

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YAPILARDA GÖZLENEN DEPREM
HASARLARI VE NEDENLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Halit COZA

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Program : YAPI BİLGİSİ

MAYIS 2003

**BETONARME YAPILARDA GÖZLENEN DEPREM
HASARLARI VE NEDENLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halit COZA

502001261

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 5 Mayıs 2003

Tezin Savunulduğu Tarih: 27 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kaya ÖZGEN

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Sadettin ÖKTEN (MS Ü)

Prof. Dr. Özkan İŞLER

MAYIS 2003

ÖNS ÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında bana yol gösteren, değerli katkılarını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her konuda bilgi ve deneyimini beniyle paylaşan değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Kaya ÖZGEN'e sonsuz teşekkürlerini ve saygılarımı sunarım

Bana her zaman destek olan ve tercihlerimi doğru belirlememi sağlayan anne ve babam, tez çalışmalarım sırasında bana tahammül edebilen ve aynı zamanda çok iyi bir ev arkadaşı olan kardeşim Erdem'e ve bu çalışmanın ortaya çıkma sürecinde yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarımla Eren Bohur, Burçak Güven ve Cafer Abalıoğlu'na çok teşekkür ediyorum

30 Nisan 2003

HALİT COZA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	xi
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Deprem	3
1.2. Deprem Oluş Nedenleri	4
1.3. Deprem türleri	6
1.4. Deprem Parametreleri	7
1.4.1. Odak Noktası (Hyposantr)	7
1.4.2. Dış Merkez (Episantr)	8
1.4.3. Odak Derinliği	8
1.4.4. Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri	8
1.4.5. Deprem Şiddeti	9
1.4.6. Deprem Büyüklüğü	13
1.4.7. Moment-Şiddet-Maksimum İvmeye İlişkileri	14
1.5. Deprem Kuvvetlerinin Yapıya Etkisi	15
1.5.1. Taşıyıcı Sistem Özelliklerinin Deprem Davranışına Etkileri	17
1.5.1.1. Süneklik	17
1.5.1.2. Rijitlik ve Dayanım	20
2. DEPREM YÖNETİMİ VE İLKELERİ	22
2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımına İlişkin Hükümler	24
2.2. Yönetimdeki Düzensizlikler	25
2.3. Betonarme Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları	29
2.3.1. Malzeme Dayanımları	29
2.3.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar	29
2.3.3. Kısa Kolonlara İlişkin Koşullar	31
2.3.4. Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişler	32
2.3.5. Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve Sistemlerde Kolon-kiriş Birleşim Bölgesi	33
2.3.6. Süneklik Düzeyi Yüksek Perdeler	34

2.3.7. Süneklik Düzeyi Normal Kolonlar	35
2.3.8. Süneklik Düzeyi Normal Kirişler	36
2.3.9. Döşemeler	36
3. HASARLAR VE NEDENLERİ	37
3.1. Planda Düzensizlikler	39
3.1.1. Burulma Düzensizliği	39
3.1.2. Difafram ve Döşeme Boşlukları Düzensizliği	43
3.1.3. Plan Geometrisi Düzensizliği	46
3.1.4. Ortogonal Olmama Düzensizliği	47
3.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlikler	48
3.2.1. Düşey Eksen Boyunca Düzensizlik	48
3.2.2. Düşey Taşıyıcılarda Süreksizlik	50
3.2.3. Yumuşak Kat Sorunu	53
3.3. Konsol Üçüncü Kolon	59
3.4. Kısa Kolon Sorunu	61
3.5. Donatıda Sorunlar	65
3.5.1. Kolon-kiriş Birleşim Bölgesi Yetersizliği	65
3.5.2. Enine ve boyuna donatı Yetersizliği	68
3.5.3. Plastik Mafsallama	73
3.6. Rijitlik Yetersizliği	76
3.6.1. Yanal Rijitlik Yetersizliği	76
3.6.2. Zayıf Kolon – Güçlü Kiriş	80
3.7. Kalitesiz Beton	82
3.7.1. Uygun Olmayan Agregalar	85
3.7.2. Su / Çiment o Oranı ndan Kaynaklanan Sorunlar	87
3.7.3. Betonun İyi Sıkıştırılması	88
3.7.4. Betonun Üretimi, Dökümü ve Korunması	89
3.7.5. Uygun Olmayan Beton Donatısı	91
3.8. Çekilme	92
3.9. Zeminden Kaynaklanan Sorunlar	95
3.9.1. Zeminde Sıvılaşma	97
3.9.2. Zeminde Kuruma	101
3.10. Korozyon	104
3.10. Ağır Kütller	108
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	111
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	121

KI SALT MALAR

mm	: Mili metre
cm	: Santi metre
m	: Metre
km	: Klometre
°C	: Santi grad derece
T S	: Türk Standartları
N	: Newton
kg	: Kilogram
B S	: Beton sınıfı

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1	: Şiddet – magnitüd ilişkisi	14
Tablo 1.2	: Planda düzensizlik durumları	25
Tablo 1.3	: Dişeyde düzensizlik durumları	26

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	: Dayanım ve süneklik grafiği	16
Şekil 1.2	: Elastoplastik etki-şekil değiştirme bağıntısı	18
Şekil 1.3	: Sünek ve sünek olmayan etki-şekil değiştirme bağıntısı	18
Şekil 1.4	: Deformasyon eğrisi	19
Şekil 2.1	: A1 türü düzensizlik durumu	26
Şekil 2.2	: A2 türü düzensizlik durumu	27
Şekil 2.3	: A3 türü düzensizlik durumu	27
Şekil 2.4	: A4 türü düzensizlik durumu	27
Şekil 2.5	: Kolonların kaldırılması durumu	28
Şekil 2.6	: Perde elemanda süreksizlik durumu	28
Şekil 2.7	: Kolon-kiriş birleşimine donatı yerleştirilmesi	30
Şekil 2.8	: Kısa kolon oluşması durumu	31
Şekil 2.9	: Kirişlerde enine donatı yerleştirilmesi	33
Şekil 2.10	: Kuşatılmış birleşim	33
Şekil 2.11	: Perde donatıları	35
Şekil 3.1	: Burulma düzensizliği ve hasar beklenen bölge	40
Şekil 3.2	: Burulma düzensizliği sonucu ağır hasar görmüş bina	41
Şekil 3.3	: Planda düzensiz yapılar	41
Şekil 3.4	: Planda düzensizlikler	42
Şekil 3.5	: Taşıyıcı olmayan elemanlar nedeniyle asi metrik yapı	42
Şekil 3.6	: Planda düzensiz yapı örneği	43
Şekil 3.7	: Dışe me boşluğundan kaynaklanan düzensizlik örnekleri	44
Şekil 3.8	: Boşluk yerleri uygun olmayan yapı örnekleri	45
Şekil 3.9	: Dışe mende derz bırakılması	45
Şekil 3.10	: Derz düzenleri	45
Şekil 3.11	: Planda düzensizliği önleme yolları	46
Şekil 3.12	: Ortogonal olma düzensizliği	47
Şekil 3.13	: Ortogonal olmayan bina örneği	47
Şekil 3.14	: Dişey eksen boyunca düzensizlik halleri	48
Şekil 3.15	: Kat yüksekliği düzensizlikleri	49
Şekil 3.16	: Perdelerin zemin katta kolona dönüştürülmesi	50
Şekil 3.17	: Dişey taşıyıcıda düzensizlik örneği	51
Şekil 3.18	: Sürekli olmayan dişey taşıyıcı sistem	51
Şekil 3.19	: Dişeyde düzensiz bina örneği	52
Şekil 3.20	: Farklı yükseklikte yapı blokları	52
Şekil 3.21	: Blokları	53
Şekil 3.22	: Yumuşak kat sorunu	53
Şekil 3.23	: Yumuşak kat sorunu – İzmit	54
Şekil 3.24	: Yumuşak kat sorunu – İzmit	56
Şekil 3.25	: Yumuşak kat sorunu – Adapazarı	57
Şekil 3.26	: Yumuşak kat sorunu – Yalova	57

Şekil 3.27	: Ara katın göçmesi durumu	58
Şekil 3.28	: Ara katın göçmesi durumu	59
Şekil 3.29	: Konsol ucunda kolon uygulama ması	59
Şekil 3.30	: Yapı m sürmekte olan konsol ucunda kolonlu bina	60
Şekil 3.31	: Konsol ucunda kolonlu binada kayma çatlağı.	60
Şekil 3.32	: Konsol ucunda kolonlu bina	60
Şekil 3.33	: Kısa kolon oluşma durumu	61
Şekil 3.34	: Bant pencere nedeniyle kısa kolon hasarı – Düzce Lisesi	61
Şekil 3.35	: Pencere boşluğu sonucu oluşan kısa kolon	62
Şekil 3.36	: Pencere boşluğu sonucu oluşan kısa kolon	62
Şekil 3.37	: Kısa kolon – Adapazarı	63
Şekil 3.38	: Kısa kolon - Adapazarı	64
Şekil 3.39	: Kısa kolon - Adapazarı	65
Şekil 3.40	: Ağır hasarlı binada kolon-kiriş birleşim bölgesinde hasar	66
Şekil 3.41	: Kolon hasarı – İzmit	66
Şekil 3.42	: Kolonda kesme hasarı - İzmit	66
Şekil 3.43	: Kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı	67
Şekil 3.44	: Kolonda kesme hasarı sonucu ağır hasarlı bina	68
Şekil 3.45	: Yetersiz enine donatı düzeni	69
Şekil 3.46	: Fırıya yetersizliği sonucu hasar gören kolon	69
Şekil 3.47	: Yetersiz enine donatı	70
Şekil 3.48	: Enine donatı yetersizliği	70
Şekil 3.49	: Boyuna donatı yetersizliği	71
Şekil 3.50	: Boyuna donatı ve paspayı yetersizliği	71
Şekil 3.51	: Enine donatı yetersizliği sonucu oluşan hasar	72
Şekil 3.52	: Göçme mekanizması türleri	74
Şekil 3.53	: Göçme türleri	74
Şekil 3.54	: Kolon başı mafsallaşma	75
Şekil 3.55	: Mafsallaşma hasarı	75
Şekil 3.56	: Perde elemanda mafsallaşma	75
Şekil 3.57	: Yanal ötelenme	77
Şekil 3.58	: Yanal rijitliği yetersiz çerçevede dolgu duvarı hasarı	77
Şekil 3.59	: Yatay ötelenme sonucu çöken bina	78
Şekil 3.60	: Düğüm noktalarında ağır hasar gören perde	79
Şekil 3.61	: Yanal rijitlik yetersizliği	79
Şekil 3.62	: Çerçevesi sistemler için güçlü kolon önerisi	80
Şekil 3.63	: Zayıf kolon- güçlü giriş sonucu ağır hasarlı bina	81
Şekil 3.64	: Zayıf kolon – güçlü giriş hasarı	82
Şekil 3.65	: Kalitesiz beton uygulama ması	83
Şekil 3.66	: Kalitesiz beton sonucu ağır hasar	84
Şekil 3.67	: Kolon ucunda betonda toprak parçası ve iri çakıllar	87
Şekil 3.68	: Fırıyede tam kanca örneği (135°).....	91
Şekil 3.69	: Çekiçleme etkisi	92
Şekil 3.70	: Çekiçleme etkisi	92
Şekil 3.71	: Çarpışma sonucu binada oluşan hasar	93
Şekil 3.72	: Çekiçleme etkisi	94
Şekil 3.73	: Çöken binanın çekiçleme sonucu yan bina kolonuna verdiği zarar..	94
Şekil 3.74	: Çekiçleme etkisi sonucu devrilen bina	95

Şekil 3.75	: Sıvılaşma hasarı	98
Şekil 3.76	: Sıvılaşma sonucu temel durumu	98
Şekil 3.77	: Sıvılaşma – Adapazarı	99
Şekil 3.78	: Sıvılaşma- Adapazarı	99
Şekil 3.79	: Sıvılaşma sonucu devrilen iki bina	100
Şekil 3.80	: Kımfişkırması - Yalova	100
Şekil 3.81	: Zeminde oturma	101
Şekil 3.82	: Farklı oturma sonucu ağır hasarlı bina	102
Şekil 3.83	: Zeminde oturma – Adapazarı	103
Şekil 3.84	: Zeminde oturma - Yalova	103
Şekil 3.85	: Zeminde oturma	103
Şekil 3.86	: Korozyon.....	104
Şekil 3.87	: Korozyon	104
Şekil 3.88	: Kolon donatısında korozyon	105
Şekil 3.89	: Korozyon olayı	106
Şekil 3.90	: Korozyon	106
Şekil 3.91	: Korozyon sonucu ağır hasar	107
Şekil 3.92	: Geniş giriş açıklığı sonucu ağır hasarlı bina	109
Şekil 3.93	: Ağır kütle hasarı	109
Şekil 3.94	: Ağır kütle hasarı	110

SEMBOL LİSTESİ

b	: Kirişin faydalı yüksekliği
h	: Kolonun gözönüne alınan deprem doğrultusundaki enkesit boyutu
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
Δ_i	: Bnanın i'inci katındaki görelî kat ötelemesi
$(\Delta)_{max}$	: Bnanın i'inci katındaki maksimum görelî kat ötelemesi
$(\Delta)_{ort}$	: Bnanın i'inci katındaki ortalama görelî kat ötelemesi
s	: Enine donatı aralığı
s_c	: Kolon sarılma bölgesindeki enine donatı aralığı
s_o	: Kolon orta bölgesindeki enine donatı aralığı
s_i	: Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki etriye aralığı
ΣA_c	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
ΣA_w	: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w 'larının toplamı
ΣA_g	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
ΣA_k	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı
ΣA_p	: Bnanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı
A	: Brüt kat alanı
A_b	: Kattaki boşluk alanları toplamı
C	: Çiment o dozağı
l_b	: Çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu
h_k	: Kiriş yüksekliği
b_w	: Kiriş gövde genişliği
H_w	: Temel üstünden veya zemnin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
l_w	: Perdenin plandaki uzunluğu
l_n	: Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı
I	: Bna önem katsayısı
f_{ctd}	: Betonun tasarı m çekme dayanımı
V_t	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer depremyüğü
$\emptyset$	: Donatı çapı
F_g	: Bölüm 1'de depremin nedeniyle yapıya etkiyen kuvvet
F_t	: Deprem kuvvetinin R katsayısı ile küçültülmesiyle elde edilen tasarım kuvveti
R	: Depremyüğü azaltma katsayısı

BETONARME YAPILARDA GÖZLENEN DEPREM HASARLARI VE NEDENLERİ

ÖZET

Ülkenin tamamına yakın bölümünün dünyanın önde gelen deprem bölgelerinde yer aldığı bilinmesine rağmen yapılaşmadaki yetersizlikler ve hatalar depremlerde büyük hasarlara yol açmakta ve çok sayıda can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Türkiye’de çok büyük depremler olmuştur ve olacaktır; bu durumda depreme karşı önlenmesini ve yapı hasarlarının önlenmesi zorunlu olduğu ortaya çıkmaktadır. Tıpta bir hastaya tedavi uygulamasından önce hastalığa bir teşhis konması gerekir. Teşhis olmadan verilen ilaçlardan veya cerrahi bir müdahaleden iyi bir sonuç alınması olasılığı çok düşüktür, ya da olanaksızdır. Mühendislikteki yaklaşımda, tıptakiinden farklı değildir. Bu durumda deprem hasarı azaltılmak isteniyorsa, önce hasar nedenlerini gerçekçi bir biçimde tanımlamak gerekir. Bu yapılabilirse ikinci aşamada o nedenlere çözüm önlem getirerek hasarı en aza indirmek mümkün olabilir.

Bu çalışmada kapsamda betonarme sistemlerde tasarım ve yapılaşmasında yapılan hatalar gözden geçirilmiş ve bunların yol açtığı hasar tipleri anlatılmıştır. Söz konusu hatalar proje yetersizlikleri, yapılaşma açısından elverişsiz zemin koşulları, malzeme kalitesiindeki düşüklük, donatı düzenindeki hatalar, işçilik yetersizlikleri, yönetmeliklere uyulmaması ve hatta yönetmeliklerdeki yetersizlikler olarak sıralanabilir. Bu hataların her biri tek başına ya da birlikte hasar ve göçmelere yol açmaktadır. Düşündürücü olan bu hasar nedenlerinin önlenebilir olmasına rağmen bir çok depremde tekrarlanmış olmasıdır. Bunlardan ders alınarak mimar ve mühendislerin en önemli amacı depreme dayanıklı yapı inşa etmek olmalıdır.

Bu amaç doğrultusunda, çalışmamın ilk bölümünde öncelikle deprem oluş nedenleri, depremin şiddeti ve türleri gibi depreme ilgili tanımların açıklanması yapılmış, deprem sırasında yapının davranışı ve yapıya etki eden kuvvetler hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde ise Türkiye’de yürürlükte olmuş/olan deprem yönetmeliklerinden bahsedilmiş ve depremlere maruz kalacak betonarme bina ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapıma için gerekli minimum koşullar tanımlanmıştır. Kısmi zaman yönetmeliklerinde yetersiz olduğu üzerinde durulmuş ve bu yönetmeliklerin doğrultusunda, üçüncü bölümde betonarme yapılarda yapılan hatalar belirtilmiş, hasar nedenleri şekil ve fotoğraflarla desteklenerek sınıflandırılmıştır. Sonuç bölümünde ise bu hata ve yetersizliklerin ışığında konuya ilişkin genel bir değerlendirme yapılmıştır.

THE EARTHQUAKE DAMAGES IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

SUMMARY

Although it's a known fact that most of Turkey's area lies one of the most dangerous earthquake zones, inadequacies and mistakes in constructing cause big damages and loss of many lives and goods. In Turkey, there has been many catastrophic earthquakes and will be in the future. In this case, it is necessary to take precautions against earthquakes to avoid structural damages. In medical science, before application of treatment, the disease should be diagnosed. It is impossible or has low probability to get a good result from a medicine or a medical operation before being diagnosed. The approach in engineering is not different than medical science. In this case, the reasons of the damage has to be identified realistically to reduce the damage. If this is done properly, it will be possible to reduce the damage by finding a solution/precaution to the known factors.

In this study, the mistakes in the design and constructing of reinforced concrete systems have been examined and the types of damages, these mistakes caused have been mentioned. The mentioned mistakes are inadequacies in projects, inconvenient ground conditions for constructing poor-quality in materials, mistakes in reinforcement details, defective workmanship, not to obey the regulations and also insufficiency of regulations. These mistakes, by themselves and together cause damages and collapses. It is thought-provoking that these damages have repeated in many earthquakes although they are avoidable. Taking lessons from these causes, the most important aim of the architects and engineers should be to build a structure to withstand the earthquakes.

For this purpose, in the first part of the study technical terms like the reasons, the magnitude and the types of earthquakes have been explained and information about the reaction of the structure in case of an earthquake and about the forces that affect the structure has been provided. In the second part of the thesis, the regulations in Turkey that are/were in place has been mentioned and the minimum conditions for the earthquake-resistant building and design of all or part of the reinforced concrete structures that will be impacted by earthquakes have been identified. Sometimes it is stated that the regulations are also inadequate, and in the third section the mistakes in the reinforced concrete structures that are made in accordance with these regulations are discussed and the reasons of damage have been classified with the support of photos and figures. Finally, in the conclusion part, a general evaluation has been made in light of these mistakes and inadequacies.

1. GİRİŞ

Deprem son 1999 Marmara felaketi nin bir kez daha çarpıcı biçimde sergilediği gibi Anadolu Yarımadası'nın kaçınılmaz, büyük sorunudur. Deprem bölgesi haritasına göre Türkiye'nin büyük bir bölümü (yaklaşık %5'i) birinci ve ikinci derece deprem bölgesi üzerinde bulunmakta ve bu bölge üzerinde nüfusun %5'i, sanayi bölgelerinin %8'i ve barajların %3'ü yer almaktadır. Son yüzyıldaki depremlerde her yıl ortalama 1000 kişinin öldüğü ve 7000 binanın yıkıldığı hesaplanmıştır [2]. Bu nedenle yapıları, yaşanan depremleri hiç bir zaman hafızalardan silmeden inşa etmek ve daha güvenilir düzeylere yükseltmek gerekmektedir.

Türkiye'de meydana gelen depremlerin daha gelişmiş ülkelere oranla daha fazla yıkım ve ölüme sebep olduğu bilinmektedir. Bu depremler sırasında ölçülen yer hareketi göstergeleri genelde pek fazla olmakla birlikte yapılar yeterli kapasiteye sahip olmadıkları için yıkılmış, can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Eğer bu acı tablonun arkasındaki gerçeklere bakılırsa, sonucun şaşırtıcı olmadığı görülür. Türkiye'de binaların çoğu etüd, planlama, tasarım inşa ve bakım safhalarında herhangi bir yasal veya mesleki denetim tabi olmadan inşa edilmektedir. Rekabet şartları ve mesleki uygulamanın bütün çabalara rağmen 'böyle gelmiş, böyle gider' yaklaşımı binalara modern mühendislik bilgisini sağlayacağı kaliteyi veremmiştir. Böylesine gevşek ve ilkel bir süreç herhangi bir gelişmiş ülkede rastlamak mümkün değildir.

Türkiye'de halen yaygın olarak kullanılan çok katlı betonarme yapıların deprem performansları kalkınmış ülkelerde gözlenenlerin çok altında kalmaktadır. 1992 Erzincan depreminde 4-6 katlı betonarme binaların yaklaşık %50'sinin, deprem hasarı nedeniyle tamamen yıkılıp yeniden inşa edilmesi veya ciddi bir tamir, takviye işlemine tabi tutulması gerektiği gözlenmiştir. Bu oran 1995 Hanshin (Japonya) depreminde gözlenmiş olanların yaklaşık 4 katı, 1995 Northridge (ABD) depreminde gözlenenlerin ise yaklaşık 12 katıdır.

Geçmiş depremlerde kentsel alanlarda can kayıplarının çoğu, depreme dayanıklılığı yetersiz veya arazi seçimi uygunsuz binaların çökmesi nedeniyle olmuştur. Artan nüfusu ve yetersiz barınma sorunları bulunan pek çok gelişmekte olan ülkede, böylesi binaların sayılarındaki artış gelecekte depreme ilişkili can kayıplarını ve ekonomik kayıpları ağırlaştırmaya mahkumdur. Gelişmekte olan ülkelerin bir kaçı, ulusal gelirin yaklaşık %2'sini depremsonrası yenisinden inşaya harcamaktadır ve bazı durumlarda deprem afetlerinin neden olduğu kayıplar, ulusal gelirde herhangi bir artışı tümüyle önlenebilmektedir.

Günümüzde depremlerde hasara yol açan sorunlar bilinmektedir. Depreme dayanıklı yapılaşma için izlenen yaklaşımda yakın zamana kadar bölgenin sismisitesi ve kabaca sınıflandırılmış zemin cinsi ile yapıya ait bazı özelliklerin bilinmesi yeterli olarak görülmekteydi. Oysa 1999 Marmara Depremi'nde de açıkça gözlenmiş olduğu gibi, son yirmi yıl içinde karşılaşılmış ve yorumlanabilmiş hasar türleri ve dağılımı daha detaylı çalışmalar yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır.

Son 20 yıl içinde dört büyük deprem felaketinin yaşandığı Türkiye'de en son meydana gelen 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi, gerek etkilediği alanın genişliği, gerekse de etkilediği bölgenin niteliği nedeniyle daha önceki depremlerden çok daha pahalıya mal olmuş ve çok daha fazla yankı bulmuştur [16]. Bu depremin, 'Dünya Depremleri Listesi'nde en önemli depremlerden biri olduğu bilinmektedir. Deprem etkilediği saha itibari ile İzmit-Gölcük Depremi olarak da anılmaktadır. Başta Kocaeli olmak üzere Sakarya, Yalova, İstanbul illerinde binlerce can kaybı ve yaralanmalar ile rakamlarla ifade edilmesi zor maddi hasara yol açmıştır. Konut hasarlarının yanında bölgede fabrikalar, karayolları, camiler, alt yapı hizmetleri büyük oranda zarar görmüştür.

Bir yapıda aranan en önemli özellik gerekli yapı güvenliğinin sağlanmasıdır. İnsan hayatının güvenceye alınması estetik ve fonksiyon gibi özelliklerin önünde yer almamalıdır. Bu nedenle de tasarımı ve uygulamacıların deprem konusunda yeterli bilgi ve birikime sahip olmaları önemli bir gerekliliktir [21].

1.1. Deprem

Yerkabuğu içinde biriken enerjinin ani olarak ortaya çıkması ile yerkabuğunda kırılmalara sebep olması ve bu kırılma nedeni ile titreşimlerin dalgalar halinde yayılması ve geçtikleri ortamları sarsmasına depremdir. Diğer bir deyişle deprem yer içinde fay olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken biçim değiştirme enerjisinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen yerdeğiştirme hareketinin neden olduğu karışık elastik dalgalar hareketleridir. Bu yer değiştirme miktarı depremin büyüklüğü ile doğru orantılı olup özellikle sığ depremlerde belli bir büyüklükten sonra faylanma ile ilgili kırıklar yeryüzünde de görülür.

Deprem dinamik etkiye sahip bir doğal afet olup yerkabuğunda oluşan titreşimlerin sonucu yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yerdeğiştirme hareketi doğurur. Genellikle yerkabuğunda soğuma veya çeşitli etkenler sebebiyle oluşan şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasıyla oluşan deprem etkisi, yapıları alışagelmış yüklerin üzerinde zorlayarak tasarım ve uygulama sırasında yapılmış hataları ortaya çıkarır [25].

Depremler esnasında belirli bir bölgedeki yer hareketi, buna sebep olan faylanmanın türü, özellikleri ve oluşan dalgaların içinde yayıldığı ortamın özelliklerinden etkilenmektedir. Bölgesel, jeolojik ve topografik şartlar deprem dalgalarının özelliklerini önemli derecede değiştirerek aynı sistematik hareketlere maruz, birbirine yakın bölgelerde aynı tip yapılarda farklı mertebelerde hasara neden olabilmektedir. Depremler sırasında ortaya çıkan yapısal hasarı belirleyen en önemli faktörlerden biri de depremin büyüklüğü, süresi, ve frekans içeriği gibi deprem özellikleri olmaktadır.

Depremler sırasında oluşan yapısal hasarlarda ve hasar dağılımlarında, yapısal özelliklerin yanı sıra deprem kaynak özelliklerinin ve yerel geoteknik koşulların önemli derecede etkili olduğu görülmektedir. Sadece deprem özelliklerinin incelenmesi yapısal hasarda gözlenen yerel farklılıkları açıklamakta yeterli olmamakta, tabaka kalınlıkları ve zemin tabakalarının dinamik özelliklerine bağlı olarak farklılık gösteren yerel zemin özellikleri hasar dağılımında gözlenen farklılıkların nedenlerinden biri olarak ortaya çıkmaktadır. Bugüne kadar yapılmış çalışmalarda farklı yerlerde bulunan kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarında

belirlenen depremlerini vme süre kayıtları ve tepki spektrumları incelendiğinde aynı depremin farklı istasyonlarda alınan kayıtların farklılıklar gösterdiği gibi, aynı istasyonda farklı depremler sırasında alınmış kayıtlar arasında da önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu farklılıklar, depremler sırasında yapıların davranışları üzerinde, deprem kaynak özellikleri ile yerel zemin koşullarının önemli olduğunu ortaya koymaktadır [11].

1.2 Deprem Oluş Nedenleri

Dünyanın iç yapısı konusunda, jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucu elde edilen verilerin desteklediği bir yeryüzü modeli bulunmaktadır. Bu modele göre, yerkürenin dış kısmında yaklaşık 70-100km kalınlığında ‘litosfer’ adı verilen bir taşküre bulunmaktadır. Dünyanın 12800km olarak hesaplanan çapına oranla kabuk kalınlığının çok ince olduğu görülmektedir. Kıtalar ve okyanuslar bu taşkürede yer almaktadır. Litosfer ile çekirdek arasında kalan ve kalınlığı 2900km olan kuşağa ‘mantol’ adı verilir. Litosferin, sıcak sıvı olan mantotabakası üzerinde yüzdüğü kabul edilir. Mantolun altındaki çekirdeğin nikel-demir karışımından oluştuğu kabul edilmektedir. Yeryüzünden derine gildikçe sıcaklığın arttığı yapılan çok derin sondajlar sonucu bilinmektedir. Enine deprem dalgalarının yerin çekirdeğinde yayılmadığı olgusundan giderek çekirdeğin sıvı bir ortam olması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Mantol genelde katı olmakla beraber yüzeyden derine inildikçe içinde yerel sıvı ortamları bulundurmaktadır [2].

Taşkürenin altında ‘astenosfer’ denilen yumuşak üst mantol bulunmaktadır. Burada oluşan kuvvetler, özellikle de konveksiyon akımları nedeni ile taşküre parçalanmakta ve birçok levhalara bölünmektedir. Üst mantoda oluşan konveksiyon akımları, radyoaktive nedeni ile oluşan yüksek ısıya sebep olmaktadır. Konveksiyon akımları yukarılara yükseldikçe mantoda oluşan gerilmeler zayıf zarların kırılması ile levhaların oluşmasına sebep olmaktadır.

Konveksiyon akımlarının yükseldiği yerlerde levhalar birbirlerinden uzaklaşmakta ve buradan çıkan sıcak magma da okyanus ortası sırtlarını meydana getirmektedir. Levhalar birbirine değdiğinde sürtünme ve sıkıştırılma olmakta, sürtünen levhalardan biri aşağıya, mantoya batmakta ve zonlar oluşmaktadır.

Yer kabuğunu oluşturan levhaların birbirine sürtündükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları ya da altına girdikleri sınırlar, depremlerin oldukları yerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Depremlerin hemen büyük çoğunluğu bu levhaların birbirlerini zorladıkları levha sınırlarında dar kuşaklar üzerinde oluşmaktadır.

Birbirlerini iten ya da diğerinin altına giren iki levha arasında, harekete engel olan bir sürtünme kuvveti vardır. Bir levhanın hareket edebilmesi için bu sürtünme kuvvetinin giderilmesi gerekir. İtilmekte olan levha ile bir diğer levha arasında sürtünme kuvveti aşıldığı zaman bir hareket oluşur. Bu hareket çok kısa bir zaman biriminde gerçekleşir ve şok niteliğindedir, sonucunda çok uzaklara kadar yayılabilen depremdalgaları ortaya çıkar. Bu dalgalar geçtiği ortamları sarsarak ve depremin oluş yönünden uzaklaştıkça enerjisi azalarak yayılır. Bu sırada yeryüzünde, bazen gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve ‘fay’ adı verilen arazi kırıkları oluşabilir. Bu kırıklar bazen yeryüzünde gözlenemez, yüzey tabakaları ile gizlenmiş olabilir, bazen de eski bir depremden oluşmuş ve yeryüzüne kadar çıkmış, ancak zamanla örtülmüş bir fay yeniden oynayabilir [2].

Levhaların önceden bir birim yer değiştirme birikimine uğramadan kırılmaları olanaksızdır. Bu birim yer değiştirme hareketlerini, hareketsiz görülen yer kabuğunda, üst mantoda oluşan konveksiyon akımları oluşturmakta, levhalar belirli bir deformasyona kadar dayanıklılık gösterebilmekte, sonra da kırılmakta ve bu kırılmalar sonucu depremler oluşmaktadır. Bu olaydan sonra da kayalardan uzak zmandan beri birikmiş olan gerilmelerin ve enerjinin bir kısmı ya da tamamı giderilmiş olmaktadır.

Depremlerin önemli bir bölümü yeryüzünden yaklaşık 12 km derinliklere kadar uzanan elastik kısımda üst kabuk içinde meydana gelmektedir. Bu derinlikten daha derinliklerde sıcaklık 400° C’nin üzerinde olduğu için yer değiştirme hareketi depremsiz, krip denilen yavaş plastik şekil değiştirme enerjisi şeklinde yutulur [2]. Buna karşılık elastik üst kısımda her yıl birkaç cm’lik yer değiştirme yıllarca birikerek birkaç metre birden büyük bir depremler meydana gelmektedir. Depremler sırasında ilk kırılma başlangıcının, bu elastik alan sınırında meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Depremlerinin oluşumunun bu şekilde ve "elastik geri sekme kuramı" adı altında anlatılmış 1911 yılında Amerikalı Reid tarafından yapılmıştır ve laboratuvarlarda da denenerek ispatlanmıştır [6].

Dünyanın kabuğu 17 levhadan oluşur ve depremlerin gerçekleştiği iki ana kuşak vardır. Bunlardan birincisi Akdeniz Bölgesinden başlar, Hazar Denizi ve Himalayalar'dan geçerek Bengal Körfezi'nde son bulur. Toplam deprem enerjisinin %15'i bu kuşakta salınır. Türkiye'de 1999'da gerçekleşen depremler, bu kuşakla ilişkilidir. Ateş çemberi de denilen ikinci kuşak 38.600km uzunluğunda ve Pasifik Okyanusu kıyısındadır. Deprem etkinliği ile salınan toplam enerjinin %75'i bu kuşakla ilişkilidir. Tayvan yıkıcı depremleri bu kuşağa bağlıdır [6].

Yerkabuğunu oluşturan okyanus ve kıta parçaları, bir gölün üzerinde yüzen salları gibi birbirlerine çarparlar, birbirlerinin altına girerler veya birbirlerine sürtünüp, sıyrarak hareket ederler. Hareket hızları yılda 3cm ile 15cm arasındadır. Arabistan kıta parçası kuzey-kuzeybatı doğrultusunda yılda 4.5cm ilerleyerek Anadolu kara parçasını devamlı sıkıştırılmaktadır. Türkiye'de meydana gelen depremlerin esas nedeni de, Arabistan kara parçasının bilinen bu hareketidir.

1.3. Deprem Türleri

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde oluşmakla birlikte az miktarda da olsa başka doğal nedenlerle de olan deprem türleri bulunmaktadır. Yukarıda anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle "tektonik" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levha sınırlarında oluşurlar. Dünyada meydana gelen depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir [21].

İkinci tip depremler ise "volkanik" depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bu tip depremler yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zarara neden olmazlar.

Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olduğu için bu tip depremler olmaktadır.

Bir başka tip depremde "çöküntü" depremlerdir. Yer altında mevcut boşlukların, mağaraların, kömür ocaklarının, kömür galerilerinin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukların tavanlarının çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır, fazla zarar meydana getirmezler. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara neden olduğu bilinmektedir.

Derin deniz depremlerinden sonra deniz kıyılarında oluşan deniz dalgalarının yükselmesi, kıyılarda büyük hasarlara neden olmaktadır. Deniz kıyılarındaki bu tip büyük dalgalara 'tsunami' denilmektedir. Tsunami, 1896 yılında Japonya'da 30000 kişinin ölümüne sebep olmuştur. Japonya ve Güney Amerika'nın doğu kıyılarında sık görülen tsunamilerin (deniz taşı) genellikle deprem sonucu olduğu görüşü hakimdir. Tsunami, genellikle Richter ölçeğine göre 6 magnitüden (büyüklük) daha büyük ve 50km'den sık odak noktasında olan depremlerde ve volkan püskürmelerinden sonra görülen bir olaydır.

1.4 Deprem Parametreleri

Herhangi bir deprem oluştuğunda, bu depremin tarifi ve anlaşılabilmesi için "deprem parametreleri" olarak tanımlanan bazı kavramlardan söz edilmektedir [2]. Aşağıda bu parametrelerin açıklanması yapılacaktır.

1.4.1. Odak Noktası (Hypocenter)

Odak noktası yerinin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Bu noktaya odak noktası veya iç merkez de denir. Gerçekten, enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır, fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir.

1.4.2. Dış Merkez (Episantr)

Odak noktasına en yakın olan yer üzerindeki noktadır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Aslında bu, bir noktadan çok bir alandır. Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirlenebilir. Bu nedenle "episantr bölgesi" ya da "episantr alanı" olarak tanımlanması yapılması gerçeğe daha yakın bir tanımlama olacaktır.

1.4.3. Odak Derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmaya tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 70-300 km derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremler olarak adlandırılır. Derin depremler ise yerin 300 km'den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km arasındadır. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler.

1.4.4. Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri

Aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara denir. Bunun tanımlanmasıyla eşşiddet haritası ortaya çıkar. Genelde kabul edilmiş duruma göre, eğrilerin oluşturduğu, yani iki eğri arasında kalan alan, depremlerden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bu nedenle depremin şiddeti eşşiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine yazılır.

1.4.5 Depremi n Şiddeti

Herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin ölçüsüdür. Depremin büyüklüğü, odak derinliği, episantır bölgesinin yapılara uzaklığı, yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık dahi değişik olabilir. Şiddet, depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem dolayısıyla oluşan hasarı yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız her varlığın depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirilmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri tanımlamaktadır.

Bir deprem oluştuğunda, bu depremin herhangi bir noktadaki şiddetini belirlemek için o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu izlenimlerin şiddet cetvelindeki karşılığı, şiddet derecesi olarak değerlendirilir. Örneğin depremin neden olduğu etkiler, şiddet cetvelinde VII şiddet olarak tanımlanan bulguları içeriyorsa, o deprem VII şiddetinde bir deprem olarak tariflenir. Deprem şiddet cetvellerinde şiddetler romen rakamıyla gösterilmektedir. Bugün kullanılan başlıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş "Mercalli Cetveli (MM)" ve "Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)" şiddet cetvelleridir. Her iki cetvel de XII şiddet derecesini kapsamaktadır. Bu cetvellere göre, şiddeti V ve daha küçük olan depremler genellikle yapılarda hasar meydana getirmezler ve insanların depremi hissetme şekillerine göre değerlendirilirler. VI-XI arasındaki şiddetler ise, depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasar ve arazide oluşturduğu kırılma, yarılmaya, heyelan gibi bulgulara dayanılarak değerlendirilmektedir. Şiddet cetvellerinde kullanılan terimler aşağıda belirtilmiştir. Özel bir şekilde depreme dayanıklı olarak projelendirilmiş yapılar üç tipe ayrılır:

- A Tipi : Kırsal konutlar, kerpiç yapılar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş yapılar.
- B Tipi : Tuğla yapılar, yarı mkagir yapılar, kesme taş yapılar, beton briket ve hafif prefabrike yapılar.
- C Tipi : Betonarme yapılar, iyi yapılmış ahşap yapılar.

Şiddet dereceleri nin açıklanmasında kullanılan az, çok ve pek çok deyi mleri ortalama bir değer olarak sırasıyla, %5, %50 ve %75 oranlarını belirlemektedir. Yapılardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır;

- Hafif hasar, ince sıva çatlaklarının meydana gelmesi ve küçük sıva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.
- Orta hasar, duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.
- Ağır hasar, duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi ve bacaların yıkılmasıyla tanımlanır.
- Yıkıntı, duvarların yırılması, binaların bazı kısımlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesiyle tanımlanır.
- Göçme, yapıların tümü olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

Mercalli Şiddet Cetveli'ne göre şiddet dereceleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

I. Derecede Deprem (duyulmayan):

Titreşimler insanlar tarafından hissedilmediği, yalnız sis mograflarca kaydedilirler

II. Derecede Deprem (çok hafif):

Sarsıntılar yapıların en üst katlarında, dinlenmede bulunan az kişi tarafından hissedilir.

III. Derece Deprem (hafif):

Duran araçlar hafif sallanır. Dikkatli kişiler, üst katlarda asılmış eşyalardaki daha belirli dan hafif sallantıyı izleyebilirler.

IV. Derece Deprem(orta şiddetli):

Deprem evi içerisinde çok, dışarıda ise az kişi tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen ağır yüklü bir kamyonun oluşturuğu sallantı gibidir. Kapı, pencere ve mutfak eşyaları v.s. titrer, asılı eşyalar biraz sallanır. Ağzı açık kaplarda olan sıvılar biraz dökülür. Araç içerisindeki kişiler sallantıyı hissetmezler.

V. Derece Deprem(şiddetli):

Deprem yapı içerisinde herkes, dışarıda ise çok kişi tarafından hissedilir. Uyumakta olan çok kişi uyanır, az sayıda dışarı kaçan olur. Hayvanlar huysuzlanmaya başlar. Yapılar baştan aşağıya sarsılır, asılmış eşyalar ve duvarlara asılmış resimler önemli derecede sallanır. Az miktarda sabit olan eşyalar yerlerini değiştirebilirler ya da devrilebilirler. Açık kapı ve pencereler şiddetle itilip kapanırlar. İyi ce dolmuş, ağzı açık kaplardaki sıvılar dökülür. Sarsıntı yapı içerisine ağır bir eşyanın düşmesi gibi hissedilir. Atıpi yapılarda hafif hasar olabilir.

VI. Derece Deprem(çok şiddetli):

Deprem evi içerisinde ve dışarıda hemen herkes tarafından hissedilir. Evi içerisindeki birçok kişi korkar ve dışarı kaçarlar, bazı kişiler dengelerini kaybederler. Evcil hayvanlar ağıllarından dışarı kaçarlar. Bazı hallerde tabak, bardak v.s. gibi cam eşyalar kırılabilir, kitaplar raflardan aşağıya düşerler. Ağır mobilyalar yerlerini değiştirirler. Atıpi çok ve B tipi az yapılarda hafif hasar ve Atıpi az yapıda orta hasar görülür. Bazı durumlarda nemli zeminlerde 1cm genişliğinde çatlaklar oluşabilir. Dağlarda rasgele yer kaymaları, pınar sularında ve yeraltı su düzeylerinde değişiklikler görülebilir.

VII. Derece Deprem(hasar yapıcı):

Taş, tuğla ve kerpiç duvarlarda önemli hasar ve yıkıntı olabilir. Bacalar tamamen yıkılır. Betonarme dolgu duvarlarında çatlaklar olur. Evlerde insanlar dışarı kaçar, çok kişi oturduğu yerden güçlükle kalır, sarsıntı araç kullanan kişiler tarafından da hissedilir. C tipi yapıda hafif hasar, B tipi yapıda orta hasar, Atıpi çok yapıda ağır hasar, az yapıda ise yıkıntı görülür. Kaynak suyu ve yeraltı su seviyesi değişebilir. Yollarda heyelan ve çatlama olabilir. Yeraltı boruları ek yerlerinden hasara uğrayabilir. Taş duvarlarda çatlak ve yarıklar oluşur.

VIII. Derece Deprem(yıkıcı):

İyi yapılmış taş, tuğla ve kerpiç yapılarda ağır hasar olur veya tümü yıkılır. Kaya düşmesi ve yağma kayması olur. C tipi çok yapıda hasar, az yapıda ağır hasar, B tipi çok yapıda hasar, A tipi çok yapıda yıkıntı olabilir. Boruların ek yerleri kırılır. Yer kaynakları olabilir. Göl suları bulanır, yeni kaynaklar çıkabilir. Kuru kaynak sularının akıntıları ve yeraltı su seviyeleri değişir.

IX Derece Deprem(çok yıkıcı):

Betonarme taşıyıcı sistemlerde pas payları dökülür. Donatı etrilyelerden ayrılır ya da büyük çatlak oluşur. Yer altı su boruları kopar. C tipi çok yapıda ağır hasar, az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda yıkıntı, az yapıda fazla yıkıntı, A tipi yapıda çok fazla yıkıntı görülür. Toprak altındaki borular kırılır. Demiryolu rayları eğilir, bükülür, karayolları köprüleri yıkılır. Zeminlerde 10cm genişliğinde çatlaklar oluşur. Eğimli zeminlerde çatlak genişliği 10cm'den büyük olur. Yer kaynakları, dağ kaynakları, sulara büyük dalgalanmalar meydana gelir. Kuru kaynaklar yenisinden sular, sulu olanlar kurur.

X Derece Deprem(ağır yıkıcı) :

Betonarme yapılarda ağır hasar ve yıkılma olur. Demiryollarında raylar bükülür, baraj, bent ve köprülerde önemli hasarlar olur. Yer altı içme suyu borusu kırılır veya eğilir. Asfalt ve parke yollarda yarıma ve kasisler oluşur. C tipi yapılarda yıkılma, B tipi yapılarda büyük ölçüde yıkılma, A tipi çok yapıda fazla yıkılma olur. Zeminlerde 1m'ye yaklaşan yarıklar oluşur. Nehirlerde, dik meyilli yerlerde heyelan olur. Yeraltı su seviyesi değişir. Kanal, göl ve nehir suları karalar üzerine taşar.

XI. Derece Deprem(çok ağır yıkıcı):

Köprülerde, su bentleri ve barajlarda, demiryollarında tehlikeli hasarlar görülür. Çok az yapı ayakta kalır. Yollar ve caddeler kullanılmaz hale gelir. Yeraltındaki borular kırılır. Arazi de çok geniş yarıklar, yer kayması, kum fışırması, sıvılaşma görülür.

XII. Derece Deprem(yok edici):

Toprağın altında ve üstündeki tüm yapılar baştanbaşa yıkıntıya uğrar. Yer yüzeyi bütünü değişir. Geniş ölçüde çatlak ve yarıklarda, yatay ve düşey hareketlerin yön miktarları izlenebilir. Yeni göller ve çağlayanlar oluşur [2].

1.4.6 Depremi n Büyükl üğü (Magnit üd)

Depremlerin etki ne alanlarının büyüklüğünü ölçmek için depremde ortaya çıkan enerjinin ölçüsüdür. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Prof. C Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "magnitüd-büyüklük" tanımlanmıştır. Buna göre, episantrdan 100 km uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sisnografla kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritması bir depremin "magnitüdü" olarak tanımlanmıştır. Bugüne kadar olan depremler istatistik olarak incelendiğinde kaydedilen en büyük magnitüd değerinin 8.9 olduğu görülmektedir (31 Ocak 1906 Kolombiya-Ekvator ve 2 Mart 1933 Japonya depremleri).

Magnitüd, deprem hasarlarının bir belirtisi olmakla birlikte aynı magnitüdde farklı odak noktalı depremlerin verecekleri hasarlar da farklı olabilir. Bu da odak noktasının yüzeysel veya derin olmasına bağlıdır. Derin odak noktalı depremler geniş alanlarda hissedilirken hasarın çok olduğu bölgeler dar bölge olmaktadır. Yüzeysel depremler ise geniş alanda hasar yaparken hissedilme alanı dar bir bölge olabilir.

Magnitüd, aletsel ve gözlemsel magnitüd değerleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Aletsel magnitüd, standart bir sisnografla kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik periyod değeri ve alet kalibrasyon fonksiyonlarının kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilir. Aletsel magnitüd değeri, gerek hacim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanmaktadır. Genel olarak hacim dalgalarından hesaplanan magnitüdlere M ile yüzey dalgalarından hesaplanan magnitüdlere m ile gösterilir. Her iki magnitüd değerini birbirine dönüştürecek bazı bağlantılar mevcuttur. Gözlemsel magnitüd değeri ise, gözlemsel inceleme sonucu elde edilen episantr şiddetinden hesaplanmaktadır. Ancak bu tür hesaplamalarda, magnitüd-şiddet bağlantısının incelenilen bölgeden bölgeye değiştiği de göz önünde tutulmalıdır.

1.4.7. Magnitüd-Şiddet- Maksimum İvme İlişkileri

Depremlerin sismograflar tarafından kayda alınmış magnitüd değerleri ile yapılarda meydana getirdiği maksimum ivmeler ve gözlemlenilen hasarlara göre şiddet, magnitüd ve maksimum ivme arasında ilişkiler kurulabilmektedir.

Deprem magnitüd değerleri depremen enerjisini belirler. Depremlerin sığ ve derin odaklı olma durumuna göre hasarları da farklı olmaktadır. Magnitüdü aynı olan iki depremden sığ olanı çok hasar yaparken derin odaklı olanı daha az hasar meydana getirmektedir. Richter ölçeğine göre magnitüd değeri deprem özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Depremlerin şiddet ve magnitüdleri arasında birtakım ampirik bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılardan şiddet ve magnitüd değerleri arasındaki dönüşümleri Tablo 1.1 de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Şiddet - magnitüd ilişkisi

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter Magnitüdü	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4

Depremlerin şiddeti ve magnitüdü de episantra olan uzaklık arttıkça azalmaktadır. Ancak her zeminde episantrdan uzaklaştıkça hasarın orantılı azalmadığı görülmektedir. Episantr noktasından uzaklaştıkça depremin ivmesi de uzaklıkla orantılı olarak azalmaktadır. Uzak depremlerin hakim periyotları daha uzun olmaktadır. Kısa periyotlu depremler mesafe ile hızlı bir biçimde güçlerini yitirirler. Çok katlı yapıların tabi periyotları da uzundur. Uzun periyotlu çok katlı yüksek yapıların uzak depremlerden etkilenmeleri de daha fazla olacaktır. Depremlerin süreleri de yapıda meydana getirdikleri hasarlar bakımından önemlidir. Süresi uzun fakat ivmesi az olan depremler, süresi kısa ivmesi fazla olan depremlere göre daha fazla hasar meydana getirirler [2].

1.5 Deprem Kuvvetlerinin Yapıya Etkisi

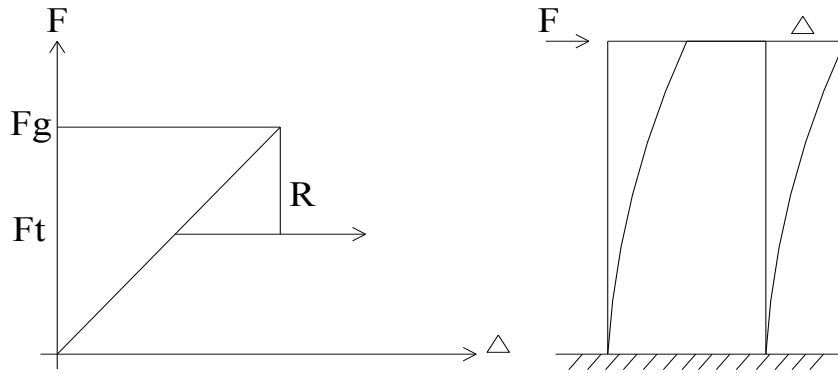
Depreme dayanıklı yapı kavramının geliştirilmesinde, depremsırasında yapılara etki eden kuvvetlerin belirlenmesi gerekir. Bu kuvvetler altında yapının davranışına, yapı türü göz önüne alınarak karar verilir. Ayrıca ekonomik kısıtlamalar yapıda olması gereken dayanımın, güvenliğin ve estetiğin birlikte olması ile gerçekleştirilir. Yapıların hasar görme riski ve hasar düzeyi ne kadar küçülürse yapı maliyeti de o kadar artar. Depremde yapı riskini yapının ekonomisi ile dengeleyen bir yapı tasarımı yapılması gerekmektedir.

Orta ve şiddetli depremlerde, yapının elastik sınırlar içinde kalacak şekilde boyutlandırılması ekonomik değildir. Şiddetli depremlerde ise yapının elastik kalmayacağı kabulüyle depremkatsayıları belirlenmiştir. Nadir olasılıklı çok şiddetli depremlerde gereken koşul yapının taşıyıcı elemanlarında meydana gelecek önemli hasarların bazı noktalarda donatının akma sınırına ulaşması nedeniyle meydana gelecek çökmelerin önlenerek can kaybının önlenmesi şeklinde özetlenebilir [2].

Deprem etkisinin bir yapıyı bütün olarak nasıl etkilediğini anlayabilmek için bir araçta ayakta duran yolcu modelini düşünmek faydalı olacaktır. Deprem etkisiyle zemin şiddetle bir yönden diğer yöne doğru hareket ederken, yapı da bir araçta ayakta duran yolcu gibi ilk durumunu korumayı amaçlar. Yapı, zeminin hareketi yönünde harekete başlayınca, bu kez depremetkisini bir özelliği olarak zemin ters yönde harekete geçmesiyle, ani olarak hızlanan bir otobüste frenleme olayını andıracak biçimde ilk hareket yönünü korumaya çalışacaktır. Böylece binanın zeminin hareketiyle ileri geri sallanmaya başlayacaktır. Yapının bu durumda maruz kaldığı kuvvet binanın kütlesi ve depremi vmesiyle ilişkilidir. Bu nedenle yapının ağır olması depremetkisini arttıracaktır. Kesitleri küçük tutarak kuvvetin azalmasını sağlamak halinde yapı esnek olacak, yatay yükler halinde yapı büyük ötelenmeye maruz kalacaktır. Büyük ötelenmeler ikinci mertebe momentlerin oluşmasına yol açtıklarından yapının göçme olasılığı artacaktır.

Deprem in etkisini yapıya aktaran zeminin, gerek yapısının heterojen olması, gerekse de davranışının karmaşıklığı nedeniyle depremetkisini ne ölçüde filtre edebileceğini tespit etmek oldukça güçtür. Olabilecek depremlerin özelliklerini tam ve kesin olarak tahmin etmek de bugün için imkansızdır. Yapılan dinamik araştırmalara bağlı olarak betonarme yapılar, elastik sınırlar dışında yapının deформasyon yaparak enerji tüketmeleri ile yıkılmadan ayakta kalabilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı yapıda rijitlik, süneklik, dayanım, enerji tüketim gücü özelliklerinin en iyi karışımı ile gerçekleştirilir. Yapılarda bu karışımlarda temel prensiplerin en iyi uygulanması ile depreme dayanıklı yapı oluşturulur.



Şekil 1.1. Dayanım ve süneklik grafiği

Şekil 1.1’de deprem nedeni ile yapıya etkiyen kuvvetler F_g olarak gösterilirse, bu kuvvetler altında elastik tasarım yapmak, kesit boyutlarının aşırı büyütülmesini gerektirecektir. F_g kuvvetine göre kesitleri boyutlamak ekonomik olmayacaktır. Deprem yönetmeliği, tasarıma yapıya etki etmesi olası depremkuvvetlerini, tasarım planlanan yapısal sistem türüne göre seçilecek olan R özel küçültme katsayıları kullanılarak azaltma imkanı vermektedir. R katsayısı ile yapılacak küçültmeyle elde edilecek tasarım kuvvetleri grafikte F_t olarak gösterilirse, F_t kuvvetleri F_g ’nin $1/3$ ’den $1/8$ değerlerine kadar küçültülebilmektedir. Deprem etkisinin tasarımda kabul edilen değeri, yapının davranışına bağlı olarak değişen R küçültme katsayısı ile küçültülen F_t değeri olmaktadır. Deprem sırasında etki eden F_g kuvveti, tasarımda kabul edilen küçültülmüş F_t kuvvetine nazaran ciddi mertebede fazlalık göstermektedir. Bu ciddi fazlalıklardan dolayı yapının göçmesi için sistemin elastoplastik davranış, diğer bir deyişle sünek davranış göstermesi gerekmektedir.

1.5.1. Taşıyıcı Sistem Özelliklerinin Deprem Davranışına Etkileri

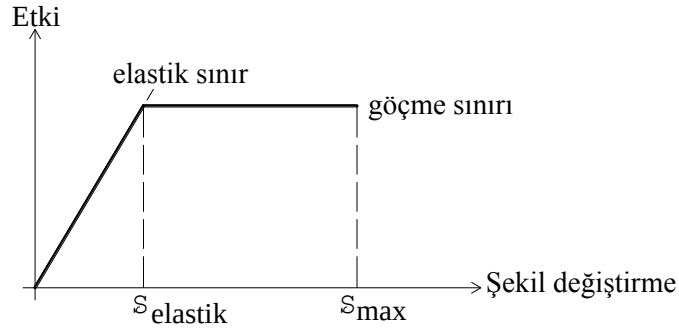
Deprem kuvvetlerinin etkisi sonucu meydana gelen titreşimler yapıda eylemsizlik kuvvetlerinin meydana gelmesine neden olur. Eylemsizlik kuvvetlerinin yapıda meydana getirdiği hasar, yapının külesine, taşıyıcı sistemin rijitliğine ve sönümgebi özelliklerine bağlıdır. Deprem yönetmeliğinde hedeflenen depreme dayanıklı yapı tasarımında vazgeçilmez üç ana unsur yeterli süneklik, yeterli rijitlik ve dayanımdır.

1.5.1.1. Süneklik

Süneklik, yapının taşıma gücünde azalma olmadan elastik sınırın ötesinde, elastik olmayan davranışla kırılma konumuna gelmeden, büyük yer değiştirmelerle enerji tüketebilme yeteneğidir. Diğer bir deyişle yapı ve yapı elemanlarının, deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin büyük bir bölümünü, mukavemetinde ciddi bir kayba uğramadan yutma yeteneğine süneklik denir.

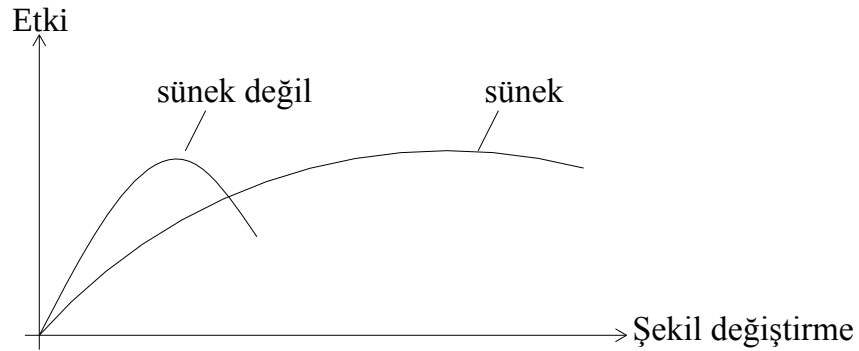
Taşıyıcı sistemin sünekliği, işaret değiştiren ve sistemi elastik sınırın ötesinde zorlayan etkiler altında enerji yutma sonucunu doğurduğundan, düşey yükler altındaki projelendirilmede değil, sadece dinamik yükler etkisinde önem kazanır.

Seyrek meydana gelecek şiddetli deprem etkisini, yapının elastik davranışının üzerinde şekil değiştirerek karşılanması öngörüülür. Böyle bir durumda ise elastik olmayan davranış önem kazanmaktadır. Yapının elastik sınırı geçip, kesitlerin zorlandığı bölgelerde önemli artmalar olmadan şekil değiştirmeyi yapması istenir. Bu yolla depremin dinamik etkisi ısı enerjisine dönüşerek yutulmakta ve sönümlenmektedir. Sünme bölgesinin uzun olması, şekil değiştirmeleri ve onun yanında sönümü artırır. Bu özelliğe sahip yapılar sünek olarak isimlendirilir.



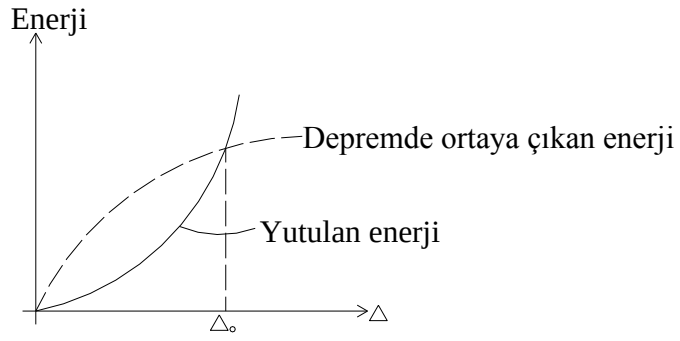
Şekil 1.2 Elastik-plastik etki-şekil değiştirme bağıntısı

Bir yapı sünek ise, deprem sırasında zeminden yapıya iletilen enerjinin büyük bir kısmı elastik sınırının ötesindeki büyük genlikli titreşimler yapının dayanımını önemli bir kayba uğratmadan yutulur. Gerçek malzeme, Şekil 1.2’de verilen ideal elastik-plastik davranıştan daha çok Şekil 1.3’de verilen iki eğri arasındaki davranışa sahiptir. Burada sünek olan ve olmayan davranışlar arasındaki fark daha açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 1.3. Sünek ve sünek olmayan etki-şekil değiştirme bağıntısı

Süneklik sayesinde, yüklenmenin aşırı artmasında akma ya ulaşan kesitlerde plastik şekil değiştirmelerle enerji alınırken, iç kuvvetlerin daha az zorlanan kesitlere dağılması sağlanır. Ayrıca, sünekliğin izin verilen hasarla orantılı olduğu unutulmamalıdır. İyi düzenlenmiş sünek bir taşıyıcı sistemde deprem enerjisi, kontrollü hasarlarla göçmeden uzak kalınarak karşılanmış olur. Şekil 1.4’de gösterilen, depremde Δ_0 deformasyonu yapabilen yapılar göçmeden ayakta kalabiliyor, yapımayan yapılar göçüyor, demektir.



Şekil 1.4 Deformasyon eğrisi

Süneklik mertebesi, taşıma gücü sona ererken var olan deformasyonun elastik limitteki deformasyona oranı olarak belirtilir, buna süneklik oranı denir. Sünek olmayan malzemelerde süneklik oranı 1'dir. Yatay ve dinamik yüklerin önemli olduğu yapılarda süneklik oranı en az 3 olmalıdır. Ayrıca, betonun kalitesine göre de süneklik değişmektedir. Sismograflarla yapılan kayıtlardaki deprem kuvvetlerinin yönetmelik kabulleri ile yapılan hesaplarda kullanılan deprem kuvvetlerinden çok fazla olduğunun görülmesine rağmen yapıların yıkılmaları, ayakta durmaları yeterli enerji tüketmeleri ile mümkün olabilmektedir.

Çerçevesi sistemler, düğüm noktalarında plastik mafsallar oluşması ile sünek olma özelliği kazanırlar. Sistem plastik mafsalların giriş uçlarında ve kolonların temele bağlandığı yerlerde oluşmasını temin edecek şekilde boyutlandırılır. Herhangi bir katta kolonların uçlarında plastik mafsalların oluşmasına kesinlikle izin verilmemelidir. Aksi halde üst kısmın alt kısma oranla aşırı derecede deplasman yapmasına ve ikinci derece momentlerin oluşmasına sebep olunacaktır. Kolonlarda sünekliğin sağlanabilmesi için

- Kolon kesitinin büyük seçilmesi,
- Boyuna donatı yüzdesi %1-2 civarında tutulması,
- Kirişlere yakın bölgelerde yönetmelikte belirtilen etriye sıklığı artırılması,
- Boyuna ara donatı kullanılması

gerekmektedir.

Kirişlerde sünekliğin sağlanabilmesi için de,

- Boyuna donatı oranı düşük tutulmalı, deprem yönetmeliğindeki maksimum oranlar aşılmaması,
- Kolonlara yakın bölgelerde etriye sıklastırılması,
- Basıncı donatısı / çekme donatısı oranı yüksek tutulması,

öngörülmektedir. Depremde süneklik ile rijitlik azalırken, periyot büyümekte, depremen enerjisi tüketilmektedir [10].

1.5.1.2 Rijitlik ve Dayanım

Depreme karşı dayanıklı yapının en önemli kriterlerinden biri, yapının yeterli rijitlikte yapılmasıdır. Rijitlik deprem etkisi altında oluşacak olan ikinci derece momentlerin kabul edilebilir limitler içinde olmasını ve katlar arası göreceli ötelenmenin azaltılmasını sağlayarak taşıyıcı olan elemanlarda deprem hasarlarının azaltılmasına yardımcı olacaktır. Bu sebepten dolayı yapılarda belirli bir rijitliğin sağlanması gerekmektedir.

Yapının rijitliğini artırarak, depremde meydana gelecek şekil ve yer değiştirmeleri azaltılmaktadır. Böylece taşıyıcı sistemle ona bağlı bulunan taşıyıcı olan kısımlardaki hasar azaltılabilir. Donatısı iyi düzenlenmiş kiriş ve kolonların meydana getirdiği çerçevelerden oluşan betonarme taşıyıcı sistem elastik olarak kabul edilebilir. Orta şiddetli bir depremde bile bu tür çerçevelerde katlar arası büyük yer değiştirmeler meydana gelebilir. Buna karşılık bölme duvarlarının bulunması, çerçeveye ek bir rijitlik kazandırarak yapının periyodunu küçültür ve yapıdaki kuvvet dağılımına etkili olur. Bölme duvarlarında meydana gelen hasarla depremen enerjisi bir ölçüde söndürülür. Çerçeve sistemlerinin rijitliğini arttırmak için betonarme perdeler kullanılmaktadır. Böylece katlar arası yer değiştirmeler küçültülmekte ve nominal kuvvetin ikinci mertebeye de azaltılmaktadır.

Rijitliğin ölçüsü deforasyondur. Aynı yük altında daha az deforasyon gösteren eleman diğerine oranla daha rijittir. Sınır koşulları aynı olduğunda, yatay yük altındaki bir kolonun rijitliği, eylemsizlik momenti ile doğru orantılı, boyu ile ters orantılıdır.

Yapı elemanlarının rijitliğini uygun seçerek titreşim periyodunu belirli aralığa getirerek de deprem etkilerini küçültmek mümkündür. Bunun için ilk yapılması gereken, spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodu ile yapınkini uzak tutarak rezonans olayını önlemektir. Her yapı yüksekliğine ve taşıyıcı sistem türüne bağlı titreşim karakteristiklerine sahiptir. Benzer bir şekilde her deprem de bölgenin jeolojisine, kaynaktan uzaklığına, deprem kaynak mekanizmasının yeri ve tipine bağlı olan titreşim karakteristiklerine sahiptir. Depremdeki frekansının binanın doğal frekansına eşit olduğu durumda meydana gelen rezonans olayı yapının titreşim genliğinde artmaya sebep olur ve sonuç olarak, beklenen hasar artar. Bunu önlemek için uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgede, kısa periyotlu rijit, az katlı yapılar inşa etmek uygun düşer. Genellikle bu tür bölgelerde derin tabakalar halinde yumuşak zemin bulunur ve yer hareketinin yüksek frekanslı bölümünü filtre ederek söndürür ve geriye düşük frekanslı uzun periyotlu kısım kalır. Bunun aksine kayalık sert zemin bölgelerinde yer hareketinin yüksek frekanslı kısım hakim olur. Buralar da yüksek periyotlu, çok katlı yapılar uygun düşer. Yapılarda çoğu zaman bu koşullar sağlanamaktadır. Ancak temele yerleştirilen yer hareketi yalıtım düzenlerinin kullanılmasıyla, yapının dinamik davranışı değiştirilerek, deprem kuvveti azaltılabilir [25].

Deprem etkileri genellikle zemin kat seviyesinde en büyüktür. Zemin kat, yapıya etkiyen toplam deprem kuvveti etkisini karşılamak durumundadır. Bu sebeple zemin kat elemanlarının dayanımlarının daha yüksek olması gerekir. Ancak bazı durumlarda kullanım şekli ve nımarı nedenlerle taşıyıcı eleman boyutlarında bir sınırlama yapılabilir. Yapı elemanlarında bu şekildeki bir sınırlandırmanın yapının dayanımına etkisi incelenmiş olmalıdır.

2. DEPREM YÖNETMELİĞİ İLKELERİ

Dünyada 1900'li yılların başında San Francisco ve Tokyo depremleri gibi büyük depremlerin etkisiyle önemli can kayıpları ve hasar meydana gelmesi sonucu deprem etkisinin en az zararla nasıl atlatılacağı konusunda önemli çalışmalar yapılmış ve yapılarda uyulması gerekli kurallar şeklinde tespit edilen ilkeler depremyönetmeliği adı verilen düzenlemelere dönüştürülmüştür. Elde edilen deprem kayıtlarının değerlendirilmesiyle beklenen depremlerin özellikleri hakkındaki mevcut bilgi birikiminin önemli derecede artması, bilgisayar tekniğindeki gelişmelerle yapıların depremtındaki davranışının çok daha ayrıntılı bir şekilde belirlenebilmesi, deprem sonrası yerinde inceleme sonucu elde edilen tecrübeler ve deneysel sonuçlarla yönetmelik bünyesinde verilen kurallar günümüze kadar süren ve sürecek olan bir gelişme göstermiştir.

Türkiye'de 1939 Erzincan ve 1944 Gerede depremleri sonrası deprem konusuna eğilinmiş, 1947'de Bayındırlık Bakanlığı'na 'Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği' hazırlanmıştır. Yönetmelik 1949'da deprem bölgeleri haritasında düzenleme yapılarak değiştirilmiştir. 1958'de İmar ve İskan Bakanlığı kurulmuş, 1961'de yeni bir 'Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik' hazırlanmıştır. 1963'te 'Deprem Bölgeleri Haritası' üç ayrı bölge belirlenerek yenilenmiştir. 1968 yılında yönetmelik yeniden düzenlenmiş, depreme göre hesap esasları geliştirilmiştir. 1975'de yapılan bir takım değişikliklerden sonra, en son olarak 1997'de, 01.01.1998'den itibaren geçerli olmak üzere deprem yönetmeliği yayımlanmış olup halen yürürlükte bulunmaktadır [16]. Bu yönetmelikler incelendiğinde genellikle depreme ilgili yatay kuvvetlerin artırıldığı ve taşıyıcı sistem eleman boyut ve detaylarına kısıtlayıcı şartlar eklendiği görülür. Bunun sonucu olarak projesi daha önceki yönetmeliklere uygun olarak hazırlanmış ve inşa edilmiş yapıların bugün geçerli olan yönetmeliğe göre depremgüvenliğinin yetersiz olduğu görülebilir. Depreme dayanıklı yapı oluşturmayı amaçlayan deprem yönetmeliklerindeki şartların tam ve doğru olarak yerine getirilebilmesi için proje ve inşaat esnasında verilebilecek bir mühendislik hizmetinin yararı açıktır. Ancak

ülkenin önemli bir deprem kuşağında olmasının yanı sıra yapı m aşaması ve mühendislik kontrol mekanizmasındaki olumsuzluklar büyük depremlerde aşırı can ve mal kayıplarına yol açmıştır.

Deprem bölgelerinde yapının güvenli, depreme dayanıklı olması ilk koşul olarak belirnektedir. Yapının taşıyıcı sistemi, deprem etkilerini ve uygun bir davranış göstermesi esas alınarak düzenlenmek zorundadır. 1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe giren ‘ Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ ilkelerine göre depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkesi,

- Hafif şiddetteki depremlerde binalarda yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,
- Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında oluşabilecek hasarın onarılabilecek düzeyde kalması,
- Şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen ya da tamamen göçmesinin

önlenmesi şeklindedir.

1997 Deprem Yönetmeliği’nde esas alınan tasarım depremi, şiddetli depreme karşı güvenli yapı yapılmasını sağlamaktır. Yapının projelendirilmesinde öngörülen bu güvenlik anlayışı ekonomik olarak çok iyi durumda olan ülkelerde de aynen benimsenmekte ve tasarım kuralları buna dayanarak düzenlenmektedir [3].

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ilkelerine uyulması zorunludur. 7269 sayılı kanunun 1051 sayılı kanunla değiştirilen üçüncü maddesine göre afet bölgesinde yeni yapılacak, büyütülecek, onarılacak ya da güçlendirilecek resmi ve özel tüm binaların ve bina türü yapıların bağlı olacağı teknik koşullar bu yönetmelikteki ilkelere uyularak yerine getirilir [3].

Afet bölgelerinde yapılacak yapılar, gerek malzeme gerekse de işçilik bakımından Türk Standartları’na ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı ‘ Genel Teknik Şartnamesi’ kurallarına uygun olacaktır.

7269 sayılı kanun ve 1051 sayılı kanunun 14. maddesine göre yasak bölge sayılan yerlerde bina yapılamaz ve mevcut binalar onarılamaz. Ayrıca yapı mının üzerinden

30 yılı dol dur na mş yapay dol gu ze m inler üze ri nde, özel ola rak ze m i ni yile şti ri me si ya pıl na dı kça, ya da ge rek li te mel ti pi uy gu lan na dı kça bi na ya pı la naz [6].

2.1 Depre ne Dayan klı Ya pı Ta sa rı m na İ li ş ki n Hük ü nler

Depre m yö net me li kleri ile de pre m ha re ke ti ne ma ru z ka la cak bi na ve bi na tür ü ya pı ları n ta na m ın veya böl ü nle ri ni n de pre ne day an klı ta sa rı m ve ya pı m i ç in ge rek li ni ni m u ko ş ul lar ta nı m lan ma k ta dır. Yö net me li k, ye ni ya pı la cak bi na lar i ç in ol du ğ u ka dar, ayn ı za ma na da de ğ i ş ti ri le cek, de pre m ö nce si nde veya so nra sı nda on a rı la cak ya da güç len di ri le cek bi na lar i ç in de ge çer li dir; be to na r me (ye ri nde dö kü l mü ş ve ön ge ril me li veya ön ge ril me si z pre fa bri ke) bi na lar, ç e li k bi na lar ve bi na tür ü ya pı lar ah ş ap, yı ğ na, ka ğ ır ve ke r pi ç bi na lar yö net me li k ka ps a m ın da dır [3].

Kö pr ü ler, ba ra j lar, li na n ya pı lar ı, tün el ler, bo ru hat lar ı, en er ji na kıl hat lar ı, nü kle er san tral ler, do ğ al gaz de po la na te si s le ri gi bi ya pı lar, ta na m ye r al tı n da bu lu nan ya pı lar ve bi na lar da fa rklı he sap ve gü ven lik es a s lar ı na gö re pro je len di ri len di ğ er ya pı lar de pre m yö net me li ğ i ni n ka ps a m dı ş ın da dır.

Depre m ha re ke ti den ya lı t na k i ç in, te me l le ri ile ze m i n a ra sı nda özel si ste m ve ge re ç le r le do na tı lan veya di ğ er ak tif ve pa si f kon tröl si ste m le ri bu lu nan bi na lar i ç in de pre m yö net me li ğ i ni n hük ü n le ri uy gu lan maz. Ka ps a m dı ş ı ya pı la ra uy gu la na cak es a s lar, ça ğ da ş ul u s la ra ra s ı stan dar t lar gö z ö nün de tu tu lu ra k, özel ola rak sa p ta na ra k pro je le ri dü ze n le ne ce k ti r.

Ta ş ı y ı cı si ste mi ol u ş tu ran ele man lar ı n her bi ri nde, de pre m yü k le ri ni te mel ze m i ne ka dar sü rek li bir ş e kil de ve gü ven li ola rak ak ta rıl ma s ı nı sa ğ la ya cak ye ter li rij it lik, ka ra rlı lık ve day a nı m bu lun ma lı dır. De pre m en er ji si ni n ö ne mi bir böl ü m ü nün ta ş ı y ı cı si ste m i n sü nek da v ra nı ş ı ile t ü ke til me si den do la y ı sü nek ta sa rı m il ke le ri ne ti ti z li ke uy u lu ma s ı zo run lu dur. Tür ki ye’ de ki le ri de i ç er nek ü ze re, dü ny a da ki büt ün yö net me li kler ba h se di len ta sa rı m fe se fe si ne ba ğ lı ka lı r lar; ya ni sa de ce de pre m i n en er ji gi r di si ni n sar f e di l me si ni sa ğ la yan kon tröl lü ha sa ra i zi n ve ri r ler an cak ya pı lar ı n gö ç me si ne i zi n ve re z le r [6].

2.2 Yönet meli kte Düzensiz B nalar

Yeni deprem yönet meli ğinde düzensiz yapılar tanı mlanmaktadır. Bazı düzensiz yapıların yapı mna izin veril mezken di ğerleri de getirilen koşullarla kısıtlanmaktadır. Düzensizlikler yönet meli kte, planda ve düşey doğrultuda olmak üzere ikiye ayrılmıştır(Tablo 2.1 ve 2.2), [23]. Planda düzensizlikler; burul ma düzensizli ği, döşeme ve di yafram süreksizli ği, geometri düzensizlikleri, taşıyıcı eleman eksenlerini paralel ol maması, derz eksikli ği, ortogonal ol mma düzensizli ği olarak sınıflandırılmıştır. Düşey doğrultuda ise düşey elemanların süreksizli ği, kat rijitliklerindeki farklılıklar, vb. gibi durumlar söz konusu olmaktadır.

Tablo 2.1. Planda düzensizlik durumları

<u>A1 - Burul ma Düzensizli ği:</u> Birbirine dik iki depremdoğrultusunun herhangi biri için herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesini o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burul ma Düzensizli ği Katsayısı η_{bi} 'nin 1.2' den büyük ol maması durumu. [$\eta_{bi} = (\Delta)_{max} / (\Delta)_{ort} > 1.2$] (Şekil 2.1). Görelî kat ötelemelerinin hesabında, $\pm$ %5 ek dış merkezlik etkileri de göz önüne alınacaktır.
<u>A2 - Döşeme Süreksizli ği:</u> Herhangi bir kattaki döşemede; 1. Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının brüt alanının 1/3'ünden fazla ol maması, 2. Deprem yüklerini düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması, 3. Döşemenin düzlemi çî rijitlik ve dayanımında ani azalmaların ol maması (Şekil 2.2).
<u>A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması:</u> 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 ol maması durumu (Şekil 2.3).
<u>A4 - Taşıyıcı Eleman Eksenlerini Paralel Ol maması:</u> Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel ol maması durumu (Şekil 2.4).

Tablo 2.2 Düşeyde düzensizlik durumları

B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat):

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} 'nin 0.8'den küçük olması durumu.

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

Herhangi bir katta etkili kesme alanı nı tanımlar:

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k$$

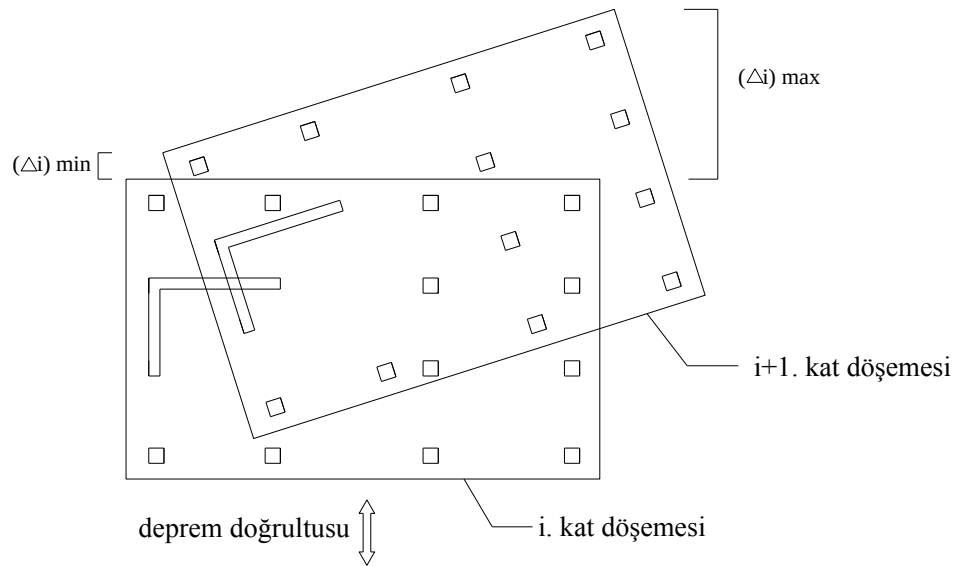
B2 - Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat):

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i. kattaki ortalama görelî kat öteleme sine bir üst kattaki ortalama görelî kat öteleme sine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 1.5'den fazla olması durumu.

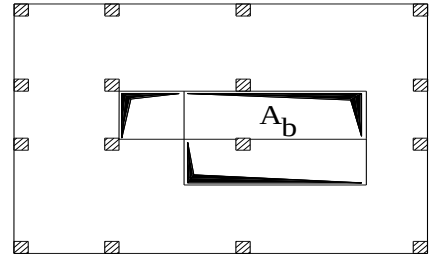
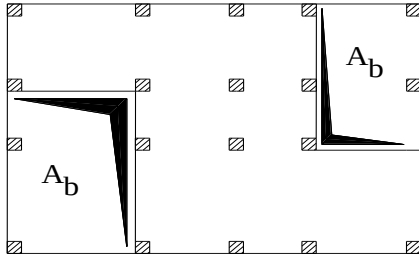
$$\eta_{ki} = (\Delta)_{ort} / (\Delta_{+1})_{ort} > 1.5$$

B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği:

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon ve perdeleri n) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu.



Şekil 2.1. Al türü düzensizlik durumu



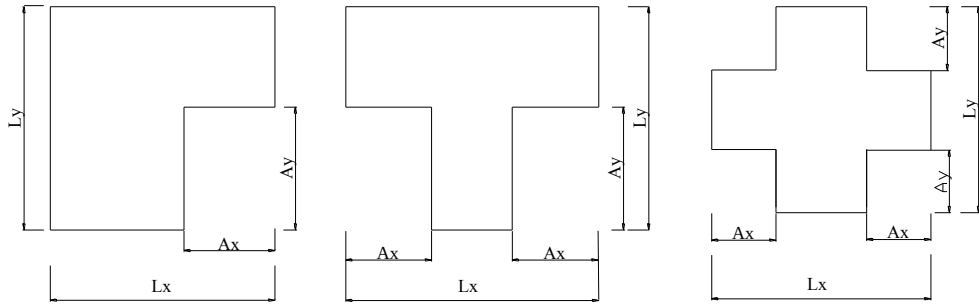
A_b : Boşluk alanları toplamı

$$A_b / A > 1/3$$

A : Brüt kat alanı

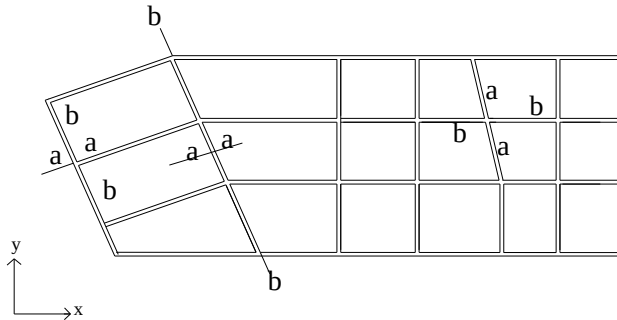
Şekil 2.2 A2 türü düzensizlik durumu

A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda birinci ve ikinci deprem bölgelelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenli aktarabildiği hesaplarla doğrulanmak zorundadır.



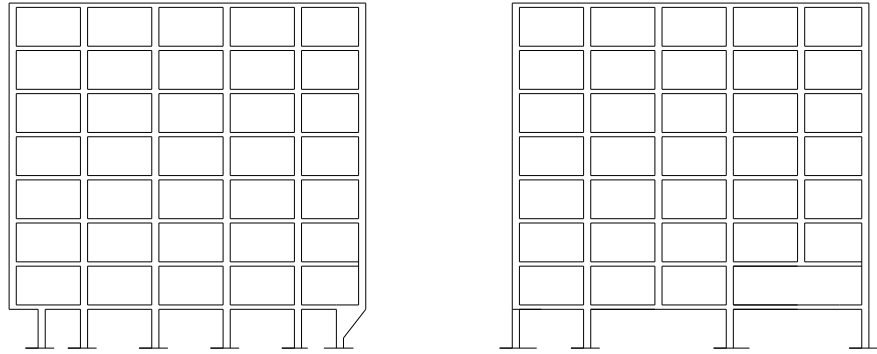
$$A_x > 0.2 L_x \quad \text{ve} \quad A_y > 0.2 L_y$$

Şekil 2.3 A3 türü düzensizlik durumu



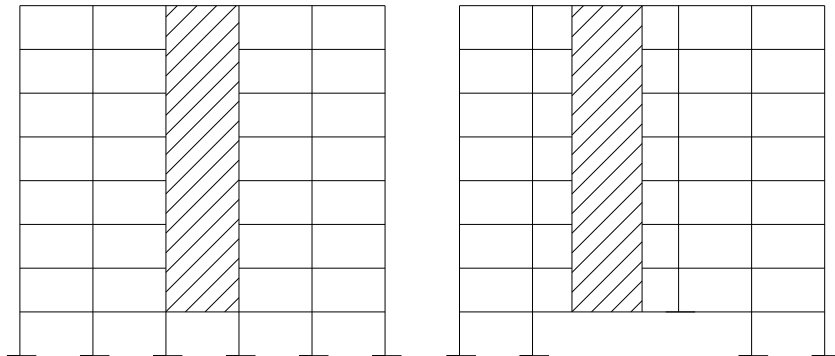
Şekil 2.4 A4 türü düzensizlik durumu

Bütün deprembölge lerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişleri n veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulması na izin verilmez (Şekil 2.5). Ayrıca kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturma sı durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan depre m doğrultusunda bu kirişin bağland ı ğı düğüm noktalarına birleşen diğ er kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, tüm iç kuvvet değ erleri %50 oranında artırıl mak zorundadır.



Şekil 2.5. Kolonların kaldırılması durumu

Bütün deprembölge lerinde, üst kattaki perdenin her iki ucundan da alttaki kolonlara oturtulması durumunda ise, bu kolonlarda düşey yükler ve depremin ortak etkisi nden oluş an tüm iç kuvvet değ erleri %50 artırılacaktır. Ayrıca perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişleri n üstüne açıklık ortasında oturtulması na hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 2.6), [3].



Şekil 2.6. Perde elemanda süreksizlik durumu

2.3 Betonarme Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları

Bütün deprembölgelerinde, kesit hesaplarında kullanılacak yöntem olarak betonarme elemanların depreme dayanıklı şekilde boyutlandırılması ve donatı hesaplarında TS 500’de verilen Taşıma Gücü Yöntemi’nin kullanılması zorunluluğu getirilmiştir.

2.3.1. Malzeme Dayanımı

Betonarme binalarda C16 (BS16)’dan daha düşük dayanımlı beton kullanılmaz. Birinci ve ikinci derece deprembölgelerinde bina önem katsayısı $I = 1.5$ olan tüm binalarda C20 (BS 20) veya daha yüksek dayanımlı beton kullanılması zorunludur. Kalite denetimi olmaksızın betonarme beton üretimi ve vibratörsüz beton yerleştirilmesi yapılmayacaktır.

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında S420’den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılacaktır. Perde gövdelerinde ve prefabrik binalarda S420’den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılabilir. Kullanılan donatının kopma birim uzaması %40’dan, kopma dayanımı da ortalama akmanın 1.25 katından daha az olmayacaktır. Enine donatıların boyuna donatılara kaynakla bağlanması na keskinlikle izin verilmez.

2.3.2. Sünellik Düzeyi Yüksek Kolonlar

En küçük kolon boyutu 250 mm’den ve enkesit alanı 75000 mm² (25c x 30c m)’den az olmayacaktır. Dairesel kolonların çapı en az 300 mm olacaktır.

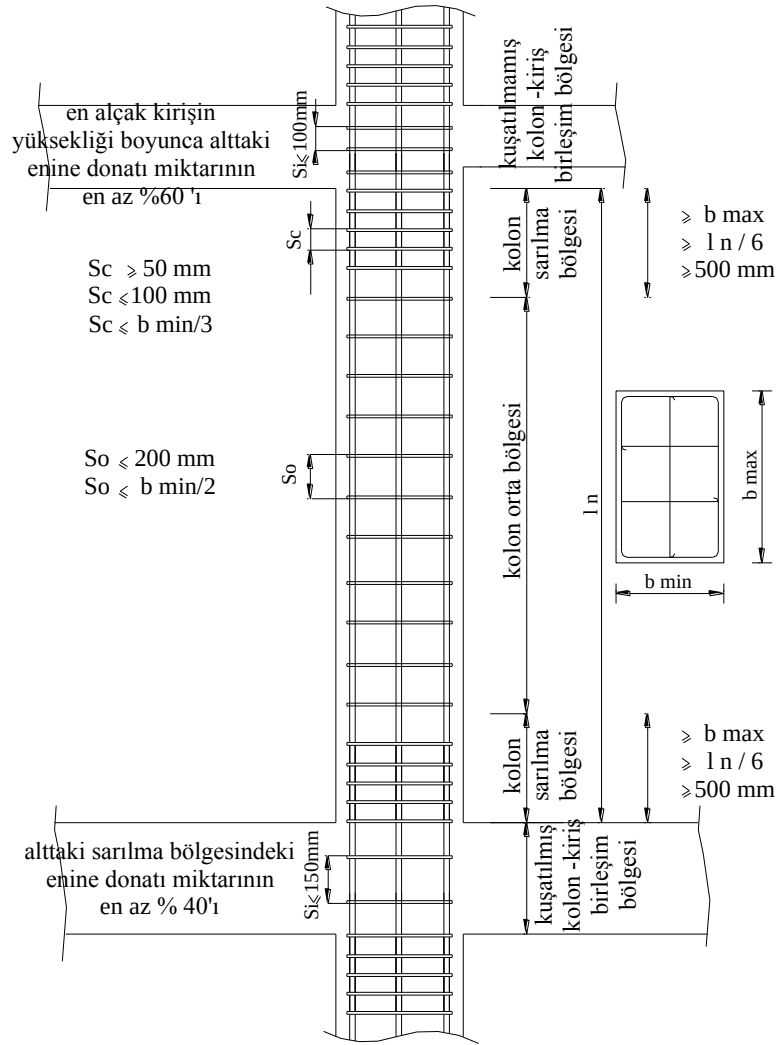
Boyuna donatı brüt alanı, kesitin %1’inden az, %4’ünden fazla olmayacaktır. Dikdörtgen kolonlarda donatı en az 4Ø16 veya 6Ø14 olacaktır.

Kolon boyuna donatılarının bindirme ekleri mümkün olduğunca kolon orta bölgesinde yapılmalıdır. Bu durumda bindirme boyu TS 500’de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu l_b ’ye eşit olacaktır.

Yönetmelikte belirtilen enine donatı koşullarına bağlı olarak da kolon sarılma bölgeleri ve kolon orta bölgesi için özel depremetriyeleri ve özel deprem çirozları

kullanılması zorunludur. Her bir kolonun alt ve üst uçlarında özel sarılma bölgeleri oluşturulacaktır. Sarılma bölgesi, kolon kesitinin büyük boyutundan, serbest yüksekliğinin $1/6$ 'sından ve 500 mm'den az olmayacaktır.

Sarılma bölgelerinde $\emptyset 8$ 'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır. Donatılar temeliniçinde de en az kolonun dar kenar boyutunun iki katı kadar bir yükseklik boyunca devam ettirilecektir. Kolon sarılma bölgesi boyunca etriye ve çiroz aralığı en küçük enkesit boyutunun $1/3$ 'ünden ve 100 mm'den daha fazla, 50 mm'den daha az olmayacaktır. Etriye kollarının ve çirozların arasındaki yatay uzaklık etriye çapının 25 katından fazla olmayacaktır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kolon-kiriş birleşim enine donatı yerleştirilmesi

Kolon orta bölgesi, kolonun alt ve üst uçlarında tanımlanan sarılma bölgeleri arasında kalan bölgedir. Kolon orta bölgesinde Ø8' den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır. Eriye, çiroz ve spiral aralığı, en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm' den daha fazla olmayacaktır (Şekil 2.7), [3].

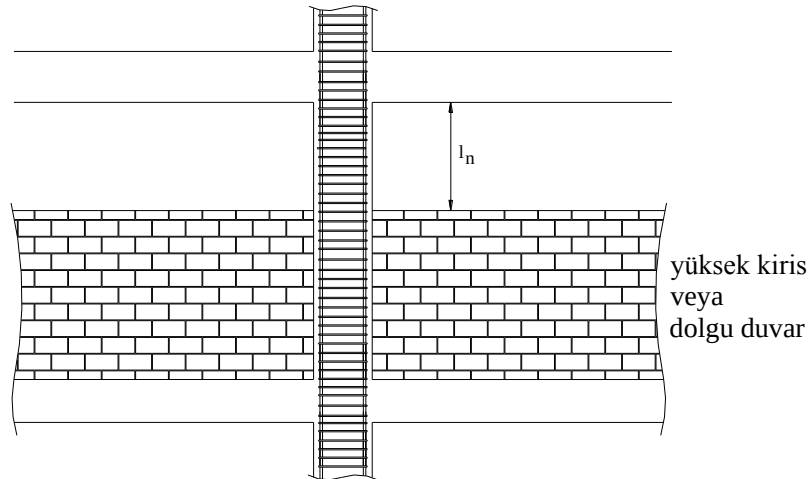
Kolon sarılma bölgesine konulan enine donatı aşağıdaki durumlarda kolon orta bölgesinde de aynen devam ettirilecektir:

- B1 başlığı ile tanımlanan düzensizlik durumunda, dayanım düzensizliği katsayısının 0.6 ile 0.8 arasında değiştiği katta yer alan bütün kolonlar,
- B3 başlığı ile tanımlanan düzensizlik durumunda, üst katlardaki perdelerin altta oturtulduğu kolonlar, perde içine kenetlenme boyu kadar uzatılan kolon donatıları boyunca devam ettirilecektir.

Bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır.

2.3.3 Kısa Kolonlara İlişkin Koşullar

Kolonların sarılma bölgeleri içinde tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları uygulanacaktır. Dolgu duvarları arasında kalarak kısa kolon durumuna düşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliğince devam ettirilecektir. Kısa kolon oluşması durumu Şekil 2.8' de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Kısa kolon oluşması durumu

2.3.4 Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişler

Yönetmelikte belirtilen enkesit koşullarına göre kiriş gövde genişliği en az 250 mm olacaktır. Gövde genişliği kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun kiriş e dik genişliğinin toplamından daha fazla olacaktır.

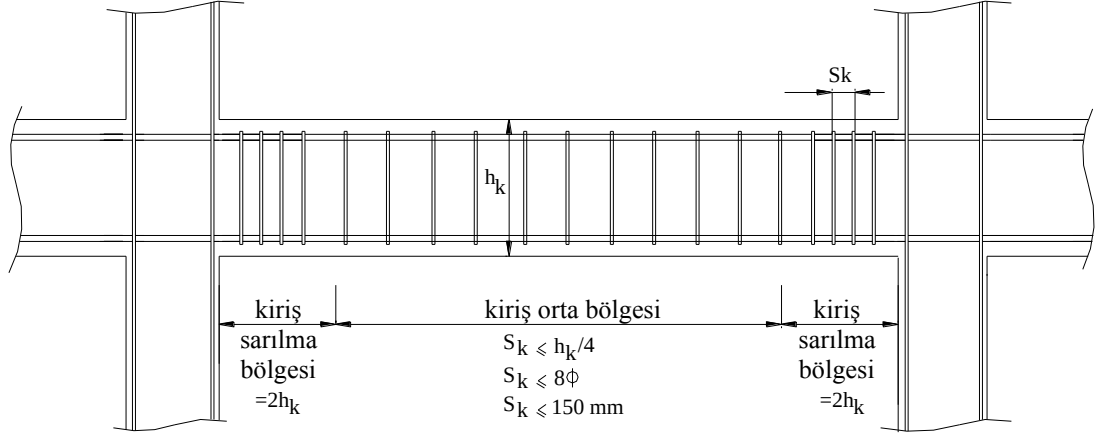
Kiriş yüksekliği döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm'den daha az olacaktır. Kiriş yüksekliği serbest açıklığın 1/4'ünden ve kiriş gövde genişliğinin 3.5 katından daha fazla olacaktır. Kiriş genişliği ve yüksekliği ile ilgili sınırlamalar, perdelerin bağ kirişleri ve çerçeve kirişlerine kolon-kiriş düğüm noktaları dışında saplanan ikincil kirişler ve prefabrike kirişler için geçerli değildir.

Süneklik düzeyi yüksek kirişlerde kullanılacak boyuna donatıların çapı 12 mm'den daha az olacaktır. Kirişin alt ve üstünde en az iki donatı çubuğu kiriş açıklığı boyunca sürekli olarak bulunacaktır. Kiriş mesnetindeki alt donatı, aynı mesnetteki üst donatının %50'sinden daha az olmaz. Ancak üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde bu oran %30'a indirilebilir.

Kirişlerini iki ucundaki mesnet üst donatılarının büyük olanının en az 1/4'ü üst kiriş boyunca sürekli olarak devam ettirilecektir. Mesnet üst donatısının geri kalan kısmı, TS 500'e göre düzenlenecektir.

Kolon-kiriş birleşim bölgeleri ve açıklık ortasında alt donatı bölgeleri gibi donatının akma durumuna ulaşma olasılığı bulunan kritik bölgelerde bindirmeli ek yapılacaktır. Bu bölgelerin dışında bindirmeli eklerin yapılabileceği yerlerde, ek boyunca tanımlanan özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. Bu etriyelerin aralıkları kiriş derinliğinin 1/4'ünü ve 100 mm'yi aşmayacaktır.

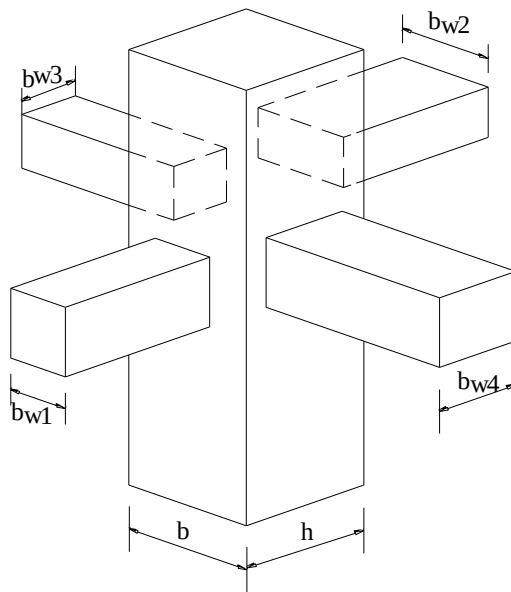
Süneklik düzeyi yüksek kirişlerde getirilen enine donatı koşullarına göre, kiriş derinliğini iki katı kadar uzunlukta ki bölge 'sarılma bölgesi' olarak tanımlanacak ve özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. İlk etriyenin kolon yüzüne uzaklığı en çok 50 mm olacaktır. Etriye aralıkları kiriş yüksekliğinin 1/4'ünü, en küçük boyuna donatı çapının 8 katını ve 150 mm'yi aşmayacaktır. Sarılma bölgesi dışında TS 500'de verilen enine donatı koşullarına uyulacaktır (Şekil 2.9), [3].



Şekil 2.9. Kirişlerde enine donatı sıklığına ilişkin bir teknik çizim

2.3.5. Sünellik Düzeyi Yüksek Çerçeve Sistemlerde Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, kirişlerin kolona dört taraftan birleşmesi ve her bir kiriş genişliğinin birleştiği kolon genişliğinin $3/4$ 'ünden daha az olmaması durumunda, bu birleşim 'kuşatılmış' olarak tanımlanacaktır (Şekil 2.10). Bu tanım sağlamayan tüm birleşimler ise kuşatılmamış birleşim olarak adlandırılır.



kuşatılmış birleşim koşulları:

$$\begin{aligned} b_{w1} \text{ ve } b_{w2} &\geq 3/4 b \\ b_{w3} \text{ ve } b_{w4} &\geq 3/4 h \end{aligned}$$

Şekil 2.10. Kuşatılmış birleşim

Yönetmelikte belirtilen kolon-kiriş birleşim bölgesindeki minimum enine donatı şartlarına bağlı olarak, kuşatılmış birleşimlerde alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %40'ı birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve aralığı 150 mm'yi aşmayacaktır. Kuşatılmamış birleşimlerde ise sarılma bölgesi için bulunan enine donatının en az %60'ı birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve aralığı 100 mm'yi aşmayacaktır.

2.3.6 Süneklik Düzeyi Yüksek Perdeler

Perdeler, uzun kenarının kalınlığına oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Perde kalınlığı, kat yüksekliğinin 1/15'inden ve 200 mm'den az olmayacaktır. $H_w/l_w > 2.0$ olan perdelerde, kritik perde yüksekliğince perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/12'sinden az olmayacaktır.

Deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca sadece perdeler tarafından taşındığı binalarda ve

- $\Sigma A_g / \Sigma A_p > 0.002$
- $V_t / \Sigma A_g > 0.5 f_{ctd}$

koşullarının her ikisinin de sağlanması durumunda perde ve duvar kalınlığı binadaki kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 150 mm'den az olmayacaktır.

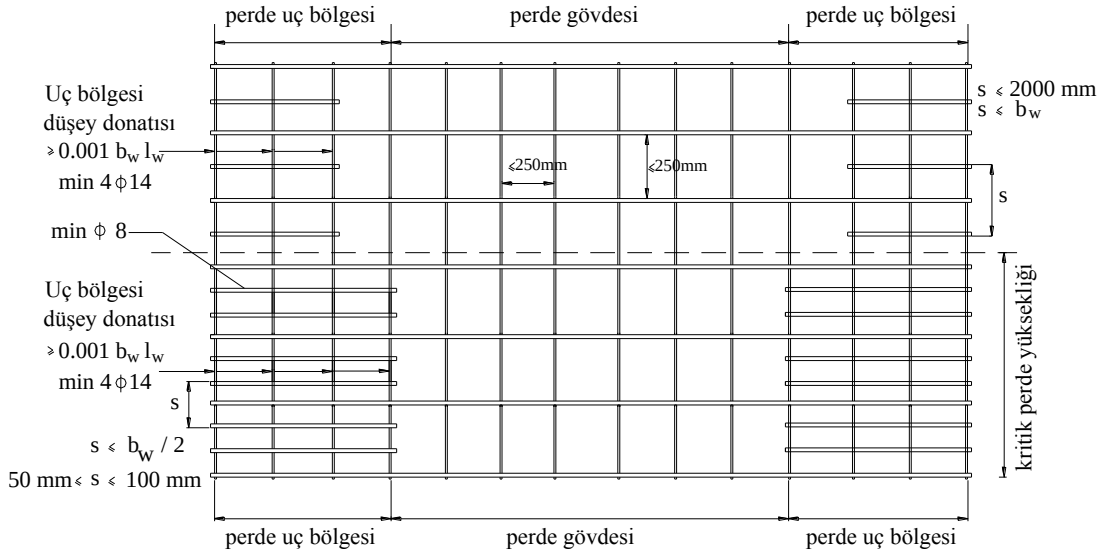
Yukarıda belirtilen koşulların her ikisinin de sağlandığı binalarda, düşey ve yatay depremtoplam gövde donatısı oranlarının her biri 0.0015'e indirilebilir. Ancak bu durumda donatı aralığı 300 mm'yi geçmeyecektir.

Perde gövde donatılarının toplam kesit alanı, perde uç bölgelerinin arasında kalan kolon perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmayacaktır. $H_w/l_w < 2.0$ olması durumunda perde gövdesi, perdenin tüm kesiti olarak göz önüne alınacak, perde gövdesinde boyuna ve enine donatı aralığı 250 mm'den az olmayacaktır.

Perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı toplam alanının perde brüt enkesit alanına oranı 0.001'den az olmayacaktır. Perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı 4Ø14'ten az olmayacaktır [3].

Perde uç bölgelerinde kullanılacak enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacaktır. Etriye kollarının ve çirozların arasındaki yatay uzaklık, etriye ve çiroz çapının 25 katından fazla olmayacaktır. Düşey doğrultuda etriye ve çiroz aralığı perde kalınlığının yarısından ve 100 mm'den fazla, 50 mm'den az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için belirlenen enine donatıların en az 2/3'ü konulacaktır (Şekil 2.11).

Kritik perde yüksekliğinin dışında kalan perde uç bölgelerinde düşey doğrultudaki etriye ve çiroz aralığı, perde duvar kalınlığından ve 200 mm'den daha fazla olmayacaktır. Ancak perde uç bölgelerindeki enine donatının çapı ve aralığı, hiçbir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır.



Şekil 2.11. Perde donatıları

2.3.7 Süneklik Düzeyi Normal Kolonlar

Süneklik düzeyi normal olan kolonlarda sarılma bölgesindeki enine donatı aralığı, süneklik düzeyi yüksek kolonların orta bölgesine konulan enine donatı aralığının yarısı kadar olacaktır. Bunun dışında süneklik düzeyi yüksek kolonlarda belirtilen enkesit ve boyuna donatı kesit alanı aynen geçerlidir.

2.3.8 Süneklik Düzeyi Normal Kirişler

Süneklik düzeyi yüksek kirişlere ilişkin enkesit boyutları ve boyuna donatı şartları burada da geçerlidir. Ynetimlikte belirtilen süneklik düzeyi normal kirişlerin enine donatı koşullarına bağlı olarak kiriş derinliğinin iki katı kadar uzunluktaki bölge, sarılma bölgesi olarak tanımlanacak ve özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. Sarılma bölgesinde ilk etriyenin kolon yüzüne uzaklığı en çok 50 mm olacaktır. Etriye aralıkları kiriş yüksekliğinin 1/4 'n, çapının 8 katını ve 200mm'yi aşmayacaktır.

2.3.9 Döşemeler

Döşemeler, katlardaki kütlelere etkiyen deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle dağıtılmasını sağlayacak rijitlik ve dayanıma sahip olacaklardır.

Bütün deprembölgelerinde, dolguluya da dolgusuz yerinde dökme veya prefabrike dişli döşemeli sistemlerde plak kalınlığı 50mm'den az olmayacaktır. Diğer döşeme plaklarının kalınlıkları için TS 500' de verilen koşullar geçerlidir [3].

3. HASARLAR VE NEDENLERİ

Yaşanan depremler sonrası binalar üzerinde yapılan incelemeler, bazı gerçekleri tüm çıplaklığıyla sergilemekte ve yapılan hataların nedenli büyük olduğunu gözler önüne sermektedir. Her yıkıcı depremde ortaya çıkan hasar nedenlerinin tekrarlanması üzücüdür.

Kuramsal araştırma ve incelemelerle belirlenen hasar ve göçme nedenleri, dünyanın çeşitli yerlerinde meydana gelen can ve mal kayıpları ile çok pahalıya mal olan 1/1 ölçekli deneylerle de kanıtlanmış durumdadır. Türkiye’de son on yıl içinde, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi ve 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremleri bu bağlamda çok öğretici olmuştur. Buralarda gözlenen hasar görme ya da göçme nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Yapı yerinin seçiminde başlayan hata ile temel zeminin etkisi, sıvılaşma, devrilme, zayıf- yetersiz temel sistemi yüzünden oturma, zeminde göçme, üst yapı iyi düzenlenmiş olsa bile büyük hasara neden olmaktadır.
- Kolonların boyut ve/ya da malzeme kalitesindeki yetersizlik Bu yüzden bina kat döşemeleri üst üste yığılmakta ve aradaki eşya ve insanları ezerek bir yığılıp durmaktadır.
- Genellikle zemin katlardaki ticari kullanım dolayısıyla meydana gelen zayıf ya da yumuşak katların etkisiyle değişik biçimde göçmeler olmaktadır.
- Planda düzensizlik yaratan büyük girinti ve çıkıntılar önemli hasara yol açmaktadır.
- Kiriş bağlantısız kolonlar, eksenlerde sapmalar, çerçevelerdeki süreksizliklerde hasar nedenleridir.
- İskelette düzenlenme hatası ile ya da bant pencere gereksinimi nedeniyle kat yüksekliğince devam ettirilen duvarlarla oluşan kısa kolonlar, etkileri büyütmekte, sistem yetersiz kalmaktadır.

- Planda bulunan büyük boşluklar döşemenin de yafra m etkisine engel ol dukları ndan hasarlar oluş maktadır.
- Katlarda rijitlik merkezi nin ağırlık merkezi nden uzaklaş ması nedeniyle meydana gelen burulma, kenar/köşe kolonlarda göçmeye neden ol abilmektedir.
- Konsollara oturan kolonlarla, binadaki çıkmalar dolayısı ile girişlerle bağlanayan kolonlar yüzünden hasarlar gözlenmektedir.
- Bitişik düzendeki binalarda, kat döşemelerinin farklı düzeylerde bulunması durumunda, bir katın öteki binanın bağlantısız yerine çarpması sonucu hasar ol uşabil mektedir (Çekiçleme etkisi).
- Bitişik düzendeki binaların sıra başlarındaki, ilki ve sonuncusu çarpma etkisinin aktarıl ması ile yana kayabil mekte, devrilebil mektedir.
- Kolonların girişlerden daha zayıf ol ması durumunda mafsallaşma kolonda başlayarak göçmeye neden ol abilmektedir.
- Zayıf iskeletlerde katlar arasında meydana gelen aşırı yatay yer değıştir me sisteminde hasar ol uşturma bile duvarlarda devrilme ve diğ er hasarlara neden ol abilmektedir.
- Binalarda taşıyıcı sisteme etkisi düşünül neden yapılan konsollar genellikle taşıyıcı sistemde düzensizliklere neden ol abilmektedir.
- İskeletteki kolon-giriş düğüm bölgelerine önem veril mesi, buralardaki ayrıntılarda yapılan hatalar göçmeye kadar götüren hasarlara yol açabil mektedir. (Betonarmede kenetlenme, etriyesizlik, kötü beton kalitesi, çelikte eksik profiller, kötü kaynak işçiliğ i, ahşapta düşük kaliteli kereste, yetersiz birleşim vb.) [7].

Deprebölgesinde izlenen hasarlar burada sayılan nedenlerden biri ya da birkaçının bir araya gel mesi ile oluş maktadır. Görüldüğü gibi gözlenen hasarın çoğu belirtilen basit nedenlerden kaynaklanmaktadır. Acı ve anlaşıl ması güç olan, yıllardan beri bu nedenleri ortadan kaldıracak önlemlerin alınmamış ol ması ve belirtilen yetersizliklerin sürekli yinelen mesi dir. Yapı tasarlarken diğ kate alınması gereken, etkilere karşı daha güvenli, duyarlığ i daha az biçimler seçil mesi dir. Bunun yerine getiril mesi , uygun malzeme seçimi, uygun tasarım ve detaylandırma, tasarımı özel üreti m yapı m ve kullanım koşullarının tanı ml anması ile sağlanır [2].

3.1. Planda Düzensizlikler

Depreme dayanıklı bina tasarımı basitlik ve simetri temel ilkelerdir. Bu tür yapıların deprem davranışı kolay anlaşılabilir ve depreme dayanıklılık için gerekli ayrıntıların hesaplanması da daha kolay olmaktadır. Basit ve simetrik olmayan yapıların analizlerinin güç olması sonucu statik ve dinamik çözümler çoğunlukla yaklaşık bir biçimde yapılabilir ve, bunun yanı sıra bu tip yapılarda depremsırasında kritik burulma etkileri de ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple binanın planda olabildiğince basit geometrik şekillerde tasarlanması hemen hemen tüm dünya yönetmeliklerinde yer alan bir belirlemedir [23].

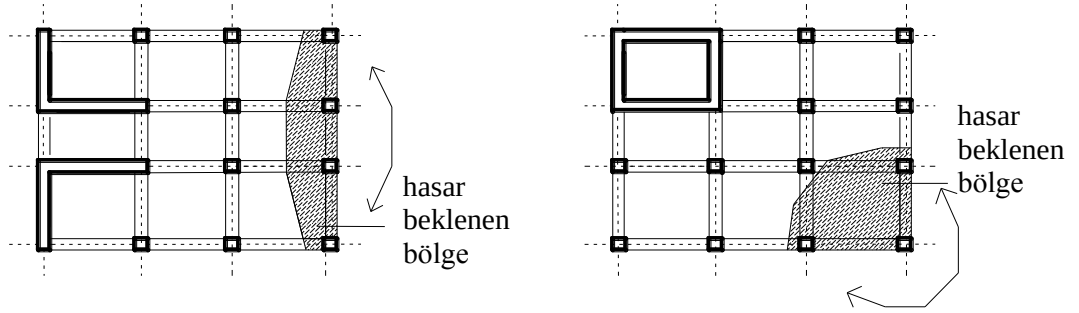
Plandaki düzensiz akslar, kolonlar ve konsollar sistemin deprem davranışını olumsuz etkilemektedir. Kiriş bağlantısız kolonlar, çerçevelerdeki süreksizlikler depremde ağır hasarların meydana gelmesine neden olurlar. Depremler sonrasında betonarme taşıyıcı sistemli binalarda yapılan incelemelerde planda, en çok A1 burulma düzensizliği, A2 döşeme süreksizliği ve A4 taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olması gibi düzensizlikler bulunmaktadır [1].

Yapının planda düzgün bir biçime sahip olması depremdaki davranışını olumlu yönde etkiler. Planda düzensiz olan yapı yönetmelikte öngörülen diğer şartları sağlamış olsa bile, planda düzenli yapıdan beklenen davranışı sergileyememektedir. Düzensiz plana sahip yapılarda farklı bölümlerin bağlantılarında meydana gelecek hasar sonucu düşey taşıyıcı elemanların kapasitelerinde önemli azalmalar ve kısmi veya toptan göçme oluşabilir.

3.1.1. Burulma Düzensizliği

Katlarda rijitlik merkezinin ağırlık merkezinden uzaklaşması sebebiyle meydana gelen burulma düzensizliği, kenar/köşe kolonlarda göçmeye neden olabilir. Herhangi bir deprem yönünde, herhangi bir katta, düşey elemanların (kolon ve perde) rijitlikleri simetrik dağılmışsa binada rijitliğin az olduğu taraf, çok olduğu tarafa göre daha çok deplasman yapar. En büyük kat arası relatif deplasmanın, ortalama relatif deplasmana oranı 1.2 den büyük ise, sistemde ‘burulma düzensizliği’ vardır, denir [5].

Planda basitlik ve düzenin sağlanmış olması, depremde yarattığı burulma etkisi önemli boyutlara ulaşabilmektedir. Depremde yapıya gelen kuvvetler yapının kütle merkezine etmektedir. Kütle merkezi birçok yapıda yapının geometrik merkezi olarak alınabilmektedir. Rijitlik merkezi ise yapıdaki kolon ve perde duvar gibi düşey taşıyıcı elemanların rijitliklerinin ağırlık merkezidir. Bu iki merkez arasındaki farklılık yapıya gelen deprem kuvvetlerinin yapıyı rijitlik merkezinden geçen bir düşey eksen çevresinde döndürmesine yol açmaktadır.



Şekil 3.1. Burulma düzensizliği ve hasar beklenen bölge

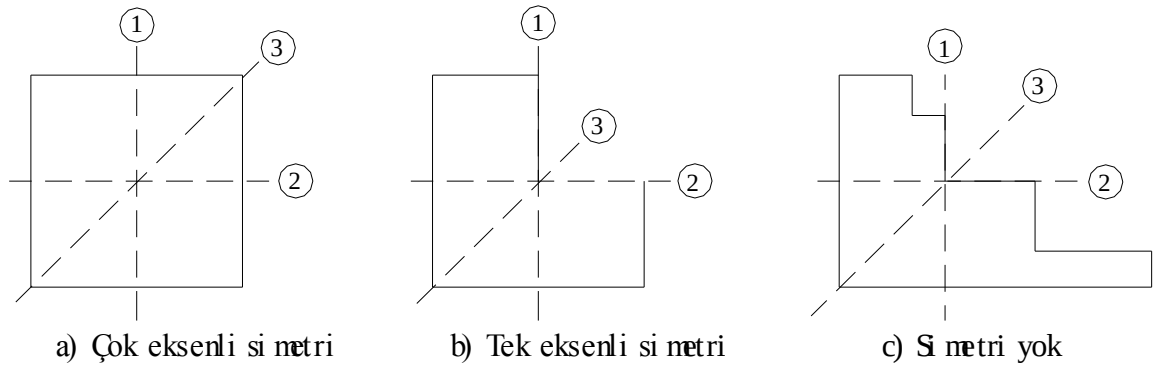
Şekil 3.1’de burulma düzensizliği sonucu yapıda oluşabilecek hasar şekli gösterilmiştir. Perde duvar gibi rijitliği fazla olan elemanların dış merkez ve kütle merkezinden çok uzağa yerleştirilmesi, geometrik olarak simetrik olan binanın rijitlik merkezini bozduğu için binayı burulma etkilerine maruz bırakmaktadır.

Bir binanın plandaki geometrisinin simetrik olmaması, örneğin, L- planlı olması veya dikdörtgen gibi simetrik bir plan geometrisine sahip olsa da rijitliklerin merkezden uzak topluca binanın bir tarafında bulunması depremesnasında binanın önemli burulma titreşimleri yapmasına sebep olur. Burulma olan binalarda rijitliğin yoğunlaştığı taraftaki değil, rijitliğin daha az olduğu uçlardaki kolonlara gelen aşırı zorlanmalar, binanın göçmesine neden olabilmektedir (Şekil 3.2). Bu aşırı zorlanmaları çok hassas bir şekilde tayin etmeli ve bu kolonlar özel bir itina ile boyutlandırılmalıdır.



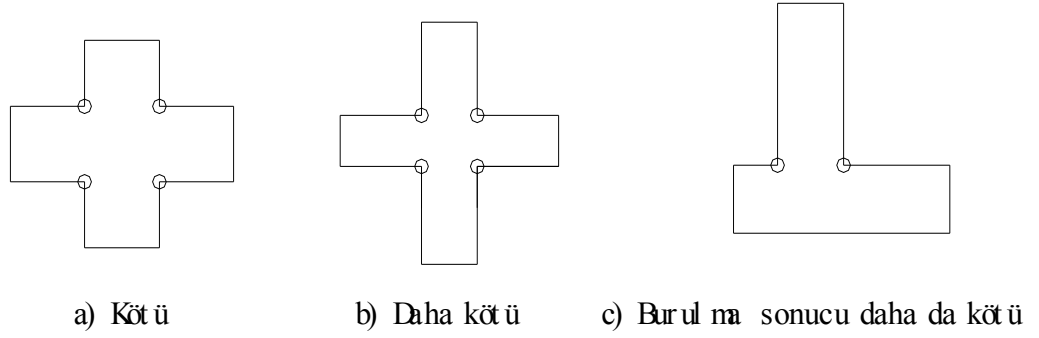
Şekil 3.2 Burulma düzensizliği sonucu ağır hasar görmüş bina

Planda simetrik olmayan yapılar genelde ‘düzensiz’ olarak kabul edilirler. Şekil 3.3’de a) çok eksenli simetri, b) tek eksenli simetri c) simetri olmayan durumlar gösterilmiştir. (b) ve (c) burulmaya neden olacağından düzensiz yapılardır.



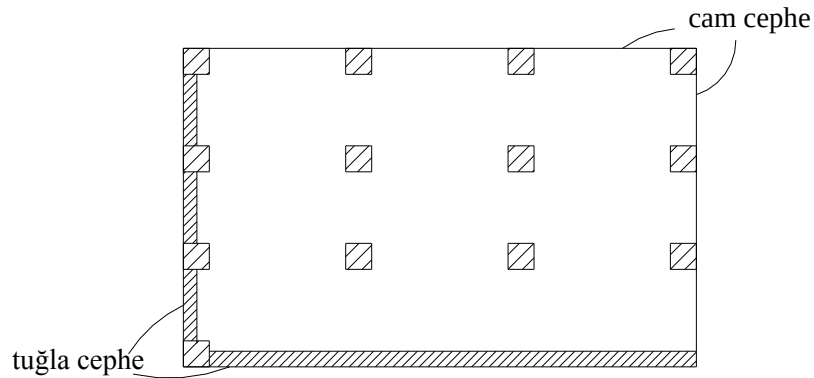
Şekil 3.3 Planda düzensiz yapılar

Planda simetrik olan yapılar da yeni yönetmeliğe göre düzensiz olabilirler. Şekil 3.4. (b) ve (c)'de gösterilen binalar planları simetrik olmasına karşın 'düzensiz'dirler. Depremde plandaki çıkıntılar binanın tümünden ayrı hareket ederek daire içine alınan köşelerde gerilme yığılmalarına, dolayısıyla hasara neden olacaktır. Çıkıntı boyunun bina boyuna oranı azaldıkça bu etki de doğal olarak azalacaktır [19].



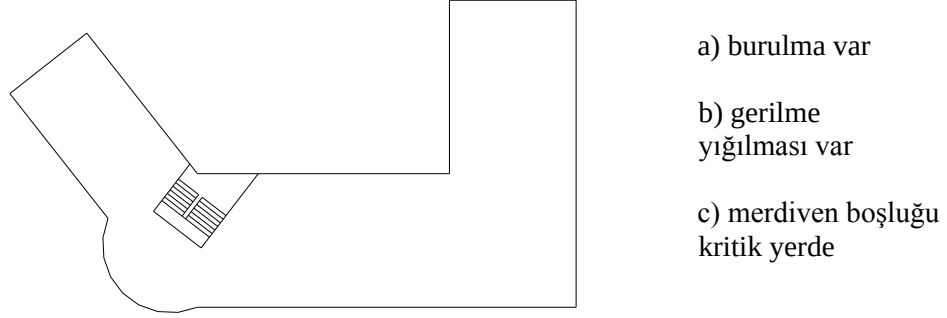
Şekil 3.4 Planda düzensizlikler

Mühendis ve mimarların genelde yaptıkları hesaplarda taşıyıcı olmayan elemanların etkisini ihmal ettikleri görülmektedir. Halbuki dolgu duvar gibi taşıyıcı olmayan yapı elemanları çerçeve ile birlikte çalışarak rijitliği büyük ölçüde artırır. Şekil 3.5'deki bina planı ve taşıyıcı sistemi açısından simetrik olmasına karşın, bina cephesinde tuğla ve cam gibi iki ayrı malzemenin kullanılması nedeniyle simetri bozulmuş ve büyük bir burulma momenti oluşmuştur. Dolgu duvarların etkisini ihmal eden mühendis bunun farkında olmayabilir. Bu nedenle cephe düzenlenmesi yapılırken mimarın bu hususlara çok dikkat etmesi gerekmektedir [19].



Şekil 3.5. Taşıyıcı olmayan elemanlar nedeniyle asimetrik yapı

M mari tasarımı sırasında girintilerde gerilme yığılması olacağı bilinmeli ve bu noktaları daha da zayıflatacak m mari düzenlemelerden kaçınılmalıdır. Şekil 3.6 'da bu kritik noktada düzenlenen bir merdiven boşluğu soruna adeta davetiye çıkarılmaktadır. Deprem bilinci ne sahip bir m m ar bu tür hataları asla yapmamalıdır [19].



Şekil 3.6 Handa düzensiz yapı örneği

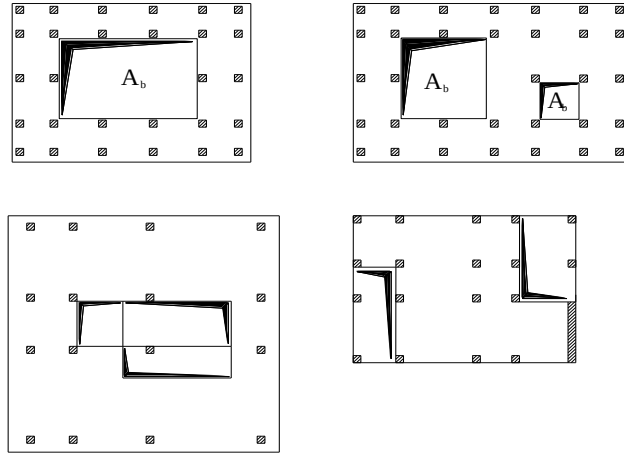
Burulmaya maruz binaların maliyetleri, aynı plan boyutlarında fakat burulmaya maruz olmayan sismik rijitlikli binalara kıyasla çok fazladır. M m arların bu konuya özen göstermeleri ve önlemleri gerekmektedir [5].

3.1.2 Diyafram ve Döşeme Boşlukları Düzensizliği

Herhangi bir kattaki döşemde merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının brüt alanın 1/3'ünden fazla olması durumunda veya deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumunda döşeme süreksizliği oluşur ve buna 'döşeme boşluğu düzensizliği' denir (Şekil 3.7).

Binaya gelen kuvvetleri, düşey elemanlara ileten yatay dayanımelemanlara diyafram denilmektedir. Diyafram olarak nitelendirilen kat ve çatı döşemelerinin yük altındaki davranışı yatay bir kirişe benzetilmektedir. Diyafram düzensizlikleri diğer bina elemanlarındaki düzensizlikler gibi, çekme ve gerilme birikimine neden olmaktadır. Boşluğun büyüklüğü ve konumu diyaframın etkinliği için önemli olmaktadır. Bunun sebebinin anlaşılması için diyaframın bir kiriş gibi davrandığının göz önüne alınması gerekmektedir. Kiriş açıklığının artması kirişin yük taşıyıcılığını önemli derecede azaltmaktadır.

Diyaframlar, dayanım sisteminin bir kısmını oluşturduğundan rijit ya da esnek bir şekilde davranabilmektedirler. Bu diyaframın boyutuna ve malzemeye bağlıdır. Betonarme çerçeveli yapıların yerinde dökme kiriş ve plaktan oluşan döşemelerinin en/boy oranları çok küçük değilse rijit bir diyaframdır. Döşemede çok miktarda boşluk varsa ve en/boy oranı küçük olan bir döşeme ise rijit diyafram gibi davranmamaktadır. Bu boşluklar nedeniyle depremyüklerini düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesi güçleşmekte veya ani rijitlik azalması olabilmektedir.

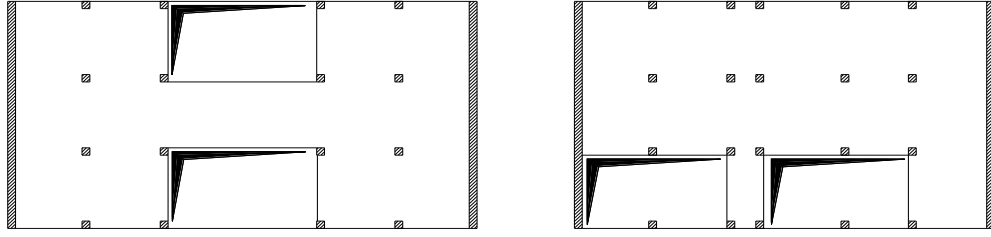


$$A_b / A \geq 1/3$$

Şekil 3.7. Döşeme boşluğundan kaynaklanan düzensizlik örnekleri

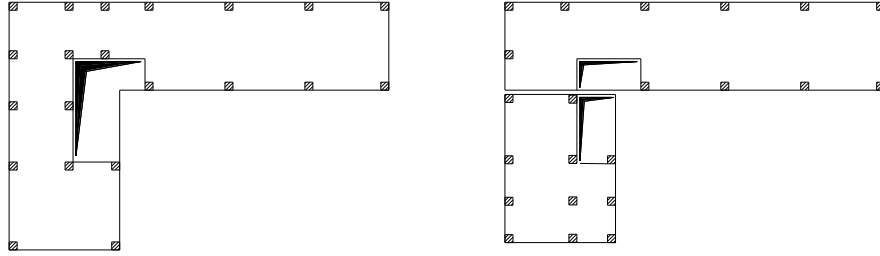
Diyaframların döşeme boşlukları düzensizliğine yol açmaması için, bir kat döşemesindeki boşluk alanlarının toplamının o kat döşemesinin brüt alanının 1/3 'ünden fazla olmayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Diyaframlar kat ve çatı döşemeleri oldukları için sistem kollarının yanında önemli mihari fonksiyona da sahiptirler. Merdivenler, asansörler ve hava kanalları gibi gereksinimler çok çeşitli diyafram boşlukları oluşturmaktadır. Mihari tasarımı sırasında boşluk yeri uygun olmayan yapıların oluşmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir (Şekil 3.8). Diyaframlar içindeki boşluk tasarımı da,

- Boşlukların diyaframın duvar veya çerçeve bağlantılarıyla çakışmamasına dikkat edilmelidir.
- Çok sayıda oluşturulacak olan boşlukların birbirinden yeterince uzağa yerleştirilmesi ve gerekli kapasiteyi sağlaması için güçlendirilmesi gerekmektedir [23].



Şekil 3.8. Boşluk yerleri uygun olmayan yapı örnekleri

Döşeme boşluğu düzensizliğinin olumsuz etkilerini azaltmak için eleman boyutlarının ve donatılarının artırılması gerekmektedir. Bu durum ise yapıda yük ve maliyet artışına sebep olmaktadır.

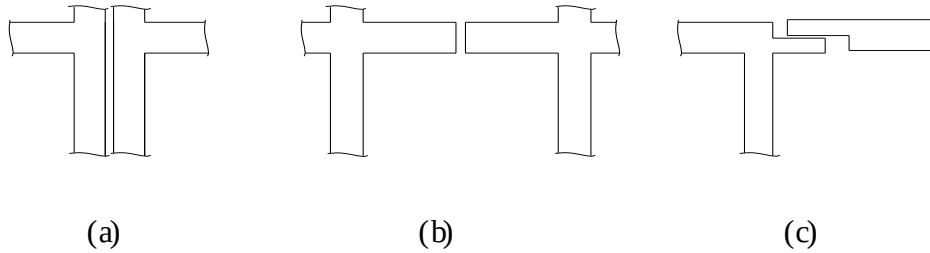


Boşluk yeri uygun değil

Boşluk yeri daha uygun

Şekil 3.9. Döşemde derz bırakılması

Döşeme boşluğu düzensizliğini ortadan kaldırmak için gerekli bölgelerde derz bırakmak yeterli olabilmektedir (Şekil 3.9). M marlar genelde derzden pek hoşlanmazlar. Ancak m marların derz denince akıllarına gelen Şekil 3.10'da gösterilen tür derzdır. Çift kolon, genelde m mar için pek arzu edilen bir çözüm değildir. Halbuki deprem derzleri Şekil 3.10(b) ve (c)'de gösterildiği gibi çift kolona gerek duyulmadan da oluşturulabilir [19].



(a)

(b)

(c)

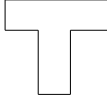
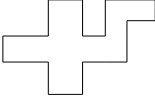
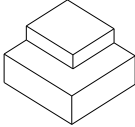
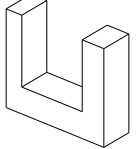
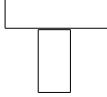
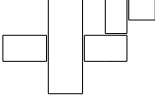
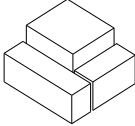
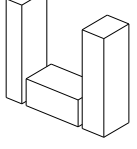
Şekil 3.10. Derz düzenleri

Derz aralığı depremde derzle ayrılan bölümlerin birbirine vurmasını önleyecek genişlikte olmalıdır. Derz, yüksek katlı binalarda sorun olabilir, çünkü yükseklik arttıkça çekiçlemeyi önleyecek derz aralığı da artmalıdır.

3.1.3 Plan Geometrisi Düzensizliği

Bir kat planındaki girinti veya çıkıntının birbirine dik iki yönündeki boyutlarının her biri, o yöndeki brüt plan boyutunun %20'sini geçerse, sistemde 'plan geometrisi düzensizliği' vardır, denir.

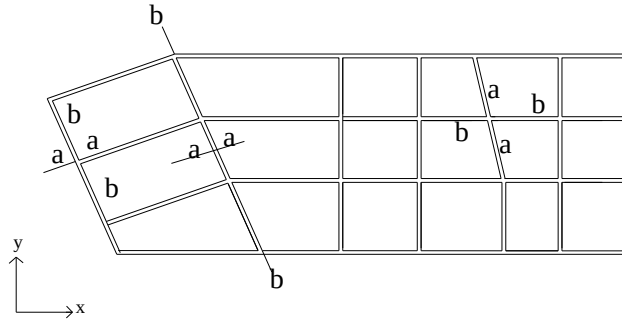
Depremaçısından en uygun yapı plan biçimi, basit ve simetrik oldukları için kare ve dairedir. Dairesel yapı planı ideal olmakla birlikte uygulamada ve mimari kullanıma açısından güçlükler çıkardığı için uygun olmamakta, fazla uzun olmama koşulu ile dikdörtgen yapı, basitlik ve simetri bakımından daha uygun olmaktadır. Plan geometrisi T, L, U ve bunların değişik şekillerde düzenlenmesiyle oluşturulmuş olan binalar yapı kanatlarının bulunduğu bölümlerde burulma, gerilme etkileri gibi olumsuz etkilere maruz kaldıkları için genel olarak düzensiz bina biçimleri olarak adlandırılmaktadırlar [23]. Şekil 3.11'de planda düzensizliği önleme yolları gösterilmiştir.

					
T form	L form	U form	Karmaşık form	Kademeli plan	Çoklu kademe
					

Şekil 3.11. Planda düzensizliği önleme yolları

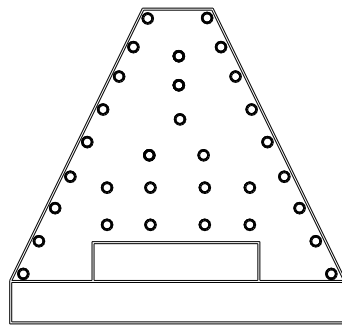
3.1.4 Ortogonal Olma Düzensizliği

Kat planlarındaki düşey taşıyıcı elemanların a-a ve b-b ile gösterilen asal eksenleri birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularına göre eğik yerleştirilmişse bu sistemde yönetmeliğe göre ‘ortogonal olma düzensizliği’ vardır, denir. (Şekil 3.12). Eğik konumda olan kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanların asal eksenleri boyunca meydana gelen iç kuvvetler, depremin her iki yönden etkietmesi sebebiyle istenmeyen şekilde artmakta, artan bu kuvvetler yapıyı olumsuz etkilemektedir [5].



Şekil 3.12 Ortogonal olma düzensizliği

Yatay yük taşıyan elemanların Şekil 3.13’de gösterilen plandaki gibi ana ortogonal eksenlere paralel veya simetrik olmadığı durumlarda kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışması sebebiyle binada burulma ortaya çıkmaktadır.



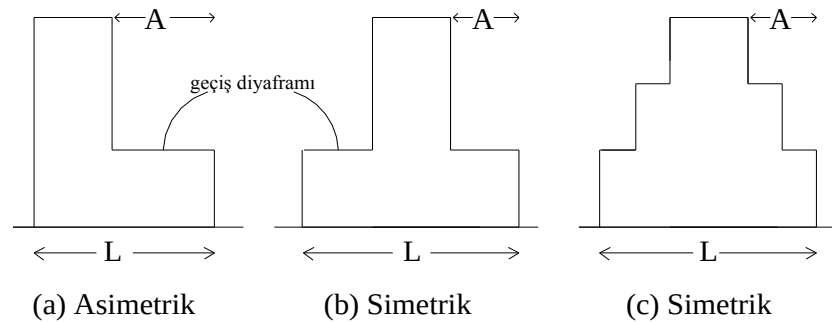
Şekil 3.13. Ortogonal olmayan bina örneği

3.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlikler

1998 tarihli ‘ Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ uyarınca düşey doğrultuda düzensizlikler düşey elemanların süreksizliği, kat rijitliklerinde farklılıklar, katlar arası dayanım düzensizliği, düşey taşıyıcılardaki düzensizlikler olarak tanımlanmıştır. Depreme dayanıklı bina tasarımı plan geometrisinde olduğu gibi yükseklik geometrisinde de basitlik, simetri ve süreklilik istenen özelliklerdir. Kolon, perde ve dolgu duvarları gibi rijitliklerin yükseklik boyunca süreksiz yapılmaları sonucu depremlerde önemli hasarlar ve göçmeler meydana gelebilmektedir.

3.2.1. Düşey Eksen Boyunca Düzensizlik

Bazı durumlarda bina yüksekliği boyunca bina geometrisi aynen devam ettirilmeyip çeşitli şekillerde değişmektedir. Üst katların ıstık ve hava elde etmek amacıyla kademelendirilmesi, program gereksinimleri sonucu kat alanlarının değişmesi veya binanın formu ile ilgili estetik gereksinimler düşey eksen boyunca düzensizliklere yol açabilmektedir. Bunun sonucunda bina yüksekliği boyunca tek veya birkaç noktada plan alanı değiştiği durumlarda bina ‘düzensiz sınıfa girebilir. Kat alanındaki büyük değişme, değişimin olduğu kata büyük zorlamalar getirir (Şekil 3.14) [19].



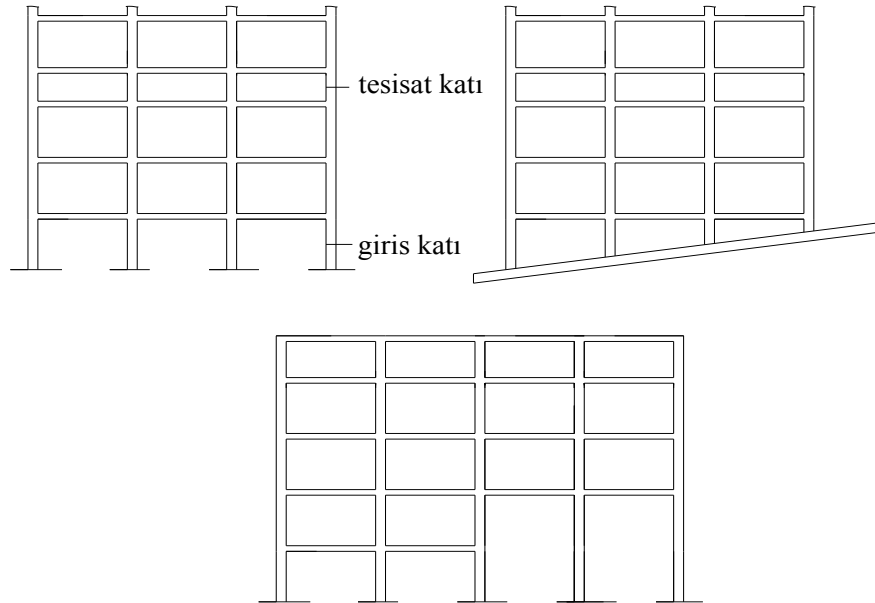
Şekil 3.14. Düşey eksen boyunca düzensizlik halleri

Örneğin Şekil 3.14(a) ve (b)’de gösterilen yapılarda kat alanı ani den değiştiğinden bu kattaki döşeme ‘geçiş diyaframı’ olarak görev yapmak zorundadır. Bu durum basit

olarak şöyle açıklanabilir; normal binalarda her kat döşemesi o kata gelen yatay kuvvetleri aktarırken, Şekil 3.14(a) ve (b)'deki geçiş diyaframı, o katın üstündeki tüm katlardaki yatay yükleri toplamı aktarmak zorundadır [5, 23]. Bu durum statik çözümü zorlar ve geçiş katındaki taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların boyutunu aşırı büyütebilir.

Bazı tasarımcılar kat yüksekliği arttıkça kat alanını arttırıcı mimari düzenlemelere giderler. Bu tür bir düzenleme deprem açısından çok sakıncalıdır, çünkü kütle merkezi yukarı kaymaktadır. Doğal olarak kat boyutundaki değişimin az olduğu durumlarda değişimi minimal edilerek yapının düzenli olduğu varsayımı yapılabilir.

Bina katlarının yüksekliklerinin, bina yüksekliği boyunca birbirine eşit ve uniform olması depremgüvencesi bakımından tercih nedeni dir. Tesisat katında ve genellikle giriş katında, kat yüksekliklerinin diğer katlara nazaran farklı olabileceği Şekil 3.15' de gösterilmiştir.

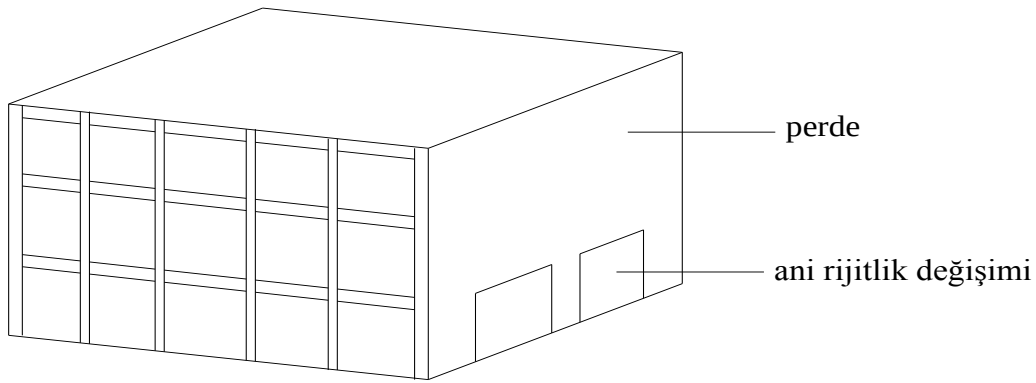


Şekil 3.15. Kat yüksekliği düzensizlikleri

Teknik ve mimari nedenlerle bu farklılıktan kaçınılmaz ise binanın deprem hasarları dinamik analiz yapılarak, titiz bir şekilde ele alınmalı ve farklı yükseklikteki kat kolonlarının boyutlandırılmasına özen gösterilmelidir [5].

3.2.2 Düşey Taşıyıcılarda Süreksizlik

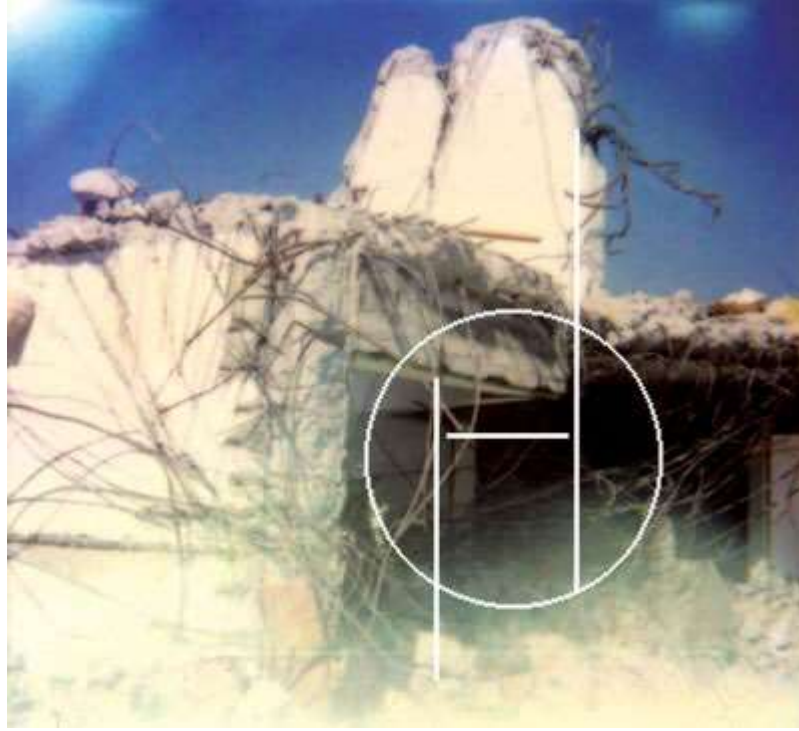
Düşey taşıyıcılarda süreksizlik genelde perdelerde görülür. Mimarın önerisi ve ısrarı ile davranışı iyi bilmeyen bir mühendis belirli bir katta perdeyi kesebilir veya binanın yüksekliği boyunca perdeleri şaşırtarak yerleştirebilir. Düşey taşıyıcı elemanlarındaki bu süreksizlik deprem davranışını son derece olumsuz etkiler.



Şekil 3.16. Perdelerin zemin katta kolona dönüştürülmesi

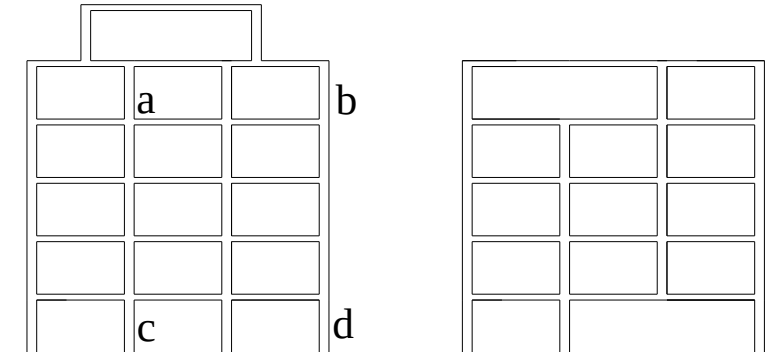
Perdelerin yanal ötelenme rijitliklerinde ani değişimlerinden kaçınılmalıdır. Perde altında boşlukların açılması perde dayanımını çok azaltır (Şekil 3.16). Yapının yanal ötelenmesini artırır. Perdenin yanal ötelenmelerinin küçük boyutta olmasını sağlamak ve deprem kuvvetlerini temele iletmek görevinde olumsuzluklar ortaya çıkar.

Şekil 3.17’de depremden önce iş merkezi olarak kullanılan yapının depremden tamamen yıkılmış olmasının en önemli nedeni zemin katın üzerindeki katta devam eden perde kolonunun zemin katta devam etmemesidir. Kesitlerin çok fazla olması nedeniyle düşey taşıyıcıdaki bu düzensizlik sonucu binanın yıkılmasının önüne geçilememiştir.



Şekil 3.17. Düşey taşıyıcıda düzensizlik örneği

Şekil 3.18’de gösterilen sürekli olmaayan çatı kolonu, (a) ve (b) kirişlerinde deprem düşey ivmesi altında büyük kesme kuvveti oluşturur. Kirişte kesme kırılması meydana gelir, (c) ve (d) kirişlerinde açıklık ortasında büyük sehim oluşur ve kiriş ortasında depremetkisinde plastik mafsall oluşumu ile kolonlarda iç kuvvet dağılımı değişir. Yapının depreme karşı davranışı bozulur. Şekil 3.19’da da düşeyde düzensiz yapı örneği gösterilmiştir. Depremetkisi altında yapının ayakta kalması oldukça zordur.

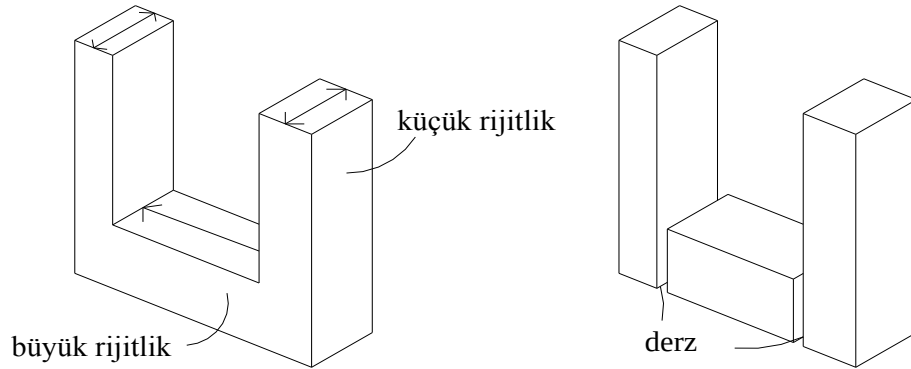


Şekil 3.18. Sürekli olmaayan düşey taşıyıcı sistem

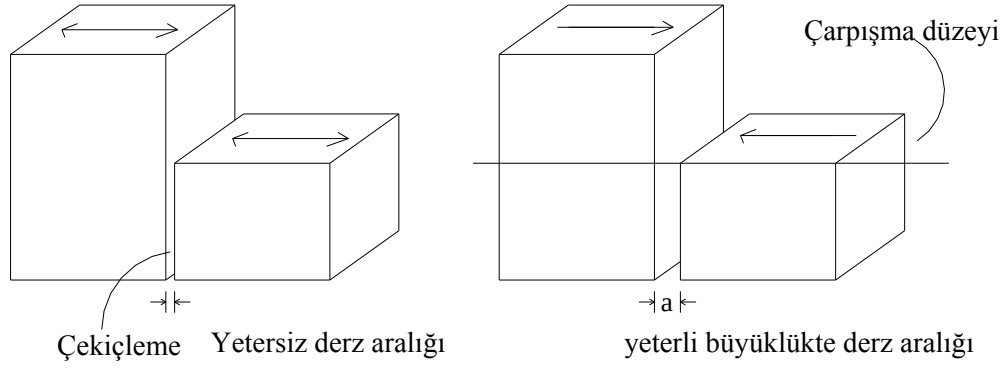


Şekil 3. 19. Düşeyde düzensiz bina örneği

Yapılar farklı yüksekliklerde bloklardan oluşuyorsa, kütle düzensizliğine sebep olurlar. Yapının iki doğrultuda deprem kuvvetlerine karşı rijitliklerinin farklı olmasına sebebiyet vermek için yapı bloklarını birbirinden yeterli derz ile ayırmak gerekir (Şekil 3.20) [2]. Bununla birlikte derz aralığının çekiçleme etkisini de göz ardı etmeden yeterli genişlikte bırakılması şarttır (Şekil 3.21).



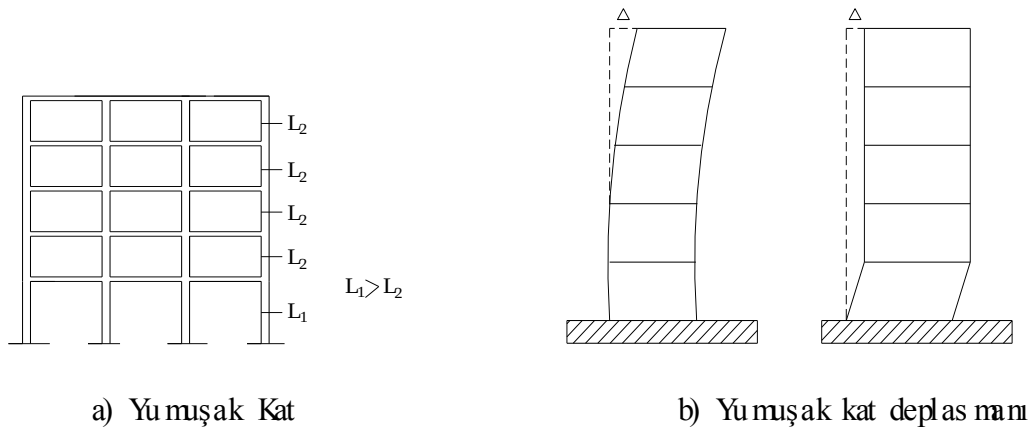
Şekil 3.20. Farklı yükseklikte yapı blokları



Şekil 3.21. Bloklaşma örneği

3.2.3. Yuşak Kat Sorunu

Betonarme binaların deprem sırasında yıkılmasında en önemli mihveri tasarım hatalarından birisi de binaların bazı katlarında çoğunlukla da zemin katında yuşak kat oluşmasıdır. Bir katın yanal rijitliği hemen üzerindeki katın yanal rijitliğinin %70'inden veya üstte bulunan üç katın rijitlikleri toplamının %40'ından az ise bu kat yuşak kat olarak kabul edilir. Yuşak katın en büyük olumsuzluğu kolon mafsallaşması nedeni ile sünekliğin sınırlı kalması ve hasar sonrası onarımın güçlüğüdür ve tüm enerji tüketiminin tek katta yoğunlaşmasıdır (Şekil 3.22). Depremlerde ikinci mertebe etkilerinin önemli boyutlara vardığı bu tür yuşak katların bulunduğu binalar ya ağır hasar almış ya da birçok tipik biçimde göçmüş durumdadır (Şekil 3.23-3.24).



Şekil 3.22. Yuşak kat sorunu

Yumuşak kat sorununun çözümüne yönelik ek önlem alınması, zemin kat döşemelerinin binanın yanal rijitliğine fazlaca katkısı olmayan dışli döşeme olarak düzenlenmesi ve kolon boyutlarının üst kat kolonlarla aynı mertebelerde düzenlenmesi mevcut durumu daha da kötüleştirir [1].

Çoğu binanın giriş katında ve nadiren ara katlardan birinde satış mağazası, restoran, tesisat, hava boşluğu ve benzeri amaçlarla bölme ve/veya dolgu duvarları tamamen veya kısmen örülmemektedir. Bölme duvarlarının kaldırılması ve kat yüksekliğinin fazla olması zemin katlarda rijitliğin birdenbire azalması ve betonarme elemanlarda elastik olmayan davranışın zemin kat kolonlarının üst noktasında yoğunlaşmasına neden olur. Üst katlara nazaran yatay ötelenmelerin çok büyük olduğu zemin katlar genellikle depremde ağır hasara neden olmuşlardır (Şekil 3.24). Bu nedenle ‘yumuşak kat’ yerine ‘tehlike katı’ terimi de kullanılabilir.



Şekil 3.23. Yumuşak kat sorunu - İzmit

Yumuşak katın deplasmanı yaklaşık olarak binanın tüm deplasmanına eşittir. Bir kat üzerinde yoğunlaşan bu aşırı ötelenme nedeni ile yumuşak katın kolonları ağır hasara uğrar ve çoğu zaman binanın tümünün göçmesine neden olur. Ancak yumuşak kat oluşumunun önlenemediği hallerde, yani giriş katlarında dolgu duvarı örülüyerek alışveriş merkezi veya restoran yapılmasının zorunluğu olduğu hallerde özel hesaplamalar ve özel boyutlandırma tekniklerinin yanı sıra özel düzenlemelerle, yumuşak katın tehlikesiz hale getirilmesi sağlanabilir. Kat arası deplasmanın, binanın tümünün yatay deplasmanına eşit olacağı ve özellikle deprem enerjisinin tümünün sadece yumuşak katta yutulacağı göz önüne alınarak yumuşak kattaki kolon ve perdelerin rijitlikleri, bu olağanüstü kat arası deplasmanı karşılayabilecek şekilde önemli ölçüde artırılmalıdır [5].

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik gereği yumuşak kat oluşumunu engellemek için düşey doğrultudaki düzensizlik, komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği olarak tanımlanmıştır.

Rijitlik düzensizliği, (her iki doğrultu için) bir kattaki ortalama göreceli kat ötelenmesinin bir üst kattaki ortalama göreceli kat ötelenmesine oranının 1.5'tan fazla olması durumu olarak kabul edilmiştir [3]. Yumuşak kat oluşum nedenleri şu şekilde sıralanabilir;

- Zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla yapılması kat rijitliğini azaltır, yanıl deplasmanı artırır.
- Üst katlarda giriş kolon boyutlarının büyük olması nedeni ile üst katların rijitliği (alt kata nazaran) artar.
- Üst katlardaki perde duvarların zemin katta devam etmesi halinde kesme kuvvetlerini kolonlarda karşılamak güçleşir.
- Üst katlarda kolon ve girişlerin arasını dolduran, statik hesaplarda taşıyıcı olarak dikkate alınmayan dolgu duvarlar üst katların rijitliğinin artmasına sebep olmaktadır.

Dolgu duvarların deprem hasarlarında dikkate alınmaması sebebiyle momentlerde %135, kesme kuvvetlerinde ise %90 artış olduğu yapılan araştırmalarda görülmüştür [2].



Şekil 3.24. Yuşak kat sorunu - İzmit

Mari tasarımı sebebiyle diğer katlara nispeten daha yüksek bir zemin kat isteniyor ise yuşak kat oluşumunu önlemek için

- Kolonları uygun bir rijitliğe getirecek desteklerin kullanılması,
- İlk katta rijitliği arttıracak kolonların perdeleri eklenmesi,
- Rijitliği arttırmak için ilk kattaki kolonların tasarımının değiştirilmesi,

seçeneklerinden birisi uygulanmalıdır. Eğer yuşak bir kat oluşturulacak konuda geniş bir opak duvar gerekiyorsa,

- Bu tip bir duvarın yanal dayanım sisteminin bir parçası olması ve sağlanması,
- Hafif malzemeler ve boşluklu konstrüksiyon ile duvarın ağırlığının azaltılması,
- Eğer ağır bir duvar gerekiyorsa; duvarın üst yapının ilk katıyla kıyaslanacak bir şekilde ayrılması sağlanması

gerekmektedir [23].



Şekil 3.25. Yuşak kat sorunu - Adapazarı

Şekil 3.25 ve 3.26’da zemin katların mağaza olarak kullanılması sonucu bölme duvarların azlığı nedeniyle yuşak kat oluşmuş, deprem etkisiyle bina ağır hasar görmüştür.



Şekil 3.26. Yuşak kat sorunu- Yalova

Ze n n katlarında sıkça rastlanan yumuşak kat oluşumuna bazı binaların üst katlarında da rastlanmıştır. B naların deprem güvenli ğ ni doğrudan etkileyen bu ol unsuzlu ğ un yalnızca büyük şehirlerde de ğ il, di ğ er küçük yerleş i mböl gel erinde de yaygı nlı ğ ı dikkat çekici dir [1].



Ş ekil 3.27. A ra kat ın göç mesi durumu

A ra katların göç mesi şeklinde olan hasarlara ait örnekler Ş ekil 3.27 ve 3.28’de net bir şekilde görülmektedir. Bu tür hasarların nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

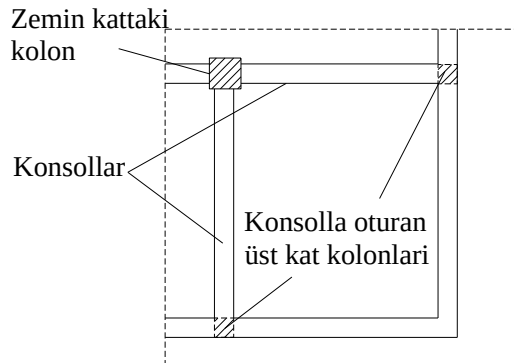
- A ra katta kol on kesitlerinde ani boyut küçült mesi yapılması,
- M mari projede de ğ iş i klik yapılarak o katta böl me duvarlarının di ğ er katlara göre çok azaltılması ve bunun sonucunda da yumuşak kat meydana gel mesi,
- Alt katlarda kol onlar arasında yapılan kirişlerin bazıları o katta iptal edilmesi,
- O katta kol on filizlerinin kısa yapılması,
- Alt katın betonu dökülürken filizlerde daraltma yapmadan o katta filizlerinin aşırı büyütülerek kesitin küçültülmesi,
- Kattaki kol on betonunda ek yerinin pürüzü bırakılması ve kol on di bi ndeki inşaat artıklarını temizlenmeden betonun dökülmesi.



Şekil 3.28. Ara katın göçmesi durumu

3.3 Konsol Ucunda Kolon

Büyük şehirlerimizde, özellikle İstanbul’da ‘konsol ucunda kolonlu’ binalar gibi düşeyde düzensizlik içeren betonarme bina sayısındaki artış büyük boyutlara ulaşmıştır. Bu artış yalnızca belirli sınırlarda değil, İstanbul’un hemen her yerinde olmuştur. 1998 tarihli ‘Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ bu tür yapıların yapımına izin vermemektedir (B3 türü düzensizlik). İmar yönetmeliklerinde yapılmaya izin verilen 1.5 m’lik çıkmaı, kullanı alanına katma çabası, zemin kat üzerindeki kolonların konsol ucuna oturtulması ile sonuçlanmaktadır (Şekil 3.29-3.30).



Şekil 3.29. Konsol ucunda kolon uygulaması



Şekil 3.30. Yapı m sür nekte olan konsol ucunda kol onlu bi na

Konsol ucunda kol onlu yapılara yal nızca az katlı bi nalar da de ğil, za man za man 10-12 kata kadar varan yapılarda da rastlan ması düşündürücüdür. Konsollar taşı yıcı sistemin izostatik ele manlarıdır; iç kuvvetlerin olası yeni den da ğılı mna kat kıları bul unma maktadır; üzerlerine et ki yen ağır kol on yükleri nedeni yle enkesit boyutları, altındaki kol ondan ço ğu za man büyük ol ma ta ve ona göre donatıl ma tadırlar. Bu durum konsol un altındaki kol ondan daha güç lü ol ması duru munu da doğ urma tadır. Bu, depre ne dayanıklı yapı tasarı m il keleri yönünden bir ol um suzlu kt ur. Bekl endi ği üzere, konsol ucunda kol onlu bet onar ne bi nalar az katlı dahi olsa 17 Ağ ust os 1999 M ar mara Depre ni'nde ağır hasar gör müşler dir (Şekil 3.31-3.32). Düş eyde düzensizlik kapa m ndaki bu uygul a ma 1997 yönet meli ği ile kal dırıl mıştır [16].



Şekil 3.31. Konsol ucunda kol onlu bi nada kay na çat la ğı

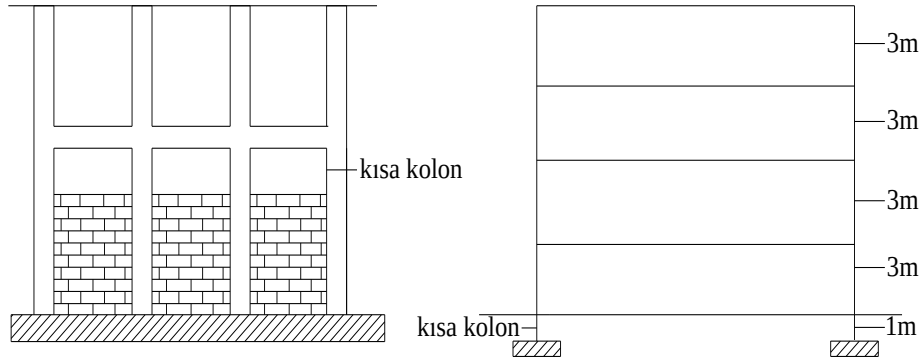


Şekil 3.32. Konsol ucunda kol onlu bi na

3.4 Kısa Kolon Sorunu

Bir katın kolonları arasındaki dolgu duvarları kat yüksekliği boyunca tam örülmediği belli bir yüksekliğe kadar örüldüğünde ya da tesisat, havalandırma, ısıtma vb. nedenlerle bir katın diğerine göre daha az yükseklikte tasarlanması ile yapıda kısa kolonlar oluşmaktadır.

Zemine kısmen gömülmiş bodrum katları ve ıslak hacimlerde oluşturulan yatay bant pencereler, bina cephelerinde kolondan kolona yapılan rijit parapetli pencere düzenlemeleri ile merdiven sahanlıklarını taşımak için bina taşıyıcı sistemine eklenen ara kiriş ya da perdecikler ve farklı kotlardaki döşemeler kısa kolon oluşumlarına yol açmaktadır (Şekil 3.33), [1].

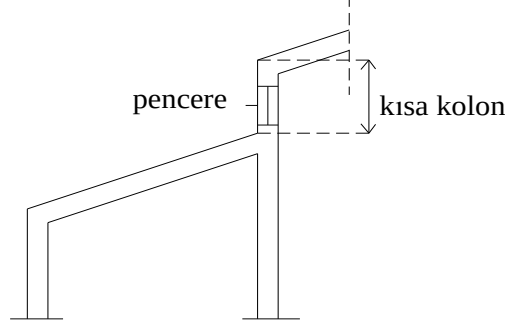


Şekil 3.33. Kısa kolon oluşma durumu



Şekil 3.34. Bant pencere nedeniyle kısa kolon hasarı - Düzce Lisesi

Öe yandan özellikle sanayi sitelerinde çok kullanılan taşıyıcı sistem düzenlemelerinde yine ışıkal nak i çin bırakılan pencere boşlukları nedeniyle de kısa kolon oluşmaktadır (Şekil 3.34). Bunun gibi trafo vb. binaların üstünde bırakılan pencere boşlukları ve ara kat yapılmaması durumlarında da kolonların bölünmesi kısa kolon oluşmasına yol açmaktadır (Şekil 3.35), [13].



Şekil 3.35. Pencere boşluğu sonucu oluşan kısa kolon

Yatay yük etkisiyle kısa kolonlara gelen kesme kuvvetleri, depremde normal yükseklikteki kolonlara gelen kuvvetten çok daha fazladır. Örneğin, kısa kolonun boyu normal kat yüksekliğinin yarısı kadar ise kısa kolona gelen kesme kuvveti normal yükseklikteki katta aynı kolona gelen kesme kuvvetinin 8 katıdır [23]. Deprem yükü karşısında böylesi kolonlar yeterli dayanım sağlayamamakta ve binada ağır hasara yol açmaktadır (Şekil 3.36-3.37).



Şekil 3.36. Pencere boşluğu sonucu oluşan kısa kolon

Kol onlarda çeşitli etkenler nedeni ile kol on boyunun kısa olması ihtimali karşısında,

- Kol ona yeterli kesme donatısı konulmalı,
- Çerçeve ile dolgu duvarlar arasında derz bırakılmalı,
- Çerçeve ile pencere kenarı arasında yaklaşık 0,4 - 0,5 m'lik bölüm dolgu olarak örülmeli, daha da emniyetlisi bu kısımlarda kol onlar 0,4- 0,5 m perdelerle bütünleştirilerek büyütülmelidir.

Dolgu duvarlarının kol on rijitliğini etkilemeyecek biçimde taşıyıcı sistemden ayrı olarak düzenlenmesi en uygun çözümdür. Kısa kol onların kat içinde dağılımı uygun değilse, kütle ve rijitlik merkezleri arasında sapma ve fazladan burulma etkileri ortaya çıkacaktır. Bina'nın deprem kuvvetleri altındaki davranışına etki edecek özellikteki dolgu duvarları, doğal periyoda ve burulma momentine etkileri de düşünülerek kütle ve rijitlik merkezleri bakımından bina'nın planı ve yüksekliğince elden geldiğince etkiler doğurmayacak biçimde düzenlenmelidir. Böylece kısa kol on oluşması önlenebilir:

- Kısa kol ona yol açan perdeler, derzle kol ondan ayrılır. Bu durumda önerilecek bazı yapı güçlükleri ortaya çıkar.
- Pencere boşluğu küçültülerek, kısa kol on perdeye dönüştürülür. Bu durumda rijitlik ve gelen etkiler daha da artar; ancak bu etkilerin perde boyutlarıyla karşılanması, kol ondan daha elverişli ve ekonomiktir [47].



Şekil 3.37. Kısa kol on - Adapazarı

Kısa kolonlar, aşırı kesme kuvvetlerine göre boyutlandırılmak zorundadır, ayrıca sarılma bölgeleri için tamamlanan sık enine donatılar ve yerleştirme koşulları, kısa kolonlarda tüm kat yüksekliği boyunca devam ettirilmelidir. Bu ilave boyutlandırma koşulları nedeni ile kısa kolonlar, binanın maliyetini önemli ölçüde arttıran rol oynarlar [5].



Şekil 3.38 Kısa kolon - Adapazarı

Şekil 3.38’de, perde duvar uygulanmak gerekirken çok küçük bir alanda uygulanan tuğla duvar döşemesi sonucu oluşan kısa kolon sorunu binada onarım olanaksız hasara neden olmuştur. Bu koşullar altında en iyisi kısa kolon oluşumundan kaçınılması olur. Problemin çözüm yollarını dolaylı biçimlerde araştırmak, problemi ortaya çıkarmak daha gerçekçi görünmektedir. Zorunlu duvarlarda duvar ile kolon arasında ezilebilen türden bir malzeme yerleştirilmesi ya da bant pencere durumunda kolona yakın bölümlerin duvarla kapatılması uygun olacaktır. Kısa kolon olan bölgede sık etriyelerin uygulandığı binalarda bile çoğu zaman ağır hasarın görüldüğü durumlarla karşılaşmıştır. Etriye sıklaştırılmasının her zaman yetmediği, betonun kalitesinin de iyi olması gerektiği açıktır. Çelik çerçeve türü yapılarda kısa kolon olan bölgede kolon gövdesine enine takviye elemanları ya da ek gövde levhaları uygulanabilir [1].



Şekil 3.39. Kısa kolon - Adapazarı

Şekil 3.39’da yapının kolon üst sargı bölgesinde kayma hasarı oluşmuştur. Asma kat hi zasında kolonları birbirine bağlayan kiriş, yapıda kısa kolon etkisi yaratarak yapıda onarılmaması güç hasar meydana getirmiştir.

3.5 Donatı da Sorunlar

Yapıda kullanılan donatı için çekme, bükme gibi kalite deneyleri çok seyrek yapılmaktadır. Hurda çelikten küçük atölyelerde üretilen betonarme çeliğinin yetersiz mekanik özelliği, taşıyıcı sistem elemanlarının davranışını olumsuz etkilemektedir; depremlerde bu olumsuzluğun yol açtığı birçok hasara rastlanmıştır [16].

3.5.1. Kolon - Kiriş Birleşim Bölgesi Yetersizliği

Betonarme çerçeve türü binalarda depremkaynaklı hasar en çok zorlanan kolon-kiriş birleşim bölgelerinde olmaktadır. Bu bölgedeki hasar kolon uçlarında, kiriş uçlarında ya da düğüm noktasında kalıcı şekil değiştirmelerin yığılması sonucu olmaktadır (Şekil 3.40). Kiriş ve kolon uçlarında oluşabilecek eğilme çatlaklarının onarılabilmesine karşın, düğüm noktası bölgesinin çözülmesi/dağılması durumunda etkin bir onarım yöntemi bulunmamaktadır.



Şekil 3.40. Ağır hasarlı binada kolon-kiriş birleşim bölgesinde hasar

Diğer taraftan kolon ve kiriş uçlarında oluşan eğik kesme/kayma çatlaklarının onarım olanaklı olmakla birlikte, yapı güvenliğini tehlikeye sokabilecek bir oluşumdur. Kiriş-kolon birleşim bölgesi hasarları ile kolonlarda basınç kırılması, çoğu zaman yapının onarılmasını olanaksız kılan, onarım ya da güçlendirme yapılabilse de etkinliği tartışılan türden hasarlardır. Bu gibi nedenlerle düğüm noktalarında ve kolon uçlarında çatlak oluşumu, dağılma/çözülme istenmez [1].



Şekil 3.41. Kolon hasarı- İzmit



Şekil 3.42. Kolonda kesme hasarı-İzmit

Marmara depremi sonrası yapılan araştırmalar sonucunda ağır hasarlı ve yıkılmış binaların çoğunda, kolonların kiriş altından kesildiği ve kolon uçlarında çatlaklar olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.41). Kolon kesitlerinin yetersizliği, sarılma bölgesinde etriye yetersizliği çatlamasının nedenleri arasındadır. Ayrıca birleşim bölgelerinde hiç etriye bulunmaması, kirişlerin uçlarında özellikle kiriş alt düz donatısında gönye yapılmadan kanca yapılması sonucu yeterli kenetlenme boyunun olmaması nedenleriyle birleşim bölgelerindeki betonun dağıldığı gözlenmiştir (Şekil 3.42).



Şekil 3.43. Kolon - kiriş birleşim bölgesi hasarı

Şekil 3.43'te kolon-kiriş birleşim bölgesinde yetersiz kesit ve donatı sonucu düğüm noktası ağır hasar almış ve bina göçmüştür. Kolon-kiriş ek yerinde etriye konulmamasının ülkemizde çok yaygın oluşu sonucu, özellikle dış aks kolonlarındaki beton paspayı küçük depremlerde bile dökülmektedir. Öte yandan kiriş boyuna donatılarının kolon-kiriş ek yerinde yeteri kadar yapılması sonucu kirişin donatıları sıyrılmakta ve kiriş tam moment kapasitesine ulaşmadan uçlarından kırılıp mafsallı bir konuma gelmektedir.



Şekil 3.44. Kolonda kesme hasarı sonucu ağır hasarlı bina

Kolon ve kirişlerde kesme çatlakları elemanın eksenile yaklaşık 45°'lik açı yaparlar. Kesme çatlaklarının genişliğinin fazla olması kesme donatısının yetersizliğini gösterir. Kesme çatlakları gevrek ve tehlikelidir. Kolon, kiriş taşıyıcı elemanda çatlak genişliğinin 1-2 mm'yi aşmış olması, donatının akmış olduğunu gösterir ve ağır hasarlı olarak sayılır (Şekil 3.44).

3.5.2 Eriş ve Boyuna Donatı Yetersizliği

Betonarme binaların kolon ve kiriş uçlarındaki sarılma bölgesinde eriş donatısı sıkıştırılması genellikle yapılmadığı, kolon-kiriş bölgelerinde kolon etriyelerinin deva ettirilmediği yaşanan depremlerde bir kez daha ortaya çıkmıştır. Çok büyük kesitli kolonlarda &6 gibi ince denebilecek etriyelerin yaygın olarak kullanıldığı, çift ya da çok kollu etriyenin genelde kullanılmadığı görülmüştür [1].

Deprem Yönetmeliği, sargı donatılarının kolon ve kiriş uçlarına yakın bölgelerde sıkıştırılması öngörmektedir. Bir başka deyişle, kolon açıklığı boyunca tipik olarak 20 cm aralıklarla yerleştirilen etriyelerin, depremkuvvetlerinin kolon üzerinde en etkin olduğu uç bölgelerde aralığının yaklaşık olarak 10 cm'ye indirilerek sargı bölgelerinin oluşumu sağlanmalıdır [3].



Şekil 3.45. Yetersiz enine donatı düzeni

Şekil 3.45 ve 3.46’da kolonların üst ve alt bölgelerinde meydana gelen ezilme ve aksenal basınç altında betonun ezilerek donatının akması görülmektedir. Kolonda düşey donatının tek başına yeterli olmadığı ve bu bölgede etriye sıklaştırılması yapılması gerektiği görülmektedir.



Şekil 3.46. Etriye yetersizliği sonucu hasar gören kolon

Enine donatı ile yeterince kuşatılmamış betonarme bir elemanda maksimum birim kısalma, betonun dağılmadan istenen süneklik düzeyine ulaşması için yeterli olmamaktadır. Yeterli miktar ve düzenlenmedeki enine donatı, kesitin kesme kuvveti taşıma gücünü artırması, elemanın çekirdek/orta bölümünde basınç etkisinde kalan betonun dıştan kuşatılmasını sağlaması ve boyuna donatının burkulmasını önlemesi gibi görevleri vardır. Bu değerlendirme kapsamında, betonarme yapılarda deprem hasarlarının en aza indirilmesinde enine donatı miktarı ve düzenlenmesinin önemi açıktır. Şekil 3.47 ve 3.48’de kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklığına ilişkin olarak gerekirken uzun aralık boyunca etriye bulunmaması hasarının başlıca nedenlerinden biridir.



Şekil 3.47. Yetersiz enine donatı



Şekil 3.48. Enine donatı yeterliliği

Kiriş ve kolonların boyuna donatılarında da proje dışı eksik seçimler ve yerleştirilmesinde hatalar göze çarpmaktadır (Şekil 3.49). Kirişlerin mesnet, kolonların filizlerle ek yapılan bölgelerindeki donatı sıklığı, ikinci hatta üçüncü sıra yapılmasını gerektirmektedir. Bu yapılmadığında, donatı aralarına betonun yeterince girmediği çubukların açıkta kaldığı sıkça karşılaşılan bir durumdur. Benzeri olumsuzluk yetersiz paspaylarında da görülmektedir (Şekil 3.50), [16]. Bu sorunun uygun detaylandırma ve donatı seçimi ile giderilebileceği açıktır.



Şekil 3. 49. Boyuna donatı yetersizliği



Şekil 3. 50. Boyuna donatı ve paspayı yetersizliği

Deprem b6lgelerinde yapılan incelemlerde, yapımda kullanılan betonarme 7eli kleri i7in 7ekme, b7kme gibi kalite kontrol deneylerinin yeterince yapılmadığı anlaşılımaktadır. Yapılan incelemlerde ortaya 7ıkan sonu7lar şu şekilde sıralanabilir:

- Sargı donatılarının kolon u7larına yakın b6lgelerde sıklasştırıldığı yapıya rastlanmamıştır.
- Kolon boyuna donatısının genellikle yeterli bi7imde kenetlenmiş olmadığı g6zlenmiştir.
- Kullanılan etriyelerin genellikle yetersiz olduğu g6r6l mektedir.
- Hasara uğramış yapıların hi7birinde kolon-kiriş birleşim b6lgelerinde kullanılması gerekli olan donatıya rastlanmamıştır.
- Kolonlarda hi7 bir sargılamak etkisi bulunmayan 908 kancalı etriyelerin yaygın bi7imde kullanılmış olduğu g6zlenmiştir [10].



şekil 3.51. Enine donatı yetersizliği sonucu oluşan hasar

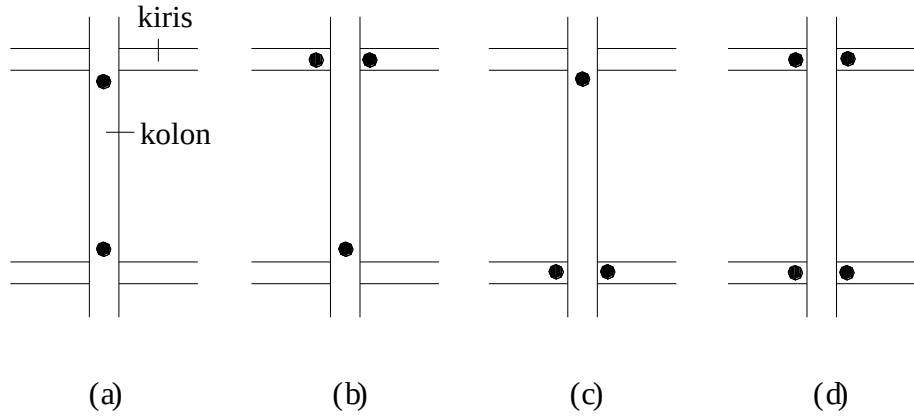
şekil 3.51'deki yapıda, perdenin d6şey donatılarında meydana gelen akma, etriye aralığının fazlalığı, etriyelerin u7larının kolon i7ine doğru 135 ° kıvrılmadan a7ık olarak dışarıda olması ve perde u7 donatılarının etriyelerle 7evrilerek perde u7 b6lgesi oluştırulması sebebiyle oluşan hasar t6r6 g6r6l mektedir.

3.5.3 Elastik Mafsallaşma

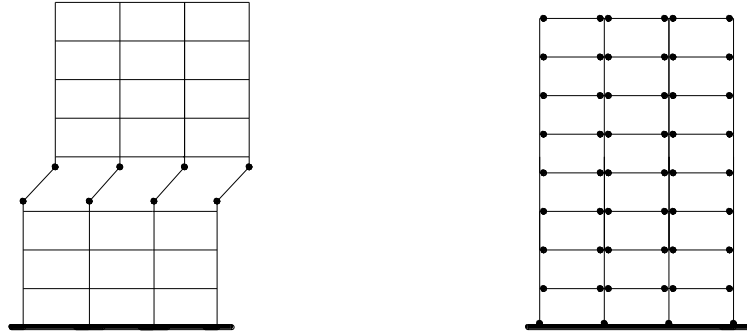
Çerçeve sistemler, göçme konumuna kolon veya kirişlerde yeterli sayıda plastik mafsallın oluşması ile ulaşırlar. Kolon, kirişe oranla daha rahat bir davranış sergilediğinden, iyi bir tasarımda mafsallaşmanın kirişlerde olması istenir. Plastik mafsall, o bölgedeki donatının akma konumuna erişmesi ile büyük dönmelerin meydana gelmesi sonucu oluşur. Gerekli enerji tüketiminin çok büyük bir yüzdesi plastik mafsallarda meydana gelir.

Plastik mafsalların kolon yerine kirişlerde oluşmasını sağlamak için, kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu getirilmiştir. Bu koşulun sağlanabilmesi için mimar ve mühendislerin kolon kesit boyutlarının seçiminde dikkatli davranmaları gerekmektedir [19].

Bir düğüm noktasında birleşen kiriş ve kolonların davranışlarından, yatay yük altındaki çerçevenin göçme biçimi elde edilebilir. Çerçeve sistemde yatay yük altında en çok zorlanan kesitler birleşim bölgesindeki kiriş ve kolon kesitleridir. Yatay yüklerin artmasıyla bu kesitlerde büyük şekil değiştirmeler meydana gelir. Kesit etkilerinde önemli bir artış olmadan şekil değiştirmelerin arttığı bu bölgelerde plastik mafsalların meydana geldiği kabul edilir. Mafsalların çoğalıp yeterli sayıya ulaşmasıyla taşıyıcı sistem göçme mekanizmasına geçer. Sistemin göçme biçimi mafsalların sistemde meydana gelme şekline bağlıdır. Şekil 3.52’de bir katta meydana gelebilecek çeşitli mafsallaşma türleri verilmiştir. Bunların sistemde meydana getirebileceği göçme türleri ise Şekil 3.53’te gösterilmiştir. Büyük bir deprem sonucu mafsallaşmanın öncelikle kirişlerde ortaya çıkması ve deprem enerjisinin bu şekilde yutulması istenir.



Şekil 3.52. Çöçme mekanizması türleri



(a) Kat kolonlarının kirişten önce çöçmesi b) Kirişlerin kolonlardan önce çöçmesi.

Şekil 3.53. Çöçme türleri

Plastik mafsallaşma öncelikle bir katın kolonlarının alt ve üst uçlarında meydana geliyorsa az sayıda plastik mafsall oluşumu ile birbirini takip eden göçmeler büyük can kaybına neden olur. Bu düşünce ile plastik mafsalların öncelikle kolonlarda değil de kirişlerde oluşumuna imkan verecek kuvvetli kolon-zayıf kiriş düzenine özen gösterilmelidir. Bu şartın yerine getirilmesiyle sistemin göçmesi için çok sayıda plastik mafsall oluşumu gerekli olur, böylece çok daha sünek bir davranışla olacağı için büyük ölçüde enerji yutulmasıyla depremetkisinin karşılanması mümkündür. Burada kullanılan kuvvetli ve zayıf eleman kavramları relatif olup zayıf elemanın dahi yönetmeliklerde öngörülen yüklenme şekillerini istenen güvenlikle karşılanması gerektiği açıktır. Şekil 3.54 ve 3.55'te gösterilen kolon başı mafsallaşmalar sonucu bina ağır hasarlı, oturamayacak konuma gelmektedir. Kolonlarda görülen mafsallaşma hasarı, yapının önce kritik kolonlarında olurken, dolgu duvar hasarının

ilerlemesi ile yapının hemen bütün kolonlarında oluşmakta, kritik kolonlarda ise ileri düzeylere ulaşmaktadır.



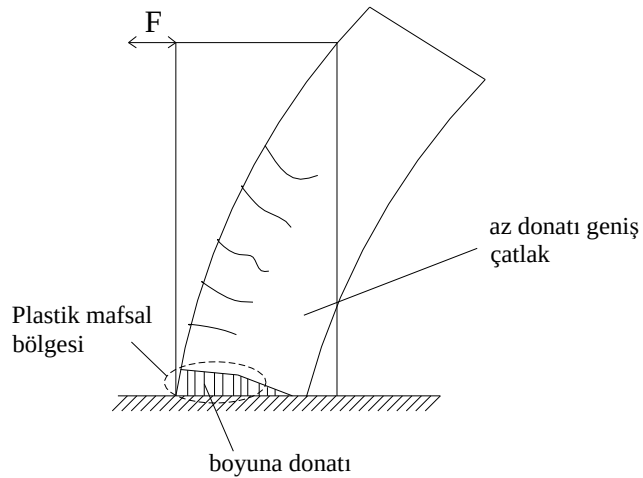
Şekil 3.54. Kolon başı mafsallaşma



Şekil 3.55. Mafsallaşma hasarı

Boşluksuz perde taşıyıcılar, göçme konumuna tabanda oluşan plastik mafsallaşma ile gelir (Şekil 3.56). Bu durumda tüm enerjinin tek bir mafsalda tüketilmesi gerekmektedir [2]. Perde taşıyıcı elemanlarda moment taşıma kapasitesi deprem etkisinde oluşan momentten daha büyük olmalıdır.

Tersinir depremyükü altında perdenin her iki yüzünde eğilme çatlakları meydana gelebilir. Depremi oluşturduğu deformasyonlar altında beton dayanımı artar ve çatlama ile açığa çıkan moment daha da büyük olur. Mevcut donatı bu momenti karşılamalıdır. Çekme donatısı çok az olursa eğilme çatlaklarının genişliği büyük olacaktır. Bu nedenle perdelerde mafsallaşma olması beklenen bölgeni sünük olacak şekilde donatılması gereklidir [2].



Şekil 3.56. Perde elemanında mafsallaşma

3.6 Rijitlik Yetersizliği

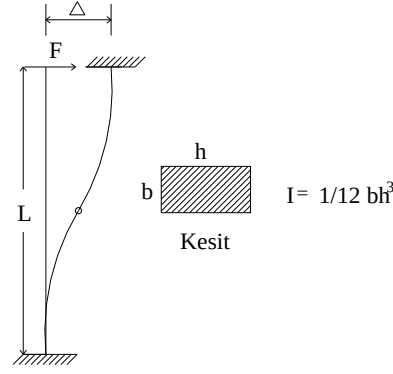
Depremlerde yapılan gözlemler, özellikle 1985 Şili Depremi, taşıyıcı düşey eleman rijitliğinin depremdayanımı için çok önemli olduğunu göstermiştir. Çok şiddetli Şili Depremi'nde hasarın bu denli az olmasının temel nedenlerinden en önemisi, yapılarda çok fazla perde duvar kullanılmasıdır. Yapılan istatistiksel çalışmalar, yapılarda, zemin düzeyinde her bir yönde düşey taşıyıcıların kesit alanının toplamının kat alanına oranının ortalama %6 dolaylarında olduğunu göstermektedir. Depremgeçirmiş bir çok camı üzerinde yapılan bir incelemede bu oranın %20 ile %25 arasında değiştiiğini gözlemiştir. Camı gibi taşıyıcı sistemi taş duvar olan yapılarda bu oranın betonarmeyle oranla bu denli yüksek olması doğaldır [19].

Depremlerden sonra yapılan gözlemler iki gerçeği ortaya çıkarmıştır. Birincisi, ülkeyimizdeki binaların yanal rijitliği yetersizdir, diğeri ise uygulamada sünek çerçeve oluşturulmasıdır.

3.6.1. Yanal Rijitlik Yetersizliği

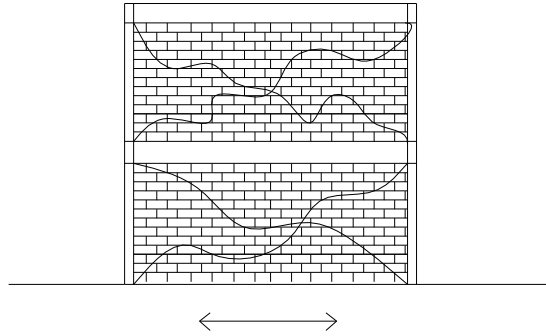
Kuvvetli yer hareketlerinde ikinci nertebe etkilerinin en az indirilmesi ve taşıyıcı olmaayan bölme duvarlarındaki hasarın artması için yapı taşıyıcı sistemin yanal rijitliğinin yeterli düzeyde olması gerekir. Taşıyıcı sistemlerde yanal rijitlik yetersizliği depremda aşırı yatay ötelenmelere yol açmaktadır. Kat planı içinde uygun yerleştiren perde duvarların, sistemin depremdavranışını son derece olumlu etkilediği bilinmektedir [16].

Deprem bölgesinde ağır hasar gören ya da göçen binalar üzerinde yapılan incelemelerde yapıların çoğunda yeterli yatay rijitlik sağlayacak düzenlemelere rastlanmamıştır. Özellikle 4-7 katlı betonarme iskelet/karkas türü binalarda diğerelemler olumsuzlukların yanında taşıyıcı sistemin yanal rijitliğine önemli katkıda bulunabilecek elemanlar bulunmamaktadır. Taşıyıcı olmasada sistemin yanal rijitliğine önemli katkısı olan bölme duvarların kaldırılması olumsuz bir durum yaratmaktadır.



Şekil 3.57. Yanal ötelenme

Şekil 3.57’de gösterilen kolon altta ve üstte ankastre kabul edilmiştir. Bu, üst ve alttaki kat kirişlerinin sonsuz rijitliğe sahip olmaları demektir. Kolondaki yanıl ötelenme kolon boyunun üçüncü kuvveti ile artmakta, eğilme yönündeki atalet momenti ile, yani kesit boyutunun üçüncü kuvveti ile azalmaktadır. Bu durumda kolon boyunu kısaltma, rijitliği aynı etki de artıracaktır [19]. Şekil 3.58’de yanıl rijitliği yetersiz yapının duvarlarında oluşan hasar gösterilmiştir.



Şekil 3.58. Yanıl rijitliği yetersiz çerçevede dolgu duvarı hasarı

Bir çok mühendis ve mimar kirişin çerçeve ve yanıl rijitliğine etkisini göz ardı etmektedir. Halbuki rijitliği düşük olan yatay elemanlar (örneğin yassı kirişli asmol en döşeme veya kirişsiz döşeme) büyük yanıl ötelenmelere neden olmaktadır. Marmara Depremi’nde yatay elemanların rijitliklerinin çok düşük olması nedeniyle (asmol en döşeme, derinliği az yassı kirişler) oluşan ikinci mertebe momentleri kolon uçlarında mafsallaşmaya, dolayısıyla binaların göçmesi ne neden olmuştur.



Şekil 3.59. Yatay ötelenme sonucu çöken bina

Şekil 3.59’da, kolonlarda meydana gelen mafsallaşma sonucu tüm katları üst üste yığılarak çöken bina örneği gösterilmiştir. Asmolen yapılarda yatay ötelenmeler daha fazla olacağı için bu yatay ötelenmeyi karşılamak için her iki yönde perde ve kolonlar yerleştirilmelidir.

Yatay yükün bir düşey elemandan diğerine aktarılması yatay elemanlarca (kiriş+döşeme) sağlanır. Bu durumda döşemeler diyafram görevi üstlendiğinden, yeterli rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdırlar. Döşemelerde oluşturulan büyük boşluklar döşemenin sağlıklı görev yapmasını engeller. 1997 tarihli yönetmelikte, büyük boşluklu döşemelere sahip yapılar düzensiz sınıfa alınmıştır [19].

Hasarların sınırlanması ve yapı güvenliği açısından yanal ötelenmenin çok önemli olduğu açıktır. Yanal ötelenmeyi azaltmak sistemin yanal rijitliğini artırmakla mümkün olur. Bunu sağlamak için düşey elemanların boyutlandırılmasında dikkatli davranılmalı ve mümkün olduğu kadar perde duvar kullanılmalıdır. Yatay deprem yükleri, kolon-kirişlerden oluşan çerçeveler yerine, her iki depremyönünde birbirine dik perde ve kolonlara taşıtılırsa, perde ve kolonların rijitliği sayesinde kat arası deplasmanlar küçülür ve böylece perde kolonların göçme olasılığı azalır. Her iki yönde de kat alanının 1/100’ü oranında yerleştirilen perdeler, yapılarda deprem kuvvetlerine karşı rijitliği artırmakta, deprem anında yapıda büyük şekil değişimlerinin olmasına rağmen yük taşıma dayanımının büyük bir kısmının kaybolmasını ve yapının enerji tüketme kapasitesinin yüksek olmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.60. Döğüm noktalarında ağır hasar gören perde

Şekil 3.60’da, yapının taşıyıcı sistemindeki perde kolonlar tek yönde kullanıldığından zayıf yöne doğru göçme meydana gelmiştir. Perde uç donatıları ve çiroz etriyeler kullanılmamıştır. Bu durumu önlemek için, perde kolonlar her iki yönde eşit yerleştirilmelidir.



Şekil 3.61. Yanal rijitlik yetersizliği

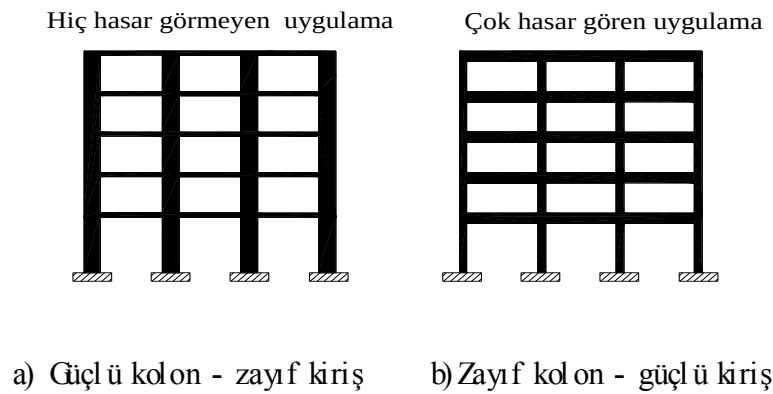
Zemin katı işyeri olarak kullanılan Şekil 3.61’deki yapıda bütün kolonların aynı yönde olması ve deprem perdesinin kullanılmaması sonucu ağır hasar olmuş, zayıf kat kolonlarının göçmesi sonucu yapı 30° açı ile kendi istikametinden dönerek yıkılmıştır.

Döşeme sistemlerinden, yüksekliği az olması nedeniyle sıkça tercih edilen dişli ve kirişsiz döşemeli yapılarda yeterli yanal rijitliği sağlayacak düşey elemanların olması depremden hasarını artırmıştır. Yatay ötelenmede kiriş boyutlarının da önemli olduğu unutulmamalıdır. Kirişsiz döşeme veya yassı kirişli asmol döşeme sistemlerinde kat düzeyindeki yatay elemanların rijitlikleri çok düşük olduğundan, bu gibi sistemlerde tüm yatay yükü alabilecek kapasitede perde duvar yapılmasında yarar vardır. Değişik katlarda değişik döşeme sistemlerinin uygulanmasından kaçınılması önerilir.

3.6.2 Zayıf Kolon - Güçlü Kiriş

Geçmiş depremlerde yıkılan binaların yıkılma nedenlerinin başında, kolonların gereği kadar güçlü olması gelmektedir. Kolonların bu şekilde kırılıp kopmalarını önlemek amacıyla ile deprem yükleri altında plastik mafsallaşmanın kolonların alt veya üst başlarında değil, kiriş mesnetlerinde oluşması için yönetmeliklere özel maddeler konmuştur. Bu husus 1998 yönetmeliğinde aşağıdaki şekilde yer almaktadır:

‘Binaların taşıyıcı sistemlerinde, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasında, göz önüne alınan depremyönünde, birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır’[3]. Buna göre kolonlar öylesine güçlü yapılmalıdır ki, kolon alt veya üst başlarında plastik mafsall oluşmasından çok evvel, mafsallaşmanın kiriş uçlarında oluşması sağlansın, kirişlerdeki mafsallaşma, kirişlerin aşırı derecede esnek olmasından dolayı, göçmeye dönüşmeyeceğinden, binanın göçmesi de önlenmiştir. Güçlü kolon-zayıf kiriş önerisi Şekil 3.62’de gösterilmiştir.



Şekil 3.62 Çerçevesi sistemler için güçlü kolon önerisi

Zayıf kolon-güçlü kiriş düzeninde mafsallaşma kolonlarda başlayarak yapının göçmesine neden olmaktadır. Bu durumda en olumsuz kat döşemelerinin üst üste yığılması şeklindeki ‘pankek’ türü göçmedir (Şekil 3.63-3.64). En çok can kaybı bu tür göçmelerde olmaktadır [16].



Şekil 3.63. Zayıf kolon- güçlü kiriş sonucu ağır hasarlı bina

Şekil 3.63’deki binadaki kolonlar kirişlerden daha zayıf olmaları nedeniyle, zayıf kolonlar üst katlarda kırılarak göçmüştür. Deprem kuvveti etkisiyle oluşan enerji kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, yetersiz donatı ve yetersiz kesit nedeniyle tüketilemediğinden, bu bölgelerde kırılma ve göçmeler meydana gelmiştir. Zemin kat kısmen daha güçlü kolonlar olması sebebiyle yıkılmamıştır. Zayıf kolon-güçlü kiriş düzeninin yol açtığı diğer husus Şekil 3.64’de görülmektedir.

Binalardaki kolonların yönetmeliklerde öngörülen minimum kesit ölçülerine yakın boyutlarda seçilmesi dikkat çekicidir. Durum böyle olunca, zayıf kolon-güçlü kiriş türü binalarda depremyüklerinin büyük bir bölümü taşıyıcı olmayan bölme duvarları tarafından taşınmış, planda ve düşeyde uygun düzenlenmiş bölme duvarlı sistemler depremde ağır hasar almakla birlikte göçmemiştir. Bunun tersine yanal rijitliği yetersiz, düzensiz taşıyıcı sisteme sahip, beton kalitesi yetersiz ve donatı düzenlenemeliklerine uyulmadan inşa edilmiş pek çok bina göçmüş ya da ağır hasar görmüştür [1].



Şekil 3.64. Zayıf kolon - güçlü kiriş hasarı

3.7. Kalitesiz Beton

Ülkemizde depremlerde betonarme yapıların yıkılması ve hasar görmesinin en önemli nedenlerinden biri de beton dayanımının projede öngörülen dayanımdan daha aşağıda olmasıdır. Gerçekten de deprem bölgesinde yapılan incelemelerde betonun dayanımındaki düşüklükten kaynaklanan hasarlara sıkça rastlanmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarının beton kalitesiindeki bu düşüklük, hesaplar da amaçlanan taşıma gücüne ulaşılmasına ek olarak yapı rijitliğini azaltması, depremde betonun kolayca bozulmasına, özellikle düşük kayma ve aderans dayanım nedeniyle kırılmalara neden olmaktadır [1]. Vurgulanması gereken bir diğer husus betona ilişkin kalitesizliklerin (mukavemet ve geçirimsizlik, yerleştirme-sıkıştırma işçiliği, paspayı işçiliği) donatı korozyonuna yansımasıdır. Deprem sonrası incelenen binaların küçümsenemeyecek bölümünde, özellikle zemin seviyesinin altında ve yağmura açık dış cephelerde, donatılarda kapsamlı korozyon bulunmaktadır. Bütünüyle paslanıp yok olmuş etriye donatıları, çapı yarıya (dolyısıyla kesiti dörtte bire) inmiş boyuna donatılar ender rastlanan görüntüler değildir [15].

Önde gelen başlıca yapı malzemesi olmasına karşın, Türkiye’de nitelikli beton üretimi uzun yıllar sağlanamıştır. Yetersiz ve ilkel şantiye koşullarında üretilen betonların dayanımı, projede öngörülenin hemen hep altındadır; uygun olmayan karışım malzemeleri ve oranları, aşırı su kullanımı, yetersiz ve vibrasyonsuz sıkıştırma ve sonrasında gereken bakımın yapılması bunun temel nedenleridir [16].

Türkiye’de 1990’lı yılların başından itibaren hazır betonun yapılaşmada günde me girmesi hiç olmazsa düşük dayanımlı betondan kaynaklanan deprem hasarlarının giderilmesi için bir çıkış yolu olmuştur; fakat beton dayanımındaki düşüklüğün hazır betona üretilmiş yapılarda da olması ilgi çekici ve düşündürücüdür [1].

‘1998 Afet Bölgeleri’nde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ uyarınca ‘deprem bölgelerinde yapılacak bütün betonarme binalarda C16(BS16)’dan daha düşük dayanımlı beton kullanılması yasaklanmıştır. ‘Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, taşıyıcı sistemi yalnızca süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan binalar ile taşıyıcı sisteminden bağımsız olarak bina önem katsayısı $I=1.5$ ve $I=1.4$ olan binalarda C20(BS20) ya da daha yüksek dayanımlı beton kullanılması zorunludur’ kuralı getirilmiştir.



Şekil 3.65. Kalitesiz beton uygulaması

Şekil 3.65 ve 3.66’deki binada beton kalitesi ve dayanımı oldukça düşüktür ve betonda boşluklar vardır.



Şekil 3. 66. Kalitesiz beton sonucu ağır hasar

Betonarme sistemlerde önemli üç zorlama grubu oluşmaktadır. Basit eğilme, bileşik eğilme ve kayma olarak tanımlanan bu zorlamalarda beton dayanımının etkisinin ne ölçüde olacağı bilinmelidir. Yalnız eğilme ile zorlanan yapı elemanları kiriş ve döşemelerdir. Basit eğilmeye çalışan bu elemanlarda çekme gerilmesi önemli olduğundan burada çekme donatısı önemli olmakta, beton dayanımının önemi ikinci planda kalmaktadır. Ancak beton dayanımının düşük olması sünekliği azalttığından dolayı deprem söz konusu olduğunda bu geçerli değildir. Bileşik eğilmeye maruz düşey taşıyıcılarda beton dayanım oldukça önem kazanmakta dayanımın düşük olması moment kapasitesini, sünekliği ve kırılma türünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle birleşik eğilmeye karşı çıkan kolon ve perdelerde beton dayanımının yüksek olması oldukça önemlidir [20].

Bildiği gibi beton; agrega (kum çakıl), çimento, su ve gerekirse bir takım katkı malzemelerinden oluşan kompozit bir malzemedir. Bu malzemenin beton dayanımına etkisi oldukça önemlidir. Bununla birlikte betonun yerleştirilmesi ve bakımı da beton dayanımını etkilemektedir. Beton dayanımının düşük olma nedenleri aşağıda özetlenmiştir.

3.7.1. Uygun Olmayan Agregalar

Son depremler sonrasında hasar gören yapılar incelendiğinde yapılaşmanın hızlı olduğu bölgelerde betonla ilgili temel bilgilerin kullanılmadığı ve gerekli denetimlerin yapılmadığı belirgin bir biçimde ortaya çıkmıştır. Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agreganın betonun performansında etkisi belirgindir. Maksimum su / çimento oranı ile minimum çimento içeriğindeki sınırlamalar betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Bu iki sınırlamanın gerçekleşmesinde agreganın kaliteli olması ve boyut dağılımının uygun olması zorunludur. Genel olarak betonun çevresel etkilere diğer bir deyişle dürabiliteye göre tasarımı bu iki parametreye göre yapılır. Betondaki maksimum su / çimento oranı ve minimum çimento dozajı gibi kısıtlamaların ne ölçüde gerçekleştirilebileceği doğrudan beton agregasının türüne, granülometresine ve standartlarına uygun olmasına bağlıdır [8].

Türkiye’de beton agregalarında aranan özellikler TS 706’da belirtilmiştir. 1999 Marmara Depremi’nde orta ve ağır hasar görmüş binalardan alınan beton örnekleri üzerinde yapılan araştırmalarda genel olarak sürekli granülometriye uyulmadığı, en büyük agrega boyutunun 8 mm ya da bunun biraz üzerinde olduğu görülmüştür. Bu şekilde ince agregalarla üretilen betonların su gereksinimi aşırı yükselir, bunun sonucu olarak da su / çimento oranı artar, ince agrega tanelerini sarımsak ve aralarındaki boşlukları doldurmak için daha çok çimento gereklidir [8].

Betonun performansının istenilen düzeye erişmesi için boşluksuz ve geçirimsiz olması gerekir. Geçirimsiz, dolayısıyla dürabilitesi iyi beton üretmede agreganın katkısı önemlidir. Betonun dürabilitesi ile deprem yükleri arasında ise doğrudan bir ilişki vardır. Dürabilite nedeniyle betonda oluşan çatlaklar deprem yüklerine karşı riski artırır. Betonda agreganın boyut dağılımı, biçimi, en büyük boyutu, dayanım, fiziksel ve kimyasal özellikleri performansı doğrudan etkiler.

Taze betonun işlenebilirliğinde agrega biçiminin ve en büyük boyutunun önemli işlevi vardır. Özellikle agreganın en büyük boyutu betonarme kalıptaki donatı durumuna uygun olmalıdır. Sertleşmiş betondan beklenen ise dayanımı, dayanıklı ve ekonomik olmasıdır.

Agrega yeterli sağlanıktta, tozsuz, bitkisel ve hayvansal maddelerden arındırılmış olmalıdır. İri taneler doğal (çakıl) ya da kırma taş (mıcır) olmalıdır. Kum gerektiğinde yıkanması koşulu ile ocak kumu, kırma kum olabileceği gibi, zorunlu hallerde - özellikle içindeki deniz böcekleri kabuklarının ayrılması koşulu ile- deniz kumu olabilir [18]. Agregaların biçiminin küp veya küreye yakın olmasının hem taze betonun işlenebilirliğinde ve yerleşmesinde hem de betonun mekanik özelliklerinde önemli etkisi vardır.

Belirli bir granülometriye sahip olan beton agregasının ince bölümünü kum oluşturur. İri agregalarda olduğu gibi kumların da teniz, kimyasal etkilere karşı dayanıklı ve dayanımın yeterli olması istenir. Ayrıca kumun çimentolere reaksiyona girmemesi gerekir. Kum için standartlarda belirtilen söz konusu özellikler; elek analizi, dayanım kil ve silt içeriği, organik madde içeriği, alkali agreg reaksiyonu deneysel olarak belirlenir. Ancak bu deneylerden olumsuz sonuç alınması halinde, söz konusu agreganın betonda kullanılmasına izin verilir. Kumda çok ince kil ve silt tanelerinin varlığı betonun dayanımını düşürmektedir. Çoğunlukla zirai toprak kökenli organik maddeler, kil toprakları, kömür taneleri, yumuşak taneler, standartın üzerinde suda çözünen klorür miktarı ve sülfatın varlığı da betonun davranışını olumsuz etkilemektedir.

Beyaz kal ker, gri kal ker, kum taşı ve bazalt iri agregalarından oluşan betonlardan düşük dayanımlarında beyaz kal ker, yüksek dayanımlarda ise bazalt en iyi sonucu vermektedir. Orta ve yüksek dayanımlı betonlarda beyaz ve gri kal ker her men her men aynı dayanımları sergilemektedir [8].

Agregaların içerisinde TS 706’da ince malzeme olarak tanımlanan kil, silt ve taşunu gibi malzemeler bulunabilmektedir. Standartlar bu malzemelerin olması gereken optimum değerlerini belirtmiştir. İnce maddelerin fazla olması çimento ile agrega arasındaki aderansın zayıf olmasına dolayısıyla da mukavemetin düşük olmasına neden olurlar. Bunu sonucu deprem etkisinden doğan gerilmeler altında donatının betondan kolayca sıyrılmasına neden olurlar. Bu nedenle agregaları yıkanmış ve elenmiş agrega olarak temin etmek gereklidir [20]. Şekil 3.67’de kolonda agrega olarak kullanılan iri çakıllar ve toprak parçaları betonun dayanımını büyük oranda etkilemiş ve kolonun hasar görmesinde etkili olmuştur.



Şekil 3.67. Kolon ucunda betonda toprak parçası ve iri çakıllar

3.7.2 Su/ Çimento Oranından Kaynaklanan Sorunlar

Betonda kullanılacak su ve çimentonun kalitesi ve miktarı beton dayanımının sağlanmasında oldukça önemlidir. Çimento, harcın en gerekli ve en pahalı maddesidir. Tam bağlayıcılık için kumun boşluklarını doldurması, tüm agregatanelerini sarması gerekir. Kullanılacak çimento miktarı proje dayanımını elde etmek üzere laboratuvarlarda saptanır. Fazla çimento kullanımının -özel durumlar hariç- bir yararı yoktur. Bu nedenle optimum çimento miktarının önceden saptanması gereklidir. Betonda kullanılacak su miktarının agreganın emmesini karşılayacak ve çimentonun hidratasyonunda yetecek miktarda olması gerekmektedir. Bu miktarın fazlası da azı da zararlıdır. Su, endüstriyel atıklar ya da organik maddelerle kirlenmiş nitelikte olmamalıdır.

Su/ çimento oranı beton mukavemetini etkileyen en önemli faktördür. Su/ çimento oranı yüksek betonlarda mukavemet düşük düzeylerde olmaktadır. Örneğin, su miktarının ölçülen optimum değerden %10 eksik olması betonun mukavemetinde %20 azalmaya neden olur. Bu nedenle beton üretiminde çok fazla su kullanılmamalıdır. Ancak uygulamada, üretilen betonların çoğunda bu özelliğe dikkat edilmemektedir. Çünkü çok sulu bir beton kolay taşınması ve yerleşmesi

bakı mından beton üreticilerinin ekonomik açıdan kolayına gelmektedir[20]. Standartlar su / çimento oranının çevrenin zararlılık düzeyine bağlı olarak 0.65 ile 0.45 arasında değişen bir üst sınırı aşmamasını öngörür. Standart ayrıca, çevrenin zararlılık düzeyine bağlı olarak 1 m³ beton içindeki çimento miktarının 260 ile 360kg arasında değişen bir sınırın altına düşmesini şart koşar [15].

Su / çimento oranı, çimento dozajı ve basınç dayanımına getirilen sınırlamaların temel amacı boşluksuz (minimum boşluklu) dolayısıyla geçirimsiz beton üreterek havadaki karbondioksit dahil her türlü zararlı etkeni betonun içine sokmamak, dolayısıyla betonun veya içindeki donatının bunlardan zarar görmelerini önlemektir [15].

TS 500 ' Betonarın Yapılarının Tasarım ve Yapım Kuralları' standardı 2000 yılı şubat ayında revize edilmiş, ekim ayında da resmî gazetedeyayınlanmış olup yürürlüktedir. Eski TS 500 'genel olarak TS 19'a uygun' Portland çimentoları kullanmasını öngörürken yeni netintasarımını daha özgür bırakmakta ve yapısını, çevresine en uygun gördüğü çimento yu seçmesine izin vermektedir. Dolayısıyla tasarımı yapı betonunun gereksinimlerini (erken yüksek dayanım düşük hidratasyon ısısı, sülfata dayanıklılık vb.) iyi belirlemek ve bu gereksinimleri karşılayacak çimento onun hangisi olduğunu bilerek durumundadır [15].

3.7.3. Betonun İyi Sıkıştırılması

Betonun sıkıştırılmasının iki önemli amacı vardır. Birincisi betonu kalıbın her bölgesine yaymak ve donatıların devamlı bir şekilde kaplanması sağlamak, ikincisi ise sıkıştırılan betonda hava boşluklarının dışarı çıkmasını sağlayarak yoğunluğu yüksek dolayısıyla mukavemeti yüksek beton elde etmektir. Bu nedenle betonun sıkıştırılması gerekir. Bu amaçla kullanılan vibrasyon aletleri mevcuttur. Bunların en pratiğı vibratör denilen ve betona titreşim vererek sıkışmasını sağlayan aletlerdir. Beton, vibratörle düzgün ve düzenli sıkıştırılmalı, betonun donatısının çevresini tümüyle sarması sağlanmalıdır. Vibratörün betonun içerisinde uzun süre tutulması da doğru değildir. Düşey olarak kendi ağırlığı ile beton içerisine bırakılmalı, 10-15 saniye beklendikten sonra yeri betonla dolabilecek şekilde yavaşça çekilmelidir. Elektrik kesimlerinde son dökülen betonları sıkıştırabilmek için şantiyede bir de

benzini ve vibratör bulundurulmalıdır. Vibrasyon, betonu oluşturan tanelerin kütle içinde kolay hareket etmesini sağlar ve böylelikle yoğunluğu yüksek daha dayanıklı beton elde edilme inkanını sağlamıştır [20].

3.7.4 Betonun Üretimi, Dökümü ve Korunması

Küçük yerleşim bölgelerinde hala akmaz yöntemi ile ya da bir kamyon hazır agregaya üzerine 15-20 torba çimento serip elle harman ve göz kararı suyla beton yapılyorsa da bugün pek çok beton santralleri güvenilir beton üretmekte ve transmikserlerle inşaatlara taşı maktadırlar. Ancak bütün beton santralleri transmikserlerle ıslak karışımı yüklemekteler. Uzak mesafelere taşımada bu ıslak karışım da iri taneler orta boydakileri ezmekte, karışım çamurlaşmakta fabrikadan çıkıştaki kalite düş mektedir. Uzak mesafeler için su katma işlemini, şantiye yakını nda olmalıdır [18].

Normal hallerde beton dökümü sırasında kalıp yüzeyleri, kiriş tabanları ve özellikle kolon dipleri temiz olmalı, su ile ve kompresör havası ile iyice temizlenmelidir. Kalıp tahtasının ya da yüzeyi su emmeyen kontraplaklar, yağlanmı yorsa, beton dökümünden hemen önce yüzey ıslatılmalıdır. Kolon ve perdelerde beton 2 m yüksekten dökül melidir. Zorunlu hallerde, bu düzeyde sıra delikler açılıp beton buralardan dökülebilir. Beton paspayları normal hallerde iç kısmı nda 2.5, dışarı da 4 cm su yapılarında 6-7 cm den az olmalıdır.

Soğuk hava koşullarında beton dökümü sırasında, genelde +3 °C ye kadar olan sıcaklıklarda herhangi bir önlem alınmadan beton dökülebilir. +3 °C ile -3 °C arasında agreganın suyun ısıtılması, varsa kalıp yüzeyindeki buzlanmanın çözülmesi, beton santrallerden geliyorsa ısıtılmalı transmikser kullanılması, beton dökümünün sıcaklığın düşeceği geç saatlere bırakıl maması gibi önlemler alınmalıdır. -3 °C nin altındaki hava koşullarında beton dökülmesi durumlarında ise harca priz hızlandırıcı kimyasalların katılması, akışkanlaştırıcı katkılarla harç suyunun azaltılması, çimento dozajının artırılması, dökülen betonun üzerine koruyucu yorgan serilmesi gerekmektedir. Ayrıca beton dökülen bölgenin naylon vb. malzeme ile çevrilip içeri sıcak hava verilmesi, buhar kütü uygulanması ya da beton içine de mir elektrotlar saplayıp alçak voltajlı elektrikle dökül müş betonun ısıtılması gibi önlemler alınarak beton en azından katılaşmaya kadar sıcak tutulmalıdır [18].

Hava sıcaklığının yüksek olması durumunda ise beton dökülmesi sırasında buharlaşmanın artması sebebiyle beton olumsuz etkilenebilir. Suyun beton içerisinde azalması hidratasyonun normal bir şekilde gelişmesini engeller. Bu durumda betonu sulamak veya ıslak çuvallar altında tutmak gibi bazı önlemler almak gerekebilir.

Dökümü tamamlanan beton bir hafta süre ile sarsılmalı ve yüklenmelidir. Yeni dökülmüş taze betonu şerbetin akması ve yüzeyinin bozulması için kuvvetli yağmurlardan, yüzeysel çatlamalara neden olmaları için de aşırı rüzgar dan korumak gerekir. Taze beton, sertleşmesini ilk günlerinde hidratasyon suyunun uçması ve yüzeysel çatlamalara neden olmaları için en az ilk 3-4 gün sürekli ıslaktutulmalı ya da kimyasal yöntemlerle, güneş ve yüksek sıcaklıktan korunmalıdır.

Beton kalıplarını sökme işleminde şartname esasları , çimento özellikleri ve hava koşullarına dikkat edilmelidir. Beton kendini taşıy hale gelmeden alt kalıp sökülmez, en azından alta uygun destekler bırakmak gerekebilir. Beton mukavemetini yeterince kazanmadan kalıp alma durumu söz konusu olduğunda yapıda çekme gerilmesi çatlaklarının oluşması, hatta yapının yıkılma riskiyle karşı karşıya kalması kaçınılmazdır. Özellikle traslı ve katkılı çimento kullanılan yapılarda kalıp alma süresi uzun tutulmalıdır.

Doğru bakım kalıbına yerleştirilmiş betonun uygun sıcaklık düzeyinde (donmadan koruyarak ve yavaş da olsa sertleşip mukavemet kazanmasına imkan verecek düzey) tutulması ve bünyesindeki suyu kaybetmesine engel olunmasıdır. Bakım süresi, beton dayanım sınıfı, çimento cinsi ve sınıfı gibi parametrelerle değişmekle birlikte, tercihen 7 günden az olmalıdır. Bakım yüzeyinin devamlı ıslaktutulması (püskürtme su, ıslak çuval, ıslak toprak, talaş, vb.) veya suyun buharlaşmasına engel olacak geçirimsiz bir tabaka ile yüzeyin kaplanması (naylon, polietilen, branda bezi, örtü, parafin veya akrilik esaslı kür malzemesi sürülmesi, vb.) sayesinde gerçekleşir [15].

3.7.5 Uygun Olmayan Beton Donatısı

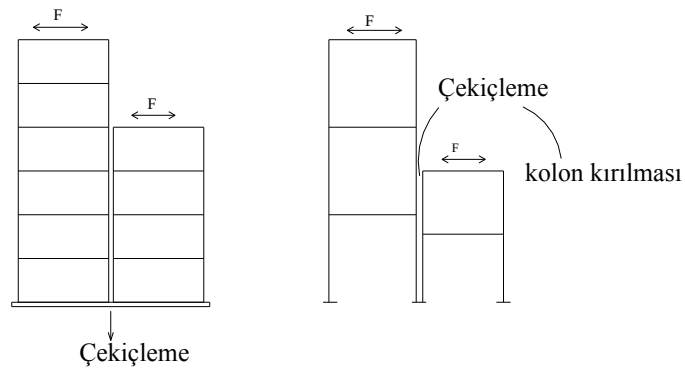
Depremler sonrası yapılan incelemelerde, yapımda kullanılan betonarme çelikleri içi n çekme, bükme gibi kalite kontrol deneylerini n sıkça yapılmadığı anlaşılmaktadır. Betonarmenin çekme ve eğilme basıncına dayanımını sağlayan unsur donatıdır. Betonarme donatıları fabrika yapım olduklarından genelde kaliteleri belli ve standarttır. Ancak yapım sırasında projenin öngördüğü cins kullanılmalıdır. Bu nedenle şantiyelerde uygulamaya öncesi bazı deneyler gerekebilir. Bütün dünyada olduğu gibi Türkiye’de de artık betonarme donatısı olarak nervürlü çelikler kullanılmasına rağmen birçok yapıda hala düz demir kullanıma devam edilmektedir. Düz donatının kullanıldığı yapılarda donatının betonun içinden kayması için ek bindirmeleri yeterince uzun ve uçları tam kancalı olmalıdır. Ayrıca donatı çubukları aderansı azaltacak ya da yok edecek kadar paslanmış olmalıdır. Hriyelerin ve çirozların uçları tam kancalı (135° kıvrılmış) olmalıdır (Şekil 3.68). Donatı araları en az iri agreganın rahatça geçebileceği kadar olmalıdır[18].



Şekil 3.68. Hriyede tamkanca örneği (135°)

3.8 Çekiçleme

Birbirine bitişik olarak inşa edilen, fakat aralarında derz aralığı bulunmayan yapılarda depremtitreşimleri sırasında, çarpışma sonucu beklenmedik ağır hasarlar olabilmektedir. Eğer bu iki bitişik yapının kat düzeyleri ve dinamik özellikleri de farklıysa çarpışma sonucu komşu kolonlarda oluşan ağır hasarlar ‘çekiçleme’ ya da ‘çarpışma’ hasarı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.69’da kat döşemeleri aynı düzeyde olmayan komşu binaların dinamik özelliklerinin de farklılığı nedeniyle oluşan çarpışma ve hasar gösterilmektedir.



Şekil 3.69. Çekiçleme etkisi



Şekil 3.70. Çekiçleme etkisi

Şekil 3.70 ve 3.71’de her iki yanda bulunan komşu yapıların ortadaki yapıda oluşturduğu çekiçleme etkisi ile çökme meydana gelmiştir. Yapıdaki yumuşak kat ve tek yönde yerleştirilmiş perdelerin yol açtığı zayıf kesitin etkisiyle de ağır hasar oluşmuştur.



Şekil 3.71. Çarpışma sonucu binada oluşan hasar

Binaların deprem kuvvetleri sonucu oluşacak sapma miktarının doğru bir tahmini güç olmakla birlikte, gerçeğe yakın tahminler sonucu, çekiçleme etkisini azaltmak için rijit yapılarda 2.5 cm +6 m'ni üstündeki yüksekliğin her 3 m'sinde 1.25 cm ilave edilecek şekilde derz tasarlanması gerektiği sonucuna varılmaktadır [23].

Bitişik olarak inşa edilen fakat aralarında yeterli derz boşluğu bulunmayan binalar deprem titreşimleri esnasında birbirlerine çarparak ağır hasarlara neden olabilir. Özellikle farklı fazlarda titreşen komşu binaların yatay deplasmanları belli bir anda birbirinin aksi doğrultuda gerçekleşirse, o iki binanın çarpışması için, aralarındaki en ufak boşluğun, her iki binanın maksimum yatay deplasmanının mutlak değerinin toplamından daha büyük olması gerekir. Dilatasyon derzlerinin çoğu zaman yetersiz kalması sonucu komşu binalar birbirine çarparak ağır hasarlara neden olmaktadır. Bu nedenle derz boşluklarını elastoplastik davranışa ve mafsallaşma halindeki maksimum ötelenmelere göre tayin etmek gerekir. Bitişik binaların kat döşeme kotlarının aynı olması da bu çekiçleme etkisi sonucu ağır hasarlara neden olabilir. Binaların döşemelerini aynı seviyede olması halinde, çarpışma; döşeme kolon ortası çarpışması yerine, döşemelerin birbirine kafa kafaya tokuşması şeklinde olur. Yüksek katlı binaların çarpışma katı üstündeki katları hasar görebilir. Bu nedenle bitişik binaların yükseklik farklarının da çok olması gerekir [5].



Şekil 3.72 Çekiçleme etkisi

Şekil 3.72’de görüldüğü gibi ana caddeler üzerindeki bitişik nizam yapılarının tamamına yakınında yönetmeliklerde belirtilen yeterli dilatasyon derzleri bırakılmamıştır. Bunun sonucunda yapıların birbirine uyguladıkları çekiçleme etkisi sonucu deprem hasarı biraz daha artmıştır.



Şekil 3.73. Çöken binanın çekiçleme sonucu yan binanın kolonuna verdiği zarar

Bitişik binaların kat döşemelerinin aynı hizada yapılması nedeniyle, döşemeler kolonlara çarparak, kolonlarda hasara yol açmakta ve taşıma gücü azalan ya da yok olan kolonlar yapının ağır hasarına yol açmaktadır (Şekil 3.73), [23].



Şekil 3.74 Çekiçleme etkisi sonucu devrilen bina

Bodrumsuз, bitişik nizam ve farklı yükseklikteki yapılardan biri 4, diğeri 5 katlıdır. 5 katlı olan yapı çekiçleme ve sıvılaşma etkisi ile devrilmiştir (Şekil 3.74).

Son yıllarda meydana gelen depremler sonrası yapılan incelemelerde çekiçleme etkisinin önemli boyutta hasara neden olduğu gözlenmiş ve bu hasarı azaltmak için binalar arasına enerji yutucu maddelerin yerleştirilmesi yöntemi geliştirilmiştir.

3.9 Zemin Den Kaynaklanan Sorunlar

Depremler sonrası yapılan incelemeler, yapı hasarlarının oluşmasında zemin özelliklerinin belirleyici olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bölgenin depremselliğinin önceden biliniyor olmasına karşın bilinçsiz planlama ve zemin özelliklerine uymayan düzensiz yapılaşma, olayın yaşanan büyüklüğe afet boyutuna ulaşmasının başlıca nedenlerinden biridir. Yapılaşma açısından elverişsiz olduğu bilinen bölgelerde bile proje ön şartı olarak zemin incelemesi istenmesi ve yapılması önemli bir eksiktir [16].

Üst yapının zemin özelliklerinden önemli ölçüde etkilendiği artık bilinmektedir. 17 Ağustos Marmara Depremi'nde, depremi oluşturan fayların yerleşim bölgeleri içinden geçmesi ve süre olarak uzun sürmesi, zemin tabakalarının davranışını önemli ölçüde etkilemiş, böylece binalara gelen deprem etkileri artarak yapısal hasarın ve can kayıplarının büyümesine neden olmuştur. Deprem bölgelerinde komşu bloklar arasında 5-6 m'ye varan farklı yer değiştirmeler alışılmadık/bekleneni çok ötesindedir ve sivilaşma ile birlikte çoğu hasar ve göçmede belirleyici olmuştur [16].

Bazı binaların tamamen yıkılmış olmasının ilk nedeni, uygunsuz yer seçimidir. Bu tür durumlarda sismik yönetmeliklere harfi harfine uyulmuş ve inşa halinde çok dikkatli kontroller yapılmış da olsa, binaların depremsırasında yıkılmasının önüne geçilemez [6].

Yapıların üzerinde inşa edildikleri zeminin durumuna göre depremdaki davranışları değişebilir. Diğer bir deyişle üst yapının depremyükleri altındaki davranışları temel zemininden bağımsız değildir. Bu nedenle yapının inşa edileceği zeminin mühendislik özelliklerinin bilinmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Zeminle ilgili parametreler bilindikten sonra yapının davranışı ve deprem yükleri altındaki performansı daha gerçekçi olarak değerlendirilebilir. 1998 yönetmeliğinde, yerel zemin koşullarının bilinmesi için esas alınacak zemin grupları bir tablo halinde özetlenmiştir. Buna göre, birinci ve ikinci deprem bölgelerinde toplam yüksekliği 60 m'den fazla olan bütün yapılarda, deprem bölgelerinde bina yüksekliğinden bağımsız olarak, bina önem katsayısının $I=1.5$ ve $I=1.4$ olan binalarda gerekli alan ve laboratuvar deneylerine dayanan zemin araştırmalarının yapılması, ilgili raporların düzenlenmesi ve proje dokümanlarına eklenmesi zorunluluğu getirilmiştir [1].

Zemin tabakalarının cins, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok değişebilir, farklı bölgelerde inşa edilmiş aynı tip yapılarda farklı mertebelerde hasar oluşmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla yapısal hasarın azaltılabilmesi için deprem esnasında farklı davranış gösterecek bölgelerin belirlenmesi gerekir [11].

Sert zeminler üzerine inşa edilen yapılardaki hasarların az olmasına karşın, tamamen yıkılanların daha çok olduğu, bununla birlikte yumuşak zeminler üzerine inşa edilen yapılardaki hasarların çok, fakat tamamen yıkılanların miktarının daha az olduğu ortaya çıkmıştır [2].

Yapılarda oluşan hasarlar arasında daha yakın ilişki için zemin tabakalarının kalınlığının belirlenmesi gerekir. Zemin yumuşaklığı ile artan hasar tespiti deprem sonrası yapılan çalışmalar ile belirlenmektedir [2].

Yapılan araştırmalarda zemin yumuşaklığı ve alüvyon yığının kalınlığı arttıkça betonarme yapılarda hasar artmaktadır.

Yerel zemin koşullarının yapılarda hasar oluşturacak etkilerini şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Zemin koşullarının deprem özelliklerini büyütmesi,
- Zemin tabakalarında göçmeler ve oturmalar,
- Zemin tabakalarının sıvılaşması,
- Yağmarda stabilitenin bozulması.

3.9.1. Zeminde Sıvılaşma

Depremsırasında yapılarda meydana gelen hasarların en önemli sebeplerinden biri de, suya doymun kumlu dolgularda sıvılaşmanın ortaya çıkmasıdır. Daneler malzemeli zeminlerde efektif çevre gerilmesi nın sıfır olması, kayma mukavemetini yok eder; zemin elemanları bir sıvı gibi davranır. Bunun sonucunda büyük şekil değıştirmelerinin olmasına ‘sıvılaşma’ denilmektedir. Sıvılaşma sonucunda zemin yüzeyinde kabarmalar belirebilir ve akma eğilimi gösteren kısımlar oluşabilir. Zeminin sıvılaşması sonucu yapı zemine batma veya hafif yapılarda yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi gösterebilir.

Zeminlerde sıvılaşma Kobe, Northridge, Döma, Pietra, Marmara depremlerinde görülmüştür. Özellikle İzmit bölgesinde, yoğun yerleşim yerlerinde yaygın bir sıvılaşma meydana gelmiştir [2]. Sıvılaşma sonucu binalar devrilme veya tamamen göçme konumuna gelebilir (Şekil 3.75-3.76-3.77-3.78).



Şekil 3.75. Sıvılaşma hasarı



Şekil 3.76. Sıvılaşma sonucu temel durumu

Kumlu zeminler, diğer zeminlere göre, sıkıştırılmış kumlar sıkışmamış olanlara göre sıvılaşma yönünden daha hassastır. Özellikle suların yığıldığı kumlar, boyutlarındaki düzensizlik nedeniyle sıvılaşmaya eğilimlidir. Kohezyonsuz suya doymuş zeminde sıvılaşmanın en önemli nedeni, yer hareketi ile meydana gelen yön değiştiren kayma gerilmelerinin, hidrostatik basıncı artırması olarak kabul edilmektedir. Bu kayma gerilmelerinin etkisiyle zeminin hacmi küçülür ve daha sıkı duruma gelirken zemin danelerindeki gerilme azalır. Eğer su zemininden ayrılmıyorsa, boşluk suyu basıncı artar. Boşluk suyu basıncı, uygulanan basınca eşit olduğunda, etkili gerilme sıfır olur ve kumun yapısında şekil değiştirmeler meydana gelir. Eğer kum gevşekse, boşluk suyu basıncı ani olarak uygulanan basınca ulaşır ve kumda büyük şekil değiştirmeler oluşur. Şekil değiştirmelerin çok büyümesiyle sıvılaşma olayı ortaya çıkar. Eğer kum sıkı ise, yön değiştiren depremetkisi altında kumun yapısı şekil değiştirme yaparak etkilere karşı koyacak kararlı duruma gelir. Ancak kararlı duruma gelmek için gereken şekil değiştirme, dış etkinin uzun süre devam etmesiyle artabilir. Dış etkinin kaybolmasından sonra artık bir boşluk suyu basıncı kalır. Bu ise, boşluk suyunun yukarı doğru hareketine neden olabilir.

Bina yapılacak arsalarda sıvılaşma potansiyelinin bulunup bulunmadığı, saha ve laboratuvar deneyleri nedayan analizler yapılarak incelenmesi ve belgelenmesi zorunludur.



Şekil 3.77. S vılaş ma - Adapazarı



Şekil 3.78. S vılaş ma- Adapazarı

Sıvılaşmanın meydana geldiği zeminlerde oturmuş veya yanyana yatmış binalarda yapısal hasar yok denecek kadar az olabilir. Sıvılaşmış veya çok yumuşamış zeminlerin yapıyı etkileyecek tekrarlı ivmeleri sönümlenmiş olmaları daha az hasara sebep olabilir, fakat yapının onarımı ve tekrar kullanımı çoğunlukla mümkün değildir (Şekil 3.79)



Şekil 3.79. Sıvılaşma sonucu devrilen iki bina

Sıvılaşma sonucunda, yüzeye kum ve su fışkırmaları, zeminde oturmalarda kalıcı yatay deformasyonlar (yarılma), büyük genlikli yer hareketi, taşıma gücü kaybı, yeraltı yapılarının yüzmesi, istinat duvarları ve rıhtım hasarları ve taşıma gücü kaybı olabilir. Sıvılaşma sonucunda meydana gelen oturmalarda diğer oturmalardan farklı olarak, zemin yüzeyinde gözlenen ince zeminde fışkırmış kum konileri ve birikintileridir (Şekil 3.80), [2].



Şekil 3.80. Kum fışkırması - Yalova

Sıvılaşma hasarlarına karşı alınabilecek önlemler [2]:

- Zemin ıslah yoluyla sıvılaşma olasılığını ortadan kaldırılması,
- Zeminin sıkıştırılması,
- Kümülsıkıştırma kazığı,
- Titreşimli sıkıştırma,
- Kişyasal stabilizasyon modeli,
- Boşluk suyu basıncının azaltılması,
- Dr enaj yaparak yeraltı su seviyesinin düşürülmesi,
- Yapısal tedbirlerle sıvılaşma etkisinin giderilmesi
- Kazıklı temeller,
- Keson temeller,
- Radye temeller.

3.9.2 Zeminde Oturma

Zeminin farklı oturma sonucu kısmen yıkılan bazı binalar ağır hasar görmüşlerdir. Bazı binalarda yapı yeterince sağlam olduğundan herhangi bir hasar görülmemesine rağmen farklı oturma nedeni ile binalar kullanılamaz hale gelmiştir.



Şekil 3.81. Zeminde oturma

Şekil 3.81’deki gibi bodrum katı bulunmayan yapılarda depremda galari zayıf zemin nedeniyle yapının farklı temel yükleri etkisi ile farklı oturmalar meydana getirmektedir. Zemindeki farklı oturmalardan dolayı yapı, arkaya doğru yatmıştır. Yapıda herhangi bir hasar görülmemekle beraber yapının bu haliyle kullanılması mümkün değildir. Yapının çeşitli yöntemlerle düzeltilmesi mümkün olabilir, fakat bu da ekonomik değildir. Bu nedenle yapı m öncesi tüm önlemler alınmalıdır.



Şekil 3.82. Farklı oturma sonucu ağır hasarlı bina

Farklı oturmaların yumuşak zeminlerde meydana gelmesi kuvvetli olasılıktır. Zemin taşıma kapasitesi yeterli ise de oturmanın kesinlikle göz ardı edilmesi gerekir. Eğer yapı altındaki zemin koşullarında düzensizlik varsa farklı oturma daha kolay olur. Şekil 3.82’de farklı oturmalar sonucu yapının bir bölümü çökmüştür. Bu tür zeminlerde yapı mizni vermemek en uygun çözümdür.

Deprem etkisi ile temel zemininde aşırı oturmalar ve bölme duvarlarda çatlaklar oluşur. Oturma hasarının oluşturduğu çatlakların üst katlara doğru azaldığı görülür. Oturmalar konsol çıkıntılarında büyük sehimlere yol açar. Konsol çıkıntılarında görülen sehim sonucu cephe duvarlarında alt veya üst seviyelerde yatay çatlaklar ile yan duvarlarda eğik çatlaklar oluşur [2].

Bütün bu konular ayrı ayrı incelenmeli ve elde edilen bulgulara dayanarak yapılaşma yönlendirilmelidir; bu yapısal hasarın azaltılması açısından gereklidir [2].



Şekil 3.83. Ze m inde oturma - Adapazarı



Şekil 3.84. Ze m inde oturma - Yalova

Şekil 3.83, 3.84 ve 3.85’de depre m dal gaları sonucu zayı f ze m inde ol uş an yol daki ka bar na ve bi na lar da ki oturma gö r ü l me k te d i r.



Şekil 3.85. Ze m inde oturma

3.10. Korozyon

Deprem bölgesinde çok sayıda betonarme binada yapılan kapsamlı incelemede, deprem kaynaklı olmayan çatlakların olduğu çok sayıda taşıyıcı sistem elemanlarına rastlanmıştır. Boyutları ve mevcut taşıyıcı sisteme etkisi önemli sayılabilecek yapısal çatlakların başlıca oluşum nedeni betonarme kolon, kiriş perde ya da döşeme içinde bulunan donatı çubuklarının korozyona uğramasıdır. Çatlak oluşumu görülen elemanlarda beton üst tabakasının (paspayının) kaldırılmasıyla boyuna ve enine donatılarda aşırı miktarlara varan korozyon problemi nin bulunduğu görülmüştür (Şekil 3.86-3.87-3.88) [1].

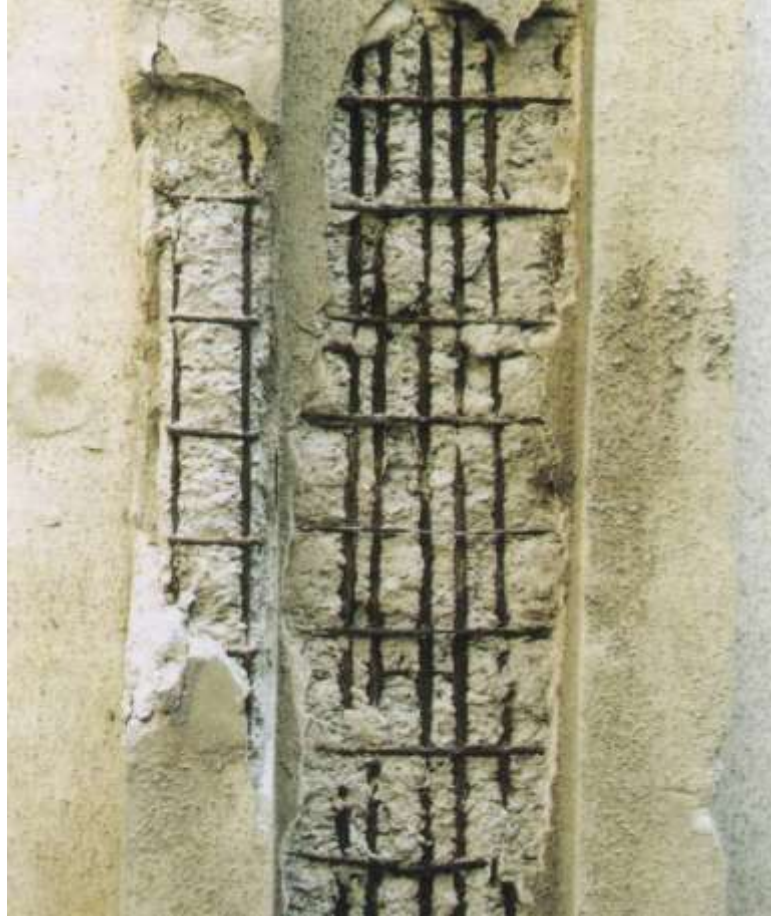


Şekil 3.86. Korozyon



Şekil 3.87. Korozyon

Yapılarda yeraltı suyu ve bodrum katlardaki rutubet, kolon paspayının dökülmesi ne ve kolon içerisindeki çeliğin paslanmasıyla oluşan kesit kaybına neden olur. Bu da elemanlarda çekme kuvvetini karşılayan çeliğin görevini yapmamasına neden olur; bu durumda, yapıda hasar meydana gelmesi kaçınılmazdır. Yapılan incelemelerde çeliğin paslanmak suretiyle korozyona uğradığı ve mukavemetini kaybederek yapılarda hasara meydan verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle çeliğin beton içerisinde paslanmasını önlemek için gerekli olan paspaylarının mutlaka bırakılması gerekmektedir.



Şekil 3.88. Kolon donatısında korozyon

Betonarme donatı çubuğunun korozyon davranışı çeliğin kimyasal bileşimine ve mikroyapısına, donatı çeliğindeki gerilme düzeyine, düzenleme biçimine, yüzeyinin durumuna ve çevresel koşullara bağlıdır. Betonun Ph derecesi, çevre koşulları nedeniyle normal değer olan 12'nin altında oldukça ve donatı çubuğu üzerindeki gerilme arttıkça donatının korozyona uğrama olasılığı artar [1].

Donatının korozyonundan kaynaklanan yapısal hasarın bulunduğu yapılar gereği gibi incelenmeli, yapı kimyasallarının sunduğu olanaklar ile gerekli onarım vakit geçirilmeden yapılmalıdır. Betonarme binalardaki onarım ve güçlendirme yöntemlerinden biri ve en etkili olarak uygulanabileni, binada taşıma gücünün artmasını ve sünekliğin iyileştirilmesini sağlayan ancak binanın dinamik karakteristiklerini fazla etkilemeyen kolon ve kirişlerin nantlanmasıdır.



Şekil 3.89. Korozyon olayı

Bodrum kat kiriş donatısı paspayları rutubet etkisiyle dökülerek donatı açığa çıkmakta ve korozyon artmaktadır (Şekil 3.89); bunun sonucunda donatı özelliğini yitirdiğinden, sistem deprem etkisi olmadan da güvenliğini yitirmektedir. Böylesi durumlarda gerekli güçlendirme yapılarak tedbirler alınmalıdır.



Şekil 3.90. Korozyon

Şekil 3.90'da bodrum kat donatılarının elle koparılabilir olduğu görülmektedir. Binaların bodrum katlarında rutubet mutlaka önlenmelidir. Çevre yüzey sularına karşı önlenmesi gereği açıktır.



Şekil 3.91. Korozyon sonucu ağır hasar

Şekil 3.91’de kolonun içerisine yerleştirilen yağmur suyu pvc borusunun kolon kesitini zayıflatması ve borudaki sızıntılar nedeniyle bu kesitte meydana getirdiği korozyon, hasarın başlıca nedenlerinden biridir.

Beton alkali bir malzeme olması sebebiyle, donatı için koruyucu bir nitelik taşımaktadır. Dış etkiler nedeniyle (su, karbondioksit, tuz vb.) betonun Ph değeri düşer ve özellikle Ph’nın dokuzdan daha düşük değerlere ulaşmasıyla korozyon hızla artmaya başlar. İstanbul ve çevresindeki bir çok binada, gerekli işlemlerden geçirilmeden deniz kumunun beton üretiminde kontrolsüzce kullanıldığı bilinmektedir. Karbonatlaşma ile betonun korozyona karşı koruyuculuğu kaybolur ve beton önemli hasara uğrar. Korozyona uğrayan donatı çeliğinin hacmi artar ve çevresindeki betona basınç yapar [1].

Başlangıçta, beton içindeki çeliğin korozyona uğraması çevrenin yüksek Ph değerinden dolayı mümkün değildir. Fakat zamanla şartlar değişip korozyon başlayabilir. Atmosferden beton içine giren karbondioksit beton kaplamayı kimyasal olarak değiştirir. Karbonizasyon adı verilen bu proses betonun alkaliliğini nötr eder. Türk standartlarında beton katkı maddeleri konusunda şu ana kadar kesin

yasaklayıcı hüküm ol namakla birlikte bazı yabancı ülkelerin standartları- örneğin İngiliz betonarme hesap kuralları şartnamesi- BS8110'a göre kloridli katkı malzemelerinin betonarmede kullanılması yönündedir. Fakat bu, ileride beton içinde kloridlerin bulunmayacağı anlamına gelmez. Klorür bileşikleri çatlaklardan beton içine girebilir.

Nötralizasyon veya aktivasyon elemanlarının beton içine sızma hızıyla korozyon olayı başlar. Yapıyı korumak için kaliteli ve yeterli kalınlıkta beton kaplama/ paspayı sağlanmalıdır. Yapılan deneyler kloridli ortam içinde bulunan çeliğin korozyona uğrayacağını ve klorid konsantrasyonu arttıkça korozyonun hızlanacağını göstermiştir [2].

Diğer etkenlerin yanında betonarme elemanların durabilitesi, büyük ölçüde içindeki donatı çubuklarının gereği gibi korunmasına bağlıdır. Donatı çubuklarının korozyonu, donatıları koruyan tabakanın hasar biçimi olan yapısal çatlaklar sonucu olabileceği gibi, çoğu zaman da binanın maruz kaldığı dış çevre koşulları nedeniyle de olabilir. Korozyona uğramış bir donatı çeliğinin boyutları değişir ve betonarme kesit içindeki bu değişim koruyucu tabaka olan pas payını kaldırmaya çalışır. Bir metalin korozyon davranışı, korozyona uğradıkça onun parametrelerindeki değişimi anlaşılır. Donatı çeliği için önemli sayılabilecek iki özellik dayanım ve sünekliğidir. Çeliğin korozyon davranışının yalnızca kütle/kesit kaybı ve korozyonun derinliğinin belirlenmesi ile değil akma, kopma dayanımları ve süneklikteki azalmaların da dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir [1].

3.11. Ağır Kütller

Ağır kütller, depremitreşimi esnasında civarındaki kiriş ve kolonları aşırı derecede yükleyebilir ve göçmelere neden olabilirler. Böyle bir riski önlemek için, bina içinde ağır kütlelerin oluşmasından ve kütlelerin üniform yayılmasını engelleyecek tasarımı alternatiflerinden kaçınmak gerekir [5].

Çok ağır kütleleri içeren döşemeler ve büyük açıklıklı kirişleri taşıyan yan kolonların taşıma güçleri, depremyükleri altında yetersiz kalan ve bu zayıf kolonların göçmesi sonucunda tüm binanın göçtüğü bir çok örnek vardır. Şekil 3.92'de kiriş

açıklıklarının fazla olması nedeniyle kirişte kırılma görülmektedir. Düğüm noktaları ağır hasar görmüş ve yapı tamamen yıkılmıştır.



Şekil 3.92. Geniş kiriş açıklığı sonucu ağır hasarlı bina

Şekil 3.93'deki binanın en üst katındaki döşeme üzerinde yapılan parapet duvarın yüksekliği çok fazla olması sebebiyle, bu ağır yük en üst kattaki zayıf kolonların göçerek yıkılmasına yol açmıştır.



Şekil 3.93. Ağır kütle hasarı

Ağır kütlelerin binada dış merkez dağlı m burulma etkisi yaratabilmektedir. Bazı durumlarda binanın programının gerektirdiği şekilde, binanın içinde simetrik olmayan bir bölüme, kütüphanelerde büyük raf sistemleri, yüzme havuzunun ağır sistemleri ve bazı özel ekipmanlarda olduğu gibi ağır bir kütle yerleştirilebilmektedir. Ağır kütlenin bulunduğu bölgeler kütle merkezinin yerini değiştirerek burulmaya yol açmakta ve gerilmeler bu bölümlerde artabilmektedir [23].

atı katlarına sonradan, projesiz yapılan ilave yüklemeler de binada ağır hasara neden olabilir (şekil 3.94).



şekil 3.94. Ağır kütle hasarı

Ayrıca binaların cephelerini gydirmek amacıyla ile yerleştirilen ağır paneller, depremin doğurduğu titreşimleri sırasında bağlantı noktalarından koparak beklenmedik hasara yol açabilir. Bu yüzden bina cephelerine ya ağır beton panellerle kaplanmalıdır veya yapılacaksa da ana taşıyıcı sisteme bağlantı noktaları büyük depremyklerini taşıyabilecek nitelikte tasarlanmalıdır [5].

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Son depremler sonrasında yoğun olarak vurgulandığı gibi depremler değil, binalar önemlidir. Bir yapıda aranan en önemli özellik gerekli yapı güvenliğinin sağlanmasıdır. İnsan hayatının güvenceye alınması, estetik ve fonksiyon gibi özelliklerin önünde yer almalıdır. Türkiye'nin önemli deprem kuşaklarından biri üzerinde yer aldığı unutulmamalı ve yapıların depremgüvenliği mutlaka sağlanmalıdır.

Yapılan araştırmalar, depremdayanımının büyük ölçüde mimari tasarımı aşamasında sağlanması gerektiğini göstermektedir; çünkü bina geometrisi bu aşamada şekillenmektedir. Mimari tasarım aşamasında deprem davranışına ters düşen bir biçimin seçimi büyük sorun oluşturmaktadır. Genelde depreme uygun olmayan bir geometri ile oluşan yapıyı taşıyıcı sisteme ve hesaplamalara ağırlık vererek iyileştirmek, son derece zor ve pahalı çözümlere yol açmakta, bir çok durumda ise olanaksız olmaktadır. Yapının mimarisine depremdayanım açısından itiraz eden iyi bir statikçi soruna çözüm getiremediği gerekçesiyle çoğu kez dışlanmaktadır. Bu çarpık uygulamaların ve çoğu yapı mühendisinin deprem dayanımı ve davranışı ile ilgili yeterli bilgiye sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Deprem davranışının bilincinde olan bir mimarın bazı kısıtlamalara karşın istenilen estetik ve fonksiyonu sağlayabileceği bir gerçektir[19]. Depreme dayanıklı bina, mimari projenin düzenli, sorun yaratmayacak bir taşıyıcı sistem oluşturulmasına olanak sağlayacak biçimde, ilgili uzmanların işbirliği ile başlanması ve gelişmesi ile tasarlanabilir. Çoğu zaman yapıldığı gibi, deprem ve diğer tehlikeler göz önüne alınmadan biçimlendirilen mimari projeyi yapı mühendisine vermek, taşıyıcı sistemi düzenleyecek uzmanı hesap makinesi gibi görmek, düzeltilmesi olanaksız olumsuz sonuçlar yaratır. Yapı ancak çeşitli uzmanların az ya da çok katkısı, işbirliği ile gerçekleştirilecek bir bütün olarak ele alınca işlevsel, estetik ve güvenli olabilir [7].

Nervi'ye göre bir uçak şekillendirilirken aerodinamiğin temel ilkelerine ters düşen bir geometri söz konusu olamaz. Örneğin hiçbir tasarımcı uçak gövdesini dikdörtgen prizma şeklinde yapmaz. Nervi'ye göre deprem bölgelerinde yapıların tasarımı da depreme dayanıklı yapı ilkeleri, uçak için aerodinamik ne kadar önemliyse o kadar önemlidir. Bazı mimarlar deprem dayanımı için önerülen temel ilkeleri yaratıcılığı kısıtlayan faktörler olarak görme yanlılığına düşmektedirler. Halbuki bu kuralların genelde uygulandığı ABD, Japonya gibi ülkelerde depremden dolayı gelen kısıtlamalar ile yaratıcı mimarinin yok edildiğini söylemek mümkün değildir. Deprem davranışının bilincinde olan bir mimarın bazı kısıtlamalara karşın istenilen estetik ve fonksiyonu kolaylıkla sağlayabileceği bir gerçektir [19].

En kuvvetli depremlere karşı bile yüzde yüz dayanıklı olacak bir binanın tasarlanması mümkün olup olmadığı sorusu üzerinde düşünmek oldukça ilginçtir. Bu tür yapıların tasarlanması mümkün olduğu doğrudur. Ancak şu da belirtilmelidir ki, bütün yapıların bu şekilde tasarlanması ekonomik değildir. Çünkü maksimum büyüklükteki depremler, çok büyük bir olasılıkla, bunlardan çoğunun kullanım sürecinde gerçekleşmeyeceklerdir. Yüzde yüz güvenli ke tasarlanan sadece nükleer güç istasyonları gibi özel yapılardır. Diğer yapılar için, maksimum olası depremler göz önüne alınarak, bazı kontrollü hasar hesapları, ekonomik tasarımları sırasında düşünülmüştür; ancak bunların hiçbirinin tasarımı felsefesinde toptan bir yıkma yer bırakılmamıştır.

Türkiye geçmişte pek çok can ve mal kaybına neden olan depremler geçirmiş, gelecekte de geçirecektir. Bu durumda depreme karşı önlem alınması ve yapı hasarlarının önlenmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Ancak gelinen noktada hedef saptırılmaktadır. Binanın durumu ve buna karşı yapılması gereken çalışmalar ikinci plana itilerek, uzun süre fayın Marmara'da 'tek mi, çift mi' kırılağı tartışmaları üzerinde durulmuştur. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nden uzunca bir süre geçmesine karşın İstanbul'da mevcut binastogunun tespit ve değerlendirilmesine yönelik sistematik bir çalışma başlatılmamıştır [16].

Deprem sonrası diğ er bir yanlış da kötü örneklerin ış ığında betonarme nin yetersizli ğ i konusunda ortaya çı kmış , ahş ap ve ç elik ö ne ç ı karılmak istenmiştir. Betonarme yapıların dayanıklılı ğ ının sağ lanması yolunda diğ kate alınması gerekli ilke ve ayırntı kurallarının çok fazla oldu ğ u şeklinde abartma ifadeler kullanılmaktadır. Küçük bir diğ ketsizli ğ in büyük bir yapı kusuru anlamına gelebilece ğ i ve ciddi bir hasar kayna ğ ı oluşturabilece ğ i ve bu özelli ğ yle betonarmeden uzak durulması gere ğ i taraftar bulmaktadır. Oysa betonarmede süreklili ğ in artırılması nı n sağlayacağı dü ğ ümnoktası oluşturulması, kolonları n göç me konumuna girme mesisi nin ve kısa kolon etkisi yaratılma ması nı n sağ lanması, planda ve yükseklik boyunca geometrik düzensizliklere meydan verilme mesi, malzeme kalitesinde diğ katli olunması gibi çok bilinen kurallara uyulması hiç de zor de ğ ildir. Orta karar bir bilgi düzeyinde bile iş e profesyonel ciddi yetle yaklaşıld ığında bunların hepsi kolayca sağlanır. Fakat olay mutlak bilgisizlik ile tam bir profesyonellik ciddi yetsizli ğ in kesiti ne yerleşmiştir. Eleştirilmesi gereken betonarme de ğ il bu bilgisizlik ve ciddi yetsizli ğ in ürünü olan kötü betonarme olmalıdır. Güncel koşullar altında ve mevcut yapılaş ma düzeninde büyük kentler için betonarmenin yetersizli ğ i tartışmak mümkün de ğ ildir; hatalı üreti m ve yapı m her malzeme de sorunlara yol açmaktadır. Hangi malzeme seç ilirse seç ilsin yapı mda gerekli özeni n gösterilmesi tüm sorunları ortadan kaldırmaktadır. Betonarme binalar da ki olumsuzluklar malzeme den de ğ il, tasarımı ve yapı m hataları ndan kaynaklanmaktadır. Üstelik betonarmenin diğ er yapı m elemanlarına göre birçok üstünlü ğ ü vardır: bilinenlerin yanı nda monolitik davranış gere ğ i yetersiz ya da taşıma gücüne ulaş mış eleman/ elemanların yükünün/ yüklerinin komş u elemanlara aktarılması/ paylaşılması, malzemenin ek güvenlik sağlayan ö ne mli bir özelli ğ i dir [16].

Betonarmeye dıştan haksız ve acele olarak getirilen eleştiriler kadar tehlikeli bir eğ ilim ise teknik ortamda betonarmeye yönelik tutarsız bir mazeret arayışıdır. Depremi n felaket mertebesinde büyüklü ğ ü, buna hiçbir ülkedeki hiçbir yapı mın dayanamayacağı, ciddi yetten uzak bir kandır macadır. Yerle bir olmuş yapıların he men yanı nda çok az hasarlı yapılar var ise, orada bazı betonarme yapılar da ki bozuklu ğ un, kalitesizli ğ in bedeli ni n ödendi ğ i çok açıktır.

Türkiye’deki inşaat sektörüne yaşanan son depremler sonrası yeni yapı m sistemlerini ve malzemelerini gir mesi gereği ortaya çı kmıştır; bu durum ol unlu ol makla birlikte, sektörde yeni sistem ya da malzeme arayışları yerine, mevcut yapı sistemlerinin ‘uygun kullanı m’ yol una gi dil mesi daha öne mli görün mektedir. Yeni sistemlerin uygulayıcılarının yalnızca belirli bir yapı stoğuna hizmet edebileceği açı ktır. Sorunun sıkça yinelenen hatalardan kaynaklandığı nın bilin mesi ve çözümün ise basit oldu ğu kavranmalıdır [1].

Yaşanan depremlerden dersler çık ar mak mümkün ve zorunludur. O uş an deprem hasarları projelendir me ve yapı m aş a malarında mühendislik kurallarına uyul masından kaynaklanmaktadır. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi’ndeki el verişsiz ze min koşullarının yol açtığı sıvılaş ma dışında, aynı yapı m hatalarının sürüp gittiği gör ülmektedir. Yaşanan ileri teknoloji çağ ında özellikle büyük kentlerde kaliteli beton üreti mi artık sorun ol maktan çık arılmalıdır. Son Afyon depreminde, malzeme ve yapı m hataları bir kez daha ortaya çı kmış, yaşanan büyüklükteki bir depremi çin akıl al maz hasarlar oluş muştur [16]. Tüm bunlardan ders alarak, geç miş depremlerden elde edilen deneyimler sonucu betonarme yapılarda dikkat edil mesi gerekli durumlar aşağı da sıralanmıştır:

- Düzenli bir taşıyıcı sisteme olanak veren düzgün bir plan esas alınmalı, girinti ve çıkıntılar yönet meli sınırlarında tut ulmalı, buna uygun yerlerdeki derzlerle deprende ol unsuz davranış göster meyecek bloklara ayrılmalıdır.
- Birbirini izleyen katlar arasında ani rijitlik dayanı m değ işikli ği ol namalı, zayıf ve yumuşak katlar yaratıl namalıdır.
- Kat döşemesi diyafram etkisi yapabil meli, döşemede büyük boşluklar bulunmalıdır.
- Taşıyıcı sistemde bazı kolonların kısa kalması önlenmeli, bu durumun taşıyıcı ol mayan duvarlarla da meydana gel mesine dikkat edil melidir.
- Katların birbiri ne göre yatay yer değ iş tir meleri sınırlı tut ulmalı, bunun iç in de yeterli/gerekli rijitlik sağ lanmalıdır.
- Taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi yüksek olmalıdır.
- Bitişik binalarda kat düzeyleri aynı olmalı, farklı yapı maları zorunlu ise, bırakılan derz çarpış mayı önleyecek değ erde olmalıdır.

- K t le merkezi ile rijitlik merkezlerinin farklı oluşu, yapıya gelen deprem kuvvetlerinin yapıyı düşey bir eksen çevresinde döndürmesi (burulmaya) sebep olmaktadır. Burulmayı önlemek amacıyla katlarda rijitlik ve ağırlık merkezleri elden geldiğince birbirine yakın olmalıdır.
- Taşıyıcı sistem bakımından düzensiz binaların yapı m ndan kaçınlmalıdır. Yatay yüklerin güvenli bir Şekilde karŐılanabilmesi için her iki doğrultuda da yeterli rijitlikte bir taşıyıcı sistem düzenlenmiş olmalıdır.
- Yapı taşıyıcı sistemini oluşturan tüm kolon ve perdeler en az iki doğrultuda bağlanmalıdır. Konsollar nedeniyle bir doğrultuda bağlanmayan kolonlardan mümkün olduğunca kaçınlmalıdır.
- İskelette eksenlerdeki sapmalar, bina eni ya da boyunca devam etmeyen, döşeme ile biten çerçeveler önlenmelidir.
- D ğ mnoktalarında kolonlarıntaŐıma gücü momentlerini toplama, kirişlerinin taşıma gücü toplamından daha büyük olmalıdır (rijit kolon-zayıf kiriş).
- Yapının tüm düşey taşıyıcı elemanları zemine kadar inmelidir, temele oturmalıdır. Konsol ya da kirişe oturan, temele kadar inmeyen kolonlar özellikle depremin düşey bileŐeni altında tehlike kaynağı oluşturmaktadır.
- Bina da taşıyıcı olmayan duvarlar da kalınlıkları, iskelete bağlanmaları, sistemin depremdavranıŐına etkileri açısından değerlendirilmelidir.
- Seçilen taşıyıcı sistem malzemesinin ve uygulama iŐçiliklerinin iyi kalitede olması sağlanmalıdır.
- Kiriş-kolon birleşim bölgeleri deprem bölgesinde en çok zorlanan yerler olduğundan bu bölgelerde donatıların yerleŐtirilmesine, kenetlenmesinin sağlanması ve kolon etriyelerinin devamına  zen gösterilmelidir.
- Her sistemin malzemesine, özelliklerine uygun ayrıntılara  zen gösterilmeli, tasarımı eksiksiz yapılmalıdır.
- Betondan beklenen sünek davranış için üretimi sırasında betonun öngörülen dayanımı sağlanması na dikkat edilmelidir.
- Temel zeminini üst yapının önemi ne uygun olarak incelenmeli, yapı yerinin değiştirilmesi dahil, gerekli önlemler alınmalıdır.
- İyi yapılan bir tasarımın, ancak iyi uygulandığı zaman gerçek değerini bulacağı gözden uzak tutulmalıdır [7].

Son depremleri nişığında yapılaşmaya bazı kısıtlamaların ve yaptırımların getirilmesi zorunludur. Bilinen teknik yetersizlikler nedeniyle Afyon Çay'da 8 katlı, Adana Ceyhan'da 10 katlı konut binalarının inşa edilmesinin gereğini anlamak mümkün değildir. Kentlerdeki teknik kadro ve olanaklara göre kat sayıları belirlenmeli yüklenicilere de yeterlik belgesi verilmelidir. Dökülen betonarme betonlarından numune alınması ve dayanımölçümü yapılması basit bir işlemdir. Çay'da tek katlı sanayi sitesinin çökmesini, alüvyonlu zemine indirmek mümkün değildir; suç tümüyle mühendislik hataları ve malzeme kalitesinden kaynaklanmaktadır. Mevcut yapı stoğunun tespiti ve değerlendirilmesine yönelik çalışmaların zamanı tirilmeden başlatılması zorunludur. Bunlara dayanarak kentteki binalarda yoğun bir onarım ve güçlendirme kampanyası başlatılmalıdır. Aşırı zayıflıklar belirlendiğinde, sınırlı harcamalarla hiç olmazsa sistemin ayakta kalması sağlanabilir [16].

1999 Marmara depremi sonrasında denetim düzenini tümüyle değiştiren 595 sayılı kanun hükmünde kararneme, ilgili çevrelerden yoğun tepki almış ve Anayasa Mahkemesi tarafından iptal edilmiştir. Bunun üzerine yasa yumuşatılarak 4708 sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanun çıkarılmıştır; bunun eksiklikleri bir yana iller bazında uygulamalarının sınırlı tutulması uygun görünmemektedir [16].

Yaşanan depremler ve bilgilerinişığında, depremyönetmeliği 1997 yılında kapsamlı değişikliklerle yenilenerek 1 Ocak 1998'de yürürlüğe girmiş, TS 500'le (Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) bağdaştırılması sağlanmıştır. Bu yönetmelik eski yönetmeliklerle karşılaştırıldığında çarpıcı bir durum ortaya çıkmaktadır. 1. derece deprem bölgesinde 100 m²'lik 5 katlı bir konut göz önüne alınırsa, bunun toplam ağırlığı yaklaşık 500 ton'dur. Bu binanın depremhesabında ilgili yönetmeliklere göre alınması gereken yatay yükler;

- 1968 yönetmeliğine göre 30 ton,
- 1975 yönetmeliğine göre 50 ton,
- 1997 yönetmeliğine göre de 60-90 ton (zemin durumuna göre)

şeklinde dir. 1999 Marmara depreminde sağlam zeminde 65-95 ton, alüvyonlu zeminde ise 125-160 tonluk bir yatay yükle karşılaşmıştır. Buna göre 1968 yönetmeliği koşullarında hesaplanan binaya yaşanan 1999 Marmara depreminde,

hesapta öngörülenin 5 katı zorlanma gelmiştir. Mühendislik kabul ve kuralları içinde tasarlanan sistemlerin, proje koşulları ötesindeki bu aşırı artışı karşılaması mümkün değildir [16].

Bu değerlendirmelerin ışığında eski yönetmelikler kapsamında projelendirilen ve yapılan binaların, 1999 benzeri bir depremde ayakta kalma şansı çok düşüktür. Ortaya çıkan hasar ve can kayıplarında eski yönetmeliklerdeki yetersizliklerin payı büyüktür. Eski yönetmeliklerde en küçük eleman boyutları da çok küçüktutulmuştur. 20 cm x 20 cm boyutunda pek çok kolon yapılmıştır; bunların hepsi bugün birer soruna dönüşmüştür [16].

Türkiye’de deprem yönetmeliğinin yaygın olarak kullanılması hiçbir zaman sağlanmadığı için mevcut yapıların büyük çoğunluğu yeterli bir depremden dayanma taşınamaktadır. Son yıllarda gerçekleşen depremler bu durumu açık ve acı bir biçimde ortaya koymuştur. Bunun dışında ülkedeki binaların büyük bir bölümünde yapıma ilişkin tutarlı proje yoktur, varsa da projeye uygun yapıp yapılmadığı belli değildir. Pek çok binaya projesi dışında kat/katlar eklenmiştir. Daha da kötüsü bu duruma hastane ve kamu binalarında da rastlanmaktadır. Projesine uygun yapılan eski (özellikle 1975’den önceki) binalarda da yönetmelik yetersizliklerinden kaynaklanan olumsuzluklar söz konusudur. Bu kadar geniş tutarsızlık ortamında, uygun bir çalışma düzeni aramıp çözümleri bulunmalıdır. Bu doğrultuda öncelikli çalışma mevcut konut stoğunun niteliklerinin tespiti dir. Bunun için de tek tek her binanın incelenmesi gerekmektedir. Bu uzun süreli bir iş tir, ancak bir yerden ve i v e d i olarak başlanmalıdır. Bu kapsamda her şeyi yönetimden beklemek yerine, mülk sahiplerinin de çaba göstermesi gereği açıktır. Mevcut durum bir tür seferberlik ilanı nı gerektirmektedir [16].

Yaşanan depremlerde mevcut afet yönetimi sisteminin de yetersiz olduğu belirlenmiştir. ‘Depremle birlikte yaşamak’ sloganı ortaya atılmış, buna yönelik kapsamlı bir çaba gösterilmemiştir. Her kesi mde/ düzeyde eğilim hep deprems onrası çalışmalara yöneltilmiş, deprem öncesi ne ilişkin yeterli ölçüde fikir üretilmemiştir. Deprem öncesi yapılan yatırım sonrasında çok daha büyük kayıplara yol açmaktadır; bu kayıpların maddi yanı ndan ö t e kaçınıl mayan can kaybına dönüş mesi konunun önemi ni artır maktadır [16].

Ülke genelinde yapılaşma ve yapımsistemini değerlendirme ve bunun ışığında yön belirlenme zamanı gelmiştir. Geçmişe bakıldığında sistem son derece başarısızdır, sağlıklı bir düzen kurulamamıştır. Yaşanan sorunları, suçu sadece yüklenicilere atarak geçiştirme mümkün değildir. Ortaya çıkan olumsuzluklarda sistemi oluşturan zincirin her halkasının payı vardır.

Yaşanan felaketlerin gelecekte gerçekleşmesi kaçınılmaz olan depremlerde yeniden yaşanılması istenmiyorsa, varolan yapıların deprem dayanım bakımından değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi konusunu öneme ele almak, gerekli parasal kaynakları ayırmak, gerekli örgütlenmeyi ve bunun için de gerekli eğitim programlarını ivedilikle gerçekleştirmek önemli bir zorunluluktur. Depremler önlenemez ama depremde can ve mal kayıpları en aza indirilebilir. Bu işin çözümü de depreme dayanıklı yapı tasarımı ve üretimi ile etkin bir tasarım-yapım denetimi sistemidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Özgen, K, Gıllı, F., Çelik, O C,** 2000. İzmit depreminde gözlemler, Yapı Dergisi, 218, s. 65-76
- [2] **Tuna, ME,** 2000. Depreme dayanıklı yapı tasarımı, Ankara
- [3] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1997. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, Ankara
- [4] **Özgen, K,** 2001. Betonarme sistemlerde iyileştirme ve güçlendirme esasları, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri, İTÜ İstanbul, 14-16 Mart, s. 102-111.
- [5] **Tezcan, S,** 1998. Depreme dayanıklı tasarımı için bir minarın seyir defteri, Özyurt Matbaası, Ankara.
- [6] **Gorevski, M,** 2000. 17 Ağustos depreminde yapıların uğradığı strüktürel hasarın analizi, Depremle Yaşamak Semineri, İTÜ İstanbul, 3 Mart, s. 13-26
- [7] **Aka, İ., Gıllı, F., Çelik, O C,** 2001. Depreme dayanıklı bina tasarımı ve uygulaması, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri, İTÜ İstanbul, 14-16 Mart, s. 9-21.
- [8] **Taşdemir, C,** 2001. Agregatür ve boyutunun betonun mekanik özelliklerine ve durabilitesine etkisi, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri, İTÜ İstanbul, 14-16 Mart, s. 73-88
- [9] **Kubın, J,** 1999. Bir Felaketin Ardından, Sanal Gazete, Eylül 99, İstanbul.
- [10] **Kasap, H,** 1995. Dinar depremi ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.
- [11] **Ansal, A,** 1999. Depremde yerel zemin tabakalarının davranışları, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, MİSA Yayıncılık, Ankara, s. 65-77.
- [12] TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 1999. Deprem İstanbul Bülteni, s. 7-33.
- [13] **Özgen, K,** 1992. Konsol ucunda kolon uygulamaları, Yapı Dergisi, 123, s. 75-76
- [14] **Sözen, M,** 1999. betonarme binaların depreme dayanıklılığı için bir alternatif mühendislik yaklaşımı, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, MİSA Yayıncılık, Ankara, s. 7-13.

- [15] **Öztekin, E.**, 2001. Yeni TS 500 ve TS 11222 ışığında nitelikli beton, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri, İTÜ İstanbul, 14-16 Mart, s.120-133.
- [16] **Özgen, K.**, 2002. Deprem Semineri, Yapımdan kaynaklanan hasarlar, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- [17] **Ersoy, U., Ersoy, A A.**, 1992. Binaların deprem dayanımında mimarinin önemi, Yapı Dergisi, **125**.
- [18] **Baytop, E.**, 2001. Betonarme'nin depreme dayanıklılığında uygulamanın önemi, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri, İTÜ İstanbul, 14-16 Mart, s. 22-28.
- [19] **Ersoy, U.**, 1999. Binaların mimarisinin ve taşıyıcı sisteminin deprem dayanımına etkisi, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, MESA Yayıncılık Ankara, s. 65-77.
- [20] **Sümer, M.**, 1995. Beton dayanımının yapı güvenliğine etkisi, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.
- [21] **Kubik, J.**, 1999. Tipik Deprem Hasarları ve Nedenleri, Sanal Gazete, Aralık 99, İstanbul.
- [22] **Çelik, O C, Gili, F., Özgen, K.**, 1998, Cantilevers in Reinforced Concrete Structures, 11th European Conference on Earthquake Engineering pp. 1-11, September, Paris.
- [23] **Öztürk, Ş.**, 1999. Depreme dayanıklı bina tasarımı konfigürasyonun önemi, İstanbul.
- [24] **Ersoy, U.**, 1992. Erzincan Depreminde Betonarme Yapılar, İMO Ankara Şubesi Yayını, Ankara.
- [25] **Özgen, K, Gili, F., Çelik, O C.**, 1992. Erzincan depreminden gözlemler, Yapı Dergisi, **129**, Ağustos 92.
- [26] **Atmaca, İ.**, 1998. Mevcut Betonarme binaların depremetkisindeki davranışının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] MMOB İnşaat Mühendisliği Odası İstanbul Şubesi, 1993. Erzincan Depremi, İstanbul.
- [28] **Özgen, K.**, 2002. Deprem bölgelerinde Yapı Üretim Paneli, Yapımdan Kaynaklanan Hasarlar Başlıklı Bildiri, 15-16 Şubat, YTÜ İstanbul.
- [29] [http:// www.johnmartin.com/eqshow/Wweqshow.htm](http://www.johnmartin.com/eqshow/Wweqshow.htm)
- [30] [http:// www.eerc.berkeley.edu/eqiis.htm](http://www.eerc.berkeley.edu/eqiis.htm)

ÖZGEÇMİŞ

İzmir 23 Şubat 1978 doğumlu HALİT COZA, ilk-orta ve lise eğitimi Denizli’de tamamladıktan sonra 1996 yılında Denizli Anadolu Lisesi’nden mezun olup İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık bölümünde eğitime başlamıştır. 2000 yılında bölümünü başarıyla tamamlayıp aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilgisi Programı’nda yüksek lisans yapmaya hak kazanmıştır.