valley (M6.4)
North Anatolian Fault		Turkey	Dextral strike-slip	1939 Erzincan (M7.8), 1912 Ganos(M7.4), 1999 Izmit (M7.4), 1999 Düzce (M7.2)
North Aegean Trough	250	North Aegean Sea, Greece, Turkey	Dextral strike-slip	1912 (M7.6); 1982 (M6.7); 2014 (M6.9)
San Andreas Fault System	1300	California, United States	Dextral strike-slip	1906 San Francisco (M7.7 to 8.25), 1989 Loma Prieta (M6.9)

1.7 Dünyada Meydana Gelen Depremlerin Neden Olduğu Ekonomik Kayıplar

1900’lü Yıllardan sonra dünyada meydana gelen 245 büyük deprem 154’den fazla ülkede dolaylı dolaysız ciddi ekonomik kayıplara neden olmuştur. Bu depremlerden en ağır ekonomik hasara neden olanı 2011 yılında Japonya’da meydana gelen Tohoku Depremi’dir. Bazı depremlerde dolaylı kayıplar depremin verdiği hasarlardan çok daha büyük olabilmektedir. Çizelge 1.3’de dünyada meydana gelen büyük depremlerin neden olduğu ekonomik kayıplar tablo halinde sunulmuştur. Türkiye’de meydana gelen Kocaeli Depremi en büyük ekonomik kayıplara neden olan ilk 10 deprem arasında yer alır.

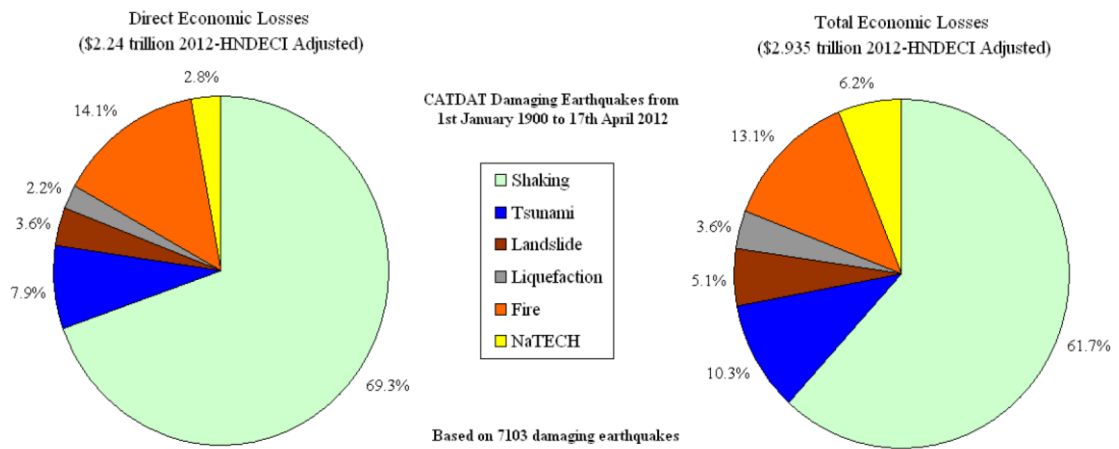
Çizelge 1.3 : Dünyada meydana gelen büyük depremlerin neden olduğu ekonomik kayıplar (Daniell, 2012).

Sıra no	Deprem	Ülke	Tarih	Ekonomik Kayıp (Milyar Dolar)	Ülke Bütçesi (Milyar Dolar)	Ekonomik Kaybın Bütçeye Oranı (%)
1	Tohoku	Japan	2011	\$38.75	\$6157	0.6
2	Northridge	USA	1994	\$23.53	\$7309	0.3
3	Christchurch	NZ	2011	\$16.46	\$168	9.76
4	Great Kanto	Japan	1923	\$14.58	-	-
5	Maule	Chile	2010	\$13.30	\$218	6.10
6	Kobe	Japan	1995	\$6.56	\$5449	0.12
7	San Francisco	USA	1906	\$6.14	-	-
8	İzmit	Turkey	1999	\$8.46	\$537	1.5
9	Darfield	NZ	2010	\$4.94	\$146.6	3.36
10	Sumatra	Many	2004	\$4.224	\$256	1.65
11	Loma prieta	USA	1989	\$2.58	\$4041	0.06

Deprem sonrasındaki hasarlar dolaylı ve dolaysız olmak üzere iki ayrı başlık altında incelenebilir. Dolaylı hasarlar depremin neden olduğu tsunami, toprak kayması, yangın, sivilaşma problemi olarak tanımlanabilir. Dolaylı hasarda deprem ikinci plandadır. Dolaysız hasarlar ise depremin neden olduğu hasarlardır. 1987 yılında Ekvator’da meydana gelen depremdeki dolaylı hasar deprem hasarının yaklaşık 7 katıdır.

2011 yılında Japonya’da meydana Tohoku Depremi’nden sonra oluşan tsunami depremin meydana getirdiği hasardan çok daha büyük hasarlar oluşmasına neden olmuştur. Benzer bir durum da 1995 yılında meydana gelen Kobe Depremi’nden sonra görülmüştür. Deprem sonrasında çıkan yangında pek çok geleneksel ahşap Japon evi yanmış, sivilaşma ve benzeri nedenlerden dolayı Kobe Limanı hasar görmüştür. Bu nedenlerden dolayı depremin neden olduğu dolaylı hasarlar depremin neden olduğu ekonomik kayıpları ciddi anlamda arttırmıştır.

Depremler sonrasında meydana gelen hasarlar analiz edildiğinde %45 konut türü yapılarda hasar gözlemlenirken %55 oranında devlet kurumları, eğitim kurumları, sağlık tesisleri ve alt yapı tesislerinin hasar aldığı görülmektedir. Sonuç olarak 1900-2012 yılları arasında depremlerin meydana getirdiği dolaylı ya da dolaysız hasarların dünya ekonomisine kaybı yaklaşık olarak 2,9 trilyon dolar olduğu hesaplanmaktadır (Daniell, 2012). Şekil 1.3’de depremlere bağlı sonradan meydana gelen yangın tsunami, sivilaşma gibi dolaylı hasarların ekonomik hasarlar içerisinde dağılımı görülmektedir. Yangınlar ve tsunamiler yer sarsıntılarında sonra en büyük ekonomik kayıplara neden olan afetlerin başında sıralanabilir.



Şekil 1.3 :1900 – 2012 Yılları arasında meydana gelen 7103 deprem sonucunda oluşan dolaylı ve dolaysız hasarların ekonomik dağılımı (Daniell, 2012).

Çizelge 1.4 : Türkiye’de meydana gelen şiddetli depremler.

TARİH	YER	MAG.	CAN KAYBI	HASARLI BİNA
27.12.1939	ERZİNCAN	7.9	32968	116720
17.8.1999	Gölcük (KOCAELİ)	7.8	17480	73342
24.11.1976	Muradiye (VAN)	7.5	3840	9232
12.11.1999	DÜZCE	7.5	763	35519
9.8.1912	Mürefte (TEKİRDAĞ)	7.3	216	5540
27.11.1943	Ladik (SAMSUN)	7.2	4000	40000
1.2.1944	Gerede-Çerkeş (BOLU)	7.2	3959	20865
18.3.1953	Yenice (ÇANAKKALE)	7.2	265	6750
28.3.1970	Gediz (KÜTAHYA)	7.2	1086	19291
23.10.2011	VAN	7.2	644	17005
25.4.1957	Fethiye Rodos(MUĞLA)	7.1	67	3200
26.5.1957	Abant (BOLU)	7.1	52	5200
4.10.1914	BURDUR	6.9	300	6000
13.8.1951	Kurşunlu (ÇANKIRI)	6.9	50	3354
19.8.1966	Varto (MUŞ)	6.9	2396	20007
30.10.1983	ERZURUM – KARS	6.9	1155	3241

1.9 Depremler Sonrasında Binalarda Görülen Tipik Yapı Hasarları

Depremler sonrasında sismik etkilere maruz kalan yapılarda çeşitli yapısal hasarlar gözlemlenmektedir. Taşıyıcı sistem, deprem karakteristik özelliği, yapı kalitesi, zemin durumu gibi parametreler yapının deprem davranışında oldukça etkilidir. Dünyanın farklı bölgelerinde, değişik zaman dilimlerinde meydana gelen büyük depremler incelendiğinde yapı hasarlarının ciddi anlamda benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 1.5: Farklı depremlerde görülen benzer yapı hasarları listesi
(Herrera ve Soberon, 2008).

Deprem	M _w	Yazar	Kısa kolon etkisi	Kolon süreksizliği	Yumuşak ve zayıf kat	Burulma	Yapısal tasarım kalitesi	Çekiçleme etkisi	Yönetmelik yetersizliği	Bağlantı noktaları	Zayıf kolon Güçlü Kiriş	Kalitesiz malzeme
Asnam, Algeria 10/10/1980	7.3	EERI, 1983	*		*	*	*	*	*		*	*
Viña del Mar,Chile 03/03/85	7.8	ICH, 1988		*		*	*		*		*	*
L. Prieta, USA17/10/89	6.9	EERI, 1989			*			*	*			
Spitak, Armenia 07/12/88	6.8	Tena, 2004				*	*		*	*		*
Luzon, Philippines 16/07/90	7.8	Hopkins,1993			*	*	*					*
Erzincan, Turkey 13/03/92	6.7	Saatcioglu and Bruneu,1993	*		*	*	*		*		*	*
Northridge, United States 17/01/94	6.7	Tena, 2004	*			*	*		*	*		

Çizelge 1.5 (devam) : Farklı depremlerde görülen benzer yapı hasarları listesi
(Herrera ve Soberon, 2008).

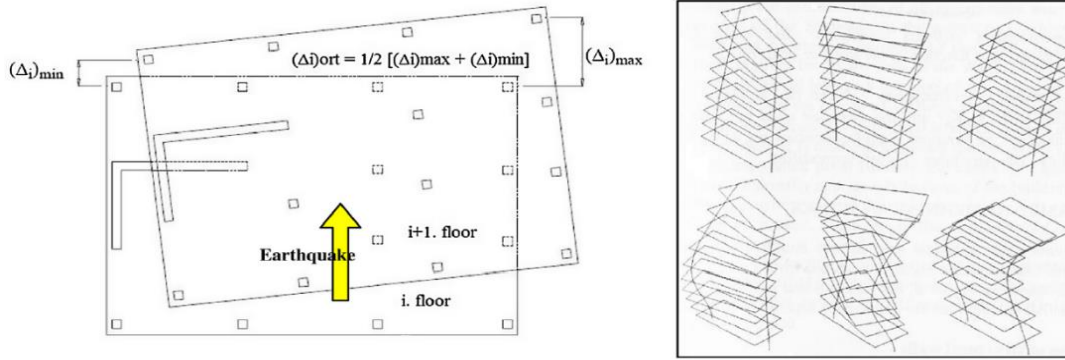
Deprem	M _w	Yazar	Kısa kolon etkisi	Kolon süreksizliği	Yumuşak ve zayıf kat	Burulma	Yapısal tasarım kalitesi	Çekiçleme etkisi	Yönetmelik yetersizliği	Bağlantı noktaları	Zayıf kolon Güçlü Kiriş	Kalitesiz malzeme
Kobe, Japan 17/01/95	6.9	Tena, 2004				*	*	*	*	*		*
Kocali, Turkey 17/08/99	7.4	Naeim et al,	*		*	*	*	*	*	*	*	*
Chi-Chi, Taiwan 21/09/99	7.6	Tsai et al, 2000	*	*	*		*		*	*	*	*
San Salvador, El Salvador 13/01/01	7.6	Alarcón, 2005			*	*	*	*	*		*	*
Bhuj, India 26/01/01	7.7	Humar, 2001	*		*	*	*			*		
Tecomán, México 21/01/03	7.8	Alcocer, 2006			*	*	*		*			*
Bingöl, Turkey 01/05/03	6.4	Dogang ün, 2004	*		*		*	*	*	*		
Lefkade, Greece 14/08/03	6.2	Karakos 2005	*		*	*	*		*			
Bam, Iran 26/12/03	6.5	Tena, 2004			*	*	*		*			*
Sumatra, Indonesia 26/12/04	9.3	CAEE, 2005	*		*		*		*	*	*	*
Pisco, Peru 15/08/07	8.0	Klinger, 2007			*	*	*	*	*	*		*
Wenchuan, China 12/05/08	8.3	Xiao, 2008	*		*	*	*	*	*		*	*

Çizelge 1.5’de dünyada farklı zamanlarda ve farklı bölgelerde meydana gelen depremler sonucunda oluşan yapı hasarları belirli başlıklar altında toplanmış ve liste halinde sunulmuştur. Kısaca yapısal hasarları on başlık halinde özetlemek mümkündür.

2. BURULMA DÜZENSİZLİĞİ

2.1 Burulma Düzensizliği Nedir?

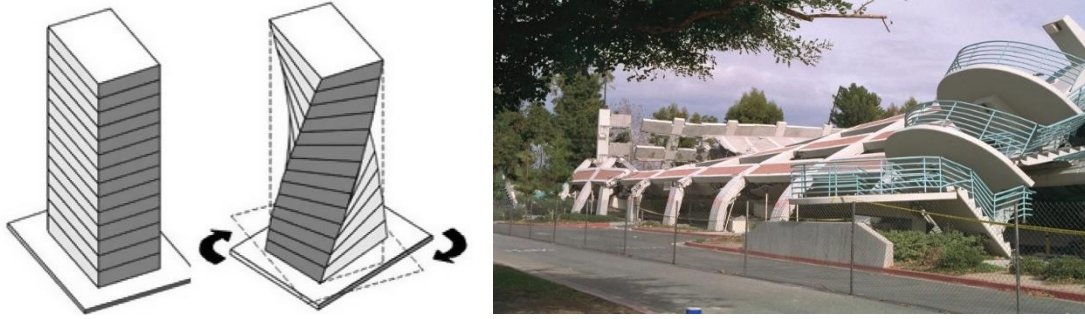
Herhangi bir katta meydana gelen en büyük görece yer değiştirmenin ortalama görece yer değiştirmeye bölünmesi ile elde edilen değer 1,2'den büyük olduğu şartlarda meydana gelen düzensizliğe burulma düzensizliği denir. Burulma düzensizliği katsayısı olarak tanımlanan η_b 'nin 2,0 üst sınır değerini aşması halinde yapılarda aşırı burulma düzensizliği gözlemlenir. Bu koşullarda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulaması uygun görülmez ve yapıya dinamik hesap yapılması önerilir (Özmen, 2004). Şekil 2.1'de Deprem yönetmeliğinde tanımlanan burulma mekanizması ve şematik olarak burulma hadisesi görülmektedir.



Şekil 2.1 :Burulma düzensizliği oluşum mekanizması (Özmen, 2004).

Burulma düzensizliği özellikle orta yaşlı ve sünek tasarım yapılmayan binalarda kesme kuvveti etkisiyle ciddi hasarların oluşmasına neden olur. Büyük yer değiştirmeler, sünek olmayan kolon ve perdeler burulma nedeniyle göçme risklerini artırır. Zayıf kat düzensizliği, yeterince detaylandırılmamış donatı sistemi, farklı düzensizlikleri içerisinde barındıran yapılarda bu tip burulma hasarları pek çok deprem sonrasında karşımıza çıkmaktadır. Yeni Zelanda'da 2011 yılında meydana gelen Christchurch Depremi'nde de burulma düzensizliği nedeniyle pek çok bina ağır hasar görmüş ve yıkılmıştır (Marcilla ve Leil, 2018).

Şekil 2.2’de burulma etkisinin binada şematik olarak gösterimi ve 1994 yılında Amerika’da meydana gelen Northridge Depremi’nde burulma hasarı gözlemlenen bir yapı görülmektedir.



Şekil 2.2 :Burulma etkisi ve 1994 Northridge Depremi sonrasında burulma hasarı gözlenen bir bina (FEMA 454, 2006).

2.2 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Burulma Düzensizliği

2.2.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği’nde burulma düzensizliği

ASCE-7’de (2016) burulma düzensizliği normal ve aşırı burulma düzensizliği olarak iki bölüme ayrılarak incelenmiştir. ASCE-7’ye göre bir kattaki en büyük kat ötelemesinin aynı doğrultudaki ortalama kat ötelemesine oranı 1,2’den büyük ise normal burulma, 1,4 den büyük ise aşırı burulma düzensizliği olarak tanımlanmıştır.

2.2.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği’nde burulma düzensizliği

Eurocode 8’de (2004) burulma düzensizliği %5 dış merkezlikte etkiyen yanal deprem kuvveti altında her bir kattaki en büyük rölatif yer değiştirme miktarının ortalama kat yer değiştirmesine oranlanması ile elde edilen değer 1,2 den büyük olması olarak tanımlanmıştır.

2.2.3 Japonya Deprem Yönetmeliği’nde burulma düzensizliği

Japonya Deprem Yönetmeliği’nde (2007) rijitlik dış merkezliliği her bir kat için 0.15’den eşit ya da küçük olması istenir. Rijitlik dış merkezliliği kök içerisinde burulma rijitliğinin yatay rijitliğe bölünmesiyle elde edilir.

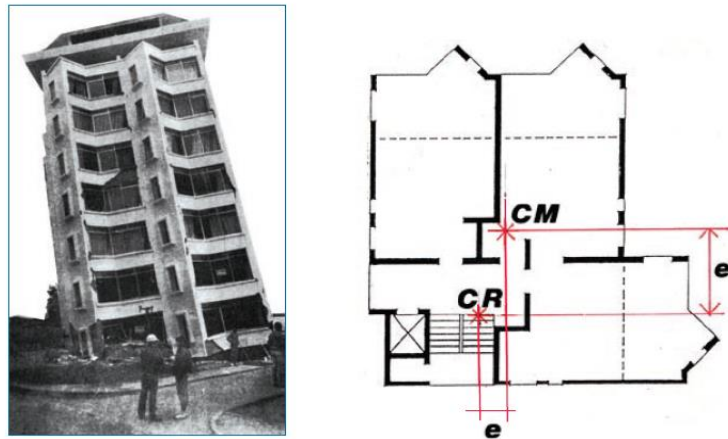
Burulma düzensizliği birçok ülkenin deprem yönetmeliğinde benzer şekilde incelenmiştir. ASCE-7’de (2016) aşırı burulma düzensizliği diğer yönetmeliklere göre daha katı kural getirilerek incelenmiştir.

2.3 Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler

Burulma düzensizliği katsayısının 1,20'den büyük olmasında etkili olan faktörlerin başında yapının plan geometrisinin uygun olmayışı, planda rijitlik davranışının yeterli olmaması, asimetrik konumdaki perdeler, yapının kütle merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki fark gibi birçok neden sıralanabilir. Binalarda mimari tasarım ve estetik kaygılar nedeniyle asimetrik taşıyıcı sistemler tercih edilmektedir. Gerekli önlemler alınmayan bu tip binalarda burulma düzensizlikleri sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.

2.4 Hareketli Yük Ve Dolgu Duvar Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi

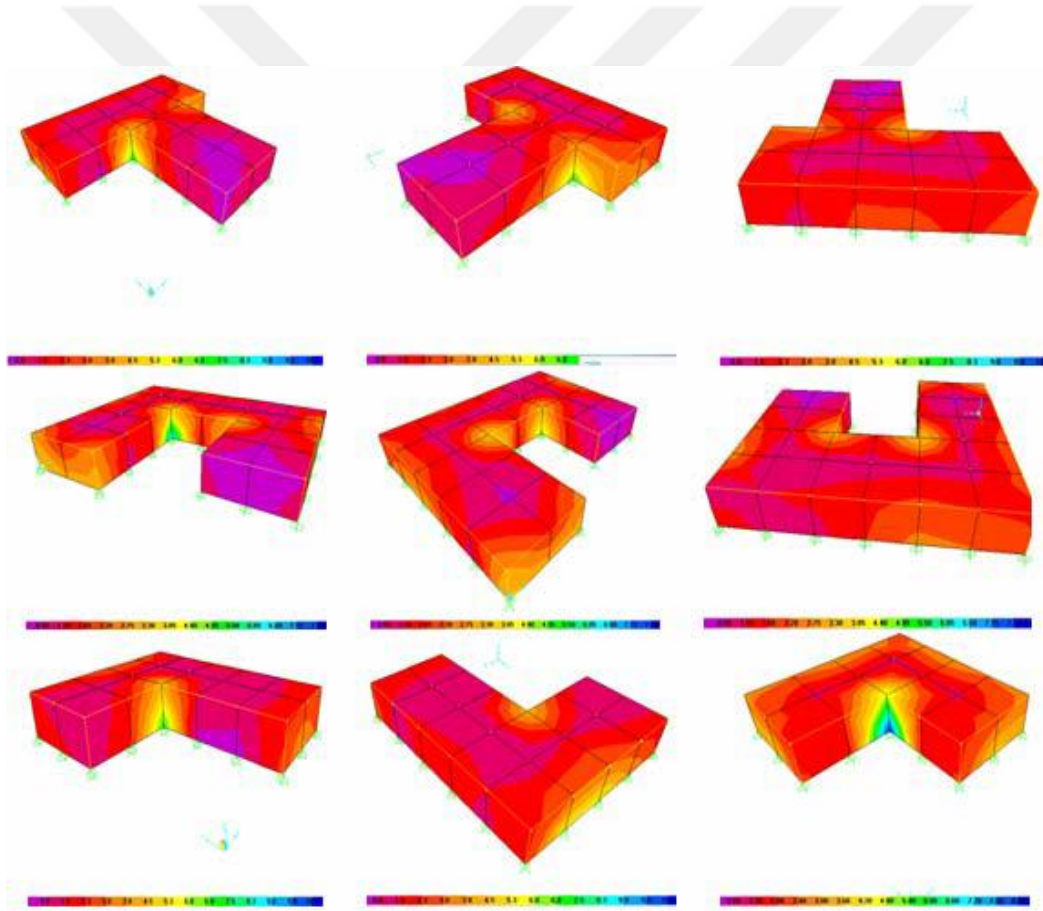
Yapılarda kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki aşırı dış merkezlik farkları burulma kaynaklı yapısal hasarların temel nedeni olarak sayılabilir. Dışmerkezlik farklarının oluşmasında asıl neden perde kolon yerleşimleri olarak düşünülse de hareketli yük ve dolgu duvarların yerleşimi de burulma etkisine ciddi anlamda katkı sağlamaktadır. Daire tadilatları, işyeri büyütme dolgu duvarların kaldırılması kat ötelemelerini ve burulma etkilerini artırmaktadır. Burulma düzensizliği özellikle yapılarda 2. mertebe etkilerine neden olmakta ve yapının deprem performansını olumsuz yönde etkilemektedir (FEMA454, 2006). Şekil 2.3'de kütle merkezi ile ağırlık merkezi arasında farklılık bulunan ve Şili 1985 Depremi'nde burulma nedeniyle ağır hasar alan bir bina görülmektedir.



Şekil 2.3 : Kütle merkezi ile ağırlık merkezi farklı bir bina (FEMA454, 2006).

2.5 Plan ve Geometrinin Burulma Düzensizliğine Etkisi

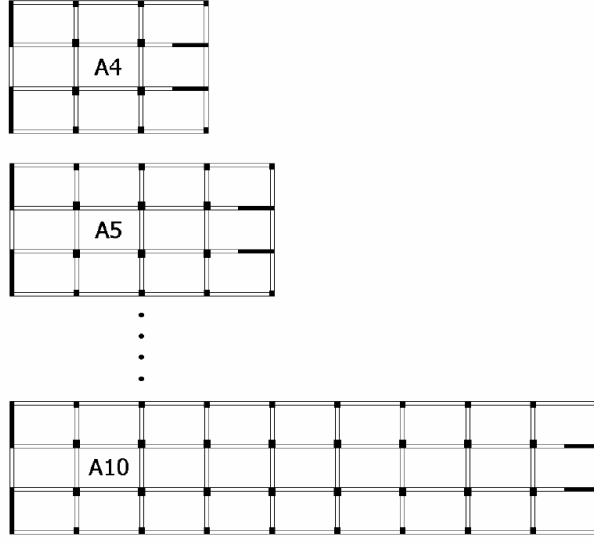
Simetrik planlı olarak tasarlanmış, düzenli kolon taşıyıcı sistemi olan yapılarda burulma düzensizliği genel olarak gözlemlenmemektedir. Perde taşıyıcı sistem tercih edilmesi halinde perdelerin simetrik olarak yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Asimetrik tasarlanmış perdeler burulmanın en büyük nedenleri arasında sayılabilir. Mimari gereksinimler nedeniyle asimetrik kesitli L, T ve U şekilli yapılar sık sık karşımıza otel hastane apartman gibi yapılar olarak çıkmaktadır. Bu tip yapılarda temel olarak iki problem sıklıkla gözlemlenmektedir. Bunlardan birincisi, burulma problemi ikincisi ise L köşelerinde yerel gerilme yığılmalarıdır (FEMA454, 2006). Şekil 2.4’de L,T ve U mimari formlu yapılarda gerilme dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.4 : L, T ve U Formlu binalarda gerilme artışı (Herrera ve Soberon, 2008).

2.6 Burulma Düzensizliğinin Aks Sayısına Göre Değişimi

Özmen (2004) tarafından burulma düzensizliği katsayılarının incelenmesi için y yönünde farklı aks sayısına sahip 10 katlı bina modelleri için deprem analizleri yapılmış ve aks sayısının burulma düzensizliği katsayısına etkisi incelenmiştir. Şekil 2.5’de analizi yapılan taşıyıcı sistem kalıp planı görülmektedir. 4,5,6,7,8,9 ve 10 akslı bir yapı için analiz yapılmış ve burulma düzensizliği incelenmiştir.



Şekil 2.5 : Farklı aks sayısına sahip binalar (Özmen, 2004).

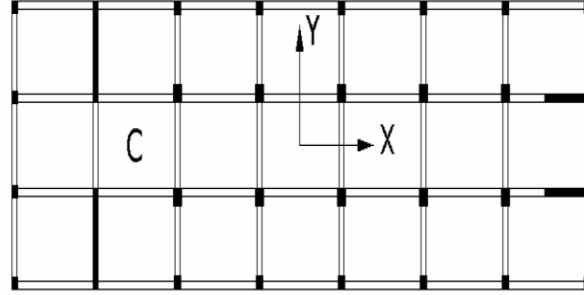
Şekil 2.6’da farklı akslar için burulma düzensizlik katsayıları görülmektedir. Sınır durum olarak kabul edilen minimum akslı sistemler için sistem küçük bir değer almaktayken maksimum değere ulaşmış aks sayısı arttıkça burulma düzensizliği katsayısı azaldığı görülmektedir. En büyük burulma düzensizliği katsayısı 5 akslı yapıda görülürken en düşük değer 10 akslı yapıda görülmüştür.



Şekil 2.6 : 10 Katlı farklı aks sayısına sahip binalarda burulma düzensizliğinin değişimi (Özmen, 2004).

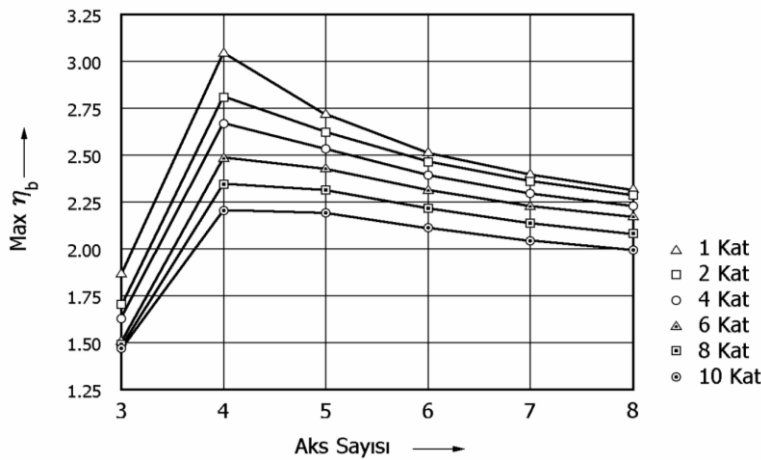
2.7 Burulma Düzensizliğinin Kat Sayısına Göre Değişimi

Özmen (2004) tarafından şekil 2.7’de kalıp planı bulunan yapı için 1, 2, 4, 6 ve 8 katlı ve 3,4,5,6,7 ve 8 akslı modeller oluşturulmuştur. Her bir bina için deprem hesabı yapılarak burulma analizleri değişimi grafik olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.7 : Kat sayısına göre burulma analizi yapılan yapının kalıp planı (Özmen, 2004).

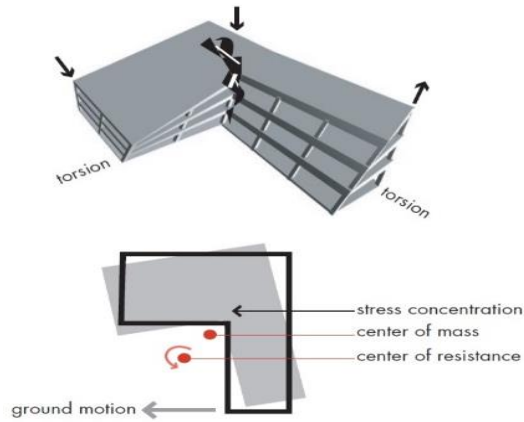
Yapılan analiz sonucunda şekil 2.8’de görülen burulma düzensizliği değişim grafiği elde edilmiştir. 1 katlı 4 akslı binada en yüksek burulma katsayısı değerine ulaşılmıştır. Az katlı yapılarda aşırı burulmaların sebebi perdelerin elverişsiz konumda yerleştirilmesi ve perde alanlarının az katlı yapılar için gerekli olan değerden daha fazla olması olarak yorumlanabilir. Yapılarda perde kullanımının deprem performansına yaptığı katkılar azımsanmayacak kadar önemlidir. Fakat aşırı ve istenmeyen lokasyonlarda konumlandırılan perdeler binaların burulma düzensizliğini ciddi manada arttırmaktadır.



Şekil 2.8 :Farklı kat ve aks sayılı binalarda burulma düzensizliğinin değişimi (Özmen, 2004).

2.8 Burulma Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları

2017 yılında Meksika’da meydana gelen 7,1 büyüklüğündeki PGA’sı 0.05g ivmeli depremde meydana gelen hasarlar incelendiğinde 46 bina yıkılmış 219 bina ağır hasar görmüştür. Yıkılan binaların %41’i L geometrili mimari yapıya olup burulma nedeniyle kullanılamaz hale geldiği tespit edilmiştir. Meksika’da 1985 yılında meydana gelen 8,0 büyüklüğündeki Michoacan Deprem’inde de benzer karakteristik hasarlar gözlemlenmektedir (Galvis ve diğ., 2017). Şekil 2.9’da ise 1964 Alaska Depremi’nde hasar gören bir okul binası ve hasar oluşum mekanizması şematik olarak görülmektedir. Yapı L şeklinde inşa edilmiş olup bina blokları arasında derz bırakılmamıştır. Deprem etkisi nedeniyle binada oluşan gerilme artışı ve rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki farklılık yapının burulmasına neden olmuştur.



Şekil 2.9 : 1964 Alaska Depremi’nde hasar gören L planlı bir okul binası ve hasar oluşum mekanizması (FEMA454, 2006).

1999 Kocaeli Depremi'nde Şekil 2.10 (a)'da görülen kamu binasında burulma etkisiyle ağır hasar meydana gelmiştir. Aynı yıl Tayvan'da meydana gelen 7,6 büyüklüğündeki 1999 Chi Chi Depremi'nde birçok binada benzer burulma hasarı yapılan saha incelemelerinde görülmüştür. Şekil 2.10 (b)'de görülen iş merkezinde deprem sonrasında burulma etkisiyle yapı kullanılamaz hale gelmiştir. Yapının plan ve geometrisindeki düzensizlik burulma hasarının nedeni olarak söylenebilir. Binalarda merdiven ve asansör kovaları perde olarak teşkil edilmektedir. X ve Y yönünde simetrik olarak tasarlanmayan rijit perdeler deprem anında yapının deprem performansını olumsuz etkilemekte ve yapıların burulmasına neden olmaktadır. Asimetrik perdeler, kapalı ve açık çıkmalar bina kütle merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki dışmerkezlik farkını attırmakta burulma düzensizliğine sebep olmaktadır. Benzer burulma hasarlarını 1999 Chi Chi, 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge Depremi gibi birçok deprem bölgesinde gözlemlemek mümkündür.

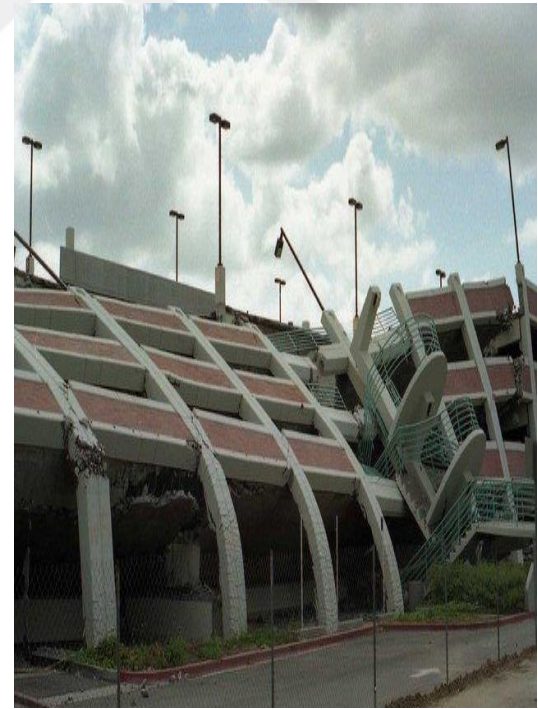


Şekil 2.10 : (a)1999 Kocaeli Depremi sonrasında burulma hasarı gözlenen kamu binası (Çağatay ve diğ., 2011). (b) 1999 Chi Chi Depremi sonrasında burulma hasarı gözlemlenen bir bina (Everington, 2018).

Şekil 2.11 (a) da görülen görselde 2006'da Tayvan'da meydana gelen Tainan Depremi'nde bina burulma hasarına maruz kalmış ve göçmüştür. Yapılarda mimari açıdan düzensizlikler barındırması burulma hasarına neden olmuştur. Benzer bir burulma hasarı da şekil 2.11 (b)'de 1995 Kobe Depremi'nde meydana gelmiş bina göçmüştür. Şekil 2.12'de ise Amerika'da meydana gelen 1989 Loma Prieta Depremi ve 1994 Northridge Depremi'nde meydana gelen burulma hasarları görülmektedir. Yapıların planda çok uzun olması, bölme duvarların süreksizliği, simetrik konumlandırılmayan perdeler burulma hasarının muhtemel sebebidir.



Şekil 2.11 : (a) 2006 Tayvan Tainan Depremi sonrasında gözlemlenen burulma hasarı (Chung, 2016). (b) 1995 Kobe Depremi'nde meydana gelen burulma hasarı (Meguro ve Elkholy, 2004).

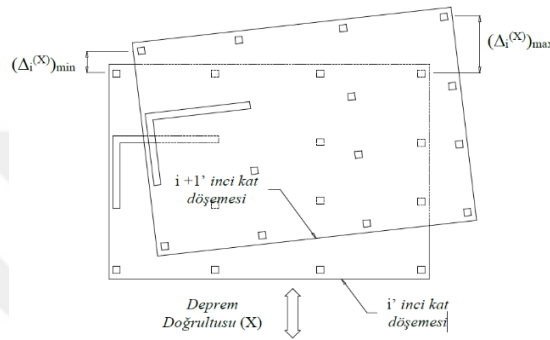


Şekil 2.12 : (a) 1989 Loma Prieta Depremi'nde meydana gelen burulma hasarı (Wilkey, 2011). (b) 1994 Northridge Depremi'nde meydana gelen burulma hasarı (FEMA 454, 2006).

2.9 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Burulma Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler

TBDY (2018) de “A1 - Burulma Düzensizliği” herhangi bir deprem doğrultusu için bir kattaki en büyük görelî kat ötelemesinin aynı kattaki ortalama görelî kat ötelemesine bölünmesi ile elde edilen burulma düzensizlik katsayısının (η_{bi}) 1,2'den büyük olması durumu olarak ifade edilmektedir. Şekil 2.13'de burulma düzensizliği oluşum mekanizması gösterilmektedir.

$$[\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2]$$



Şekil 2.13 : A1 - Burulma düzensizliği (TBDY, 2018).

Döşemelerin rijit diyafram olarak çalışması durumunda burulma düzensizliği;

$$(\Delta_i(X))_{ort} = 1/2 [(\Delta_i(X))_{max} + (\Delta_i(X))_{min}] \quad (\text{Denklem 2.1})$$

$$\eta_{bi} = (\Delta_i(X))_{max} / (\Delta_i(X))_{ort} \quad (\text{Denklem 2.2})$$

$$\eta_{bi} > 1,2 \quad (\text{Denklem 2.3})$$

Ayrıca yönetmelikte burulma düzensizliğinin engellenmesi amacıyla bina taşıyıcı sisteminin dengeli tasarlanması önerilmektedir. Bina bloklarının planda çok uzun olması nedeniyle taşıyıcı sistemin derzlerle birbirinden ayrı bloklara dönüştürülmesinden kaçınılması vurgulanmıştır. Taşıyıcı sistemde burulma etkilerini ortadan kaldırmak ve tehlikeli burulma titreşimlerini önlemek için gerekli dayanım ve rijitliğin sağlanması önerilir. Bu nedenle taşıyıcı sistem elemanları mümkün olduğunca yapının çevresinde oluşturulmalıdır.

3. DÖŞEME SÜREKSİZLİKLERİ DÜZENSİZLİĞİ

3.1 Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliği Tanımı

Binalarda merdiven kovası, aydınlık, asansör boşluğu gibi amaçlarla bırakılan yerel döşeme yırtıkları döşeme içerisinde ani dayanım azalmasına neden olur. Oluşturulan bu boşluklar yatay deprem yüklerinin çerçeveler arasında güvenle aktarılmasını engeller ve döşeme süreksizliği düzensizliğinin oluşmasına neden olur. Döşeme plağının rijit diyafram olarak düzlemi içerisinde şekil değiştirmeden davranması istenir.

Özellikle deprem bölgelerinde inşa edilen yapılarda mimari kaygılar nedeniyle yapılan hatalar, yanlış seçimler deprem etkileri karşısında yapılarda ciddi hasarlara neden olmaktadır. Binalarda ışıklık, havalandırma, merdiven boşluğu gibi döşeme boşlukları sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Döşemelerin kesintiye uğradığı bu bölgelerde yanal deprem kuvvetinin kesintiye uğramadan kolonlara aktarılması gereklidir. Döşemelerin diyafram olarak çalışması ve taşıyıcı sistem performansına etki etmemesi istenmektedir. Döşeme boşluğu nedeniyle kirişlerde süreksizlikler meydana gelir ve binalarda yanal ötelenmeler ciddi oranda artar. Bu durum deprem performansı açısından istenmeyen bir durumdur. Ayrıca döşeme boşluklarının asimetrik olması yapılarda burulma düzensizliğine de neden olur (Öztürk, 2013). Alışveriş merkezi, otel, okul ya da kamu binalarında mimari nedenlerden dolayı genellikle bina ortalarında oluşturulan büyük galeri boşlukları sıklıkla karşımıza çıkar. Bu bölgelerde oluşturulan büyük döşeme yırtıklarında kirişler kesintiye uğrar ve çerçeve sistem tam olarak oluşturulamaz. Çerçeve sistemin kesintiye uğraması sismik etkiler altında yapıda istenen rijitliğin sağlanamamasına ve binada aşırı yer değiştirmelerin meydana gelmesine neden olur. Zorlanan taşıyıcı sistem elemanlarında göçmeler meydana gelir ve yapı hasar görür.

3.2 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliği

3.2.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği'ne göre döşeme süreksizlikleri düzensizliği

ASCE-7'de (2016) döşeme süreksizlikleri, döşemelerde bırakılan boşluklar ve sonradan oluşturulan döşeme boşlukları olmak üzere iki farklı kategoride incelenmiş ve belirli kısıtlamalar getirilmiştir. Herhangi bir kattaki toplam döşeme alanının %50'sinden fazla boşluk olması veya komşu iki kat arasındaki döşeme boşluğunda %50 oranda ani değişim olması halinde döşeme düzensizliği meydana geldiği vurgulanmıştır. Bu durumlarda önlem olarak taşıyıcı sistemlerin diyafram bağlantı noktalarındaki kesit tesirlerinin %25 oranında artırılarak statik hesaba katılması gerekmektedir.

3.2.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği'ne göre döşeme süreksizlikleri düzensizliği

Eurocode 8'de (2004) döşeme süreksizliği üzerinde çok durulmamış, döşemenin düzlem içi rijitliğinin çok büyük olmaması ve kat kesme kuvvet etkisinin ihmal edilmemesi gerekliliği vurgulanmıştır. Döşemenin düzlem içi şekil değiştirme etkisinin ihmal edilmemesi üzerinde durulmuştur.

3.2.3 Farklı ülkelerin yönetmeliklerinde döşeme süreksizlikleri düzensizliği

Çizelge 3.1'de farklı ülkelerin deprem yönetmeliklerindeki döşeme süreksizliği düzensizliği durumu ile ilgili sınırlamalar görülmektedir. Toplam kat alanının yüzdelik olarak aşılması gereken boşluk oranı listesi sıralanmıştır.

Çizelge 3.1 : Farklı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde döşeme süreksizliği düzensizliğine getirilen sınırlamalar

Ülke	İzin verilen maksimum döşeme boşluğu	Ülke	İzin verilen maksimum döşeme boşluğu
Türkiye	33%	Dominik	15%
ABD	50%	El Salvador	20%
Meksika	20%	Endonezya	25%
Kore	50%	Panama	50%
Kolombiya	50%	İsrail	50%
Cezayir	15%	Filipinler	50%
Meksika	20%	Venezuela	20%

3.3 Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları

Deprem anında döşeme plağının şekil değiştirmeden rijit olarak yük aktarması istenir. Döşemelerde oluşturulan yerel boşluklar döşeme içindeki rijitliği azaltır ve plağın diyafram olarak çalışmasına engel olur. Ayrıca döşemelerde asimetrik olarak bırakılan döşeme boşlukları yapılarda kütle ile rijitlik merkezinin kaymasına ve burulma etkilerinin oluşmasına neden olur. 2017 yılında Meksika’da meydana gelen 7,1 büyüklüğündeki deprem sonrasında şekil 3.1 (a)’da görülen binada merdiven ve kat döşemelerinde meydana gelen göçmeler nedeniyle yapı kullanılamaz hale gelmiştir. Konsol olarak oluşturulan merdiven tamamen göçmüştür. Şekil 3.1 (b)’de görülen binada ise İtalya’da 2009 yılında meydana gelen L’aquila Depremi’ndeki döşeme hasarı görülmektedir. Diyafram olarak hareket etmeyen döşemelerde göçmeler meydana gelmiş ve bina kısmen yıkılmıştır.



Şekil 3.1 : (a) 2017 Meksika Depremi’nde görülen döşeme hasarı (Burke, 2017).
(b) 2009 İtalya L’aquila Depremi’nde meydana gelen döşeme hasarı (Lauro, 2009).

Döşemelerde ani rijitlik değişimleri istenmeyen bir durumdur. Birçok deprem yönetmeliğinde döşeme süreksizliğine kısıt getirilirken Amerikan Deprem Yönetmeliği'nde sonradan oluşturulan döşeme yırtıklarına da kısıtlama getirilmiştir. Özellikle iş merkezi ya da kamu binalarında yapı ortalarında oluşturulan büyük galeri boşluklarında döşeme süreksizlikleri meydana gelir. Şekil 3.2'de görülen görselde 2016 yılında meydana gelen Ekvator Depremi'nde üst katlarında döşemeleri göçen bina görülmektedir. Şekil 3.3'de 1999 Kocaeli Depremi'nde diyafram olarak davranmayan döşeme plakları ciddi hasar görmüş bina kullanılamaz hale gelmiştir.



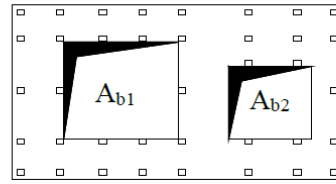
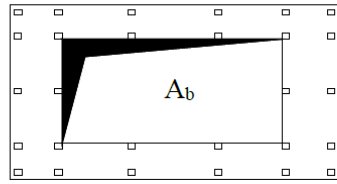
Şekil 3.2 : 2016 Ekvator Depremi döşeme hasarlı bina (Sim ve diğ., 2016).



Şekil 3.3 : 1999 Kocaeli Depremi'nde meydana gelen döşeme hasarları (Döndüren ve Nakipoğlu, 2016).

3.4 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde A2 -Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler

TBDY (2018)'de "A2-Döşeme Süreksizliği" düzensizliği olarak tanımlanan döşemelerde merdiven ve asansör boşlukları dâhil boşluk alanları toplamının kat brüt alanına oranının 1/3'den fazla olması olarak açıklanmıştır. Şekil 3,4'de döşeme süreksizliği şematik olarak gösterilmektedir. Yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına aktarabilmesini güçleştiren döşeme boşlukları ani dayanım ve rijitlik azalmaları durumu istenmez. Döşemelerde yerel döşeme boşluklarının bulunması düzlem içi ani dayanım rijitlik, dayanım gibi parametrelerin azalması durumları döşeme süreksizliği olarak kabul edilir ve yönetmelikte belirtilen %33'lük döşeme boşluğu oranının altında olması istenir. Döşeme düzensizliği süreksizliği izin verilen sınırın üzerine olması halinde ayrıntılı hesap yapılarak döşemenin yatay yükleri taşıyıcı sistem elemanlarına güvenli şekilde aktarabildiğinin gösterilmesi gerekir.



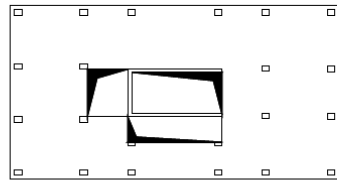
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu - I

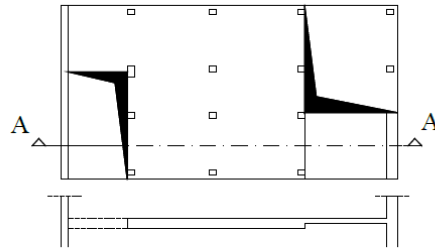
$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu - II



Kesit A-A

A2 türü düzensizlik durumu - II ve III

Şekil 3.4 : 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre döşeme süreksizliği.

Döşeme süreksizliği düzensizliği TBDY (2018)'de, ASCE-7 (2016) ve Eurocode 8 (2004)'e göre katı önlem alınarak irdelenmiştir. İzin verilen döşeme boşluk oranı diğer yönetmeliklere göre güvenli bölgede kalacak şekilde kısıtlanmıştır.

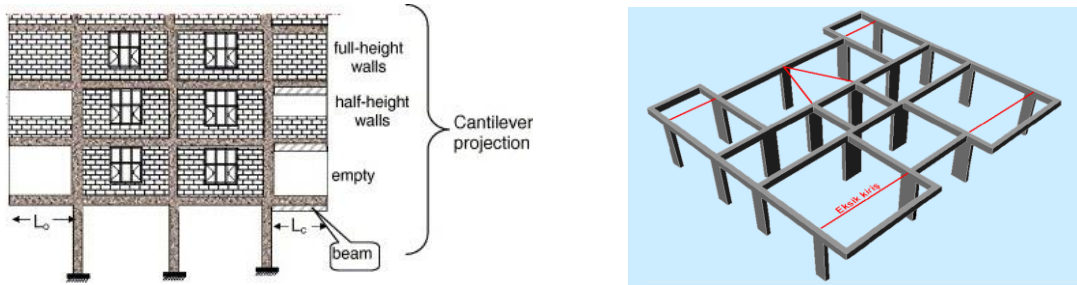


4. PLANDA ÇIKINTILAR BULUNMASI DÜZENSİZLİĞİ

4.1 Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği Nedir? Nasıl oluşur?

Geleneksel Türk mimarisinde cumbalı evlerde gördüğümüz kapalı ve açık çıkmalı bölümler imar mevzuatının da izin vermesi nedeniyle binalarda sıklıkla karşılaştığımız bir durumdur. Kapalı ve açık çıkmalar özellikle binaların kütle dağılımını, dolayısıyla deprem performansını olumsuz etkilemektedir. Yapı boyunca görülen bu çıkmalar kirişlerle birlikte döşemelerin de dışarıya çıkmasına neden olmakta ve çerçevede kirişsiz bir döşeme sistemi meydana getirmektedir. Sonuç olarak oluşan kiriş süreksizlikleri taşıyıcı sistemde nispeten daha zayıf çerçeveler oluşmasına neden olmaktadır (Bal ve Özdemir, 2006).

Ülkemizde ve dünyada inşa edilen pek çok yapıda zemin kat üzerinde yapı kullanım alanını genişletmek amacıyla planda çıkıntılar yapılmaktadır. Kapalı çıkmalarda kiriş süreksizlikleri ve çerçeve süreksizlikleri yoğun olarak gözlemlenmektedir. Bina ağırlığında dengesiz artışlar binanın rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki farkları arttırmakta ve deprem anında yapıda ciddi problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Kapalı çıkması bulunan binaların deprem performansı kapalı çıkması olmayan binalara göre daha kötü olduğu depremler sonrasında sıklıkla gözlemlenmektedir (Özmen ve diğ., 2011). Şekil 4.1'de kapalı ve açık çıkmalar şematik olarak görülmektedir. Kapalı çıkmalar nedeniyle taşıyıcı sistemde meydana gelen kiriş süreksizlikleri kalıp planında gösterilmiştir. Özellikle oda ortasında sarkık kiriş görüntüsü istenmemesi nedeniyle kirişler ile kolon bağlantıları saplama kiriş olarak tasarlanmakta ve çerçeve sistem zayıflatılmaktadır.



Şekil 4.1 : Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği ve kiriş süreksizlikleri (Bal ve Özdemir, 2006).

4.2 Köşe Kolon Düzensizliği Nedir? Nasıl Meydana Gelir?

Kapalı ve açık çıkmalı binalarda bina köşesindeki kolonu bağlayan kirişlerin görsel nedenlerden dolayı yapılmaması sonucunda bina köşelerindeki kolonlarda köşe kolon hasarları meydana gelir. Mimari ve estetik kaygılar nedeniyle genellikle salon gibi geniş kullanım alanlı bölümlerde tavanda sarkan bir kirişin varlığının istenmemesi bu hasarların meydana gelmemesindeki en büyük etkidir. Şekil 4.2’de görülen köşe kolon düzensizliğinde kiriş iptal edilmiş ve çerçeve sistem zayıflatılmıştır.



Şekil 4.2 : Köşe kolon düzensizliği (Kaplan ve diğ, 2015).

Köşe kolon hasarları binanın kendi yatay yükleri altında bile meydana gelebilir. Türkiye’de 1985 yılında Eskişehir’de yıkılan Çavdar Apartmanı ve 2004 yılında Konya’da yıkılan Zümrüt Apartmanı’nda köşe kolon nedeniyle göçme meydana gelmiştir. Köşe kolonlar deprem yüklerini diğer kolonlara aktarmayı zorlaştırır ve köşe kolon uç noktalarında mafyalaşma problemlerine neden olur. Köşe kolon göçmesi sonucunda tüm bina taşıyıcı sistemi etkilenebilir ve yapıda toptan göçmeler oluşabilir (Kaplan ve diğ, 2015). Şekil 4.3’de köşe kolon hasarı nedeniyle kısmen göçen Çavdar Apartmanı (solda) ve 2010 Haiti Depremi sonrasında köşe kolon hasarı gözlemlenen bir bina (sağda) görülmektedir.



Şekil 4.3 :Köşe kolon göçmesi sonrasında hasar alan binalar (Kaplan ve diğ, 2015).

4.3 Yabancı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği

4.3.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği'nde planda çıkıntılar bulunması düzensizliği

ASCE-7'de (2016) planda çıkıntılar bulunması düzensizliği çıkıntı yapılan cephenin uzunluğun aynı doğrultudaki binanın toplam uzunluğuna bölünmesiyle elde edilen değer $0,15$ 'inden büyük olması halinde meydana geldiği belirtilmektedir. Ayrıca planda çıkıntı bulunan yapılarda döşemelerin düşey elemanlara bağlantı noktalarına mesnetlendiği bölgedeki tasarım yüklerinin % 25 arttırılarak uygulanması ve statik hesabın bu doğrultuda tekrar yenilenmesi üzerinde durulmuştur.

4.3.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği'ne göre planda çıkıntılar bulunması düzensizliği

Eurocode 8'de (2004) planda çıkıntı bulunması düzensizliği özellikle I ve H gibi farklı geometri düzensizliği bünyesinde barındıran binalarda bir doğrultudaki çıkıntılarının aynı doğrultudaki toplam bina dış boyutunun %25'inden fazla olması şeklinde tanımlanmıştır.

4.3.3 Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği'ne göre planda çıkıntılar bulunması düzensizliği

NZS'de (2009) planda çıkıntılar bulunması düzensizliği yapı önem durumuna ve plandaki çıkıntı sayısına göre farklılıklar gösterir. L, T ve E geometrili yapılarda iki ya da daha fazla kenarda çıkıntı uzunluğunun genişliğe bölünmesiyle elde edilen oran önemli ve çok önemli yapılarda $3,0$ 'dan fazla olmamalıdır. Planda tek çıkıntılı yapılar da ise bu oran $4,0$ 'dan az olmalıdır. Yapı önem katsayısı az olan binalarda ise bu oran $3,0$ 'a eşit ve fazla olabilir.

Yönetmelikler incelendiğinde ASCE-7 (2016)'yı planda çıkıntılar bulunması düzensizliğine karşı en katı önlemi alan yönetmelik olarak değerlendirilir.

4.4 Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları

Kat alanı kazanmak adına planda yapılan konsol çıkıntılar yapının kütle merkezinin kaymasına neden olur. Şekil 4.4 (a)'da 1999 Kocaeli Depremi'nde görülen binada planda aşırı çıkıntıların bulunması düzensizliğinin de etkisiyle bina kısmen göçmüştür. Bina köşelerinde kapalı çıkmalar nedeniyle kiriş ve döşemeler kolon aksından dışarıya çıkartılır. Oda ortasına denk gelen sarkık kiriş mimari açıdan yapılmaz ve çerçeve sistemi zayıflar. Şekil 4.4 (b)'de 2017 yılında Meksika'da meydana gelen 7,1 büyüklüğündeki deprem sonrasında köşe kolon hasarı meydana gelmiştir. Bina köşesi yıkılmıştır. Şekil 4.5'de görülen alışveriş merkezinde konsol boyunun uzun olması nedeniyle 2017 Meksika Depremi'nde konsol kısım göçmüştür.



Şekil 4.4 : (a) 1999 Kocaeli Depremi'nde planda çıkıntılar bulunan bir binada meydana gelen deprem hasarı (Döndüren ve Nakipoğlu, 2016).

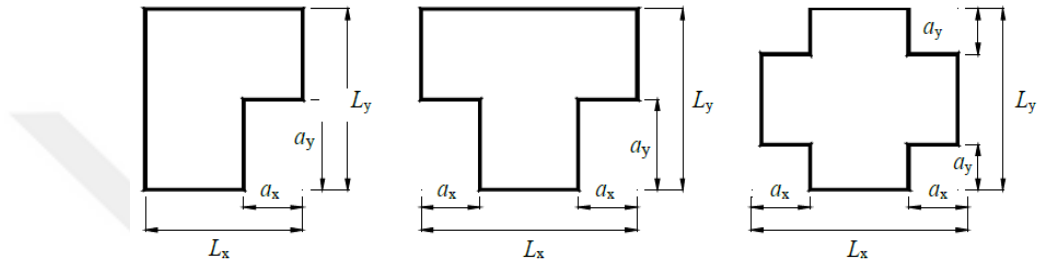
(b) 2017 Meksika Depremi'nde meydana gelen köşe kolon hasarı (Burke, 2017).



Şekil 4.5 : 2017 Meksika City Depremi'nde aşırı konsol çıkıntısı olan bir alışveriş merkezinde meydana gelen göçme (Cruz, 2018).

4.5 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde A3-Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler

TBDY (2018)'de "A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği" 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 olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.6'da planda çıkıntılar bulunması düzensizliği şematik olarak görülmektedir. Planda yapılacak çıkıntıların plan boyutunun %20'sinden az olması istenir.



$$a_x > 0,2 L_x \text{ ve } a_y > 0,2 L_y$$

(Denklem 4.1)

Şekil 4.6 : 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre A3 -Planda çıkıntılar bulunması durumu (TBDY, 2018).

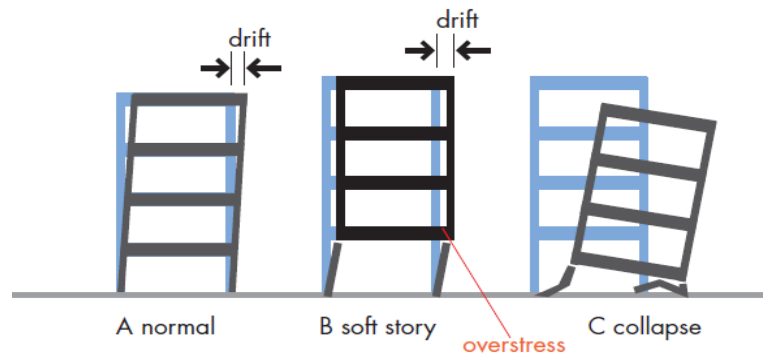


5. ZAYIF KAT DÜZENSİZLİĞİ

5.1 Zayıf Kat Düzensizliği Nedir?

Yapısında düşey yönde dayanım düzensizliği bulunan katlara zayıf kat adı verilir. ABD, Japonya, Meksika ve Türkiye’de meydana gelen depremler sonrasında zayıf kat hasarı almış pek çok bina görmek mümkündür. Özellikle zemin katlarda mağaza, restoran, banka gibi ticari amaçlı kullanılan alanlarda bölme duvarlar pek kullanılmamaktadır. Bu nedenden dolayı deprem anında zemin katlarındaki yanal ötelemeler diğer katlardaki yanal ötelemelere göre daha zayıf kalmakta ve kesme kuvveti etkisiyle zayıf kat düzensizliği meydana gelmektedir (Tezcan ve diğ., 2004).

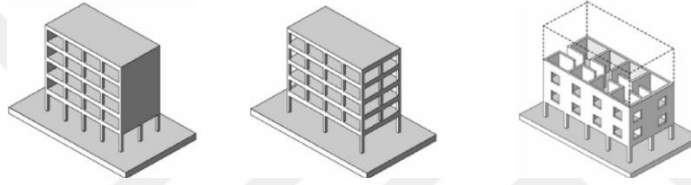
Farklı bölme duvarlı yapıların orta katlarında ve kat yükseklikleri birbirinden farklı olan yapılarda da bu düzensizliği gözlemlemek mümkündür. Zayıf kat oluşumunun iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi ilk katın sismik etkilere karşı zayıf olması, ikincisi ise çerçeve sistemde bölme duvarların kesintiye uğraması ya da azalması olarak özetlenebilir (Charleson, 2014). Şekil 5.1’de kesme kuvveti etkisiyle zayıf kat düzensizliğinin oluşum mekanizması görülmektedir. Deprem sonrasında katlar arasında aşırı yerdeğiştirme farkı olmaması beklenirken zayıf kat düzensizliği bulunan yapılarda bazı katlar aşırı deplasman yapar. Az sayıdaki plastik mafsallar kolon uç bölgelerinde oluşur, yatay deprem kuvvetleri sönmelenemez ve zemin katta göçme meydana gelir.



Şekil 5.1 : Zayıf kat oluşum mekanizması (FEMA 454, 2006).

5.2 Zayıf Kat Hasarlarının Oluşum Nedenleri

Genellikle yığma duvarlar taşıyıcı sistem hesabında göz ardı edilir. Yığma duvarlar statik hesapta göz önüne alınırsa elde edilen iç kesitlerin daha küçük çıkması muhtemeldir. Kesit tesirlerinin düşük çıkması taşıyıcı sistemin zayıf tasarlanmasına neden olabilir. Yığma duvarlar buldukları katlardaki yatay deplasmanı ciddi anlamda azaltır. Binanın birinci doğal periyodunun bulunmasında yığma duvarların katkıları göz önüne alınarak hesap yapılmalıdır. Bu hesapların yapılmaması ve üst katlardaki yığma duvarların giriş katta olmaması zayıf kat hasarının oluşmasındaki ana etkindir. (Tezcan ve diğ., 2007). Şekil 5.2’de zayıf kat düzensizliğine neden olan taşıyıcı sistem düzensizliği ve bölme duvarın katlar arasındaki farklı dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.2 : Zayıf kat düzensizliği örnekleri (FEMA 454, 2006).

5.3 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Zayıf Kat Düzensizliği

5.3.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği’nde zayıf kat düzensizliği

ASCE-7’de (2016) zayıf kat düzensizliği iki kategoriye ayrılmıştır. Bunlar aşırı zayıf kat düzensizliği ve zayıf kat düzensizlikleridir. Yatay dayanım süreksizliği bir üst katın yatay dayanım süreksizliğinin %80’inden az olması olarak tanımlanmıştır. Aşırı zayıf kat düzensizliği ise bir kattaki dayanım süreksizliğinin bir üst katındaki dayanım süreksizliğine göre %65’inden az olması olarak tanımlanmıştır.

5.3.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği’nde zayıf kat düzensizliği

Eurocode 8’de (2004) zayıf kat düzensizliği üzerinde çok durulmamış, komşu kat dayanımlarının birbirine yakın olmaları konusunda tavsiyede bulunulmuştur.

5.3.3 Japonya Deprem Yönetmeliği’nde zayıf kat düzensizliği

JSCE’de (2016) zayıf kat düzensizliğinden direkt olarak bahsedilmemiş, yatay rijitliğin her bir kat için 0,60 eşit ya da küçük olması gerekliliği ve rijitlik dış merkezliliğinin 0,15’den küçük olması üzerinde durulmuştur.

5.4 Zayıf Kat Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları

Depremler sonrasında binaların zemin katlarında sıklıkla zayıf kat düzensizliği nedeniyle yapı hasarları gözlemlenmektedir. Yapının zemin katında bölme duvarların olmaması hasarın oluşmasındaki en büyük nedendir. Katlardaki dolgu duvarlar yer değiştirmeleri kısıtlarken zemin katlarda dolgu duvarların az olması nedeniyle yapı üst katlara göre daha büyük yer değiştirmeler yapar. Zemin katlarda kolon uç bölgelerinde oluşan az sayıdaki plastik mafsallar deprem enerjisini sönümlemede yetersiz kalır ve zemin kat göçer. Şekil 5.3 (a)'da 1989 yılında Amerika'da meydana gelen Loma Prieta Depremi'nde meydana gelen zayıf kat hasarı görülmektedir. Yapı deprem etkisi altında elastik hareket edememiş ve hasar görmüştür. Benzer hasarlar 1999 yılında Tayvan'da meydana gelen Chi Chi Depremi'nde görülmektedir. Şekil 5.3 (b)'de görülen binada zemin katta ön kısımdaki dolgu duvarsız açık alanlar zayıf kat hasarının oluşmasında en önemli etkenlerdendir. Yapıların özellikle işyeri olarak kullanılan zemin katlarının diğer katlara oranla yüksek inşa edilmesi kolon kiriş birleşim noktalarında yeterli sargı donatısı bulunmaması beton kalitesindeki yetersizlik de zayıf kat hasarının oluşmasında etkili parametreler arasında sayılabilir.



Şekil 5.3 : (a) 1989 Loma Prieta Depremi zayıf kat hasarı (Yao ve Sheu, 2001).
(b) 1999 Chi Chi Depremi zayıf kat hasarı (Yao ve Sheu, 2001).

Türkiye’de meydana gelen birçok depremde de zayıf kat hasarı meydana gelmiştir. Şekil 5.4’de Van ve Bingöl depremlerinde zemin katları göçen binalar görülmektedir. Kolonların narin olarak tasarlanması zemin katlarda dolgu duvarların bulunmaması nedeniyle yapılar yıkılmıştır. Amerika’da 1971 yılında meydana gelen San Fernando ve 1994 yılında meydana gelen Northridge Depremi’nde benzer zayıf kat hasarları şekil 5.5’de görülmektedir. Zayıf kat hasarının oluşum mekanizması farklı ülkelerde ve farklı zaman dilimlerinde olmasına rağmen çok tipik benzerlikler göstermektedir.



Şekil 5.4 : (a) 2003 Bingöl Depremi zayıf kat hasarı (Temur, 2005).

(b) 2011 Van Depremi zayıf kat hasarı (Cogurcu, 2015).

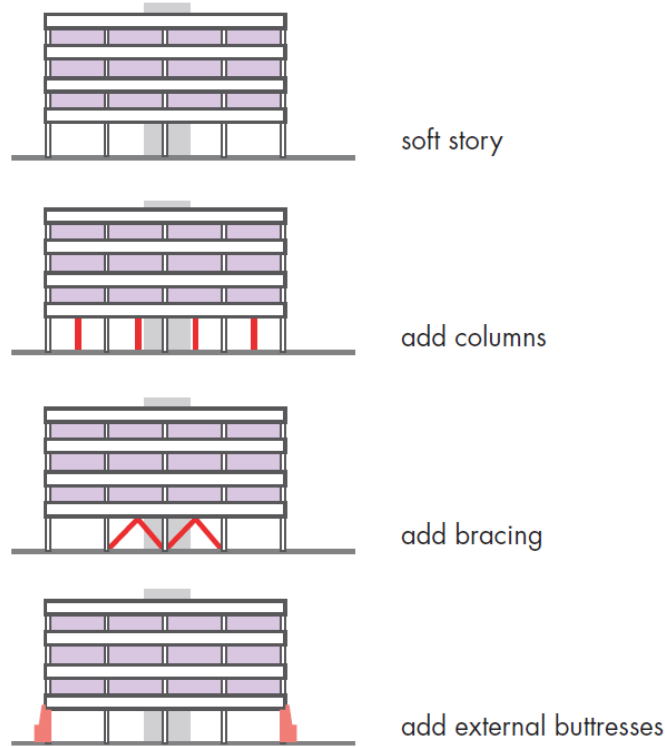


Şekil 5.5 : (a) 1971 San Fernando Depremi zayıf kat hasarı (FEMA, 2012).

(b) 1994 Northridge Depremi zayıf kat hasarı (Xia, 2015).

5.5 Mevcut Binalarda Zayıf Kat Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler

Zayıf kat düzensizliğinin ilk çözümü mimari tasarım aşamasında bu düzensizliğin oluşumuna engel olmaktır. Çoğu zaman görsellik açısından oluşturulan yüksek ve açık giriş katlarında zayıf kat düzensizliğinin görülmesi muhtemeldir. Göz ardı edilen zayıf kat düzensizliğinin çözümü için çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi yatay rijitlik sağlayacak perdelerdir. Perde kullanımı zayıf kat problemi için en yaygın kullanılan yöntemdir. Zemin kata kolon, çapraz elemanlar ya da payanda eklenmesi de sıklıkla karşımıza çıkan metotlardır (FEMA454, 2006). Şekil 5.6'de görülen zemin kata kolon eklenmesi, çapraz elemanlar teşkili ve payanda ilavesi gibi güçlendirme çalışmaları görülmektedir. Bu sayede zemin katta meydana gelebilecek aşırı yer değiştirmelerin ve göçme mekanizmalarının engellenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 5.6 : Zayıf kat probleminin çözüm yolları (FEMA454, 2006).

5.6 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre, Zayıf Kat Düzensizliğine Karşı Alınacak Önlemler

TBDY (2018)'de B1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği olarak tanımlanan zayıf kat düzensizliği, bir kattaki etkili kesme alanının toplam kesme alanına bölünmesiyle elde edilen zayıf kat düzensizlik katsayısının (η_{ci}) 0,80 den küçük olması durumu olarak tanımlanmaktadır.

$$[\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80] \quad (\text{Denklem 5.1})$$

Herhangi bir kattaki etkili kesme alanı:

$$(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + (0.15\sum A_k)_i \quad (\text{Denklem 5.2})$$

Deprem yönetmeliğinde taşıyıcı sistemin düşey yönde düzenli tasarlanması konusuna vurgu yapılmaktadır. Kat dayanımlarındaki ani değişimler nedeniyle meydana gelebilecek zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliğine dikkat edilmesi gerekliliğinin üzerinde durulmaktadır.

Düzensiz binalara ilişkin kurallarda ise B1 türü yani zayıf kat düzensizliği bulunan yapılarda, herhangi bir kattaki dolgu duvar alanının toplamı bir üst katınkine göre daha fazla ise zayıf kat düzensizlik katsayısı hesabında dolgu duvarların hesabı göz önüne alınmayacaktır. Burulma düzensizlik katsayısı en küçük olan kat dikkate alınarak minimum 0,60 maksimum 0,80 aralığında ve zayıf kat davranış katsayısının 1,25 katı değerle çarpılarak her iki deprem doğrultusu için binaya uygulanacaktır. Hiçbir zaman zayıf kat düzensizlik katsayısı 0,60'dan küçük olmayacağı üzerinde durulmuştur.

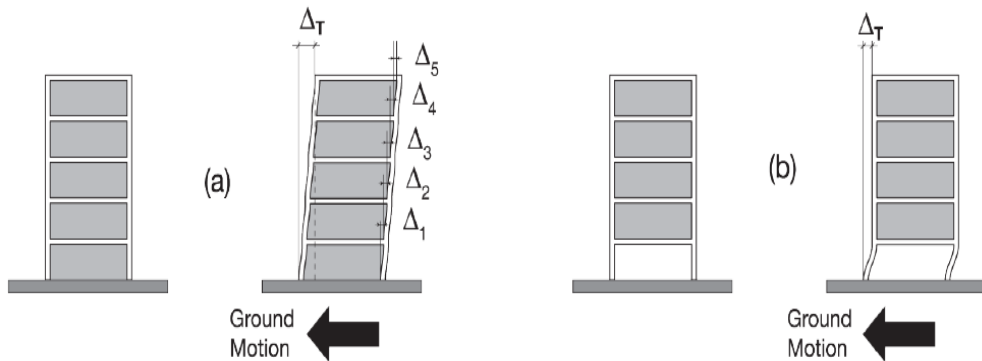
Farklı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde zayıf kat düzensizliği benzer şekilde incelenmiştir. TBDY (2018)'de zayıf kat düzensizliği katsayısının 0,60'dan az olamayacağı üzerinde durularak zayıf kat düzensizliğine karşı en katı kuralın uyguladığı görülmektedir.

6. YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ

6.1 Yumuşak Kat Düzensizliği Nedir?

Yumuşak kat düzensizliği, binadaki bir katın diğer katlardan daha az rijitliğe sahip olması sonucunda meydana gelir. Yumuşak kat, esnek kat olarak da adlandırılır. Bu düzensizlik daha çok taşıyıcı olmayan bölme duvarların azaltılması sonucunda meydana gelir. Eğer tasarımcı tarafından yumuşak kat düzensizliği önemsenmezse deprem sonrasında binalarda kesme kuvveti etkisiyle bölgesel göçmeler ya da toptan göçmeler gözlenir (Charleson, 2014). Şekil 6.1’de yumuşak kat oluşum mekanizması görülmektedir. Bina zemin katının aşırı yer değiştirmesi hasarın en önemli sebebidir.

Modern binalarda rijit taşıyıcı olmayan yığma duvarlar üst katlarda sıkça kullanılmaktayken zemin katlarda mimari nedenler dolayısıyla daha az kullanılmaktadır. Rijit taşıyıcı olmayan bu yapı elemanları kolonların deformasyonunu yatay deprem kuvvetlerine karşı kısıtlamaktadır. Düzenli binalarda kesme kuvveti her katta homojen olarak artmaktayken, düzensiz binalarda kesme kuvvetinin homojen dağılımından söz etmek mümkün değildir. Yumuşak kat düzensizliği olan yapılarda özellikle zemin kat daha fazla enerji yutar ve kolonlarda daha büyük deformasyonlar gözlemlenir. İlk iki kat arasında gözlemlenen bu düzensizlik ciddi yapısal hasarlar ve toptan göçmelere neden olur (Guevara, 2012).

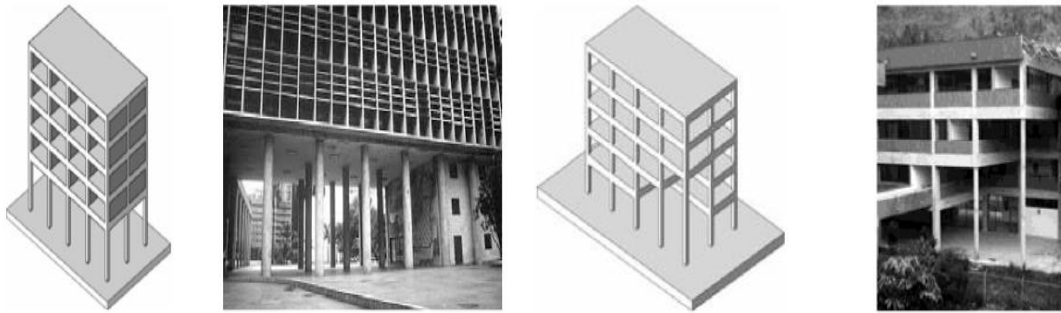


Şekil 6.1 : Yumuşak kat oluşum mekanizması (Guevara, 2012).

6.2 Yumuşak Kat Düzensizliğinin Görüldüğü Yapılar

21. Yüzyılda Modern ve çağdaş yapıların inşa edildiği pek çok şehirlerde mimari görsellik, estetik ve fonksiyonellik amacıyla tasarımı birçok binada, depremler sonrasında yumuşak kat hasarları gözlemlemek mümkündür. Konut olarak inşa edilen apartman dairelerinin ilk katları genellikle açık kat olarak daha az bölme duvarlı garaj, ofis ya da sosyal alanlar olarak kullanılmaktadır. Bu tip yapılarda zemin katlar üst katlara göre daha esnek davranmakta ve büyük enerji yutmaktadır. Zemin kat esnek davranırken üst katlar daha rijit hareket ettiği için zemin katlarda büyük deformasyonlar meydana gelmektedir. Çift katlı ofis, otel, alışveriş merkezi ya da kat yükseklikleri birbirinden farklı özel amaçlar için kullanılan kısmen veya tamamen bölme duvarları olmayan döşeme boşlukları olan asma katlı yapılarda da benzer durum söz konusudur. Bu tip tasarımı binalarda depremler sonrasında yumuşak kat düzensizliği sıklıkla gözlemlenmektedir (Charleson, 2014).

Şekil 6.2’de tasarımında yumuşak kat düzensizliği bulunduran iki farklı ülkede inşa edilmiş farklı amaçlar için kullanılan yapılar görülmektedir. Aşırı kat yükseklikleri, dolgu duvarsız giriş katları, düzensiz döşeme boşlukları ve açık galeriler ilk gözümüze çarpan yumuşak kat düzensizliğine neden olabilecek muhtemel sebepler olarak sıralanabilir. Soldaki Bina Rio De Janeiro’da inşa edilmiş Milli Eğitim Bakanlığı’na ait bir kamu binasıdır. Kamu binaları deprem sonrasında hizmet verebilmek adına normal binalara göre daha yüksek emniyet katsayısı ile tasarlanmaktadır. Sağdaki binada ise galeri boşluğu yaratmak adına 3 kat yüksekliğe kadar olan alanda döşeme ve dolgu duvar kullanılmamıştır. Aşırı yüksek kolonlar bu tip yapılarda muhtemel deprem hasarlarına neden olmaktadır.



Şekil 6.2 : Yumuşak kat düzensizlikleri içeren farklı yükseklikte giriş katı olan modern tasarımı bina örnekleri (Guevara, 2012).

6.3 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Yumuşak Kat Düzensizliği

6.3.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği'nde yumuşak kat düzensizliği

ASCE-7'de (2016) yumuşak kat düzensizliği iki ayrı başlık altında incelenmiştir. Bunlardan birincisi normal yumuşak kat düzensizliğidir. Yanal rijitliği bir üstteki kata göre %70'den daha az, üstteki üç katın yanal rijitlik ortalamasının %80'den daha az olması halinde normal yumuşak kat düzensizliği meydana gelir. İkinci olarak tanımlanan aşırı yumuşak kat düzensizliği ise bir üst katın rijitliğinin %60'dan az olup üstteki üç katın ortalama rijitlik değeri %70'den daha az olması hali olarak tanımlanmıştır.

6.3.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği'nde yumuşak kat düzensizliği

Eurocode 8'de (2004) çok detaylı olarak bahsedilmeyen yumuşak kat düzensizliğine tavsiye niteliğinde vurgu yapılmıştır. Yumuşak kat düzensizliği bulunan yapılarda kolon güçlerinin ve kolon sargı donatısının artırılması tavsiye edilir.

6.3.3 Japonya Deprem Yönetmeliği'nde yumuşak kat düzensizliği

JSCE'de (2016) yumuşak kat düzensizliğinin önüne geçmek amacıyla yanal rijitlik oranı her kat için 0,60'dan az olmayacak şekilde tasarım yapılması vurgulanmıştır.

6.3.4 Diğer ülkelerin deprem yönetmeliklerine göre yumuşak kat düzensizliği

Bulgaristan Deprem Yönetmeliği'nde komşu katlar arası rijitlik oranı %50'den az ise yumuşak kat düzensizliği meydana geldiği belirtilmektedir. Ayrıca yumuşak kat düzensizliği bulunan yapılarda, hesap yükünün artırılması ve üç kat rijitliği karşılayacak kapasitede tasarım yapılması gerekliliğine vurgu yapılmıştır.

İsrail Deprem Yönetmeliği'nde bir katın yanal rijitliği %65'den daha az olması ya da üç katın rijitlik ortalaması %70'den az olması halinde yumuşak kat düzensizliği meydana geldiği belirtilmektedir. Hindistan ve İran Yönetmeliklerinde yumuşak kat düzensizliği ASCE-7'de belirtildiği gibi tanımlanmış ve aynı kısıtlar üzerinde durulmuştur (Döndüren ve Nakipoğlu, 2016).

Farklı ülkelerin deprem yönetmeliklerine bakıldığında JSCE (2016) ve ASCE-7 (2016)'nin yumuşak kat düzensizliğine karşı daha katı önlemleri alarak tasarım yapılması üzerinde durduğu görülmektedir.

6.4 Yumuşak Kat Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları

Depreme dayanıklı yapı tasarımında plastik mafsalların kiriş uç noktalarında oluşarak yapıların deprem anında sünek davranış sergilemesi ve yatay sismik etkiler altında aşırı deplasman yapmaması istenir. Binalarda dolgu duvarlarındaki ani değişimler yapının tüm katlarında aynı yer değiştirme yapmasını engeller. İşyeri olarak kullanılan katlar üst katlara göre daha elastik davranır ve deprem enerjisinin büyük bir bölümü dolgu duvarsız zemin katta sönmülmek istenir. Yerdeğiştirmenin beklenen seviyeden daha fazla olması nedeniyle yapının zemin katı aşırı deplasman talebini karşılayamaz ve yumuşak kat düzensizliği meydana gelir. Birçok ülkenin deprem yönetmeliğinde üzerinde durulan yumuşak kat düzensizliği depremler sonrasında sıklıkla karşılaşılan yapı hasarlarından biridir. Şekil 6.3’de 1989 yılında Amerika’da San Andreas Fayı’nın ürettiği Loma Prieta Depremi’nde birçok binada meydana gelen yumuşak kat hasarları görülmektedir. Özellikle bölgede evlerin zemin katlarının otopark ya da ofis olarak kullanılması nedeniyle dolgu duvarlar kesintiye uğramış ve deprem anında gerekli önlemler alınmadan inşa edilmiş bu tip yapılar hasar görmüştür. Zemin katları daire olarak kullanılan ya da bölme duvarlarla bölünmüş binalarda yumuşak kat hasarı gözlemlenmemiştir.



Şekil 6.3 : 1989 Loma Prieta Depremi’nde meydana gelen yumuşak kat hasarı nedeniyle kısmen göçen binalar (Shapiro ve Hirsch, 1989).

Şekil 6.4 (a)'da 2010 yılında Haiti Depremi'nde meydana gelen yumuşak kat hasarı görülmektedir. Yapı kalitesinin düşük olması hasarın muhtemel sebebidir. Benzer hasar şekil 6.4 (b)'de görülen 2006 Tayvan Tainan Depremi'nde meydana gelmiştir. Zemin katlarda bölme duvarların üst katlara göre daha az olması bu tip hasarların en büyük sebebidir. Yapılarda rijit betonarme perdelerin bulunmaması depremler sonrasında benzer yumuşak kat hasarının sayısını oldukça arttırmıştır. Şekil 6,5'de 2011 Van ve 1999 Kocaeli Depremi'nde meydana gelen hasarlar görülmektedir. Binalarda yeterli plastik mafsalın oluşmaması, zemin katlarda kolonlarda oluşan sınırlı plastik mafsalların aşırı deplasman yapması sonucunda zemin katlar göçmüştür.



Şekil 6.4 : (a) 2010 Haiti Depremi yumuşak kat hasarı (Özmen ve diğ., 2007).

(b) 2006 Tayvan Tainan Depremi yumuşak kat hasarı (Chung, 2016).



Şekil 6.5 : (a) 2011 Van Depremi yumuşak kat hasarı (Gürer, 2012).

(b) 1999 Kocaeli Depremi'nde meydana gelen yumuşak kat hasarı (Temur, 2005).

6.5 Yumuşak Kat Düzensizliğine Karşı Alınabilecek Önlemler

Özellikle taşıyıcı olmayan bölme duvarlardaki ani değişimler yumuşak kat hasarlarının en büyük sebebidir. Perde duvarsız inşa edilen yapılarda yumuşak kat düzensizliği ciddi problemler oluşturabilir. Yapıda deprem yükleri altında kolon kiriş birleşim noktalarında plastik mafsallar meydana gelmesi ve düzgün olarak oluşmuş bu plastik mafsallarında enerji yutması istenir. Yumuşak kat mekanizması nedeniyle yapıda az sayıda plastik mafsal oluşur ve yapının enerji yutması zorlanır. Ortaya çıkan enerji düzgün olarak sönmelenemez. Dolayısıyla yapılarda göçmeler ya da önemli yapısal hasarlar gözlemlenir (Özmen ve diğ., 2004).

Yumuşak kat düzensizliğini önlemek için yapılarda çeşitli önlemler almak mümkündür. Rijit asansör ve merdiven kovaları ile rijitlik talebi karşılanabilir. Ayrıca ilk katlarda rijit çaprazlar kullanılarak da yapının rijitlik artışı sağlanabilir. Tasarım aşamasında ilk kata daha fazla yük etki ettirilerek çerçeve sistemin daha düşük yer değiştirmeler yapması sağlanabilir. Yumuşak kat riskine karşı binalarda alınacak en etkili ve ekonomik yöntem rijit perde duvarlar ya da çaprazlar kullanılarak binanın güçlendirilmesidir (Guevara, 2012).

Şekil 6.6'da San Fransisco'da bulunan giriş katları yüksek ve büyük galeri boşlukları bulunan binalar görülmektedir. Deprem anında oluşabilecek muhtemel yumuşak kat hasarlarını önlemek adına yapılarda ilk katlar çelik çapraz elemanlar yardımı ile güçlendirilerek önlem alınmıştır.



Şekil 6.6 :San Fransisco'da oluşabilecek muhtemel yumuşak kat hasarına karşı önlem alınmış binalar (FEMA454, 2006).

6.6 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Yumuşak Kat Düzensizliğine Karşı Alınacak Önlemler

TBDY (2018)'de B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği olarak tanımlanan yumuşak kat düzensizliği üzerinde durulmuş ve belirli kısıtlar getirilmiştir. Herhangi bir kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir alt veya üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine bölünmesi ile elde edilen rijitlik düzensizliği katsayısının 2,0'dan büyük olması durumu olarak tanımlanmıştır.

$$[\eta_{ki} = (\Delta_{i(X)}h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1(X)} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \text{ veya} \quad (\text{Denklem 6.1})$$

$$[\eta_{ki} = (\Delta_{i(X)}h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1(X)} / h_{i-1})_{ort} > 2.0 \quad (\text{Denklem 6.2})$$

Yumuşak kat düzensizliğinin engellenmesi için komşu katlar arasındaki rijitlik düzensizliğinin 2,0'dan az olması istenir.

Ayrıca deprem yönetmeliğinde yapı sistemlerinin düşey doğrultuda düzenli ve basit tasarlanması üzerinde durulmuştur. Katlar arasında ani rijitlik değişimlerinden olabildiğince uzak durulması, yumuşak kat ve zayıf kat gibi düzensizliklerin oluşmasının önüne geçilmesi önerilmiştir.

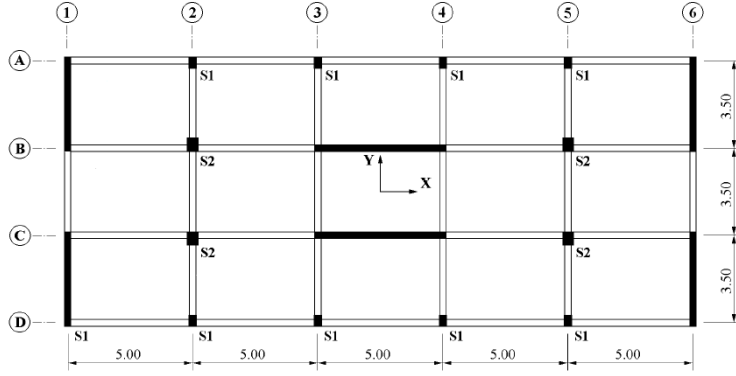


7. TAŞIYICI SİSTEM DÜŞEY ELEMANLARI SÜREKSİZLİĞİ

7.1 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği nedir? Nasıl Meydana Gelir?

Yapılarda mimari nedenler ve estetik tasarımlar üretmek için sıklıkla karşılaşılan yapısal düzensizlikler yapıların deprem performanslarını olumsuz yönde etkilemektedir. Farklı birçok ülkenin deprem yönetmeliklerinde bu tip düzensizliklerin engellenmesi adına çeşitli kurallar konulmuştur. Buna rağmen yatayda ve düşeyde düzensizlikler birçok deprem bölgesinde karşımıza çıkmaktadır. Yatay düzensizlikler yapının periyodunu ve dolayısıyla deprem davranışını olumsuz etkilemektedir. Taşıyıcı sistem düşey elemanlarındaki düzensizlikler ise binalarda deprem anında zayıf kat ve yumuşak kat hasarlarının oluşmasına neden olmaktadır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği'nde de taşıyıcı sistem düşey elemanları süreksizliği üzerinde durulmuştur. Yönetmelikte süreksiz kolon ve perdeler için izin verilmemiştir. Konsol kirişlere oturan kolonlara ve kolona oturan perdeler için kesinlikle izin verilmemektedir (Celep ve Kara, 2012).

Özmen (2007) tarafından yapılan çalışmada perde süreksizliğinin ve perdenin sistemden kaldırılması halleri durumunda yapı performansındaki yerdeğiştirme ve moment eğilme kapasitesi incelenmiştir. 10 katlı bir yapı modeli için üç farklı perde kombinasyonu ele alınarak analiz yapılmıştır. Birinci durumda perde duvarın tüm bina boyunca uzandığı model oluşturulmuştur. İkinci modelde ise perde duvar zemin katta kesilmiştir. Üçüncü modelde perde duvar tamamen kaldırılarak analiz yapılmıştır. Şekil 7.2'de kalıp planları, detayları ve yapısal özellikleri belirtilen bina görülmektedir. Şekil 7.3'de ise analiz edilen bina modelleri sunulmuştur.



Kat No.	Kolon No.	
	S1	S2
10~9	30×30	30×30
8~7	30×40	40×40
6~5	30×45	45×45
4~3	30×55	45×60
2~1	30×70	45×70

Yapının kiriş kesitleri $25 \times 50 \text{ cm}^2$ olarak alınmıştır. Perde kalınlıkları 25 cm'dir. Deprem hesabında kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir:

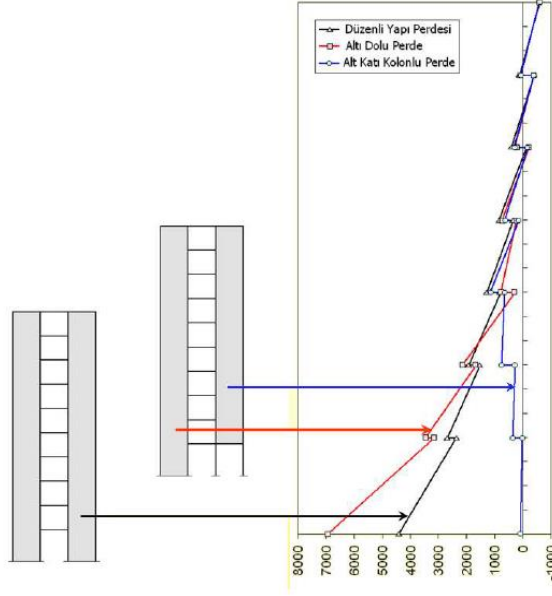
Çatı katı ağırlığı	$W_{\text{ç}} = 2000 \text{ kN}$
Normal katlı ağırlıkları	$W_{\text{n}} = 2900 \text{ kN}$
Etkin yer ivmesi katsayısı	$A_0 = 0.30$ (2. derece deprem bölgesi)
Karakteristik zemin periyodu	$T_B = 0.40$ (Z2 türü yerel zemin sınıfı)
Bina önem katsayısı	$I = 1$ (Konut veya büro)
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	$R = 7$ (Süneklik düzeyi karma).

Şekil 7.2 : Analizi yapılan binanın kalıp planı ve kolon boyutları (Özmen, 2007).



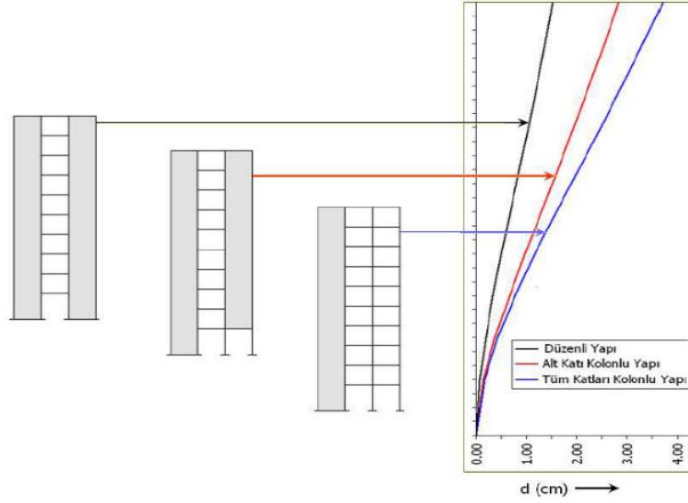
Şekil 7.3 : Analizi yapılan bina modelleri (Özmen, 2007).

Analizler sonucunda şekil 7.4'de görülen perde eğilme moment diyagramı elde edilmiştir. Üst katlarda kolon ya da perde farkları momentte pek bir değişikliğe sebep olmamıştır. Alt katlarda kolon taşıyıcı sistem kullanılması halinde dolu perdeli sistemin momentleri daha fazladır.



Şekil 7.4 : Perde eğilme moment diyagramı (Özmen, 2007).

Şekil 7.5’de görülen yapıların yer değiştirme diyagramları incelendiğinde alt katın perde yerine kolonlu ve kirişli olarak teşkil edilmesi halinde yer değiştirmelerde ciddi manada arttığı gözlemlenmektedir. Alt kattın perdeli olacak şekilde taşıyıcı sistem tasarlanması halinde yer değiştirmelerde %50 azalma görülmüştür.



Şekil 7.5 : Yerdeğiştirme diyagramları (Özmen, 2007).

Sonuç olarak yapıların perdeli ve düzenli olarak tasarlanması deprem performansı açısından oldukça önemlidir. Analiz sonucunda 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde vurgulanan taşıyıcı sistem düşey elemanları süreksizliklerinin önemi bir kez daha görülmüştür.

7.2 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği

7.2.1 ASCE-7 Amerikan Deprem Yönetmeliği'nde taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği

ASCE-7'de (2016) taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliğine mümkün olduğunca izin verilmemiştir. Ayrıca yönetmelikte kolon ve perde boyutlarının bir alt kattaki perde ya da kolona göre daha küçük olmaması konusu üzerinde durulmuştur. Kolon ve perdelerde katlar arasında sapmaya izin verilmemiş düzlemsel bir sapma halinde sapma boyunun düşey taşıyıcı eleman boyundan büyük olmaması istenmiştir (ASCE-7, 2016).

7.2.2 Eurocode 8 Deprem Yönetmeliği'nde taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği

Eurocode 8'de (2004) geometrisi kademeli olarak değişen yapılar üzerinde durulmuş herhangi bir katta döşeme alanının %20'den fazla geometri değişmesi istenmemiştir. Geometrisi kademeli olarak değişen yapılarda geometrinin toplam değişimi taban alanının %30'undan fazla olmamalıdır.

7.2.3 Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği'nde taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği

NZS'de (2009) düşey geometri düzensizliği bulunan yapılarda herhangi bir eleman için sisteme etkileyen yatay kuvvetin çok önemli yapılarda 0,3'den fazla olması istenir. Orta derecede önemli yapılarda bu oran 0,1'den büyük olması gerekirken, önem katsayısı düşük yapılarda 0,1'den az olabileceği üzerinde durulmuştur.

Yönetmelikler arasında taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği düzensizliğine karşı ASCE-7 (2016)'nın daha katı önlemler aldığı görülmektedir. Benzer önlemleri ve uyarıları TBDY (2018) başta olmak üzere bir çok deprem yönetmeliğinde de görmek mümkündür.

7.3 Düşeyde Geometrik Düzensizliği Olan Yapılar

Mimari ve yapısal nedenlerle sıklıkla karşımıza çıkan düşey geometrisi düzensiz yapılarda genellikle katlar arası kayma problemi geometrinin ani olarak değiştiği katlarda görülmektedir. Aniden meydana gelen geometri değişimleri yapının rijitliğinde, kütlede ve yapıya etki eden yatay kuvvetlerde de meydana gelmektedir. Geometrik düzensizliği olan yapılarda süneklik talebi düzenli binalara göre oldukça fazladır. Bu tip yapılarda geometrinin ani değiştiği bölgede elastik olmayan davranış söz konusudur. Dolayısıyla bu bölgeler deprem anında kesme kuvveti etkisiyle en çok zorlanan alanlardır. Sismik etki altında yatayda meydana gelen düzensizlik, rijitlik ve kütle düzensizliğinden çok daha fazladır (Alirezaei ve Vahdani, 2015).

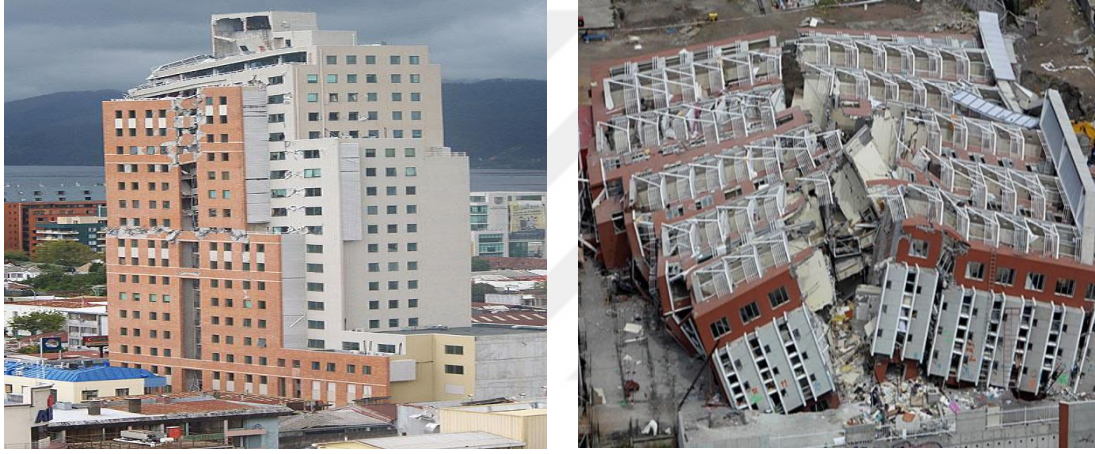
Şekil 7.6'da farklı tiplerde düşeyde geometrik düzensizliği bulunan yapılar görülmektedir. Genellikle ticari kullanım amaçları nedeniyle tasarlanan bu tip yapılar alışveriş merkezi, otel, lüks konut vb. amaçlar için kullanılmaktadır. Mimari açıdan dikkat çekmek ya da giriş katlarının alışveriş merkezi, üst katların da otel ya da konut gibi karma kullanım alanları oluşturmak adına bu tarz tasarımlar özellikle gelişmiş ülkelerde ve büyükşehirlerde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Deprem açısından birçok riski bünyesinde bulunduran bu tip yapılarda birden çok düzensizliği aynı anda gözlemlemek mümkündür.



Şekil 7.6 : Sıklıkla görülen geometrik düzensizliği bulunan bina tipleri (Alirezaei ve Vahdani, 2015).

7.4 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanları Süreksizliği Düzensizliği Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları

Düşeydüzensizliği olan binalarda geometrinin ani olarak değiştiği bölgede elastik olmayan davranış nedeniyle yapılarda deprem hasarları meydana gelir. Şekil 7.7’de görülen binalar 2010 yılında meydana gelen Şili Depremi’nde hasar görmüş ve yıkılmıştır. Benzer bir hasar da Şekil 7.8 (a)’da görülen geometrisi düzensiz yapı 1995 yılında meydana gelen Kobe Depremi’nde hasar görmüştür. Yapılarda kolon kirişlerin yapının temelinden çatısına kadar kesintiye uğramadan devam etmesi istenir. Bazı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde kolon daraltılmasına bile izin verilemez. Şekil 7.8 (b)’de görülen yapıda kolon süreksizlikleri görülmektedir.



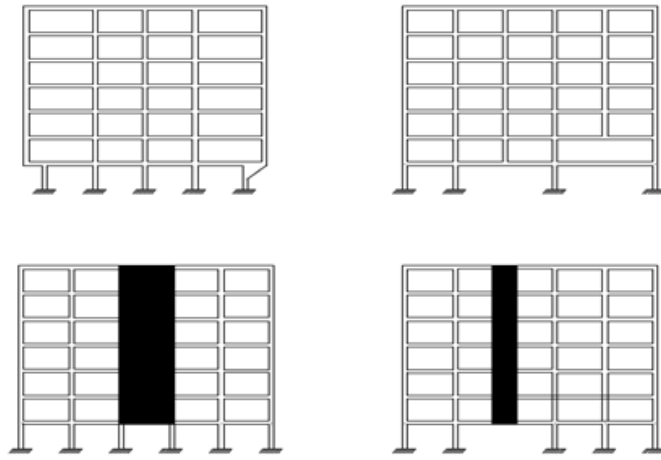
Şekil 7.7 : 2010 Şili Depremi’nde düşey geometrisi düzensiz bina hasarları (Elnashai ve diğ., 2010).



Şekil 7.8 : (a) 1995 Kobe Depremi’nde hasar gören geometrisi düzensiz bina (FEMA, 2012). (b) 2016 Ekvator Depremi’nde kolon süreksizliği bulunan binada görülen hasar (Sim ve diğ., 2016).

7.5 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde B-3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliğine Karşı Alınacak Önlemler

TBDY (2018)'de tanımlanan “B3-Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği” esaslarına göre binalarda temelden başlayan perde ve kolonların çatı katına kadar kesintiye uğramadan devam etmesi gerekmektedir. Guseler üzerine oturan kolonlara izin verilmez. Kolonların ofis katlarında ya da kat aralarında süreksizliğe uğraması yapılarda deprem anında ciddi problemler oluşturacağından bu tip çerçeve sistemlerin varlığı kabul edilemez. Perdelerin kolonlara oturması ya da zemin katta perdelerin kaldırılması Türk Deprem Yönetmeliği'nce yasaklanmıştır. Temelden başlayan taşıyıcı sistem elemanlarının son kata kadar kesintiye uğramadan devam etmesi deprem performansı açısından hayati önem taşır. Çerçevelerde oluşturulan süreksizlikler yük aktarımını zorlaştırır ve yapının göçmesine ya da hasar almasına neden olur. Şekil 7.9'da yönetmelikte kesinlikle izin verilmeyen taşıyıcı sistem modelleri görülmektedir. Bina Taşıyıcı elemanların kesintiye uğramadan oluşturulması istenir.



Şekil 7.9 : 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre B3- Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği (TBDY, 2018).



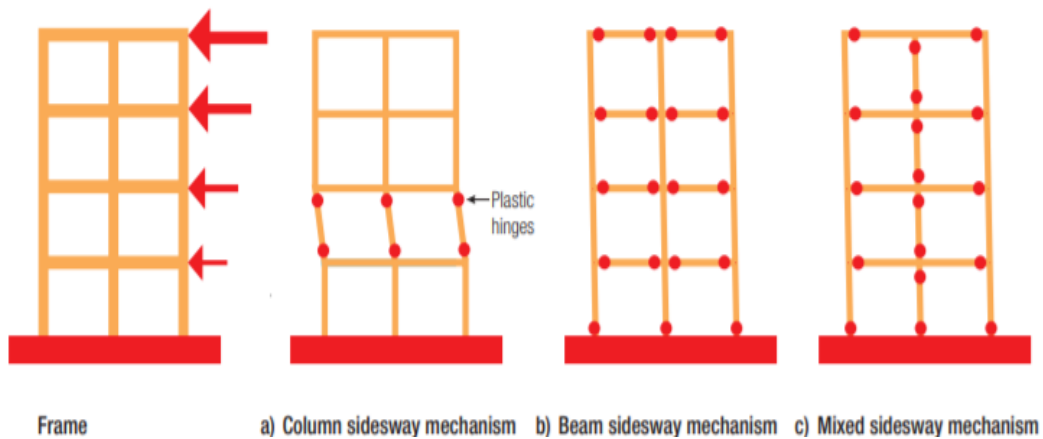
8. KUVVETLİ KOLON - ZAYIF KİRİŞ KURALI

8.1 Kapasite Tasarımı Nedir?

Birçok gelişmiş ülkenin deprem yönetmeliğinde ve Türkiye Deprem Yönetmeliklerinde de üzerinde durulan kapasite tasarımı büyük bir deprem sonucunda yapı taşıyıcı sisteminde oluşması muhtemel doğrusal elastik sınır ötesi davranışı sergileyecek sisteminin seçilmesi ve yapının bu kurala göre davranması olarak tanımlanmıştır.

Kapasite tasarımı ilk kez 1970 yılında Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği'nde Prof. Dr. Thomas Paulay tarafından açıklanmıştır. Kapasite tasarımının ana ilkesi, deprem etkisi sırasında doğrusal elastik olarak davranabilen süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem boyutlandırması olarak tanımlanmıştır (Paluay, 1970).

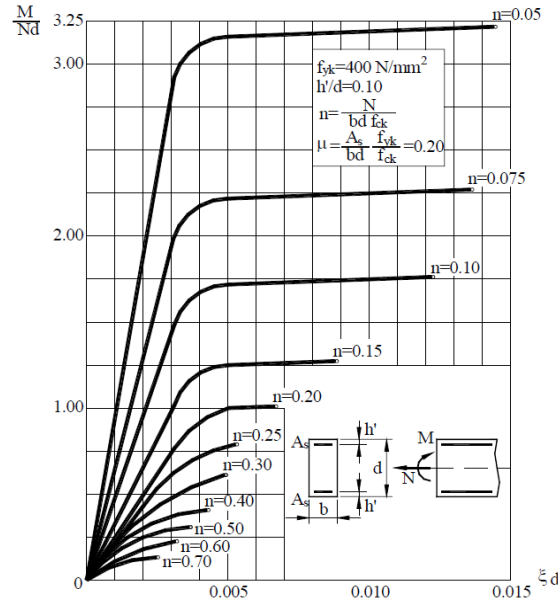
Kapasite tasarımında taşıyıcı sistem davranış katsayısının (R) ihtiyaç duyduğu süneklik düzeyini karşılayacak şekilde, doğrusal elastik sınır ötesi şekil değiştirmelerin istenen plastik mafsallarda oluşması beklenir. Bu bölgelerde oluşan mafsalların istenilen süneklik talebine karşılık vermesi ve kesme göçmesi gibi durumları meydana getirmeyecek şekilde boyutlandırılması yapılmalıdır.



Şekil 8.1 : Çerçeve sistemlerde oluşması muhtemel plastik mafsall mekanizmaları (SRIA, 2015).

Şekil 8.1’de görülen çerçeve sistemli yapılarda deprem etkileri altında oluşabilecek muhtemel plastik mafsall mekanizmaları görülmektedir. Şekil 8.1 (a)’da plastik mafsalların kolon alt ve üst noktalarında meydana gelmesi nedeniyle yapıda yumuşak kat hasarı oluşur. Bu sistemde kuvvetli kiriş zayıf kolon durumu söz konusudur. Tercih edilmeyen çerçeve sistemdir. Yapılarda göçmenin sebebidir. Şekil 8.1 (b)’de görülen kiriş mekanizması yapılarda oluşması istenen kapasite tasarım prensibidir. Plastik mafsalların kiriş uç noktalarında oluşması ve yapının sünek davranması istenir. Kiriş uç noktalarında oluşan plastik mafsallar yapının süneklik talebine de katkı sağlar. Görselde görülen sistem kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibi olarak adlandırılır. Şekil 8.1 (c)’de görülen sistemde ise hem kiriş hem de kolon uç noktalarında plastik mafsallar meydana gelmiştir. Bu sistem kabul edilebilir fakat süneklik taleplerinin karşılanması şarttır (SRIA, 2015).

Taşıyıcı sistem davranış katsayısının (R) ihtiyaç duyduğu elastoplasik şekil değiştirmelerin kesit sünekliği talebinin yüksek olduğu kirişlerde ve aksenal kuvvet oranının düşük olduğu kolonlarda oluşması istenir. Şekil 8.2’de görülen moment eğrilik diyagramında boyutsuz normal kuvvet oranı düşük olan yapı elemanlarında kesit sünekliği büyük değer almakta iken normal kuvvet arttıkça süneklik ters orantılı olarak azalmaktadır.



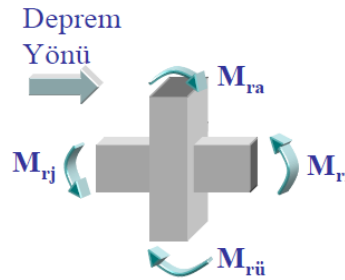
Şekil 8.2 : Birleşik eğilme etkisindeki moment eğrilik grafiği
(Çakıroğlu ve Özer, 1980) .

8.2 Kuvvetli Kolon - Zayıf Kiriş Prensibi

Deprem anında yapısal elemanların en önemli davranışı kolon kiriş birleşim noktalarındaki dönme kapasiteleridir. Kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibi kolon dönme kapasitesinin kiriş dönme kapasitesinden daha büyük olması olarak tanımlanır. Sismik etkiler altında karmaşık çerçeve sistemli bir yapının doğrusal davranış gösterebilmesi için sünekliğinin yüksek ve enerji yutma kapasitesinin yeterli düzeyde olması gerekir. İstenen koşulların sağlanabilmesi için yapının kuvvetli kolon zayıf kiriş davranışına göre tasarlanması şarttır (Liu ve Zheng, 2012).

Kolon kiriş birleşim noktasındaki alt ve üst kolonların moment taşıma kapasiteleri toplamının kirişlerin moment taşıma güçleri toplamından %20 daha fazla olması istenir. Şekil 8.3’de kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibi görülmektedir. Burada iki hedef söz konusudur. Birinci amaç kolonlarda elastik mafsall oluşmaması, ikincisi ise kirişlerde meydana gelen plastik mafsalların yapı sisteminin sünekliğinin yükselmesine katkı sağlamaktır.

$$(M_{ra} + M_{r\ddot{u}}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj}) \quad (\text{Denklem 8.1})$$



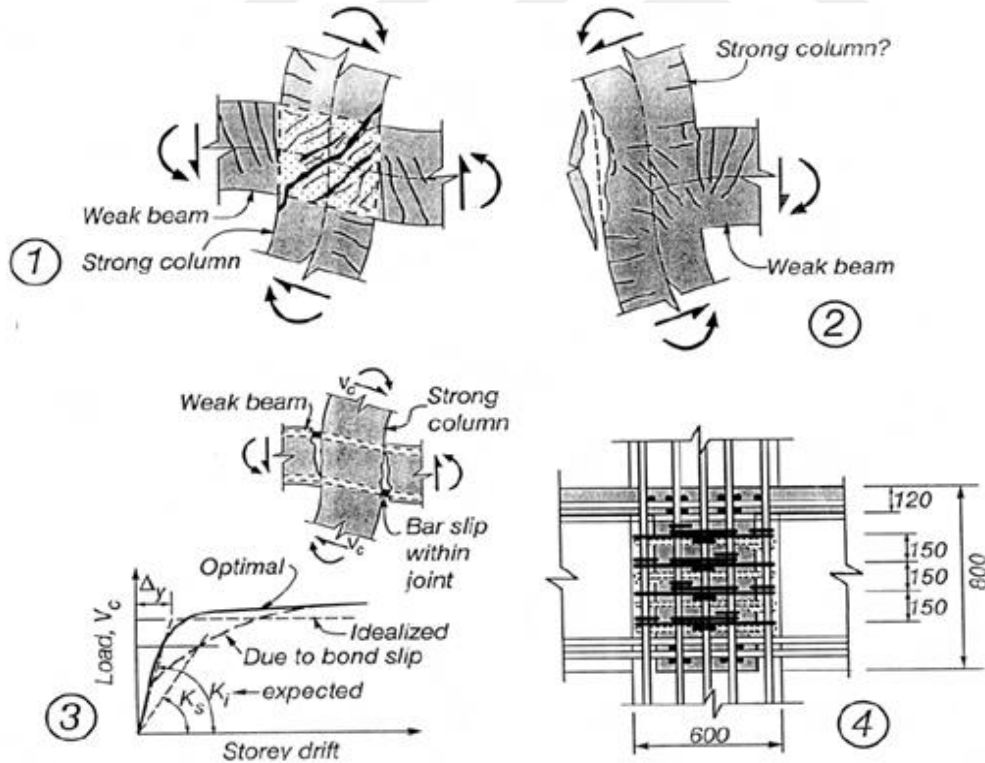
Şekil 8.3 : Kolon kiriş düğüm noktaları kuvvetli kolon - zayıf kiriş prensibi

Kuvvetli kolon zayıf kiriş tasarımında herhangi bir düğüm noktasına birleşen kolonların toplam eğilme momentleri aynı düğüm noktasına birleşen kirişlerin toplam eğilme momentlerinden büyük olması istenir. Plastik mafsalların öncelikle sünek kirişlerde oluşması istenir. Taşıyıcı sistem tasarlanırken sistemin tümü için kesme ve aderans problemleri meydana gelmeyecek boyutlandırma esastır (Özer, 2007).

8.3 Kolon Kiriş Birleşim Noktaları

Kolon kiriş birleşimleri deprem anında yapı sistemleri için kritik bölgelerdir. Kolon kiriş performansını korumak adına aşağıda özetlenen Şekil 8.4'deki kriterlere dikkat edilmelidir.

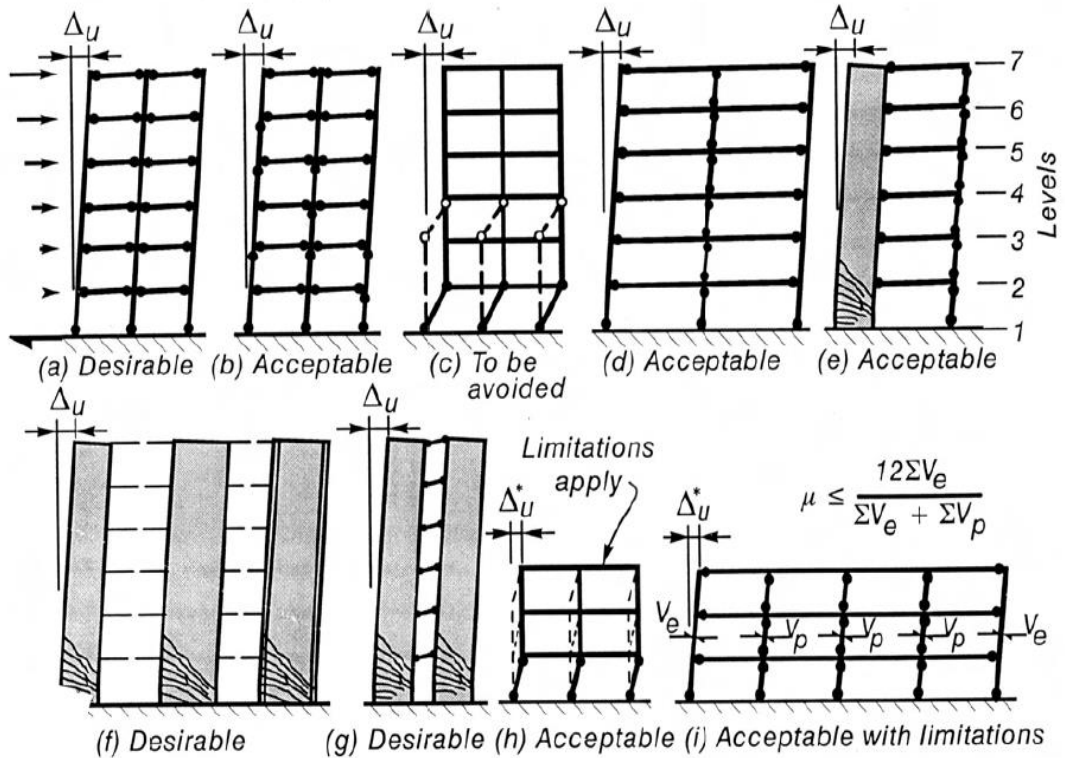
1. Birleşim noktası seçilen plastik mafsalmın maksimum talebini karşılayacak şekilde boyutlandırılmalıdır.
2. Birleşim noktasında kirişin tek taraflı mesnetlenmesi nedeniyle kolonun kapasitesi etkilememeli ve ayrılma tehlikesi oluşturmamalıdır.
3. Şekilde birleşim deformasyonu kat kaymalarını attırmamalı ve çerçeve rijitliğini azaltmamalıdır.
4. Şekilde ise kolon kiriş birleşiminde donatı yoğunluğu nedeniyle sıkışıklık oluşmamalı ve aderans problemleri meydana gelmemelidir.



Şekil 8.4 : Kolon kiriş birleşim noktaları (Paulay, 2001).

8.4 Plastik Mafsâl Seçimi

Kolonlar yapısal deprem mühendisliği kurallarına göre detaylandırılır ve yapı inşa edilirse yapı deprem etkisinde sünek davranır. Yapılarda plastik mafsalların oluştuğu bölgelerde yeterli süneklik ve kesme dayanımının sağlandığı kararlı bölgelerde oluşmaları istenir. Şekil 8.5’de yüksek katlı binalarda plastik mafsâl oluşum mekanizmaları görülmektedir. Plastik mafsalların öncelikle kiriş uç noktalarında oluşması istenir. Kolon uç noktalarında oluşan plastik mafsallar da yapı deprem performansı açısından kabul edilebilir düzeydedir. Tek bir katta oluşan plastik mafsallar yapıda yumuşak kat hasarına neden olur ve göçme meydana gelir. Birçok deprem bölgesinde gözlemlenen bu tip hasarlar yapıda az sayıda plastik mafsâl oluşmasına bağlı olarak sismik etkilerin sönmelenememesi neticesinde meydana gelir. Sonuç olarak az sayıda ve tek bir katta plastik mafsâl oluşumundan kaçınılmalıdır. Yapısal perde kullanımı yapının enerji yutma kapasitesi ve plastik mafsâl oluşumu açısından çok olumlu katkılar sağlar.



Şekil 8.5 : Plastik mafsâl oluşum mekanizmaları (Paulay, 2001)

8.5 Kuvvetli Kolon – Zayıf Kiriş Kuralına Uyulmaması Nedeniyle Meydana Gelen Yapı Hasarları

Birçok ülkenin deprem yönetmeliğinde kapasite tasarımı üzerinde durulmuştur. Yapılarda istenmeyen bölgelerde meydana gelen plastik mafsallar nedeni ile gevrek göçmeler meydana gelmekte ve yapılar yıkılmaktadır. Sünek olarak tasarlanmayan kolon kiriş birleşimleri nedeniyle kolon uç noktalarında meydana gelen plastik mafsallar yapılarda göçme mekanizmaları meydana getirir. Yapılar tasarlanırken kolonların kirişlerden daha güçlü olarak boyutlandırılması istenir. Şekil 8.6'da 2017 yılında meydana gelen Meksika Depremi'nde göçen iki farklı bina görülmektedir. Plastik mafsalların kirişler yerine kolon uç bölgelerinde oluşması nedeniyle yapılar toptan göçmüştür.

Şekil 8.7'de 2011 yılında meydana gelen Christchurch Depremi'nde kapasite tasarımının kurallarına uyulmadan inşa edilmiş binalarda meydana gelen yapı hasarları görülmektedir. Kolon uç noktalarında oluşan plastik mafsallar gevrek göçmelere neden olmuş ve yapılar yıkılmıştır. Yapılarda sargı donatısının yetersizliği, beton kalitesinin düşüklüğü, kolonların kirişlere oranla daha narin tasarlanması depremlerde yapıların yıkılmasındaki en önemli faktörlerin başında sıralanabilir.



Şekil 8.6 : 2017 Meksika Depremi'nde kuvvetli kolon – zayıf kiriş prensibine uyulmadan inşa edilen binalarda görülen toptan göçmeler (Jeffery, 2017).

Binalarda kolon uç bölgelerinde oluşan plastik mafsallar her katta oluşabilirken bazı binalarda bir katta da oluşabilir ve yapının ortadaki bir katın göçmesine neden olur. Şekil 8.8 (a)'da 1995 yılında meydana gelen Kobe Depremi'nde bir katı göçen iş merkezi görülmektedir. Orta katta toplanan plastik mafsallar bir katın göçmesine neden olmuştur. Şekil 8.8 (b)'de 2003 yılında Türkiye'de meydana gelen Bingöl Depremi'nde tamamen göçen bir yapı görülmektedir. Tüm kolon uçlarında meydana gelen plastik mafsall mekanizması sebebiyle yapı tamamen yıkılmıştır.



Şekil 8.7 : 2011 Christchurch Depremi'nde kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibine uyulmaması nedeniyle göçen binalar (Alim, 2014).



Şekil 8.8 : (a) 1995 Kobe Depremi'nde orta katı göçen iş merkezi (Ghosh, 1995).
(b) 2003 Bingöl Depremi'nde tamamen yıkılan bina (Kalafat ve Ölmez, 2003).

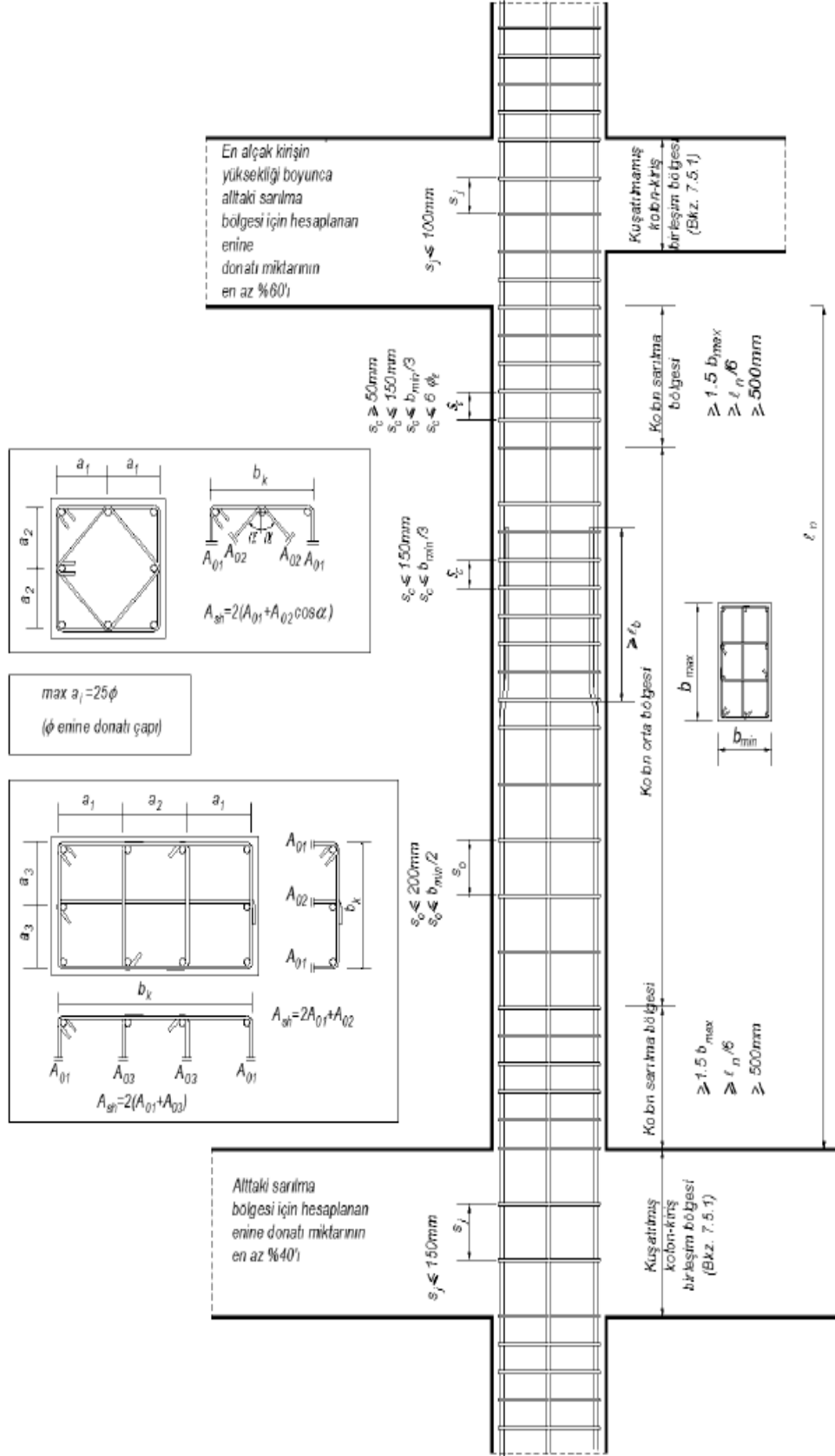
8.6 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde Kapasite Tasarımı ve Kuvvetli Kolon – Zayıf Kiriş Prensibine Karşı Alınacak Önlemler

TBDY (2018)'de kapasite tasarımı yaklaşımı, taşıyıcı sistemde doğrusal olmayan sünek davranışın açık olarak tanımlanan belirli elemanlarla sınırlı tutulmasını, bu davranışla uyumlu olarak diğer bütün elemanların yeterli dayanıma sahip olmasını öngören tasarım yaklaşımıdır.

Tasarım depremi altında yapıda meydana gelen deprem etkilerini taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile azaltılması için yönetmeliğin içerisinde tanımlanan sünek tasarım ve kapasite tasarım ilkelerine uyulması vurgulanmıştır.

Perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha fazla olacaktır.

Kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibinin oluşmasında donatı yerleşiminin ve sargı donatısı düzenleme büyük önem arz eder. Şekil 8.9'da kolonlarda sargı donatısı düzenleme ilkeleri detaylı olarak görülmektedir. Kolon alt ve üst bölgelerinde sıklaştırma yapılması üzerinde durulmuştur. Kolon donatı ekleri momentin en az olduğu kolon orta bölgesinde yapılması ve kolon kiriş birleşim noktalarında kurallara uygun sargı donatısı düzenlenmesi gerekir.



Şekil 8.9: Kolonlarda sargı donatısı düzenleme ilkeleri (TBDY, 2018).

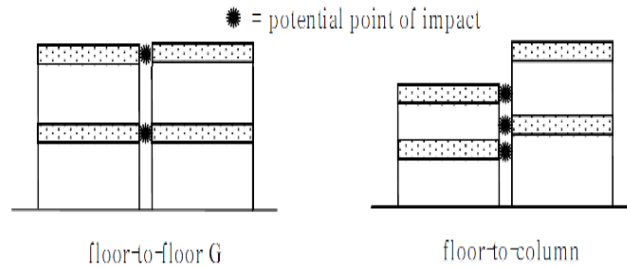


9. ÇEKİÇLEME ETKİSİ

9.1 Çekiçleme Etkisi Nedir? Nasıl Meydana Gelir?

Birbirinden farklı özelliklere sahip binaların deprem sırasında farklı yer değiştirmeler yapmaları sonucunda çarpışarak meydana getirdikleri etkiye çekiçleme etkisi denir. Binalar arasında yeterli derz mesafesinin bırakılmaması sonucunda binalar birbirine çarpar ve yapısal hasarlar meydana gelir. Deprem bölgelerinde çekiçleme etkisi nedeniyle hasar gören pek çok yapı tespit etmek mümkündür. 1964 Alaska Depremi'nde 1995 yılında meydana gelen Kobe Depremi'nde ve 2008 Wenchuan depremlerinde de birçok binada benzer çekiçleme etkilerini görmek mümkündür (Changhai ve diğ, 2015).

1985 Meksika Depremi sonrasında hasar gören binalar incelendiğinde binaların %40'ında çekiçleme etkisi nedeniyle hasar meydana geldiği tespit edilmiştir. 1989 yılında Loma Prieta Depremi sonrasında 200'den fazla binada çekiçleme etkisini görmek mümkündür. 1999 Kocaeli Depremi'nde farklı kat yükseklikleri olan komşu binaların kolon döşeme çarpışması sonucunda hasar aldığı gözlemlenmiştir. Depremler sonrasında yapılan incelemelerde çekiçleme etkisine maruz kalan yapılarda direk bir göçmeden ziyade kolonların çekiçleme nedeniyle hasara uğraması sonucunda göçmelerin meydana geldiği tespit edilmiştir (Çetinkaya ve Akköşe, 2011). Şekil 9.1'de çekiçleme etkisi oluşumu ve kolon kolona ya da kolon döşeme çarpışma tipleri görülmektedir.



Şekil 9.1 : Çekiçleme etkisi ve muhtemel çarpışma tipleri (Changhai ve diğ, 2015).

9.2 Sık Görülen Çekiçleme Etkisi Tipleri

9.2.1 Döşeme kolon yada döşemedен duvara çekiçleme etkisi

Depremler sonrasında görülen çekiçleme türlerinden üçte biri döşeme kolon veya döşeme duvar tipi çekiçleme etkisidir. Bu tür hasarlarda binanın döşemesi komşu binanın kolonuna çarpar ve taşıyıcı sistem düşey elemanlarının ciddi anlamda hasar görmesine neden olur.

9.2.2 Farklı kütlelere sahip komşu binalarda meydana gelen çekiçleme etkisi

Farklı kütlelere sahip komşu iki binanın çarpışması sonucunda ortaya çıkan hasardır. Tipik çekiçleme etkisindeki benzer hasarlar gözlemlenmek mümkündür.

9.2.3 Yükseklikleri farklı olan binalarda çekiçleme etkisi

Birbirine komşu toplam yükseklikleri arasında büyük fark bulunan binalarda çarpışma olması halinde hasarın arttığı gözlemlenmektedir. Yükseklikleri farklı binalarda bu tehlikeyi azaltmak adına aradaki derz boşluğunun yüksek binaya göre yeterli genişte bırakılması önerilmektedir.

9.2.4 Aynı sırada aralarında boşluk bulunmayan yapılarda çekiçleme etkisi

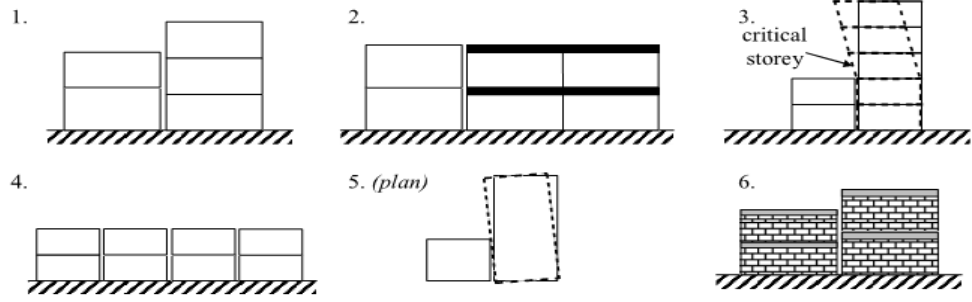
Christchurch ve Darfield Depremi'nde en sık görülen hasarların başında aynı sırada bulunan farklı dinamik etkilere sahip binalarda gözlemlenmiştir. Özellikle sıra halinde bulunan blokların baş ve sonlarında olan binalarda momentum transferi nedeniyle ekstra hasarların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

9.2.5 Çarpışma nedeniyle burulan yapılar

Zor belirlenen bir yapı hasarıdır. Depremler sonrasında çekiçleme etkisi nedeniyle bazı yapılarda burulma hasarı gözlemlenmek mümkündür.

9.2.6 Gevrek malzemedен yapılmış binalarda çarpışma etkisi

2011 Darfield Depremi'nde sık görülen yapı hasarıdır. Yığma binalarda gevrek malzemeler kullanılması nedeniyle çarpışmanın etkisiyle yaklaşık %75 binada bu tip gevrek malzemedен kaynaklanan hasarları gözlemlenmek mümkündür (Cole ve diğ., 2012).



Şekil 9.2 : Sık görülen çekiçleme hasarları (FEMA, 2015).

Şekil 9.2’de görülen çekiçleme hasar tipleri aşağıda belirtilen şekilde açıklanabilir;

- 1- Kolon döşeme etkileşimi nedeniyle meydana gelen çekiçleme etkisi.
- 2- Farklı kütleli binalarda çekiçleme etkisi.
- 3- Farklı yükseklikli binalarda görülen çekiçleme etkisi.
- 4- Sıralı binalarda meydana gelen çekiçleme etkisi.
- 5- Çekiçleme nedeni ile burulan binalar.
- 6- Yığılma binalarda görülen çekiçleme etkisi.

9.3 Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerine Göre Derz Mesafeleri

İki bina arasında bırakılacak derz boşlukları birçok ülkenin bina deprem yönetmeliklerinde birbirinden farklı olarak tanımlanmıştır. Örneğin FEMA 273-1997 ye göre iki bina arasında bırakılması gereken boşluk miktarı bina yüksekliğinin %4’ünden az olmayacak şekilde bırakılması gerekliliği vurgulanmaktadır. Arjantin Deprem Yönetmeliği’nde iki bina arasında bırakılması gereken minimum mesafe 2,5 cm olarak tanımlanmıştır. IBC 2009’a göre derz boşluğu maksimum yer değiştirmenin büyütme faktörü ile çarpılıp yapı önem katsayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Tayvan Yönetmeliği’nde ise derz mesafesi zemin durumuna ve bina yüksekliğine göre hesaplanmaktadır. Kanada ve İsrail bina yönetmeliklerinde ise yan yana bulunan her iki binanın yerdeğiştirmelerinin toplanması ile elde edilir. Fransız Bina Deprem Yönetmeliği’nde ise derz mesafesi ikinci dereceden bir denklem yardımı ile hesaplanmaktadır (Rajaram ve Kumar, 2012).

9.4 Çekiçleme Etkisi Nedeniyle Depremlerde Meydana Gelen Yapı Hasarları

Yeterli derz mesafesi bırakılmadan inşa edilen binalarda depremler sonrasında çekiçleme olarak adlandırılan çarpışma hasarları meydana gelir. Çekiçleme etkisinde genel olarak binalarda yapısal hasarlara neden olur. Döşemenin kolona çarpması sonucunda yapılarda ciddi kolon hasarları sıklıkla görülen çekiçleme hasar tipidir. Yığma yapıların sünekliği betonarme yapılara göre oldukça azdır. Betonarme bir yapı ile yığma bir binanın çarpışması sonucunda yığma binalarda göçmeler sıklıkla görülen yapı hasarıdır. Betonarme binalarda yapısal hasar olarak görülen çekiçleme etkisi yığma binalarda toptan göçme olarak meydana gelir. Özellikle 2011 Christchurch Depremi'nde birçok yığma binada çekiçleme hasarı nedeniyle göçme meydana gelmiştir.



Şekil 9.3 : (a) 2011 Christchurch Depremi'nde çekiçleme etkisi nedeniyle hasar görmüş iş merkezi (Edwin, 2011). (b) 2011 Van Depremi'nde çekiçleme ve yumuşak kat hasarı nedeniyle ağır hasar gören bir bina (Gürer, 2012).

Şekil 9.3 (a)'da 2011 Christchurch Depremi'nde meydana gelen çekiçleme hasarı görülmektedir. Birbirine dik doğrultuda inşa edilen iki farklı binada yeterli derz boşluğunun bırakılmaması nedeniyle taşıyıcı düşey elemanlarda çarpışma hasarları meydana gelmiştir. Şekil 9.3 (b)'de 2011 Van Depremi'nde meydana gelen çekiçleme hasarı görülmektedir. İki bina arasında çekiçleme etkisine maruz kalan bina ağır hasar görmüş ve kullanılamaz hale gelmiştir. Yumuşak kat düzensizliği nedeniyle zemin katları göçen bina çarpışma etkisiyle iki bina arasında burulmuştur.

Şekil 9.4’de 2011 yılında meydana gelen Christchurch Depremi’nde betonarme bir bina ile yığma binanın çarpışması sonucunda göçen yığma binalar görülmektedir. Yığma yapılar betonarme yapılara göre oldukça gevrek karakteristik özellik sergiler. Çarpışma anında betonarme yapılar çarpışma etkisini sönmülerken yığma binalarda ağır hasarlar meydana gelir. Şekil 9.5’de 1985 yılında meydana gelen Meksika Depremi’nde meydana gelen çekiçleme hasarları görülmektedir. Çarpışma sonucunda yüksek katlı bina taşıyıcı sistemi ağır hasar almıştır. Çekiçleme hasarlarında toptan göçme nadir olarak görülmese de ağır yapısal hasarlar sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 9.4 : Farklı kütleli çekiçleme etkiyle ciddi hasar almış bir işyeri ve konut
(Cole ve diğ., 2012).



Şekil 9.5 : 1985 yılında Meksika Depremi’nde birbirinden farklı yükseklikte çekiçleme etkisi nedeniyle hasar görmüş binalar (Öztürk ve diğ., 2013).

9.5 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Çekiçleme Etkisine Karşı Alınacak Önlemler

TBDY (2018)'de farklı zemin oturmalarına bağlı temellerin ötelenmesi, dönmesi ve sıcaklık farkları etkisi altında olan durumlar hariç, yapılarda deprem etkisi için bırakılacak derz boşluklarına ilişkin belirli kurallar üzerinde durulmuştur.

Her bir kat için komşu binalarda elde edilen deplasmanların kareleri toplamının karekökü ile α katsayısının çarpımından az olamaz.

(a) Komşu binaların kat döşemelerinin aynı seviyede olmaları durumunda;

$\alpha = 0.25 (R / I)$ alınacaktır. (Denklem 9.1)

(b) Komşu binaların kat döşemelerinin farklı seviyelerde olmaları durumunda;

$\alpha = 0,5 (R / I)$ alınacaktır. (Denklem 9.2)

Mevcut eski binalar için hesap yapılamaması durumunda eski binanın yer değiştirmeleri yeni binanın aynı katlardaki hesaplanan yer değiştirme değerlerinden daha küçük alınmayacaktır.

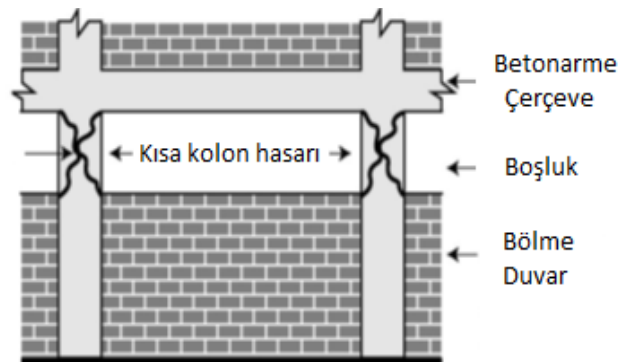
Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 3cm, 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 1 cm eklenmesi gereklidir. Binalar arasındaki derzler depremde binaların bütün doğrultularda birbirlerinden bağımsız olarak hareket edecek şekilde bırakılmalıdır. Yalıtımlı binalarda bırakılacak deprem derzleri, sistemin en büyük yer değiştirmesine ek olarak görelî kat ötelemeleri de dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Derz genişliği iki bina için hesaplanan en büyük yer değiştirmeden küçük olmayacaktır.

10. KISA KOLON ETKİSİ

10.1 Kısa Kolon Etkisi Nedir? Nasıl Meydana Gelir?

Kolon etkili boyunun kısaltılması sonucunda yatay deprem kuvvetine maruz kalan düşey taşıyıcı sistem elemanının boşluk yüksekliği kadar olan bölgede eğilmeye zorlanması sonucunda ortaya çıkan taşıyıcı sistem hasarına kısa kolon hasarı denir (Yön ve Sayın, 2008).

Mimari nedenlerden dolayı önlem alınmadan inşa edilen özellikle hastane, okul ve kamu binası gibi pek çok yapıda teşkil edilen bant pencereler deprem sonrasında sıkça gözlenen kısa kolon hasarlarının temel nedenidir. Yapıların bodrum katlarında ışıklandırma ve havalandırma ihtiyacının karşılanması amacıyla boşluk olarak bırakılan pencereler deprem sonrasında yapının taşıyıcı sisteminin hasar görmesine neden olur. Mühendisler, mimarlar ve yapı denetim elemanları bina tasarlanırken ya da inşa edilirken kısa kolon benzeri hasarların görülebileceği muhtemel bölgeleri belirleyip gerekli önlemleri almaları binanın deprem performansı açısından oldukça önemlidir (Guevara ve diğ, 2005). Şekil 10,1'de kısa kolon oluşumu ve hasar mekanizması görülmektedir. Kısa kolon boyu azaldıkça kolona uygulanan kesme kuvveti ters orantılı olarak artar.

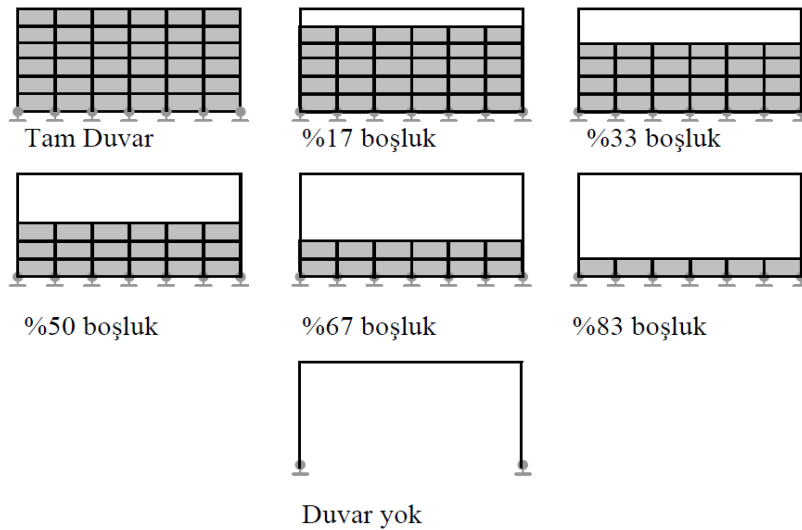


Şekil 10.1 : Kısa kolon oluşum ve hasar mekanizması (Guevara ve diğ, 2005).

10.2 Kısa Kolon Oluşumuna Etki Eden Parametreler

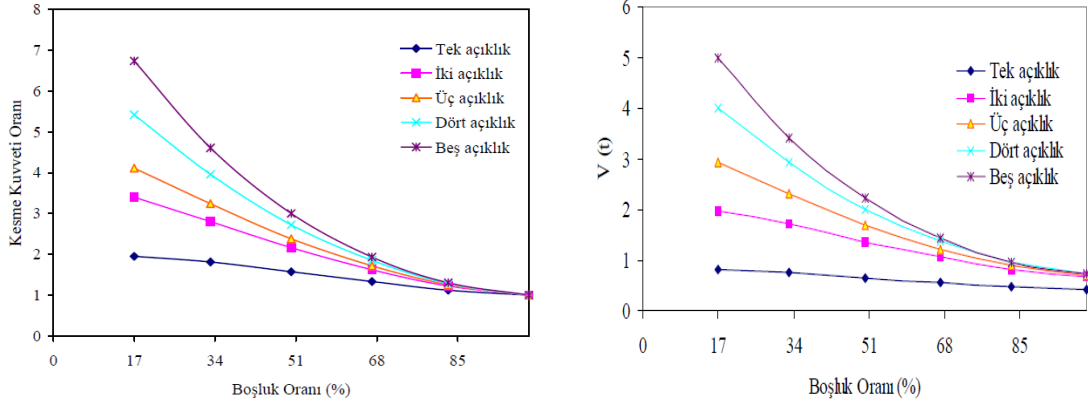
Binalarda kısa kolon etkisi birden çok nedenle oluşabilir. Bölme duvarın yüksekliği çerçeve sistem içerisinde bırakılan boşluklar, yeterli ve kuralına uygun olmadan yerleştirilmiş sargı donatısı kısa kolon etkisi oluşmasındaki temel nedenlerin içerisinde sayılabilir. Duvar içerisinde bırakılan boşluğun oranı kısa kolon etkisine neden olan kesme kuvveti ile ters orantılıdır.

Çağatay (2007) tarafından boşluk oranları tam dolu, %17 boşluklu, %33 boşluklu, %50 boşluklu, %67 boşluklu, %83 boşluklu ve tamamen boş olarak birbirinden farklı açıklıklı modeller ele alınarak analizler yapılmış sonuçları incelenmiştir. Şekil 10.2’de farklı boşluk oranına göre oluşturulmuş yapı modelleri görülmektedir.



Şekil 10.2: Farklı boşluk oranına sahip 5 akslı yapı (Çağatay, 2007).

Analiz sonucunda şekil 10.3’deki kesme kuvveti ve değişimi grafikleri elde edilmiştir. En büyük kesme kuvvetinin %17 boşluk oranına sahip 5 açıklıklı sistemde meydana geldiği görülmüştür. Kısa kolon etkisi %50 den az boşluklu duvarlarda daha az etki etmektedir. 5 açıklıklı %17 duvar boşluklu sistemin kesme kuvveti 5 ton civarında iken %50 boşluk oranına sahip duvarlı bir modelde kesme kuvveti 2,2 ton mertebesindedir. Boşluk oranı %50 ve üzerine çıktığı anda gerilme büyük değerlere ulaşmıştır. Boşluk oranı azaldıkça kesme kuvveti ters orantılı olarak artmakta ve büyük değerlere ulaşmaktadır. Beş açıklıklı bir yapıya göre tek açıklıklı yapılarda daha düşük kesme kuvveti etkisi görülmektedir.



Şekil 10.3 : Kesme kuvveti değişimi ve kesme kuvveti grafikleri (Çağatay, 2007).

10.3 Mimari Nedenlerden Dolayı Yapılarda Oluşan Kısa Kolon Tipleri

10.3.1 Bant pencereler

Havalandırma ve ışık ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanan bant pencereler sıklıkla okul, dinlenme salonu, koridor, mağaza, doktor muayenehanelerinde karşımıza çıkmaktadır. Bu tip pencereler genellikle daha çok ışık alması için yüksekte ve kolondan kolona olacak şekilde yerleştirilmektedir. Tuğla duvarın mukavemeti kolonun mukavemetinden daha az olmasına rağmen, yatay yükler altında tuğla duvarlar kolonun hareketini kısıtlamaktadır. Kolonun boşluklu kısmı aşırı zorlanır ve bu bölgede kesme kuvveti hasarı oluşur. Şekil 10.4’de bir okul binasında hasar görmüş bant pencere örneği görülmektedir. Dolgu duvarların kolon hareketini engellemesi sonucunda pencere bölgesindeki boşlukta aşırı kesme kuvvetine maruz kalan kolon yapısal hasar görmüştür.



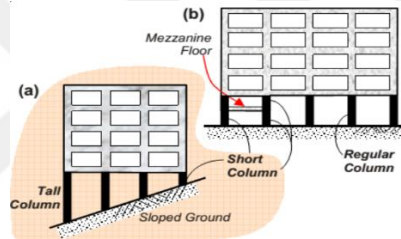
Şekil 10.4 : Deprem hasarı görmüş bant pencere örneği (Pique ve Martel, 2004).

10.3.2 Eğimli arazilerde inşa edilen yapılar

Eğimli ya da teraslama yapılan farklı kotlu arazilerde inşa edilen binalarda kolon yükseklikleri birbirinden farklı olabilmektedir. Kısa kolonlarda kesme kuvveti daha fazla olacağından sismik sarsıntı anında bu kolonlarda aşırı zorlanma neden ile hasar meydana gelir. Şekil 10.5 (a)'da eğimli arazide inşa edilen bir yapıda muhtemel kısa kolon oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.

10.3.3 Asma katlı binalarda kısa kolon etkisi

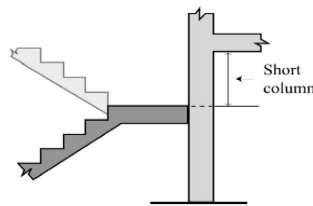
Asma katlı binalarda asma kat döşemesi ve kirişleri kolonlara mesnetlendiği için deprem anında kolonların hareketini engellemekte ve kısa kolon etkisi oluşturmaktadır. Şekil 10.5 (b)'de asma katın neden olduğu kısa kolon düzensizliği görülmektedir.



Şekil 10.5 : (a) Eğimli arazide inşa edilen bina. (b) Asmakat nedeni ile oluşan kısa kolon (Guevara ve diğ, 2005).

10.3.4 Kolona mesnetlenen merdiven sahanlığı nedeniyle oluşan kısa kolon etkisi

Yapılarda görülen bir başka tür kısa kolon hasarı da merdiven sahanlıklarında oluşmaktadır. Merdiven girişinin ya da rijit merdiven döşemesinin kolon ortasına mesnetilmesi sonucunda kolonun hareketi engellenir ve kolonda yapısal kısa kolon hasarı meydana gelir (Guevara ve diğ, 2005). Şekil 10.6'da kolon ortasına mesnetlenen merdiven sahanlığı görülmektedir. Kolon üst bölgesinde zorlanma nedeniyle kısa kolon hasarı oluşması muhtemeldir.



Şekil 10.6 : Kolona mesnetlenen merdiven sahanlığı ve kısa kolon etkisi (Guevara ve diğ, 2005).

10.4 Depremlerde Meydana Gelen Kısa Kolon Hasarları

Deprem anında binalara etkiyen yatay deprem yükleri yapısal elemanlarda süneklik kapasiteleri oranında yerdeğiştirmelere neden olur. Yapılarda mimari nedenlerle oluşturulan pencerelerin alt kısımlarındaki yarım dolgu duvarlar kolonun deprem anında hareketini engeller. Toplam kolon boyuna etkimesi gereken kesme kuvveti bölme duvarsız pencerenin bulunduğu alana etkir ve bant pencerenin bulunduğu bölgede kesme kuvvetine bağılı yapısal hasar meydana gelir. Kısa kolon hasarında kolonun tamamının sönümlenmesi gereken enerji serbest bölgedeki kısımda sönümlenir. Uç bölge aşırı deplasman yapar ve dolgu duvarsız bölgede kesme hasarı meydana gelir. Kısa kolon boyu ne kadar azalırsa alana etkiyen kesme kuvveti artar. Şekil 10.7’de Christchurch ve Kobe Depremlerinde bant pencere mantığıyla tasarlanan yapılarda meydana gelen kısa kolon hasarları görülmektedir. Kesme kuvveti etkisiyle yapılarda X şeklinde kolon deformasyonları meydana gelmiştir. Kısa kolon hasarları yapıların genellikle taşıyıcı sistem hasarlarına neden olmasının yanı sıra göçmelere de neden olur.

Şekil 10.8 (a)’da kısa kolon hasarları nedeniyle 2010 Haiti Depremi sonrasında bir bölümü yıkılmış okul binası görülmektedir. Şekil 10.8 (b)’de görülen yapıda bodrum katın ışık ve havalandırma ihtiyacını karşılamak adına bırakılan bant pencereler 2003 Boumerdes Depremi’nde yapının hasar görmesine neden olmuştur. Binalarda merdiven sahanlığının tutturulduğu kolonlarda deprem anında yerdeğiştirmeler kısıtlanır. Zorlanan uç bölgelerde kısa kolonlar oluşur ve kolon uçlarında hasarlar meydana gelir. Şekil 10.9’de Haiti ve Kocaeli Depremlerinde merdiven kovalarında oluşan kısa kolonlar görülmektedir. Deprem etkisiyle kolonlarda göçmeler meydana gelmiştir. Merdiven sahanlıklarının daha rijit elemanlar olan perdelerle tutturulması oluşabilecek muhtemel kısa kolon etkilerini ortadan kaldırır. Tasarım aşamasında öncelikle kısa kolon oluşumundan kaçınılmalıdır. Kısa kolon oluşumundan kaçınılmadığı zorunlu hallerde sargı donatısı arttırılarak ya da kesit boyutları büyütülerek muhtemel kısa kolon hasarlarına karşı önlem alınabilir.



Şekil 10.7 : (a) 2011 Christchurch Depremi kısa kolon hasarı (Lim, 2011).

(b). 1995 Kobe Depremi'nde görülen kısa kolon hasarı (Janney, 2019).



Şekil 10.8 : (a) 2010 Haiti Depremi kısa kolon hasarı (Paultre ve diğ., 2010).

(b) 2003 Boumerdes Depremi'nde görülen kısa kolon hasarı. (Charleson, 2008).



Şekil 10.9 : (a) 2010 Haiti Depremi'nde kolona mesnetlenen merdiven sahanlığı nedeni ile oluşan kısa kolon hasarı (Paultre ve diğ. 2010).

(b) 1999 Kocaeli Depremi merdiven sahanlığı kısa kolon etkisi (Robles, 1999).

10.5 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Kısa Kolon Hasarlarına Karşı Alınacak Önlemler

TBDY (2018)'de kısa kolonların iki nedenden dolayı oluştuğu vurgulanmıştır. Bunlardan birincisi taşıyıcı sistem ikincisi ise kolonlar arasındaki dolgu duvarlarda bırakılan duvar boşluklarıdır. Yönetmelikte kısa kolonun engellenemediği durumlarda kolon sargı donatısının arttırılması, kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşullarının yerine getirilmesi üzerinde durulmuştur.

Kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvvetinin aşağıdaki koşulları sağlaması istenmektedir.

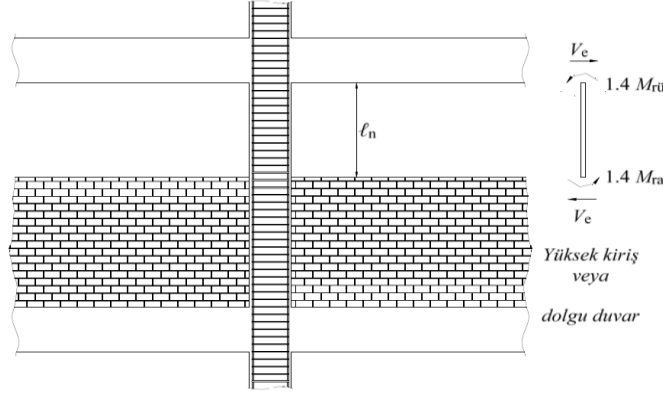
$$V_e \leq V_r \quad (\text{Denklem 10.1})$$

$$V_e \leq 0.85A_w\sqrt{F_{ck}} \quad (\text{Denklem 10.2})$$

Kat No.	M_u 'nün hesaplanması		M_a 'nün hesaplanması	
	Kolon üst ucunda Denk. 7.3'ün sağlamaması durumu	Kolon üst ucunda Denk. 7.3'ün sağlamaması durumu	Kolon alt ucunda Denk. 7.3'ün sağlamaması durumu	Kolon alt ucunda Denk. 7.3'ün sağlamaması durumu
i+1				
i				
i-1				
	$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj}$ $M_u = \frac{M_{hu(i)}}{M_{hu(i)} + M_{hu(i+1)}} \sum M_p$		$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj}$ $M_a = \frac{M_{hu(i)}}{M_{hu(i)} + M_{hu(i+1)}} \sum M_p$	
	$M_{hu(i)}$ i'inci kat kolonu üst ucunda Bölüm 3 ve Bölüm 4'e göre bulunan moment $M_{hu(i)}$ i'inci kat kolonu alt ucunda Bölüm 3 ve Bölüm 4'e göre bulunan moment			

Şekil 10.10 : M_a ve M_u Eğilme momentleri (TBDY, 2018).

Şekil 10.10'daki eğilme momentleri kısa kolonun alt ve üst uçlarında $M_a \approx 1.4M_{ra}$ ve $M_i \approx 1.4M_{ri}$ olarak hesap yapılacağı belirtilmiştir. ℓ_n İse kısa kolonun serbest boyu olarak alınacak ve hesaplanan kesme kuvvetinin de minimum donatı koşullarının sağlanması istenir.



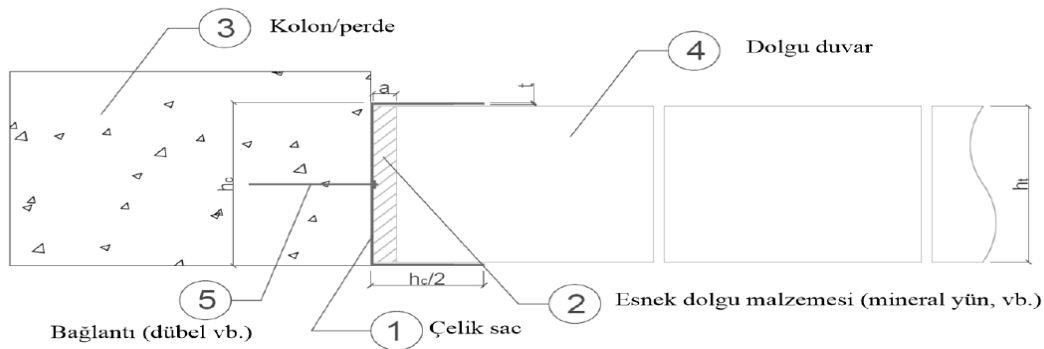
Şekil 10.11 :Kısa kolon parametreleri (TBDY, 2018).

Kolonlarda enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti denklem 10.3’de görülmektedir.

$$V_e = (M_a + M_{ii}) / \ell_n \quad (\text{Denklem 10.3})$$

Şekil 10.11’de kısa kolon parametreleri M_{ra} , $M_{r\ddot{u}}$, ℓ_n gösterilmektedir. Dolgu duvarlarının kolonlara bitişik olması durumunda kısa kolon haline gelen kolonlarda, enine donatıların tüm kat yüksekliğince devam ettirilmesi önerilmektedir.

Deprem yer hareketleri altında dolgu duvarın hasar görmesinin engellenmesi amacı ile gevrek dolgu duvarlar ile bitişik olduğu kolonlar ve perdeler arasında esnek derzler oluşturulur. Bu derzler, duvarın şekildeğişirmesini engellemeyen esnek bir malzeme ile doldurulur. Bu amaçla uygulanabilecek esnek derzler için örnek bir detaylandırma şekil 10.12’de verilmektedir. Esnek derz, kolon/perde yüksekliği boyunca kolon/perde iç yüzlerine ve üst kiriş döşeme alt yüzüne ankraj ile bağlanan bir C-profil ile sağlanmaktadır. Bu profil aynı zamanda deprem sırasında duvarın düzlem dışı hareketini de engeller.



Şekil 10.12 : Dolgu duvar için esnek detay örneği (TBDY, 2018).

11. KALİTESİZ İŞÇİLİK VE MALZEME KULLANILARAK DONATI DÜZENLEME KURALLARINA UYULMADAN İNŞA EDİLEN YAPILAR

11.1 Yapıların İnşasında Düşük Dayanımlı Beton Kullanımı

Betonun basınç dayanım düşüklüğü betonarme yapının davranışını önemli ölçüde etkiler. Beton yapı itibari ile gevrek bir malzeme olup enerji yutabilme ve çekme dayanımı oldukça düşüktür. Beton içerisine yerleştirilen donatı ile oluşturulan betonarme sistem sünek bir davranış sergiler. Beton basınç dayanımının düşük olması durumunda beton donatı aderansı düşük gerilmelerde bile gerekli tutunmayı sağlayamaz. Bu durumda donatı betondan sıyrılır ve etriyelerle sarılmış boyuna donatı burulur, beton kırılır, donatı kopar ve bina göçer. Düşük basınç dayanımı kolonların moment ve aksenal yük taşıma kapasitesini düşürür. Kiriş ve kolon uçlarında oluşan plastik mafsallar deprem anında yüksek enerji yutma kapasitesine sahiptir. Sünek mafsallı oluşumu için kolon boyuna donatısı ile kiriş donatılarının tam bir aderans sağlayıp gerilmenin betona aktarılması istenir. Düşük dayanımlı betonlarda kesme kuvveti nedeniyle betonda çatlama ve parçalanma meydana gelir. Betonda düşük basınç dayanımı moment aksenal yük taşıma gücünü ve kesme kuvveti dayanımını azaltır. Kesme dayanımı, basınç dayanımının bir fonksiyonu olduğu için, basınç dayanımdaki %50 azalma kesme dayanımının %30 oranında azalmasına sebep olur. (Uğurlu, 2013).

Türkiye’de yayımlanan deprem yönetmeliklerine bakıldığında 1975 ile 1998 yılları arasında yürürlükte olan ve Türkiye yapı stoğunun büyük bir kısmının inşa edildiği dönemi kapsayan deprem yönetmeliğinde minimum beton sınıfı C14 olarak belirlenmiştir. 1998 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinde ise deprem bölgesine bağlı olarak beton sınıfı C16-C20 sınıfına çıkartılmıştır. Okul hastane gibi yapı önem katsayısı 1.4 ve 1.5 olan kamu binalarında kullanılacak beton sınıfı C20 ve üzeri olması zorunluluğu getirilmiştir. DBYBHY (2007)’de minimum beton sınıfı C20 olarak belirlenirken TBDY (2018)’de minimum beton sınıfı C25 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 11.1’de ERMCO 2014 ve 2015 verilerine göre ülkelerde kullanılan beton sınıfları görülmektedir. ERMCO (2015) Avrupa Hazır Beton Birliği verilerine göre Türkiye’de %10 oranında C16/20 - C20/25, %73 oranında C30/37 ve %16 oranında C35/45 sınıfı beton kullanılmaktadır. 2015 yılı için Avrupa ortalamalarına bakıldığında %18,9 oranında C16/20 - C20/25, %62,3 oranında C30/37 ve %12 oranında C35/45 kullanıldığı görülmektedir. Avrupa ülkeleri arasında en yüksek beton sınıfı Belçika ve İrlanda’da kullanılmaktadır. Amerika’da C16/20 - C20/25, ve C30/37 ve %25 oranında kullanılırken Japonya’da C16/20 - C20/25, %34, C30/37 %50 oranında kullanılmaktadır. Şekil 11.1’de Dünyada üretilen beton sınıflarının dağılımı görülmektedir. 2014 yılında üretilen betonların %59’u C25/30 – C30/37 iken bu oranın 2015 yılında %62’ye çıktığı görülmektedir.

Çizelge 11.1: Dünyada kullanılan beton sınıfları (ERMCO, 2015).

Country	% Production by strength class							
	Strength (N/mm ²)							
	< C16/20		C16/20-C20/25		C25/30-C30/37		≥ C35/45	
2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	
AT-Austria	8,6	8,0	18,8	15,3	67,0	70,4	5,6	6,3
BE-Belgium	2,0	2,0	10,0	10,0	54,0	54,0	34,0	34,0
CZ-Czech Republic	17,0	18,0	28,0	27,0	34,0	34,0	21,0	21,0
DK-Denmark	6,0	6,0	35,0	30,0	35,0	36,0	24,0	28,0
FI-Finland	3,0	3,0	20,0	19,0	67,0	68,0	10,0	10,0
FR-France	1,0	1,0	24,0	15,0	63,0	72,0	12,0	12,0
DE-Germany	8,4	8,5	18,6	18,6	54,6	59,6	18,4	13,3
IE-Ireland	8,0	8,0	20,0	20,0	38,0	38,0	34,0	34,0
IT-Italy	7,0	6,0	19,0	20,0	70,0	71,0	4,0	3,0
NL-Netherlands	1,0	1,0	48,0	46,0	36,0	38,0	15,0	15,0
PL-Poland	10,0	10,0	20,0	20,0	60,0	60,0	10,0	10,0
PT-Portugal	5,0	5,0	40,0	40,0	50,0	50,0	5,0	5,0
SK-Slovakia	19,0	15,0	22,0	25,0	49,0	52,0	10,0	8,0
ES-Spain	8,0	7,0	5,0	5,0	81,0	82,0	6,0	6,0
SE-Sweden	-	-	-	-	-	-	-	-
UK-United Kingdom	11,0	11,0	25,0	25,0	54,0	54,0	10,0	10,0
Average EU	7,0	6,9	20,5	18,9	59,4	62,3	13,1	12,0
IL-Israel	-	0,0	-	10,0	-	70,0	-	20,0
NO-Norway	0,0	0,0	1,0	3,0	52,0	43,0	47,0	54,0
CH-Switzerland	-	-	-	-	-	-	-	-
TK-Turkey	1,0	1,0	10,0	10,0	73,0	73,0	16,0	16,0
Average ERMCO	4,9	4,9	16,9	15,8	63,8	65,6	14,4	13,8
Russia	5,0	5,0	40,0	30,0	40,0	50,0	15,0	15,0
USA	40,0	40,0	25,0	25,0	25,0	25,0	10,0	10,0
Japan	0,0	0,0	34,0	34,0	50,0	50,0	16,0	16,0



Şekil 11.1 :Farklı ülkelerde kullanılan beton sınıfları (ERMCO, 2015).

1999 Kocaeli Depremi sonrasında yıkılan binalardan alınan karot numuneleri İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda incelendiğinde elde edilen sonuçların TS500 ve TS14222'de belirtilen 14 N/mm² basınç dayanımının altında kaldığı görülmüştür. Çizelge 11.2'de 1999 Kocaeli Depremi sonrasında yıkılan ve ağır hasar gören binalardan alınan karot numunelerinin basınç dayanımları görülmektedir. Özellikle Bağcılar ve Avcılar'da analizi yapılan karot numunelerinin 1975 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen minimum beton sınıfı olan C14'ün bile çok altında olduğu tespit edilmiştir (Özkul ve diğ, 1999).

Çizelge 11.2: 1999 Kocaeli Depremi sonrasında yıkılan ve ağır hasar gören binalardan alınan karot numunelerinin basınç dayanımları (Özkul ve diğ, 1999).

Yer	Beton Karot Basınç Dayanımları (N/mm ²)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı (Kgf/cm ²)
Bağcılar	4.0, 6.4, 7.7, 9.6 ve 11.4	7.8	81
Avcılar	4.5, 6.2, 7.5 ve 12.7	7.7	79
Adapazarı	9.2, 10.3, 18.6 ve 32.6	-	-
Kocaeli	10.7, 11.2, 12.3, 12.5, 13.6, 13.7, 14.4, 14.8, 15.3, 15.4, 16.2, 18.1, 19.6, 20.6 ve 22.0	15.4	163
Yalova	9.2, 9.4, 9.8, 9.9, 10.5, 11.5, 12.4, 12.5, 13.0, 13.4, 13.8, 13.8, 14.2, 16.5, 16.7, 17.0 ve 23,5	13.4	132
Çınarcık	4.8 ve 5.4	-	-
Gölcük	5.6, 6.0, 9.2, 9.2, 9.5, 11.5, 13.2, 17.4 ve 19.9	11.3	117

11.2 Donatı Korozyonu

Beton kalitesinin düşük olması nedeniyle beton dış çevresel etkilere maruz kalır ve donatıyı koruyamaz. Donatı üzerindeki koruyucu tabaka yani pas payının az ya da yetersiz oluşu çeliğin korozyona uğramasındaki en önemli etmenlerin arasında sayılır. Havadaki karbondioksitin beton boşluklarına girerek hidrasyon sonucunda oluşan kalsiyum hidroksitle birleşmesi neticesinde kalsiyum, karbonata dönüşür ve ortamdaki Ph derecesi 11-12'den 8'e düşer. Sonuç olarak çelik üzerinde bulunan pasivasyon yüzeyi tahrip olur ve korozyon meydana gelir.

Donatıda korozyona neden olan ikinci bir durum da etken klor iyonlarıdır. Korozyonun başlayıp devam edebilmesi için betonun gerekli geçirimsizliği sağlayamayıp CO₂, Cl₂ O₂ ve nem difüzyonuna engel olamamasıdır. Donatının korozyondan korunmasında en önemli önlemlerden birincisi su/çimento oranının azaltılması ikincisi ise çimento dozajıdır. Özellikle klor etkisinin bulunduğu deniz kenarındaki yapılarda durabileteyi sağlamak adına ihtiyaç duyulan beton dayanım sınıfından daha yüksek dayanımlı beton kullanmak gerekir. Şekil 11.2'de korozyona maruz kalmış paspayı tamamen kaybolmuş taşıyıcı elemanlar görülmektedir. Korozyon etkisi nedeniyle donatı çapları azalmış hatta sargı donatılarında kopma meydana gelmiştir. Korozyona karşı alınabilecek en etkili yöntem betonu geçirimsiz yapmaktır. Su/çimento oranı düşük, standartlara uygun vibratör kullanılarak yerleştirilmiş, yeterli paspayı bırakılmış ve beton kürü uygulanmış yapılarda korozyon etkisinden kaçınmak mümkündür (Taşdemir ve diğ., 2000).



Şekil 11.2 :Korozyona maruz kalmış donatı (Taşdemir ve diğ., 2000).

11.3 Beton Bakımının (Beton Kürünün) Ve Su/Çimento Oranının Beton Mukavemetine Etkisi

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda 350 kg/m³ çimento dozajlı su/çimento oranları (S/C=0,40 S/C=0,60 S/C=0,80) farklı olmak üzere 3 farklı türde 9'ar adet numune olmak üzere toplamda 27 küp beton numune üretilmiştir. Test numunelerine farklı ortamlarda beton kürü yapılmıştır. Çizelge 11,3'de üretilen numuneler ve kür ortamları hakkında bilgi verilmiştir. Şekil 11,3'de ise üretilen beton numunelerin kür ortamları görülmektedir. Su/çimento oranları farklı 9 numune Temmuz ayı boyunca hiç kür edilmeden çevresel ortama bırakılmıştır. Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 32°C olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Diğer su/çimento oranları farklı 9 numune keçe ile sarılıp her gün düzenli kür edilmiştir. Numunelerin 9 adedi ise laboratuvar içerisindeki kirece doygun 20±2 °C sıcaklığındaki kür havuzunda 28 gün boyunca bekletilmiştir.

Çizelge 11.3 : Çimento dozajları aynı su / çimento oranları ve kür ortamları farklı üretilen numuneler

Beton Numunesi	Kür Ortamı		
	Kür edilmemiş Çevresel ortam (Temmuz ayı sıcaklık 32 °C)	Keçeye sarılıp düzenli kür edilen numuneler	Kür havuzunda bekletilen numuneler
Su/çimento oranı 0,40 olan 350 kg/m ³ çimento dozajlı numune	3 Adet küp numune	3 Adet küp numune	3 Adet küp numune
Su/Çimento oranı 0,60 olan 350 kg/m ³ dozajlı numune	3 Adet küp numune	3 Adet küp numune	3 Adet küp numune
Su/çimento oranı 0,80 olan 350 kg/m ³ çimento dozajlı numune	3 Adet küp numune	3 Adet küp numune	3 Adet küp numune



Şekil 11.3 : Üretilen numunelerin kür ortamları.

28. günün sonunda farklı ortamlarda kürü yapılan beton numuneler laboratuvarda kırılarak basınç dayanımları incelenmiştir. Çizelge 11.4’de elde edilen basınç dayanımları görülmektedir. En yüksek mukavemet değeri su/çimento oranı %40 olan kür havuzunda bekletilen numunede elde edilmiştir. Beton içerisinde su oranı azaldıkça mukavemet artışı çok net olarak görülmektedir. En düşük mukavemet değerine su/çimento oranı %80 olan hiç kür işlemi uygulanmadan dış ortamda bekletilen numunede görülmüştür. Elde edilen numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde kür havuzu ile düzenli kürü yapılan numunelerin yakın dayanım sonuçları verdiği görülmektedir. Kür işlemi uygulanmayan numunelerde beton sınıfın bir alt sınıfa düştüğü görülmektedir. İşlenebilirlik açısından bünyesinde fazla su bulunduran betonların mukavemetinde ciddi düşüşler meydana geldiği yapılan deney sonrasında çok açık olarak görülmektedir. Özellikle şantiyede işçiliğin kolaylaşması adına beton mikserine ilave edilen ekstra suyun beton dayanımında ciddi azalmalara neden olabileceği yapılan çalışma sonrasında açıkça görülmektedir.

Çizelge 11.4 : Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları

	Su / Çimento oranı 0,40 350 kg/m³ çimento dozajlı numune			Su / Çimento oranı 0,60 350 kg/m³ çimento dozajlı numune			Su / Çimento oranı 0,80 350 kg/m³ çimento dozajlı numune		
Kür Ortamı	Yük (kN)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ort. (Mpa)	Yük (kN)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ort. (Mpa)	Yük (kN)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ort. (Mpa)
Kür havuzu	1289	57,28		918	40,83		630	28,04	
	1266	56,26	57,30	910	40,47	40,98	492	21,90	25,18
	1313	58,35		937	41,67		576	25,61	
Düzenli kür edilen numune	1104	49,06		828	36,80		502	22,35	
	1108	49,24	53,27	920	40,90	39,31	575	25,56	23,51
	1384	61,51		905	40,24		509	22,63	
Dış ortamda bekletilen numune	958	42,59		791	35,17		529	23,53	
	1073	47,68	45,94	746	33,16	34,28	506	22,52	23,42
	1070	47,55		776	34,52		558	24,80	

11.4 Kalitesiz Agregasın Kullanımı

Agrega beton üretiminde kullanılan çimento su karışımı ile bağlayıcılık kazandırılarak bir araya getirilen kum, çakıl, kırma taş gibi doğal kaynaklı taneli malzemelerdir. Beton hacminin %60 ~%80'lik kısmı agregadan oluşur. Betonda kullanılan agregaya yeterli mukavemete sahip, dış etkilere dayanıklı, yönetmeliklerde belirtilen fiziki ve mekanik özellikleri karşılayacak nitelikte olmalıdır. Agreganın birleşimi uygun tane boyutu dağılımı (granülometri) göstermesi istenir. Beton içerisindeki agreganın iyi bir granülometriye sahip olursa hava boşluğu oranı azalır ve beton yoğunluğu artar. Segregasyon adı verilen beton içerisindeki agreganın çimento ve sudan ayrışması durumu betonun istenilen dayanıma ulaşmasını engeller. Betonda kullanılan agreganın sağlaması istenilen teknik özellikler sertleşen betonun hacminin değişiminin önlenmesi, sertleşmiş betonda aşınma direnci ve çevresel etkilere karşı dayanımın artması olarak sıralanabilir. Beton içerisinde kullanılan agregadan beklenen ideal davranış tane dağılımı uygun, donatıya dayanıklı ve içerisinde yabancı maddeler bulundurmamasıdır.

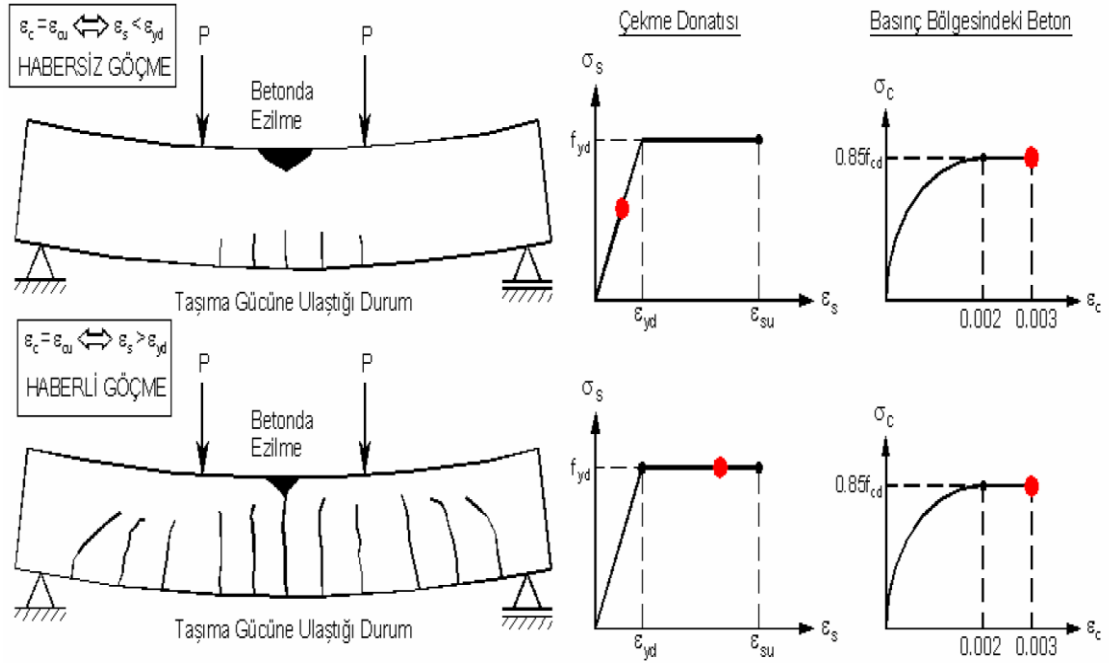
Betonda kullanılan sülfürlü ve sülfat bileşimli agregalar (alkali sülfatlar, jips, anhidrit) betondaki kireç ve alüminyum bileşikleriyle tepkimeye girer ve zamanla beton içerisinde kristaller meydana getirerek betonun çatlamasına neden olur. Nitrat ve halojenür gibi tuzların agreganın içerisinde bulunması istenmez. Özellikle klor betonarme çeliğinin korozyona uğramasına neden olur. Çizelge 11.5'de TS706'da beton içerisinde kullanılan kum ve iri agregaların sahip olması istenen mekanik ve fiziksel özellikler belirtilmektedir. Silis bileşimli agregalar betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile tepkimeye girer ve alkali silikat çözeltisi meydana gelir. Betondaki alkaliye duyarlı agregalar betonun ayrışmasına, kabarmasına, çatlaklara ve betonun zamanla parçalanmasına neden olur. Betonda meydana gelen çatlaklar betonun durabilitesini etkiler ve ömrünü azaltır. TS706'da Belirtilen özelliklerde olmayan agreganın kullanılarak imal edilen betonlarda istenilen mukavemet ve durabilite sağlanamaz. Yapı deprem etkisi altında hedeflenen performansı sağlayamaz ve göçmeler meydana gelir (Çağlayan ve diğ., 1999).

Çizelge 11.5 : TS 706 Betonda kullanılan kum ve iri agrega standartları.

STANDARTLAR	KUM	İRİ AGREGA
Gevşek Birim Ağırlık (TS3529)	Min. 1350 kg/m ³	Min. 1250kg/m ³
Özgül Ağırlık (TS3529)	Min. 2550 kg/m ³	Min. 2600 kg/m ³
Deniz Hayvanı Kabuğu İçeriği	Kompositenin 0,49 değerinden küçük olması durumunda uygundur.	Min. 2600 kg/ m ³
Organik Madde (TS3673)	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan numunenin rengi standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır.	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan numunenin rengi, standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır.
Çamurlu Madde Miktarı (TS3527)	Çökeltme deneyi sonunda çamurlu madde miktarı hacimce % 5' den küçük olmalı.	63 mm 'den daha ince kil, silt gibi malzemelerin miktarı, yıkama deneyine göre %1,5 değerini aşmamalı.
Su Emme Miktarı (TS3S26)	Max. % 2	Max. % 2
Alkaliye Duyarlı Taneler	Çimentoda eşdeğer alkali oksit değeri %0,6'dan büyükse kumda, alkaliye duyarlı taneler ağırlıkça %0,5'den az olmalı.	
Biçimsiz tane miktarı: (TS3814)		Max %40'ı aşmamalı.
Aşınma miktarı		Bilyalı tamburda yapılan aşınma deneyi sonunda tayin edilen malzeme kaybı 500 devir sonunda en çok %45 olmalı.

11.5 Haberli Göçme ve Habersiz Göçme

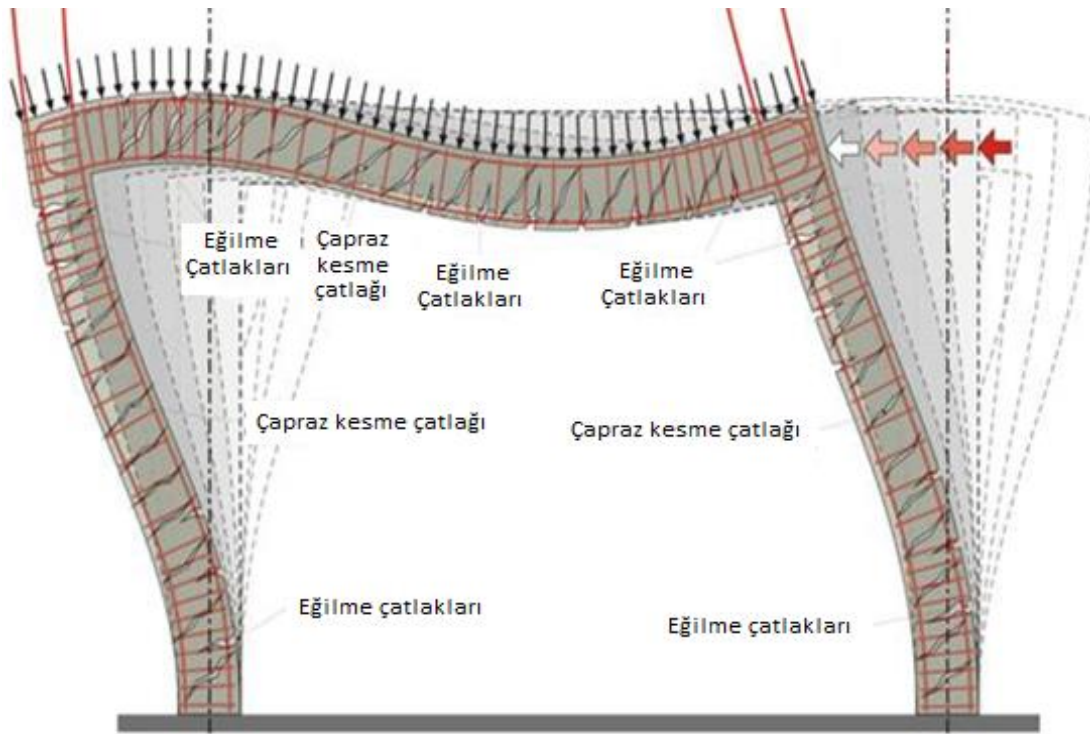
Basit eğilme ve eğilme momenti ile aksenal basınç kuvveti etkisindeki kesitlerdeki (kolon kesiti gibi) moment taşıma kapasitesine kesitin en dışındaki betonun ezilmesi ile ulaşılır. Bu durumda çekme bölgesindeki en dış donatının akma durumuna erişip erişmediği göçmenin türünü belirlemektedir. Betonun ezilmesinden önce donatı akmışsa çekme göçmesi, sünek göçme, haberli göçme, adı verilen durum meydana gelir. İstenen göçme türü haberli göçmedir. Betonun ezilmesi durumunda çekme donatısı henüz akmamışsa basınç göçmesi, gevrek göçme, ya da habersiz göçme adı verilen ani göçme meydana gelir. Habersiz göçme betonarme yapılarda istenmeyen bir durumdur. Şekil 11.4’de haberli ve habersiz göçme durumları oluşum mekanizması ve donatı beton davranışları görülmektedir. (Darılmaz ve İlki, 2007).



Şekil 11.4 : Haberli göçme ve habersiz göçme durumları (Darılmaz ve İlki, 2007).

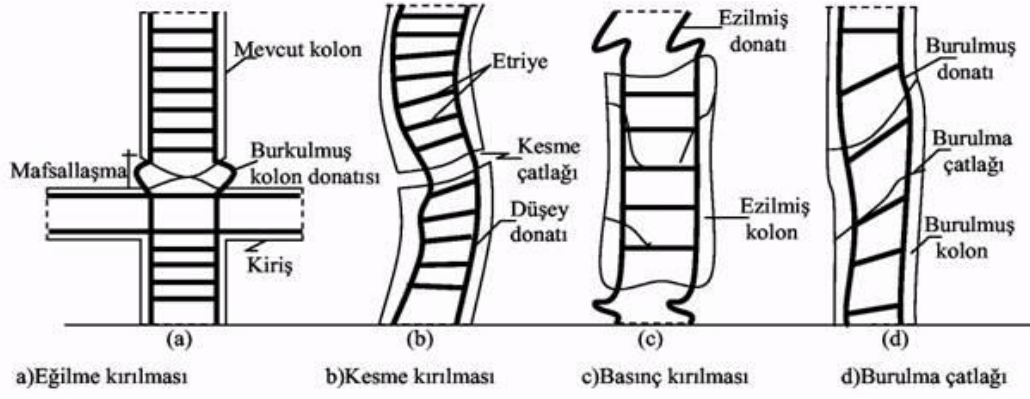
11.6 Betonarme Elemanlarda Görülen Göçme Türleri

Taşıyıcı sistemi oluşturan tüm elemanların deprem etkilerini karşılayabilecek şekilde boyutlandırılması gerekir. Deprem yükleri altında kirişlerde genellikle eğilme ve kesme çatlakları oluşur. Kolonlarda kesme etkisine bağlı olarak 45° açı ile yatay kesme çatlakları meydana gelirken kiriş ortasında eğilme çatlakları görülür. Beton dayanımı düşük, yetersiz enine sargı donatısı bu tip kesme çatlaklarının oluşmasında en önemli nedenlerin başında sıralanır. Şekil 11.5’de yatay deprem kuvveti altında betonarme çerçeve sistemde yatay yer değiştirme nedeniyle meydana gelen eğilme ve kesme çatlakları görülmektedir.



Şekil 11.5 : Deprem yükleri altında betonarme elemanlarda meydana gelen eğilme ve kesme çatlakları (SRIA, 2015).

Deprem etkileri altında betonarme elemanlarda kesme, burulma, eğilme, basınç etkilerine bağlı olarak göçme hasarları meydana gelir. Şekil 11.6’da betonarme yapılarda meydana gelen göçme türleri görülmektedir. Bu tip hasarlarda beton taşıma gücünü kaybeder ve donatılarda sargı donatısı yetersizliği nedeniyle açılmalar meydana gelir.



Şekil 11.6 : Betonarme elemanlarda meydana gelen göçme türleri

11.6.1 Eğilme Göçmesi

Yapılarda kütleler kat seviyelerinde yoğundur. Deprem yatay kuvvetleri kolon kiriş birleşim noktalarında yoğunlaşır ve düğüm noktalarındaki eğilme momentleri büyük değerler alır. Düşey yükler altında normal kuvvetin etkin olduğu kolonlar deprem sırasında eğilmeye çalışan elemanlara dönüşür. Eğilme etkisi altındaki yapı elemanlarında, kolon kiriş birleşimlerinde yeterli sargı donatısı eksikliği nedeniyle beton ezilir ve eğilme göçmesi meydana gelir. Şekil 11.7’de görülen perde uç bölgesinde meydana gelen mafsallaşma görülmektedir. Sargı donatısı kopmuş beton ezilmiştir.



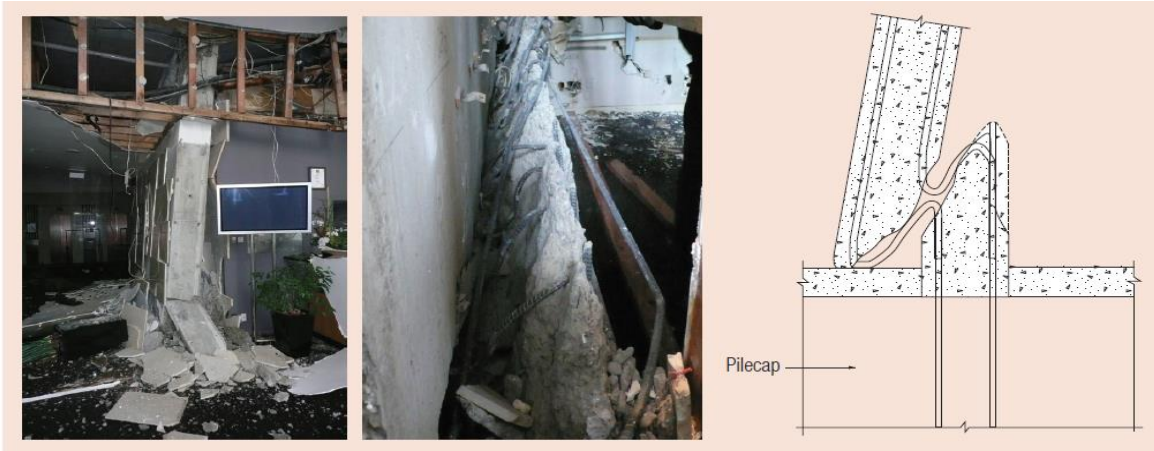
Şekil 11.7 : Perde uç bölgesinde meydana gelen eğilme göçmesi (Harris ve diğ., 2011).

11.6.2 Kesme göçmesi

Betonarmeyi oluşturan taşıyıcı elemanlar eğilmeye ek olarak kesme kuvveti de taşımak zorundadır. Kesme ve normal gerilmelerin sebep olduğu asal gerilmeler betonun çekme dayanımı düşük olması nedeniyle yapısal hasarların oluşmasına neden olur. Kesme göçmesini etkileyen birçok faktör sıralanabilir. Kesme donatısının hatalı detaylandırılması, yapım hataları, beton kalitesinin düşüklüğü, kesme donatısının korozyona maruz kalması gibi birçok etken kesme göçmesinin nedeni olarak sıralanabilir. Yapılarda kesme göçmesi genellikle 45° açı ile meydana gelen çatlaklar olarak görülür. Şekil 11.8’de 2011 Tohoku Depremi’nde Şekil 11.9’da 2011 Christchurch Depremi’nde meydana gelen kesme göçmesine bağlı hasarlar görülmektedir. Kolonlarda yeterli sıklaştırma yapılmadığı ve betonun kesme kuvveti etkisiyle taşıma gücünü kaybettiği görülmektedir.



Şekil 11.8 : 2011 Tohoku Depremi’nde Tohoku Üniversitesi Kimya Fakültesi’nde meydana gelen kolon kesme hasarı (Swanson, 2011).



Şekil 11.9 : 2011 Christchurch Depremi’nde CCTV binasında meydana gelen perde göçmesi (Lim, 2011).

11.6.3 Basınç ve burkulma göçmesi

Kolon aksenal yükü kolon taşıma kapasitesinden fazla olması durumunda ya da beton dayanımı hesaplanan değerden daha az olduğu durumlarda basınç göçmeleri meydana gelir. Basınç göçmesi ani ve gevrek geçmedir. Kolon boyuna donatısı akma gerilmesine ulaşmadan beton ezilir ve çatlar. Kolon boyuna donatısı betonun ezilmesiyle dışa doğru burulur ve yapısal hasar meydana gelir. Yeterli sargı donatısı bulunmaması, sargı donatılarının kopması, beton kalitesinin düşük olması basınç göçmelerinin en temel sebepleri arasında sayılır. Şekil 11.10'da ve şekil 11.11 (a)'da basınç etkisi altında kolonda meydana gelen göçme görülmektedir. Hasarlarda görülen en büyük özellik sargı donatısının kopması ve betonun ezilmesidir. Şekil 11.11 (b)'de görülen kolonda fretli sargı donatısı açılmış ve kolonda basınç göçmesi meydana gelmiştir.



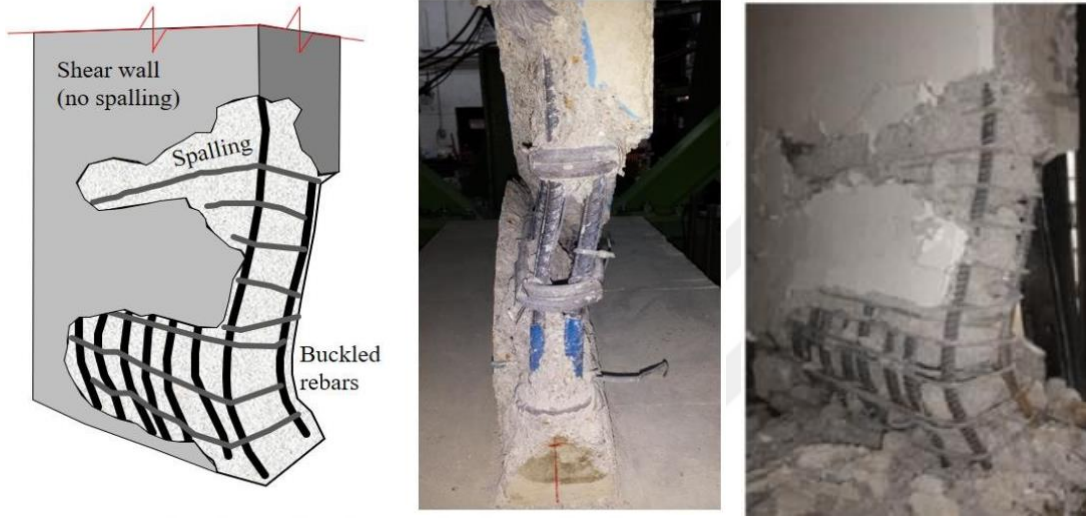
Şekil 11.10: Basınç etkisi altındaki kolonda meydana gelen göçme (Swanson, 2011).



Şekil 11.11 : (a) 2003 Bingöl Depremi basınç göçmesi (Paultre ve diğ., 2010).

(b) 1994 Northridge Depremi'nde oluşan basınç göçmesi (Paultre ve diğ., 2010).

Yapı sistemlerinin tasarım aşamasında bina kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışması ya da olabildiğince yakın olacak şekilde tasarlanması gerekir. Deprem ivmesinin meydana getirdiği yatay bileşke kuvvet yapının kütle merkezinden geçer. Kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki fark yapıda öteleme ve dönmeye neden olur. Dönme etkisi altındaki yapı elemanlarında burulma etkileri görülür. Şekil 11.12’de burulma etkisine maruz kalmış perde eleman görülmektedir. Deprem kuvveti etkisiyle beton taşıma gücünü kaybetmiş perde eleman burulmuştur. Şekil 11.13’de 2010 Şili ve 1994 Northridge Depremi’nde burkulmuş kolon örnekleri görülmektedir.



Şekil 11.12 : Burkulma göçmesi (Marius, 2013).

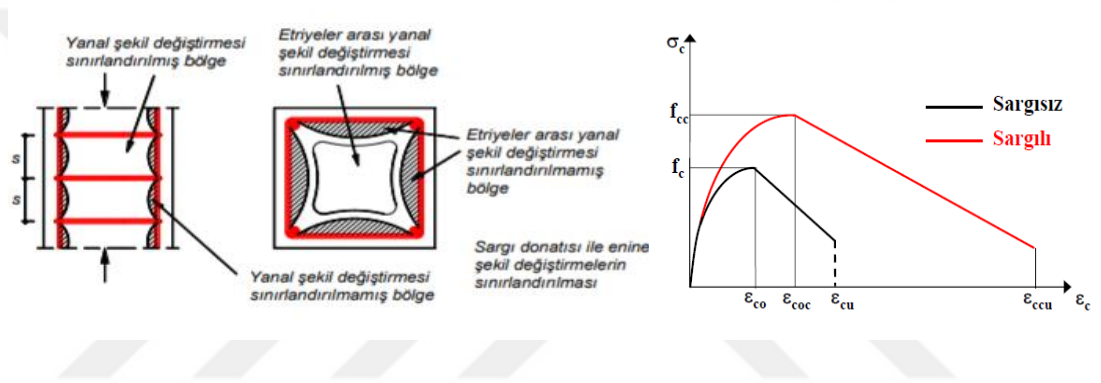


Şekil 11.13 : (a) (b) 2010 Şili Depremi burkulma hasarı (Harris ve diğ., 2011).

(b) 1994 Northridge Depremi burkulma hasarı (Amiri ve diğ., 2008).

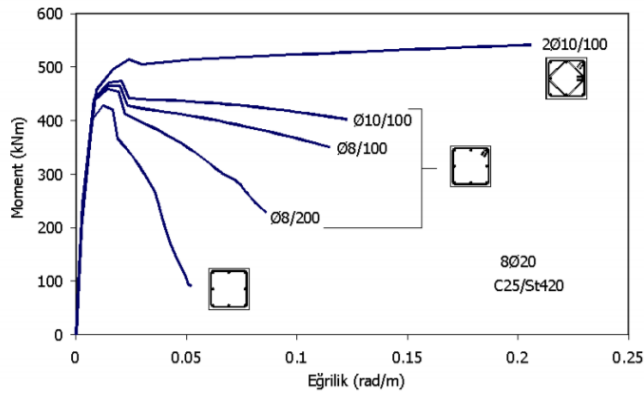
11.7 Sargı Donatısının Önemi

Betonarme yapı elemanlarının eğilme ve aksenal yük altında sünek davranabilmeleri için dikdörtgen dairesel kare ya da sürekli fret biçiminde oluşturulan sık ve düzgün olarak detaylandırılan yatay donatıya sargı donatısı ya da etriye denir. Şekil 11.14’de sargılı ve sargısız betonun moment taşıma kapasitesi görülmektedir. Sargılı betonarme eleman sargısız elemana göre daha sünek davranış gösterdiğinden daha yüksek moment taşıma kapasitesine sahiptir. Kolonlarda sargı donatısı yanal şekil değiştirmeleri sınırlandırması nedeniyle dayanım ve sünekliği önemli oranda artırır (Darılmaz, 2015).



Şekil 11.14: Sargılı ve sargısız kolon davranışı (Darılmaz, 2015)

Darılmaz (2015), tarafından yapılan çalışmada farklı sargı donatılı kolonların moment taşıma kapasiteleri incelenmiş Şekil 11.15’deki moment eğrilik grafiği elde edilmiştir. Çift sıralı 10 cm arayla oluşturulmuş etriye en yüksek moment kapasitesine sahipken etriyesiz kolon en düşük moment taşıma kapasitesine sahiptir. Sargı donatısı sıklaştıkça kesitin moment taşıma kapasitesi ve sünekliği artar.

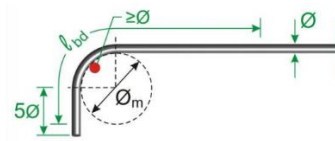
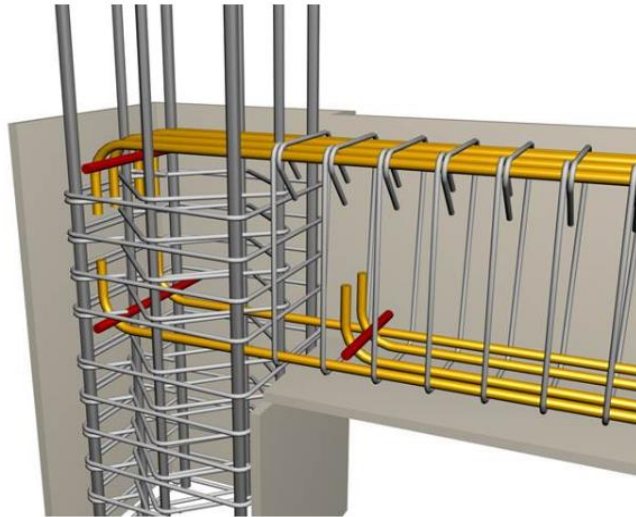


Şekil 11.15 : Farklı sargı donatılı kolonların moment kapasiteleri (Darılmaz, 2015).

11.8 Kolon Kiriş Birleşim Bölgesinde Oluşan Hasarlar

Taşıyıcı sistem elemanları birbirlerine bağlandıkları noktalarda deprem etkilerini aktaracak şekilde boyutlandırılmalıdır. Düğüm noktalarına bağlanan taşıyıcı sistem elemanları moment kapasitelerine ulaşmadan çözülmesi halinde taşıyıcı sistem monolitik özelliğini kaybeder ve yapı yerdeğiştirmesi hızla artar. Yatay yer değiştirmedeki bu artış ikinci merteye etkilerini imal edilemez hale getirir ve yapı stabilitesi kaybolur. Bu nedenle çözülmeyi engellemek adına kolon kiriş bölgelerinde sargı donatısı ve aderans kaybı gibi gevrek göçme hasarları engellenmelidir.

Kolon kiriş birleşim noktalarında donatı düzenleme kurallarına uyulmaması, birleşim noktalarında sargı donatısı kullanılmaması, yatay donatıda kanca yapılmaması nedeniyle kolon kiriş birleşim bölgelerinde yapısal hasarlar meydana gelir. Bu bölgelerde aşırı donatı yığılması nedeniyle aderans tam olarak sağlanmaz ve deprem anında yeterli kenetlenme olmadığı için birleşim noktalarında hasar meydana gelir. Şekil 11.16'da kolon kiriş birleşim noktasında uyulması gereken donatı düzenleme kuralı görülmektedir. Kolon boyunca devam eden sargı donatısının birleşim noktası boyunca devam ettiği ve sıyrılmının önlenmesi için düzenlenen kanca detayı görülmektedir (Kırcıl, 2015).



Şekil 11.16 : Kolon kiriş bölgesi donatı birleşim detayı (SRIA, 2015).

Şekli 11.17’de düğüm noktasında yapılan donatı düzenleme hataları nedeniyle meydana gelen yapısal hasarlar görülmektedir. Görsellerde de görüldüğü gibi birleşim noktalarında sargı donatısı kullanılmamıştır. Sargı donatısız oluşturulan birleşim bölgeleri yerel basınç yığılmaları nedeniyle taşıma gücünü kaybetmiş ve düğüm noktaları çözülerek yapılar yıkılmıştır.



Şekil 11.17 : Kolon kiriş birleşim noktalarında meydana gelen yapısal hasarlar (Gürer, 2012).

11.9 Kalitesiz İşçilik ve Malzeme Kullanılarak Donatı Düzenleme Kurallarına Uyulmadan İnşa Edilen Binalarda Depremler Sonrasında Görülen Hasarlar

Depremler sonrasında yıkılan ya da hasar gören binalarda hasarların en önemli sebebi kalitesiz işçilik ve uygun olmayan malzeme seçimidir. Sıkıştırılmadan dökülen betonlar donatı beton aderans problemlerine neden olur. Beton içerisindeki boşluklar beton durabilitesini olumsuz etkiler. Yapı çevresel etkilere maruz kalır ve donatı korozyona uğrar. Şekil 11.18’de sıkıştırılmadan dökülen betondan alınan bir karot numune örneği görülmektedir. Çimento harcı agregayı yeterince sarmamış ve beton içerisinde boşluklar meydana gelmiştir. Bu boşluklar betonun durabilitesini olumsuz etkiler.



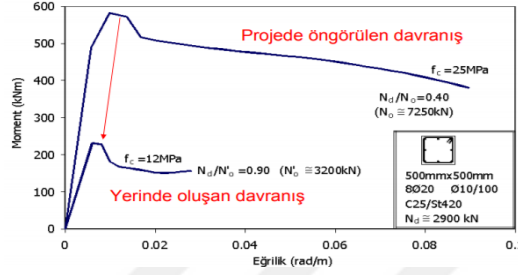
Şekil 11.18 : Yeterince sıkıştırılmadan dökülen beton numunesi (Yepez, 2017).

2016 yılında meydana gelen Ekvator Depremi’nde malzeme kalitesi ve kötü işçilik nedeniyle birçok bina hasar görmüştür. Şekil 11.19’da segregasyona uğramış çimento harcı ve iri agregalı beton örneği görülmektedir. Bölgede yıkılan birçok binada benzer kalitesiz yapı malzeme örneklerini görmek mümkündür (Yepez, 2017).



Şekil 11.19 : (a) Segregasyona uğramış beton (b) Çimento harcı az büyük agregalı beton numunesi (Yepez, 2017).

Darılmaz (2015) tarafından yapılan çalışmada işlenebilirliği kolaylaştırmak adına şantiyede kontrolsüz olarak betona katılan suyun beton mukavemetinde ciddi oranda azalmasına neden olduğu şekil 11.20’de yapılan çalışmada görülmektedir. Projede öngörülen beton dayanımı C25 iken betona katılan ilave su sonucunda beton mukavemeti 12 Mpa seviyelerine düşmüştür. Dayanımındaki düşüş moment taşıma kapasitesini ve sünekliliği azaltır, yapısal hasarların oluşmasına neden olur.



Şekil 11.20 : Betona eklenen ilave suyun beton mukavemetine etkisi (Darılmaz, 2015).

Şekil 11.21’de 1985 Meksika ve Şekil 11.22’de 2011 Tohoku Depremi’nde meydana gelen hasarlar görülmektedir. Beton kalitesi düşük donatı yerleştirme kurallarına uyulmadan inşa edilen yapılar deprem sonrasında ciddi hasar görmüş ve yıkılmıştır.



Şekil 11.21: 1985 Meksika Depremi yapı malzemesi kaynaklı meydana gelen hasarlar (Adler, 2015).



Şekil 11.22 : 2011 Tohoku Depremi’nde yapı malzemesi kaynaklı meydana gelen hasarlar (Swanson, 2011).

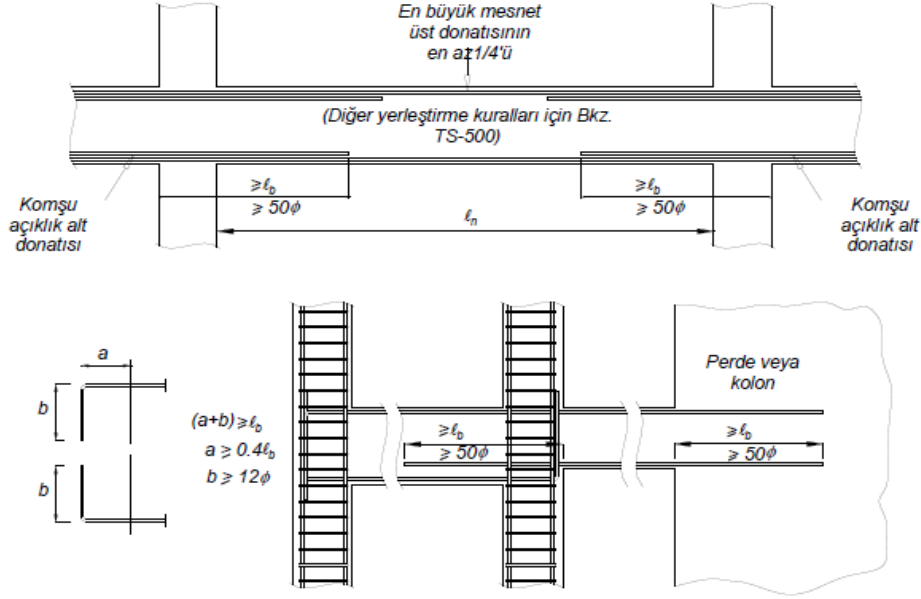
11.10 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Yapılarda Kullanılacak Malzemelere Ait Özellikler ve Donatı Düzenleme Kuralları

DBYBHY (2007)'de minimum beton sınıfı C20 iken 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde betonarme binalarda kullanılacak minimum beton sınıfı C25 olarak belirlenmiştir. Ayrıca yönetmelik kapsamınca tüm betonarme binalarda TS500'de belirtilen nitelikli, denetimli, bakımı yapılmış ve vibratörle yerleştirilmiş beton kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Kendinden yerleşen beton kullanımına da izin verilmiştir. Deprem etkisine maruz elemanlarda TS EN 2006'da verilen betonlardan C25 ile C80 arasındaki beton sınıfları kullanılabilir.

Betonarme yapılarda donatı olarak TS708'de belirtilen B420C ve B500C nervürlü donatı çeliği kullanılacaktır. TS708'de belirtilen koşullara ek olarak çekme ve akma dayanımı oranının 1,35'den küçük olması ve eşdeğer karbon oranının ise %55'i geçmemesi şartı ile S420 beton çeliği de kullanılabilir. Donatı kenetlenme boyları TS500'de belirtilen kurallara göre hesaplanacaktır. Süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı tüm kolon kiriş birleşimlerinde, perde uç noktalarında ve kiriş kolon sarılma bölgelerinde özel deprem etriyesi ve çirozlar düzenlenmesi gerekir.

11.10.1 Boyuna donatı düzenleme ilkeleri

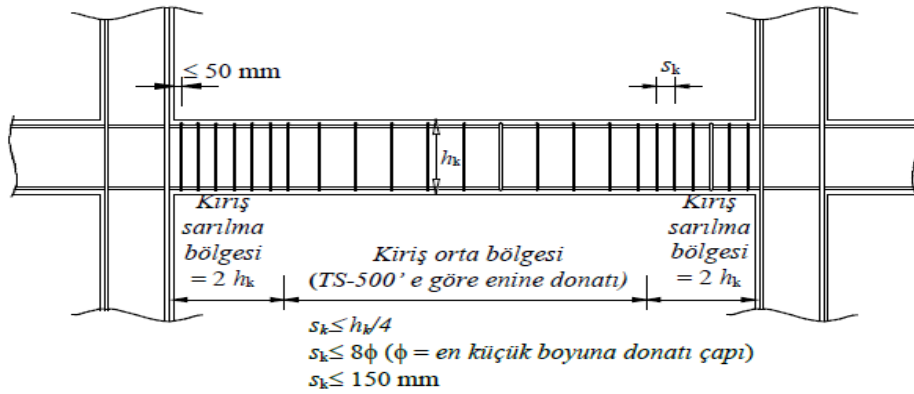
Kirişin iki ucundaki mesnet üst donatılarının büyük olanının en az 1/4'ü tüm kiriş boyunca sürekli olarak devam ettirilip mesnet üst donatısının geri kalan kısmı, kiriş boyunca karşılanmamış moment bırakılmamak üzere oluşturulacak ve TS 500'e göre düzenlenecektir. Kolona birleşen kirişlerin kolonun diğer yüzünde devam etmediği durumlarda kirişlerdeki alt ve üst donatı, kolonun etriyelerle sarılmış çekirdeğinin karşı taraftaki yüzeyine kadar uzatılıp etriyelerin iç tarafından 90 derece bükülerek oluşturulur. Bu durumda boyuna donatının kolon içinde kalan yatay kısmı ile 90 derece kıvrılan düşey kısmının toplam uzunluğu, TS 500'de öngörülen düz kenetlenme boyu ℓ_b 'ye eşit ya da daha fazla olması istenir. 90 derecelik kancanın yatay kısmı $0.4 \ell_b$ 'den, düşey kısmı ise 12ϕ 'den az olmamalıdır. Perdelerde ve a ölçüsünün düz kenetlenme boyu ℓ_b 'den ve 50ϕ 'den daha fazla olan kolonlarda, boyuna donatının kenetlenmesi, 90 derecelik kanca yapılmaksızın düz olarak teşkil edilir. Şekil 11.23'de boyuna donatı düzenleme ilkeleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 11.23: Boyuna donatı düzenleme ilkeleri (TBDY, 2018).

11.10.2 Enine donatı düzenleme ilkeleri

Kiriş mesnetlerinde kolon yüzünden itibaren kiriş yüksekliğinin iki katı kadar uzunluktaki bölge sarılma bölgesi olarak tanımlanır. Bu bölge boyunca özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. Sarılma bölgelerinde $\phi 8$ 'den küçük çaplı enine donatı kullanılmasına izin verilmez. İlk etriyenin kolon yüzeyine uzaklığı en çok 5 cm olacaktır. Etriye aralıkları kiriş etkili yüksekliğinin 1/4'ünü, en küçük boyuna donatı çapının sekiz katını ve 15 cm'yi geçmemelidir. Sarılma bölgesi dışında, TS 500'de verilen enine donatı koşullarına uyulacaktır. Kiriş eksenine dik etriye kolları aralığı 35 cm'yi geçmemelidir. Şekil 11.24'de enine donatı düzenleme ilkeleri şematik olarak gösterilmiştir.

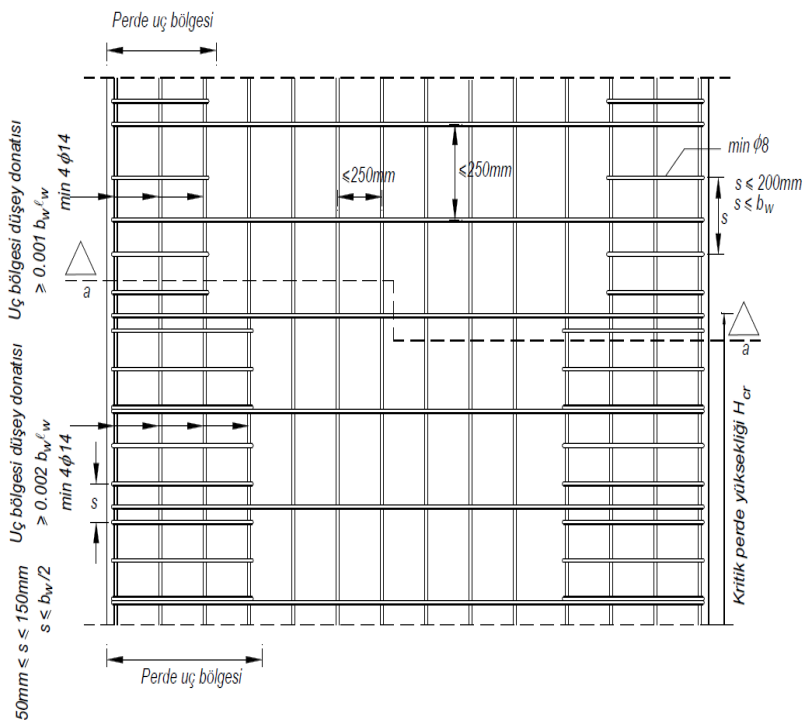


Şekil 11.24: Enine donatı düzenleme ilkeleri (TBDY, 2018).

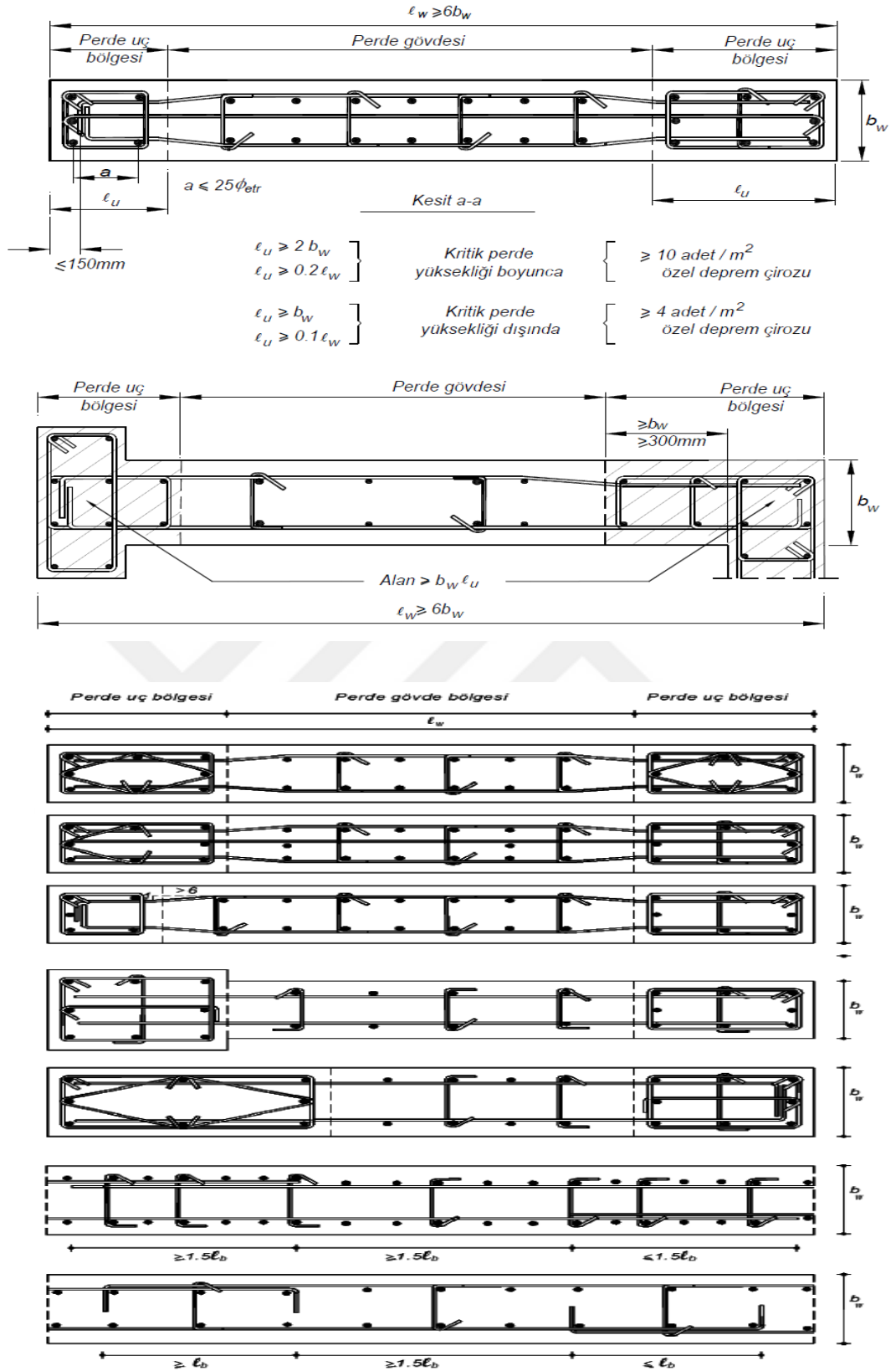
11.10.3 Perde donatısı düzenleme ilkeleri

Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinin her birinde toplam düşey donatı alanı perde brüt en kesit alanına oranı minimum 0.002 olacaktır. Perde uç bölgesinin geometrisinde ve donatısındaki geçiş, üç kat boyunca kademeli olarak yapılacaktır. Perde uç bölgelerinde boyuna donatı miktarı $4\phi 14$ 'ten az olmayacaktır. Perde uç bölgelerinde boyuna donatı oranı 0.03'ü (bindirme bölgesinde 0.06) geçmemelidir. Uç bölgelerde enine donatının çapı 8 mm'den az olmamalıdır. Etriye kollarının ve çirozların arasındaki yatay mesafe çiroz çapının 25 katından daha fazla olamaz. Perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için enine donatının en az $2/3$ 'ü kadar donatı konulmalıdır.

Düşey doğrultuda etriye ve/veya çiroz aralığı 15 cm'den daha büyük, 5 cm'den daha küçük olamaz. Bu aralık boyuna donatı çapının 6 katı ve perde kalınlığının $1/3$ 'ünden fazla olmamalıdır. Perde uç bölgesindeki enine donatılar temel in içinde, 30 cm'den ve perde kalınlığından küçük olmayan bir yükseklik boyunca devam ettirilecektir. Kritik perde yüksekliğinin dışında kalan perde uç bölgelerinde düşey doğrultudaki etriye ve çiroz aralığı, perde kalınlığından ve 20 cm'den daha büyük alınmamalıdır. Şekil 11.25 ve Şekil 11.26'de perde donatı düzenleme ilkeleri şematik olarak gösterilmiştir.



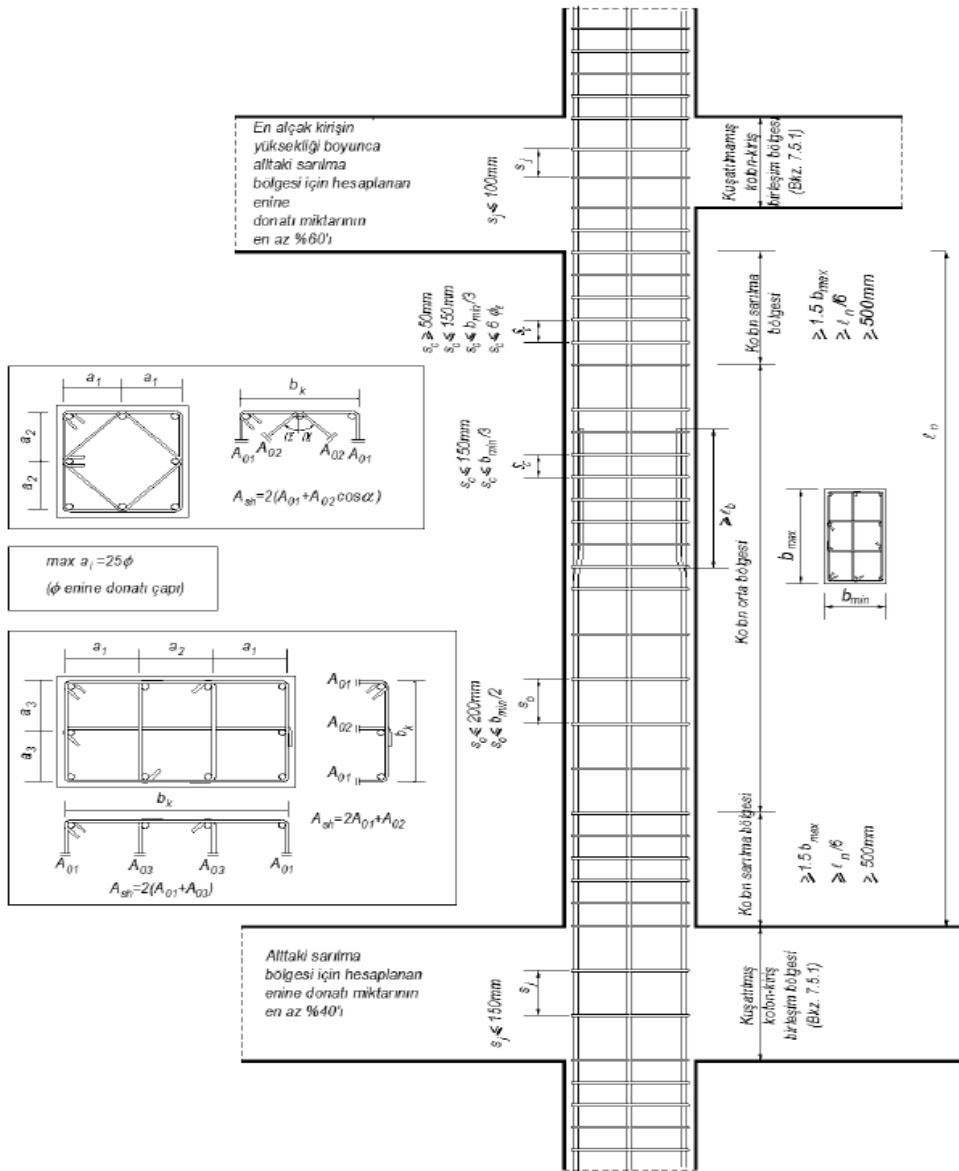
Şekil 11.25 : Perde düşey donatı düzenleme ilkeleri (TBDY, 2018).



Şekil 11.26 : Perde sargı donatısı düzenleme ilkeleri (TBDY, 2018).

11.10.4 Kolon Sargı donatısı düzenleme ilkeleri

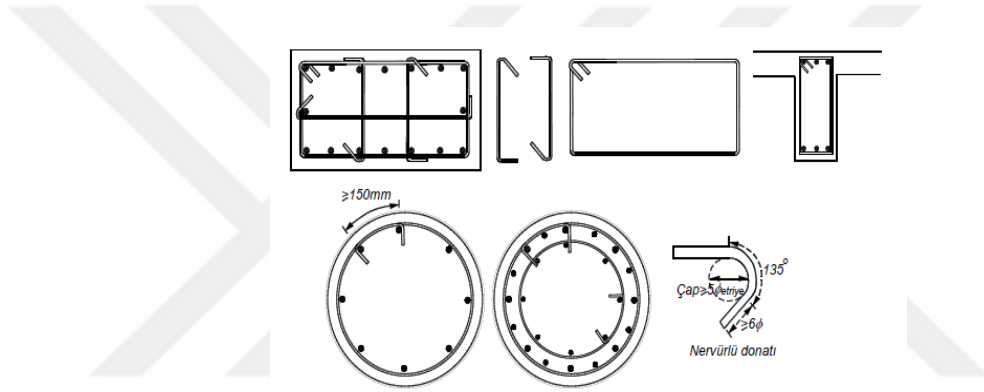
Sarılma bölgeleri kolonun alt ve üst uçlarında tanımlanan bölgedir. Kolon orta bölgesinde $\phi 8$ 'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır. Kolon boyunca etriye, çiroz veya spiral aralığı, en küçük en kesit boyutunun arısından ve 20 cm'den daha büyük olmamalıdır. Etriye kollarının ve çirozların arasındaki yatay mesafe etriye çapının 25 katından daha fazla olmamalıdır. Şekil 11.27'de sargı donatısı düzenleme ilkeleri şematik olarak görülmektedir.



Şekil 11.27 : Kolon Sargı donatısı düzenleme ilkeleri (TBDY, 2018).

11.10.5 Özel Deprem Etriyeleri

Özel deprem etriyelerin her iki ucunda 135 derece kıvrımlı kancalar bulunacaktır. Özel deprem çirozları bir uçta 90 derece olabilir. Deprem çirozları şaşırtmalı olarak düzenlenecektir. Etriye çapları 80 mm'den az olmayacaktır. Özel deprem etriyeleri boyuna donatıyı dıştan kavrayarak kancaları aynı donatı etrafında kapanması zorunludur. Deprem çirozlarının çapı etriye çapı ile aynı olacak her iki uçta da mutlaka donatı ve etriyeyi saracaktır. Etriyeler ve çirozlar beton dökülürken yerinden kaymayacak şekilde sıkıca bağlanmalıdır. Donatılarda kaynağa izin verilmez. Şekil 11.28'de deprem etriyeleri ve deprem çirozları görülmektedir.



Şekil 11.28 : Deprem etriyesi detayları (TBDY, 2018).



12. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda meydana gelen depremler incelenip bina hasarları belirli başlıklar altında toplandığında oluşan yapısal hasarların her deprem bölgesinde benzer özelliklerde olduğu görülmüştür. Yapısal deprem mühendisliğinin temel kuralları ve yönetmelikler dikkate alınmadan inşa edilen binalar depremde yıkılmış binlerce insan hayatını kaybetmiş ve büyük ekonomik kayıplar meydana gelmiştir. Yapısal düzensizlikler, malzeme ve işçilik hataları deprem hasarlarının en büyük sebebidir.

Binaların kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki farklılıklar ve taşıyıcı sistemin simetrik olarak yerleştirilmemesi nedeniyle depremler sonrasında birçok binada burulma etkilerini gözlemlemek mümkündür. Mimari nedenlerden dolayı L, T, U gibi farklı tasarımlarda inşa edilen ve gerekli derz boşlukları ile ayrılmayan binalarda gerilme yığılmaları nedeniyle deprem hasarları meydana geldiği görülmüştür. Taşıyıcı sistemi simetrik, planda olabildiğince kareye yakın, içerisinde yapısal düzensizlikleri barındırmayan, görelî kat ötelemeleri sınırlı yapılarda burulma hasarlarının önüne geçilir.

Konut ve ticari amaçlarla inşa edilen yapılarda odaların teşkil edilmesi için dolgu duvarlar kullanılırken; işyerlerinde geniş hacimler elde etmek için dolgu duvarlara ihtiyaç duyulmamaktadır. Katlar arasında dolgu duvar dağılımındaki ani değişimler binada yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliğine neden olmaktadır. Deprem etkileri nedeniyle bu tip yapılarda ofis katlarının göçmesi sıklıkla karşılaşılan bina hasarıdır. Katlar arasındaki ani dolgu duvar değişimlerinin engellendiği, zemin katlarda yatay yerdeğiştirmelerin üst katlara göre fazla olmadığı, taşıyıcı sistemi perde duvarlı binalarda yumuşak kat ve zayıf kat hasarları engellenir.

Büyükşehirlerde arazilerin değerli olması nedeniyle yapılar arasında hiç boşluk bırakılmaksızın bitişik bloklar halinde yapılar inşa edilmektedir. Yeterli derz boşlukları bırakılmadan inşa edilen binalar sarsıntının etkisiyle birbirine çarpar ve yapısal hasarlar meydana gelir. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen yeterli derz boşlukları bırakılarak çekiçleme etkisi nedeniyle meydana gelen bina hasarlarının önüne geçilir.

Okul, hastane gibi kamu binalarında sıklıkla kolondan kolona uzanan alt kısmı dolgu duvarlı üst kısmı pencere olacak şekilde oluşturulan mimari tasarımlar nedeniyle kısa kolon etkisi meydana gelmektedir. Benzer bir durum da bodrum katlı binalarda ışıklandırma ve havalandırma sağlanması amacıyla oluşturulan bant pencerelerde karşımıza çıkmaktadır. Deprem anında dolgu duvarlı alt kısmın hareketi engellenirken üst kısımda aşırı kesme kuvveti nedeniyle yapısal hasar meydana gelmektedir. Genellikle taşıyıcı sistem hasarı olarak görülen kısa kolon etkisi binaların hasar görmesine neden olur. Mimari tasarım aşamasında olabildiğince bant pencere ve kısa kolon oluşumundan kaçınılmalıdır. Kısa kolon oluşumu zorunlu olduğu hallerde sargı donatısı ve kesit boyutları artırılarak oluşması muhtemel kısa kolon hasarları engellenir.

Binalarda alan kazanmak adına yapılan kapalı çıkmalar bina kütle dağılımını ve geometrisini olumsuz etkilemektedir. Kapalı çıkmalar inşa edilirken kolon kiriş birleşimlerinde konsol kirişler meydana gelmekte ve çerçeve sistem zayıflatılmaktadır. Bu nedenle çıkmalar binaların deprem performansını olumsuz etkiler ve yapılarda göçmeler meydana gelir. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde kapalı ve açık çıkmalara getirilen kat boyutunun %20'sinde az olma şartı tip hasarların önüne geçilmesi için yeterlidir. Tasarım aşamasında açık ve kapalı çıkmalardan olabildiğince uzak durulması yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezinin birbirine yakın olması muhtemel bina hasarlarının azaltılması hususunda ciddi katkılar sağlar.

İşyeri olarak kullanılan katlarda geniş alanlar elde etmek için taşıyıcı sistem düşey elemanlarının kesilmesi deprem anında binanın göçmesine neden olur. Deprem yönetmeliklerinde yapının taşıyıcı sisteminin kesintiye uğramadan temelden çatıya kadar devam etmesi istenir. Kolonların ya da perdelerin kiriş ya da döşeme üzerine oturtulması kesinlikle kabul edilemez.

Mimari açıdan aydınlık elde etmek için döşemelerde açılan döşeme yırtıkları yatay deprem kuvvetlerinin kolonlara aktarılmasını zorlaştırır. Döşemelerin diyafram olarak davranmaması binaların yanal deplasmanlarını artırır ve göçme mekanizmalarının oluşmasına neden olur. Binalarda zorunlu olmadıkça döşeme yırtıkları oluşturulmamalıdır. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde döşeme süreksizliği düzensizliğinde belirtilen %33 döşeme boşluk oranı aşılmamalıdır.

Betonarme yapı tasarımının en önemli kuralı kapasite tasarımı ve kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibidir. Yapılar tasarlanırken kolonların kirişlerden daha güçlü olması istenir. Yapılarda plastik mafsalların kiriş uç bölgelerinde oluşması ve yapının sünek olarak aşırı deplasman yapmadan deprem kuvvetlerini temele aktarması yapıdan beklenen davranıştır. Türkiye Bina deprem Yönetmeliğinde de üzerinde durulan donatı düzenleme kuralları ve uygun beton kullanımı halinde birçok binada meydana gelen göçme ve hasarların önüne geçilir. Kolon kiriş birleşim noktalarında gerekli donatı sıklaştırmanın yapılması kullanılan betonun bakımının uygun olarak yapılması yapısal hasarların önüne geçilmesinde büyük önem arz eder.

Sonuç olarak 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde üzerinde durulan yapısal düzensizlikleri bünyesinde barındırmayan, donatı düzenleme kurallarına uyularak inşa edilmiş, malzeme işçilik kalitesi gerekli şartları sağlayan binalarda depremin neden olabileceği hasar ve göçmelerin büyük ölçüde önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 12.1: Binalarda görülen tipik yapı hasarları ve alınabilecek önlemler.

BİNALARDA GÖRÜLEN TİPİK YAPI HASARLARI	ALINABİLECEK ÖNLEMLER	BİNA HASAR ÖRNEĞİ
Burulma Düzensizliği	<ul style="list-style-type: none">• Burulma düzensizliği katsayısı (η_{bi}) 1,2'den az olmalıdır.• Bina kütle merkezi ile rijitlik merkezi birbirine yakın olmalıdır.• Göreli kat ötelemeleri olabildiğince sınırlı tutulmalıdır.• Bina planda kare ya da kareye yakın tasarlanmalıdır.	
Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliği	<ul style="list-style-type: none">• Döşeme yırtıkları kat alanının %33'ünden az olmalıdır.• Döşemeler diyafram olarak çalışmalı, ani dayanım azalmalarına izin verilmemelidir.• Işıklık ya da benzeri amaçlarla sonradan döşeme yırtıkları oluşturulmamalıdır.	
Planda Çıkıntılarının Bulunması Düzensizliği	<ul style="list-style-type: none">• Planda oluşturulan konsollar kat bürüt alanının %20'sinden az olmalıdır.• Kapalı ve açık çıkıntılar ile bina kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafe arttırılmamalıdır.• Kapalı ya da açık çıkıntılar ile bina kolon giriş sistemi kesintiye uğratılmamalıdır.	

Çizelge 12.1 (devam) : Binalarda görülen tipik yapı hasarları ve alınabilecek önlemler.

BİNALARDA GÖRÜLEN TİPİK YAPI HASARLARI	ALINABİLECEK ÖNLEMLER	BİNA HASAR ÖRNEĞİ
Zayıf Kat Düzensizliği	<ul style="list-style-type: none">• Zayıf kat düzensizliği katsayısı (η_{ci}) 0,80'den az olmalıdır.• Katlar arasında ani dolgu duvar değişimine izin verilmemelidir.• Zemin kat yüksekliği diğer katlara göre yüksek tasarlanmamalıdır.• Zemin katlarda payanda kolon ya da perdeler teşkil edilerek aşırı deplasmanlar engellenmelidir.	
Yumuşak Kat Düzensizliği	<ul style="list-style-type: none">• Yumuşak kat düzensizliği katsayısı (η_{ki}) 2.0'den az olmalıdır.• Katlar arasında ani dolgu duvar değişimine izin verilmemelidir.• Taşıyıcı sistem perdeli olacak şekilde tasarlanmalıdır.• Zemin katlarda payanda, kolon ya da perdeler teşkil edilerek aşırı deplasmanlar engellenmelidir.	
Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği	<ul style="list-style-type: none">• Taşıyıcı sistem elemanları temelden çatıya kadar kesintiye uğramadan devam etmelidir.• Kolonlar ve perdeler kiriş ya da güseler üzerine oturtulmamalıdır.• Katlarda kolonlar ya da perdeler kaldırılmamalıdır.	

Çizelge 12.1 (devam) : Binalarda görülen tipik yapı hasarları ve alınabilecek önlemler.

BİNALARDA GÖRÜLEN TİPİK YAPI HASARLARI	• ALINABİLECEK ÖNLEMLER	BİNA HASAR ÖRNEĞİ
Kuvvetli Kolon - Zayıf Kiriş Kuralı	<ul style="list-style-type: none">• Kolonlar kirişlerden %20 daha güçlü olacak şekilde tasarım yapılma ve yapılar inşa edilmelidir.• Donatı düzenleme kurallarına uyularak kolon kiriş birleşim noktalarında gerekli sıkılaştırmalar yapılmalı.	
Çekiçleme Etkisi	<ul style="list-style-type: none">• Bitişik nizamlı binalar arasında TBDY (2018)'de belirtilen oranlarda yeterli derz boşluğu bırakılmalıdır.	
Kısa kolon etkisi	<ul style="list-style-type: none">• Kolondan kolona uzanan bant pencere tasarımından kaçınılmalıdır.• Bodrum katlarda aydınlık ya da havalandırma amaçlı boşluklar bırakılmamalıdır.• Kolon ortasına mesnetlenen merdiven sahanlıkları teşkil edilmemelidir.	

Çizelge 12.1 (devam) : Binalarda görülen tipik yapı hasarları ve alınabilecek önlemler.

BİNALARDA GÖRÜLEN TİPİK YAPI HASARLARI	ALINABİLECEK ÖNLEMLER	BİNA HASAR ÖRNEĞİ
Kalitesiz İşçilik ve Malzeme Kullanılarak Donatı Düzenleme Kurallarına Uyulmadan İnşa Edilen Yapılar	<ul style="list-style-type: none">• TBDY (2018)'de belirtilen standartlarda beton demir agrega kullanılarak yapılar inşa edilmeli ve donatı düzenleme kurallarına mutlak suretle uyulmalıdır.• Binalar mühendislik hizmeti alarak kaliteli işçilik ve malzeme ile inşa edilmelidir.	



KAYNAKLAR

- ASCE-7**, (2016). Minimum Design Loads for buildings and other structures, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- Alirezaei, 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, Vol:9, No:4
- Amiri, G. G., Kheyroddin, A. & Mortezaei, A.** (2008). Influence of external steel plates on the characteristics of existing RC columns under near field ground motion , The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Alim, H.** (2014). Reliability based seismic performance analysis of retrofitted concrete bridge bent, Lamar University, U.S.A.
- Adler, D.** (2015). The Mexico City earthquake, 30 years on: have the lessons been forgotten?.*The Guardian*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/cities/2015/sep/18/mexico-city-earthquake-30-years-lessons>
- Arnold, C.** (2006). FEMA 454 Seismic issues in architectural design, chapter 5.
- Bal, İ. E. & Özdemir, Z.** (2006). Çevre çerçeve kirişi süreksizliğinin yapı deprem davranışı üzerine etkileri, İMO Bülten Sayı:87/2006, İstanbul.
- Braile, L.** (2004). Seismic wave demonstrations and animations, Purdue University, İndiana, U.S.A.
- Birinci, F.** (2013). Türkiye'nin depremselliği ve yapı stoğu yönünden mevzuat ve mali politikaların kentsel dönüşümü zorlaştıran unsurları, Türkiye deprem mühendisliği ve sismoloji konferansı, Hatay.
- Burke, G.** (2017). How extensive damage in Mexico City's earthquake could have been averted. *Associated Press*. Retrieved from <https://www.csmonitor.com/World/Americas/2017/1010/How-extensive-damage-in-Mexico-City-s-earthquake-could-have-been-averted>
- Burke, G.** (2017). Engineers: Lives lost in Mexico quake could have been saved. *The Denver Post*. Retrieved from <https://www.denverpost.com/2017/10/09/mexico-city-earthquake-flat-slab-construction/>
- Cruz, J.** (2018). Derrumbe en un lujoso centro comercial de México, Una sección del centro comercial de lujo Plaza Artz Pedregal, en el sur de la. México.

- Çağatay, İ. H.** (2007). Binalarda kısa kolona etki eden parametrelerin incelenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Çağatay, İ. H., Korkmaz, K. & İnan, T.** (2011) An investigation on plan geometries of RC buildings: with or without projections in plan, Adana.
- 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, vol.18 no.1 Temmuz 2014.
- Charleson, A.** (2008) Seismic Design for Architects, Example of short columns caused by part-height masonry infill.
- Changhai, Z., Shan, J., Shuang, L. & Lili, X.** (2015). Dimensional analysis of earthquake-induced pounding between adjacent inelastic MDOF buildings, School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, China.
- Çetinkaya, G. & Akköse, M.** (2011). Depreme maruz farklı yükseklikteki iki komşu betonarme binanın çarpışma analizi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ, Ankara.
- Cole, G.L., Dhakal R. P. & Chouw, N.** (2012). Building pounding damage observed in the 2011 Christchurch Earthquake, 15 WCEE, Lisboa.
- Chung, L.** (2016, 6 February). Building collapse during deadly Taiwan earthquake linked to shoddy materials. *South China Morning Post*. Retrieved from <https://www.scmp.com/news/china/society/article/1910068/building-collapse-during-deadly-taiwan-earthquake-linked-shoddy>
- Cogurcu, M. T.** (2015). Construction and design defects in the residential buildings and observed earthquake damage types in Turkey, Konya.
- Döndüren, M. S. & Nakipoğlu A.** (2016). Farklı ülkelerin deprem yönetmeliklerine göre taşıyıcı sistem düzensizliklerinin karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya.
- Daniell, J. E.** (2012). The worldwide economic impact of historic earthquakes, 15 WCEE, Lisboa.
- Darılmaz, K.** (2015). Betonarme sistemlerin performanslarının tasarım aşamasında etkileyen faktörler, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Balıkesir.
- Darılmaz, K. & İlki, A.** (2007). Betonarme elemanlarda boyutlandırma ilkeleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul.
- DBYBHY,** (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Eurocode 8,** (2004). Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

- Everington, K.** (2018, 7 Şubat). Update: 17 dead, 291 injured after magnitude 6.0 quake strikes eastern Taiwan. *Taiwan News*. Retrieved from <https://www.taiwannews.com.tw/en/news/3358340>
- Elnashai A. S., Gencturk, B., Kwon, O., Hashash Y. & Kim, J.** (2010). The Maule (Chile) Earthquake Consequence Assessment and Case Studies, Chili.
- Edwin, L.** (2011). Concrete Buildings damaged in earthquakes, A collection of case studies in Christchurch Earthquake, New Zeland.
- ERMCO,** (2016). Ready mixed concrete industry statistics, European ready mixed concrete organization, Brussels.
- FEMA 454,** (2006). Designing for earthquakes a manuel for architects, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- FEMA,** (2012). Assessing Seismic Performance of Buildings with Configuration Irregularities: Calibrating Current Standards and Practices, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- FEMA,** (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards, Supporting Documentation, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- Ghosh, S. K.** (1995). Observation on the performance of structures in the Kobe Earthquake of January 17, 1995, Engineering Services, Codes and Standards Portland Cement Association Skokie, Illinois.
- Gökkaya, K.** (2012). Geographic analysis of earthquake damage in Turkey between 1900 and 2012, Geomatics natural hazards and risk, USA.
- Galvis, F., Miranda, E., Heresi, P., Davalos, H. & Silos, J. R.** (2017). Preliminary statistics of collapsed buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake, John A. Blume Earthquake Engineering Center Department of Civil And Enviromental Engineering, Stanford University.
- Gürer, C.** (2012). Deprem nedeniyle betonarme yalarda oluşan hasarlar, Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- 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, I., Eeri, M. & Garcie, I. E.** (2005). Earthquake spectra, the professional journal of the erthquake engineering research institute, Oakland, ABD.
- Giardini, D., Woessner, J. & Danciu.** (2013). European seismic hazard map, Swiss Seismological Service, Zurich.
- Herrera, R. G. & Soberon, C. G.** (2008). Influence of plan irregularity of buildings, The 14th World Conference on Earthquake Enginnering, Beijing, China.
- Harris, J., Reitherman, R., Rojahn, C. & Whittaker, A.** (2011). Comparison of U.S. and Chilean Building Code Requirements and Seismic Design Practice 1985–2010, National Institute of Standards and Technology Engineering Laboratory. Gaithersburg.

- Ishiyama, Y.** (2011). Introduction to Earthquake Engineering and Seismic Codes in the World, Hokkaido University, Japan.
- Jeffery, A.** (2017). Images of devastation from the Mexico City earthquake, Mexico.
- Janney, W.** (2019). Non-ductile concrete structures, Seismic Ordinances of California, Pacific Earthquake Engineering Research Center, U.S.A.
- JSCE,** (2016). Japan Society of Civil Engineers, standart specifications for concrete structures, Japan.
- Kalafat, D. & Ölmez, Y.** (2003). Bingöl Depremi Fotoğrafları, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, İstanbul.
- Ketin, İ.** (1976). San Andreas Ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma, İTÜ Maden fakültesi, İstanbul.
- Kırcıl, M.S.** (2015). Kolon betonarme hesabı ve güçlü kolon zayıf kiriş prensibi, kolon kiriş birleşim bölgelerinin kesme güvenliği, İstanbul.
- Kaplan, O., Güney, Y., Cengiz A.E., Özçelikörs Y. & Topçu, A.** (2015). Eskişehir ili Bina envanterinin yapısal kusurlar ve düzensizlikler bakımından irdelenmesi, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.
- Liu, Y., Liao, Y. & Zheng, N.** (2012). Analysis of strong column and weak beam behavior of steel-concrete mixed frames, 15 WCEE, Lisboa.
- Lim, E.** (2011). Concrete buildings damaged in earthquake, a collection of case studies, New Zealand.
- Lauro, M. D.** (2009). L'Aquila Earthquake. Retrieved from <https://www.marcodilauro.com/features/italy-earthquake/#pb-image-2176>
- Marius, M.** (2013). Seismic behaviour of reinforced concrete shear walls with regular and staggered openings after the strong earthquakes between 2009 and 2011, Engineering Failure Analysis, Pages 537-565.
- Marcilla, T. & Liel, A.** (2018). Torsional irregularity as collapse indicator for older concrete buildings, Eleventh U.S. National Conference On Earthquake Engineering, Los Angeles, California.
- Meguro, K. & Elkholy, S. A.** (2004). Numerical Simulation Of High-Rise Steel Buildings Using Improved Applied Element Method, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canada.
- NZS,** (2009). New Zealand Standart, Seismic Performance of engineering systems in buildings, New Zealand.
- Özmen, G.** (2004). Çok katlı yapılarda aşırı burulma düzensizliği, İMO teknik dergi, İstanbul.
- Özmen, G.** (2000). TMH, Türkiye Mühendislik Haberleri sayı 410-2000/6, Ankara.
- Özmen, G.** (2007). Çok katlı yapılarda yatay ve düşey süreksizlikler, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Özmen, H. B., İnel, M. & Bilgin, H.** (2007). Yumuşak kat davranışının duvar etkisi dikkate alınarak incelenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Özmen, H. B., İnel, M., & Çaycı, B. T.** (2011). Kapalı çıkma düzensizliğinin betonarme yapıların sismik davranışına etkilerinin değerlendirilmesi, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Öztürk, T.** (2013). Binalarda döşeme boşluklarının taşıyıcı sistem davranışına etkisi, İMO teknik dergi, İstanbul.
- Öztürk, H.T., Durmuş, A., & Durmuş, A.** (2013). Depremlerde Göçen Betonarme binalardan öğrenilenler: Kocaeli örneği, Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.
- Özer, E.** (2007). Kapasite tasarımı ilkesi ve Türk Deprem Yönetmeliği, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Paluay, T.** (2001). Seismic Design of concrete structures the present needs of societies, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 11 WCEE. Lisboa.
- Paultre, P., Calais, E., Proulx, J. & Ambroise, S.** (2010). Damage to engineered structures during the 12 January 2010, Haiti (Léogâne) earthquake, Haiti.
- Pique, J. & Martel, P.** (2004). How Peruvian Seismic Code Greatly Improved Building Response To Real Earthquakes, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C, Canada.
- Robles, M.** (1999). Eeri concrete buildings damaged in earthquake 1999 Kocaeli Earthquake.
- Rajaram, C. & Kumar, R. P.** (2012). Study on impact between adjacent buildings, Comparison of codal provisions, 15WCEE, Lisbon.
- Standart 2800,** (2007). Iranien Code of practice for seismic resistant dizayn of buildings Tehran, Iran.
- Sria,** (2015). Guide to seismic dizayn and detailing of reinforced concrete buildings, Australia
- Sim, C., Villalobos, E., Smith, J. P. & Rojas, P.** (2016). Performance of Low-rise Reinforced Concrete Buildings in the 2016 Ecuador Earthquake, Purdue University, U.S.A.
- Swanson, D.** (2011). SEAW Tohoku (Japan) earthquake reconnaissance: Part 2.
- Shapiro, D. & Hirsch, G. E.** (1989). 1989 Loma Prieta Earthquake, California.
- Tezcan, S. Yazıcı, A. Özdemir, Z. & Erkal, A.** (2007). Zayıf kat - Yumuşak kat düzensizliği, Altıncı ulusal deprem mühendisliği konferansı, İstanbul
- TBDY,** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Başbakanlık Afet Ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Temur, R.** (2005). Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesinde İstanbul Üniversitesi Yöntemi, İstanbul.

- USGS**, (2012). United States Geological Survey. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/largest-world.php>
- USGS**, (2017). United States Geological Survey, Map of earthquakes 1900-2017, USA.
- Wilkey, R.** (2011). Loma Prieta Earthquake 22nd Anniversary: San Francisco Remembers The Earthquake Of 1989. *Huffpost*. Retrieved from https://www.huffpost.com/entry/loma-prieta-earthquake-anniversary_n_1015996
- Wiley, J. & Sons**, (2007). John Wiley and Sons, Inc. Physical Geography by Alan Arbogast Chapter 13 Tectonic Processes and Landforms Lawrence McGlenn Department of Geography. U.S.A.
- Xia, R.** (2015). L.A. officials present a plan for renters and landlords to split the costs of quake retrofitting. *Los Angeles Times*. Retrieved from <https://www.latimes.com/local/lanow/la-me-ln-renters-and-owners-should-split-the-cost-of-quake-retrofitting-housing-officials-said-20150916-story.html>
- Yön B, & Sayın, E.** (2008). Kısa kolon teşkilinin yapı hasarlarına etkisi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, ISSN1012-2354 Erciyes Üniversitesi, Elazığ.
- Yao, G. & Sheu, M. S.** (2001). An investigation of Earthquake Research Institute (EERI) and International Association for Earthquake Engineering (IAEE), Taiwan.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Erdal YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.02.1985 - RİZE
E-posta : erdal_yilmaz53@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.