

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

93709

**DEPREMLERİN YAPILARDA MEYDANA
GETİRDİĞİ HASARLARIN NEDENLERİ ve YAPI
TASARIMININ HASAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

İnş. Müh. Bilgehan BEKTAŞ

**F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Nilgün AKTAN

Prof. Zekeriya Polat

N. Aktan

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Prof. Dr. Metin Aydoğan

24/07/2000

İSTANBUL, 2000

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
SİMGE LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
TEŞEKKÜR.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. DEPREMLE İLGİLİ TEKNİK BİLGİLER	2
2.1 Deprem Nedir	2
2.2 Deprem Oluş Nedenleri	2
2.3 Deprem Türleri	6
2.3.1 Tektonik depremler	6
2.3.2 Volkanik depremler	6
2.3.3 Çöküntü depremleri	7
2.4 Deprem Parametreleri	7
2.4.1 Odak noktası	7
2.4.2 Dış merkez	7
2.4.3 Odak derinliği	7
2.4.4 Deprem eşşiddet haritası	8
2.4.5 Deprem şiddeti	8
2.4.6 Deprem büyüklüğü	10
3. DEPREMLERDE YEREL ZEMİN TABAKALARININ DAVRANIŞLARI	15
3.1 Giriş	15
3.2 Tekrarlı Gerilmeler Altında Zemin Davranışları	15
3.2.1 Zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışları	17
3.3 Zemin Yapı Etkileşimi	20
4. BETONARME YAPI ELEMANLARININ YÜK-DEFORMASYON ÖZELLİKLERİ ve SÜNEKLİK	22
4.1 Tersinir Yükler Altında Davranış	24
4.2 Sünek Davranışın Mikro davranışları	25
5. BİNALARIN DEPREM ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI	27
6. DEPREMİN YAPILARDA MEYDANA GETİRDİĞİ HASARLARIN OLUŞMA NEDENLERİ.....	29

6.1	Mimari ve Taşıyıcı Sistem Tasarımının Deprem Etkisine Uygun Olmamasından.....	31
6.1.1	Yapının plan üzerindeki düzensizlikleri	31
6.1.1.1	Burulma düzensizliği	31
6.1.1.2	Döşeme boşlukları düzensizliği	32
6.1.1.3	Plan geometrisi düzensizliği	34
6.1.1.4	Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmama düzensizliği	36
6.1.2	Yapının yükseklik boyunca düzensizlikleri	37
6.1.2.1	Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)	37
6.1.2.2	Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)	38
6.1.2.3	Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği	40
6.1.3	Kuvvetli kiriş-zayıf kolon davranışı	40
6.1.4	Kısa kolon oluşumu	41
6.1.5	Derz mesafelerinin yeterli olmaması	42
6.1.6	Yapının gereğinden fazla ağır olması	44
6.1.7	Merdivenlerde meydana gelen hasarlar	44
6.2	Boyut ve Donatı Yetersizliği	45
6.2.1	Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar	45
6.2.2	Kiriş ve kolon donatılarının aderans boyunun yetersiz oluşu	52
6.2.3	Kiriş ve kolonlarda yetersiz etriye ve çiroz kullanılması	59
6.2.4	Kolonlarda hasar biçimleri	63
6.2.5	Perde duvarlarındaki hasar biçimleri	65
6.2.6	Statik ve betonarme hesabının yetersiz olması	69
6.2.6.1	Kullanım amacının zamanla değişmesi	69
6.3	Denetimsizlik ve kötü malzeme kullanımı	69
6.3.1	Agrega nedeniyle yeterli kolon dayanımına ulaşılamaması	70
6.3.1.1	Agregada bulunması kısıtlanan maddeler	71
6.3.2	Beton karma suyu nedeniyle yeterli beton dayanımına ulaşılamaması	71
6.3.3	Betonun sıkıştırılması ve korunmasında yeterli özen gösterilmemesi	72
6.4	Taşıyıcı Olmayan Kısımlardaki Hasarlar	74
6.4.1	Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlar	74
6.4.2	Baca ve minare yıkılması	81
6.4.3	Yapı iç kısımlardaki estetik yapı elemanlarındaki hasarlar	82
6.4.4	Cephe kaplamaları hasarları	82
6.4.5	Pencere camları kırılma hasarları	83
7.	DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI	84
7.1.	Giriş	84
7.2.	Birinci Sorun: Deprem Yer Hareketi Şiddetinin Karmaşıklığı	84
7.3.	Çözüm: Elastik Deprem Spektrumları	85
7.4.	İkinci sorun: Elastik Deprem Kuvvetlerinin Yüksekliği	86
7.5.	Çözüm: Azaltılmış Tasarım Spektrumları	86
7.6.	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri	89
7.7.	Sorun: Tek Dereceli Basit Elasto-Plastik Yapı Modelinin Geçerliliği	89
7.8.	Çözüm: Kapasite Tasarımı	90
7.9.	Bir Uygulama Örneği	91
7.10	Depreme Dayanıklı Taşıyıcı Sistem Tasarımı.....	93
7.11	Taşıyıcı Sistem Seçimi.....	93
7.11.1	Çerçeve betonarme yapılar.....	93
7.11.2	Perde duvarlı betonarme yapılar.....	94

7.11.3	Perde duvarlı-çerçeveseli yapılar.....	95
7.12	Çerçeveseli Sistemlerin Tasarımı.....	96
7.13	Perde Duvarlı Sistemlerin Tasarımı.....	107
8.	SONUÇLAR.....	116
KAYNAKLAR.....		118
ÖZGEÇMİŞ.....		120



SİMGE LİSTESİ

A	Aynı kat döşemesinin, boşluklar dahil, brüt alanı
A_b	Bir kat döşemesindeki büyük boşluk alanlarının toplamı
A_d	Yığma bölme duvarlarının, pencere ve kapı boşlukları hariç, plandaki alanların toplamı
A_o	Kolon ve perde gövde alanlarının toplamı
B_a	a-a asal eksenini doğrultusunda toplam iç kuvvet
B_{ax}	x-yönü depremi için a-a asal eksenini doğrultusunda iç kuvvet
B_{ay}	y-yönü depremi için a-a asal eksenini doğrultusunda iç kuvvet
D_i	Ek dış merkezlik katsayısı
η_{bi}	Burulma düzensizliği katsayısı
η_c	Komşu katlar arası dayanım düzensizliği katsayısı
η_k	Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği katsayısı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1	Fay oluşumu.....3
Şekil 2.2	Elastik dalga türleri ve yayılma özellikleri.....5
Şekil 2.3	Depremi odak noktasına uzaklığının bulunması.....6
Şekil 3.1	Bolu ve Adapazarı depremlerinde sivilaşma nedeni ile yan yatan binalar.....18
Şekil 3.2	Zemin kayma mukavemetinin azalması nedeni ile binada oluşan oturmalar.....19
Şekil 3.3	Zemin yapı etkileşiminin değişik hassaslıkta modellenmesi.....21
Şekil 4.1	Çeşitli biçimde donatılmış betonarme elemanların yük-deformasyon özellikleri.....22
Şekil 4.2	Yapı elemanlarının enerji tüketme güçleri.....23
Şekil 4.3	Kırılgan ve sünek yapıların yatay yük altındaki davranışları.....23
Şekil 4.4	Histeresis eğrileri.....24
Şekil 4.5	Elemana uygulanan ve tüketilen enerji.....25
Şekil 4.6	Değişik özellikteki yapı elemanlarının histeresis eğrileri.....25
Şekil 4.7	Çelikte yük altında kristal yapılarda değişimler.....26
Şekil 5.1	Deprem hareketinin etkisi ile yapıdaki kuvvetler ve hareketler.....27
Şekil 5.2	Depremde yapıya etkiyen atalet kuvvetinin büyüklüğü.....28
Şekil 6.1	Yapıda burulma etkisinin oluşması.....31
Şekil 6.2	Rijit ve esnek kat döşemelerinin kat kuvvetleri altında şekil değiştirmesi.....33
Şekil 6.3	Döşeme boşlukları düzensizlikleri.....33
Şekil 6.4	Döşeme boşluğu düzensizliği.....34
Şekil 6.5	Kanatlı yapıda kanatların deprem hareketine farklı yanıtları.....35
Şekil 6.6	Kanatlı yapılarda burulma ve gerilim birikimleri.....35
Şekil 6.7	Deprem açısından uygun ve uygun olmayan yapı dış planları.....36
Şekil 6.8	Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmama düzensizliği.....37
Şekil 6.9	Komşu katlar arası dayanım düzensizliği.....38
Şekil 6.10	Koşu katlar arası rijitlik düzensizliği.....38
Şekil 6.11	Esnek yapılarda aşırı yatay ötelenmeden yıkılma.....39
Şekil 6.12	Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği.....40
Şekil 6.13	Düğüm noktasına etkiyen taşıma gücü momentleri.....41
Şekil 6.14	Kat düzeyi aynı olmayan komşu yapılarda çarpma ile kolon hasarı.....43
Şekil 6.15	Kat döşemeleri aynı düzeyde ancak kat sayıları farklı komşu yapıların etkileşmesi.....43
Şekil 6.16	Merdiven ve sahanlık kirişinin yarattığı kısa kolonlar.....43
Şekil 6.17	Merdivenlerde deprem hasarını önleyecek ayrıntılar.....46
Şekil 6.18	Göçme mekanizması türleri.....46
Şekil 6.19	Dış aks kolonlarında dış yapılması.....47
Şekil 6.20	Kolonda burulma etkisi yaratacak sakıncalı bir kolon-kiriş ek yeri bağlantısı.....47
Şekil 6.21	İyi ve kötü kolon-kiriş bağlantısı.....48
Şekil 6.22	Maksimum kolon-kiriş ek yeri eksantrisitesi.....49
Şekil 6.23	Geniş kirişin dar kolonla birleşimi.....49
Şekil 6.24	Yüksekliği değişen kirişin kolonla birleşimi.....50
Şekil 6.25	Ek yerinde etriye olmadığı için boyuna donatının dışarıya burkulması.....50
Şekil 6.26	Kolon-kiriş ek yerinde hasar.....51
Şekil 6.27	Ek yeri hasar şekilleri.....52
Şekil 6.28	Betonda aderans zayıflaması.....54
Şekil 6.29	Aderans zayıflaması.....54

Şekil 6.30	Kancanın geometrisi nedeni ile oluşan gerilme birikimi ve betonda oluşan hasar.....	55
Şekil 6.31	Kenar kolona saplanan kiriş donatısında kanca sorunu.....	55
Şekil 6.32	Kanca yapılması nedeni ile kabuk betonda meydana gelen hasar.....	56
Şekil 6.33	Bindirmeli ek yerinde donatılardaki gerilmeler.....	57
Şekil 6.34	Bindirme bölgesindeki beton ara kesitteki gerilmeler.....	57
Şekil 6.35	Çekme kuvvetleri taşıyan donatıların bindirme bölgesi betonunda oluşturdıkları çatlaklar.....	57
Şekil 6.36	Çekme ekleri taşıyan şaşırtmalı bindirmeli donatı ekleri.....	58
Şekil 6.37	Kolonda bindirmeli ekler nedeni ile betonda oluşan hasarlar.....	59
Şekil 6.38	Etriyein çekirdek betona uyguladığı yanal basınç.....	61
Şekil 6.39	Kolon çekirdek betonunun kısıtlanması için etriye yerleştirme biçimleri.....	61
Şekil 6.40	Enine donatılarının miktar ve yerinin betona verdiği yanal basınç dağılımı üzerinde etkisi.....	62
Şekil 6.41	Kolonda mafsallaşma hasarının ileri aşamaları.....	63
Şekil 6.42	Kolonda kesme hasarı.....	63
Şekil 6.43	Kolon üst başında ileri derecede kesme kırılması.....	64
Şekil 6.44	Kolonda ileri derecede kesme kırılması.....	64
Şekil 6.45	Betonarme kolonda basınç kırılması aşamaları.....	64
Şekil 6.46	Kolonda burulma hasarları.....	65
Şekil 6.47	Alçak bir binanın perde duvarında deprem çatlakları.....	65
Şekil 6.48	Yüksek bir binanın perde duvarında oluşan eğilme çatlakları.....	66
Şekil 6.49	Perde duvarların hasar biçimleri.....	67
Şekil 6.50	Burulma çatlakları oluşmuş bir perde duvar.....	67
Şekil 6.51	Boşluklu perde duvarların yatay kuvvetler altında davranışı ve oluşan çatlaklar.....	68
Şekil 6.52	Bağ kirişlerinin donatı yerleştirme biçimlerinin davranış üzerindeki etkisi.....	68
Şekil 6.53	Dolgu duvarların çerçevenin yatay yükler altındaki davranışına etkisi.....	75
Şekil 6.54	Dolgu duvarların çerçeve ötelenmesinden etkilenmeyecek biçimde tasarımı.....	75
Şekil 6.55	Duvarın düzlem dışına devrilmesini önleyecek detaylar.....	76
Şekil 6.56	Dolgu duvarda elektrik tesisat borusu üzerinde sıva çatlağı.....	76
Şekil 6.57	Dolgu duvar, çerçeve arasında sıva çatlağı.....	76
Şekil 6.58	Dolgu duvar, çerçeve arasında sıva çatlağı.....	77
Şekil 6.59	Dolgu duvarda sıva ve duvar hasarı başlangıcı.....	77
Şekil 6.60	Dolgu duvarda ileri düzeyde hasar.....	77
Şekil 6.61	Yüksek dolgu duvarda üst sıraların devrilmesi.....	78
Şekil 6.62	Pencere boşluğu olan dolgu duvarda hasar.....	78
Şekil 6.63	Boşluklu dolgu duvarında değişik hasar.....	78
Şekil 6.64	Çerçeve tarafından tam olarak sınırlanmamış duvarın yana kayması.....	79
Şekil 6.65	Betonarme çerçeve tarafından sınırlanmamış duvarlarda hasar.....	79
Şekil 6.66	Düzlemi dışına devrilme olasılığı yüksek dolgu duvarlar.....	80
Şekil 6.67	Konsol çıkmalarda dış duvar hasarı.....	80
Şekil 6.68	Düzce depreminde hasar gören bir minare.....	81
Şekil 6.69	Asma tavanların çerçevenin ötelenmesinden etkilenmeyecek biçimde yapımı.....	82
Şekil 6.70	Depremde yıkılma olasılığı yüksek bir cephe detayı.....	83
Şekil 7.1	İzmit depreminde farklı zeminlerde kaydedilen yer hareketleri.....	85
Şekil 7.2	İzmit depremi yer hareketlerinin elastik yatay kuvvet spektrumları.....	86
Şekil 7.3	Tek dereceli elasto-plastik sistem modeli.....	87

Şekil 7.4	İzmit depremi yer hareketlerinin elasto-plastik yatay kuvvet spektrumları ($\mu=4$).....	87
Şekil 7.5	Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım Spektrumları.....	88
Şekil 7.6	Farklı yapı türlerinin yıkılma özellikleri.....	91
Şekil 7.7	Ceyhan' da bir bina örneği ve elasto-plastik itme analizi sonuçları.....	92
Şekil 7.8	Taşıyıcı sistemlerinin yatay yükler altındaki idealleştirilmiş davranışları.....	94
Şekil 7.9	Planı ve taşıyıcı sistemi düzensiz yapı.....	96
Şekil 7.10	Açıklıkları farklı çerçeveler için değişik çözümler.....	97
Şekil 7.11	Deprem açısından uygun olmayan kolon yerleştirme biçimi.....	97
Şekil 7.12	Deprem açısından uygun kolon yerleştirme biçimi.....	97
Şekil 7.13	Kiriş akslarının şaşırtmalı olması sonucu kolonların gereğinden büyük olması.....	98
Şekil 7.14	İşaretlenen kolonlar bir yönde kirişlerle bağlanmadıkları için zayıf çerçeve oluşmaktadır.....	99
Şekil 7.15	Salon köşesinde kirişlerle bağlanmamış kolon, çıkmalardan gelen burulma etkisi altında. Çerçeve sistemine bağlanmamış.....	99
Şekil 7.16	Çerçeve sisteminin seçiminde dikkat edilecek noktalar.....	100
Şekil 7.17	Zemin katı esnek yapı davranışına yol açan çerçeveli yapı tasarım ve yapım yanlışları.....	100
Şekil 7.18	Yatay ötelemelerden oluşan ikinci mertebe momentlerin oranı.....	101
Şekil 7.19	Kolon çıkmaların uçlarının kolonlu yapılması sonuçları.....	102
Şekil 7.20	Çerçeve açıklıklarının yatay deprem yüklerinden gelen kolon düşey yükleri üzerindeki etkisi.....	103
Şekil 7.21	Eşit açıklıklı çerçevede, orta akstaki derin kirişler nedeniyle rijitliğin artması.....	104
Şekil 7.22	Düzensiz çerçeveli taşıyıcı sistemler.....	105
Şekil 7.23	Kirişlerin kolonlardan daha rijit olduğu çerçeveli yapılarda, yatay yüklerden oluşan momentlerin ve ötelemelerin dağılımı.....	105
Şekil 7.24	Kolonların kirişlerden rijit olduğu çerçeveli yapılarda, yatay yüklerden oluşan moment ve ötelemelerin dağılımı.....	106
Şekil 7.25	Kiriş ve kolon boyutlarının mafsallaşma üzerindeki etkileri.....	106
Şekil 7.26	Sakarya hükümet konağında burulma etkisi yaratan eksantrik perde duvarları, merdiven ve asansör boşluğu.....	107
Şekil 7.27	Burulma etkisi yaratacak perde duvar konumları ve ek perde duvarlarla burulmanın önlenmesi.....	108
Şekil 7.28	Perdeli-çerçeveli yapılarda perde duvar yerleştirme biçimleri.....	108
Şekil 7.29	Perde duvarların yapı planında yerleştirme kuralı.....	109
Şekil 7.30	Perde duvarların yatay yüklerin aktarılmasında zorlanacağı yerleştirme biçimi.....	109
Şekil 7.31	Planda perde duvarların yerleştirme biçimi.....	110
Şekil 7.32	Perde duvarların yükseklik boyunca dağılımı.....	110
Şekil 7.33	Perde duvarları zemin katta kolonlara dönüştüğü için hasar görmüş yapı.....	111
Şekil 7.34	Çok sakıncalı boşluklu perde duvar biçimleri.....	111
Şekil 7.35	Perde duvar ve çerçeveli yapıların yatay yükler altındaki ötelemeleri.....	112
Şekil 7.36	Perdeye düşen yatay kuvvet payının yapı yüksekliği ile değişmesi.....	112
Şekil 7.37	Perde boyutlarının değişmesi ile 4 ve 8 katlı yapılarda perdeler gelen yatay kuvvet payının katlara göre değişimi.....	113
Şekil 7.38	Çerçeveli taşıyıcı sistemle yetersiz biçimde bağlanmış perde duvarlı yapı, perde duvarlar tek yönde.....	114
Şekil 7.39	Süs olarak yapılmış ve zemin katta kesilmiş perde duvarlar yapının zemin katı esnek yapı olarak davranmasına neden olmuştur. Erzincan Vakıf İşhanı 13 Mart 1992 depreminde yıkılmıştır.....	115

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1 Türkiye’ de 1894-2000 arası önemli depremler.....	12
Çizelge 6.1 Beton basınç dayanımının değerleri.....	73



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında, bana yol gösteren değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Nilgün AKTAN' a ve maddi, manevi her türlü desteği benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Bilgehan BEKTAŞ

İstanbul-2000

ÖZET

Türkiye, dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle ülkemizde zaman zaman oluşan çeşitli şiddetteki depremler, önemli ölçüde can ve mal kaybına neden olmuştur.

Deprem, doğal afetlerin en önemlisidir. Depremlerin oluşumu, türleri ve deprem parametreleri bu çalışmada kısaca anlatılmıştır. Türkiye’ de meydana gelen yıkıcı depremler kronolojik sırada verilmiştir.

Depremi en acı sonucu, insanların kendi yaptıkları binaların yıkıntılarında hayatlarını kaybetmeleridir. Çalışmada izlenen ana konular:

- Depremi sebep olduğu hasarlar ve deformasyonlar;
- Betonarme yapı elemanlarının depremlerde davranışı;
- Depremlerde yapısal hasarlar ve hasarların önlenmesi;
- Depreme dayanıklı yapı tasarımı

Hasarların ve yapıların yıkılmasıyla meydana gelen can kayıplarının yaygın olması nedeniyle, betonarme yapıların yapımında gerçekçi bakış açıları ile ayrıntılara gereken önem verilmelidir.

ABSTRACT

Turkey is located on one of the active earthquake zones of the world. The severe earthquakes that occur frequently cause important damage and loss of life.

Earthquake is one of the most important disasters. The formation, kinds and parameters of earthquakes are briefly explained in the present study. The most severe earthquakes that occurred in Turkey are given chronologically.

The number of dead and injured people in Turkey is relatively much more than that in the other earthquake countries due to buildings that are irrationally constructed. The following subsubjects are studied:

- Damages and deformations that earthquakes cause;
- Behaviour of reinforced concrete structural member in earthquakes;
- The building damages and resources in earthquakes;
- The design essentials of the earthquake resistant structures.

Since the damages and loss of life extensively due to the performances of structures the rational aspects and details that must be considered in the reinforced concrete buildings case are emphasized.

1. GİRİŞ

Dünya' nın oluşumundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde depremilerin sürekli meydana geldiği ve sonucundan da milyonlarca insanın ve barınakların yok olduğu bilinmektedir.

Yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir.

Deprem Bölgeleri Haritası' na göre, yurdumuzun %92' sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95' inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98' i ve barajlarımızın %93' ünün deprem bölgesinde olduğu bilinmektedir.

Ülkemizde, devam eden hızlı nüfus artışı ve iç göçler nedeni ile ortaya çıkan hızlı şehirleşmenin bir sonucu olarak, şehirlerimizde yerleşme ve yapılaşma konularında etkin denetim yapılamamaktadır. Bu durum çarpık şehirleşmeye ve depreme dayanıksız yapılara yol açmaktadır. Bu çalışma, depremin yapılarda meydana getirdiği hasarların nedenlerini ve bu hasarlara karşı yapılan çalışmalar ışığında önlemler alınarak depremlerin meydana getirdiği zararların en aza indirilebileceğini içermektedir.

2. DEPREMLE İLGİLİ TEKNİK BİLGİLER

2.1 Deprem Nedir?

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına “DEPREM” denir.

Depremın nasıl oluştuğunu, deprem dalgalarının yeryüzünde ne şekilde yayıldıklarını, ölçü aletleri ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve deprem ile ilgili diğer konuları inceleyen bilim dalına “SİSMOLOJİ” denir.

2.2 Depremın 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 70-100 km. kalınlığında oluşmuş bir taşküre (Litosfer) vardır. Kıtalar ve okyanuslar bu taşkürede yer alır. Litosfer ile çekirdek arasında kalan ve kalınlığı 2900 km. olan kuşağa “Manto” adı verilir. Manto’ nun altındaki çekirdeğin Nikel-Demir karışımından olduğu kabul edilmektedir. Yerin, yüzeyden derine gidildikçe ısının arttığı bilinmektedir. Enine deprem dalgalarının yerin çekirdeğinde yayılamadığı olgusundan giderek çekirdeğin sıvı bir ortam olması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Manto genelde katı olmakla beraber yüzeyden derine inildikçe içinde yerel sıvı ortamları bulundurmaktadır.

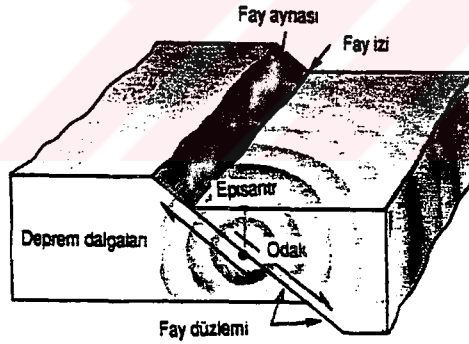
Taşküre’ nin altında Astenosfer denilen yumuşak Üst Manto bulunmaktadır. Burada oluşan kuvvetler, özellikle konveksiyon akımları nedeniyle, taş kabuk parçalanmakta ve birçok “Levha” lara bölünmektedir. Üst Manto’ da oluşan konveksiyon akımları yukarılara yükseldikçe taşkürede gerilmelere ve daha sonra da zayıf zonların kırılmasıyla levhaların oluşmasına neden olmaktadır. Halen 10 kadar büyük levha ve çok sayıda küçük levhalar vardır. Bu küçük levhalar üzerinde bulunan kıtalarla birlikte, Astenosfer üzerinde sal gibi yüzmekte olup, birbirlerine göre insanların hissedemeyeceği bir hızla hareket etmektedir.

Konveksiyon akımlarının yükseldiği yerlerde levhalar birbirlerinden uzaklaşmakta ve buradan çıkan sıcak magmada okyanus ortası sırtlarını oluşturmaktadır. Levhaların birbirlerine değdikleri bölgelerde sürtünmeler ve sıkışmalar olmakta, sürtünen levhalardan biri aşağıya Manto’ ya batmakta ve eriyerek yitme zonlarını oluşturmaktadır. Konveksiyon akımlarının neden olduğu bu ardışıklı olay taşkürenin altında devam edip gitmektedir.

İşte yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirlerine sürtündükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları ya da altına girdikleri bu levhaların sınırları dünyada depremlerin oldukları yerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya’ da olan 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 bir levha ile bir diğer levha arasında sürtünme kuvveti aşıldığı zaman bir hareket oluşur. Bu hareket çok kısa bir zaman biriminde gerçekleşir ve şok niteliğindedir. Sonunda çok uzaklara kadar yayılabilen deprem (sarsıntı) dalgaları 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 (Şekil 2.1). 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.



Şekil 2.1 Fay oluşumu (Türkiye Deprem Vakfı, 1997)

Depremlerin oluşumunun bu şekilde ve “Elastik Geri Sekme Kuramı” adı altında anlatımı 1911 yılında Amerikalı Reid tarafından yapılmıştır ve laboratuvarlarda da denenerek ispatlanmıştır.

Bu kurama göre, herhangi bir noktada, zamana bağımlı olarak, yavaş yavaş oluşan birim deformasyon birikiminin elastik olarak depoladığı enerji, kritik bir değere eriştiğinde, fay düzlemi boyunca var olan sürtünme kuvvetini yenerek, fay çizgisinin her iki tarafındaki kayaçbloklarının birbirlerine göreli hareketlerini oluşturmaktadır. Bu olay ani yer değiştirme hareketidir. Bu ani yer değiştirmeler ise bir noktada biriken birim deformasyon enerjisinin

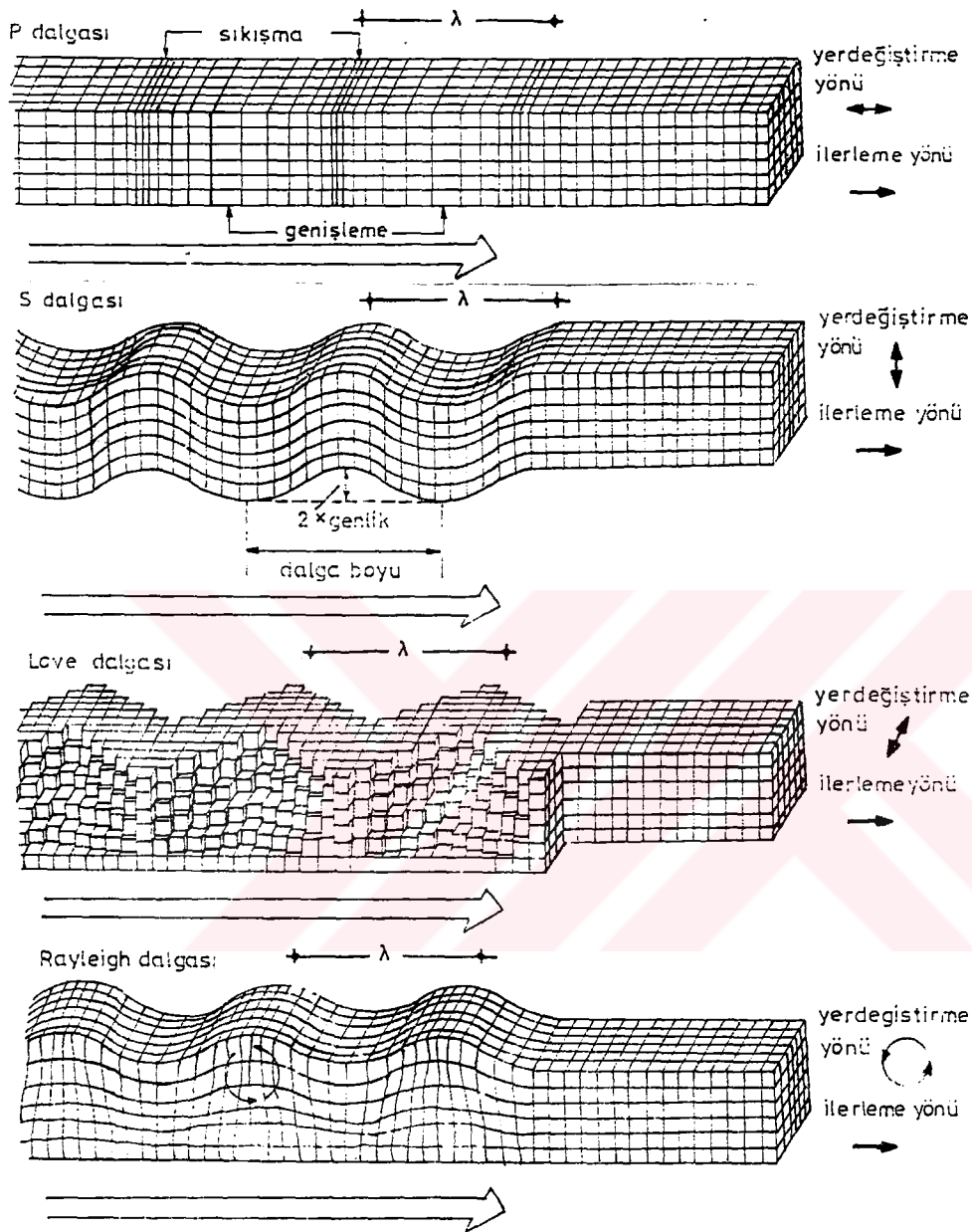
açığa çıkması, boşalması, diğer bir deyişle mekanik enerjiye dönüşmesi ile ve sonuç olarak yer katmanlarının kırılma ve yırtılma hareketi ile olmaktadır.

Aslında kayaların, önceden bir deformasyon birikimine uğramadan kırılmaları olanaksızdır. Bu deformasyon, hareketsiz görülen yer kabuğunda, üst mantoda oluşan konveksiyon akımları oluşturmakta, kayalar belirli bir deformasyona kadar dayanıklılık gösterebilmekte ve sonrada kırılmaktadır. İşte bu kırılmalar sonucu depremler oluşmaktadır. Bu olaydan sonra da kayalarda uzun zamandan beri birikmiş olan gerilmelerin ve enerjinin bir kısmı ya da tamamı giderilmiş olmaktadır.

Çoğunlukla bu deprem olayı esnasında oluşan faylarda, elastik geri sekmeler (atım), fayın her iki tarafında ve ters yönde oluşmaktadır.

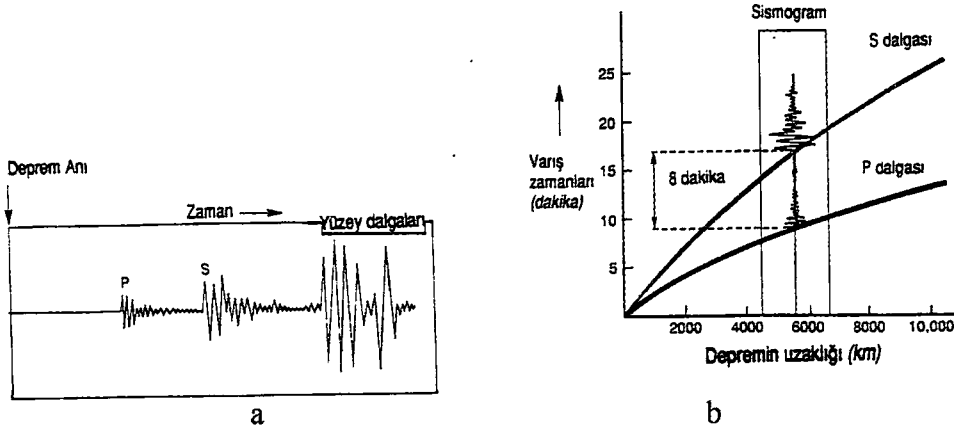
Faylar genellikle hareket yönlerine göre isimlendirilirler. Daha çok yatay hareket sonucu meydana gelen faylara “Doğrultu Atımlı Fay” denir. Fayın oluşturduğu iki ayrı bloğun birbirlerine göreli olarak sağa veya sola hareketlerinden de bahsedilebilir ki bunlar sağ veya sol yönlü doğrultu atımlı fay adları verilir.

Düşey hareketlerle meydana gelen faylara da “Eğim Atımlı Fay” denir. Fayların çoğunda hem yatay, hem de düşey hareket bulunabilir. Depremi oluşturan faylanma ile birlikte odaktan çeşitli türde sismik dalgalar yayılır. Bunlar boyuna dalgalar, enine dalgalar ve yüzey dalgalarıdır. Boyuna dalgalara “P Dalgası” denir ve yayılma doğrultusu ile aynı yönde parçacık hareketi oluştururlar. “S Dalgası” olarak adlandırılan enine dalgalar, yayılma doğrultusuna dik yönde parçacık hareketine neden olurlar. Yapılarda hasara S dalgaları neden olur. S dalgalarının yeryüzündeki yansımaları sonucu yüzey dalgaları “Love ve Rayleigh dalgaları” oluşur. S dalgalarının hızı P dalgalarından yavaştır.



Şekil 2.2 Elastik dalga türleri ve yayılma özellikleri (Celep ve Kumbasar, 1993)

Depremler “sismograf” adı verilen aletler tarafından kaydedilir. Sismografların yer hareketini büyütme yetenekleri amaca göre değişebilmekte, gerektiğinde bir milyon kez büyütme elde edilebilmektedir. P dalgaları sismografa S dalgalarına göre çok önce gelir. En son yüzey dalgaları ulaşır (Şekil 2.3a). Depremin odak noktasına uzaklığını bulmak için, P ve S dalgalarının varış zamanları arasındaki fark kullanılır. Şekil 2.3b’ deki örnekte sismogramda 8 dakikalık bir fark vardır. Bu farka karşı gelen uzaklık, grafikten 5500 km olarak okunur.



Şekil 2.3 Deprem odak noktasına uzaklığının bulunması (Türkiye Deprem Vakfı, 1997).

2.3 Deprem Türleri

2.3.1 Tektonik depremler

Yukarıda anlatılan levhaların hareketi sonucu meydana gelen depremler, genellikle “Tektonik” depremler olarak nitelenir. Bu depremler çoğunlukla levhaların sınırlarında oluşurlar ve tektonik kuvvetlerin meydana getirdiği gerilmelerin etkisi ile fay adı verilen kırıkların başlangıç noktalarından boşalıp, dalgalar halinde yaymaya başladığı elastik deformasyon enerjisinin kabukta meydana getirdiği titreşimlerdir. Yeryüzünde olan depremlerin %90’ ı bu gruba girer. Türkiye’ de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir.

2.3.2 Volkanik depremler

Yerküredeki yüksek sıcaklıklı Litosfer tabakasının üst kısmı iletim yoluyla soğumaktadır. Bu nedenle Litosfer boyunca sıcaklık ve onunla doğrudan ilgili olan basınç değişir. Yüksek sıcaklık bölgelerinde ısı akışı, örtü tabakasının altında birikime böylece aktif gerilmelerin yoğunlaşmasına neden olur. Gerilmeler tampon örtü tabakasının altında kendini gösterir ve bu tabaka tarafından ya absorbe edilir veya yerkabuğundaki bu tabakalarda hafif titreşimler oluşturur.

Volkanik depremler oluşumunda iki duruma dikkat etmek gerekir.

- Konsantre olmuş ısı akışı küçük derinlikli yüzeylere yönelir. Yerkabuğundaki sürükleyici kuvvet, yüzeyde oluşan gerilmelerin dağılması şeklinde küçük şiddetli depremleri oluşturur.
- Çok sayıda geniş çaplı ısı akışı geniş bir yüzeyi etkiler. Ergime sırasındaki deformasyon farklı yerlerde, aynı anda ve hafifçe faz farkı göstererek oluşmasına neden olur. Daha sonra yerkabuğundaki sürükleyici kuvvetler önemli bir deprem başlatır. Japonya ve İtalya’ da

oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye’ de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır.

2.3.3 Çöküntü depremleri

Bu tür depremler yer altındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşluklu tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır, fazla zarar getirmezler. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara neden olduğu bilinmektedir.

2.4 Deprem Parametreleri

Herhangi bir deprem oluştuğunda, bu depremin tariflenmesi ve anlaşılabilmesi için “Deprem Parametreleri” olarak tanımlana bazı kavramlardan söz edilmektedir. Aşağıda kısaca bu parametrelerin açıklaması yapılacaktır.

2.4.1 Odak noktası (Hiposantr)

Odak noktası yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Bu noktaya odak noktası veya iç merkezde denir. Gerçekte, enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır, fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir.

2.4.2 Dış merkez (Episantr)

Odak noktasına en yakın olan yer yüzündeki 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.

2.4.3 Odak derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma 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 depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km. den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye’de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km. arasındadır. Odak derinliği depremin oluşturacağı hasar konusunda önemli bir büyüklüktür. Derin depremler, yüzeyde daha az etki gösterirken daha yaygın bir çevrede hissedilir. Sığ

depremler ise, odağa en yakın yer yüzünde büyük etki gösterirken, uzaklaştıkça azalan bu etki daha az yaygın olan çevrede hissedilir.

2.4.4 Deprem eşşiddet haritası (İzoseit haritası)

Depremi hasar yaptığı bir bölgede, şiddet ölçeğine göre, aynı şiddette bulunan yörelerin sınırlarını gösteren haritaya “Eşşiddet (İsoseist) Haritası” denir. Hasar şiddetleri, Romen rakamları ile gösterilir. Hasarın en fazla olduğu bölgenin şiddeti I_0 ile gösterilir.

2.4.5 I=Deprem şiddeti (Intensity)

Sismograflarının olmadığı bir dönemlerde depremin ölçüsünü belirleme amacıyla depremlerin canlılar, yapılar ve toprak üzerindeki etkileri sınıflanmış ve “Şiddet” adı verilen ölçek ortaya çıkmıştır. Çok çeşitli deprem şiddet ölçekleri vardır. Rossi-Forel (RF), Mercalli-Sieberg (MS), Omori-Cancani (OC), Mercalli-Cancani (MC), Değiştirilmiş Mercalli (MM), Medvedev -Sponheur-Karnik (MSK), Japon (JM) ölçekleri en çok kullanılan ölçeklerdir. Ülkemizde Değiştirilmiş Mercalli ve MSK ölçekleri kullanılmaktadır. MM ölçeği 12 şiddet grubuna ayrılmıştır.

Şiddet I : Genellikle insanlar tarafından duyulmaz. Ancak duyarlı sismograflar tarafından kaydedilir.

Şiddet II : Ancak istirahat eden ve özellikle yapıların üst katlarındaki kişiler tarafından duyulur. Asılmış konumdaki bazı eşyalar sallanabilir.

Şiddet III : Yapıların içinde ve özellikle yapıların üst katlarında bulunan kişiler tarafından duyulur .Asılı cisimler sallanır. Birçok kişi bunun bir deprem olduğunu anlayamaz. Duran motorlu araçlar hafifçe sallanabilir. Ağır bir motorlu araç geçiyormuş gibi duyulur. Süresi algılanabilir.

Şiddet IV : Gündüzleri yapıların içinde bulunan birçok kişi,dışarıda ise bazı kişiler tarafından duyulabilir. Büyük bir kamyon geçiyormuş gibi algılanabilir. Geceleri bazı kişileri uyandırabilir. Tabaklar, pencereler, kapılar sallanır, duvarlar gıcırdama sesleri çıkarır. Duran araçlar sallanır.

Şiddet V : Hemen herkes tarafından duyulur. Birçok kişi uyanır. Yönü izlenebilir. Mutfak eşyalarından ve pencere camlarından bir bölümü kırılabilir. Sıvalar çatlayabilir ya da düşebilir. Kararlı olmayan eşyalar devrilebilir. Bazen ağaçların, direklerin ve diğer yüksek

eşyaların sallandığı görülür. Sarkaçlı saatler durabilir. Kötü yapılmış bacalar ve bahçe duvarları yıkılabilir.

Şiddet VI : Herkes tarafından duyulur. Birçok kişi korkar ve dışarı fırlarlar. Yürümek zorlaşır. Pencere camları, tabaklar ve cam eşyalar kırılır. Ağır eşyalardan bir bölümü yerinden oynar. Kitaplar raflardan aşağıya düşer. Sıvalar ve D türü yapılarda çatlaklar oluşur. Bacaların düştüğü görülür. Ağaçlar ve çalılar sallanır ya da hışırdar.

Şiddet VII : Ayakta durmak zorlaşır. Herkes dışarı koşar. Araç kullanan kişilerde depremin farkına varırlar. Asılı cisimler düşer. Eşyalar hasar görür. D türü yapılarda çatlak ve hasar oluşur. Zayıf tutturulmuş bacalar düşer. Sıva, zayıf tutturulmuş tuğla, taş ve fayans, korniş, parapet ve yapı dekorasyon malzemeleri gibi cisimler düşer. C türü yapılarda çatlaklar oluşur. Havuzda dalgalanma, su birikintilerinde çamurlanma, kum ve çakıl birikintilerinde küçük kaymalar ve çukurlar oluşur. Beton kaneletlerde hasar olur.

Şiddet VIII : Araba sürmek zorlaşır. C türü yapılarda hasar ve kısmen yıkılma. B türü yapılarda az hasar, A türü yapılarda hasar yok. Zayıf duvarlar yıkılır. Heykeller, yüksekte duran su tankları yığılmış malzemeler, kuleler ve bacalar yıkılır. Temeli zayıf ahşap yapılar devrilir. Ağaç dalları kırılır .Ağır eşyalar ters döner. Araç kullananlar rahatsız olurlar. Su kaynaklarının debisi ve sıcaklığı değişir. Arazide kum fışkırımları (sıvılaşma), çatlaklar ve faylar (kırıklar) olur. Kayalar düşer ve heyelanlar olabilir.

Şiddet IX : Genel bir panik olur. D türü yapıların tümü yıkılır. C türü ağır hasara uğrar. B türü önemli derecede hasar görür. Birçok yapının temelinde hasar olur. Yeryüzünde büyük yanık ve çatlaklar oluşur. Yeraltındaki borular kopar. Kumlu zeminlerde sıvılaşma olur.

Şiddet X : B, C ve D türü yapıların büyük bir çoğunluğu yıkılır. İyi yapılmamış ahşap karkas, betonarme yapılarda çok ağır hasar ya da kırılma başlangıcı görülür. Baraj ve bentlerde önemli hasar gözlenir. Yeryüzünde büyük çatlaklar ortaya çıkar. Raylar bükülür. Irmak kıyılarında ve dik yamaçlarda heyelanlar olur. Kum ve çamur akmaları (sıvılaşma) görülür.

Şiddet XI : Pek az yapı ayakta kalır. Köprüler yıkılır. Yeryüzünde büyük çatlaklar oluşur. Yeraltı boruları tümüyle işe yaramaz duruma gelir. Yumuşak zeminde yer kaymaları ve toprak yığıntıları olur. Raylar çok fazla eğilir.

Şiddet XII : Tüm yapılar yıkılır. Deprem bölgesindeki yeryüzü biçimi değişir. Cisimler havaya fırlar. Yeryüzünde deprem dalgalarının ilerleyişi görülür. Ufuk ve yataylık kavramı kaybolur.

Yapılar dört tipe ayrılmaktadır.

A tipi yapı : İyi işçilik, harç ve tasarım. Yatay kuvvetlere dayanmak üzere demir, beton vb. malzeme ile donatılı olarak inşa edilmiş sağlam yapı.

B tipi yapı : İyi işçilik ve harç, donatılı. Yatay kuvvetlere dayanıklı olarak tasarlanmamış.

C tipi yapı : Basit işçilik ve harç. Çok zayıf bir yapı olmamakla birlikte donatılı olarak ve yatay kuvvetlere dayanıklı olarak yapılmamış.

D tipi yapı : Kerpiç, taş gibi zayıf malzeme, kötü harç, standart dışı işçilik ve yatay kuvvetlere karşı zayıf.

Yapılarda hasar beş gruba ayrılmıştır.

Hafif hasar : İnce sıva çatlaklarının meydana gelmesi ve küçük sıva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.

Orta hasar : Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerinin kayması, çatlaklarının oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.

Ağır hasar : Duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi ve bacaların yıkılmasıyla tanımlanır.

Yıkıntı : Duvarların yarılması, binaların bazı kısımlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesiyle tanımlanır.

Fazla yıkıntı : Yapıların tüm olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

2.4.6 M=Deprem büyüklüğü (Magnitüd)

Sismograflarda izlenen deprem kayıtlarının genliklerinden hesaplanan “Büyüklik” adı verilen bir ölçek geliştirilmiştir (C.Richter, 1935). Bu ölçeğin yararı depremin ölçüsünü hasar durumundan bağımsız olarak saptayabilmektedir. Büyüklük ölçeği logaritmiktir. Odak noktasından 100 km. uzaklıkta bulunan özel nitelikli bir sismografin kaydettiği yer hareketinin genliğinin mikron cinsinden değerinin logaritması, $M = \text{Richter büyüklüğü}$ olarak nitelendirilir.

Magnitüd, aletsel ve gözlemsel magnitüd değerleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Aletsel magnitüd, yukarıda da belirtildiği üzere, standart bir sismograf ile kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik ve periyot değeri ve alet kalibrasyon fonksiyonlarının kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir. Aletsel magnitüd değeri, gerek hacim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanılmaktadır.

Genel olarak, hacim dalgalarından hesaplanan magnitüdler (m), ile yüzey dalgalarından hesaplanan magnitüdler de (M) ile gösterilmektedir. Her iki magnitüd değerini birbirine dönüştürecek bazı bağıntılar mevcuttur.

Gözlemsel magnitüd değeri ise, gözlemsel inceleme sonucu elde edilen episantr şiddetinden hesaplanmaktadır. Ancak, bu tür hesaplamalarda, magnitüd-şiddet bağıntısının incelenilen bölgeden bölgeye değiştiği de göz önünde tutulmalıdır.

Gözlemleri tarafından bildirilen bu depremin magnitüdü depremin enerjisi hakkında fikir vermez. Çünkü deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Magnitüdü aynı olan iki depremden sığ olanı daha çok hasar yaparken, derin olanı daha az hasar yapacağından arada bir fark olacaktır. Yine de Richter ölçeği (magnitüd) depremlerin özelliklerini saptamada çok önemli bir unsur olmaktadır.

Depremlerin şiddet ve magnitüdüleri arasında bir takım ampirik bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılardan şiddet ve magnitüd değerleri arasındaki dönüşümleri aşağıdaki gibi verilebilir.

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

Çizelge 2.1 Türkiye’de 1894-2000 arası önemli depremler (Türkiye Deprem Vakfı, 1997)

TARİH	YER	BÜYÜKLÜK (M)	ŞİDDET (I ₀)	ÖLÜ	BİNA HASARI
10.07.1894	İstanbul	7.0	IX	474	387
12.07.1900	Kağızman	5.9	VIII	140	2000
08.11.1901	Erzurum	6.1	VIII	500	10000
09.03.1902	Çankırı	5.6	IX	4	3000
28.04.1903	Malazgirt	6.7	IX	2626	4500
28.04.1903	Patnos	6.3	IX	3560	12000
28.05.1903	Göle	5.8	VIII	1000	8000
10.02.1905	Zara	5.8		0	1000
04.12.1905	Malatya	6.8	IX	500	5000
19.01.1909	Foça	6.0	IX	8	1700
09.02.1909	Enderes	6.3	IX	500	5000
09.08.1912	Mürefte	7.3	X	216	5540
03.10.1914	Burdur	7.1	IX	4000	17000
24.01.1916	Tokat	7.1	X	500	5000
18.11.1919	Soma	6.9	IX	3000	16000
13.05.1924	Çaykara	5.3		50	700
13.09.1924	Pasinler	6.9		310	4300
13.09.1924	Horasan	6.8	IX	50	25000
07.08.1925	Dinar	5.9	IX	3	2043
18.03.1926	Finike	6.9		27	190
22.10.1926	Kars	5.7	VIII	355	1100
31.03.1928	Torbalı	7.0	IX	50	2100
18.05.1929	Suşehri	6.1	VIII	64	1357
06.05.1930	Hakkari	7.2	X	2514	3000
19.07.1933	Çivril	5.7	VIII	20	200
04.01.1935	Erdek	6.7	IX	5	600
01.05.1935	Digor	6.2		200	1300
19.04.1938	Kırşehir	6.6	IX	149	3860
22.09.1939	Dikili	7.1	IX	60	1235
21.11.1939	Tercan	5.9		43	500
26.12.1939	Erzincan	7.9	XI	32962	116720
10.01.1940	Niğde	5.0		58	586
20.02.1940	Develi	6.7	VIII	37	530
13.04.1940	Yozgat	5.6		20	1250
23.05.1941	Muğla	6.0		2	500
10.09.1941	Erciş	5.9	VIII	194	600
12.11.1941	Erzincan	5.9		15	500
13.12.1941	Muğla	5.7		0	1000
15.11.1942	Bigadiç	6.1	VIII	7	1262
21.11.1942	Osmancık	5.5		7	448

TARİH	YER	BÜYÜKLÜK (M)	ŞİDDET (I _o)	ÖLÜ	BİNA HASARI
02.12.1942	Çorum	5.9	VII	26	300
11.12.1942	Çorum	5.9		25	816
20.12.1942	Niksar	5.9	IX	3000	32000
20.06.1943	Hendek	7.0	IX	336	2240
26.11.1943	Tosya	6.6	X	2824	25000
01.02.1944	Gerede	7.2	X	3959	20865
10.02.1944	Düzce	5.4		0	1000
05.04.1944	Mudurnu	5.6		30	900
25.06.1944	Gediz	6.2	VIII	21	3476
06.10.1944	Edremit	7.0	IX	27	1158
20.03.1945	Ceyhan	6.0	VIII	10	650
29.07.1945	Van	5.8	VIII	12	2000
20.11.1945	Van	5.8		0	1000
21.12.1945	Denizli	6.8	IX	190	400
21.02.1946	İlgın	5.6	VIII	2	509
31.05.1946	Varto	5.7	VIII	839	1986
05.02.1949	Harmancık	5.2		0	1000
23.07.1949	Karaburun	7.0	IX	1	824
17.08.1949	Karlıova	7.0	IX	450	3000
08.04.1951	İskenderun	5.7		6	13
13.08.1951	Kurşunlu	6.9	IX	52	3354
03.01.1952	Hasankale	5.8	VIII	133	701
22.10.1952	Misis	5.5	VII	10	511
18.03.1953	Gönen	7.4	IX	265	9670
02.05.1953	Karaburun	5.1		0	1000
18.06.1953	Edirne	5.1	VI	10	323
16.07.1955	Söke	7.0	IX	23	470
20.02.1956	Eskişehir	6.4	VIII	2	1219
25.04.1957	Fethiye	7.1	IX	67	3100
26.05.1957	Abant	7.1	IX	52	4201
07.07.1957	Başköy	5.1		0	1000
25.04.1959	Köyçeyiz	5.7	VIII	6	266
25.10.1959	Varto	5.0		18	300
23.05.1961	Marmaris	6.5		0	1000
04.09.1962	İğdır	5.3		0	1000
11.03.1963	Denizli	5.5	VII	0	1000
18.09.1963	Çınarcık	6.3	VII	1	230
22.11.1963	Tefenni	5.1	VII	0	362
14.06.1964	Malatya	6.0	VIII	8	678
06.10.1964	Manyas	7.0	IX	23	5398
06.10.1964	Manyas	7.0	IX	23	5398
13.06.1965	Honaz	5.7	VIII	14	488
31.08.1965	Karlıova	5.6		0	1000

TARİH	YER	BÜYÜKLÜK (M)	ŞİDDET (I _o)	ÖLÜ	BİNA HASARI
07.03.1966	Varto	5.6	VIII	14	1100
19.08.1966	Varto	6.9	IX	2394	20007
07.04.1967	Bahçe	5.3		0	1000
26.07.1967	Pülümür	6.2	VIII	97	1282
30.07.1967	Akyazı	6.0		0	1000
03.09.1968	Bartın	6.5	VII	29	2073
14.01.1969	Fethiye	6.2		0	1000
03.03.1969	Gönen	5.7		1	20
23.03.1969	Demirci	6.1	VII	0	1000
25.03.1969	Demirci	6.0		0	1000
28.03.1969	Alaşehir	6.6	VIII	41	4372
06.04.1969	Karaburun	5.6		0	1000
28.03.1970	Gediz	7.2	IX	1086	9452
19.04.1970	Çavdarhisar	5.9		0	1000
23.04.1970	Demirci	5.7		0	1000
12.05.1971	Burdur	6.2	VIII	56	1389
22.05.1971	Bingöl	6.7	VIII	878	5617
16.07.1972	Van	5.2		1	400
01.02.1974	İzmir	5.2	VI	2	47
27.03.1975	Gelibolu	6.4	VII	7	980
06.09.1975	Lice	6.9	VIII	2385	8149
25.03.1976	Susuz	5.1	VI	2	762
02.04.1976	Iğdır	5.1	VIII	4	80
30.04.1976	Ardahan	5.0		4	300
24.11.1976	Çaldıran	7.2	IX	3840	9552
26.03.1977	Palu	5.2	VII	8	842
14.06.1979	Foça	5.9		0	1000
27.03.1982	Bulanık	5.2		0	1000
30.10.1983	Horasan	6.8	VIII	1155	3241
18.09.1984	Balkaya	5.9	VII	3	187
05.05.1986	Sürgü	5.8	VII	8	824
06.06.1986	Sürgü	5.6		1	1174
07.12.1988	Akyaka	6.9		4	546
13.03.1992	Erzincan	6.8	VIII	653	6702
01.10.1995	Dinar	5.9	VIII	94	4909
14.08.1996	Çorum	5.4	VI	0	707
27.06.1998	Adana	5.9		140	4000
17.08.1999	Kocaeli	7.4	IX	15000	50000
			TOPLAM	94681	557849

NOT:Aletsel kayıt bulunmayan depremlerin M=Büyüklüğü, tahmin edilerek yazılmıştır.

3. DEPREMLERDE YEREL ZEMİN TABAKALARININ DAVRANIŞLARI

3.1 Giriş

Günümüzde depremlerde hasara yol açan başlıca etkenler bilinmektedir. Depreme dayanıklı yapı üretiminde araştırmalara dayalı olarak daha güvenli tasarım ilkelerinin belirlenmesi ve bu bulgulara bağlı olarak yerleşim politikaları ve imar planlarının oluşturulması deprem hasarlarını azaltacaktır. 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 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde de açıkça gözlenmiş olduğu gibi son yirmi yıl içinde karşılaşılmış ve yorumlanabilmiş hasar türleri ve dağılımları daha detaylı çalışmalar yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır. Depremlerde oluşan hasarlar bir noktadan bir noktaya büyük farklılıklar gösterebilmekte, bazı bölgelerde hasar çok fazla olurken bazı bölgelerde hasarlar çok sınırlı kalabilmektedir.

Bu nedenle sadece sismik verilere ve tektonik yapıya bağlı olarak oluşturulan sismik makro bölgelemeden (Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası) çok daha detaylı, yerel geoteknik özelliklere ve oluşabilecek deprem kaynak özelliklerine bağlı bir sismik mikro bölgeleme ve noktasal olarak mühendislik uygulamalarına yönelik çalışmaların yapılması gereklidir. Bu yaklaşımda inceleme konusu olan bölgede olması beklenen depremin kaynak özellikleri belirlenmeli, yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklı alanlarda uyulması gerekli tasarım kuralları ve buna bağlı olarak yapılaşma yönlendirilmeli, diğer bir deyişle sismik mikro bölgeleme yapılmalıdır. Bu da yerleşim alanlarının depremlerden en az hasar görecektir şekilde seçilmesini ve en uygun yapı tipinin belirlenmesini sağlayacaktır.

3.2 Tekrarlı Gerilmeler Altında Zemin Davranışları

Depremi yer altındaki bir kaynaktan yayılan bir titreşim hareketi olduğuna göre yeryüzündeki bir bölgede meydana getirdiği etkinin, bağlı olduğu belli başlı parametreler,

- Depremin şiddeti.
- Göz önüne alınan bölgenin enerjinin açığa çıktığı kaynağa olan uzaklığı.
- Kaynaktan yayılan deprem dalgasının göz önüne alınan yere gelinceye kadar geçtiği ara bölgenin jeolojik durumu.
- Deprem enerjisinin kaynakta açığa çıkma türü.
- Ara bölgede bulunan faylardan veya serbest yüzeylerde deprem dalgasının kırılması ve yansıması.
- Göz önüne alınan bölgedeki zemin durumu;

olarak sıralanabilir. Bu sayılan parametrelerden zemin durumu ile ilgili olanların depremin karakterine olan etkisi açıklanacaktır.

Yapılan araştırmalar, deprem etkisi ile yapılarda oluşan hasarlarda, yerel zemin koşulları etkisinin iki şekilde ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Birincisi; bir fay kırılması sonucunda oluşan deprem dalgaları zemin tabakalarının içinden geçerken zemin tabakalarının özelliklerini değiştirebilir. Bu, tabakaları oluşturan zeminlerin gerilme, şekil değiştirme ve mukavemet özelliklerinin değişmesi anlamına gelmektedir. İkincisi, deprem dalgalarının, zemin tabakalarının içinden geçerken zemin tabakaları bir filtre vazifesi görür ve zemin yüzeyinde yapılara gelecek olan deprem ivmelerinin genliklerini ve frekansını değiştirebilir.

Zemin tabakalarının depremler sırasında davranışlarını daha iyi anlayabilmek için bu tabakaları oluşturan zemin cinslerine daha detaylı bakılması zorunludur. Zeminler ince daneli ve kaba daneli olarak iki gruba ayrılır ve bu grupların özellikle depremlerin oluşturdukları tekrarlı kayma gerilmeleri altında davranışları farklıdır. Zeminlerin tekrarlı kayma gerilmesi altındaki davranışları, birçok faktöre bağlı karmaşık bir olaydır. Olayın karmaşıklığı konusunda fikir sahibi olabilmek amacıyla bu davranışlara etki eden faktörler, zemin tabakasında meydana gelen şekil değiştirme mertebesi, efektif çevre basıncı, çevrim ayısı, frekans, boşluk oranı, plastisite indisi, aşırı konsolidasyon oranı, suya doygunluk gibi faktörlerin önemli olduğu görülmektedir. Burada zemin davranışları açısından ince daneli zeminlerde plastisite, yani kilin su tutma kapasitesi veya aktivitesi, kaba daneli zeminlerde ise boşluk oranı en önemli parametreler olmaktadır. Bu parametrelerin derinlikle ve yatay doğrultuyla değişebilir olması, zemin tabakalarının farklı noktalarda farklı davranmasına yol açmaktadır.

Olaya biraz daha detaylı bakıldığında, deprem dalgalarının zemin özelliklerini, diğer bir deyişle zeminlerin gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet özelliklerini değiştirdiği görülmektedir.

Depremlerde zemin tabakaları statik kalıcı yükler dışında, tekrarlı kayma gerilmelerinin etkisinde kalmaktadır. Deprem tehlikesinin yüksek olduğu yerlerde, zemin tabakalarının özelliklerine bağlı olarak zemin incelemelerin yapılması gerekmektedir. Geoteknik raporda amaç, zemin tabakalarını oluşturan zeminlerin gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet özelliklerini deneysel verilere dayanarak incelemek ve uygun bir temel sistemi önermektir.

Deprem durumunda zemin davranışları incelenirken hem kayma mukavemeti hem de gerilme-şekil değiştirmelerden meydana gelen değişimler dikkate alınmalıdır. Tekrarlı gerilmeler

altında kayma mukavemetini tanımlarken, statik kalıcı gerilmeler altında kayma mukavemeti tanımında olduğu gibi bir gerilme seviyesinin (gerilme genliği) yanı sıra bir de çevrim sayısı veya deprem süresi önem kazanır. Kocaeli depreminde zemin davranışlarının çok öne çıkmasının altında yatan başlıca nedenler, 17 Ağustos depreminin, birkaç depremin arka arkaya oluşması sonucu (Erdik,1999) uzun süren, yakın odaklı, büyük deprem olmasıdır.

3.2.1 Zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışları

Zeminlerin tekrarlı gerilmeler altında davranışlarını incelemek amacıyla laboratuvarda bozulmamış numuneler üzerinde yapılmış deneylerde, şekil değiştirme davranışlarında, artan çevrim sayısı ve artan gerilme genlikleri ile bir yumuşama olduğu görülmektedir.

Killi zeminlerde deprem sırasında bir yumuşama ve mukavemet kaybı meydana gelmekte ve gerilme-şekil değiştirme ilişkisi sürekli değişmektedir. Mühendislik uygulamasında deneysel incelemenin gerekliliğini gösteren, bu farklı davranışlardır.

Zemin davranışlarının analizini zor yapan özelliklerden biri de, zeminlerin eşikli bir davranış göstermeleridir. Elastik davranış eşiği olarak tanımlanabilecek bir şekil değiştirme seviyesine kadar zeminler doğrusal ve elastik davranmaktadır. Elastik davranış eşiğinden büyük şekil değiştirme seviyesine kadar zeminler doğrusal ve elastik davranır. Elastik davranış eşiğinden büyük şekil değiştirme seviyelerinde ve plastik davranış eşiği olarak tanımlanabilecek bir şekil değiştirme seviyesine kadar gerilme-şekil değiştirme davranışları doğrusal olmayan elasto-plastik bir davranış gösterir ve plastik davranış eşiği aşıldıktan sonra ise zemin tamamen plastik bir davranış sergiler. Örneğin, küçük bir depremde meydana gelen tekrarlı kayma gerilmeleri zemin tabakalarında hiçbir yumuşamaya neden olmaz ama elastik davranış eşiği aşıldıktan sonra yumuşama başlar ve plastik davranış eşiği aşıldıktan sonra da artık zemin tabakaları viskoplastik bir malzeme gibi davranmaya başlamaktadır.

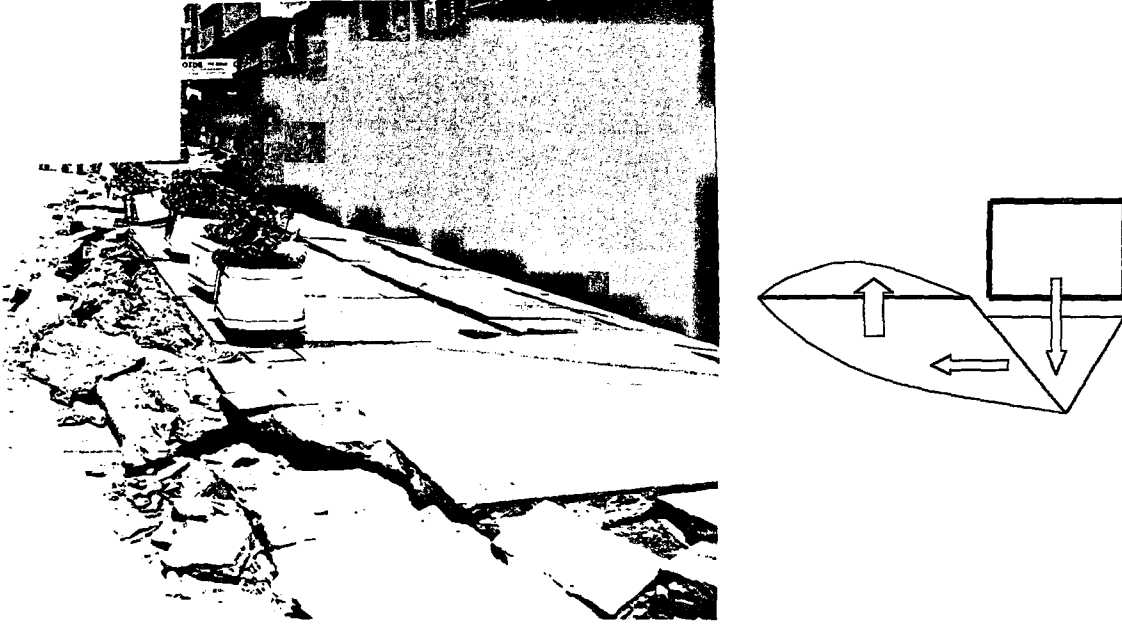
Zeminlerin tekrarlı gerilmeler altında davranışları ile ilgili diğer önemli bir özellikte sönüm oranıdır. Zemin tabakalarında sönümün artması, zemin tabakalarında yumuşama artıkça meydana gelir. Bu da kötü zemin veya yumuşak zemin olarak tanımlanan zeminlerde sönüm oranlarının büyük olacağını gösterir. Sönüm oranının artması deprem sırasında zemin tabakası içinde meydana gelecek tekrarlı kayma gerilmesi genliklerinin azalacağını ve bu nedenle zemin yüzeyinde yer alan yapılara etki edecek deprem ivmelerinin azalması anlamına gelir. Dolayısıyla, zeminlerle ilgili bir genelleme olarak yumuşak zeminler kötü, sert zeminler iyi temel zeminidir, anlayışı her zaman geçerli değildir. Bunun aksine bazı hallerde yumuşak zeminler, orta sert ve sert zemin tabakalarına göre daha uygun bir temel tabakası

olabilmektedir. Bununla ilgili örnekleri, Adapazarı'nda sıvılaşmanın meydana geldiği bölgelerde oturmuş, yana yatmış binalarda görmek mümkündür (Şekil 3.1). Bu yapılarda büyük oturmalar ve yatmalar meydana gelmiş olmasına rağmen yapısal hasar yok denecek kadar azdır. Bunun nedeni ise, sıvılaşmış veya çok yumuşamış zeminlerin yapıyı etkileyebilecek tekrarlı ivmeleri sönümlemiş olmalarıdır. Bilindiği üzere depremler sırasında oluşan kayma dalgaları, sıvıların bir kayma direnci olmaması nedeniyle sıvı içinde yayılamamaktadır. Bu nedenle de böyle durumlarda yapılara gelen deprem ivmeleri ancak küçük genlikli olmaktadır.



Şekil 3.1 Bolu ve Adapazarı depremlerinde sıvılaşma nedeni ile yana yatan binalar
(Ansal vd., 1999)

Adapazarı'nda gözlenmiş temel göçmelerine yol açan en önemli nedenin, deprem sırasında oluşan kayma mukavemeti azalmaları olduğu kabul edilebilir. Burada bütün binalar oturmuş ve kaldırımlarda bir kabarma meydana gelmiştir. Şekil 3.2' de gösterildiği gibi temel altındaki üçgen kama, temel ile birlikte hareket eder ve etrafındaki zemini dışarıya doğru iter. Bu da bir kayma oluşturarak bina etrafında bir kabarma meydana getirir. Aslında bu depremlerde çok ender karşılaşılan tipten bir olaydır. Zemin tabakalarının yumuşak olması; 17 Ağustos Kocaeli depreminin büyük bir deprem olması ve uzun sürmesi bu olaya yol açan başlıca nedendir.



Şekil 3.2 Zemin kayma mukavemetinin azalması nedeni ile binalarda oluşan oturmalar (Ansal vd., 1999)

Zemin tabakalarında bir de deprem sonrası oturmalar söz konusudur. Aslında düşey yüklerde bir artış olmadığı sürece yapılarda ilave oturmalar olmaz. Ama depremlerde bu durum değişmektedir. Belirli bir deprem etkisinde, zemin boşluklarını dolduran suyun basıncı artar. Suyun basıncının artması bir hidrolik eğim oluşturur ve bu da suyun zemin tabakaları içinde hareket etmesine yol açar ve zemin tabakalarında hacim küçülmesi ve oturmalar ortaya çıkar. Killerde bu biraz yavaş, kumlarda ise hızlı bir şekilde oluşur.

Deprem öncesi olduğu kadar deprem sonrası da zemin davranışlarının incelenmesi gerekir. Doğada deprem titreşimleri bir süre sonra sona erer ama zemin tabakaları içinde deprem sırasında oluşmuş boşluk suyu basıncı hemen sönümlenmez. Efektif gerilmelerindeki bu azalmanın yanı sıra zemin tabakalarında oluşan şekil değiştirmeler nedeniyle zemin dane çatısının örselenmiş olması, zemin tabakalarında gerilme-şekil değiştirme davranışlarında yumuşamaya, kayma mukavemetinde azalmaya ve ek oturmalarla yol açabilir.

17 Ağustos depreminde meydana gelen olaylardan biri de sıvılaşmadır. Sıvılaşma kumlu ve siltli zeminlerde oluşmaktadır. Kumlu zeminler, diğer zeminlere göre; sıkıştırılmış kumlar, sıkışmamış olanlara göre sıvılaşma yönünden daha hassastırlar. Kohezyonsuz suya doygun zeminde sıvılaşmanın en önemli nedeni, yer hareketi ile meydana gelen yön değiştiren kayma gerilmelerinin, hidrostatik basıncı arttırması olarak kabul edilmektedir. Bu kayma gerilmelerinin etkisiyle, zemin hacmi küçülür ve daha sıkı duruma gelirken zemin

danelerindeki gerilme azalır. Eğer su zeminden ayrılamıyorsa, boşluk suyu basıncı artar. Boşluk suyu basıncı, uygulanan basınca eşit olduğunda, etkili gerilme sıfır olur ve kumun yapısında şekil değiştirmeler meydana gelir. Kumlu zeminlerde malzemeye mukavemet veren daneler arasındaki sürtünmedir. Kumlarda killerde olduğu gibi daneden daneye elektriksel ve kimyasal çekim kuvvetleri söz konusu değildir. Dolayısıyla kumlarda kayma mukavemeti kabaca, sadece daneler arası sürtünmeye bağlıdır. Kum tabakaları arasındaki boşluklarda su basıncının artması, bir an için kum danelerini birbirinden ayırabilir. Bunun nedeni, daneler çok kısa bir süre içinde askıda kalır, hiç bir yere değmez, değmediği için de kum ve su birlikte viskoz bir sıvı gibi davranır. Sudan ve danelerden oluşan bu viskoz sıvının kayma direnci olmaz. Böyle bir durumda zemin tabakaları üzerinde yer alan yapılar batar, zemin tabakaları içinde gömülü hafif yapılar ise yüzeye çıkar. Sıvılaşmayı etki eden başlıca faktörler, relatif sıklık, aşırı konsolidasyon oranı, tabakaların meydana gelmesinden sonra geçen süre, dane büyüklükleri, ince dane oranıdır.

Sıvılaşma, zemin boşluklarında artan su basıncı ile suyun zemin yüzeyine doğru hareket etmesine yol açar. Yukarı doğru su hareketi olduğu zaman da bu basınçlı suyla birlikte ince kumlar ve siltler yüzeye taşınır. Sıvılaşma neticesi meydana gelen oturmaları diğer oturmalarından farklı kılan, zemin yüzeyinde gözlenen kum konileri ve kum birikintileridir. Bu belirtiler sıvılaşmanın en iyi göstergesidir.

2.3 Zemin Yapı Etkileşimi

Zemin yüzüne ulaşan yer hareketinin yapı temeli yoluyla yapıya iletileceği fikri kabul edilmiştir. Ancak, deprem hareketinde zemin ve yapı birlikte hareket edecekler ve bu sırada birbirlerinin davranışlarını etkileyeceklerdir. Örneğin 1970 Gediz depreminde merkez üssünden 135 km uzaklıktaki yerleşim merkezinde hiçbir yapıda hasar meydana gelmemiş, sadece bir fabrika yıkılmıştır. Daha sonra yapılan incelemede, fabrikanın ilk frekansının, yapının üzerinde bulunduğu zemininkine yaklaşık olarak eşit olduğu tespit edilmiştir. Bu olay zemin-yapı etkileşiminden çok, zeminin yapının davranışına olan etkisini göstermektedir.

Bir bölgedeki yapının deprem davranışlarının ayrıntılı değerlendirilmesinde, zemin-yapı sisteminin dinamik özelliklerinin anlaşılması gereklidir. Zemin, yapının davranışını değişik şekillerde etkiler.

- a) Yapının altındaki zemin, ana kayadaki deprem etkisinin değiştirerek verir. Bu bazı durumlarda etkinin büyümesi sonucunu doğurur.
- b) Zemin etkisiyle, yapının periyod ve mod şekilleri gibi dinamik özelliklerinde değişiklikler meydana gelir.

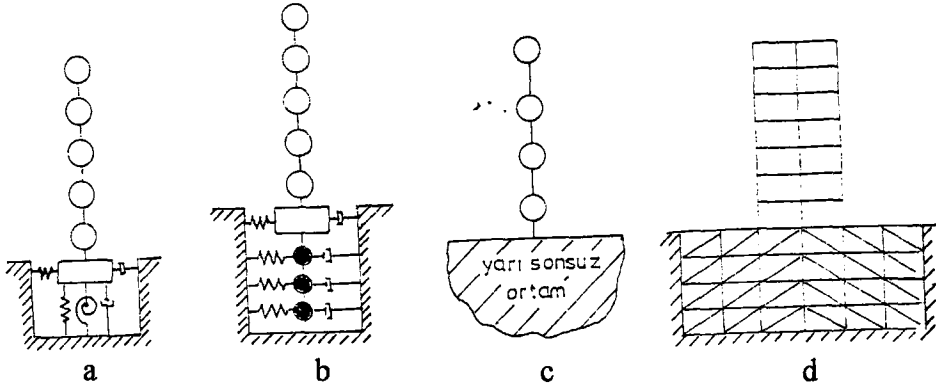
- c) Mesnetlenmenin rijit olmaması durumunda yapıdaki titreşim enerjisinin önemli bir kısmı zemindeki sönüm ve yayılma etkisiyle söner.
- d) Yapının, üzerinde bulunduğu zeminin etkisiyle deprem sırasında farklı oturmalar meydana gelebilir.

Genellikle zemin-yapı etkileşimi b ve c' de verilen olayların incelenmesi olarak ele alınır. Bu iki durumda yapının davranışı kısmi olarak zeminden ve benzer şekilde zeminin davranışı da yapının varlığından etkilenir. Bunun gibi, zeminin yer hareketini çoğaltması olarak bilinen olay da zemin-yapı etkileşiminden değişikliğe uğrar ve yapının temelinde meydana gelen hareketle, aynı yerde yapı olmadığında meydana gelecek olan serbest yüzey hareketi arasında fark ortaya çıkar. Ancak, uygulamada bu ölçüde ayrıntılı inceleme, ender durumlarda gözönüne alınır. Genellikle, yapı zemine rijit olarak bağlı kabul edilerek hesap yapılır. Bununla beraber, bazı özel durumlar, zemin-yapı etkileşiminin gözönüne alınmasını gerektirir.

Yapının incelenmesinde ideal yol, deprem hareketinin ana kayaya uygulanması ve bunun üst zeminde ve yapıdaki etkilerinin hesaplanması olarak görülebilir. Ancak, yer hareketi için elde edilen bilgilerin ana kayaya ait olmayıp, yer yüzü ölçümlerinden elde edildiği düşünülürse bunun gerçekçi olmadığı ortaya çıkar. Bunun yerine yapının temelinde yay ve sönüm alarak, deprem hareketinin yüzeyden etkidiğini kabul etmek daha uygun olabilir. Diğer bir yol da, zeminin dinamik karakteristiklerinin önceden belirlenip, zemin ve yapının davranışının beraberce incelenmesidir.

Zemin dinamik karakterlerinin belirlenmesinde, zemin rijitliğini, sönümü ve sonsuz ortama enerji yayılmasını gözönüne alan modeller çeşitli yaklaşımla geliştirilebilir (Şekil 3.3).

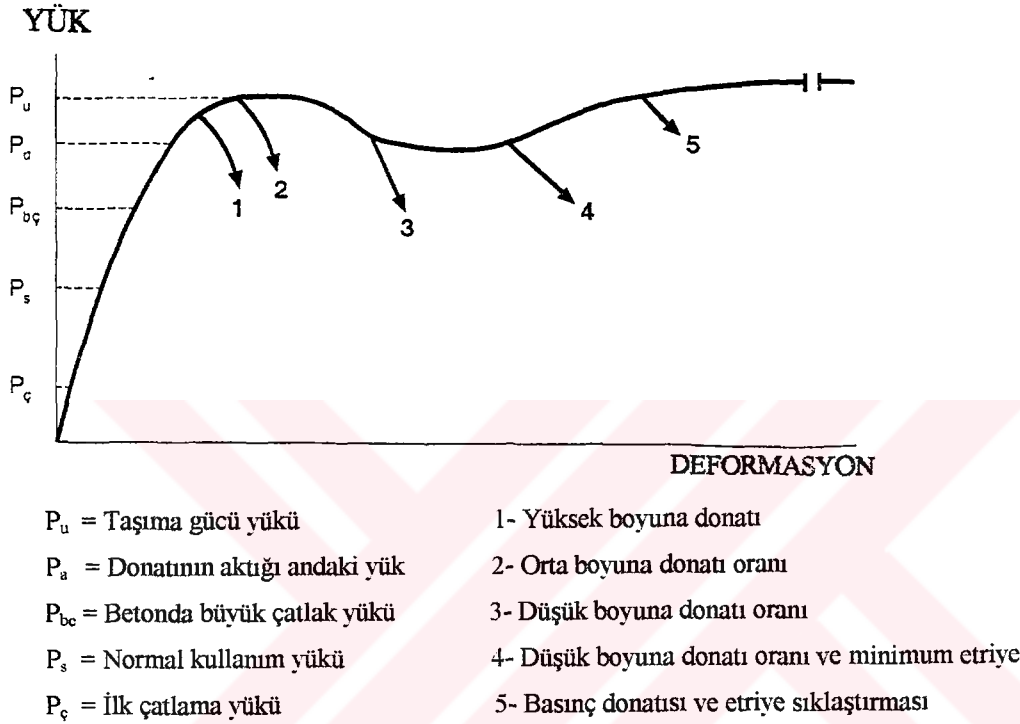
- a) Yapının temelinde kabul edilen eşdeğer elastik yay ve sönümlerle modelleme
- b) Zemini düşey doğrultuda elastik yay ve sönümlerinin bir araya gelmesinden oluşan kayma kirişi şeklinde modelleme
- c) Yapının elastik veya viskoelastik yarı sonsuz ortamda mesnetli olarak modellenmesi
- d) Zeminin iki veya üç boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesi



Şekil 3.3 Zemin yapı etkileşiminin değişik hassaslıkta modellenmesi
(Celep ve Kumbasar, 1993)

4. BETONARME YAPI ELEMANLARININ YÜK-DEFORMASYON ÖZELLİKLERİ ve SÜNEKLİK

Betonarme yapı elemanlarının yük-deformasyon özellikleri elemana konulan boyuna (çekme veya basınç donatısı) ve enine (etriye donatısı) donatı oranı, elemana gelen eksenel yük gibi değişkenlere bağlıdır. Bu değişkenler kullanılarak istenilen özellikte yük deformasyon ilişkisi elde edilebilir (Şekil 4.1).

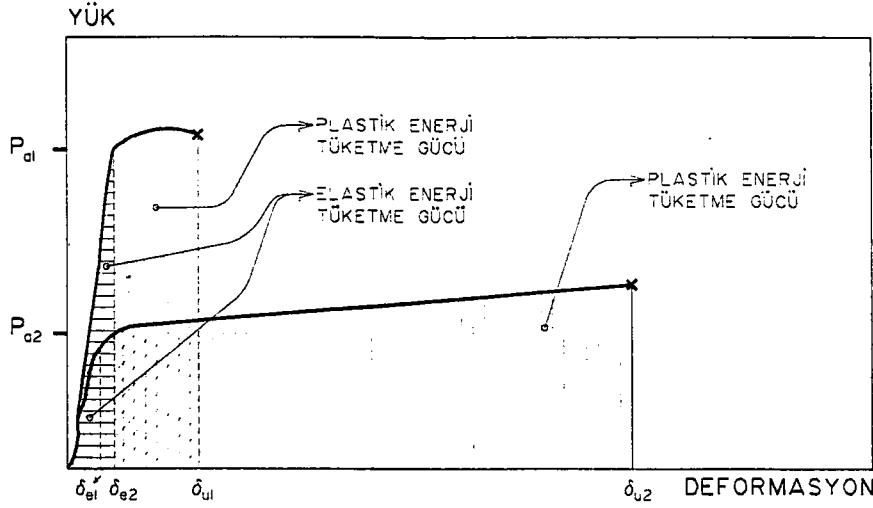


Şekil 4.1 Çeşitli biçimde donatılmış betonarme elemanlarının yük-deformasyon özellikleri (Bayülke, 1998)

Yük-deformasyon eğrisinin altındaki alan yapılan işe eşittir. Bu alan betonarme elemanın enerji tüketme gücünü gösterir. Bu alan elastik ve plastik enerji tüketme gücü olarak ikiye ayrılabilir (Şekil 4.2).

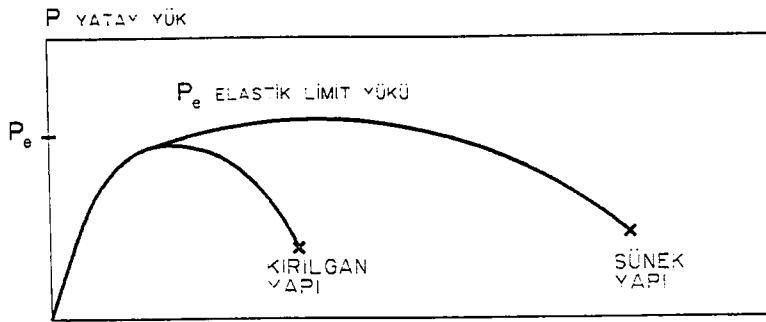
Betonarme elemanlarının elastik enerji tüketme gücü kısıtlıdır. Ancak gerekli donatı ayrıntılarının uygulanması ile betonarmenin plastik enerji tüketme gücü büyük miktarlara çıkarılabilmektedir. Ancak plastik enerji tüketme gücü ile birlikte yapı elemanında bazı kalıcı deformasyon, hasar, çatlak ve ezilme olabilmektedir. Betonarme yapı elemanlarının plastik enerji tüketme güçleri “süneklik” kavramı ile tanımlanmaktadır. Genel anlamda süneklik bir malzemenin kopmadan önce yaptığı kalıcı, yük ortadan kalktığı zaman geri dönmeyen, deformasyon yapabilme özelliğidir.

Yapı ve yapı elemanlarında süneklik (μ) bir yapının yapabileceği en büyük kalıcı ötelemenin, elastik limit ötelemesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Sünek bir yapı ile depremin enerjisini kalıcı deformasyon yaparak tüketen fakat yıkılmayan yapı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.2 Yapı elemanlarının enerji tüketme güçleri (Bayülke, 1998)

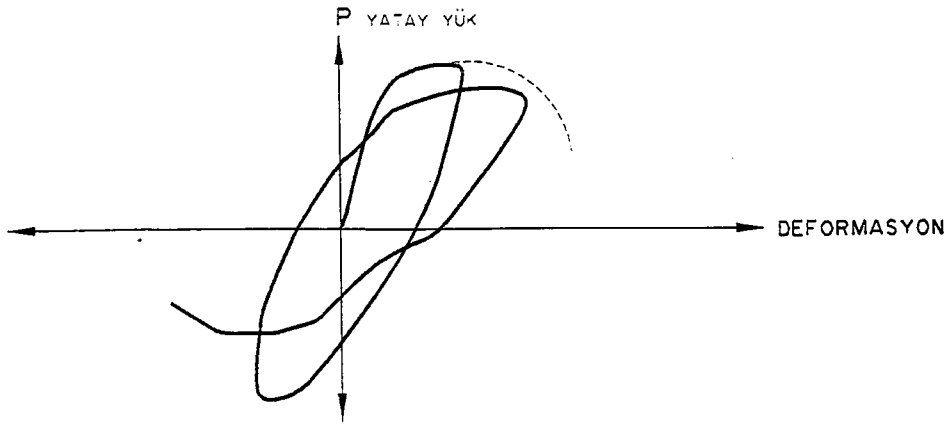
Sünek yapının tersi ise “kırılgan” yapıdır. Şekil 4.3’te kırılgan ve sünek yapıların yatay yük altındaki davranışları verilmektedir. Elemanları sünek yada kırılgan olan yapı da sünek ya da kırılgandır. Belli bir yük düzeyine kadar elastik davranan yapı elemanı daha sonra çatlamaya başlar. Artık kalıcı deformasyon yapmaya başlamıştır. Bu noktadan sonraki deformasyonların geri dönüşü yoktur. Elemanın çatladıktan sonra kopma noktasına kadar yapacağı deformasyon miktarının az ya da çok oluşu yapının kırılgan ya da sünek olmasının göstergesidir. Bu yük-deformasyon eğrisinin altındaki alan bir anlamda enerji tüketme gücüdür. Sünek yapıların daha çok deprem enerjisini, yıkılmadan tüketme gücü vardır.



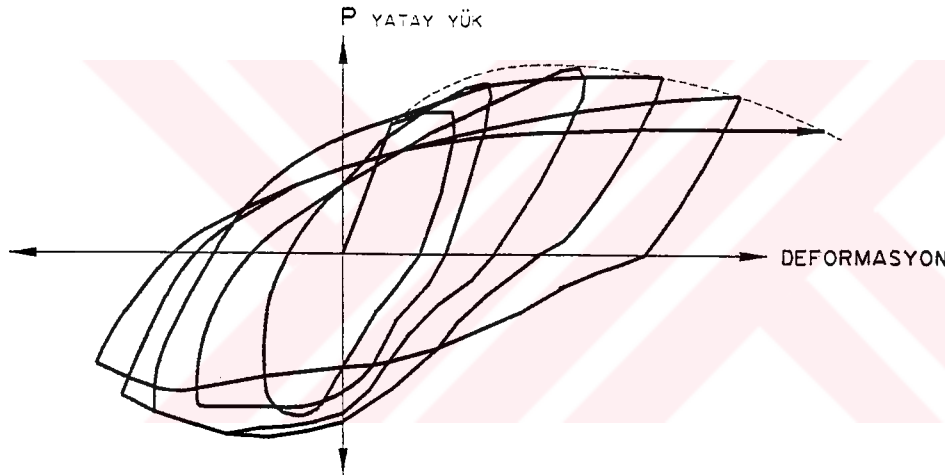
Şekil 4.3 Kırılgan ve sünek yapıların yatay yük altındaki davranışları (Bayülke, 1998)

Deprem yükleri yönü değişen “tersinir” yüklerdir. Yükün yön değiştirmesi sonucu elemanın aynı noktasına bir anda basınç kuvveti gelirse bir sonra ki anda da çekme kuvveti gelebilir. Bir çekme bir basınç olarak yükün yön değiştirmesi yapı elemanı için ağır bir yükleme koşuludur. Kırılgan bir yapı tersinir yükler altında bir-iki devir yaptıktan sonra yıkılırken,

sünek yapı tersinir yükler altında çok daha fazla devir yapabilir (Şekil 4.4a ve Şekil 4.4b). Sünek yapılar bu özelliklerinden nedeni ile deprem açısından üstün yapılardır. Yapı elemanlarının tersinir yükler altındaki davranışlarını veren eğrilere “histeresis” eğrileri denir.



a) Sünek olmayan yapının tersinir yükler etkisindeki yük-deformasyon eğrisi

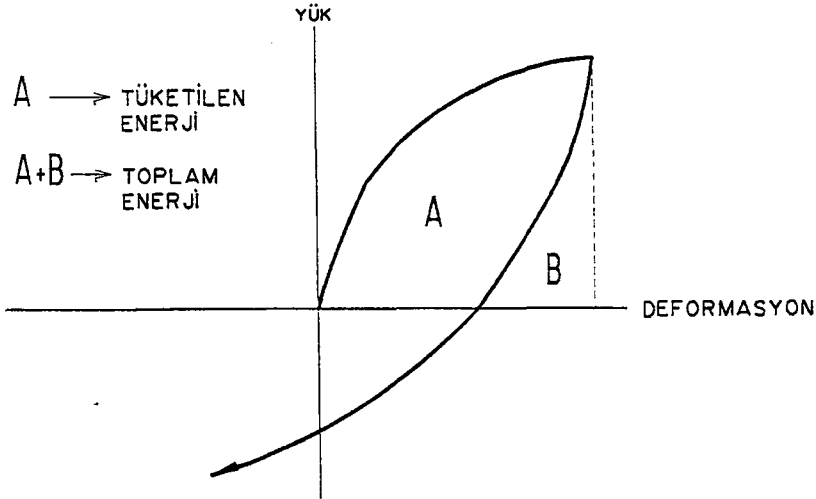


b) Sünek yapının tersinir yükler etkisindeki yük-deformasyon eğrisi

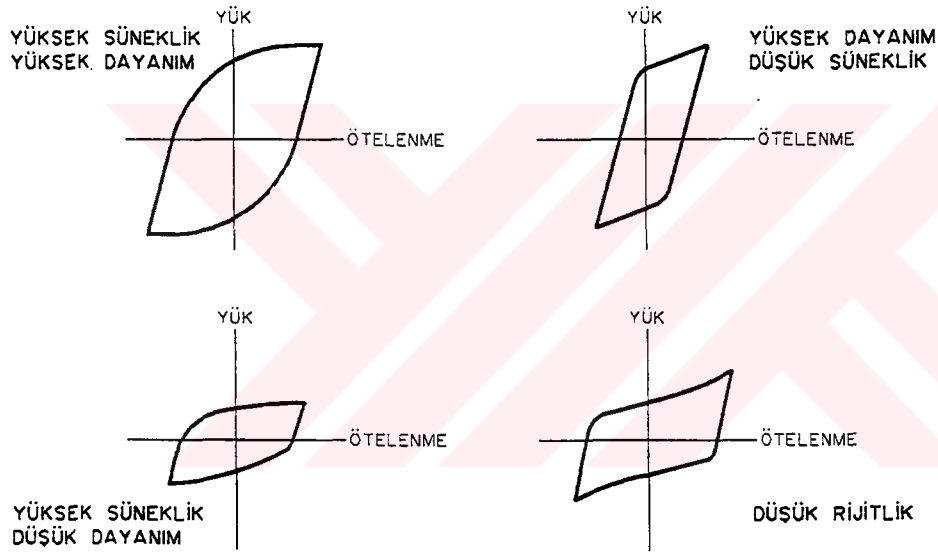
Şekil 4.4 Histeresis eğrileri (Bayülke, 1998).

4.1 Tersinir Yükler Altında Davranış

Yük-deformasyon eğrisinin altındaki alan tüketilen enerjiyi göstermektedir. Şekil 4.5’ te uygulanan enerji ile tüketilen enerji verilmektedir. Histeresis eğrisindeki A bölgesi elemanın tükettiği enerji, A+B ise sisteme gelen toplam enerjidir. Yapı elemanlarının histeresis eğrileri Şekil 4.6’ da ki gibi olabilir. Histeresis eğrisi yüksek süneklik ve düşük dayanım ya da düşük rijitlikte olabilir.



Şekil 4.5 Elemana uygulanan ve tüketilen enerji (Bayülke, 1998)

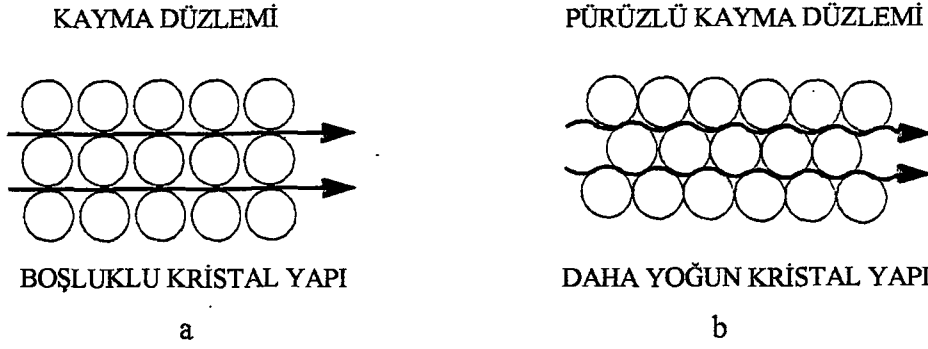


Şekil 4.6 Değişik özellikteki yapı elemanlarının histeresis eğrileri (Bayülke, 1998)

4.2 Sünek Davranışın Mikro Boyutları

Deprem enerjisini yapı elemanlarının sünek davranış, plastik deformasyon ile tüketmesi depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesidir.

Elemanda sünek davranış, malzemenin sünek davranmasıyla sağlanır. İnşaatlarda kullanılan en sünek malzeme ise çeliktir. İnşaat demiri haddehanede çekilirken katmanlı, kristal bir yapı oluşur (Şekil 4.7a). Artan yük altında demirin kristal yapısı katmanlar arasındaki kayma ile değişmektedir (Şekil 4.7b). Katmanlar arasındaki kayma sırasında enerji tüketilir. Kayma ile oluşan yeni kristal yapı daha yoğundur ve tabakalı kayma yüzünde “Pürüzler” oluşmuştur. Bu pürüzleri aşip biraz daha kayma için daha büyük kuvvetler gerekmektedir. Bu ise yumuşak demirde “pekleşme” ile dayanım artışının nedenidir.



Şekil 4.7 Çelikte yük altında kristal yapıda değişimler (Bayülke, 1998)

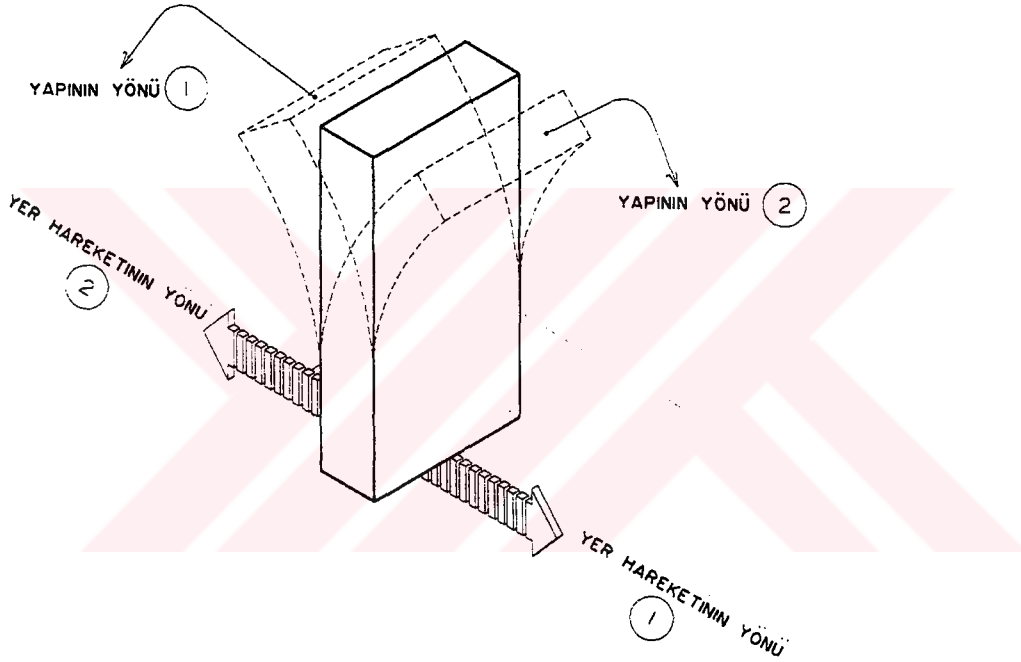
İnşaat demirinde karbon, krom gibi başka yabancı maddelerinin olması da katmanlı kristal yapı içinde dayanımı artıran “pürüzler” oluşturmaktadır. Alaşımli çeliklerin daha yüksek dayanımlı ve daha düşük plastik deformasyon yapma gücünde olmasının nedeni bu mekanizmadır.

Eğer çeşitli nedenlerle düzenli ve katmanlı kristal yapısı olan bir malzemenin katmanlar arası kayma, plastik deformasyon yapma olanağı kısıtlanmış ise sünek davranış güçleşmektedir. Sünekliğin mikro boyuttaki mekanizması nedeniyle, kristal yapısı ve atomları ya da partikülleri düzgün bir katmanlı yapıda olmayan malzemelerde süneklik olmayacaktır. Beton ve pişmiş topraktan yapılmış tuğlanın kristal bir yapısının olmamasının yanında katmanlı bir yapısı da yoktur. Bu nedenle tuğla ve beton hiçbir biçimde sünek davranamaz.

Betonarme yapı elemanlarında sünek davranış katmanlı yapısı olan inşaat demirinin kalıcı deformasyonla uzaması sonucudur. Donatının kalıcı deformasyonla deprem enerjisini tüketmesi, bu sırada pekleşme ile taşıyabileceği kuvvetlerin artması, deprem enerjisi tüketme ve yük taşıma işlevini yerine getirmesini sağlamaktadır. Bu işlevlerin gerçekleşmesi içinse beton ile donatı arasındaki aderansın korunması, donatının betondan sıyrılmaması gerekir.

5. BİNALARIN DEPREM ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI

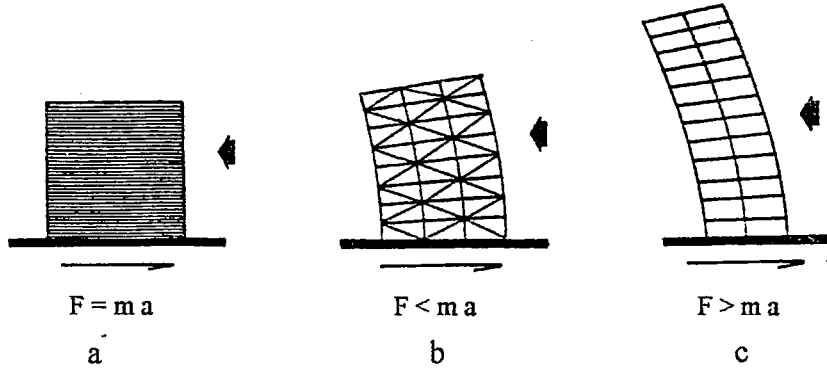
Depremde gelen yükler yapının ağırlığı ile doğru orantılı bir atalet yüküdür. Atalet yükü cisimlerin harekete karşı direnci olarak ortaya çıkan bir yüküdür. Sabit bir hızda hareket eden motorlu bir aracın fren yapması ile araca hareket yönüne karşı bir yönde bir kuvvet etmektedir. Bu sırada araçta bulunanlar ise üzerlerinde, aracın hareket yönünde uygulanan kuvvete karşı bir kuvvet hissederler. Araçtaki yolcularda oluşan bu kuvvet bir atalet kuvvetidir. Yapılarda da depremde yer yüzünde olan harekete karşı yönde atalet kuvvetleri oluşur (Şekil 5.1). Atalet yükü zamana bağlı ve hızlı değişen bir yüküdür. Deprem yükünün düşey bileşeni, yatay bileşenin %25'i ile %50'si arasında değişir.



Şekil 5.1 Deprem hareketinin etkisi ile yapıdaki kuvvetler ve hareketler (Bayülke, 1998).

Yatay atalet kuvveti F' nin büyüklüğü (Şekil 5.2a), m yapı kütesine, a zemin ivmesine ve taşıyıcı sisteme bağlıdır. Eğer yapı ve temeli rijit ise, ivmesi zeminle aynı olacaktır.

Gerçekte yapılar bir dereceye kadar esnek olduğundan bu durum hiçbir zaman gerçekleşmez. Enerjinin bir kısmını yutan ve çok az şekil değiştiren bir taşıyıcı sistemde kuvvet, kütle ve ivme çarpımından daha azdır (Şekil 5.2b). Zemin dalgalarına yakın periyottaki çok esnek yapılar tekrarlanan zemin hareketleri altında daha büyük bir kuvvet etkisindedir (Şekil 5.2c). Buradaki yatay kuvvet etkisi büyüklüğü yalnızca zemin ivmesine değil aynı zamanda yapı ve temelini davranış şekline de bağlıdır. Yapı ve yer hareketinin bu ilişkisine davranış spektrumu denir.



Şekil 5.2 Depremde yapıya etkiyen atalet kuvvetinin büyüklüğü (Schueller, 1992).

6. DEPREMİN YAPILARDA MEYDANA GETİRDİĞİ HASARLARIN OLUŞMA NEDENLERİ

6.1 Mimari ve Taşıyıcı Sistem Tasarımının Deprem Etkisine Uygun Olmamasından,

- 1.Yapının, plan üzerindeki düzensizlikleri,
 - 1.1 Burulma düzensizliği
 - 1.2 Döşeme boşlukları düzensizliği
 - 1.3 Plan geometrisi düzensizliği
 - 1.4 Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmama düzensizliği
- 2.Yapının, yükseklik boyunca düzensizlikleri,
 - 2.1 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)
 - 2.2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)
 - 2.3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği
- 3.Kuvvetli giriş-zayıf kolon davranışı
- 4.Kısa kolon oluşumu
- 5.Derz mesafelerinin yeterli olmaması
- 6.Yapının gereğinden fazla ağır olması
- 7.Merdivenlerde meydana gelen hasarlar

6.2 Boyut ve Donatı Yetersizliği

1. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar
2. Kiriş ve kolon donatılarının aderans boyunun yetersiz oluşu
3. Kiriş ve kolonlarda yetersiz etriye ve çiroz kullanılması
4. Kolonlarda hasar biçimleri
5. Perde duvarlarındaki hasar biçimleri
6. Statik ve betonarme hesabın yetersiz olması
 - 6.1 Kullanım amacının zamanla değişmesi

6.3 Denetimsizlik ve Kötü Malzeme Kullanımı

1. Agrega nedeniyle yeterli beton dayanımına ulaşamaması
 - 1.1 Agregalarda bulunması kısıtlanan maddeler
2. Beton karma suyu nedeniyle yeterli beton dayanımına ulaşamaması
3. Betonun sıkıştırılması ve korunmasında yeterli özen gösterilmemesi

6.4 Taşıyıcı Olmayan Kısımlardaki Hasarlar

1. Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlar
2. Baca ve minare yıkılması
3. Yapı iç kısımlardaki estetik yapı elemanlarındaki hasarlar
4. Cephe kaplamaları hasarı
5. Pencere camları kırılma hasarı

6.5 Yapının Deprem Yönetmeliği Hiç Olmadığı Dönemde ya da Yeterli Deprem Güvenliği Sağlamayan Eski Tarihli Bir Yönetmeliğe Göre Yapılması

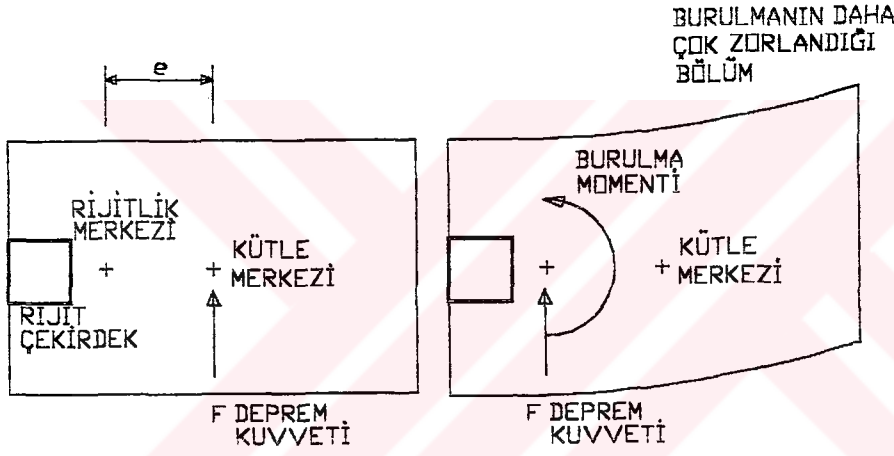


6.1 Mimari ve Taşıyıcı Sistem Tasarımının Deprem Etkisine Uygun Olmamasından

6.1.1 Yapının plan üzerindeki düzensizlikleri

6.1.1.1 Burulma düzensizliği

Deprem ivmesi ve yapının kütle sine bağımlı olarak ortaya çıkan yatay deprem kuvvetlerinin bileşkesi kütle merkezinden geçer. Bu kuvvetler, yatay yük taşıyıcı düşey elemanlarca, o elemanların yatay rijitlikleri ile orantılı olarak paylaşılıp temele aktarılır. Her elemanın aktarmakta olduğu kesme kuvvetlerinin bileşkesi , rijitlik merkezinden geçiyorsa, katlarda dönme olmaksızın sadece öteleme yer değıştirmesi meydana gelir. Kesme kuvvetlerinin bileşkesi rijitlik merkezinden geçmiyorsa, katlarda öteleme hareketi yanında dönme hareketi meydana gelerek burulma etkisi ortaya çıkar (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Yapıda burulma etkisinin oluşması (Bayülke, 1998)

Kütle merkezi birçok yapıda, yapının geometrik merkezi olarak alınabilmektedir. Rijitlik merkezi ise, yapıdaki kolon ve perde duvar gibi düşey taşıyıcı elemanlarının ağırlıklı merkezidir. Normal olarak rijitlikleri ile orantılı yatay yük taşımaları beklenen kolon ve perde duvarları, rijitlik merkezinden olan uzaklıklarına göre ek kuvvetlerle zorlanırlar.

Yeni Deprem Yönetmeliği'ne göre (Ocak 1998), birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1.2' den büyük olması durumunda, yapıda "Burulma Düzensizliği" bulunmaktadır.

Bir binanın burulmasına neden olan eksantriklik, kolonların simetrik yerleştirilmemesinden ve kütlelerin üniform dağılmamasından meydana gelir. Ayrıca kütle merkezinin yeri, kattaki sabit ve hareketli yüklerin kütle dağılımına da bağlıdır. Hareketli yüklerin değışken

olmasından dolayı, kütle merkezinin yerini kesin olarak belirlemek mümkün değildir.

Şiddetli deprem altında, deprem dalgalarının binada yayılışı gayri simetrik olabileceği gibi malzeme, akma sınırına kadar zorlanacağından kolon uçlarında oluşabilecek mafsallar aynı anda oluşmayabilir. Böylece, kütle ve rijitlik merkezi çakışan binalarda da depremde eksantrisiteler meydana gelebilir.

Bu nedenlerden dolayı yönetmelikte, simetrik binalarda da minimum %5 eksantrisite kabul edilmesini ve burulma düzensizliğine sahip yapılarda, kata uygulanan %5 ek dış merkezlik

$$D_i = (\eta_{bi} / 1.2)^2 \quad (6.1)$$

katsayısı ile çarpılarak büyütülmesi öngörülür.

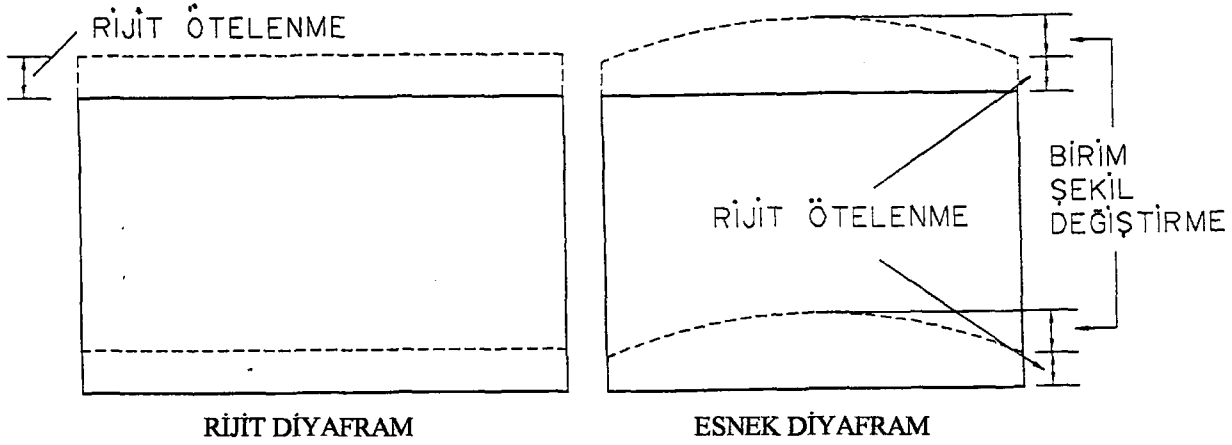
Ayrıca planda simetrik olarak yerleştirilmeyen dolgu duvarlarının, hatta bu dolgu duvarlarda farklı kalınlık ve rijitlikte malzemenin kullanılması, burulma eksantrikliğini büyütürken hasar oluşumunu arttırmaktadır.

6.1.1.2 Döşeme boşlukları düzensizliği

Döşemelerin temel işlevi yapılardaki mekanların düşey yüklerini ve kendi ağırlıklarını taşımaktır. Depremlerde döşemelerin bir başka önemli görevi vardır: Yatay deprem yüklerini düşey taşıyıcılara aktarmak.

Yapılara depremlerde gelen yatay yükler kütleyle orantılı ve de yapı kütlesi katlarda toplanmış olduğu için yapıların kat döşemeleri deprem sırasında düzlemleri içinde etkiyen yatay kuvvetlerle zorlanmaktadır.

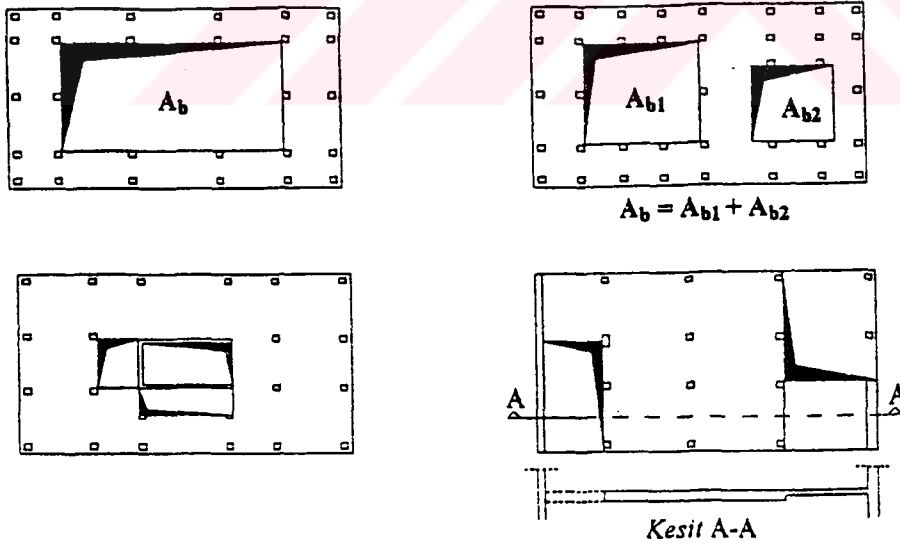
Döşemenin rijit yada esnek olması burada önemlidir. Döşeme rijit ise yatay yükler altında kendi içinde deforme olmadan rijit bir kütle gibi ötelenecektir. Esnek bir döşemede ise rijit ötelenme yanında kendi içinde de şekil değiştirme olacaktır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Rijit ve esnek kat döşemelerinin kat kuvvetleri altında şekil değiştirmesi
(Bayülke, 1998)

Döşemede yalnızca rijit ötelenme varsa yatay yükler elemanlara, kolon ve perdelere, yatay rijitliklerine orantılı olarak dağıtılır. Ötelenme yanında şekil değiştirme de varsa yatay yük dağılımı döşemede şekil değiştirmeye göre değişen bir biçimde olacaktır.

Yeni Deprem Yönetmeliği'ne göre, bir kat planında, merdiven ve asansör boşlukları dahil, çeşitli maksatlar için açılmış boşlukların alanlarının toplamı, o katın brüt alanının üçte birini geçerse, o katta "Döşeme Boşluğu Düzensizliği" vardır (Şekil 6.3).

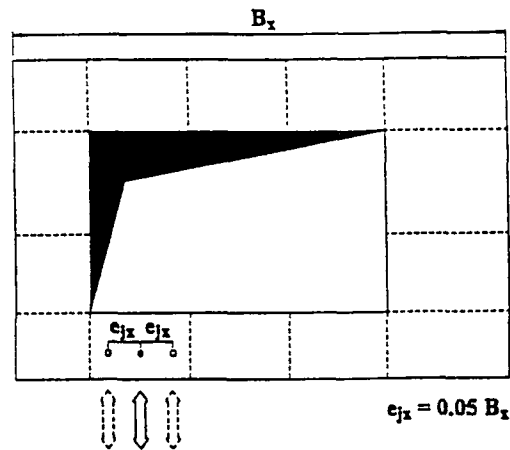


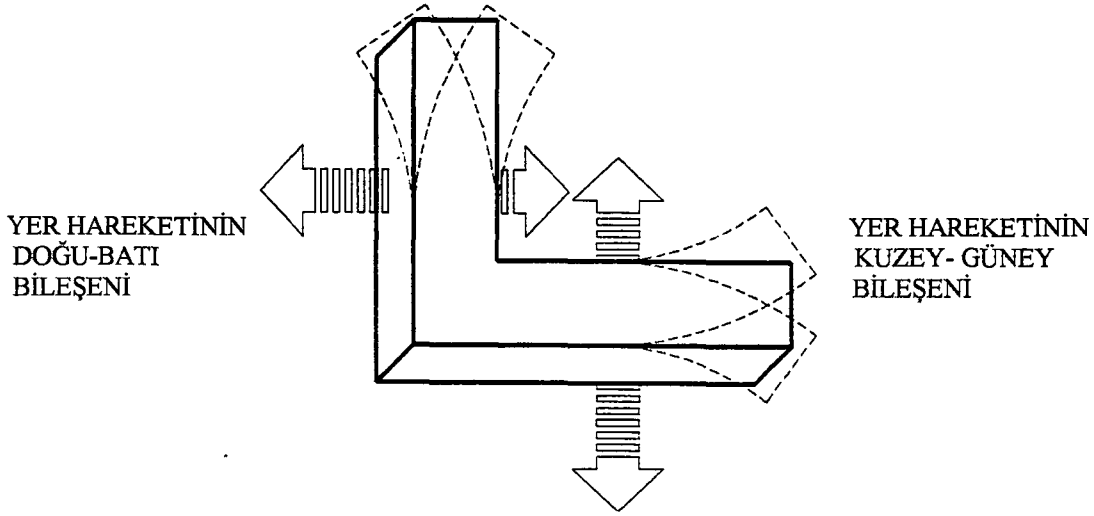
Şekil 6.3 Döşeme boşluğu düzensizlikleri (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998)

$$A_b > (1/3)A \quad (6.2)$$

Bu boşluklar veya döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması nedeniyle yatay deprem yüklerinin, düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarabilmesi güçleşir. Bunun için döşemeler yeterli sayıda bölmelere ayrılarak, her bir bölme ilave %5

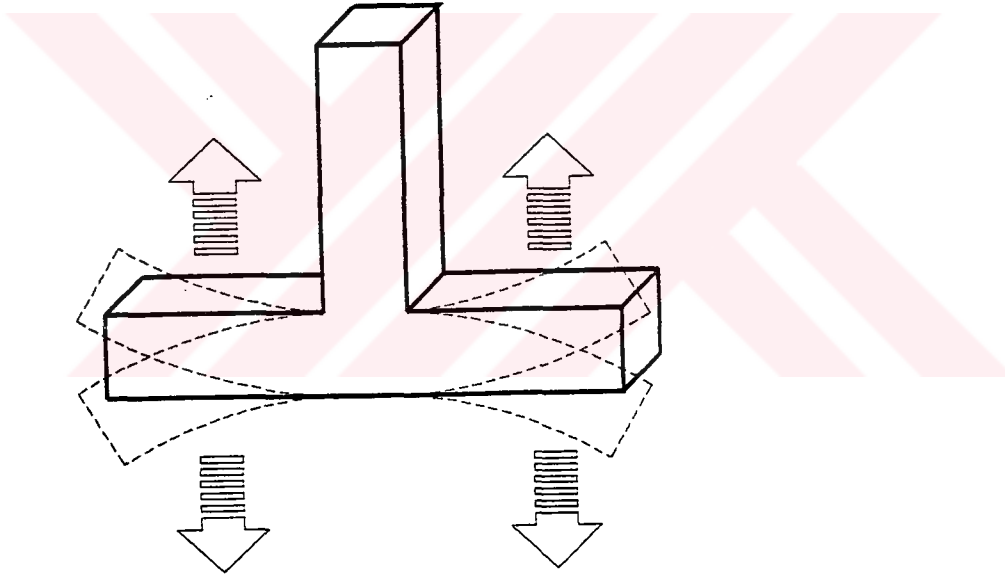
eksantrisite verilir ve o bölmeye ait yatay yükler etkililerek, yatay yük analizi yapılmalıdır ve bu yükler altında düşey taşıyıcılara gelen kesit tesirleri hesaplanmalı ve bunlara göre boyutlandırılmalıdır (Şekil 6.4).





Şekil 6.5 Kanatlı yapıda kanatların deprem hareketine farklı yanıtları (Bayülke, 1998)

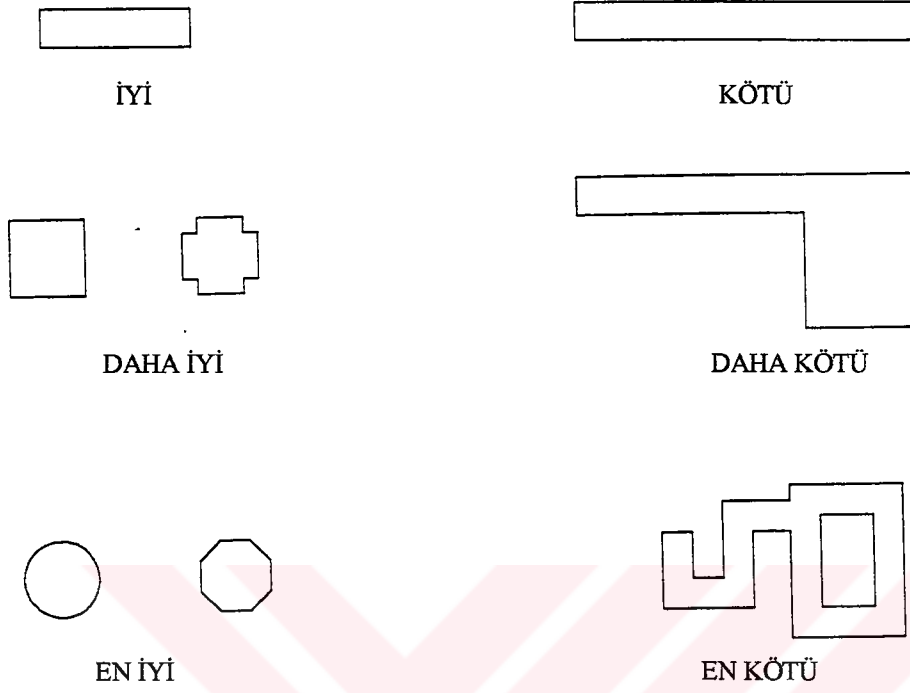
Bu durum L, T ve H şeklinde planları olan yapıların kanatlarında burulma ve kanatların birleştirdikleri yerlerde de gerilim birikimlerine neden olacaktır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Kanatlı yapılarda burulma ve gerilim birikimleri (Bayülke, 1998)

Deprem için en uygun yapı dış plan biçimi kare ve dairedir. Bunlar simetrik olduğundan her yönde aynı oranda deprem kuvveti ile zorlanırlar ve yine simetri nedeniyle her yönde aynı ölçüde taşıma güçleri vardır. Dairesel yapı planı en ideal olmakla birlikte, uygulama ve mimari kullanım açısından güçlükler çıkardığı için uygun değildir. Fazla uzun olmama koşulu ile dikdörtgen yapı planı da basitlik ve simetri bakımından uygundur. Plan alanı çok büyük olan yapılar, simetrik konumlarda da olsalar, sakıncalıdır. Çünkü bu yapıların döşemelerinde büyük yatay kuvvetler oluşmaktadır. Planda çok uzun yapılarda ise yapı çevresinde büyük yatay kuvvetler oluşacağından ve döşemeleri yeterli derecede rijit olmadığından yatay kuvvetleri kolon ve perde duvarlara rijitlikleri ile orantılı olarak aktaramayacakları için

sakıncalıdır. İçeri dönük köşeleri ve karmaşık planları olan yapılar bu köşelerde gerilim birikimi ve yapıda burulma etkileri olacağından sakıncalıdır (Şekil 6.7).

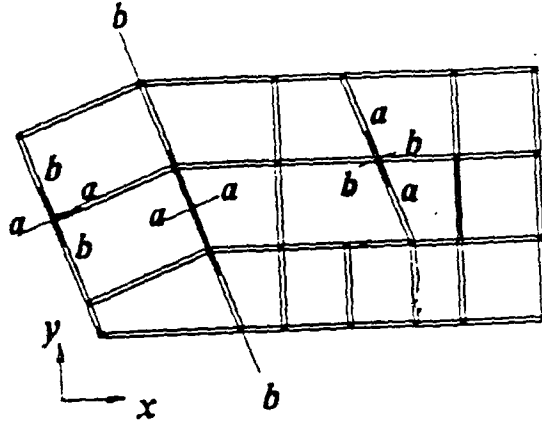


Şekil 6.7 Deprem açısından uygun ve uygun olmayan yapı dış planları (Bayülke, 1998)

Plan geometrisi düzensizliğinin bulunduğu binalarda, kat döşemelerinin yatay deprem kuvvetlerini, düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktardığı hesapla gösterilmelidir. Ayrıca L, T ve H şeklindeki binalarda düzensizlikten kaçınılması için yapı derzleri yapılmalıdır. Bu derzlerdeki boşluk payı, çarpışmayı önleyecek kadar büyük olmalıdır.

6.1.1.4 Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmama düzensizliği

Kat planlarındaki düşey taşıyıcı elemanlarının asal eksenlerinin, gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel değilse “Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmama Düzensizliği” vardır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmama düzensizliği (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998)

Bu gibi eğik konumda olan, kolon ve perde gibi, düşey taşıyıcı elemanların asal eksenleri boyunca meydana gelen iç kuvvetler, depremin her iki yönde birden etkimesi haline tekabül edecek şekilde arttırılır. Depremin önce x-yönünde etkimesi halindeki iç kuvvet değerine, y-yönünde etkimesi halindeki iç kuvvetin %30' u eklenir. Daha sonra, bu işin tersi yapılır. Yani, y-yönünde etkiyen depremin doğuracağı iç kuvvete, x-yönündeki depreme ait olan iç kuvvetin %30' u eklenir. İki ayrı kombinezondan büyük olanı, daha doğrusu en elverişsiz zorlanma yaratanı tasarımda kullanılır. Herhangi bir eğik perdenin a-a asal eksenini doğrultusu için B_a iç kuvveti aşağıdaki değerlerden en elverişsiz olanıdır:

$$B_a = | B_{ax} | + | 0.3 B_{ay} | \quad (6.3)$$

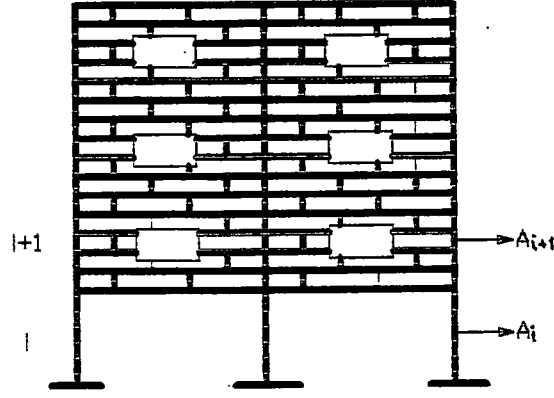
$$B_a = | 0.3 B_{ax} | + | B_{ay} | \quad (6.4)$$

Bu iç kuvvet arttırma işlemi, b-b asal eksenini için aynı şekilde yapılır.

6.1.2 Yapının, yükseklik boyunca düzensizlikleri

6.1.2.1 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)

Bir katta mevcut olan kolon, perde ve bölme duvarlarının hepsi bir alt veya bir üst katta aynen devam etmeyebilir. Genelde, binaların giriş katlarında dükkan ve restoran yapımı nedeniyle veya bahçe görüntüsü kazandırmak amacıyla, kolonlar, perdeler ve bölme duvarları daha az bırakılmaktadır. İşte, herhangi bir kat planında, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki kolon, perde ve yığma bölme duvarı alanlarının toplamını gösteren A = etkin kesme alanının, bir üstteki katın etkin kesme alanına oranı (η_c) 0.8' den küçük ve 0.6' dan büyükse, o binada rijitliklerden dolayı “Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği” vardır. Bu oran (η_c) 0.6' dan küçükse bina tasarımı yeniden yapılır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Tezcan, 1998)

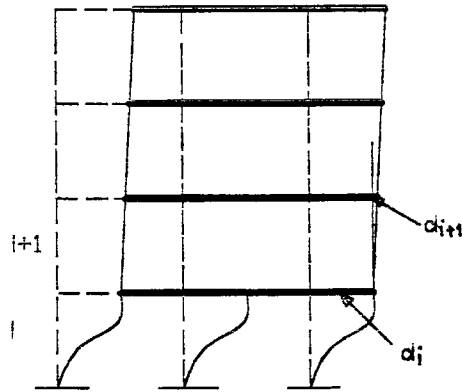
Etkin kesme alanı (her yön ve her kat için)

$$A = A_0 + 0.015 A_d \quad (6.5)$$

$$\eta_c = A_i / A_{i+1} \quad (6.6)$$

6.1.2.2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)

Kolon, perde, bölme duvarı gibi bazı düşey taşıyıcı elemanların etkin kesme alanları, bir üst kata göre çok daha küçük olabilir. Eğer, gözönüne alınan bir deprem doğrultusu için, herhangi bir katın ortalama relatif deplasmanı d_i 'nin, bir üst katın ortalama relatif deplasmanı d_{i+1} 'e oranı (η_k) 1.50' den büyükse, bu binada, kat arası ötelemeden dolayı “Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği” vardır (Şekil 6.10).

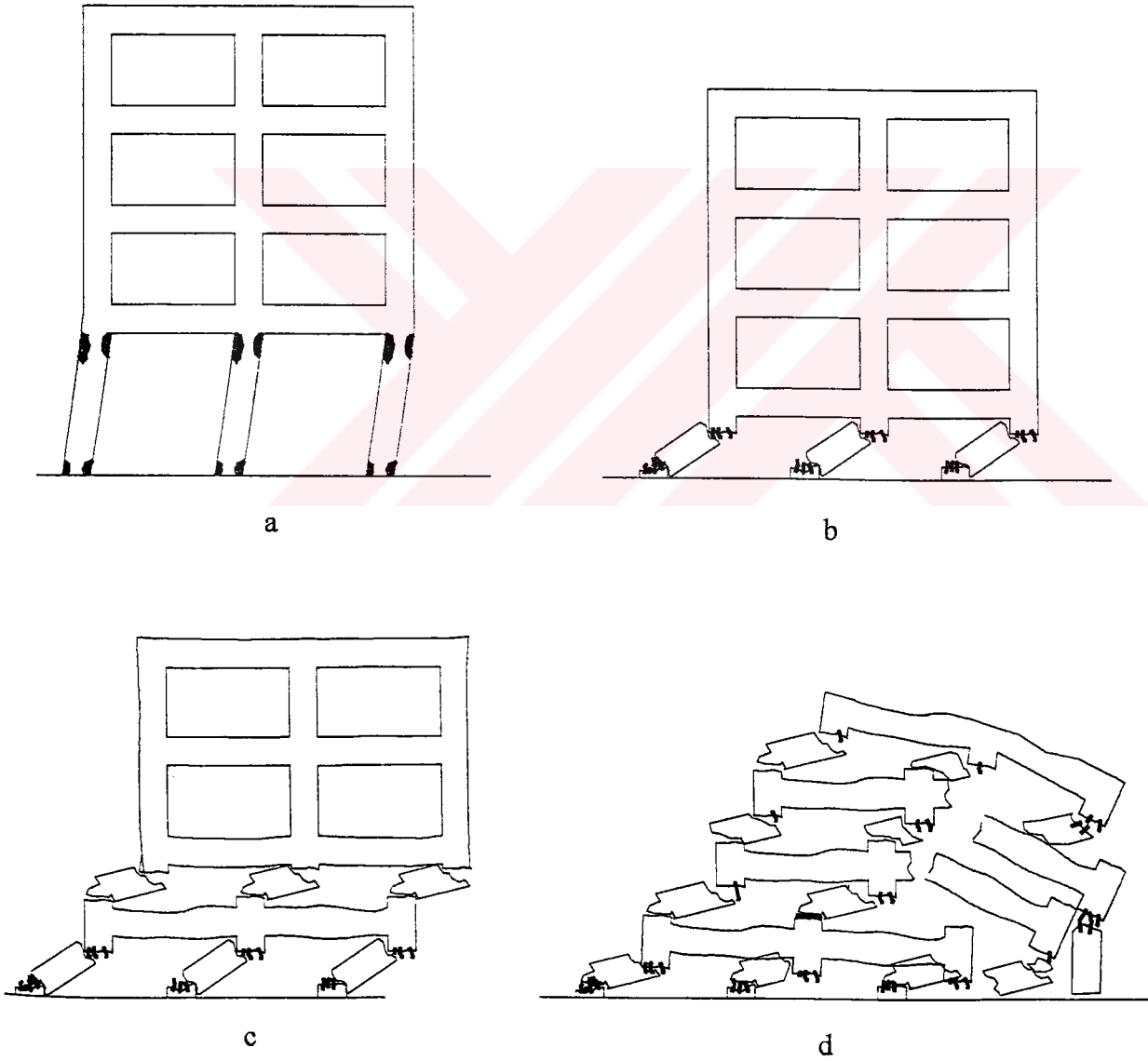


Şekil 6.10 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Tezcan, 1998)

Birçok kez, iş yeri olarak düzenlenen zemin kat yüksekliği, diğer katlardan fazla olur. Üst katlardaki kolon kesitinin zemin kolonu kesiti ile aynı olduğu durumlarda, zemin kat rijitliği diğer katlara göre çok daha küçük olacaktır. Yumuşak kat yalnız taşıyıcı eleman boyutları

nedeniyle oluşmaz. Kat yüksekliklerinin aynı olduğu durumlarda bile, hesapta genelde dikkate alınmayan dolgu duvarların katkısı ile artan kat rijitliği nedeniyle zeminde bir yumuşak kat oluşabilir. Depremlerde yapılan gözlemler, yumuşak kata sahip binaların depremde yumuşak katın mafsallaşması ile büyük ötelenmelere uğradıklarını göstermektedir (Şekil 6.11). Yumuşak kat üstündeki katlar, göçme olmadığı takdirde depremi fazla hasar görmeden atlatabilmektedir.

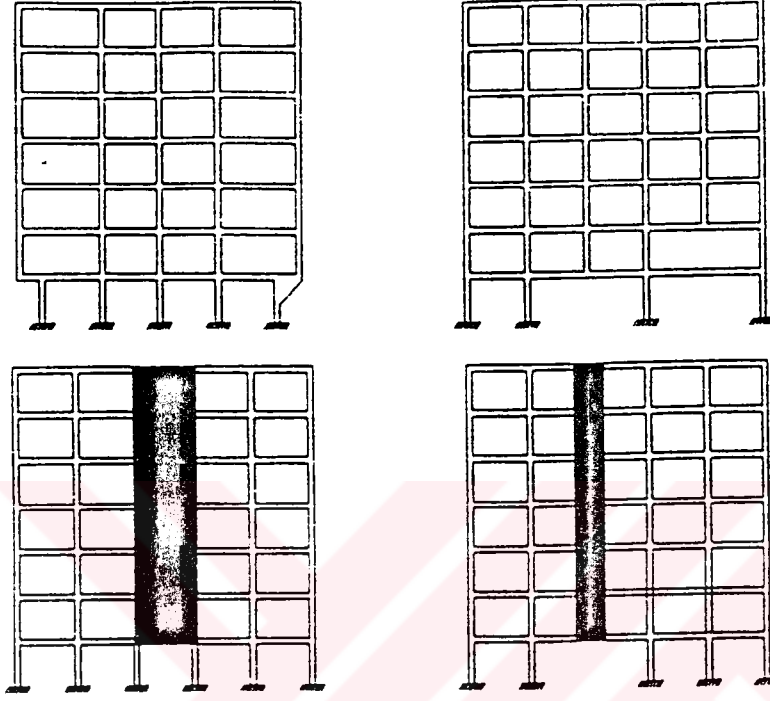
Yumuşak katın getirdiği sakıncaları önlemenin en etkin yolu, tüm deprem kuvvetlerini alacak kadar perde bulundurmadır. Yumuşak kat kolonlarının kesitlerini büyütmek de bir çözüm olabilir.



Şekil 6.11 Esnek yapılarda aşırı yatay ötelenmeden yıkılma (Bayülke, 1998)

6.1.2.3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Binanın bazı cephe kolonlarının, konsol kirişlerin ucuna veya kolonlardan taşan guselere oturtulması, bazı kolonların aşağı katlarda kaldırılarak kirişlere oturtulması, üst kat dahil bir perdenin kiriş açıklığına oturtulması halinde binada bu düzensizlik mevcuttur (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998)

6.1.3 Kuvvetli kiriş-zayıf kolon davranışı

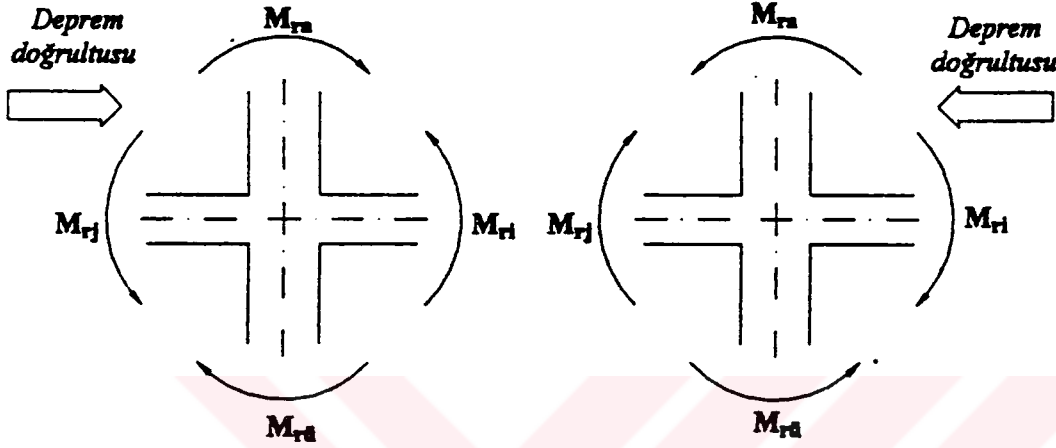
Betonarme çerçeveli yapıların gereken sünekliliğe ulaşamamasında ki neden, süneklilik için çok gerekli olan kuvvetli kolon-zayıf kiriş davranışı yerine, kuvvetli kiriş-zayıf kolon düzenlemesi oluşturulmasıdır.

Geçmiş depremlerde yıkılan binaların yıkılma nedenlerinin başında, kolonların gereği kadar güçlü olmaması gelmektedir. Kolonların alt ve üst başlarında plastik mafsallar oluşmakta ve yatay yük taşıyabilme gücünü yitiren kolonların yana yatması ile, kirişler ve döşeme plakları kat kat üstüne yıkılmaktadır.

Kolonların bu şekilde kırılıp kopmalarını önlemek, dolayısı ile binanın yıkılmadan ayakta kalabilmesini sağlayabilmek amacıyla, plastik mafsallaşmanın kolonların alt veya üst başlarında değil, kiriş mesnetlerinde oluşması için Türkiye Deprem Yönetmeliği (1998)' ne:

“ Binaların taşıyıcı sistemlerinde, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasında, gözönüne alınan deprem yönünde, birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır.” maddesi konmuştur (Şekil 6.13).

$$(M_{ra} + M_{ru}) \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj}) \quad (6.7)$$



Şekil 6.13 Düşüm noktasına etkiyen taşıma gücü momentleri (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998).

Bu madde ile kolonlar öylesine güçlü yapılmalıdır ki, kolon alt veya üst başlarında plastik mafsall oluşmasından çok evvel, plastik mafsallaşmanın kiriş uçlarında oluşması sağlanmalıdır. Kirişlerdeki mafsallaşma, kirişlerin aşırı derecede esnek (fleksibil) olmasından dolayı, göçmeye dönüşemeyeceğinden, binanın göçmesi ihtimali ortadan kaldırılmış olur.

6.1.4 Kısa kolon oluşumu

Herhangi bir katın kolonları arasındaki dolgu duvarlar kat yüksekliği boyunca örülmeyip bant pencereler bırakılırsa kısa kolon davranışı meydana gelir.

Bir kolona depremde etkiyen büyük kesme kuvveti, kolon uçlarında hesaplanan taşıma gücü momentlerinin toplamının kolon serbest boyuna bölünmesi ile elde edilir.

$$V = (M_A + M_B) / l \quad (6.8)$$

Bu denklemden kolayca anlaşılacağı gibi, kesit boyutları ve donatısı aynı tutulmak koşulu ile (M_A ve M_B sabit), kolon boyu üçte birine indirildiğinde, kolona etkiyen kesme kuvveti üç katına çıkacaktır. Çok kısa kolonlarda bu nedenle oluşan kesme kuvveti, çok sık yerleştirilen etriyelerin bile karşılamayacağı büyüklüklere erişir ve kolonun depremde çok gevrek bir

biçimde kırılması ile sonuçlanır.

Kısa kolonlar, yukarıda açıklandığı üzere, hem çok aşırı kesme kuvvetlerine göre boyutlandırılmak zorundadır, hem de, kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan çok sık enine donatılar ve yerleştirme koşulları, tüm kat yüksekliği boyunca devam ettirilecektir. Bu ilave boyutlandırma koşulları nedeni ile kısa kolonlar, binanın maliyetini önemli ölçüde arttırıcı rol oynarlar.

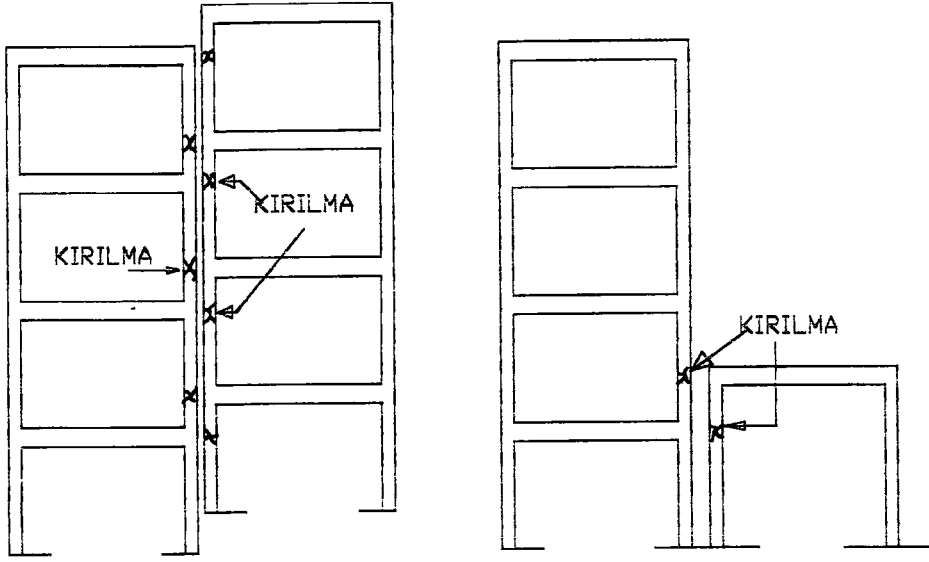
Yönetmeliğe göre, kısa kolonların boşlukta kalan kısımlarına gelen maksimum kesme kuvveti (V_e), kolonun üst ve alt başında mevcut olan pekleşmeli taşıma gücü momentleri toplamının serbest kolon açıklığına bölünmesiyle elde edilir.

Ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılan gözlemler depremin kısa kolonu affetmediğini göstermektedir. Mimari tasarımda taşıyıcı sistem nedeniyle oluşan kısa kolonlardan kesinlikle kaçınılmalıdır. Kolondan kolona pencere olabildiğince yapılmamalı, bunun kaçınılmaz olduğu durumlarda, kolon ile dolgu duvar arasında bir derz bırakılmalı ve bu derz ezilebilir bir malzeme ile doldurulmalıdır. Kısa kolonun kaçınılmaz olduğu durumlarda, her iki yönde de tüm deprem kuvvetini alabilecek kadar perde duvar oluşturulmalıdır.

6.1.5 Derz mesafelerinin yeterli olmaması

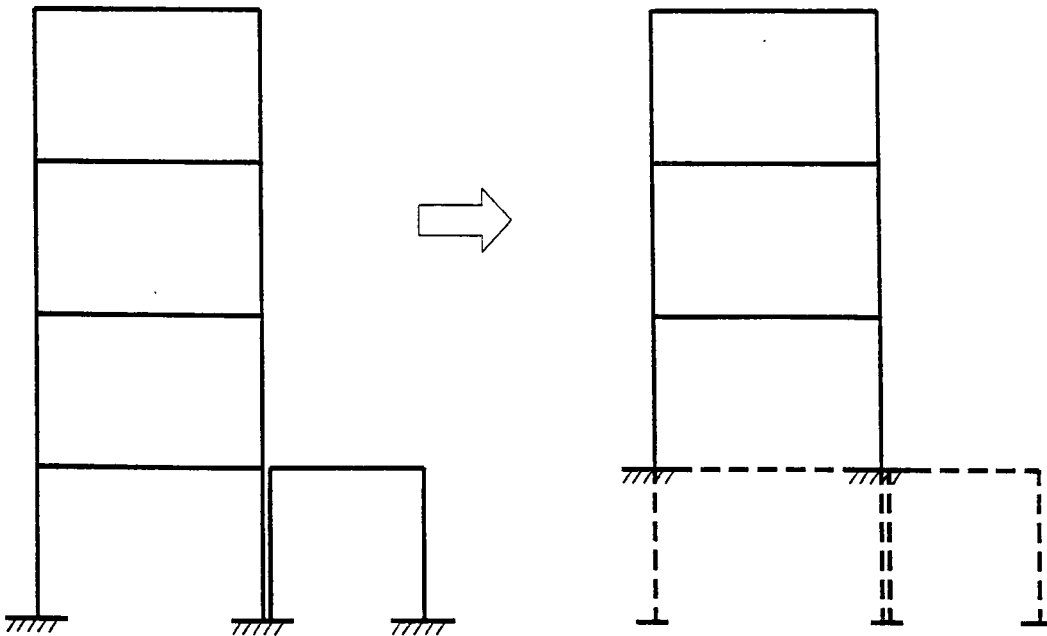
Birbirine bitişik olarak inşa edilen, fakat aralarında belirli bir yapı derzi bulunan binalar, deprem titreşimleri esnasında, eğer aralarında yeterli mesafe yoksa birbirlerine çarparak, beklenmedik ağır hasarlara neden olabilirler. Bu tür hasar çekiçleme ya da darbeleme hasarı olarak tanımlanır.

Özellikle, farklı fazlarda titreşen komşu binaların yatay deplasmanları, belli bir anda birbirinin aksi doğrultuda gerçekleşirse, o iki binanın çarpışmaması için, aralarındaki en ufak boşluğun, her iki binanın maksimum yatay deplasmanının mutlak değerinin toplamından daha büyük olması gerekir.



Şekil 6.14 Kat döşemeleri aynı düzeyde olmayan komşu yapılarda çarpma ile kolon hasarları (Bayülke, 1998)

Birbirlerinden derzlerle ayrılmış fakat kat düzeyleri farklı olan bitişik nizamlı yapıların dinamik özellikleri farklı ise deprem sırasında yapıların birbirlerine çarparak komşu kolonlar da hasar oluşturması beklenmelidir (Şekil 6.14). Eğer komşu binalarda katlar aynı düzeyde ise hasar önemli bir boyutta olmaz. Buna karşılık yüksek yapı daha alçak olan yapının düzeyinde yere ankastre yapı gibi davranır (Şekil 6.15).



Şekil 6.15 Kat döşemeleri aynı düzeyde ancak kat sayıları farklı komşu yapıların etkileşimi (Bayülke, 1998)

Türkiye Deprem Yönetmeliği (1998)' ne göre, bırakılacak minimum derz boşluğu, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yer değiştirmelerin mutlak değerlerinin toplamı ile, kat döşemeleri aynı hizada bulunan binalar için $R / 4$ ' ün ve kat döşemeleri farklı hizada bulunan yapılar için $R / 2$ ' nin çarpımından bulunan değerden daha az olamaz. Ayrıca, 6 m yüksekliğe kadar en az 3 cm ve daha sonraki her 3 metre yükseklik için en az 1 cm boşluk bırakılmalıdır. Derz boşlukları elasto-plastik davranışa ve mafsallaşma halindeki maksimum ötelenmelere göre tayin edilmelidir. Bu plastik ötelenmeler kat başına 5 cm' yi rahatlıkla geçebilir.

6.1.6 Yapının gereğinden fazla ağır olması

Depremlerde yapılara gelen kuvvetler yapının ağırlığı ile orantılıdır. Yapı ağırlığı arttıkça yapıyı etkileyecek deprem kuvvetleri de büyümektedir. Ancak, yapının ağırlığını azaltmak amacıyla, taşıyıcı elemanlarının kesitleri gereğinden küçük yapılırsa, yapıda beklenilmedik hasarlar ortaya çıkabilir. Bunun için, ağır süsleyici iç ve dış cephe kaplamalarının kullanılmaması, dolgu ve bölme duvarlar hafif olması, balkon önlerinde alt kata kadar sarkan korkuluk v.b. yapının estetik görünmesi için yapının ağırlığını gereksiz şekilde arttıran mimari tasarımlardan kesinlikle kaçınılması uygun olur.

6.1.7 Merdivenlerde meydana gelen hasarlar

Betonarme yapılarda, depremin şiddetine göre, çeşitli ölçüde hasar beklenildiğinden hasarlı yapının deprem sırasında ya da hemen sonrasında güvenlik içinde boşaltılabilmesi için merdivenlerin depremde hasar görmemesi gerekir.

Merdivenli çerçevenin diğer çerçevelere göre daha rijit oluşu bu aksın yatay yüklerden çok daha büyük paylar almasına yol açmaktadır.

Yatay kuvvetler altında merdiven plağına moment, çekme ve basınç kuvvetleri gelmektedir. Merdiven plağına gelen çekme kuvvetleri çoğu zaman plağın beton kesitinin çatlamasına ve merdivenin çoğu zaman sahanlığa yalnızca donatıları tarafından asılı kalmasına neden olmakta ve merdivenin yük taşıma gücü önemli ölçüde azalmaktadır.

Merdivenin bulunduğu aksa rijitlik nedeni ile büyük kuvvetler gelmesi sonucunda, merdiven boşluğu kenarındaki yüksek dolgu duvarları yıkılarak merdiven boşluğuna dökülmektedir. Bu olay merdivenlerin güvenle kullanılmasını engellemektedir.

Merdiven sahanlık kirişleri, saplandıkları kolonları ortadan ikiye ayırarak iki tane kısa kolon yaratmaktadır.

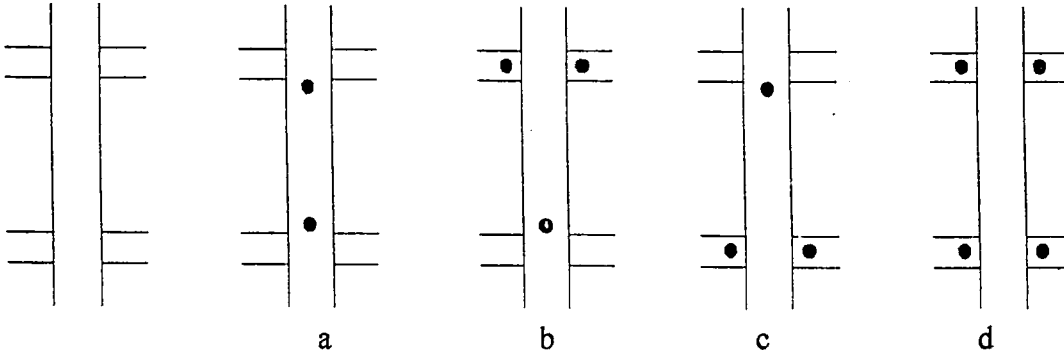
Yapı güvenliği açısından merdivenlerin hasarını önlemek için merdivenler yapıdan derzlerle ayrılmış bloklar olarak yapılabilir. Bir başka çözüm ise merdiven kirişini bir ucundan kayıcı mesnetli olarak yapmaktır. Bu durumda merdiven kirişine depremde daha az etki gelmekte ve merdivenli aks daha az rijit olmaktadır.

6.2 Boyut ve Donatı Yetersizliği

6.2.1 Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar

Döşeme, kiriş, kolon ve temel gibi betonarme elemanların, etkilere karşı koyabilme ve taşıma güçlerine öngörülen biçimde erişebilmeleri için bunların birleşim bölgelerinin gerekli dayanımı ve birleşen elemanların bütünlüğünü sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Birleşim noktasında birleşen elemanların donatıları da kısmen devam ettirildiği için yoğun bir donatı düzeni ortaya çıkar. Bu bölgelere betonun boşluksuz yerleştirilmesi ayrıca bir özen gerektirir. Özellikle depremden sonra ortaya çıkan hasarlar incelendiğinde bu birleşim bölgelerinde belirgin hasarların meydana geldiği ve elemanların birbirinden çözüldüğü gözlenmiştir. Betonarme bir taşıyıcı sistem, elemanların birlikte imal edilmesi nedeniyle yüksek dereceden hiperstatiktir. Bu monolitiklik özelliği elemanların birbirleri ile yardımlaşmasını sağlar. Bu faydalı durumun ortaya çıkması için, birleşim bölgesinin elemanlar arası etkileşimi sağlayacak şekilde düzenlenmiş olması gerekir.

Çerçeve sistemlerde yatay yük altında en çok zorlanan kesitler birleşim bölgesindeki kiriş ve kolon kesitleridir. Yatay yüklerin artmasıyla bu kesitlerde büyük şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Kesit etkilerinden önemli bir artış olmadan şekil değiştirmelerin arttığı bu bölgelerde plastik mafsallar oluşmaktadır. Mafsalların çoğalmasıyla taşıyıcı sistem göçme mekanizmasına geçer. Sistemin göçme biçimi plastik mafsalların sistemde meydana gelme şekline bağlıdır. Şekil 6.18’ de bir katta meydana gelebilecek çeşitli mafsallaşma türleri verilmiştir.



a) Kolon uçlarında mafsallaşma
c) Kolon üst ucunda mafsallaşma

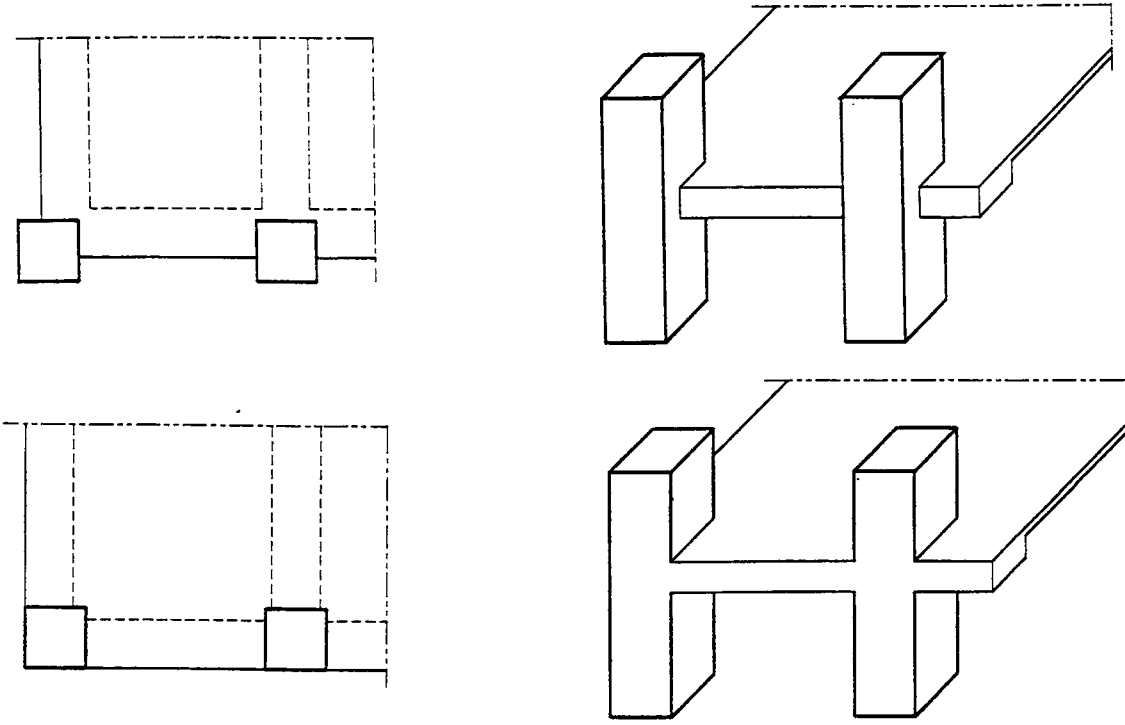
b) Kolon alt ucunda mafsallaşma
d) Kiriş uçlarında mafsallaşma

Şekil 6.18 Göçme mekanizması türleri (Celep ve Kumbasar, 1993)

Düğüm noktalarında meydana gelen bir başka olay da, plastik mafsallar kiriş uçlarında meydana gelirken kolon kesitinin zayıflamasıdır. Bunun için kiriş plastik mafsalları noktalarının, kolon yüzünden kiriş yüksekliği kadar uzaklaştırılması gerekir. Kiriş plastik mafsalları noktalarının kolon yüzünden uzaklaştırılması için, eğilme donatısı olarak pilyelerinde kullanılması sonucu, eğilme donatısının akmanın kolon yüzünden uzakta oluşması ile temin edilir. Pilyeler 45° eğimli teşkil edilmelidir. Bu donatıların bulunduğu bölge plastikleşme bölgesi olduğu için sık etriye ile donatılmalıdır.

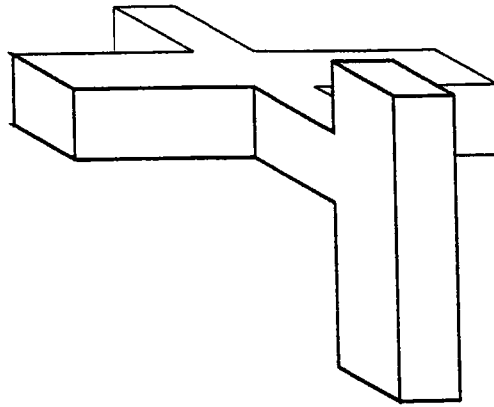
Eğer birleşim yerine dört yanından ve uygun biçimde kiriş saplanıyorsa, birleşim yerinin kesme kuvveti taşıma gücü, saplanan kirişlerin sağlayacağı yandan destekleme yardımı ile artacaktır. Ancak dış aks ve köşe kolonlarındaki ek yerlerine iki ya da üç taraftan kiriş saplandığı için burada kirişlerin ek yerindeki betona yandan destek verme işlemi tam olmamaktadır. Bu nedenle deprem yönetmeliğinde kolon etriyelerinin birleşim yerinin içinden de sürekli olması istenmektedir.

Şekil 6.19' da gösterilen ve kirişlerin kolonlara eksantriklik yaratacak biçimde bağlandığı kolon-kiriş ek yeri deprem açısından sakıncalıdır. Bu durum yapıların dış cephesinde kolonların yardımı ile düşey çizgiler oluşturarak yapıya belli bir biçim kazandırmayı amaçlayan bir mimari akım uygulaması olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6.19 Dış aks kolonlarında dış yapılıması (Bayülke, 1998)

Bu mimari yaklaşım sonucu ortaya çıkan birleşimde kiriş ile kolon arasında kesme kuvveti aktarma alanı da küçüldüğünden büyük kesme gerilmeleri ortaya çıkmaktadır. Şekil 6.20’ de yüksek eksantrisiteli bir kolon-kiriş bağlantısında kolon ile boylamasına kiriş arasındaki kısa kirişte deprem sırasında kritik hasar beklenmelidir. Ayrıca döşemeden ve kirişten kolona kesme kuvvetleri çok küçük bir en kesit alanından aktarılmaktadır. Döşemenin yatay salınımlarının da kolona burulma aktarması tehlikesi vardır.

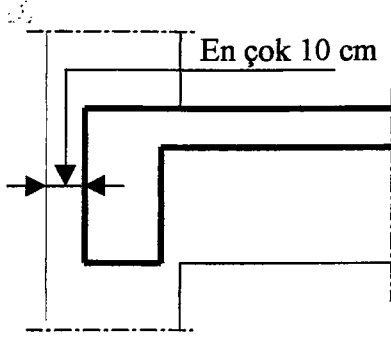


Şekil 6.20 Kolonda burulma etkisi yaratacak sakıncalı bir kolon-kiriş ek yeri bağlantısı (Bayülke, 1998)

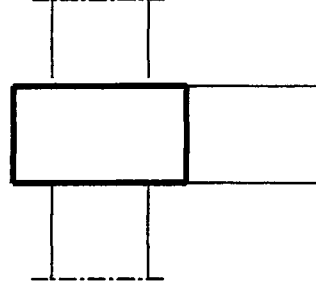
Kolon saplanan kiriş sayısının az olması ek yerindeki betona kirişlerden yanal basınç verilerek ek yerinin basınç ve kesme kuvvetleri taşıma kapasitesini artırma olanağı da

bulunmamaktadır. Yanal destek veren kirişlerin olmaması Şekil 6.20' deki kolon-kiriş ek yerine çok miktarda etriye konulması gerekmektedir. Kolon-kiriş bağlantılarının nasıl olması gerektiği Şekil 6.21 ve Şekil 6.22' de verilmektedir.

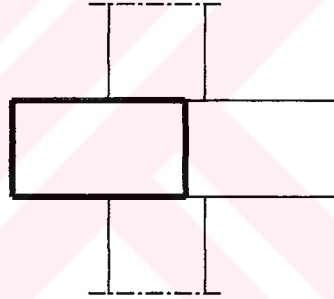
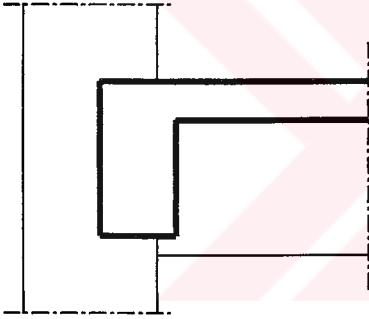
a) Düşey kesit görünüşü



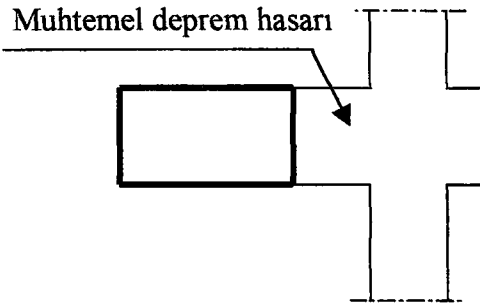
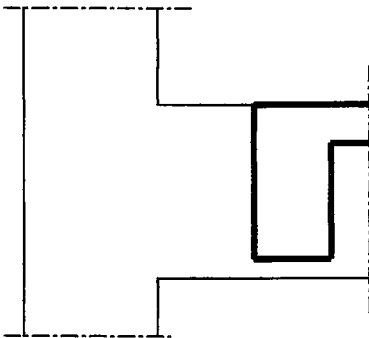
b) Plan görünüşü



İyi Bağlantı

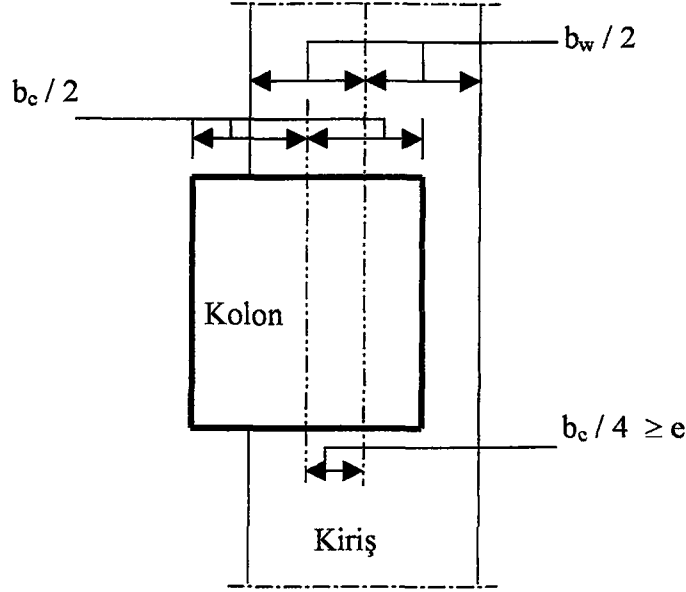


Kötü Bağlantı



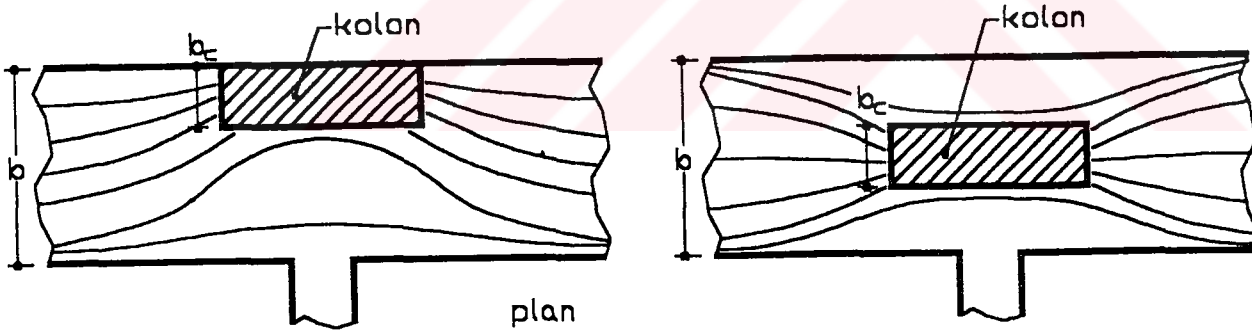
Kötü Bağlantı

Şekil 6.21 İyi ve kötü kolon-kiriş bağlantıları (Bayülke, 1998)



Şekil 6.22 Maksimum kolon-kiriş ek yeri eksantrisine (Bayülke, 1998)

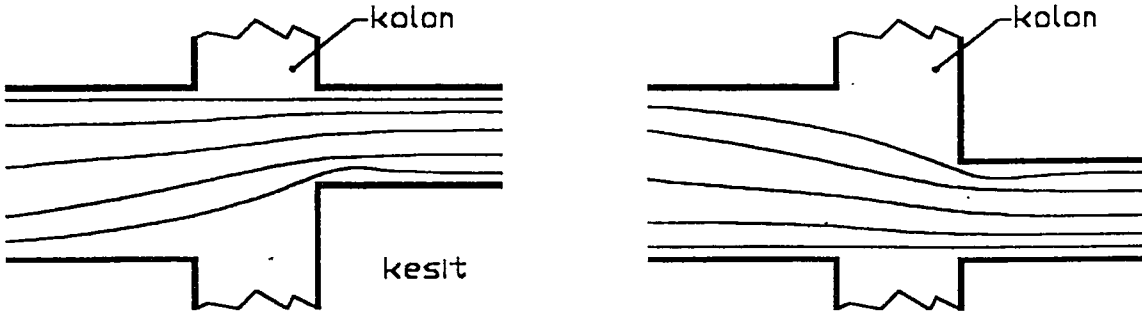
Geniş kirişlerin kolonlarla birleşmesi durumuna ait kuvvet akışı Şekil 6.23' te gösterilmiştir. Kirişin etkili kesitinin, rijit olan kolon bölgesine yaklaştığında, daraldığı görülmektedir. Özellikle bilgisayar çözümlemesinin yapıldığı projelerde bu durumun fark edilmesi kolay değildir. Kirişin mesnet kesitinin hesabının b genişliği ile yapılması uygun değildir.



Şekil 6.23 Geniş kirişin dar kolonla birleşimi (Celep ve Kumbasar, 1998)

Böyle bir durumda, uygulama sırasında donatının toplam genişliğe yayılı olarak yerleştirileceği gözönünde tutulmalıdır. Kirişte meydana gelen ani genişlik ve yükseklik değişimlerinde kuvvet akışına dikkat edilerek, geometrik boyutların, kesit hesabında azaltılarak kullanılabilmesi unutulmamalıdır (Şekil 6.24). Yüksekliğin azaltılması durumunda mesnet alt veya üst donatılarının kolonun iki tarafında devam ettirilemeyeceği gözönüne alınmalıdır. Genel olarak bu şekildeki süreksizlik durumlarının genel kesit hesabından sonra ele alınarak, kesit hesabının elden geçirilmesi ve donatı düzeninin kontrol edilmesi yerindedir.

Birleşim bölgelerinde yatay ve düşey eksenel kuvvetlerle, eğilme momenti etkir. Yatay yükün yön değiştirmesi çekme ve basınç kuvvetlerini birbirine dönüştürecektir. Birleşim bölgesinde kesme dayanımı oluşmasına iki etken katkıda bulunmaktadır.

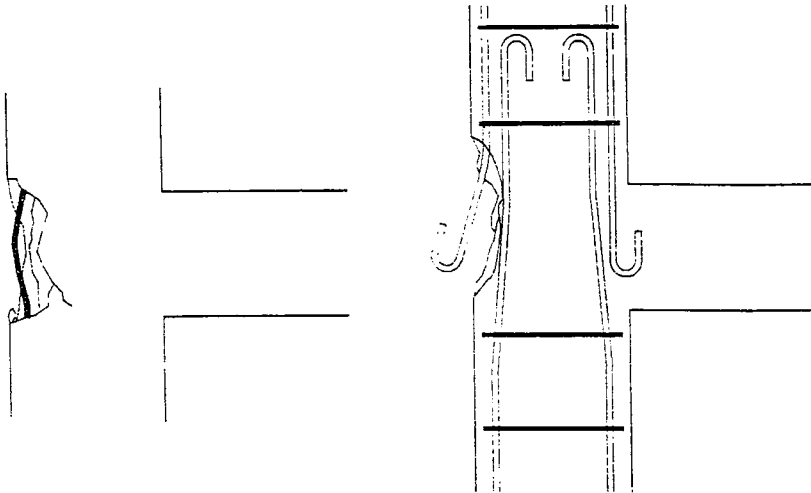


Şekil 6.24 Yüksekliği değişen kirişin kolonla birleşimi (Celep ve Kumbasar, 1998)

-Köşegen doğrultusunda beton basınç çubuğu meydana gelmektedir. Ancak kalıcı şekil değiştirmelerin artması ve oluşan çatlakların birleşim bölgesine ilerlemesi bu etkiyi azaltmaktadır.

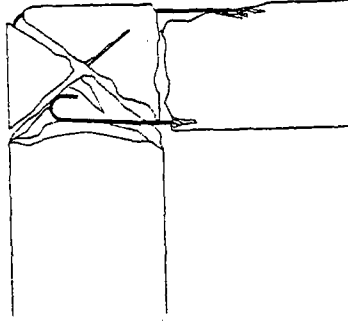
-Birleşim bölgesindeki mevcut yatay ve düşey donatı ile betonun oluşturduğu kafes sistem analojisiyle kesme kuvvetinin taşınmasıdır. Bu önemli katkının ortaya çıkması için düşey donatı yanında yatay donatıda bulunmalıdır. Bu nedenle; birleşim bölgesinde kolon etriyelerinin sürekliliği sağlanmalıdır.

Ek yerinde kolon donatılarına etriye konulmaması sonucu depremlerde özellikle dış aks ve köşe kolonlarında boyuna donatı uzun bir aralıkta, 50-60 cm gibi,etriesiz olduğu için gelen düşey yük altında hemen dışarıya doğru burkulmakta ve üzerindeki beton örtüyü çatlatmaktadır (Şekil 6.25).



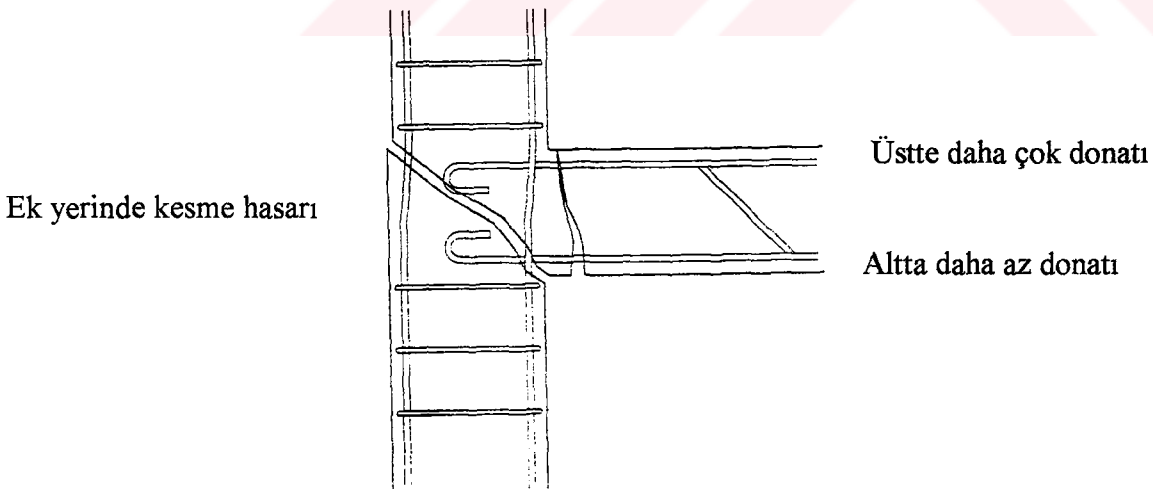
Şekil 6.25 Ek yerinde etriye olmadığı için boyuna donatının dışarıya burkulması (Bayülke, 1998)

Şekil 6.26' da görüldüğü gibi ek yerinde etriye yokluğu ve kiriş boyuna donatısının yetersiz ankrajı sonucunda hasar oluşmuştur. Düşey basınç az olduğu için kolon-kiriş birleşiminde kesme çatlakları meydana gelmiştir.

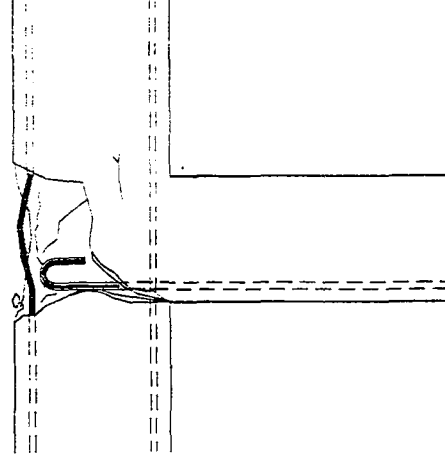


Şekil 6.26 Kolon-kiriş ek yerinde hasar (Bayülke, 1997)

Kiriş boyuna donatıları kolon-kiriş ek yerinde yeteri kadar ankraj edilmedikleri zaman kiriş donatıları sıyrılmakta ve kiriş tam moment kapasitesine ulaşmadan uçlarından kırılıp mafsallı bir konuma gelmektedir. Kirişlerin boyuna donatılarının özellikle dış aks ve köşe kolonlarında Şekil 6.27' de görüldüğü gibi ankraj edilmesi pratik olarak kirişleri uçlarının “mafsallı” olarak davranmasına yol açar. Bu tür bir donatı ankrajı ile kirişlerin uçlarının ankastre olduğu kabulü geçerli olmamaktadır.



Kiriş ucunda pozitif moment hasarı



Şekil 6.27 Ek yeri hasar şekilleri (Bayülke, 1997)

Bu durum kolonların yatay stabilitesini de tehlikeye sokmakta ve yapının büyük yatay ötelenme yaparak bir yana doğru yıkılmasına yol açabilmektedir. Ek yerine etriye konulmaması sonucu ek yerinde bindirilen kolon donatıları eğer uçları kancalı ise yine betonu kırarak dışarıya doğru burkulmaktadır (Şekil 6.27). Ek yerindeki betonun etriyelerle sarılmamış olması ve buna ek olarak, ek yerine fazla düşey yük de gelmiyorsa ek yeri betonunda kesme çatlakları oluşmakta; paralanmış ek yerindeki betondan kirişin boyuna donatıları kolayca sıyrılmaktadır.

6.2.2 Kiriş ve kolon donatılarının aderans boyunun yetersiz oluşu

Betonarme elemanlarının en önemli özelliklerinden biri beton ve çeliğin beraber çalışacak, yani yük taşıyacak şekilde bir araya gelmesidir. Donatı ile onu saran beton arasında herhangi bir relatif yer değiştirmenin, kaymanın olmaması gerekir. Donatının betondan sıyrılması veya ayrılması karma bir malzeme olan betonarmeye beraber çalışmayı önlediği gibi, bazı durumlarda da elemanın göçmesine sebep olabilir. Bu nedenle, donatının tam kapasitesinin kullanılabilmesi için, gözönüne alınan kesite gelinceye kadar donatının betona tam olarak kenetlenmesinin sağlanması gerekir. Kenetlenmeyi sağlayan, çelik çubukla beton arasındaki kayma gerilmelerine, aderans denir. Beton ve donatı arasındaki bağın, üç temel nedene dayandığı kabul edilmektedir.

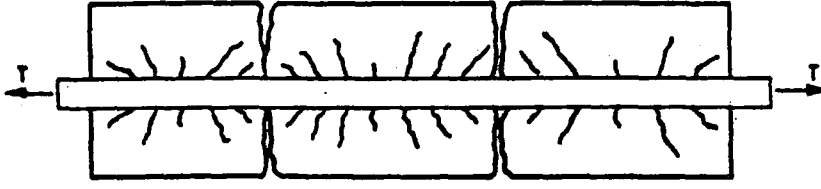
- Çelik ile beton arasında “ yapışma ” olarak nitelendirilebilecek moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri.
- Beton ve çelik çubuk arasında oluşan sürtünme kuvvetleri
- Donatı çubuğu ve beton arasındaki mekanik diş kuvvetleri
- Düz yüzeyli çubuklarda aderans, ilk iki nedene, yani yapışma ve sürtünmeye dayanmaktadır. Nervürlü çubukların aderansında ilk iki nedenin etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Bu tür çubukların aderansı, çubuk üzerindeki çıkıntıların betona yaslanması ile sağlanmaktadır. Bu yaslanmadan oluşan kuvvetlere, mekanik diş kuvvetleri denir.

Aderans dayanımını etkileyen başlıca etkenler şunlardır.

- a) Betonun çekme dayanımı. Nervürlü çubuklarla donatılmış elemanlarda kırılma yarıma ile olacağından, çekme dayanımı özellikle önemlidir.
- b) Çeliğin akma dayanımı kenetlenme boyunca aderans gerilmesi dağılımını etkileyeceğinden önemlidir.
- c) Çubuğun yüzey geometrisi
- d) Donatı çapı. Çap değıştikçe, kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değışmektedir. Ayrıca, yarıma kırılmasında betonda oluşan çekme gerilmeleri de, çapla orantılı olmaktadır.
- e) Aderans kenetlenme boyu ile değışir. Ancak aderans dayanımı, kenetlenme boyu ile orantılı değildir, yani kenetlenme boyunun iki katına çıkarılması, aderans dayanımının iki kat arttığı anlamına gelmez.
- f) Donatı etrafındaki beton örtünün kalınlığı (pas payı). Beton örtünün kalınlığı, özellikle nervürlü çubukla donatılmış elemanlar için önemlidir.
- g) Betonarme çubuğun betonlama sırasındaki konumu. Betonlama sırasında üst yüzeye yakın çubukların altında biriken hava kabarcıkları bu çubukların aderansını zayıflatır. Bu nedenle, üstteki çubukların kenetlenme boyu %40 arttırılmalıdır.
- h) Yerel gerilmeler de aderansı etkileyebilir. Örneğin, mesnetin uyguladığı yerel basınç gerilmeleri, özellikle nervürlü donatı kullanılan durumlarda yarımayı geçiktirebilir.
- i) Sargı donatısı. Sargı donatısı özellikle nervürlü donatı kullanıldığında etkilidir. Sargı donatısı beton kütleyi sararak, yarıma karşı dayanımı önemli ölçüde arttırabilir.
- j) Kullanılan agreganın cinsi ve katkı maddeleri de aderansı etkiler. Örneğin, hafif agrega ile yapılan betonun aderans dayanımı, normal agrega ile yapılan orana daha düşüktür. Pozzolanlı katkı maddeleri de aderansı olumsuz yönde etkileyebilir.

Depremde, betonarme elemanlar tekrarlanan ve tersinir yüklere maruzdur. Bu tür bir yükleme aderansı olumsuz yönde etkilemekte, böylece elemanın yer değıştirmesi artarken, rijitliğinde de önemli azalmalar gözlenmektedir.

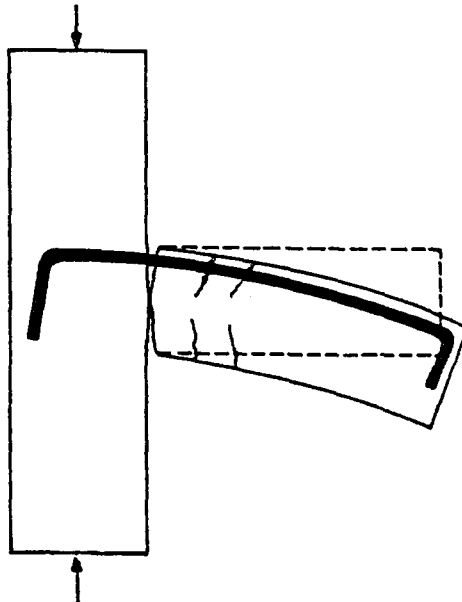
Kenetlenme mekanizmasında, nervürlerin betona tam olarak yaslanabilmesi için, çubuğun betona göre bir miktar kayması gerekmektedir. Bu aşamada, Şekil 6.28' de gösterildiği gibi, donatı çubuğu çevresinde iç çatlaklar oluşacaktır. Bu nedenle, yük boşaltıldığında (donatıda gerilmenin sıfır olduğu durum) donatının eski konumuna gelmesi olanaksızdır. Başka bir deyişle, sıyrılan çubuğu geri getirmek mümkün değildir. Benzer şekilde, ilk yükleme sırasında oluşan çatlaklar da yükün boşaltılması ile tamamen kapanamayacaktır. Kalıcı sıyrılmanın mertebesi ve kapanmayan çatlakların genişliği, daha önce uygulanmış yük veya yüklerin büyüklüğüne bağlıdır. Bu durumda eleman tekrar aynı yönde veya ters yönde yüklendiğinde, artık aderansı zayıflamış bir eleman söz konusudur. Donatının akmasına neden olacak kadar yüksek düzeyde uygulanan tersinir tekrarlanan yükler, donatıyı akma konumuna getirmeyecek düzeyde uygulanan yüklere oranla aderansı çok daha fazla zayıflatmaktadır.



Şekil 6.28 Betonda aderans zayıflaması (Ersoy, 1995).

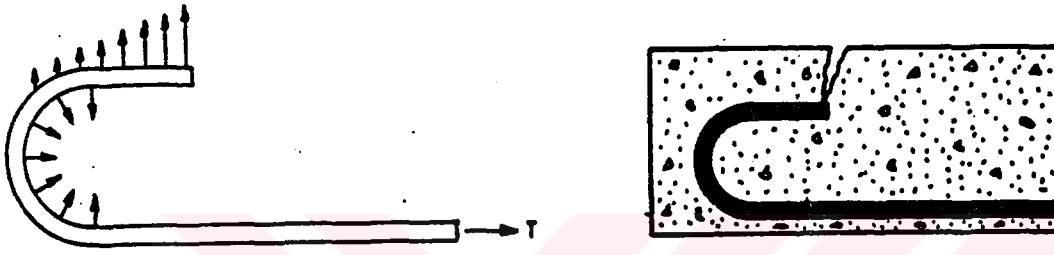
İsmail ve Jirsa, yüksek düzeyde uygulanan ve tersinerek tekrarlanan yükün neden olduğu aderans çürümesinin, eleman rijitliğini önemli ölçüde azalttığı ve dolayısı ile deplasman artışına neden olduğu gözlemişlerdir. Takeda, Sözen ve Nielsen, aderansta gözlenen zayıflama nedeni ile gözlenen rijitlik azalmasının, enerji yutma kapasitesini de aynı oranda azalttığını belirtmişlerdir. Bütün bu bulgular, tersinir, tekrarlanır yük etkileri altında gözlenen aderans zayıflamasının, yapının deprem davranışını olumsuz yönde etkileyeceğini göstermektedir. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapıların oluşturulmasında donatının kenetlenme sorunu son derece önemlidir (Ersoy, 1995).

Aderans zayıflamasına örnek olarak, bir kenar kiriş-kolon birleşimi ele alınacaktır. Şekil 6.29’ da gösterildiği gibi, yüksek düzeyde uygulanan tersinir tekrarlanan yük nedeni ile kirişin kolona birleştiği yerdeki kiriş donatısı, hem üst yüzde hem alt yüzde akarak, plastik mafsallaşmaya neden olacaktır. Azalan kenetlenme boyu ile sıyrılma artacak, bunun doğal bir sonucu olarak da kolon-kiriş birleşim noktasındaki dönme büyüyecektir. Bu nedenle de kirişin enerji yutma kapasitesinde azalacaktır.

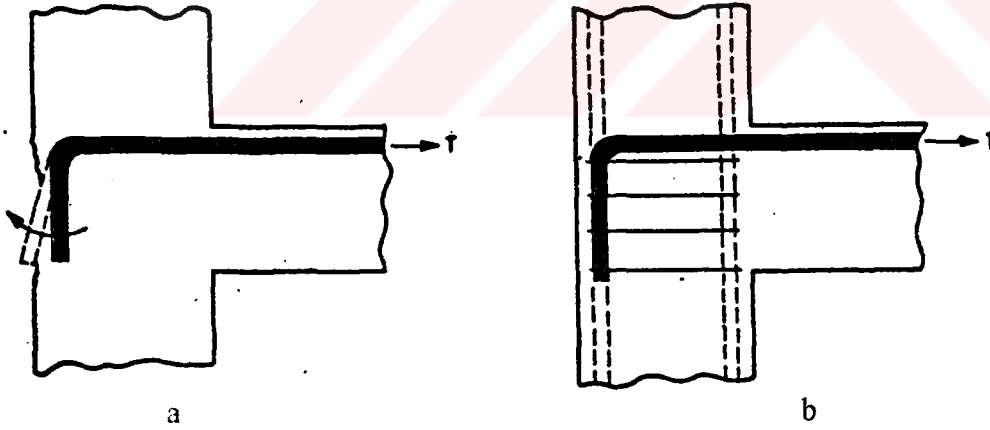


Şekil 6.29 Aderans zayıflaması (Ersoy, 1995)

Aderans sağlamak için yapılan kanca, ankraj (kenetlenme) boyunu azalttığı için çok kullanılan bir uygulamadır. Kancanın geometrisi nedeni ile gerilme birikimleri oluşmaktadır (Şekil 6.30). Ayrıca deneylerde yapılan ölçümler, kancalı çubukların betona göre sıyrılmasının, düz çubuklara göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Kancanın, elemanın bir yüzüne yakın yerleştirildiği durumlarda, sözü edilen gerilme yığılmaları ve aşırı sıyrılma nedeni ile, çevre betonunda çatlama ve yırtılmalar meydana gelebilir. Bu tür bir sorunu önlemenin en etkili yolu, yatay kanca yapmaktır.



Şekil 6.30 Kancanın geometrisi nedeni ile oluşan gerilme birikimi ve betonda oluşan hasar (Ersoy, 1995).

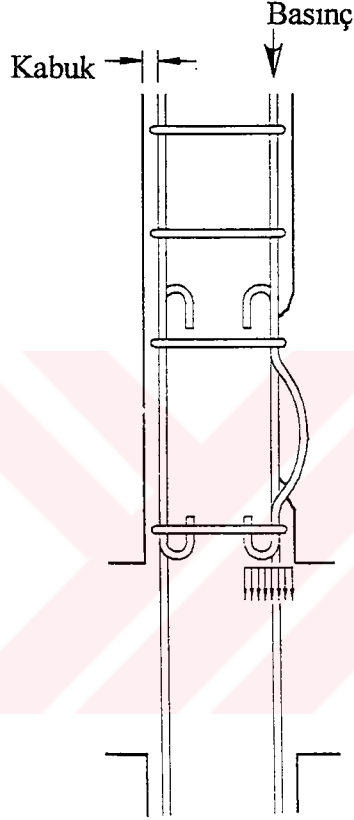


Şekil 6.31 Kenar kolona saplanan kiriş donatısında kanca sorunu (Ersoy, 1995).

Kanca ile diğer bir sorun da, kenar kolona saplanan kiriş donatısında görülür. Bu tür birleşim bölgelerinde kiriş donatısının düz kenetlenmesi için kolon boyutu genelde yeterli olmadığından, donatıya 90°'lik bir kanca yapılır. Toronto Üniversitesi'nde yapılan deneyler, kiriş donatısının çapının büyük olduğu durumlarda kancanın kuyruk kısmının dönerek, örtü betonu parçaladığını göstermiştir (Şekil 6.31a). Bu tür kırılmayı önlemek için alınacak en etkili önlem, kancanın kuyruk kısmını sargı donatısı ile karşı yüzdeki kolon boyuna donatısına bağlamaktır (Şekil 6.31b).

Basınç çubuklarında kanca yapmak sakıncalıdır. Kanca bulunan donatının betona yaslandığı nokta çubuk ekseninden uzaklaşacağından, oluşacak eksantrisite nedeni ile çubuk eğilecek ve kabuk betonu parçalayarak burkulabilecektir. Bu nedenle basınç donatısında kanca kullanmak yararlı değil zararlıdır (Şekil 6.32).

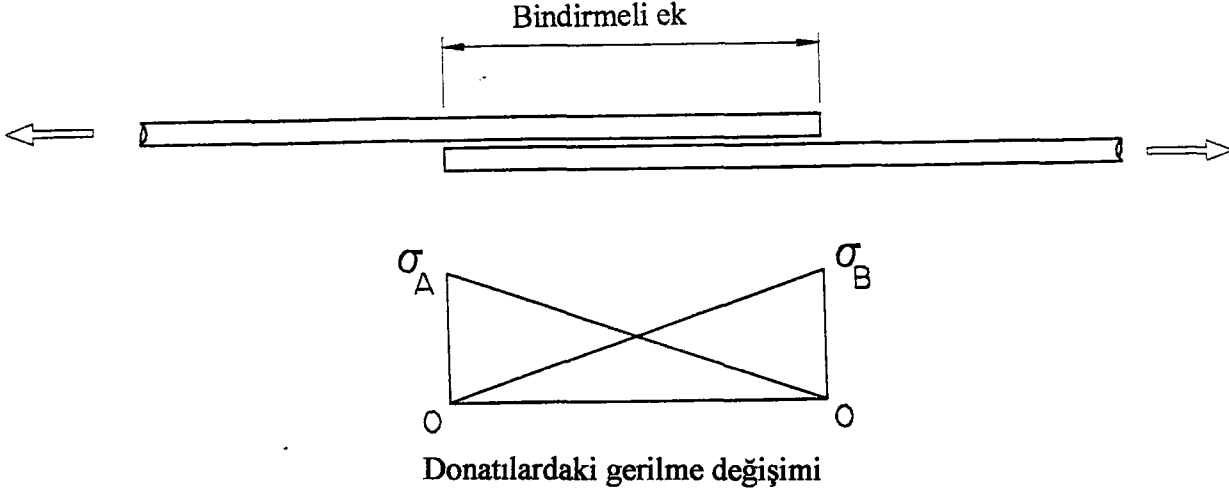
Bazı büyük boyutlu betonarme yapı elemanlarında (otoyol köprü ayakları ve geniş açıklıklı kirişler gibi) donatının eklenmesi gereklidir. Ekler bindirmeli, kaynaklı ve manşon denilen özel mekanik bağlayıcılarla yapılır.



Şekil 6.32 Kanca yapılması nedeni ile kabuk betonda meydana gelen hasar (Bayülke, 1998).

Bindirmeli ek en çok kullanılan ekleme biçimidir (Şekil 6.33). Bindirmeli ekte belli bir bölge içinde gerilme donatıdan betona aderans yolu ile kuvvet aktarır. Bu kuvvet yine aderans yolu ile betondan diğer donatıya aktarılır. Bu kuvvetler, aradaki betonda yüksek kesme kuvvetleri oluşturur (Şekil 6.34)

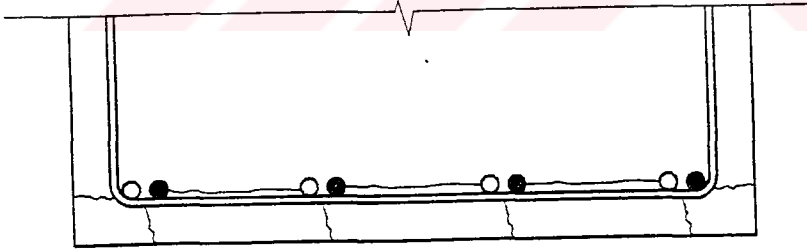
Bu kuvvetler sonucu özellikle çekme kuvvetleri taşıyan elemanlarda Şekil 6.35’ te gösterilen biçimde çatlaklar oluşabilir. Etriyeler bu çatlakları yatayda ve düşeyde keserek genişlemesine engel olurlar.



Şekil 6.33 Bindirmeli ek yerinde donatıdaki gerilmeler (Bayülke, 1998).



Şekil 6.34 Bindirme bölgesindeki beton ara kesitteki gerilmeler (Bayülke, 1998).

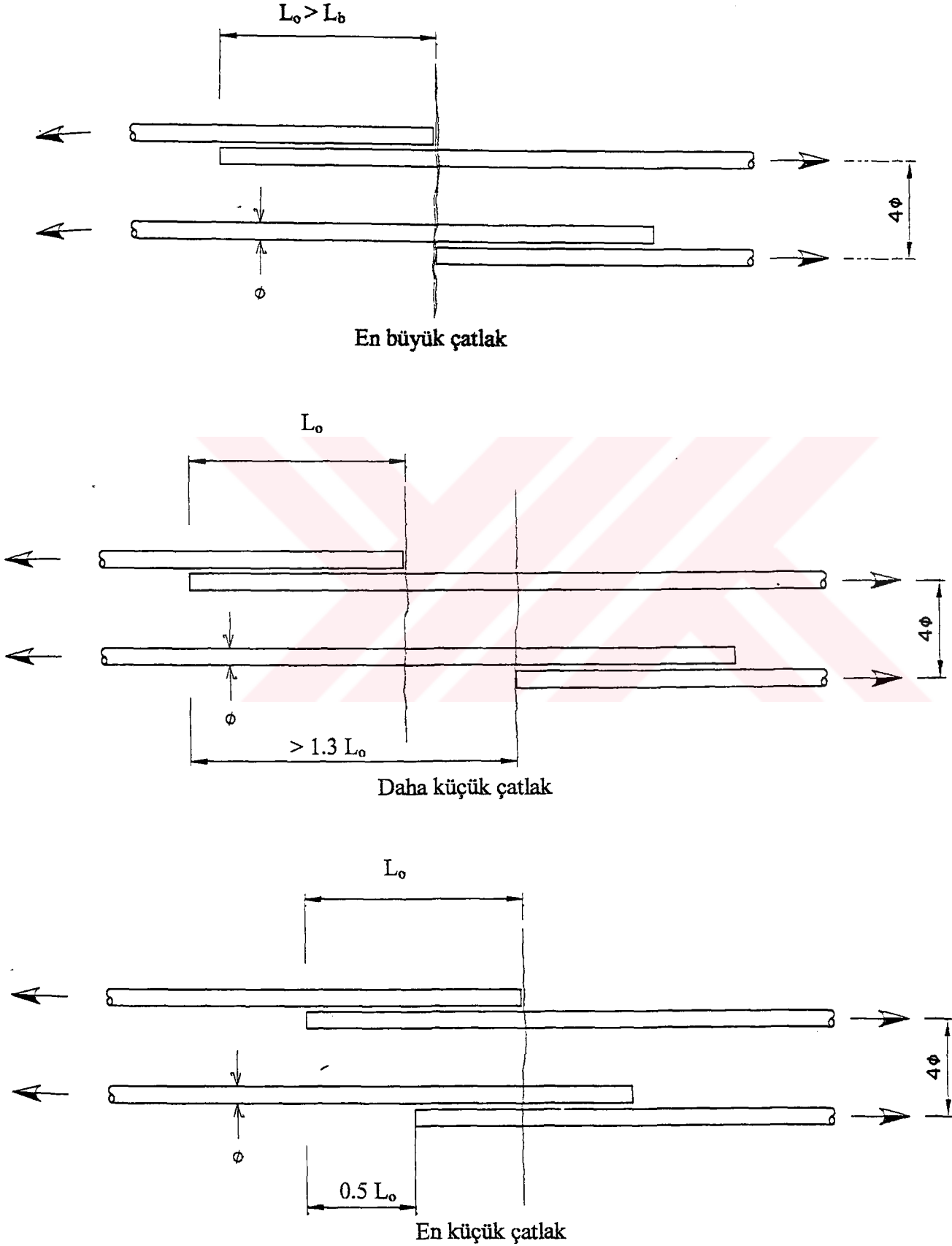


Şekil 6.35 Çekme kuvvetleri taşıyan donatıların bindirme bölgesi betonunda oluşturdukları çatlaklar (Bayülke, 1998).

Bindirmeli ekleme boyunun, donatıların normal aderans boyu L_b ' den daha büyük olması önerilmektedir (Bayülke, 1998).

Bindirmeler ile ilgili bir diğer önemli nokta, donatıların serbest uçlarının çatlak oluşturmaya çok eğilimli olmalarıdır. Eğer en kesitteki bütün donatılarının bindirmeli eklenmesi aynı yerde yapılmış ise çatlakların birikimli olarak çok daha büyük boyutlarda olduğu görülecektir. Eğer bindirmeli eklenen donatılar arasındaki aralık 4Φ ' den az ise durum daha kritikleşir. Bu nedenle bindirmeli eklerin şaşırtmalı, aynı elemandaki donatıların eklerinin farklı yerlerde yapılması gerekir. Çekme etkileri altındaki donatılarda çatlakların küçük olması için

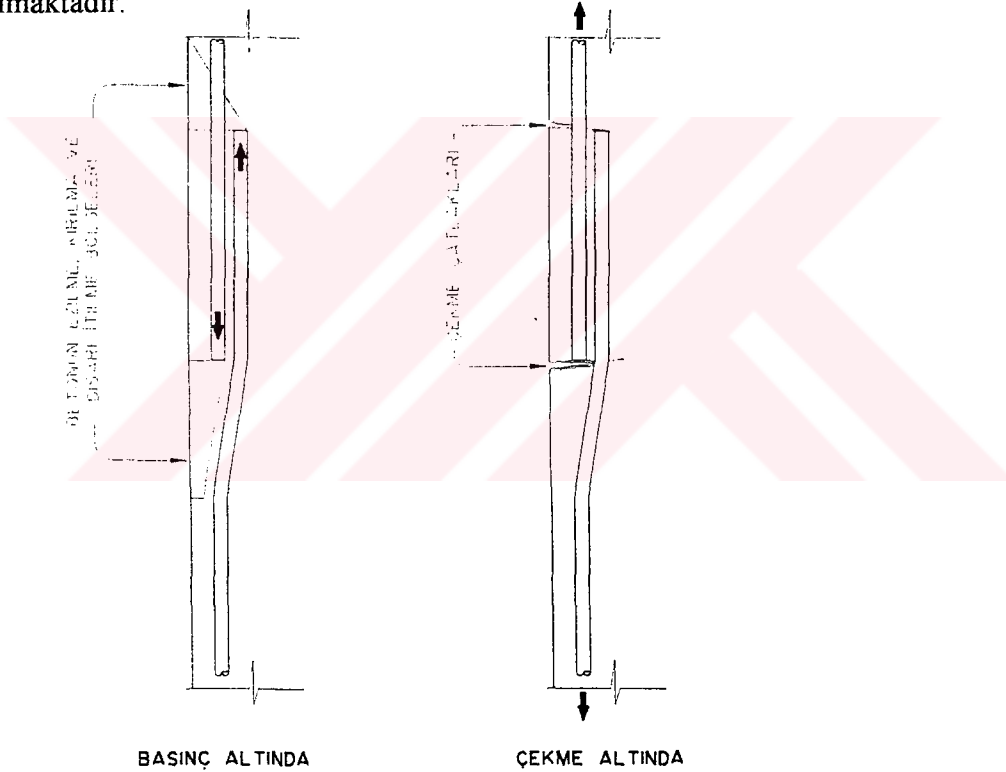
donatıların bindirme aralıkları Şekil 6.36' daki gibi olmalıdır. Bindirme yapılan komşu donatılar arasındaki aralık 12Φ ' den büyük ise bu tür bindirme yeri çatlaklarının birbiri ile birleşerek büyüme tehlikesi azalmaktadır (Bayülke, 1998).



Şekil 6.36 Çekme ekleri taşıyan şaşırtmalı bindirmeli donatı ekleri (Bayülke, 1998)

Eğer deprem sırasında kolon boyuna donatılarındaki gerilmeler akma gerilmelerinin üzerinde ise kolon uçlarındaki bindirmeli ek yeri bölgesinde beton ile donatı arasındaki aderans yeterli olmamaktadır. Bu arada donatıların çapı $\Phi 14$ ve daha küçük ve bindirmeli ek yeri bölgesinde yeterli etriye ile sarılmış ise yeterli miktarda aderans dayanımı oluşabilmektedir. Büyük çaplı donatılarda ise bindirmeli eklemenin aderans gücü, yüksek gerilme düzeylerinde, kolayca yitirilmektedir. Deprem açısından en uygun bindirmeli ekleme yeri momentin az olduğu kolon ortalarıdır .

Kolondaki bindirmeli eklere normal servis yükleri koşullarında basınç kuvvetleri gelmektedir. Bu durumda donatı ucuna rastlayan betonda büyük ezilme kuvvetleri oluşmakta ve Şekil 6.37 de gösterildiği gibi beton kabuk kırılarak dışarı doğru aniden parçalanarak kopmaktadır. Beton pas payı, donatı çapının 0.7' sinden küçük ve donatı çapı $\Phi 14$ mm' den büyük ise beton kabuk kırılması olmaktadır.



Şekil 6.37 Kolonda bindirmeli ekler nedeni ile betonda oluşan hasarlar (Bayülke, 1998).

6.2.3 Kiriş ve kolonlarda yetersiz etriye ve çiroz kullanılması

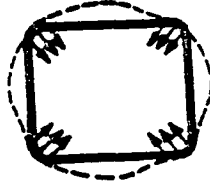
Depreme dayanıklı yapı için gerekli olanlardan biri de yeterli miktar ve yerde etriye bulunmasıdır. Depreme dayanıklı yapı, taşıyıcı elemanlarında yeterli etriyesi olmalıdır. Etriyelerin kullanılmasının faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Eğik çekme gerilmelerinin kiriş eksenine boyunca yayılı olması nedeni ile, belirli aralıklarla düzgün yerleştirilen etriyeler, etkinin karşılanması bakımından uygundur.
- Eğik çekme gerilmeleri ile belirli açı yapan etriyeler kesme kuvvetinin işaretinin değiştiği durumda da uygundur.

- c) Etriyeler kiriş boyuna donatısını betona bağlayarak bunların kesme kuvvetinin karşılanmasındaki perçin etkisini arttırlırlar. Ayrıca boyuna donatıların bindirmelerinin yapıldığı yerde sık aralıklı enine donatı olması bindirmenin etkinliğine katkıda bulunmaktadır.
- d) Kesme kuvvetinin karşılanmasında ortaya çıkan beton basınç kuvvetleriyle beraber kafes sistem etkisi oluşturlar.
- e) Eğik çekme gerilmelerinden ortaya çıkan çatlakları sınırlayarak kesme kuvvetinin bir kısmının agrega sürtünmesi ile taşınmasını sağlarlar.
- f) Özellikle sık kullanılan etriye durumunda betonun yanal genişlemesini azaltarak betonun hem dayanımını hem de sünekliğini arttırlar.

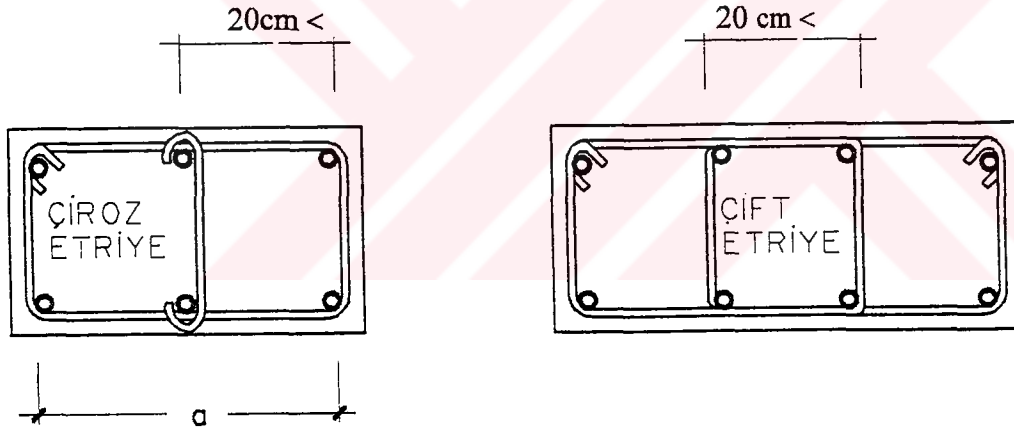
Depreme dayanıklı betonarme yapıda etriyelerin yeterli sıklıkta konulması kadar, uçlarının açılmayacak bir şekilde bükülmesi de önemlidir. Yeni Deprem Yönetmeliği'nde etriyeler için bazı zorunluluklar getirilmiştir. Bunlar; özel deprem etriyelerinin her iki ucunda mutlaka 135 derece kıvrımlı kancalar bulunacaktır. 135 derece kıvrımlı kancalar, Φ enine donatı çapını göstermek üzere, en az 5Φ çaplı daire etrafında bükülecektir. Kancaların boyu kıvrımdaki, en son teğet noktasından itibaren, düz yüzeyli çubuklarda 10Φ ve 100 mm' den, nervürlü çubuklarda ise 6Φ ve 80 mm' den az olmayacaktır. Özel deprem çirozlarında ise bir uça 90 derece kıvrımlı kanca yapılabilir. Bu durumda kolonun veya perdenin bir yüzünde, kanca kıvrımları 135 derece ve 90 derece olan çirozlar hem yatay, hem de düşey doğrultuda birer atlayarak düzenlenecektir. Özel deprem çirozlarının çapı ve aralığı, etriyelerin çap ve aralığı ile aynı olacaktır. Çirozlar, her iki uçlarında mutlaka boyuna donatıları saracaktır.

Betonarme elemanlarının birçoğunda boyuna donatıyı saran enine donatı olarak, sürekli helezon şeklinde fretler veya donatı kafesinin biçimine uymak üzere dikdörtgen şeklinde bireysel etriyeler kullanılır. Çoğu durumda sargı donatısı olarak dikdörtgen etriyeler kullanılmaktadır. Poisson etkisi ile genişlemeye çalışan göbek betonunun dikdörtgen etriyeye uygulayacağı basınç, dairesel frette uygulananndan çok değişiktir. Şekil 6.38' de gösterildiği gibi, uygulanan iç basınç altında dikdörtgen etriyenin kapalı bir çerçeve gibi deforme olmasıdır. Bu durumda davranışa eğilme hakim olduğundan, deformasyon ortalarında maksimum, köşelerde ise sıfır olacaktır. Dikdörtgen etriyenin deformasyonu, eğilme rijitliğine bağlı olduğundan ve eğilme rijitliği aksel rijitlikten çok daha küçük olduğundan, bu tür etriyelerdeki deformasyonlar frette oranla çok daha büyük olacaktır. Çekirdek betonuna uygulanan yanal basınç, deformasyona, dolayısı ile dikdörtgen etriyede eğilme rijitliğine, dairesel frette ise aksel rijitliğe bağlı olduğuna göre, sargı donatısının çapı arttıkça ve adım aralığı azaldıkça, dayanım ve süneklik artacaktır. Bu yüzden fret en etkili sargı donatısıdır.



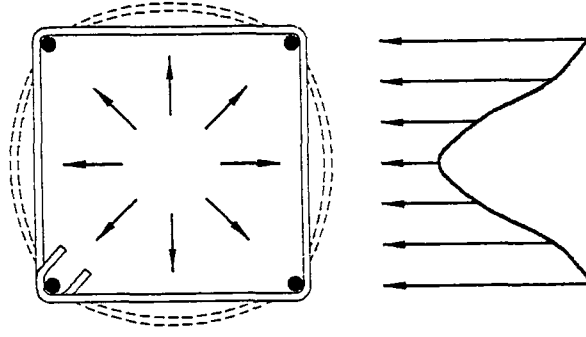
Şekil 6.38 Etriyenin çekirdek betona uyguladığı yanal basınç (Ersoy, 1995).

Etriyenin kolon boyuna donatısı gibi burkulmasını önlemek için etriyelerin serbest boyları 20 cm' den fazla olmamalıdır. Etriyelerin serbest boylarının fazla olması durumunda çiroz ve çift etriye kullanılarak etriyelerin serbest boyları azaltılmalıdır (Şekil 6.39). Eksenel yük altındaki kolon çekirdek alanı Şekil 6.40a' da gösterilen durumdadır. Etriyeler yanal genişleme eğiliminde olan betonla zorlanmaktadır. Bu koşullarda çekirdek betonuna yeterli yanal destek sağlamak için çiroz ya da çift etriye kullanılması gerekir (Şekil 6.40b ve Şekil 6.40c). Böylece betona verilen yanal destek daha düzgün yayılı bir biçim almakta ve beton sarılarak basınç dayanımını artırılmaktadır.

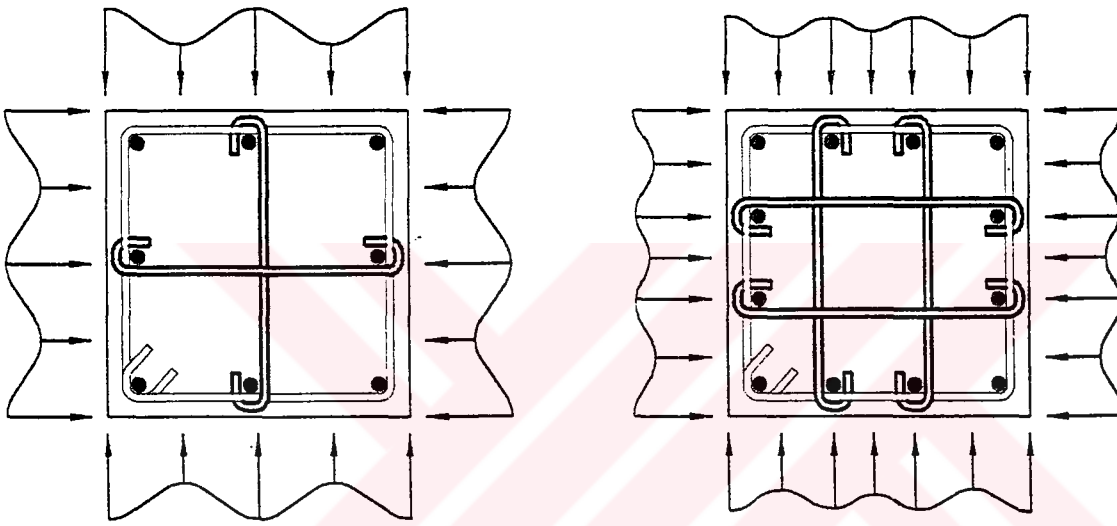


Şekil 6.39 Kolon çekirdek betonun kısıtlanması için etriye yerleştirme biçimleri (Bayülke, 1998)

Deprem enerjisi kolonun rijit ek yerinin mafsallı ek yerine dönüşmesi ile tüketilmektedir. Eğer kolon uçlarında etriye sıklaşması yapılmamış ise betonun ezilme ve paralanması etriye ve boyuna donatılarının içinde kalan ve çekirdek betonu olarak nitelenen bölgeye de yayılmaktadır. Eğer etriye sıklaşması yapılmış ise çekirdek betonunda ya fazla bir çatlama olmamakta ya da depremin çok şiddetli olduğu zaman oluşmaktadır.



a) Etriyelerin betona sağladığı yanal basıncın dağılımı

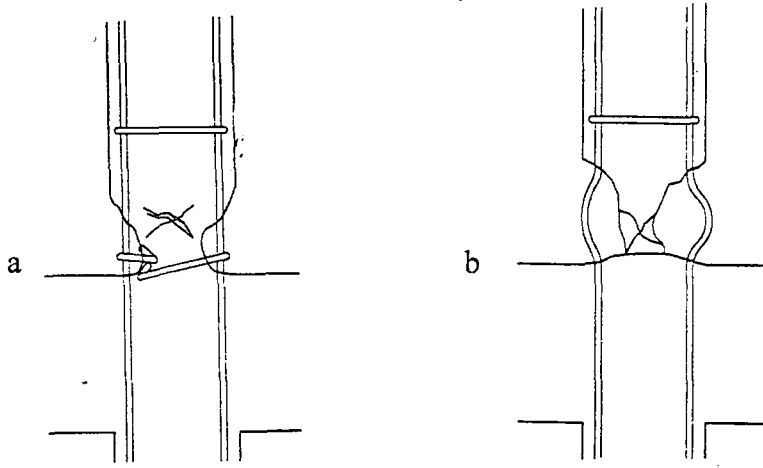


b) Çirozlarla yanal basıncın eşit yayılı dağılıma yaklaştırılması

c) Çok sayıda çirozla yanal basınç dağılımı eşit yayılı duruma gelir

Şekil 6.40 Enine donatıların miktar ve yerinin betona verdiği yanal basınç dağılımı üzerindeki etkisi (Bayülke, 1998).

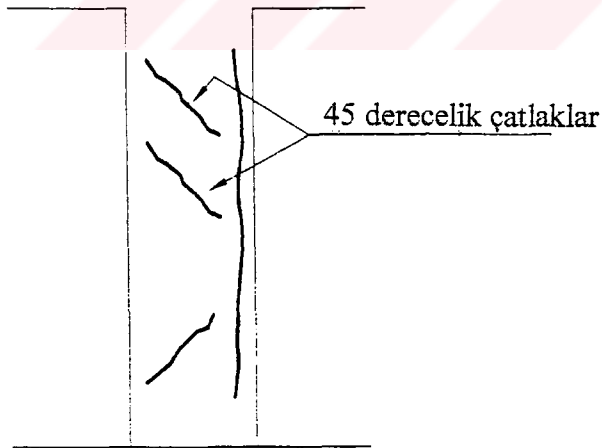
Kolon betonunun ezilip parçalanması sonucu kolon düşey yükleri de taşıyamamakta, etriyeler açılmakta ve boyuna donatılar dışarıya doğru burkulmaktadır (Şekil 6.41). Bu arada betonun boyuda kısılmaktadır. Yönetmeliğe göre etriye sıklaştırılması yapılmış kolonlarda mafsallaşma hasarı daha geniş bir bölgede sık ve ince çatlaklar halinde oluşacaktır. Etriye sıklaştırması çatlakların daha geniş bir alanda daha küçük boyutta kalmasını sağlayacak ve donatıdaki pekleşme daha geniş bir bölgede gerçekleşecektir.



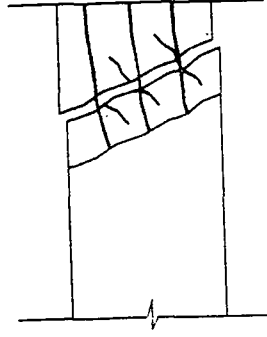
Şekil 6.41 Kolonda mafsallaşma hasarının ileri aşamaları (Bayülke, 1997).

6.2.4 Kolonlarda hasar biçimleri

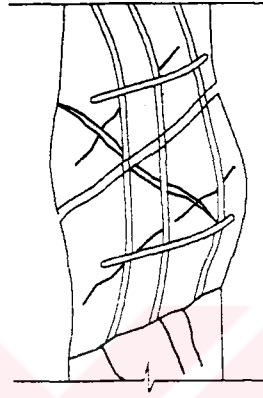
Eğer kolonun kesme kuvveti taşıma gücü yetersiz ise Şekil 6.42’ de görülen kesme çatlakları oluşmaktadır. Kesme çatlakları kolonda yaklaşık 45 derece eğimli çatlaklar olarak meydana gelmektedir. Şekil 6.43 ve Şekil 6.44’ te ileri düzeyde gelişmiş kolon kesme kırılması hasarları gösterilmektedir.



Şekil 6.42 Kolonda kesme hasarı (Bayülke, 1997)

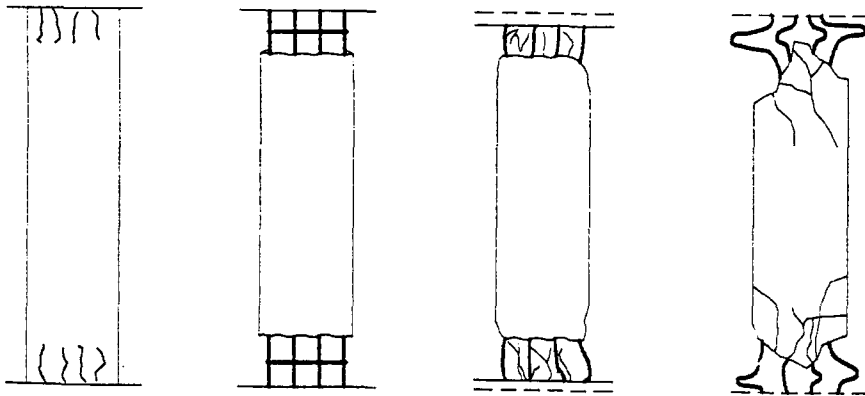


Şekil 6.43 Kolon üst başında ileri derecede kesme kırılması (Bayülke, 1997).



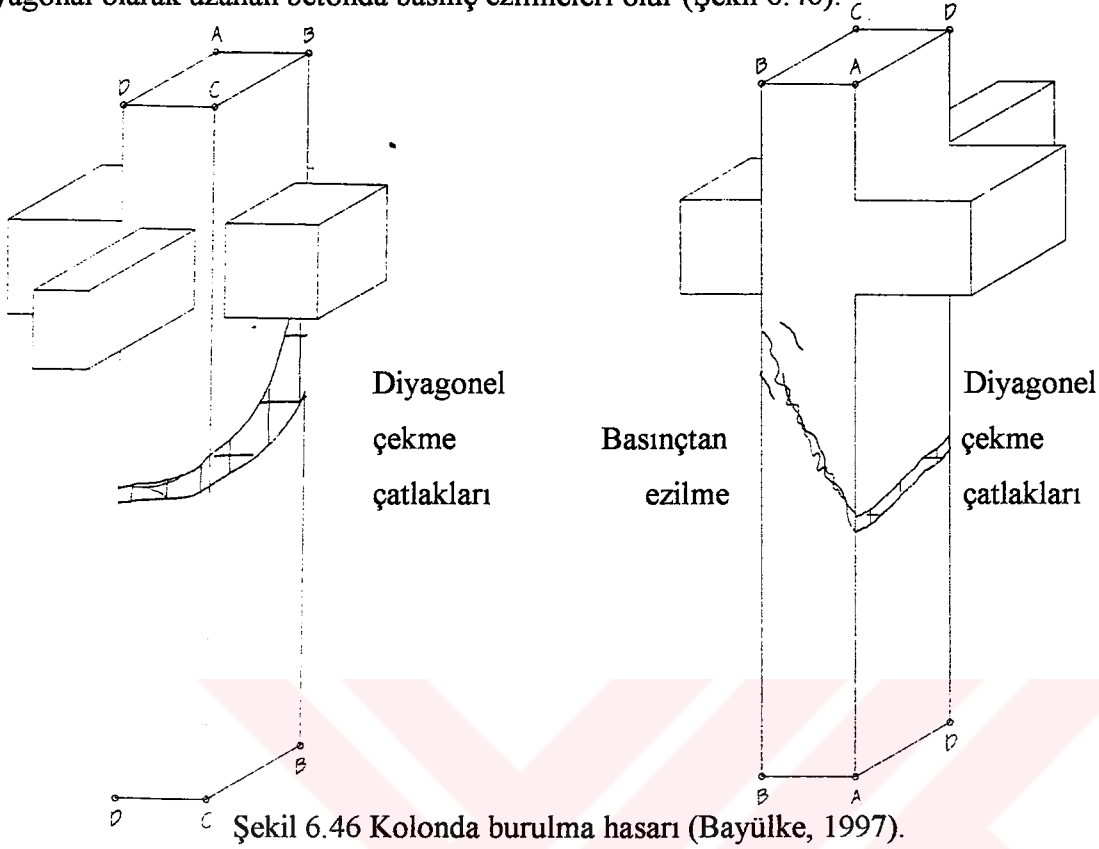
Şekil 6.44 Kolonda ileri derecede kesme kırılması (Bayülke, 1997).

Eğer kolonun aksenal yükü fazla, diğer bir deyişle aksenal yükü, taşıma kapasitesinin %50' sinden fazla ise kolonda deprem sırasında basınç kırılması oluşacaktır. Aynı hasar beton dayanımı projesinde öngörülen dayanımdan çok daha düşük olan kolonlarda da olur. Şekil 6.45' te kolonda basınç kırılmasının gelişimi gösterilmektedir. Basınç kırılması kolonlarda gevrek ve ani bir kırılma biçimidir. Kolon boyuna donatısının akma gerilmesine ulaşmadan betonun ezilerek çatlaması biçiminde gelişir. Yapının ani olarak yıkılmasına yol açabilir. Kolonun dış yüzünde betonda oluşan düşey çatlaklardan sonra ilk belirtileri kolon boyuna donatısının dışarıya doğru burkulmaya başlamasıdır.



Şekil 6.45 Betonarme kolonda basınç kırılması aşamaları (Bayülke, 1997).

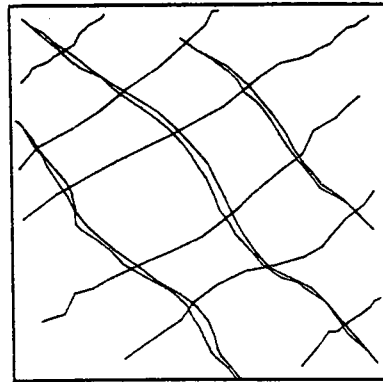
Kolonlarda gözlenen bir diğer hasar biçimi burulma hasarıdır. Kolonun bir tarafında diyagonal olarak uzanan çatlaklar ve betonda dökülmeler olurken diğer tarafında da yine diyagonal olarak uzanan betonda basınç ezilmeleri olur (Şekil 6.46).



Şekil 6.46 Kolonda burulma hasarı (Bayülke, 1997).

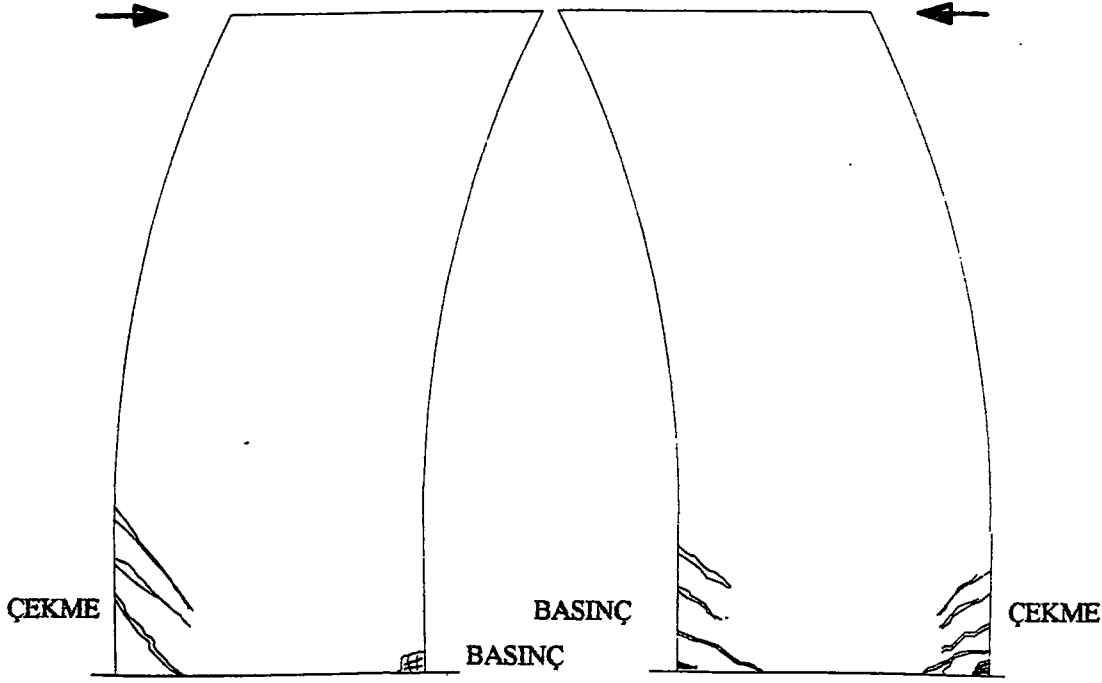
6.2.5 Perde duvarlarındaki hasar biçimleri

Perde duvarları hasarı yapının kat sayısına göre değişmektedir. Birkaç katlı alçak yapıların perde duvarlarında Şekil 6.47' de görülen kesme çatlakları görülür. Çünkü, gelen yatay deprem kuvvetlerinin yapı yüksekliği ile çarpımından oluşan eğilme momenti etkileri, yapı alçak olduğu için duvarın moment taşıma kapasitesinden daha az olur ve eğilme kırılması oluşmaz. Çatlaklar düşey ve yatay ile 45 dereceye yakın bir açı yaparlar. Eğer düşey yük miktarı önemli ise daha dik açılı çatlaklar oluşabilir.



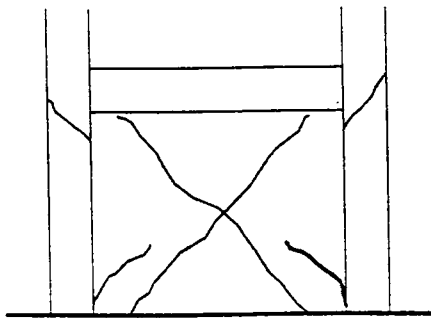
Kesme çatlakları

Şekil 6.47 Alçak bir binanın perde duvarında deprem çatlakları (Bayülke, 1997).

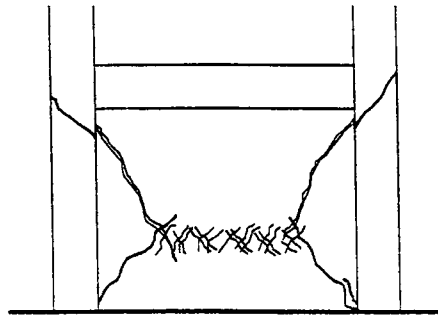


Şekil 6.48 Yüksek bir binanın perde duvarında oluşan eğilme çatlakları (Bayülke, 1997).

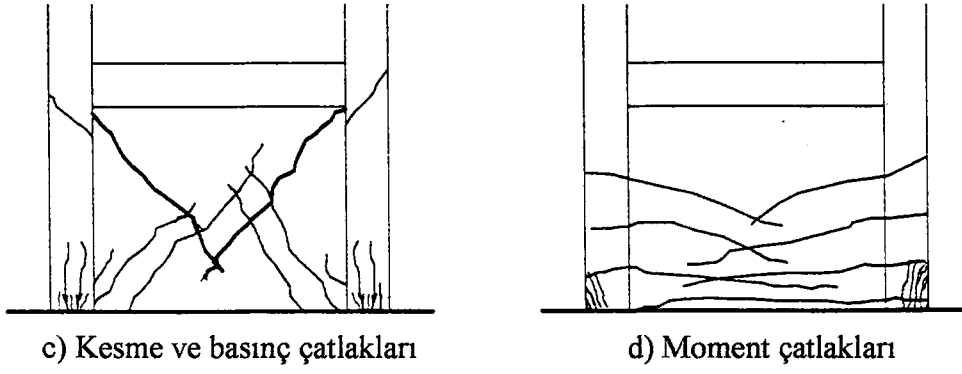
Çok katlı perde duvarlı yapılarda ise zemin ve zemine yakın katlarda Şekil 6.48’ de görülen cinsten eğilme çatlakları olur. Bu tür hasar pencere ya da kapı boşluğu olmayan perde duvarlarda görülmektedir. Şekil 6.49’ da kolon uç elemanları olan perdelerin hasar örnekleri verilmektedir. Eğer I-kesitli perde duvarda kesme dayanımı yetersiz ise ve perde yüksek değilse Şekil 6.49a’ daki gibi eğik çekme kırılması olur. Eğer perdeler zayıf ve kolon uç elemanları güçlü ise gövdede kesme kırılması olur (Şekil 6.49b). Uç elemanı olan kolonlar zayıf ise ve etriye sıklaştırması yoksa, kolonlarda, perdenin dönmesi ile oluşan büyük basınç kuvvetleri kolonların boyuna donatılarının burkulmasına ve betonun basınçtan ezilmesiyle kırılmasına neden olur (Şekil 6.49c). İdeal olan Şekil 6.49d’ deki eğilme momenti altında kırılma biçimidir.



a) Eğik çekme çatlakları

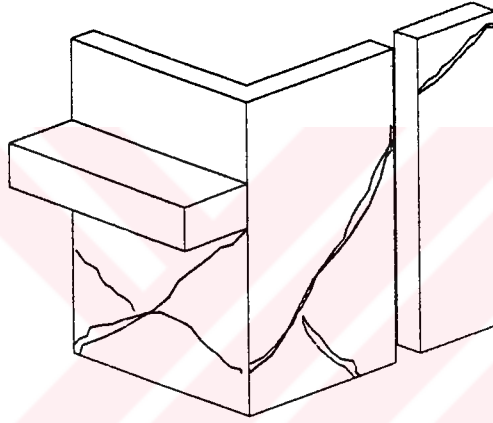


b) Gövdede kesme çatlağı



Şekil 6.49 Perde duvarların hasar biçimleri (Bayülke, 1997).

Perde duvarların yapı içinde simetrik bir konumda olmamaları onların depremde burulma etkilerine maruz kalmalarına yol açar (Şekil 6.50).



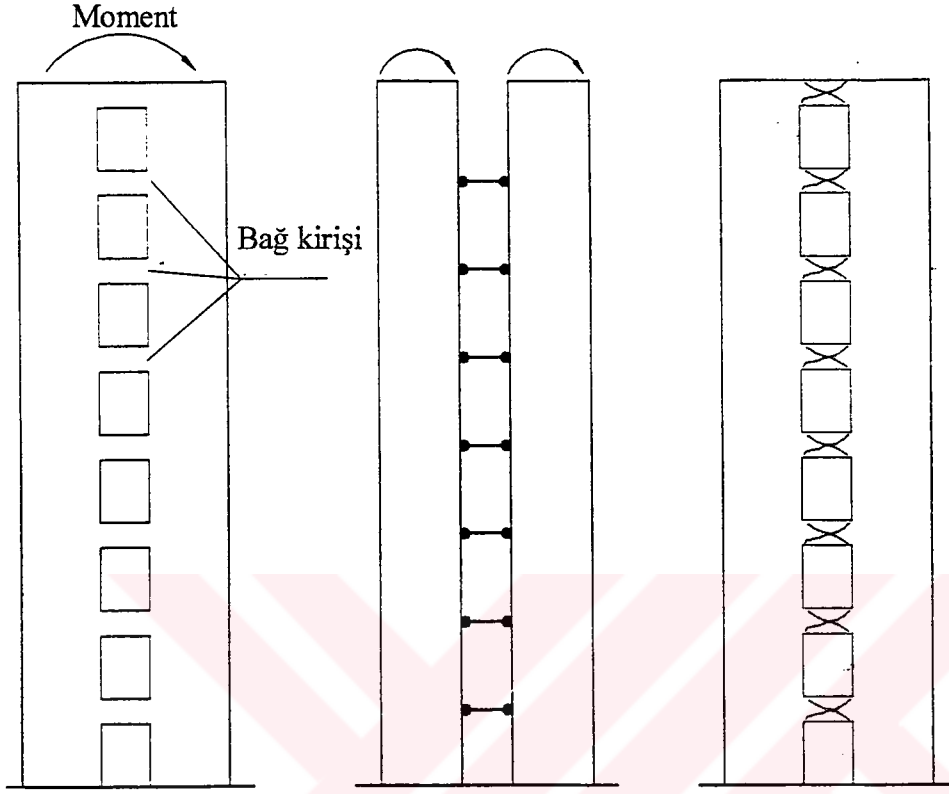
Şekil 6.50 Burulma çatlakları oluşmuş bir perde duvar (Bayülke, 1997).

Boşluklu perde duvarlarının deprem hasarı değişiktir. Boşluklu perde duvar birbirine kat düzeyinde bağ kirişleri ile bağlanmış iki dolu perde duvar gibi davranmaktadır (Şekil 6.51). Önce iki dolu perdeyi birbirine bağlayan bağ kirişlerinin uçlarında kesme ya da eğilme kırılması olmaktadır. Bu hasar aşaması sonunda boşluklu perde duvar iki bağımsız dolu perdeye dönüşür. Daha sonra her bir dolu perdenin tabanında Şekil 6.48’ de gösterilen eğilme kırılması beklenir.

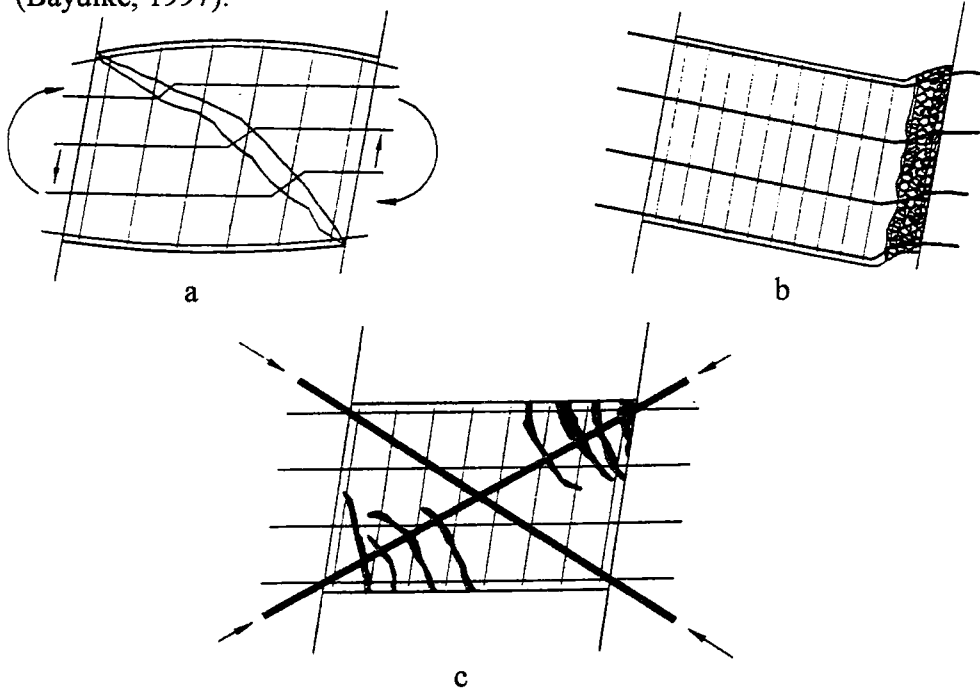
Bağ kirişlerinin kırılma biçimi içindeki donatılarının yerleşme biçimine bağlı olmaktadır. Bağ kirişleri derin kiriş gibi donatılmış ise eğik çekme çatlaklı kesme hasarı olur (Şekil 6.52a). Bağ kirişine sık aralıklarla etriye konulması eğik çekme çatlaklarını önlemekte, kiriş ucundaki kesme hasarına engel olamamaktadır (Şekil 6.52b). Bağ kirişine eğik yerleştirilmiş boyuna donatılar hasarın sünek olan eğilme kırılması biçiminde olmasını sağlamaktadır (Şekil 6.52c).

Perdeli çerçevesel yapılarda ise önce perde duvar hasarı beklenir. Perde duvarın hasarından sonra yaptığı ötelenmeler artacağından çerçeve elemanlarından da hasar başlar. Perdeli

çerçevesi yapılarında perdenin yaptığı büyük ötelenmeler kolonlarda bu ötelenmeyi karşılayabilme gücü yoksa uçlarında mafsallaşmaya neden olabilir.



Şekil 6.51 Boşluklu perde duvarların yatay kuvvetler altında davranışı ve oluşan çatlaklar (Bayülke, 1997).



Şekil 6.52 Bağ kirişlerinin donatı yerleştirme biçimlerinin davranış üzerindeki etkisi (Bayülke, 1997)

6.2.6 Statik ve betonarme hesabın yetersiz olması

6.2.6.1 Kullanım amacının zamanla değişmesi

Projecinin amacı, mühendislik yapısını öngörülen ömrü süresince karşılayacağı yük ya da yük etkilerine yıkılmadan ve aşırı deformasyona uğramadan karşı koymasındır. Ancak, yapının mimari tasarımında belirtilen kullanım amacının zamanla değişmesi ile boyutlandırmada gözönüne alınan sabit ve hareketli yük değerlerinde artmalar olabilmektedir. Ayrıca, yurdumuzda belediye kat sınırlamaları değişebilmekte ve çatı döşemeleri normal kata dönüşebilmektedir. Tasarımcı bu durumlardaki sabit ve hareketli yük miktarındaki artmayı tahmin etmelidir. Bu yüzden, ileride yapının limit durumuna gelmesini önleyecek tedbirler almak durumundadır.

Deprem yükü etkisi, yapı ağırlığı ile orantılı olarak arttığından yapıdaki yük artışı yapıyı beklenen deprem kuvvetlerinden daha fazla yüke maruz bırakmaktadır. Bu nedenle, yapısal özellikler içerisinde yük artımı da gözönünde bulundurularak hesaplar yapılmalıdır.

6.3 Denetimsizlik ve Kötü Malzeme Kullanımı

Betonun mekanik mukavemetleri arasında değeri en büyük olan basınç mukavemetidir. Bu husus gözönünde tutularak beton yapılarda daha çok basınç gerilmelerine maruz bırakılarak kullanılır. Nitekim betonun çekmeye karşı mukavemetinin zayıf olmasından dolayı betonarme yapı sistemi kullanılmaya başlanmıştır.

Beton üzerinde yapılan bir çok çalışmada bu malzemenin muhtelif özellikleri ile basınç mukavemeti arasındaki bağıntılar aranmıştır. Bu çalışmalar sonunda; betonun muhtelif mekanik özelliklerinin, basınç mukavemeti ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Böylelikle basınç mukavemeti yüksek olan bir beton üretmekle diğer mekanik özellikleri de yeter derecede üstün olan bir beton elde edilir. Bu konuda şunu söyleyebiliriz; Betonun basınç mukavemeti bileşiminin bir fonksiyonudur. Bileşimin belirli bir durumu için basınç mukavemeti maksimum değer alırken diğer özellikler maksimum değerlerini değil, fakat maksimumdan az fark eden değerlere sahip olurlar. İşte bundan dolayı beton bileşiminin basınç mukavemetinin yüksek olmasını sağlayacak şekilde saptanması ile betonda aranan diğer özellikler kendiliğinden gelecektir.

6.3.1 Agregada nedeniyle yeterli beton dayanımına ulaşılamaması

Agregalar yeryüzündeki kayalardan oluştuğu için bu kayaların özelliklerini taşırlar

Magmatik ve metamorfik kayalar, ayrışmamışlarsa genellikle uygundur. Granit, siyenit, diorit, bazalt, kuvarzit gibi magmatik, mermer, gnays, amfibolit gibi metamorfik kayalar sağlam ve kaliteli agregalar verirler. Mermer dışındakilerin çimento ile aderansı üstün düzeyde değildir. Yapraklı dokuya sahip olan mikaşist ise kullanılamaz. Bu kayalar mineralleri nedeniyle bazen sorunlar çıkarırlar. Bu mineralleri ve sakıncaları aşağıda özetlenmiştir.

- Silis, kuvarz durumunda uygundur. Ancak daha aktif silis polimorfları içeren kristoballit, tridimit, opal ve kalseduvan alkali reaksiyonuna yol açtığından sakıncalı olabilirler. Aktif silikat içeren riolit, obsidyen gibi yüzeysel magmatik kütelere de dikkat edilmelidir.
- Feldspatlar su ve hava etkisi ile bozularak kil' e dönüşürler. Kil ise su ile şişen, ayrıca agrega-çimento aderansını bozan bir ögedir. Feldspat' ın granit ve gnaysta bulunduğu unutulmamalıdır.
- Mika-klorit mineralleri yumuşak ve tabakalaşan minerallerdir. Bunların yassı yapıları agreganın su (ıslanma suyu) gereksinimini artırır.
- Amfibol- piroksen uygundur.
- Zeolit' ler alkali reaksiyonuna yol açarlar.
- Pirit (FeS_2) minerali ayrışarak demir hidroksit' e $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ ve H_2SO_4 ' e dönüşür. Bu hem hacim sabitliğini bozar, hem de asit etkisiyle betonu parçalar.
- Serpantin, klorit sınıfından bir minareldir, Çatlaklı ve hacim sabitliği yönünden sakıncalı bir mineral olarak değerlendirilir, su alınca şişer.

Tortul kütleleri iki grupta toplayabiliriz. Kalker ve dolomit kökenli kayalar, greler.

Kalker ve dolomit' ler çimentoda aderansları yönünden en uygun agregalardır. Bunlarda ve özellikle dolomitlerde kil damarlarına rastlanabilir. Bu durumda kilin su alarak şişmesi sonucu sakıncalar meydana gelir.

Sert greler kullanılabilir. Ancak yumuşak, marn, şist, anidrit ve jips kesinlikle kullanılamazlar. Yumuşak gre, marn, şist suya duyarlı malzemelerdir ve betonun hacim

sabitliğini bozarlar. Jips ve anidrit ise ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ve CaSO_4) sülfat etkisi meydana getirirler.

6.3.1.1 Agregalarda bulunması kısıtlanan maddeler

- Çamurlu maddeler-kil: Tane yüzeylerine yapışan kil, hatta silt ve taş unu aderansı sıfıra indiren unsurlardır. Kilin prizi geciktirme niteliği de vardır. Kil betonun hacimsel kararlılığını bozar, çünkü bunlar su alarak şişerler, ayrıca hiç mukavemetleri olmadığından beton içinde boşluk gibi davranırlar. 13 Mart 1992 Erzincan depreminde hasar gören yapılardaki incelemelerden, agreganın Fırat nehri yatağından alınıp hiç bir işleme tabi tutulmadan kullanıldığı, bu nedenle birçok yapıda beton içerisinde kile rastlanmıştır (13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu).

- Organik maddeler: Organik maddeler zayıf asit karakterindedirler. Çürümüş bitki kökleri, humus toprakları agregaya karışabilir. Bu asitler özellikle prizi geciktirme eğilimindedirler ve sertleşmeyi yavaşlatarak betonun mukavemetinde azalmaya neden olurlar.

- Hafif maddeler: Kömür, fosil ve deniz hayvan kabukları normal agregaya oranla hafif olurlar. Bunlar mekanik yönünden yetersizdirler. Kömürün varlığı kükürtün varlığı için de bir gösterge sayılır. Kükürt ise bilindiği gibi sülfat etkisine yol açar.

- Alkali reaktivitesi oluşturan maddeler: Çimento içinde bazı durumlarda Na_2O , K_2O gibi alkali oksitler bulunabilir. Bu, çimentonun hammaddelerinin bir sonucudur. Bu alkali oksitler agrega içinde aktif silis bulunması durumunda bir silikat jeline dönüşürler. Sodyum, potasyum ve kalsiyum silikatı olan bu jel şişme ve genişleme eğilimindedir. Betonun hacim sabitliğini bozar ve ağ şeklinde sık çatlaklar meydana getirerek hasara neden olurlar. Olayın meydana gelmesi için iki şartın bir arada olması gerekir.

- 1- Çimento alkali oksit içermelidir. Eşdeğer alkali değeri olarak adlandırılan ($\text{Na}_2\text{O} + 0.66 \text{K}_2\text{O}$) değeri %0.6' yı aşıyorsa tehlike var olabilir.
- 2- Agregalar içinde aktif silis bulunmalıdır. Aktif silis kuvarz' ın dışındaki SiO_2 polimorflarıdır (tridimit, kristoballit, cam).

6.3.2 Beton karma suyu nedeniyle yeterli beton dayanımına ulaşamaması

Karma suyu priz olayına ve ileri yaşlarda betonun kimyasal dayanıklılığına negatif etki yapmamalıdır. Kural olarak içilebilen sular beton üretiminde kullanılabilir. Ancak her zaman bu nitelikte su bulmak mümkün değildir. TS 500 (Betonarme yapıların yapım ve hesap kuralları) standardında bu hususta gerekli koşullar verilmiştir. Bunlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1- Beton karma suyu asit olmamalıdır, yani pH derecesi 7 veya 7' nin üstünde olmalıdır. Sudaki sülfat içeriği de SO_3 iyonunun 0.002' yi aşmaması koşuluyla sınırlandırılmıştır. 0.002' nin anlamı 1 litre suda 2 gram SO_3 anlamına gelir.
- 2- Su içinde bulunan bazı anyon ve katyonlardan kaçınılmalıdır. Bunlar Cl, CO_3 , NH_4 , Mn, Mg vb. maddelerdir.
- 3- Prizi geciktirmeleri açısından ağır metal ağır metal tuzlarından ve oksitlerinden kaçınılmalıdır. (Kurşun ve çinko tuzları gibi)
- 4- Organik maddelerden kaçınmak gerekir. Çürümüş bitki kökleri ve bitkiler asitlere dönüşür. Bu arada şeker, nişasta gibi maddeler prizi geciktirerek önemli sorunlar çıkartır.

Belirli miktar çimento, kum ve iri agrega kullanılarak beton üretimi istendiğinde en uygun gelen bir optimum su miktarı vardır ki bu miktar suyun kullanılmasıyla mukavemeti maksimum olan beton elde edilir. Optimum miktardan daha az su kullanılması halinde;

- 1- Yeter miktarda su bulunmamasından dolayı çimento hidrasyonunu tam bir şekilde yapamayacaktır.
- 2- Agrega tanelerinin yüzeyleri tamamen ıslanmayacak, bu tane ile çimento arasındaki aderansı zayıflatacaktır.
- 3- Betonun işlenebilme özelliği yeterli bir düzeyde bulunmayacaktır.

Betona konulan suyun optimum miktardan büyük olması halinde ise,

- 1- Çimento hamurunun mukavemeti azalacak
- 2- Fazla su betonun sıkışmasına engel olarak boşlukları arttıracak ve bu etkiler de mukavemetin azalmasına yol açacaktır. Bu konuda bir fikir edinmek için Birleşik Amerika Çimento Endüstri Birliği tarafından yapılan deneylerde elde edilen sonuçları verirsek,

Su miktarının optimum değerden	Mukavemette
%10 eksik olması	%10 azalmaya
%20 eksik olması	%60 azalmaya
%20 fazla olması	%30 azalmaya
%30 fazla olması	%50 azalmaya
%100 fazla olması	%80 azalmaya

neden olmaktadır (Postacioğlu, 1987).

6.3.3 Betonun sıkıştırılması ve korunmasında yeterli özen gösterilmemesi

Betonun kalıba yerleştirilmesinde belli başlı iki önemli hedef vardır;

- a) Beton kalıbın her tarafına yaymak ve donatıları devamlı bir şekilde kaplamasını sağlamak.
- b) Beton sıkıştırmak, böylelikle hava boşluklarını dışarıya çıkartarak kompaziteyi arttırmak.

Yerleştirme metotlarının en pratiği ve en çok faydalı sonuçlar vereni vibrasyondur. Vibratör denilen özel aletlerle beton titreşim haline sokulur. Vibrasyona maruz kalan beton bir sıvının karakteristiğine sahip olarak kalıp içinde kolaylıkla yayılır. Aynı zamanda betonu oluşturan taneler kütle içinde hareket ederek kompaziteyi arttıracak şekilde en uygun yerlerini alırlar.

Vibrasyon betona geçici bir akıcılık verir. Vibratörün hareketi durdurulunca beton tekrar sıkı kıvamını kazanır.

Bağlayıcı maddenin ancak devamlı bir şekilde hidratasyon yapması halinde betonun mukavemeti normal bir seyir göstererek artar. Hidratasyon olayının normal bir şekilde gelişmesini engelleyen muhafaza koşulları ile ilgili faktörler şunlardır.

- a) Sıcaklık derecesi. Sıcaklığın düşük olması hidratasyonu yavaşlatır.
- b) Havanın rutubet derecesinin düşük olması.
- c) Havanın rüzgarlı olması.

Havanın soğuk olması dışında diğer haller buharlaştırmayı arttırmakla suyun beton içinde azalmasına neden olur. Bu suretle hidratasyonun normal bir şekilde gelişmesini engeller. Bu duruma bir rutubet kaynağı oluşturmak suretiyle (betonu sulamak veya ıslak çuvallar altında tutmak) veya betonun yüzeyinde geçirimsiz bir tabaka meydana getirerek mani olmak yeterlidir. Kalıbına dökülmüş henüz katılaşmamış veya yeni katılaşmış beton üzerine, gerekli önlemler alınarak yağmur sularının düşmesi önlenmelidir.

13 mart 1992 Erzincan depreminden sonra Erzincan' dan getirilen beton parçaları laboratuvarında kesilerek numune hazırlanmıştır. Numuneler, betonun zaten hasar gördüğü gözönünde bulundurularak, çok miktarda çatlak vb. gibi hataları içermemesi bakımından çok büyük boyutlarda öte yandan, istatistiksel olarak da yüksek görünür dayanımlar vermemesi açısından da küçük boyutlarda olmamasına özen gösterilmiş ve 10 cm' lik küpler halinde hazırlanmıştır. Beton numunelerin alındığı 10 payının üçü kamu, dördü de kooperatif yapısıdır. Sonuçlar çizelge 6.1' de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Beton basınç dayanımının değerleri (13 Mart 1992 Erzincan Deprem Mühendislik Raporu, 1992).

Basınç dayanımı kgf/cm ²	Kamu	Özel	Kooperatif konutu
Yapı tipi	97-138	104-147	101-115

Görüldüğü gibi beton basınç dayanım değerleri, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik' te B225 (~BS20) ve TS 500' deki B160 (BS14) sınıfından daha düşüktür. Beton kalitesi bakımından en kötü durum kooperatif konutlarında söz konusudur. Beton kalitesi düşüklüğüne, proje hataları da eklendiğinde, depremin binalardaki hasar etkisi artmaktadır.

6.4 Taşıyıcı Olmayan Kısımlardaki Hasarlar

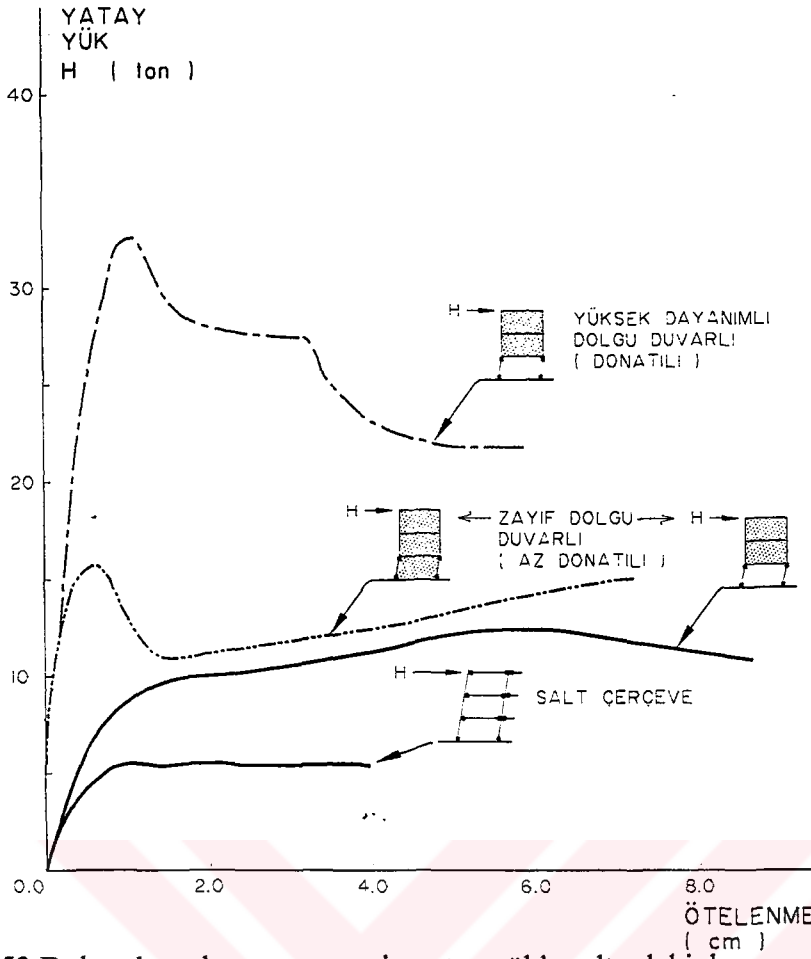
6.4.1 Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlar

Tuğla, beton briket vb. malzemeden yapılan bölme duvarlarının yük almadıkları kabul edilir. Ancak bu duvarların düşük yatay yükler altında önemli rijitlikleri ve yatay kuvvet taşıma güçleri vardır. Dolgu duvarlı yapılarda hem çerçeveyi hem de duvarı örten sıvalarla duvar ve kolonların özellikle hafif depremlerde ve şiddetli bir depremin başlangıcında birlikte hareket edip ötelenmeleri sağlandığından depremin başlangıcında büyük rijitlikleri vardır (Şekil 6.53).

Betonarme çerçevenin içinde yer alan tuğla dolgu duvarlar yapının ötelenmelerini tıpkı perde duvarlar gibi kısıtlamaktadır. Ancak bu şiddetli bir depremin başlangıcında ya da hafif şiddetli depremler için geçerlidir. Hasar görmeden önce perde duvar davranışı gösterebilen bölme duvarları, tıpkı betonarme perde duvarlar gibi yapı planında simetrik yerleştirilmemişlerse, ya da yapının bazı bölümlerinde yoğunlaşmış iseler yapıda burulma etkileri oluşur.

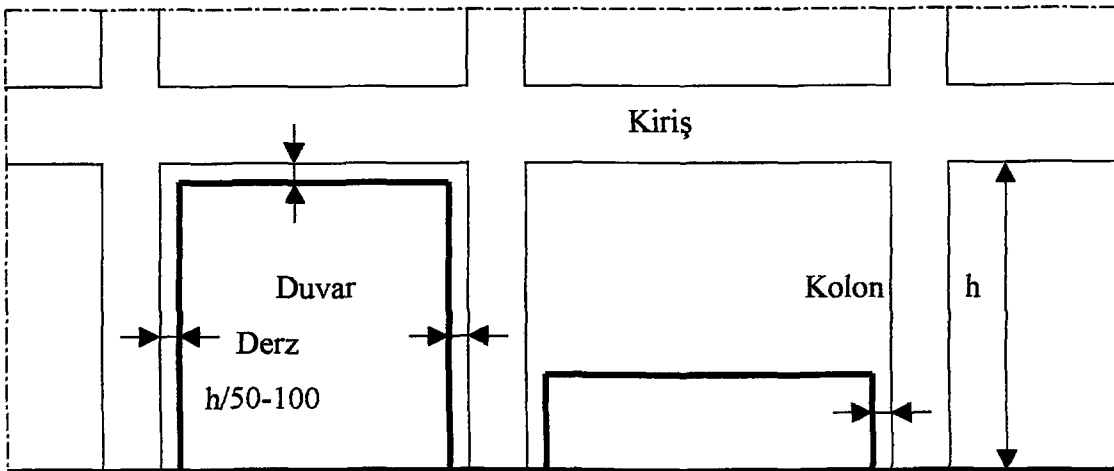
Dolgu duvarlar çerçeveli yapıların dinamik özelliklerini çok büyük ölçüde değiştirirler. Dolgu duvarları henüz yapılmamış bir çerçeve yapının titreşim periyodu, aynı yapının dolgu duvarları yapılmış haldeki periyodunun iki katıdır.

Dolgu duvarlar çatlayıncaya ve parçalanıncaya kadar çerçevelerin yatay ötelemelerini kısıtlarlar. Dolgu duvarlardaki hasar depremin şiddeti yanında duvarın yapıldığı malzemenin dayanımına da bağlıdır. Boşluklu cüruf beton blok, yatay delikli asmolen blok gibi zayıf malzemelerden yapılmış dolgu duvarlardaki hasar dolu beton blok ve tuğladan yapılmış duvarlara göre çok daha fazla olur. Dolgu duvar yüksekliği de duvardaki hasar üzerinde etkilidir.

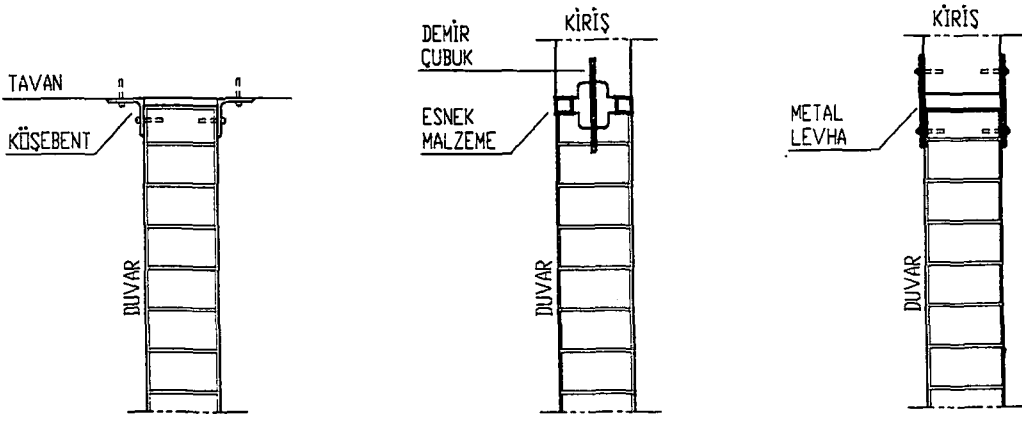


Şekil 6.53 Dolgu duvarların çerçevenin yatay yükler altındaki davranışına etkisi (Bayülke, 1998).

Çerçeve içindeki duvarların, çerçevenin ötelenmesinden etkilenmemesi için çerçeve ile aralarına derz yapılması, duvarların serbest duvar olmasına ve düzlem dışına devrilmesine yol açmaktadır. Dolgu duvarla çerçeve arasında $h/50$ ile $h/100$ miktarında derz bırakılmalıdır (Şekil 6.54). Burada h kolonun serbest yüksekliğidir. Ancak derz çerçevenin ötelenmesinin duvara zarar vermesini önleyecektir. Duvarın düzlem dışına devrilmemesi için de Şekil 6.55’ da gösterilen ayrıntılarla bölme duvarına düzlemine dik yönde destek sağlamalıdır.

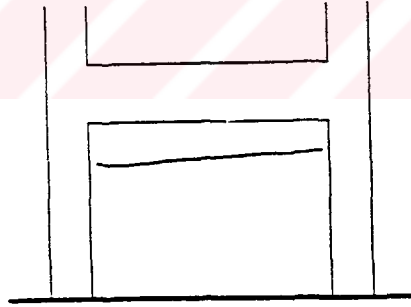


Şekil 6.54 Dolgu duvarın çerçeve ötelenmesinden etkilenmeyecek biçimde tasarımı (Bayülke, 1998).

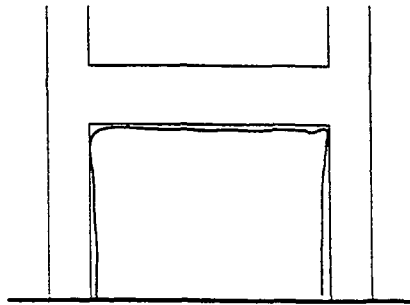


Şekil 6.55 Duvarın düzlem dışına devrilmesini önleyecek detaylar (Bayülke, 1998).

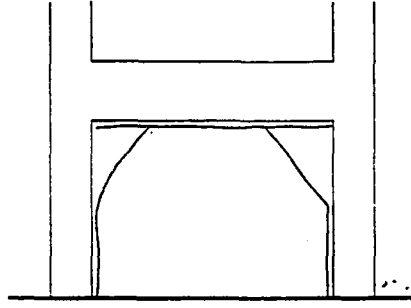
Betonarme yapılarda deprem hasarı sıva çatlakları ile başlamaktadır. Sıva çatlakları, ilk olarak üzerinde 1-2 cm' lik sıva tabakası bulunan tesisat borularının geçtiği bölgelerde görülür (Şekil 6.56). Daha sonra betonarme çerçeve ile dolgu duvarları arasındaki yüzeylerde sıva çatlakları oluşmaktadır (Şekil 6.57). Bu çatlaklar önce kiriş ile dolgu duvarın üst yüzeyi arasında olurken daha sonra kolon ile dolgu duvarları arasında ortaya çıkmaktadır. Yapıda hasar bu tür sıva çatlakları düzeyinde ise genellikle yapının taşıyıcı elemanlarında hasar bulunmamaktadır. Bu düzeye kadar olan hasar MSK Şiddet Cetveline göre V-VI şiddeti olarak nitelenmektedir. Şekil 6.56, 6.57 ve 6.58' de deprem nedeniyle oluşmuş değişik tür sıva çatlakları verilmektedir.



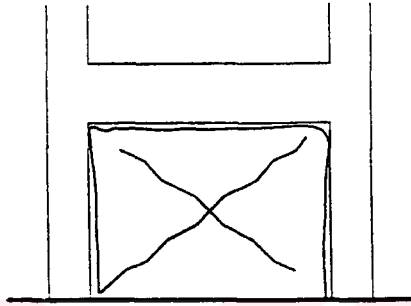
Şekil 6.56 Dolgu duvarda elektrik tesisat borusu üzerinde sıva çatlağı (Bayülke, 1997).



Şekil 6.57 Dolgu duvar, çerçeve arasında sıva çatlağı (Bayülke, 1997).

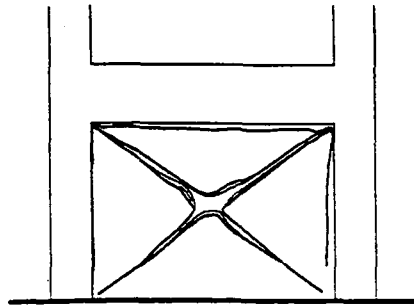


Şekil 6.58 Dolgu duvar, çerçeve arasında sıva çatlağı (Bayülke, 1997).



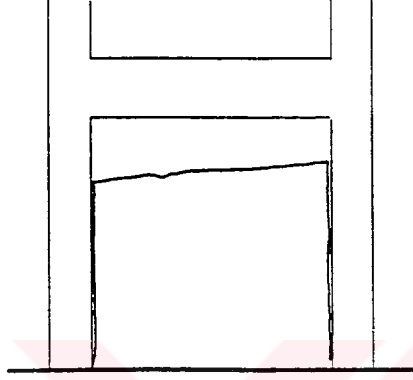
Şekil 6.59 Dolgu duvarda sıva ve duvar hasarı başlangıcı (Bayülke, 1997).

Daha şiddetli depremlerde ya da dolgu duvarın boşluklu beton briket gibi (cüruf briketi) nispeten düşük dayanımlı malzemeden yapılmış olduğu yapılarda, dolgu duvarda X-biçiminde çatlaklar başlamaktadır (Şekil 6.59). Bu durumda çatlağın dolgu duvar içinde de sürdüğü kesindir. Dolgu duvar hasarı ile kolonlarda mafsallaşma hasarı başlayabilmektedir. Dolgu duvar hasarının ileri aşamasında duvardan ezilmiş ve kırılmış tuğla ya da briket parçaları düşmektedir (Şekil 6.60). Kolonlarda gözlenen mafsallaşma hasarı yapının önce bazı kritik kolonlarında olur. Dolgu duvar hasarının daha ileri bir düzeye ulaşması ile birlikte yapının hemen bütün zemin kat kolonlarında, kritik kolonlarda ise en ileri düzeylere varan çatlaklar görülmektedir. Genellikle dolgu duvarın ileri düzeyde paralanıp tuğla ve sıva parçalarının dökülmeye başlaması ile kolonda mafsallaşma hasarı da ileri boyutlara ulaşmaktadır.

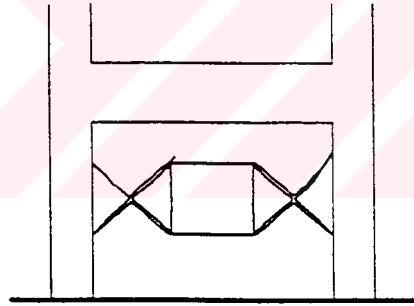


Şekil 6.60 Dolgu duvarda ileri düzeyde hasar (Bayülke, 1997).

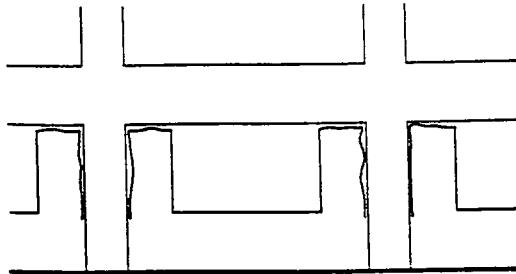
Bazen çok yüksek dolgu duvarlarında (3 metre ve daha yüksek) duvarın üst bölümü duvar düzlemi dışına yayılmaktadır (Şekil 6.61). Bu durum duvarda düzlemine dik yönde kuvvetlerin daha önemli boyutta olmasının sonucudur. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ te, eğer dolgu duvarın yüksekliği 3.00 metreden fazla ise ara hatıl yapılması zorunluluğu ile dolgu duvarların düzlemleri dışına devrilme tehlikesinin önlenmesi sağlanmaktadır. Dolgu duvarlarda kapı ve pencere boşlukları varsa hasar değişik olmaktadır (Şekil 6.62 ve 6.63).



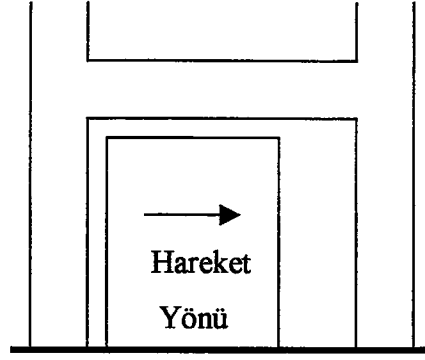
Şekil 6.61 Yüksek dolgu duvarda üst sıraların devrilmesi (Bayülke, 1997).



Şekil 6.62 Pencere boşluğu olan dolgu duvarda hasar (Bayülke, 1997).

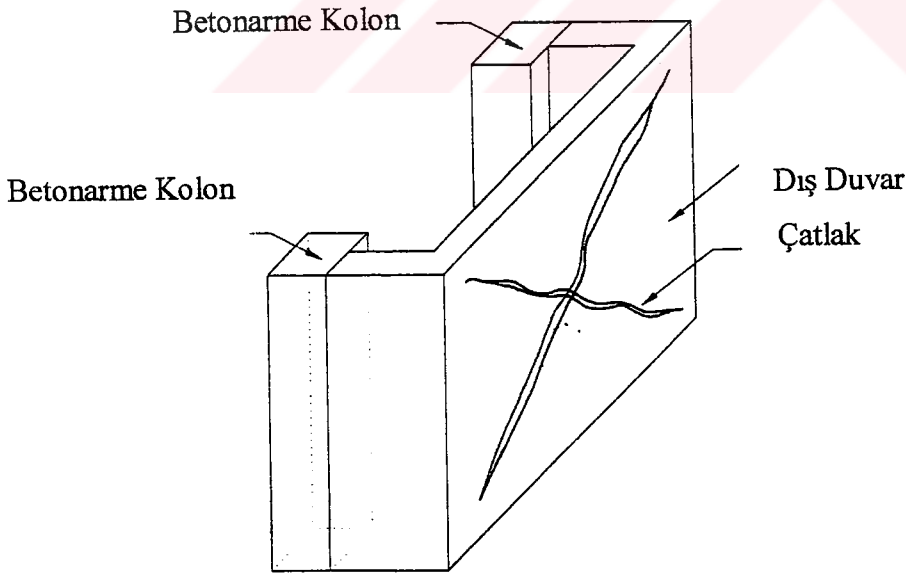


Şekil 6.63 Boşluklu dolgu duvarında değişik hasar (Bayülke, 1997)

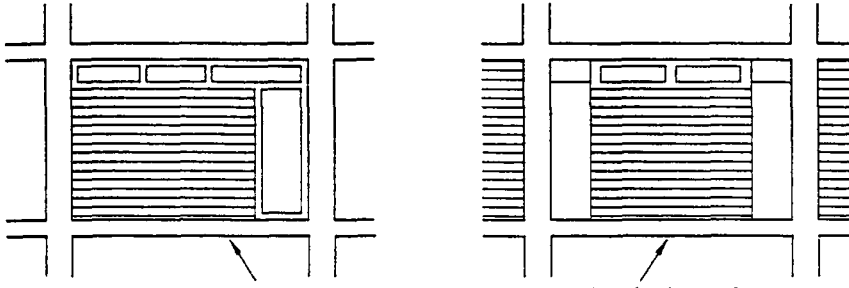


Şekil 6.64 Çerçeve tarafından tam olarak sınırlanmamış duvarın yana kayması

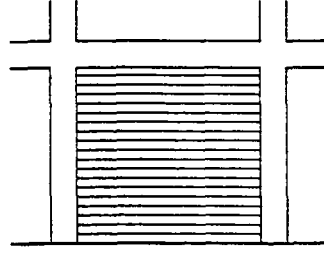
Dolgu duvarlar betonarme çerçeve tarafından tüm olarak çevrelenmemiş ise (Şekil 6.64 ve 6.65), duvarın çatlamadan kayması ya da burulma etkileri ile zorlanması beklenebilir. Öte yandan Şekil 6.66' te gösterildiği gibi betonarme çerçeve ile çerçevelenmemiş dolgu duvarlarının bir bütün olarak düzlemleri dışına devrilme olasılığı çok yüksektir. Depremlerde sık görülen kalkan duvar hasarının önlenmesi için bu duvarların betonarme çerçeveler içine alınması, çatıların oturtma çatı olarak kalkan duvarsız yapılmaları uygun yaklaşımlardır. Burada anlatılan dolgu duvar hasarı MSK Şiddet Cetveline göre VI-VII ve daha yüksek şiddetlerde oluşmaktadır. Betonarme yapıların konsol çıkmalarındaki çerçeve içinde yer almayan duvarların hasarına örnek Şekil 6.67' te verilmektedir.



Şekil 6.65 Betonarme çerçeve tarafından sınırlanmamış duvarlarda hasar (Bayülke, 1997).

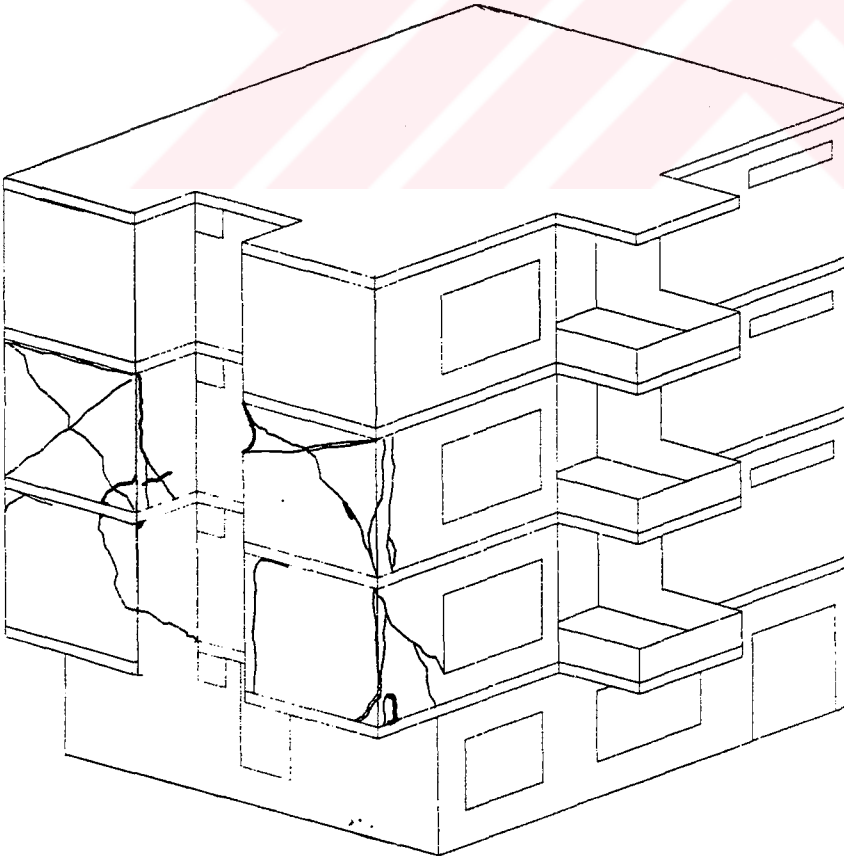


Düzlem dışına devrilme olasılığı yüksek duvarlar



Düzlem dışına devrilme tehlikesi yok

Şekil 6.66 Düzlemi dışına devrilme olasılığı yüksek dolgu duvarlar (Bayülke, 1998).



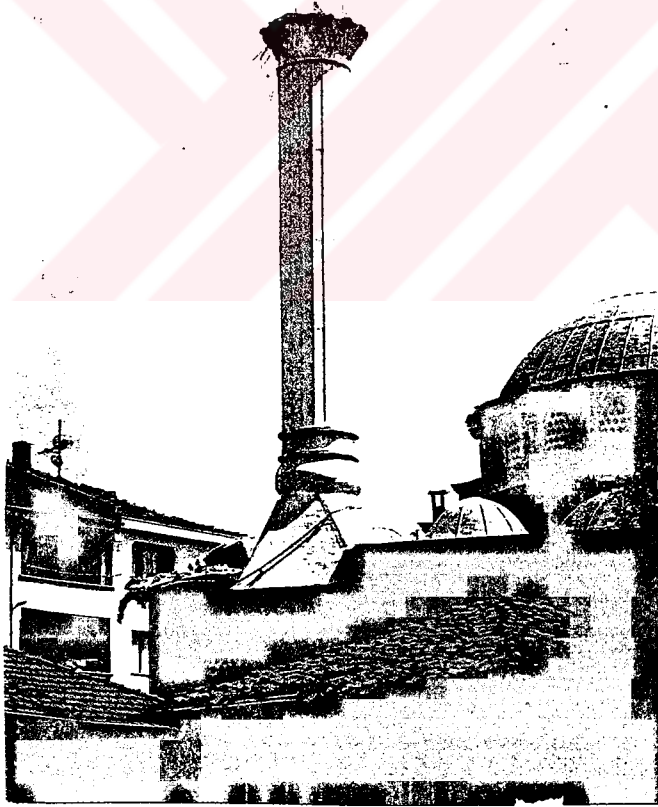
Betonarme yapı, briket dolgu duvarları

Şekil 6.67 Konsol çıkmalarda dış duvar hasarı (Bayülke, 1997).

Isı yalıtımı nedeni ile yapının dış cephesinde sandviç duvarlar yapılmaktadır. Dış yüzde 1 / 2 tuğla arada yalıtım tabakası ve içte 1 tuğla kalınlığında yapılan sandviç duvarlarda dış taraftaki 1 / 2 tuğla duvar kolaylıkla yıkılmaktadır. 13 Mart 1992 Erzincan depreminde dış taraftaki 1 / 2 tuğla duvarların yıkıldığı pek çok yapıda gözlenmiştir. Sandviç duvarların iç ve dış taraftaki parçaları birbirine özel ayrıntılarla bağlanmalıdır.

6.4.2 Baca ve minare yıkılması

Bacalar, genellikle tuğla duvar olarak düzenlenirler. Bacaların çatı mahyasını geçme zorunluluğu olması ve yapı yükseklik farklarından oluşan ters hava akımlarını ortadan kaldırmak amacıyla baca yüksekliği arttırılmaktadır. Bu durum bacaların uzun ve narin olmasına neden olmaktadır. Ayrıca minareler, mimarinin bir gereği olarak yüksek yapıldığından deprem sırasında, büyük devrilme momentlerin etkisinde kalmaktadır. Bacalar ve minarelerin yıkılmasına, yapım hatalarının eklenmesi depremde can kayıplarına ve yaralanmalara neden olmaktadır.

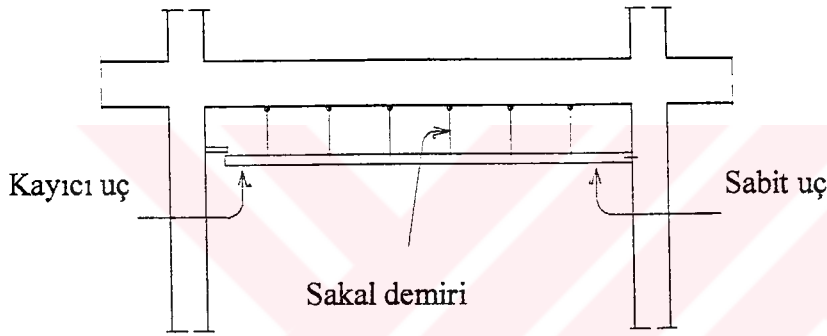


Şekil 6.68 Düzce depreminde hasar gören bir minare

6.4.3 Yapı iç kısımlardaki estetik yapı elemanlarındaki hasarlar

Asma tavanların döşemelere iyi bağlanmamış olması ya da asma tavan içinde serbest olarak hareket edebilen kaplama plakalarının bulunması, bunların deprem anında yerlerinden koparak ya da çıkarak oda içindeki insan ve eşyaların üzerine düşüp can ve mal kaybına yol açması kaçınılmazdır.

Tavana asılı aydınlatma armatürlerinin de bir deprem sırasında kopup düşmeleri ya da büyük salınımlar yaparak tavana çarpıp hasar görmeleri önlenmelidir. Bu biçimde hasar gören asma tavan parçalarının fabrikalarda makinaların üzerine düşerek hasar yaptıkları, ayarlarını bozdukları ve üretimi aksattıkları sık sık gözlenmiştir.



Şekil 6.69 Asma tavanların çerçevenin ötelenmesinden etkilenmeyecek biçimde yapımı (Bayülke, 1998)

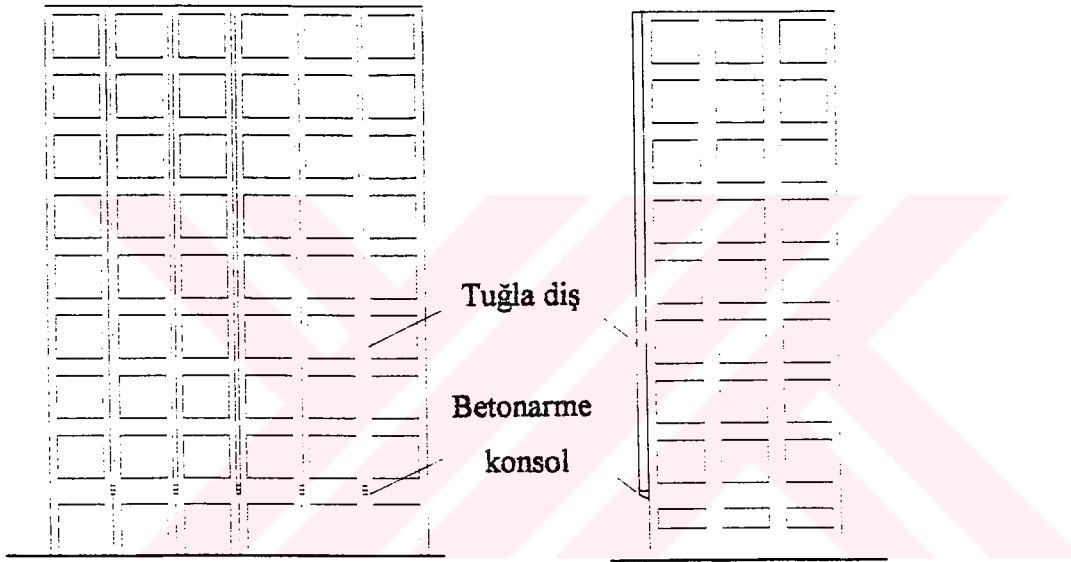
Şekil 6.69’ da gösterildiği gibi asma tavanların yalnızca tavana asılı olarak yapılmaları yeterli değildir. Bunların ayrıca bir uçlarından kayıcı mesnetli olması gerekir. Bu durumda asma tavan çerçeve ile birlikte yatay öteleme yapacağından tavanın çerçeveye çarpması ya da serbest olarak salınım yapması önlenmektedir.

6.4.4 Cephe kaplamaları hasarları

İç ve dış duvarlarda karo mozayik, mermer vb. kaplamalar duvarlara harç ile bağlanmaktadır. Harçların çekme ve aderans dayanımları ve kopma birim deformasyonları sınırlıdır. Yapıda depremde katlar arasında büyük ardışık ötelemeler olursa kaplama malzemelerini duvarlara yapıştıran harcın aderans dayanımının ve kopma birim deformasyonunun aşılması ile bu ağır kaplama malzemelerinin yerinden düşerek yapı içindeki ve dışındaki insan ve eşyalara zarar verme olasılığı da yüksektir.

Yapı içinde ya da dışındaki süs elemanları ya da asılı elemanlar yerlerinden ve ankrajlarından koparak can ve mal kaybına yol açabilirler.

Şekil 6.70’ de çok katlı bir yapının dış cephesindeki yapı yüksekliği boyunca delikli tuğladan yapılmış dış şeklinde süsler görülmektedir. Böyle bir yapıda şiddetli bir depremde yapının alt katı ile en üst katı arasında metre boyutunda öteleme farklılıkları olabilir. Bu kadar yüksek tek tuğla duvarın bu boyutta bir öteleme farkına dayanması olanaksızdır. Bu tip bir uygulamada duvarın şiddetli depremde çevreye zarar vermemesi için belli aralıklarla kat seviyelerinde bağlanması ve burkulma boyunun kısaltılması gerekir.



Şekil 6.70 Depremde yıkılma olasılığı yüksek bir dış cephe detayı (Bayülke, 1998).

6.4.5 Pencere camları kırılma hasarları

Depremde pencere camlarının yapının katlar arasındaki ardışık ötelenmesine dayanamayıp, aniden patladıkları sık gözlenir. Bu insan hayatı için çok tehlikelidir. Pencere camlarının kasalara kayıcı bir şekilde takılmaları, kasalar yatay öteleme sonucu biçim değiştirse bile camı sıkıştırmadıkları için, camın kırılması önlenecektir. Özellikle metalik (demir ya da alüminyum) pencere kasa ve çerçeveleri çok daha rijit oldukları için, pencere detaylarında bu durumun gözönünde tutulması gerekir. Özellikle yüksek yapılarda bir deprem sırasında cam patlaması yoldan geçenler için son derece tehlikelidir. Camların üzerlerine yapışkan bir film yerleştirilirse kırıldıkları zaman dağılıp düşmesi önlenebilir.

Depremde yapının katları arasında 1 / 200 oranında bir yatay ötelenme pencere camlarını kırıp patlatabilir (Bayülke, 1998).

7. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

7.1 Giriş

Deprem güvenliği olan yapıların tasarımında belirsizlikler mevcuttur. Belirsizliklerin iki önemli kaynağı vardır. Birinci derece belirsizlik kaynağı, deprem yer hareketinin kendisidir. Hiçbir depremde birbirine benzeyen iki yer hareketi ölçülmemiştir. İkinci derece önemli belirsizlik ise inşa edilmiş yapıların deprem etkileri altında gerçek dayanımıdır. Analitik olarak hesaplanan yapı dayanımı ile gerçek yapı dayanımı arasında önemli farklar olması için pek çok belirsizlik nedeni vardır.

Bu belirsizliklerin tespit edilmesinden sonra karşımıza bir de teknik zorluklar ve yetersizlikler çıkar. Zorlukların temel nedeni, Yapı sistemlerinin kuvvetli depremler altında ki özelliklerinin hesaplanabilmesi için üç boyutlu elastik ötesi dinamik analiz yapma kabiliyetinin olmasıdır. Basit bir elastik yapının dinamik analizi dahi oldukça karmaşıktır.

7.2 Birinci Sorun: Deprem Yer Hareketi Şiddetinin Karmaşıklığı

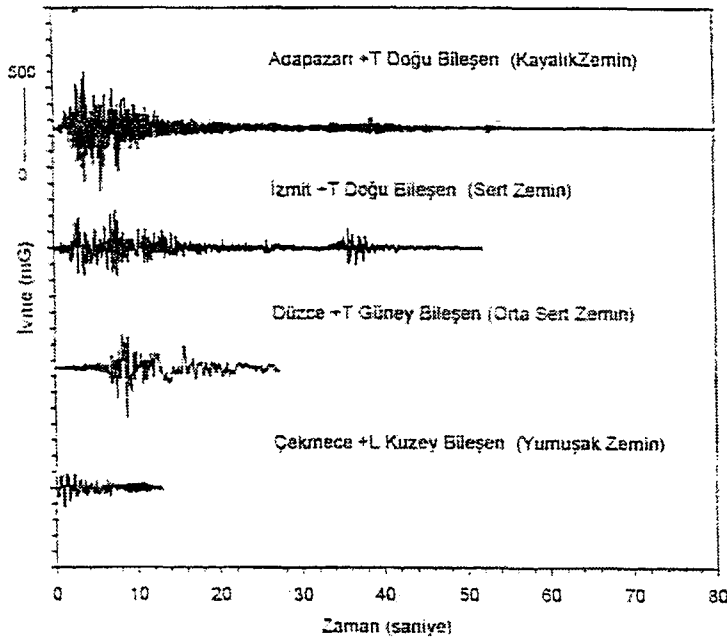
Kuvvetli bir deprem sırasında yerin gerilen sert dış kabuğu kilometrelerce derinlikteki bir noktadan yırtılmaya başlar ve bu yırtılma fay olarak adlandırdığımız zayıf düzlem boyunca yaklaşık 3 km/saniye hızla ilerleyerek gerilme boşalıcaya kadar devam eder. 1999 İzmit depreminde birkaç yüzyıl biriken gerilme Kuzey Anadolu Fayı'nın Yalova-Akyazı arasındaki 130 km' lik kısmının $130/3 \approx 45$ saniye süren kırılması ile boşalmıştır. Deprem odağı 18 km derinliğinde olduğuna göre kırılan fay yüzeyi 250 km^2 ' dir. Bu şiddetli kırılma sırasında fay yüzeyinin iki karşılıklı yakası birbirinden sürtünerek ayrılır ve fay yüzeyinde titreşim meydana gelir. Titreşimler sismik dalgalar olarak titreşimin kaynağından yerkabuğunun diğer bölgelerine ayrılır.

Her depremin bir tane büyüklüğü olmasına rağmen, yerkabuğunun değişik noktalarında hissedilen yer titreşimlerinin farklı şiddetleri vardır. Depremde enerji kaynağı olan, yayılan sismik dalgalar, yerkabuğunun oldukça heterojen katmanlarından geçerken çok karmaşık biçimde kırılma ve yansımalarla uğrarlar ve yeryüzünün farklı noktalarına çok farklı özelliklerle ulaşırlar. İzmit depreminde depremden çok etkilenen İzmit, Adapazarı, Düzce ve Çekmece' de kaydedilen yer ivmeleri Doğu-Batı yönlü kayıtları Şekil 7.1'de gösterilmektedir. Aynı deprem dört ayrı konumda birbirine hiç benzemeyen yer hareketi sinyalleri yaratmıştır. Bunlar arasında bazı ortak özellikler bulmak mümkündür. Örneğin hepsinin süresinin uzun olması bir büyük depremin göstergesidir. (Düzce ve Çekmece kayıtları erken kesilmiştir.) Ancak zemin koşullarının rolü de önemlidir. Adapazarı'nın yıkılan kesimi zayıf alüvyon

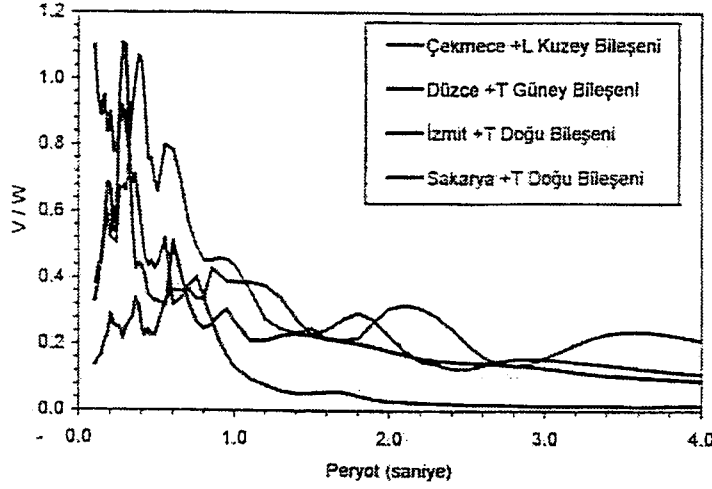
üzerindedir ve bu bölgede yer kaydı yoktur. Çekmece' deki kayıt, benzer bir alüvyon tabakadan alınmıştır ve çok farklıdır. Yüksek frekanslar kaybolmuş, periyodik bir özellik ortaya çıkmıştır. Yer hareketine hakim olan periyod, zeminin titreşim periyodunu yansıtır. Düzce ve İzmit kayıtları ise orta sertlikte zeminlerin özelliklerine sahiptir.

7.3 Çözüm: Elastik Deprem Spektrumları

Şekil 7.1'deki karmaşık yer sinyallerini kullanarak bir yapının dinamik analizini yapabiliriz. Ancak bu ümitli bir çaba değildir. Öncelikle bu deprem sinyallerinin sonra olacak depremlerdeki hareketleri ne denli doğru temsil edeceği belirsizdir. Sonra herhangi bir yapıyı ayrıntılı olarak modellemek ve dinamik analizinin yapmak bize sadece o yapı ile ilgili kısıtlı bilgi verir. Halbuki tasarıma yapıların genel karakterlerinin yansması gerekir. Bu belirsizliklerin çözümü deprem spektrumudur. Deprem hareketi sırasında elastik bir yapının öne çıkan ve davranışını kontrol eden, temel dinamik özelliği hakim yanal titreşim periyodudur. Karmaşık bir elastik yapı sadece hakim yanal titreşim periyoduyla ifade edilen tek dereceli bir dinamik sisteme indirgenerek, mesele oldukça basitleştirilir. Üstelik tasarım için bu basit sistemde deprem süresi boyunca meydana gelen yatay kuvvetleri ve deplasmanları da bilmemiz gerekemeyebilir. En büyük değerleri bilmek yeterlidir. Eğer basitleşmiş yapımız deprem sırasında en büyük etkilere karşı ayakta kalabiliyorsa, daha düşük etkiler önemli olmayacaktır. İşte hem yapının en basit ifadesi, hem de deprem yer hareketinin yapıdaki etkisinin en basit ifadesi deprem spektrumu tanımında birleşmektedir. Şekil 7.2 İzmit depremindeki dört yer hareketinin elastik yatay kuvvet spektrumlarını göstermektedir.



Şekil 7.1 İzmit depreminde farklı zeminlerde kaydedilen yer hareketleri (Sucuoğlu, 1999).



Şekil 7.2 İzmit depremi yer hareketlerinin elastik yatay kuvvet spektrumları (Sucuoğlu, 1999).

Şekildeki spektrum eğrileri, yer hareketlerinin kaydedildiği zeminlerin özelliklerini bir ölçüde yansıtmaktadır. Sert zeminler kısa periyodlu (az katlı) yapılarda, yumuşak zeminler ise uzun periyodlu (çok katlı) yapılarda daha fazla yatay kuvvet oluşmasına neden olmaktadır. Diğer yandan spektrum eğrileri, sadece en yüksek etkileri tanımladığı için depremin süresi burda kaybolmaktadır. Halbuki İzmit depreminin uzun süresi, yapı hasarlarının artmasında etkilidir. Bunun için spektrumun getirdiği basitliklerden yararlanırken arada kaybettiği önemli bilgileri de göz önünde bulundurmamız gereklidir.

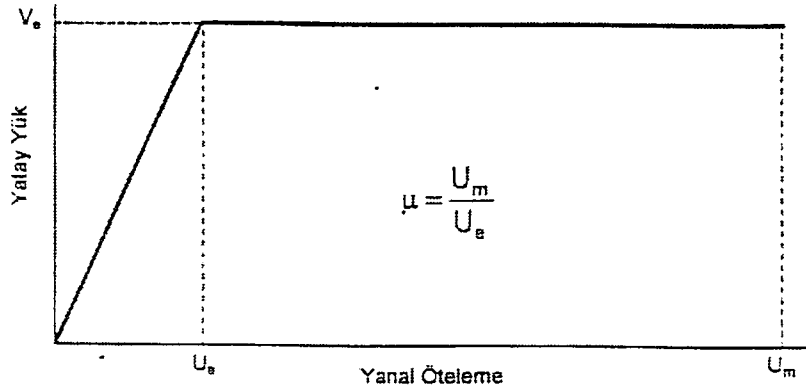
7.4 İkinci Sorun: Elastik Deprem Kuvvetlerinin Yüksekliği

Şekil 7.2'deki spektrum eğrileri bize, yapıların İzmit depremindeki yer hareketleri altında elastik kalabilmesi için sahip olmaları gerekli yatay dayanım miktarının yapı ağırlığından fazla olduğu söylemektedir. Böylesi büyük kuvvetler altında elastik kalabilecek yapı tasarımı hedeflemek pek mümkün değildir. Üstelik yaşamı süresince böylesi büyük deprem olma olasılığı pek fazla değildir. Çözüm çok pahalı ve kullanışsız olacaktır. Bu durumda yapıların büyük depremler sırasında elastik kalması da çok da gerekli olmayabilir. Aynı süreçte daha küçük depremlerin olma olasılığı daha yüksektir. Bu depremlerin yaratacağı elastik kuvvetlerin karşılanması belki mümkün olabilir. Ancak düşük olasılıklı büyük depremlerin yaratacağı şiddetteki yer hareketlerine farklı yaklaşmamız ve uygulanabilir mühendislik çözümleri getirmemiz zorunlu olmaktadır.

7.5 Çözüm: Azaltılmış Tasarım Spektrumları

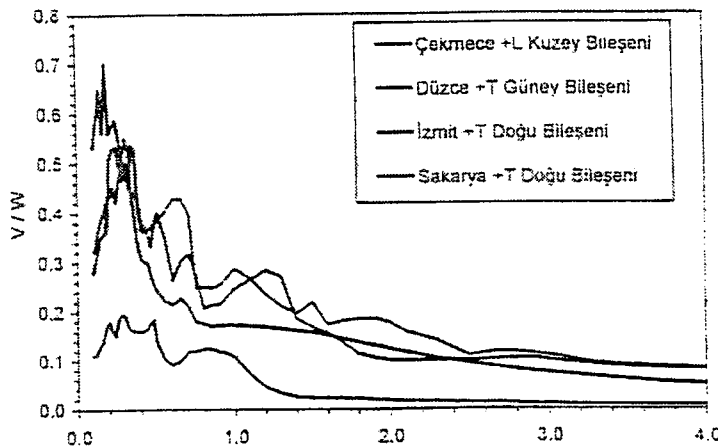
Tek dereceli basit dinamik yapımız eğer kuvvetli deprem etkisi altında elastik kalmayacaksa, tek çaresi elastik ötesi deforme olmak, yani plastik deformasyon yapmaktır. Böyle bir

sistemin yatay kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil 7.3'te gösterilen ideal elasto-plastik yapı modeli ile temsil edilebilir.



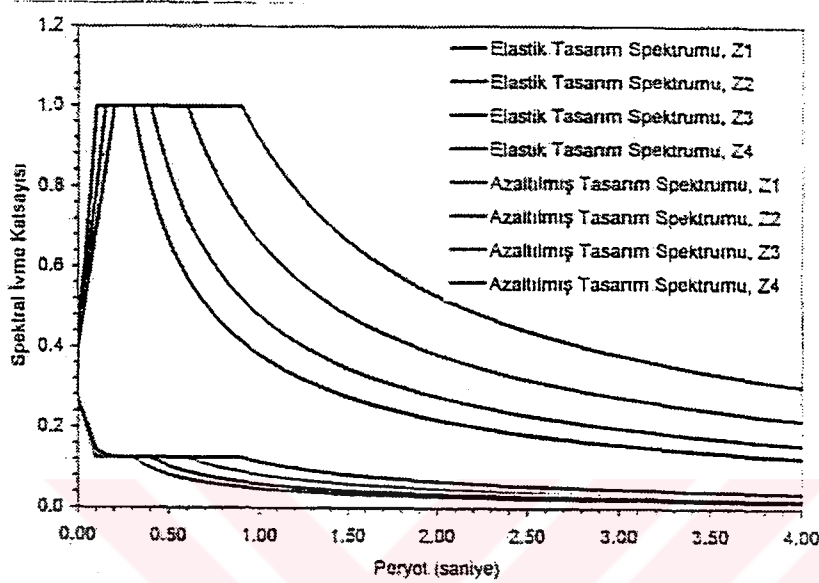
Şekil 7.3 Tek dereceli elasto-plastik sistem modeli (Sucuoğlu, 1999).

Ancak buradaki elastik dayanım sınırı V_e 'nin tasarımcı tarafından önceden seçilmesi veya bir tasarım yönetmeliği ile hesaplama yönteminin belirtilmesi gerekir. V_e 'nin seçildiğini varsayarsak ve Şekil 7.1'deki yer hareketlerini Şekil 7.3'teki basit yapı modeline uygularsak, elastik deplasman sınırı U_e 'nin ötesinde plastik deplasmanlar hesaplarız. Eğer maksimum plastik deplasman U_m olarak hesaplanırsa, U_m / U_e oranı süneklilik oranı olarak tanımlanır. Elasto-plastik yapıdan beklediğimiz, deprem yer hareketine elastik yapıdan daha düşük bir dayanımda ancak plastik deformasyon yaparak tepki vermesidir. Eğer biraz daha ileri mühendislik yöntemleri kullanırsak, herhangi bir yer hareketi altında elasto-plastik sistemin belirli bir süneklilik oranı için ne kadar elastik dayanımına gereksinimi olduğunu hesaplayabiliriz. Hesap sonucu da elasto-plastik dayanım spektrumu olarak ifade edebiliriz. Şekil 7.2'deki elastik spektrumlarını süneklilik oranı $\mu = 4$ için elde edilen elasto-plastik durumları Şekil 7.4'te gösterilmektedir. Görüldüğü yatay dayanım gereksiniminde Şekil 7.2'ye göre önemli azalmalar sağlanmış, Elastik kuvvetler tasarlanabilir dayanım seviyelerine indirgenmiştir.



Şekil 7.4 İzmit depremi yer hareketlerinin elasto-plastik yatay kuvvet spektrumları ($\mu=4$) (Sucuoğlu, 1999).

Bir veya birkaç yer hareketi kullanarak tasarım kuvvetleri önermek pek güvenilir olmaz. Eğer aynı tür zeminlerde kaydedilmiş pek çok yer hareketi kullanılır ve bunların sonuçları istatistiksel güvenlik sınırlamaları gözetilerek birleştirilirse, basit deprem spektrumları elde edilir. Şekil 7.5' in üst grubunda Türkiye Deprem Yönetmeliği' nde dört farklı zemin grubu için birinci derece deprem bölgesinde tanımlanan elastik tasarım spektrumları verilmiştir.



Şekil 7.5 Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım Spektrumları (Sucuoğlu, 1999).

Buradaki elastik kuvvetlerin aşılma olasılığı 50 yılda %10'dur. Bu kuvvetler evvelce bahsettiğimiz gibi çok yüksektir. Şekil 7.5' in alt grubunda ise üstteki eğrilerin süneklik kabiliyeti olan yapılar için azaltılmış halleri verilmektedir. Tıpkı Şekil 7.2 ve Şekil 7.4' deki spektrumların ilişkisi gibi. Ancak Şekil 7.5' teki azalım oranları (R katsayısı) sadece basit elasto-plastik yapı modelindeki süneklik oranına bağlı değildir. Gerçek yapılar salt yapısal olmayan elemanlarının enerji tüketimine katkısı, temel zemin ile etkileşimi gibi farklı nedenlerle de enerji tüketebilirler. Ayrıca yapıların gerçek yatay yük dayanımları, taşıyıcı olmayan elemanların katkısı, tasarımda kullanılan yük ve malzeme faktörleri, minimum boyut sıralamaları gibi nedenlerle hesaplanan dayanımlarından daha fazladır. İşte deprem yönetmeliğindeki R faktörünün hesaba kitaba pek kolay gelmeyen tüm bu unsurların ortak katkısının mühendisçe ifadesidir.

Yapı türüne göre yapıların enerji tüketme özellikleri arttıkça R artar ve tasarım kuvvetleri azalır, yani tasarım ödüllendirilir. Ters durumda ise R azalır ve tasarım yüksek kuvvetlerle cezalandırılır. Ancak R' nin fizik kurallarına matematiksel bir gerçekle bağlı olmadığını bilmek tasarımcının görevidir.

7.6 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri

Şekil 7.5' te iki farklı seviyede deprem etkileri tanımlanmıştır. Tasarım depremi olarak tanımladığımız alt grup spektrumları, yukarı gruptaki spektrum eğrilerini elasto-plastik davranış kabulü ile azaltılması halidir. Dolayısıyla azaltılmış dayanımlar için tasarlanmış yapılar şiddetli deprem etkisi altında plastik deformasyon yapacak, yani hasar görecektir. Diğer yandan hafif ve orta şiddetli deprem etkilerine hasar görmeden karşı koyabileceklerdir. İşte deprem tasarımı ilkesi budur. Az veya orta şiddette yer hareketleri daha sık meydana gelebilir. Bu şiddetteki hareketler yapıda hiç hasar yaratmamalı veya çok hafif, onarabilir hasara yol açmalıdır. Yapıda güvenlik kaybı söz konusu olmamalıdır. Ancak yüksek şiddette, yani Şekil 7.5' in üst grubunda ifade edilen kuvvetlere neden olan yer hareketleri yapıda hasar yaratacaktır. Ne var ki bu kaçınılmaz hasarın yapıda kontrollü dağılması, çökmeye neden olmaması gerekir. Eğer tasarımda yapının plastik deformasyon yapabileceği kabulü ile tasarım kuvvetleri azaltılıyorsa, yapının esnek davranabilmesi için gerekli olan koşulların tasarıma ve uygulamaya yansıtılması, bazı özel detayların uygulanması gerekmektedir. Tasarımcı bu özel ayrıntıları göz ardı ettiği takdirde büyük bir risk almaktadır.

7.7 Sorun: Tek Dereceli Basit Elasto-Plastik Yapı Modelinin Geçerliliği

Gerçek bir yapının Şekil 7.3' teki tek dereceli elasto-plastik model davranışı göstermesi kolay değildir. Üstelik gerçek yapının elastik davranışının modellenmesi de oldukça zordur. Elimizdeki analitik araçlar çok dereceli yapı sistemlerinin sadece elastik sınırlar içinde analizine imkan verir. Bu sınırlar da taban kesme kuvvetinin V_e değerine ulaşmasına kadar geçerlidir. Esasında bu durumun pratik bir yararı da vardır. Azaltılmış deprem kuvvetleri bize doğrusal elastik analiz yapma imkanı verir. Zaten tasarımcının elindeki tek araç da neredeyse budur. Ancak başlangıçtaki sorun hala mevcuttur. Deprem tasarım kuvvetlerini tek dereceli elasto-plastik model davranışı esas alarak azaltıyorsak, gerçek çok dereceli yapının buna bir davranış göstereceğini kabul ediyoruz demektir. Ne var ki yapının elastik ötesi deformasyon özelliklerini hesaplayamadığımız için karanlıkta el yordamıyla ilerlemek zorunda kalırız. Tasarım yönetmelikleri de tasarımcıya buradan sonra pek fazla ışık tutmaz. İyi tasarımcı yapısındaki plastik deformasyon mekanizmalarını zihninde canlandırarak tasarım dayanımı V_e ' nin aşılması durumunda yapısının artan kuvvetleri nasıl dağıtacağını ve nasıl deforme olacağını sezmeye çalışır. Tasarımcının bu durumda iki önemli endişesi olması gerekir. Birincisi, yapı elastik durumdan plastik duruma dengesini ve kararlılığını yitirmeden geçebilecek midir? İkincisi, plastik durumda artan yatay yükler altında tasarım dayanımını koruyarak sünek biçimde deforme olabilecek midir? Eğer bunu başarabiliyorsa deprem

sırasında yön değiştiren yükler altında enerji tktilebilecek ve tasarımı sırasında kendisine biçilen R değerini haketmiş olacaktır. Tasarımcı zm yolunu nasıl bulacaktır?

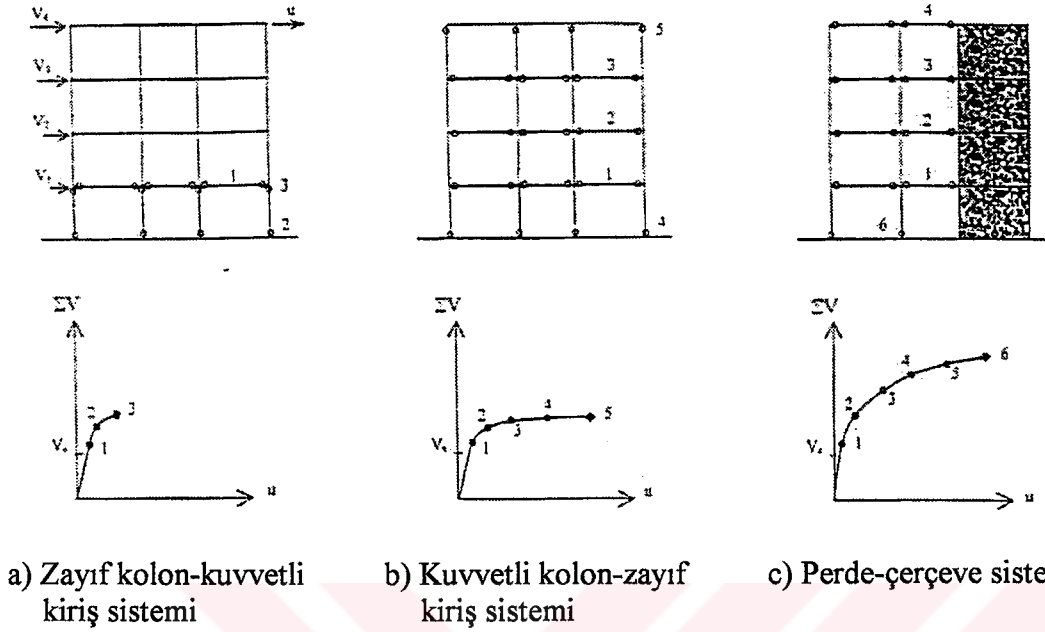
7.8 zm: Kapasite Tasarımı

Gerçek çok dereceli yapı sistemi elastik dayanım sınırını aşıp plastik duruma geçtiğinde aslında yapıda hasar meydana gelmeye başlar. Yapıda kuvvet dağılımları da doğrusal elastik analiz araçları ile hesaplanamaz duruma gelir. Bu durumda yapılacak olan, artan yükler altında hasarın kontrollü biçimde dağılmasını sağlamaktır. Artık doğrusal elastik analiz araçları bir kenara bırakılmalı, hasarın kontrolü için kapasiteler dikkate alınmalıdır. Yapıdaki elemanların belirli hiyerarşık bir sıra içinde ve en fazla süneklilik göstereceği kırılma modunda kapasitelerine ulaşmaları istenir. Kapasite tasarımı yöntemi, yapının düşey ve yatay yükler altında kararlılığını yitirmeden plastik deformasyonların tüm elemanlara olabildiğince yayılmasını hedefler. Böylece yapıya yapabileceği en fazla yatay ötelenme imkanı sağlanmış olur.

Kapasite tasarımında, eleman düzeyinde en fazla deformasyona imkan veren sünek kırılma modu eğilmedir. Kesme veya basınç kırılması ise çok gevrektr. Eleman kapasiteleri tasarımında basınç ve kesme kapasiteleri, eğilme kapasitesinin üstünde tutularak eğilme kırılmasına öncelik verilir. Betonarme elemanlarda eğilme kırılmasının veya kesit akmasının daha da sünek olabilmesi için sargılama donatısı kullanılır. Özellikle kolonlarda sargılama donatısı çok önemlidir.

Yapı sistemi düzeyinde ise artan yatay yükler altında kırılma hiyerarşının sağlanması gereklidir. Bir ereve sisteminde bunu sağlamanın yolu önce eksenel yük taşımayan ve yapının kararlılığında etkisi az olan kirişlerin akması, sonra sıranın kolonlara gelmesidir. Kolonlarında st kattan alt kata doğru akması tercih edilir, ancak alt kat kolonları her zaman daha fazla zorlandığı için bu pek mümkün değildir. Kapasite tasarımında kirişlerin kolonlardan önce akmasını sağlamanın bir yolu, düğüm noktalarında toplam kolon akma kapasitelerini, toplam kiriş akma kapasitelerinden yüksek tutmaktır. Eğer ereve sistemi yerine perde-ereve sistemi kullanılırsa bu durumda daha olumlu plastik deformasyon özellikleri elde edilir. Perde-ereve sistemlerinin kırılma hiyerarşisinde önce kirişler sonra da perde elemanlarında akma olur. Kolonlar daha esnek olduğu için perde aktığında elastik kalırlar ve düşey yükü rahatlıkla taşımaya devam ederler. Böylece kararlılık ve denge kaybına ancak büyük ötelemelerde ulaşılır. Bu sistemlerde perdenin kesme veya ezilme kırılması moduna girmesi mümkündür. Dolayısıyla perdenin sünek kırılma sağlanması için yapılacak detaylandırma çok önemlidir. Deprem Yönetmelikleri' inde bu detaylar verilmektedir.

Şekil 7.6' da farklı özelliklere sahip sistemlerin plastik mafsallı oluşturmadaki hiyerarşileri ve buna bağlı olan kapasite eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 7.6 Farklı yapı türlerinin yıkılma özellikleri (Sucuoğlu, 1999).

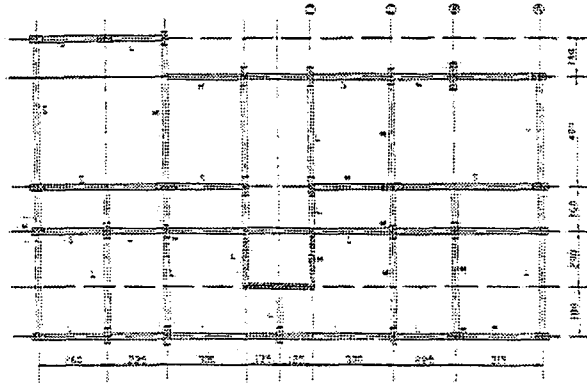
5.9 Bir Uygulama Örneği

Ceyhan' da 1998 depreminde orta derece hasar gören yapılar arasında ilginç bir örnek vardır. Şekil 7.7a' da gösterilen bina Şekil 7.6b'deki kuvvetli kolon-zayıf kiriş davranışını göstermiş, ancak deprem dayanımı yetersiz olduğundan kirişlerinde epey hasar meydana gelmiştir. Binanın tipik kat planı Şekil 7.7b' de verilmektedir. Binaya deprem öncesi durumunda elasto-plastik itme analizi uygulanmıştır. İtme analizi tüm elemanları elasto-plastik olarak modellenen yapıya eşdeğer statik deprem kuvvetleri ile düşey kuvvetlerinin uygulanması, sonra deprem kuvvetlerinin adım adım artırılması ile uygulanır. Sonuçlar, toplam taban kesme kuvveti-tepe ötelenmesi ilişkisi elde edilmesiyle tek dereceli bir sistem gibi yorumlanabilir. Elde edilen eğriye kapasite eğrisi adı verilir. Binanın kapasite eğrisi Şekil 7.7c' de görülmektedir. Deprem öncesi durumu ifade eden alttaki eğrinin 1997 Deprem Yönetmeliği' nin ilgili dayanım gereksinimini karşılamadığı görülmektedir. Ancak bina oldukça sünek bir elasto-plastik davranış sergilemektedir.

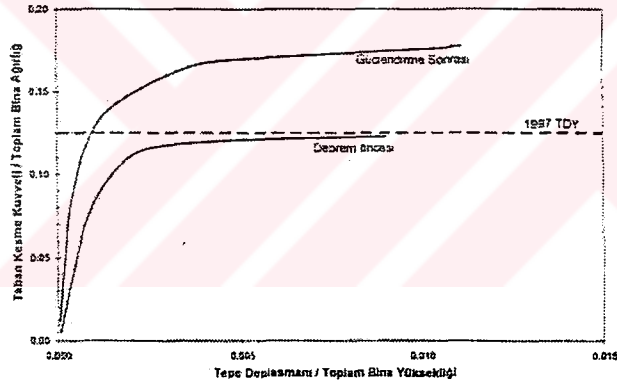
Daha sonra binaya Şekil 7.7d' de gösterilen perde duvarlar eklenmiş mevcut elemanlar ise deprem geçirdiği için çatlamış olarak kabul edilmiştir. Bu durumda yapılan itme analizi sonunda Şekil 7.7c' deki üst kapasite eğrisi elde edilmiştir. Hasarlı binaya itme yönünde sadece %3 oranında perde konması bile davranışta önemli fark yaratmıştır.



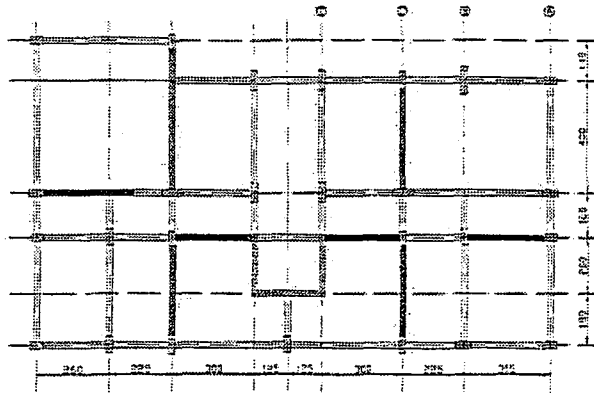
a) Ceyhan'da orta hasarlı bina



b) Binanın Tipik kat planı



c) Binanın deprem öncesi ve güçlendirme sonrası kapasite eğrileri



d) Güçlendirilmiş binanın kat planı

Şekil 7.7 Ceyhan' da bir bina örneği ve elasto-plastik itme analizi sonuçları (Sucuoğlu, 1999).

7. 10 Depreme Dayanıklı Taşıyıcı Sistem Tasarımı

Depreme dayanıklı betonarme yapı tasarımında yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanların gerek düşey gerekse depremden gelen yatay yükleri nasıl taşıdıkları bir bütün olarak ele alınmalıdır. Yük taşımanın iki boyutu vardır.

- 1- Elemanın kendi yükünü yeterli bir güvenlikle taşıması
- 2- Mesnetleri ile taşıdığı yükü diğer elemanlara yeterli bir güvenlikle aktarması

Depreme dayanıklı yapı tasarımında elemandan elemana kuvvet aktarımı çok önemlidir. Belki de depreme dayanıklı yapı tasarımının özüdür. Yapıda deprem yüklerini taşıyan elemanların, diğer yapı bölümlerinde oluşan deprem yüklerini taşımaları için yeterli dayanımda olmaları yanında bu kuvvetlerin kendilerine aktarılması gerekir.

Başka bir önemli nokta yatay yük taşıyan elemanların yapacakları yatay ötelemelerin, bu yükleri taşıyamayacağı varsayılan elemanlar üzerindeki etkileridir. Yatay yükleri taşıyan perdelerin ötelenmesi ve bunlara bağlı olan ve yatay yük taşımadığı varsayılan kolonların hasarına ve yıkılmasına yol açabilecek boyutta olabilir. Yapıda taşıyıcı olduğu varsayılan ya da varsayılmayan bütün elemanlar yatay yüklerden paylarını alacakları için yapı tasarımında bu durumun sonuçları gözönünde tutulmalıdır.

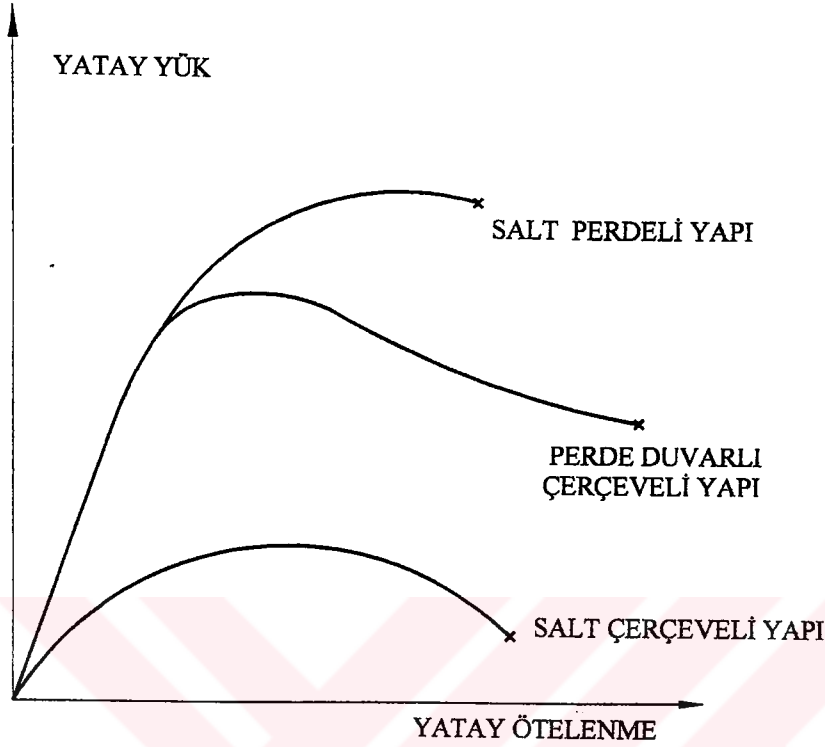
7.11 Taşıyıcı Sistemin Seçimi

Yerinde dökme betonarme yapıların taşıyıcı sistemleri çerçeveli, perde duvarlı ya da perdeli-çerçeveli olarak üç tipte olmaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi seçilirken bu üç taşıyıcı sistemin yatay yükler altında davranışlarının değerlendirilmesi gerekir. Şekil 7.8’ de her üç tip taşıyıcı sistemin idealleştirilmiş yatay yük-öteleme eğrileri verilmektedir. Salt çerçeveli yapılar, perdeli ve perdeli-çerçeveli yapılara göre daha düşük deprem dayanımındadırlar. Buna karşılık perdeli ve perdeli-çerçeveli taşıyıcı sistemlerinin salt çerçeveli sisteme göre maliyeti daha yüksektir.

7.11.1 Çerçeveli betonarme yapılar

Deprem enerjisinin kalıcı deformasyonlarla tüketilmesi yaklaşımı ile tasarlanırlar. Elastik enerji tüketme güçleri azdır. Yüksek miktarda plastik enerji tüketme gücünde olabilmeleri için donatı, eksenel yük ve boyut ayrıntılarına hem proje ve tasarımda hem de yapım sırasında özen göstermek gerekir.

Yatay yük ötelenmesi büyük olduğu için, hafif ve orta şiddetli depremlerde taşıyıcı sistemde hasar olmasa bile içlerindeki eşyalar ve taşıyıcı olmayan bölümlerinde hasar olasılığı yüksektir.



Şekil 7.8 Taşıyıcı sistemlerinin yatay yükler altındaki idealleştirilmiş davranışları (Bayülke, 1998)

Yalnızca çerçeveleri olan betonarme yapılar deprem tehlikesinin az olduğu bölgelerde yapılmalıdır. Deprem tehlikesinin biraz daha büyük olduğu bölgelerde 2-3 katı geçmeyen küçük ve içinde az sayıda insan bulunan önemsiz yapılarda çerçeve taşıyıcı sistemli yapılabilir.

7.11.2 Perde duvarlı betonarme yapılar

Elastik enerji tüketme güçleri salt çerçeveli yapılara göre önemli miktarda yüksektir. Plastik enerji tüketme güçleri aynı düzeyde yüksek değildir. Çerçeveli yapılara göre süneklilikleri daha azdır. Taşıyıcı sistemin ilk yapım bedeli çerçeveli yapıya göre daha yüksektir.

Hafif ve orta şiddetli depremlerde yatay ötelenmeleri çok sınırlıdır. Yapı içindeki eşyalarda ve taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında hemen hiç hasar olmaz. İçinde değerli eşyalar saklanan (Müzeler) önemli hizmet vermesi beklenen (Hastane, Telefon Santrali, İtfaiye) ve insanların çok yığıldığı (Okullar, Yatakhaneler) yapıların salt perde duvarlı olarak tasarlanması gerekmektedir. Yine deprem tehlikesinin orta düzeylerde olduğu bölgelerde ise 20 katı aşan yapıların perde duvarlı yapılması gerekir.

7.11.3 Perde duvarlı-çerçeveseli yapılar

Bu tür yapılarda her iki taşıyıcı sistem bir arada bulunur. Burada perdelerin ve çerçevelerin yatay yükler altında farklı ötelenecekleri unutulmamalıdır. Az katlı perdeli-çerçeveseli yapılarda deprem yatay yüklerinin büyük bir bölümü perdeler tarafından taşınır. Ancak çok katlı perdeli-çerçeveseli yapılarda katlar çoğaldıkça üst katlarda perde duvarların yatay yüklerden aldıkları pay giderek azalır. bu nedenle çok katlı yapıların perde duvarlı yapılmalarındaki amaç yatay yükleri taşımaktan çok yapıya rijitlik kazandırmaktır.

Yapıda kat alanının bir yüzdesi olarak her iki asal yönde perde duvar bulunmaktadır. Genellikle %0.5 ile %2.5 civarında perde duvar alanı yeterli olmaktadır. Bu miktar bina yüksekliği ile artmaktadır. Şu anda perde duvarlı-çerçeveseli betonarme yapılar depreme dayanımının yüksek ve maliyetinin de büyük olmaması nedeniyle en iyi yapı tipidir. Çok yaklaşık olarak perdeli-çerçeveseli yapılara her iki yönde en az kat alanlarının $0.002 \times \text{Kat}$ sayısı kadar alanı olan perde duvar konulması önerilmektedir. Bu 5 katlı bir binaya her iki yönde kat alanının $0.002 \times 5 = \%1$ ' i kadar alanı olan perde duvar konulması demektir (Bayülke, 1998).

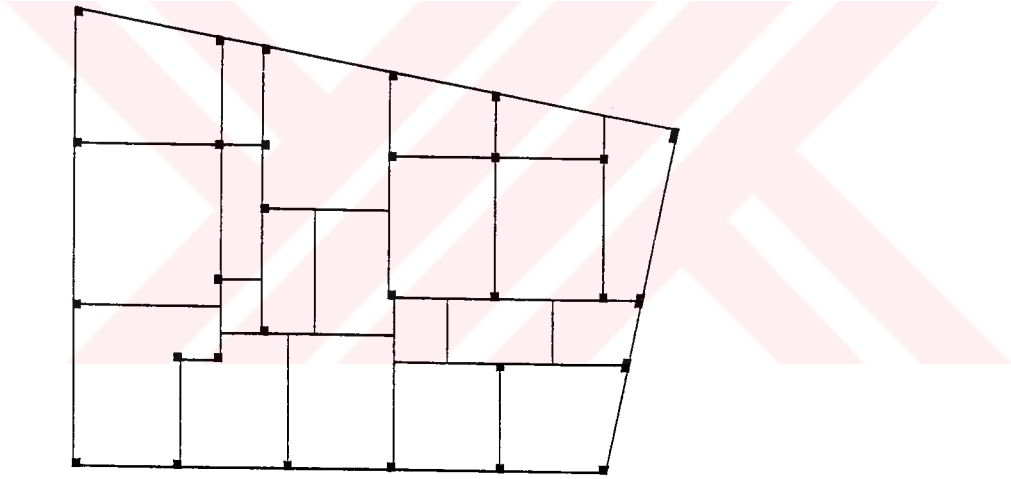
3-5 kata kadar olan perdeli-çerçeveseli yapılarda perde duvarlar kesme kuvvetlerinin büyük bölümünü taşırlar. Orta ya da çok sayıda katı olan perdeli-çerçeveseli yapılarda ise perde duvarın yatay yüklerden aldığı pay azalır. Perde duvarlı-çerçeveseli yapı genellikle 1' nci mod şeklinde davranır.

Perdeli-çerçeveseli yapılarda perde duvarların yatay yük taşımadaki etkinliği temellerin ankastrelik durumuna bağlıdır. Perde duvar temeli yeterli ölçüde ankastre değilse perdenin alacağı yatay yük payı azalır. Aynı şekilde perdeyi çerçeveye bağlayan bağ kirişleri de ne kadar rijit ise perde duvarın yatay yüklerden alacağı pay artar. Perde duvarlı-çerçeveseli yapıda yanal ötelenmeler kısıtlanır. Perde duvarlı-çerçeveseli yapıda perde depreme karşı birinci savunma çizgisidir. Perde duvarın hasar sonucu taşıma gücünün azalmasından sonra çerçeve sistemi ikinci savunma unsuru olarak devreye girer ve yapının hemen göçmesi önlenir. Perdeler yapının elastik enerji tüketme gücünü sağlarken, çerçeveler de kalıcı deformasyonla plastik enerji tüketme gücünü sağlarlar. Perde duvarlar yatay ötelenmeyi kısıtlayarak ikinci mertebeden momentlerin miktarını da kısıtlayıp kesitlerin daha çok zorlanmasını engeller.

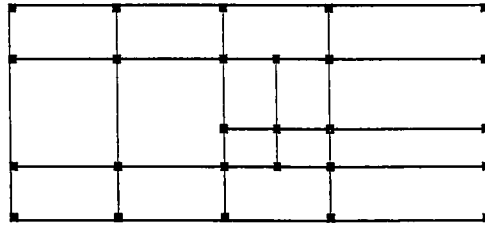
7.12 Çerçevesi Sistemlerin Tasarımı

Betonarme çerçeve bir yapının planda düzenli olması çoğu zaman üzerinde yapılacağı arsanın konumu ve mimari yaklaşımlar nedeni ile sağlanamamaktadır. Şekil 7.9' da kolon ve kirişlerin dolgu duvarları içinde saklanması yaklaşımı ve de arsa durumu nedeni ile ortaya çıkmış bir betonarme yapı taşıyıcı çerçeve planı verilmektedir. Bu sistemin hem analizi güçtür hem de depremde burulma etkileri ile zorlanma olasılığı yüksektir. Çerçeveler kesintilidir. Yapıda her iki doğrultuda sürekli çerçevelerin olmaması burulma etkileri oluşturmaktadır.

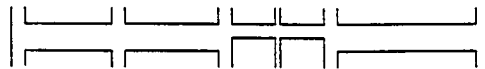
Yapıda mimari kısıtlamalar sonucu Şekil 7.10a' daki gibi kiriş sistemi oluşturmanın deprem açısından getireceği problem, aralarındaki açıklığın az olduğu kolonların son derece rijit olarak depremden gelen yatay yüklerden ve bu yatay yüklerin oluşturduğu düşey yüklerden büyük pay almalarıdır. Kısa açıklıklardaki kirişler sığ yapılar (Şekil 7.10b) bu durum biraz önlenir. Ancak bütün kirişlerin aynı derinlikte olması da yapım kolaylığı sağladığı için tercih edilir.



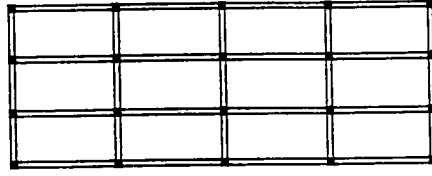
Şekil 7.9 Planı ve taşıyıcı sistemi düzensiz yapı (Bayülke, 1998).



a) Deprem yükü ve kat sayısı az yapılar için uygun



b) Kısa kiriş deprem yükünü azaltmak için sığ yapılmalı



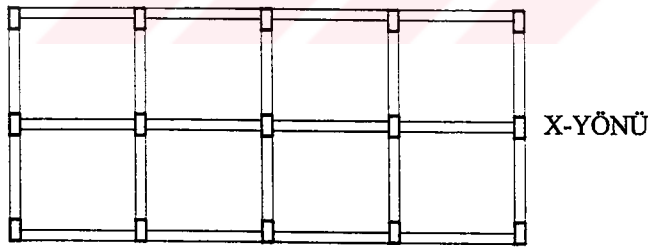
c) Deprem yükü büyük ve kat sayısının çok yapı için uygun

Şekil 7.10 Açıklıkları farklı çerçeveler için değişik çözümler (Bayülke, 1998).

Şekil 7.10a' daki gibi kiriş sistemi deprem tehlikesi az olan yerlerdeki yapılarda ya da az katlı yapılarda uygulanabilir. Yüksek yapılarda ve deprem tehlikesinin büyük olduğu yerlerde açıklıklar arası uyumu bozan kolonlar yapılmayarak elden geldiğince eşit ya da birbirine çok yakın açıklıklardan oluşan daha basit çerçeve düzenleri seçilmelidir.

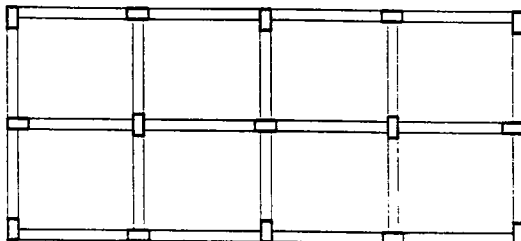
Çoğu yerde betonarme yapılarda kolonların uzun kenarları yapının kısa yönü ile çakışır biçimde yerleştirilmektedir. Şekil 7.11' de verilen kolon yerleştirme biçimi sık görülmektedir.

Şekil 7.11' de planı verilen yapıda her iki asal yönde rijitliklerin farklı olması nedeni ile yapının her iki yöndeki doğal titreşim periyotları da farklı olacaktır. Bu fark deprem kuvvetli yer hareketine bağlı olarak daha az ya da daha çok olabilir ve yapının dar kenarına dik yönde gelen deprem yükü diğer yönde gelen deprem yükünden büyük de olabilir.



Şekil 7.11 Deprem açısından uygun olmayan kolon yerleştirme biçimi (Bayülke, 1998).

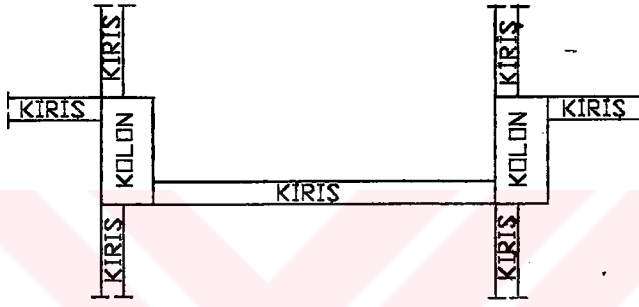
Bir yönde çok zayıf diğer yönde çok daha güçlü olan yapılar zayıf yönlerinde yıkılmaktadır. Bu nedenle yapının her iki yönde birbirine yakın dayanım ve rijitlikte olması için kolonların Şekil 7.12' deki gibi yerleştirilmeleri daha doğrudur.



Şekil 7.12 Deprem açısından uygun kolon yerleştirme biçimi (Bayülke, 1998).

Kolon ve kirişlerin bölme duvarların içinde saklanması kolon ve kiriş akslarının şaşırtmalı ve süreksiz olmasına yol açmaktadır.

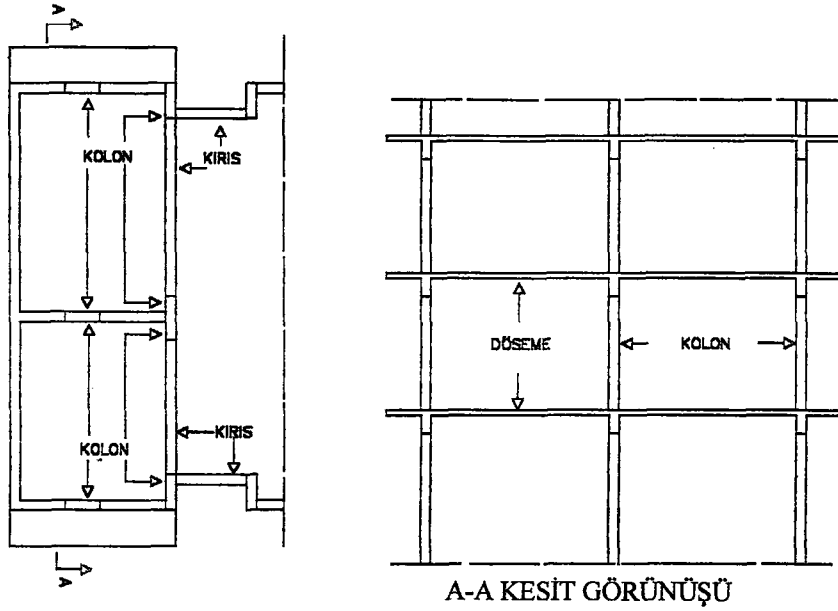
Şaşırtmalı kiriş aksları ya birbirine yakın iki küçük kolon gerektirmekte yada iki küçük kolon yerine tek fakat gereğinden büyük bir kolon yapılmaktadır (Şekil 7.13). Kolon boyutlarının gereğinden büyük yapılması sonucunda, kolonun rijitliği artar, bu nedenle, kolonun yatay yüklerden alacağı kuvvet artar. Eğer kolon bu durum gözönüne alınmadan donatılmış ise gelen deprem yükleri kolonun kapasitesinin üzerinde olacak ve kolonda hasar olacaktır. Düşey yükler açısından hiç gerek olmadığı halde büyük boyutlu yapılmış bir kolona yalnızca depremde büyük yüklerle zorlanacağı için daha çok donatı konulması gerekecektir.



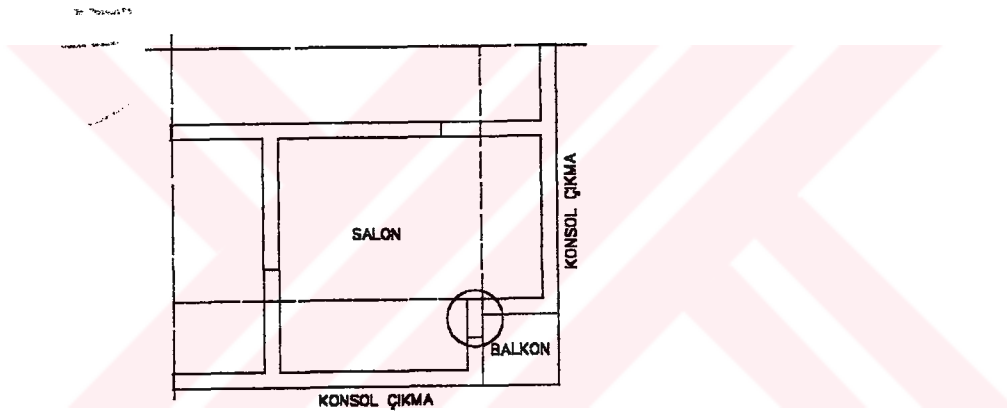
Şekil 7.13 Kiriş akslarının şaşırtmalı olması sonucu kolonların büyük yapılması (Bayülke, 1998).

Betonarme yapılarda yatay yüklerin düşey elemanlara rijitlikleri ile orantılı olarak dağılımı kendi düzlemi içinde son derece rijit olan döşeme plakları ile sağlanmaktadır. Bu sürekli ve eşit dağıtılmış rijitliği olan bir kat döşemesi ile sağlanabilir. Bütün kolonların kirişlerle birbirine tam olarak bağlandığı durumlarda yatay kuvvet dağılımı rijitlikle orantılı olacaktır.

Konsol çıkmaları olan yapılarda salonlarda, yukarıdan kiriş sarkmaması için bazı kolonlar arasına kiriş yapılmamaktadır (Şekil 7.14). Bu durumda bu bölümdeki döşemenin bir bölümünün kiriş gibi çalışması sorun olmaktadır. Özellikle köşelerde yapılan konsol çıkmalarda düşey yükler altında sorunlar çıkmaktadır (Şekil 7.15). Konsol çıkmanın köşe kolonun düşey yükler altında çift yönlü eğilme ile zorlanması yanında köşe kolonu yapının diğer kolon ve kirişlerinin oluşturduğu çerçeve ile bağlantısı çok zayıftır.

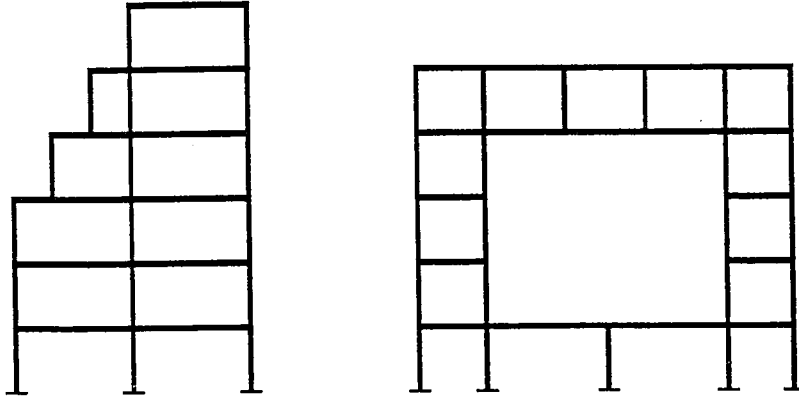


Şekil 7.14 İşaretlenen kolonlar bir yönde kirişlerle bağlanmadıkları için zayıf çerçeve oluşmaktadır (Bayülke, 1998).

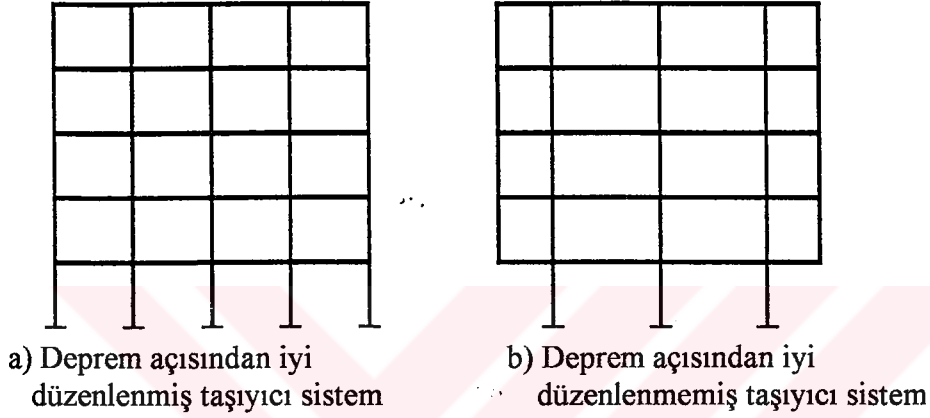


Şekil 7.15 Salon köşesinde kirişlerle bağlanmamış kolon çıkmalardan gelen burulma momentleri etkisi altında. Çerçeve sistemine bağlanmamış (Bayülke, 1998).

Düşey yönde düzenli bir çerçeve sisteminin ilk koşulu bütün kolon akslarının yapı yüksekliği boyunca sürekli olmasıdır. Depremlerde en çok rastlanan taşıyıcı sistem düzensizliği zemin katı esnek yapılardır. Şekil 7.16' de kolonları zemin kattan çatıya kadar sürekli ve bazı kolonları zemin katta sürekli olmayan çerçeveli taşıyıcı sistem gösterilmektedir. Şekil 7.16a' da verilen taşıyıcı sistemin kolonları ve dolayısı ile rijitliği yapı boyunca sürekli ve ani değişimler yoktur. Şekil 7.16b' deki sistemde ise zemin katta hiperstatiklik derecesi düşmektedir. Rijit ek yerlerinin azalması ile mafsallaşarak enerji tüketme kapasitesi azalmaktadır. Rijitlikte ani bir azalma olmaktadır.

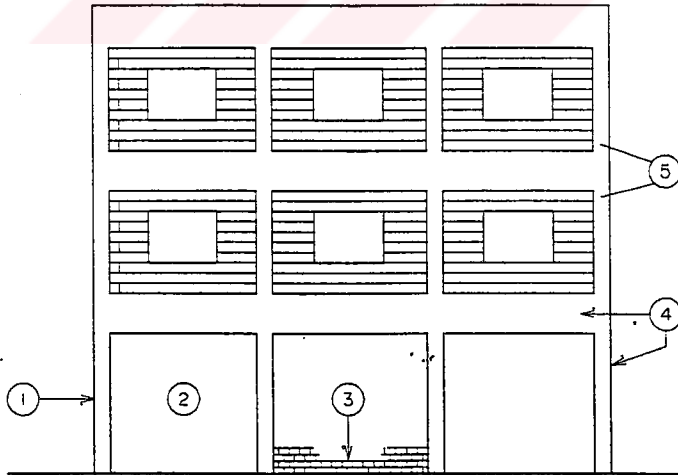


Çerçeve sistemleri düzensiz yapılar



Şekil 7.16 Çerçeve sisteminin seçiminde dikkat edilecek noktalar (Bayülke, 1998).

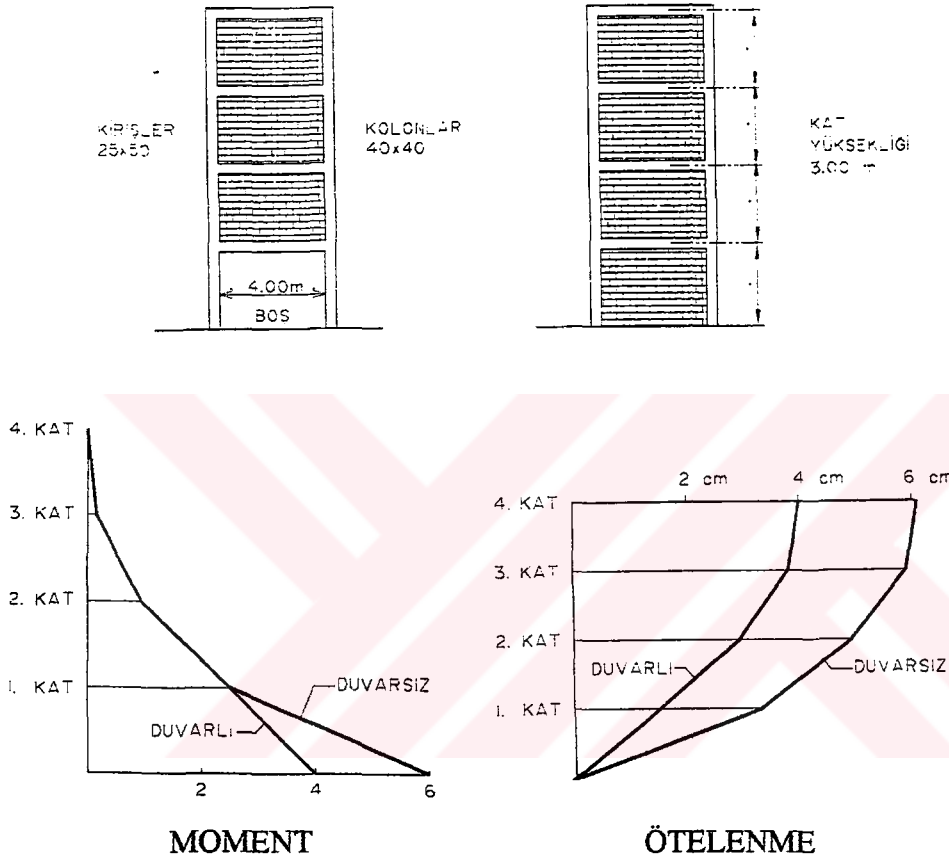
Şekil 7.17' de zemin katı esnek yapı davranışına yol açan çeşitli nedenler verilmektedir.



- 1) Zemin katta yüksek kolonlar
- 2) Zemin katta az miktarda dolgu duvar
- 3) Zemin katın dolgu duvarı henüz yapılmamış durumda depreme yakalanma
- 4) Derin kirişler, çok narin kolonlar
- 5) Kolonların moment kapasiteleri kirişlerden çok zayıf

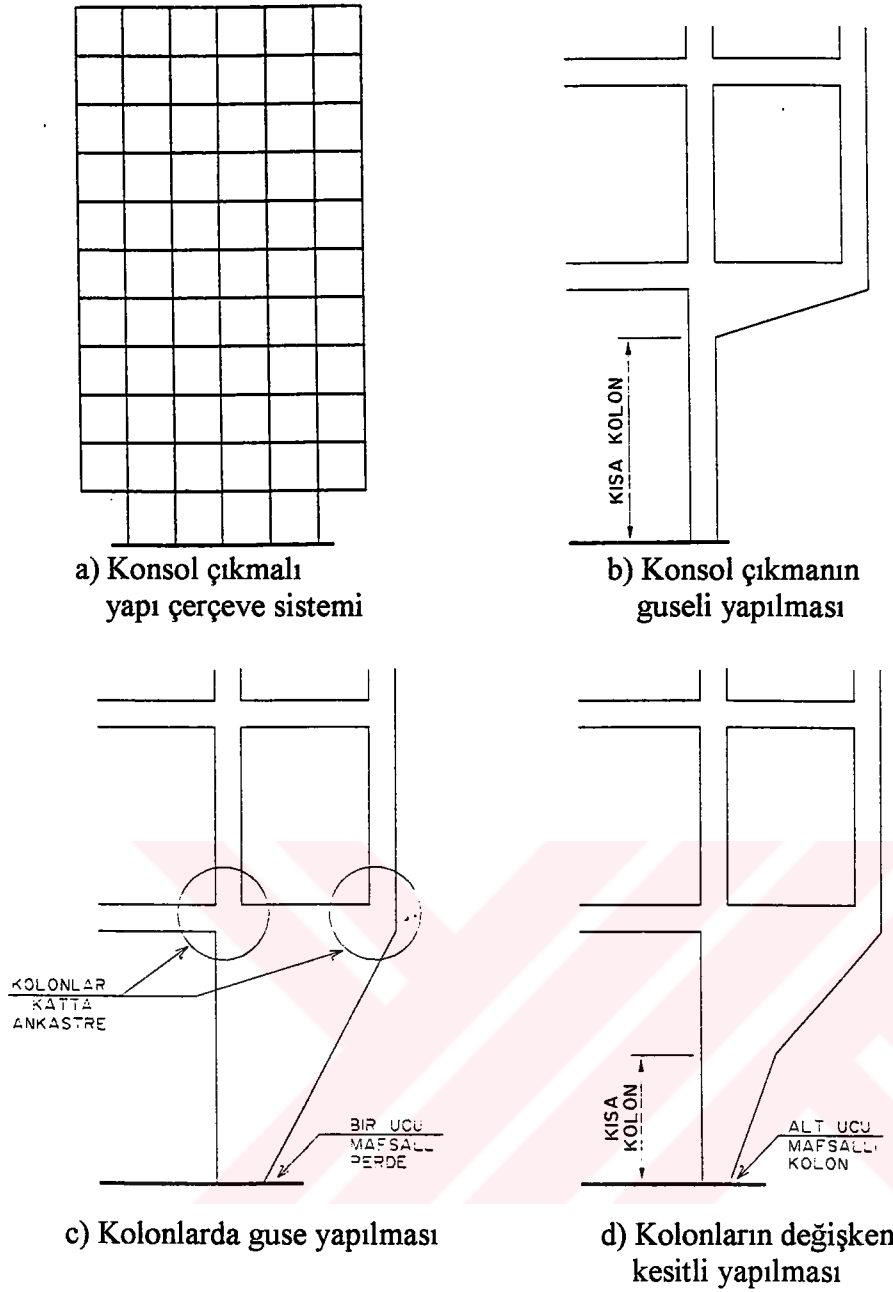
Şekil 7.17 Zemin katı esnek yapı davranışına yol açan çerçeveli yapı tasarım ve yapım yanlışları (Bayülke, 1998).

Zemin katlarda aslında taşıyıcı olmayan tuğla dolgu duvarların yapılmamış olması ya da bir üst kata göre çok az duvar olması da esnek zemin kat davranışına neden olabilir. Şekil 7.18’ de gösterildiği gibi zemin katın dolgu duvarı olmayan gerçek bir çerçevenin zemin katındaki ikinci mertbe momentleri %50 daha çok olabilir (Bayülke, 1998). Tuğla dolgu duvarsız yapının zemin katı duvarlı yapıya göre çok daha esnektir. Bu durum yapının yıkılmasına neden olabilir



Şekil 7.18 Yatay ötelemelerden oluşan ikinci mertbe momentlerin oranı (Bayülke, 1998).

Zemin katta esnek yapı davranışına yol açan bir başka önemli nokta ise konsol çıkmanın uçlarına kolon yapılmasıdır. Bu kolonlarının varlığı ile alt kattaki konsolun bağlandığı kirişin ankastre ucunda çok büyük momentler oluşmaktadır. Bu momentler yapının kat adedi arttıkça daha da büyüyecektir. Konsol çıkmanın ankastre ucunda oluşacak momenti taşımak için Şekil 7.19’ da verildiği gibi ya kiriş ucunda ya da kolon ucunda guse yapılacaktır. Her iki durumda kolon son derece rijitleşecektir.

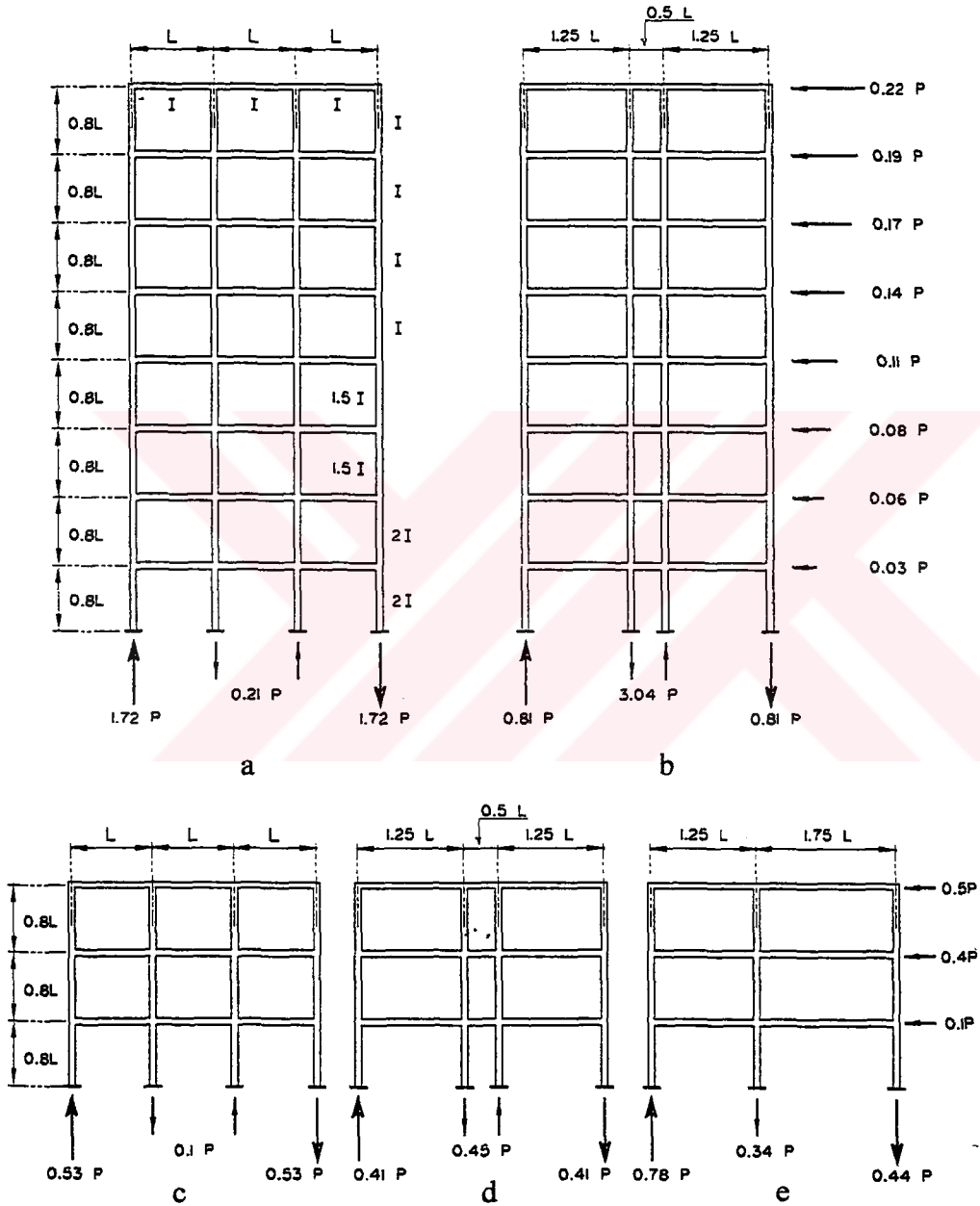


Şekil 7.19 Kolon çıkmalarının uçlarının kolonlu yapılması sonuçları (Bayülke, 1998).

Pratik olarak, alt ucundaki kesiti küçük, üst ucundaki kesiti en az iki kat daha büyük olan bir kolon zemine mafsallı olarak mesnetlenmiştir. Bunun anlamı daha baştan zemin katta mafsallaşarak enerji tüketebilecek ek yeri sayısının kısıtlanmış olduğudur. Bunun da ötesinde zemin katta bazı kolonların alt uçlarının bir anlamda mafsallı olması zemin katın yatay ötelenmelerinin de daha büyük olmasına yol açacaktır. Bu durum zemin katı esnek yapı davranışını daha da kritikleyecektir.

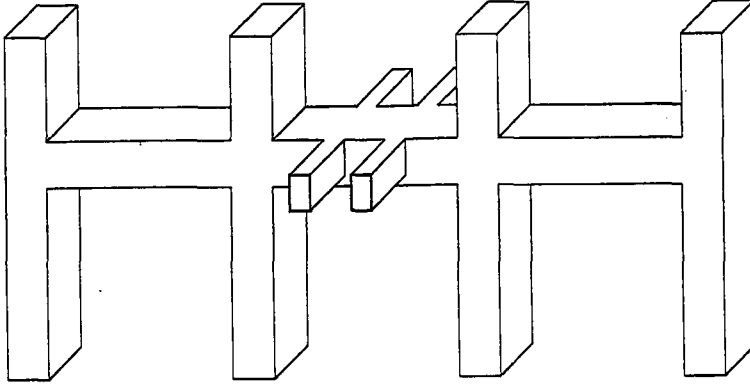
Çerçevelerin yükseklik boyunca tasarımında, çerçevelerin açıklıklarına göre kolon ve kirişlere gelen deprem yüklerinin boyutları değişebilmektedir. Şekil 7.20’ de değişik çerçeve açıklığına göre depremde gelen yatay yüklerin kolonda oluşturduğu aksenal yüklerin değişimi incelenmektedir (Bayülke, 1998). Çerçeve açıklıkları eşit olan alçak ve yüksek yapılarda dış

aks kolonlarına depremde gelen eksenel yükler çok daha büyük olmaktadır (Şekil 7.20a ve 7.20c). Çok katlı ve ortasında küçük bir açıklık olan, okul, kışla ve yatakhane gibi yapılarda ise orta aksa kolonlarına büyük eksenel yükler gelmektedir (Şekil 7.20b). Ortasında kısa bir açıklık olan alçak yapılarda ise kolonlara gelen eksenel yükler birbirine yakın olmaktadır (Şekil 7.20d). Genellikle kısa açıklıkların kenarlarındaki kolonların depremde gelen eksenel yükleri daha büyük olmaktadır (Bayülke, 1998).



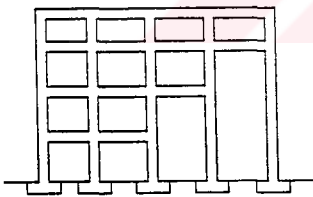
Şekil 7.20 Çerçeve açıklıklarının yatay deprem yüklerinden gelen kolon düşey yükleri üzerindeki etkisi (Bayülke, 1998).

Orta aksında derin ikincil kirişlerin olduğu bir çerçevede (Şekil 7.21) rijit orta aksın kenarında yer alan kolonlar son derece rijit olmakta ve depremde gelen yatay yüklerden büyük pay alarak zorlandıkları gibi düşey yükleri Şekil 7.20b’deki gibi büyük olmaktadır.

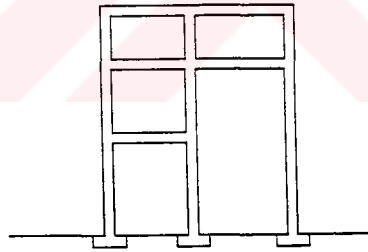


Şekil 7.21 Eşit açıklıklı çerçevede, orta akstaki derin kirişler nedeniyle rijitliğin artması (Bayülke, 1998).

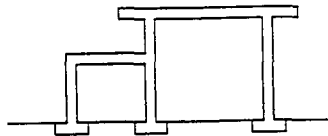
Şekil 7.22' de taşıyıcı sistemi düzensiz yapılara örnekler verilmektedir. Şekil 7.22e ve b' deki yapılarda uzun kolonların bulunduğu akslar daha esnek, diğer akslar ise daha rijittir. Bu durum yapıda burulmaya neden olacak ve yapının daha çok katlı bölümleri depremde daha çok zorlanacaklardır. Şekil 7.22c' de yapıda da kısa kolon kırılması beklenmelidir. Şekil 7.22d' deki yamaca oturan çerçeveli taşıyıcı sistemde zemin kattaki farklı yüksekliklerdeki kolonlar nedeni ile yapının yamaç yukarı kısmı daha rijit, aşağı kısmı daha az rijit olduğu için zemin katta burulma olacaktır. Şekil 7.22e' deki gibi basamaklı bir çerçeveli taşıyıcı sistemde çok sayıda kısa kolon vardır ve kısa kolon kırılması beklenmelidir.



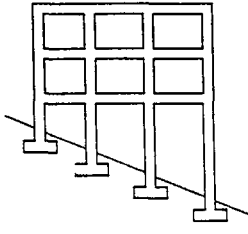
a) Farklı rijitlikte kolonlar



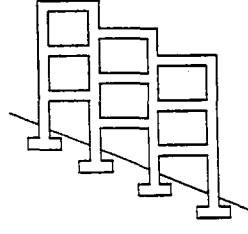
b) Burulma yaratacak farklı rijitlikte kolonlar



c) Kısa kolon kırılması tehlikesi



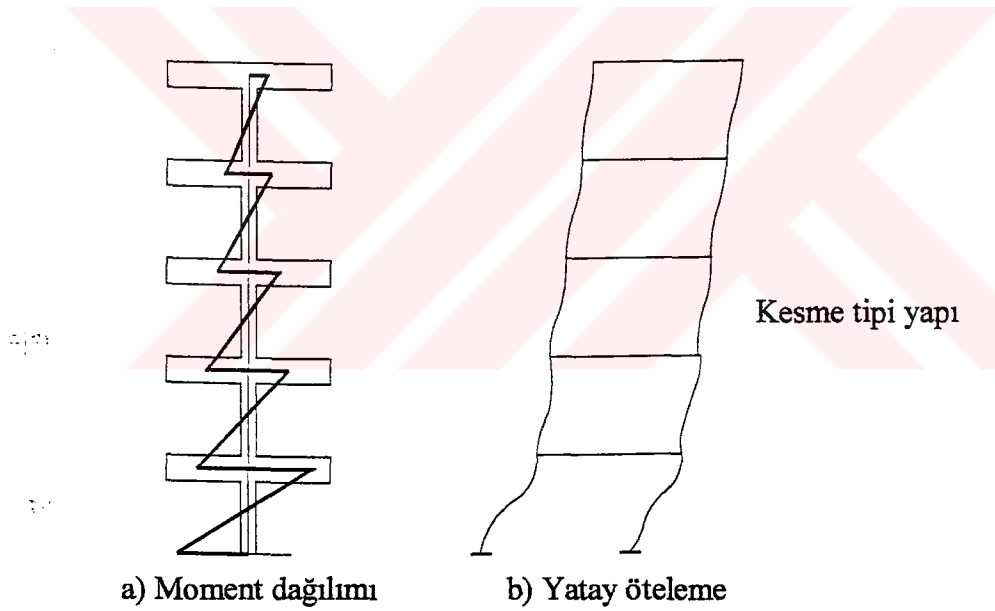
d) Farklı kolon boyları
burulma tehlikesi



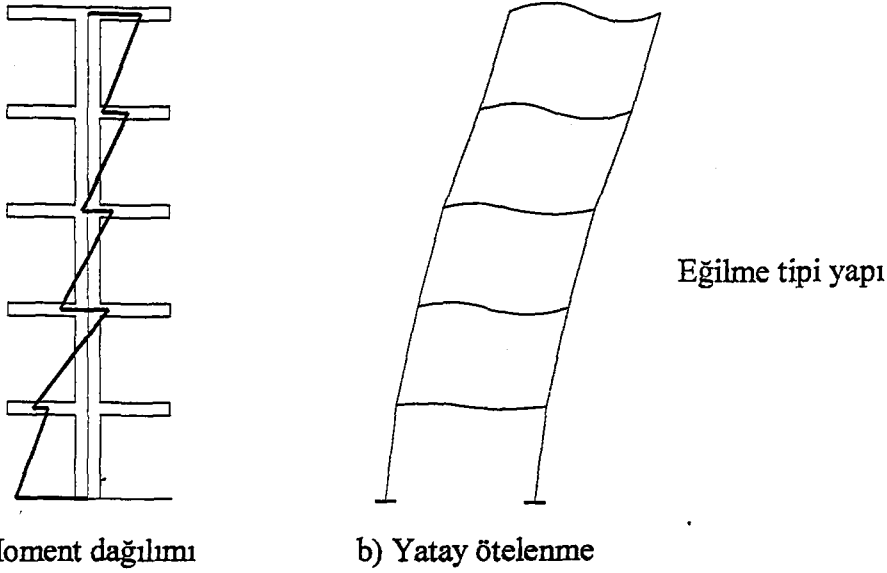
e) Basamaklı sistem kısa
kolon kırılması

Şekil 7.22 Düzensiz çerçeve taşıyıcı sistemler (Bayülke, 1998).

Çerçeve yapılar da kirişlerin rijitlikleri bağlı oldukları kolonlardan daha büyük olabilir. Bu durumda kolonlarda yatay kuvvetlerden oluşan momentler Şekil 7.23a’ da gösterilmektedir. Bu tür yapılar “kesme” tipi yapı olarak tanımlanır. Bunların yatay yükler altında ötelenmeleri Şekil 7.23b’ deki gibidir.



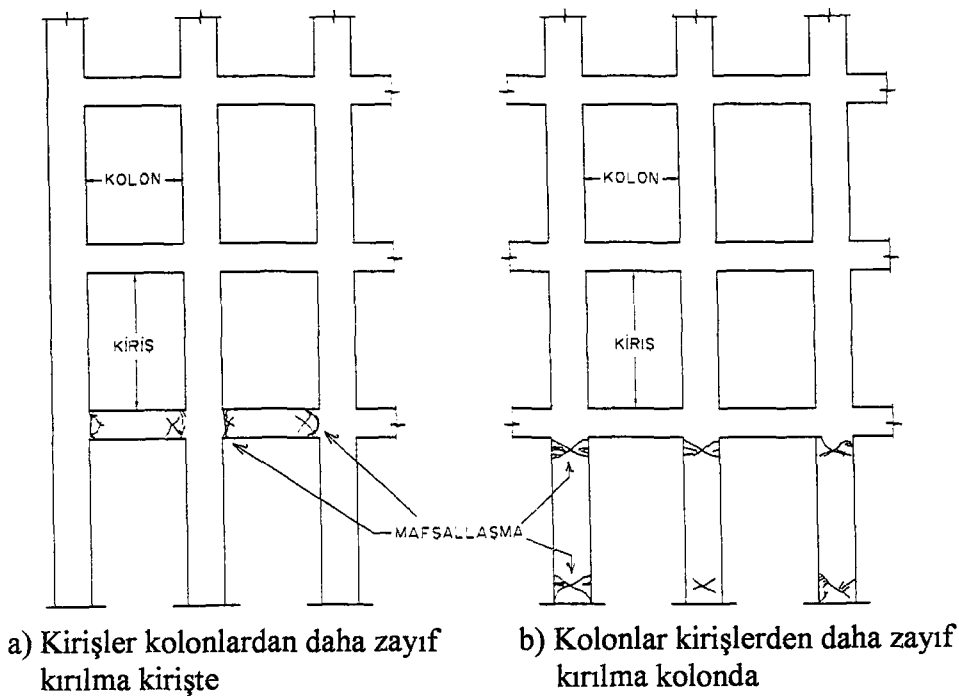
Şekil 7.23 Kirişlerin kolonlardan rijit olduğu çerçeve yapılar da, yatay yüklerden oluşan momentlerin ve ötelenmelerin dağılımı (Bayülke, 1998).



Şekil 7.24 Kolonların kirişlerden rijit olduğu çerçeveli yapılarda, yatay yüklerden oluşan moment ve ötelenmelerin dağılımı (Bayülke, 1998).

Kolonların rijitlikleri kirişlerden büyük ise kolonların yatay yükler altındaki momentleri Şekil 7.24a' da gösterildiği gibidir. Bu tür yapılar “eğilme” tipi yapılardır. Davranışları daha çok perdeli yapılara benzer (Şekil 7.24b).

Çerçeveli yapıda herhangi bir düğüm noktasındaki kolonlar kirişlerden daha yüksek moment ve kesme kuvveti taşıyabilecek güçte yapılmışlarsa (Şekil 7.24b) depremde dolayı mafsallaşma kırşlerde olur (Şekil 7.25a). Eğer kirişlerin moment taşıma güçleri kolonların moment taşıma güçlerinden yüksek (Şekil 7.23a) ise kırılma kolonlarda olmaktadır (Şekil 7.25b).



Şekil 7.25 Kiriş ve kolon boyutlarının mafsallaşma üzerindeki etkileri (Bayülke, 1998).

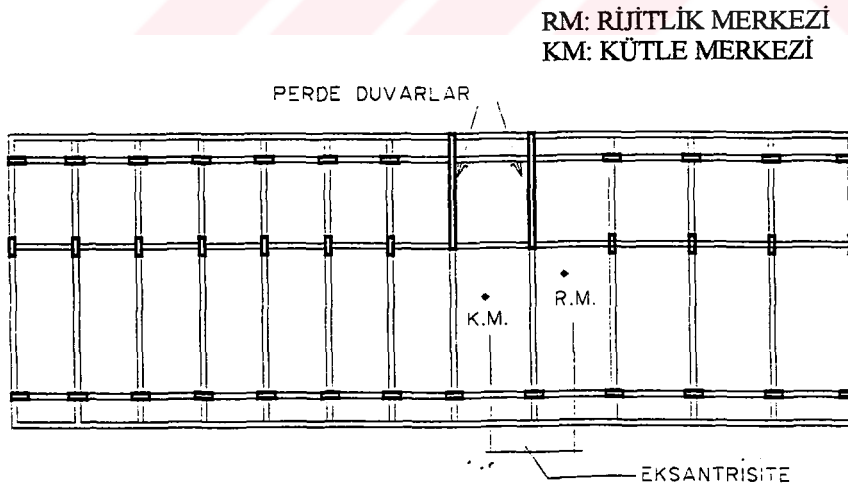
7.13 Perde Duvarlı Sistemlerin Tasarımı

Perde duvarların yapı planında burulma etkisi yaratmayacak biçimde düzenlenmesi gerekir. Şekil 7.26'da gösterilen Sakarya Valilik Binası 1967 Adapazarı depreminde büyük hasar görmüştür. Hasarın önemli bir nedeni merdiven boşluğu çevresine konulmuş perde duvarların yapıdaki simetriyi bozucu bir biçimde ve yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında yaklaşık 3.60metrelik bir uzaklık bulunmasıdır. Bu eksantrisitenin yarattığı burulma etkisi, hesaplarda dikkate de alınmadığı için, birçok kolona burulma nedeni ile hesaplandıkları yüklerin üzerinde yük etkimesine ve hasara yol açmıştır.

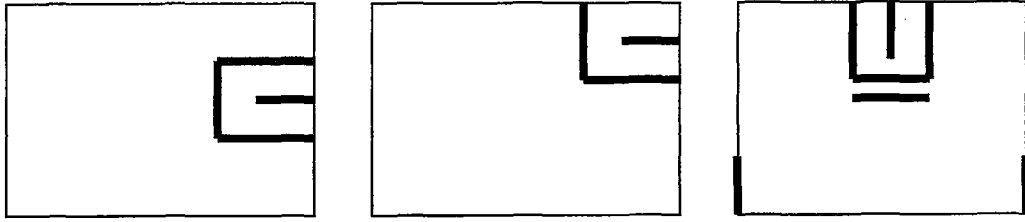
Şekil 7.26

Yapıda perde duvarlar çoğunlukla asansör ya da merdiven boşlukları çevrelerine yerleştirilmektedir. Eğer bu boşluklar yapının içinde simetrik bir yerde değilse, Şekil 7.27a ve Şekil 7.27b' deki gibi, yapıda kütle ve rijitlik merkezleri arasında önemli uzaklıklar olacak ve depremde burulma etkileri oluşacaktır. Perde duvarların kolonlara göre çok daha rijit eleman olmaları ve yapının merkezinden uzakta ve de simetrik olmayan bir konumda yerleştirilmeleri burulma oluşturacak bir eksantrisite yaratacaktır.

Eğer çevresine perde duvar konulacak asansör ya da merdiven boşlukları yapıda simetrik ve kütle merkezine yakın bir yere konulamıyorsa ve bu durumun yapıda büyük burulma etkileri yaratması önlenmek isteniyorsa, yapıya kütle ve rijitlik merkezlerini birbirine yaklaştırarak burulmayı önleyecek ek perde duvarlar konulmalıdır (Şekil 7.27c).



Şekil 7.26 Sakarya hükümet konağında burulma etkisi yaratan eksantrik perde duvarları merdiven ve asansör boşluğu (Bayülke, 1998).



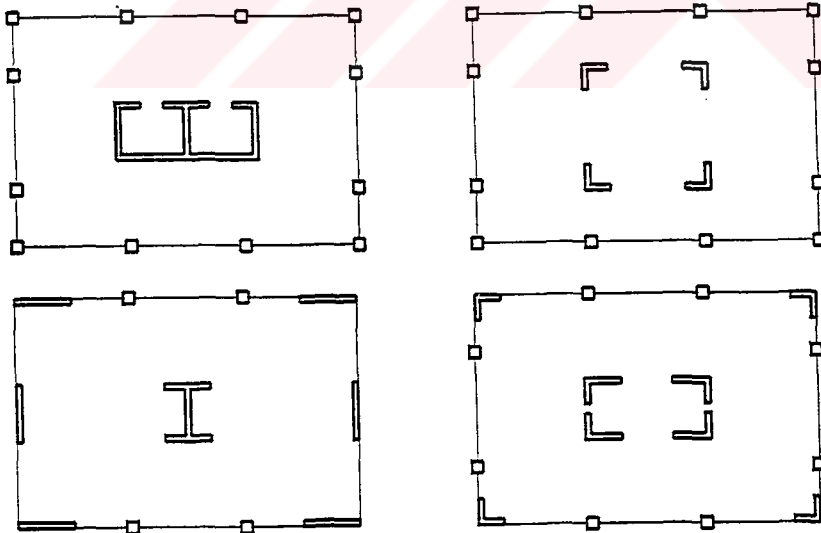
a) Burulma etkisi yaratacak perde duvar konumu

b) Aşırı ölçüde burulma etkisi yaratacak perde duvar konumu

c) Burulmayı önlemek için ek perde duvar yerleştirme

Şekil 7.27 Burulma etkisi yaratacak perde duvar konumları ve ek perde duvarlarla burulmanın önlenmesi (Bayülke, 1998).

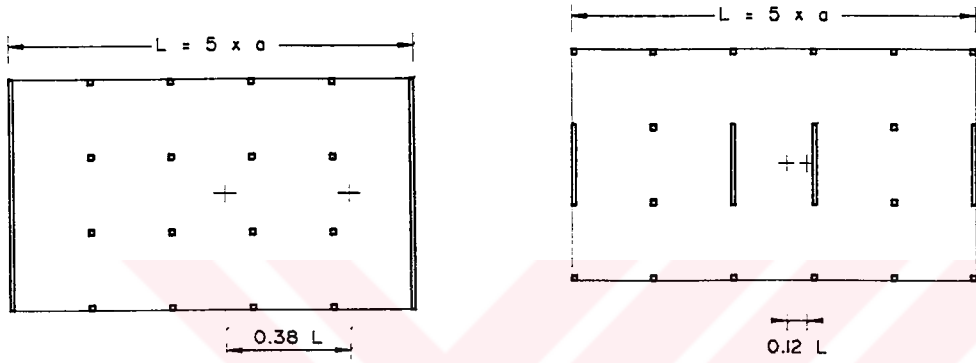
Yapılarda perde duvarlar çoğunlukla yapının kenarlarına yerleştirilmektedir. Böyle bir uygulama 5-6 kata kadar olan yapılarda uygun olmakla birlikte daha çok katlı yapılarda devrilme momentleri yapının her iki kenarında toplanacağı için, yapı kenarındaki perde duvarların temellerinin boyutlandırılması zorlaşabilir. Yüksek yapıların perde duvarların yapı planında dağıtılmış bir biçimde yerleştirilmesi daha uygundur. Şekil 7.28’ de perde duvarlı çerçeve yapılarda önerilen perde duvar yerleştirme biçimleri verilmektedir. Çoğunlukla yüksek yapılarda perde duvarlar yapının merkezindeki asansör ve merdiven boşluklarının çevresine yerleştirilir.



Şekil 7.28 Perdeli-çerçeve yapılarında perde duvar yerleştirme biçimleri (Bayülke, 1998).

Perde duvarların yapı içinde simetrik de olsa belli yerlerde toplanmaları (Şekil 7.28),örneğin yapının kenarlarına yerine yapı içinde dağıtılmaları deprem açısından daha uygundur. Amerikan Deprem Yönetmeliklerinde (ATC-3) yapı içinde her iki asal yönde en az dört adet perde bulunması önerilmektedir (Şekil 7.29). Bunun nedeni yapının kenarında olan iki perde duvardan birinde depremde herhangi bir nedenle olan hasar yapıda rijitlik merkezinin büyük

miktarda yer deşiştirmesine ve burulmaya neden olmasdır. Buna karşılık eğer dörd adet perde duvar varsa, bunlardan birinin hasarı ile yapıdaki rijitlik merkezinin yeri fazla değişmemekte ve büyük burulma etkileri oluşmamaktadır. Perde duvarları dağılmış yapıda en soldaki perde duvarın taşıma gücünü yitirmesi ile rijitlik merkezi %12 kadar sağa kayarken, perde duvarları yapının her iki ucunda olan yapıda en soldaki perdenin taşıma gücünü yitirmesi ile rijitlik merkezi yapı boyunun %38' i kadar sağa kaymaktadır (Bayülke, 1998). şekil 7.29a' daki yapıda herhangi bir perde duvarın hasarı yapıda önemli boyutta eksantrisite yaratabilirken, şekil 7.29b' deki yapıda herhangi bir perde duvarın hasarı önemli bir eksantrisite artışına yol açmayacaktır.

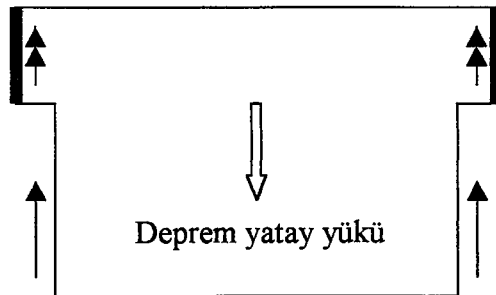


a) Perde duvarların yapının iki ucunda yığılması

b) Perde duvarların yapının içinde en az dört yerde bulunmalıdır

şekil 7.29 Perde duvarların yapı planında yerleştirme kuralı (Bayülke, 1998).

Perde duvarların yapı planındaki konumu açısından döşemeden perdeye kuvvet aktarmanın da sorun yaratmaması gerekir. şekil 7.30' daki perde duvar yapıda yanal deprem kuvvetlerinin etkisini alabilecek bir konumda değildir. Perde-döşeme ara kesiti bu yükü aktarmak için yeterli boyutta olmayabilir.

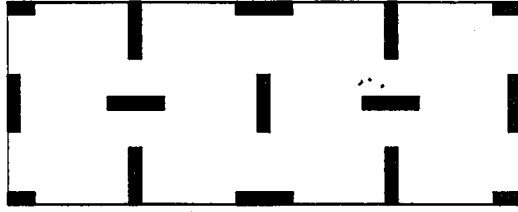


şekil 7.30 Perde duvarların yatay yüklerin aktarılmasında zorlanacağı yerleştirme biçimi (Bayülke, 1998)

Perde duvarların planlanması iki ana ilkeye uyulmalıdır; çok sayıda küçük ve rijitliği az perde duvar olmalı, perdeler yapı içinde dağılmış olmalıdır (Şekil 7.31).

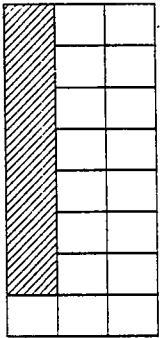


a) Her iki yönde perde duvarların biri hasar görürse yapıda büyük burulma olacaktır.

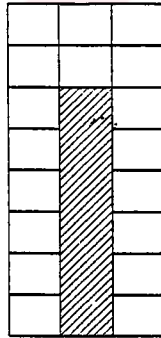


b) Yatay yükleri alan çok sayıda eleman olmalı ve elemanlar yapı içinde dağılmış olmalı
Şekil 7.31 Planda perde duvarların yerleştirme biçimi (Bayülke, 1998).

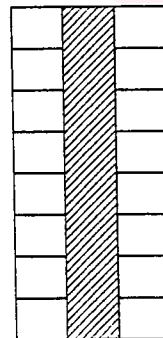
Perde duvarlar yapının temelinden başlayıp en üst kata kadar sürekli olarak yapılmalıdır. Çeşitli nedenlerle zemin katında hiç yapılmaması ya da en üst kata kadar uzatılmayıp ara bir yerde kesilmesi deprem açısından çok sakıncalıdır (Şekil 7.32). Zemin katta perde duvarın süreksizliği tıpkı zemin katı esnek yapı davranışına yol açmaktadır.



a) Sakıncalı. Zemin katı elastik yapı



b) Sakıncalı. Duvarın bittiği yerde gerilim birikimi

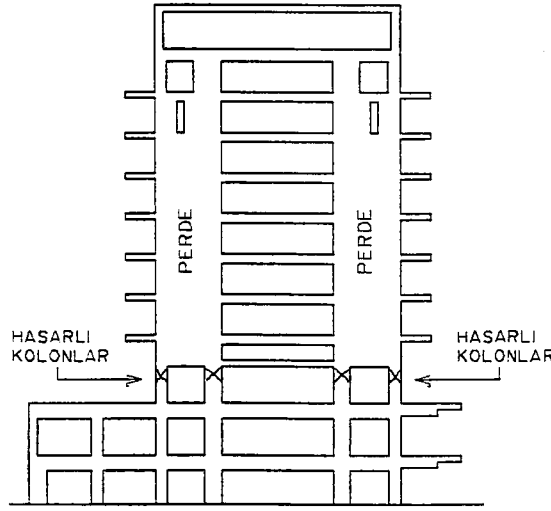


c) Uygun

Şekil 7.32 Perde duvarların yükseklik boyunca dağılımı (Bayülke, 1998).

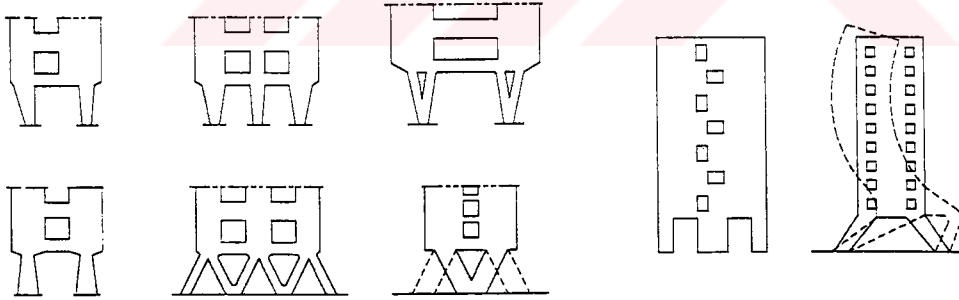
Şekil 7.33' de zemin katta kesilen perde duvarlar nedeni hasar görmüş yapı örneği verilmektedir. Bazı yapılarda mimari süs olarak yapılmış ve zemin katta devam etmeyen perde duvarlar da zemin katı esnek yapı davranışına neden olmaktadır. Perde duvarın yapının en üst katına kadar sürekli olmaması, duvarın kesildiği katın üzerindeki katların sanki o katta zemine ankastre gibi davranmasına yol açar, hasar duvarın bittiği katın üzerindeki bölümlerde

olur.



Şekil 7.33 Perde duvarları zemin katta kolonlara dönüştüğü için hasar görmüş bir yapı (Bayülke, 1998).

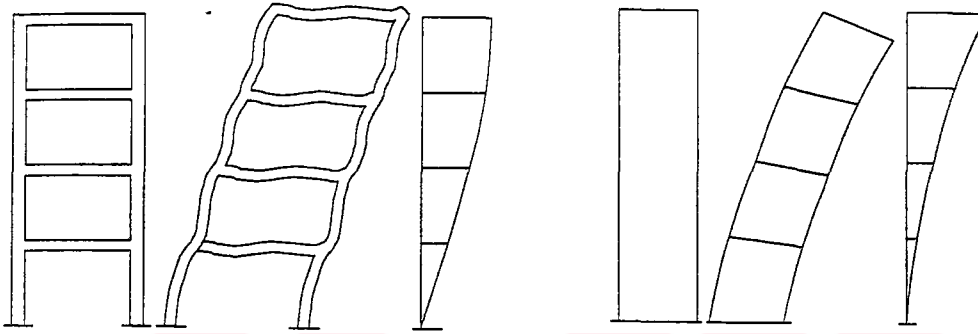
Şekil 7.34’ de deprem açısından sakıncalı başka perde duvar biçimleri verilmektedir. Eğimli ayaklar üzerine oturan perde duvarlarda zemin katta rijitlik azalması yanında, eğimli ayakların depremlerdeki deformasyonları çok garip bir biçimde olabilir. Şekil 7.34’ deki pencere delikleri şaşırtmalı, ayaklar üzerinde duran perde duvarda aradaki bağ kirişlerinin boyları çok kısalmakta bunlara çok büyük kesme kuvvetleri geleceğinden gerek analizleri gerekse deprem kuvvetlerini taşıyabilecek biçimde donatılmaları güçtür.



Şekil 7.34 Çok sakıncalı boşluklu perde duvar biçimleri (Bayülke, 1998).

Perde ve çerçevelerin yatay yükler altındaki deformasyon özellikleri farklıdır. Perde elemanlarında eğilme ve kesme etkileri önemli olurken, çerçeve elemanlarında yalnızca eğilme etkileri önemlidir. Şekil 7.35’ ten görüleceği gibi perde duvarların yükseklik ile birlikte yatay ötelenmeleri, katlar arası ardışık ötelenmelerde, giderek artmaktadır. Buna karşılık çerçevelerde ise yükseklik ile birlikte katlar arasındaki ardışık ötelenmeler giderek azalmaktadır. Bu bakımdan perde duvarlı ve çerçeveli yapıda, alt katlarda perde duvarlar çerçevenin yatay ötelenmesini kısıtlarken, üst katlarda ise çerçeve perdenin ötelenmesini kısıtlamaktadır. Çerçeveli ve perdeli yapılarda perde duvarlar zemin katlarda yatay yüklerin

%90-95' ini taşırken, üst katlara doğru bu oran azalarak %60-70' e inmektedir (Bayülke, 1998). Bu durum yapının kat sayısı ile değişmektedir (Şekil 7.36). Az katlı yapılarda perdenin payına düşen yatay kuvvetin oranı daha büyük iken çok katlı yapılarda oran özellikle yapı yüksekliği boyunca giderek azalmaktadır. Aynı toplam boyutlu perde duvarların yapı içinde dağılımı da her bir katta perde duvarların payına düşen yatay kuvvetlerin oranı üzerinde etkilidir (Şekil 7.37).



a) Salt çerçeveli yapının yatay kuvvetler altındaki ötelemesi

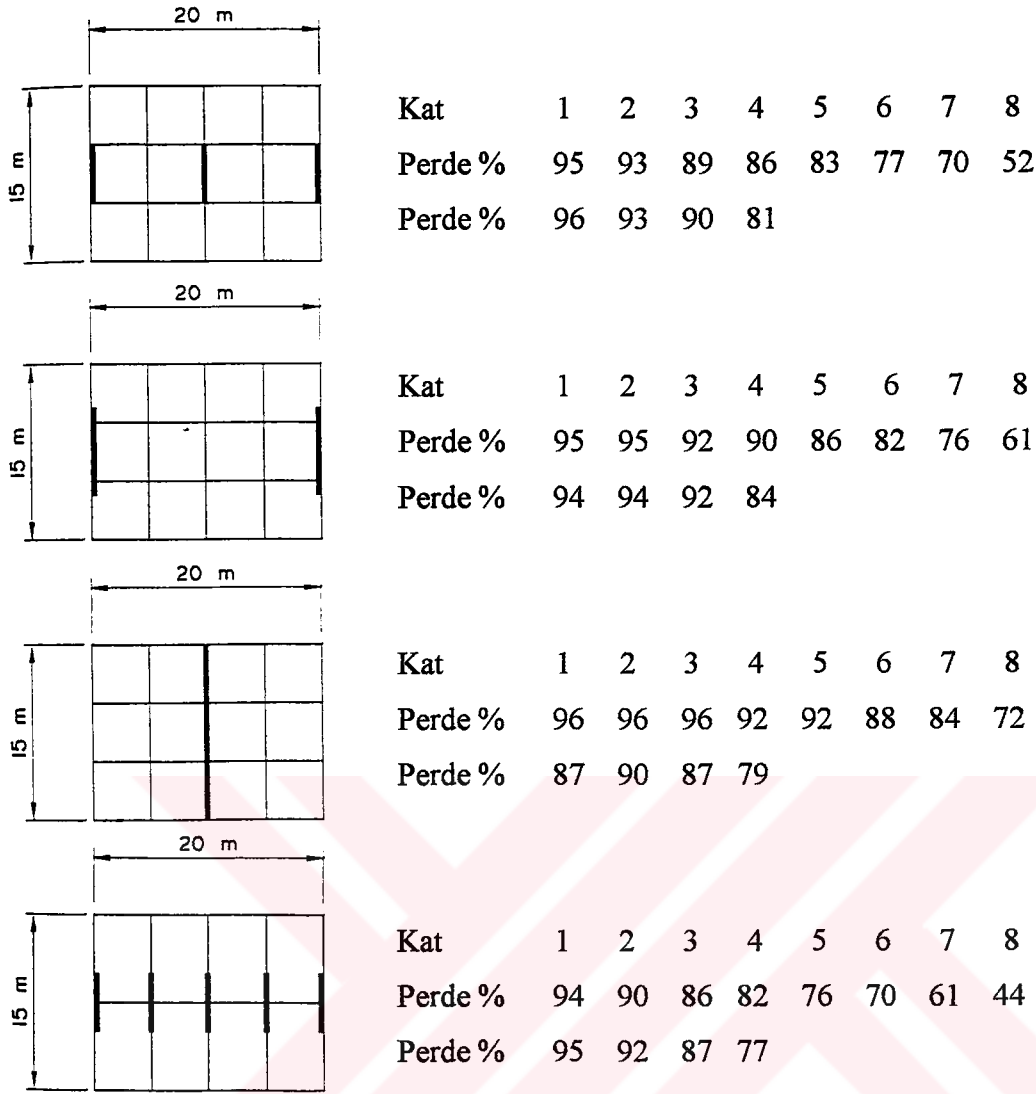
b) Salt perde duvarlı yapının yatay kuvvetler altındaki ötelemesi

Şekil 7.35 Perde duvar ve çerçeveli yapıların yatay yükler altındaki ötelemeleri (Bayülke, 1998)

PERDENİN PAYI %	
70	
83	
83	
87	
90	
90	
94	
91	

PERDENİN PAYI %	
94	
95	
95	

Şekil 7.36 Perdeye düşen yatay kuvvet payının yapı yüksekliği ile değişmesi (Bayülke, 1998).



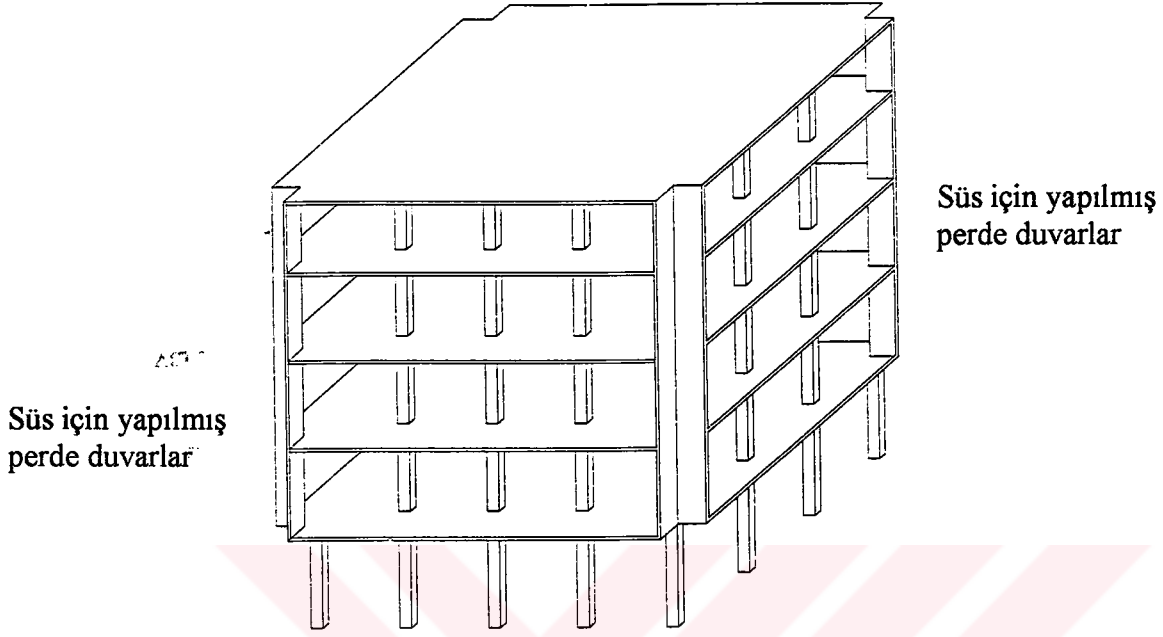
Şekil 7.37 Perde boyutlarının değişmesi ile 4 ve 8 katlı yapılarda perdelerden gelen yatay kuvvet payının katlara göre değişimi (Bayülke, 1998).

Şekil 7.38’ de görülen yapıda tek yönde perde duvar vardır. Alttan üç katta perde duvarlı aks ile kolonların yer aldığı orta bölüm bağlantısı eksantrik bir biçimdedir. Bu perdenin yapının yatay yüklerini taşımada etkin bir katkısı olmayacak ve yatay yükler altında perde konsol olarak eğilme dönmesi yaptığı zaman yapının kolonlu bölümü ile zayıf bağlantı kirişi hemen kırılacak ve perdeler ile kolonlu bölüm arasında kuvvet aktarımı olmayacaktır. Diğer yönde perde duvar yokluğu ise yapıda bu yönde burulmaya yol açacaktır.



Şekil 7.38 Çerçevesiz taşıyıcı sistemle yetersiz biçimde bağlanmış perde duvarlı yapı, perde duvarlar tek yönde (Bayülke, 1998).

Şekil 7.39’ da mimari amaçla yapıldığı için konsol çıkmaların olmadığı zemin katta yapılmamış süs perdelerinin deprem yükleri altında yapının zemin katının nasıl esnek zemin katlı yapı durumuna geldiği görülmektedir. Erzincan’ daki Vakıflar Genel Müdürlüğü İşhanı olarak yapılmış bu yapı 13 Mart 1992 Depreminde yıkılmıştır.



Şekil 7.39 Süs olarak yapılmış ve zemin katta kesilmiş perde duvarlar yapının zemin katı esnek yapı olarak davranmasına neden olmuştur. Erzincan Vakıf İşhanı 13 Mart 1992 depreminde yıkılmıştır (Bayülke, 1998).

8. SONUÇLAR

Bir yapıda aranılan en önemli özellik gerekli yapı güvenliğinin sağlanmasıdır. İnsan hayatının güvenceye alınması, estetik ve fonksiyon gibi özelliklerin önünde yer almalıdır. Ülkemiz, dünyanın önemli deprem kuşaklarından biri üzerinde yer almaktadır. Ülkemizde meydana gelen deprem felaketleri gösteriyor ki, yapılarda meydana gelen hasarların çoğu aynı tip hasarlardır. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi' nde yapılarda görülen hasarlar, 17 Ağustos 1999 Adapazarı Depremi' nde de görülmüştür. Tasarımlarda yapılan hatalara, uygulama ve denetimlerdeki yetersizlik eklenince, deprem felaketinin boyutu daha da büyümektedir.

Bir yapının oluşmasında birçok aşamadan geçilir. Bunları zemin incelemesi, mimari tasarım, statik ve betonarme hesapları ve uygulama olarak sıralayabiliriz. Bu aşamalardan hiçbiri diğerinden hafife alınamaz ya da görmezden gelinemez.

Günümüz bilim ve teknolojisi, yüksek şiddetli depremlerde bile yapılarımızın yıkılmadan ayakta durmasını ve depremden hemen sonra kullanılabilir olmasını sağlayacak düzeydedir. Bu teknolojik bilgiyi tam ve doğru olarak kullanabildiğimiz sürece, depremle birlikte yaşayan ülkemizde, bu felaketin sonuçları daha az can ve mal kaybı olacaktır. Bir betonarme yapıda özen gösterilecek noktalar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1- Yapının taşıyıcı sisteminin düzenlenmesinde her iki doğrultuda yatay yükleri karşılayacak çerçeveler meydana getirilmelidir. Bu, etkilerin güvenli biçimde karşılanması yönünden önemlidir.

2- Taşıyıcı sistem, yükleri en kısa yoldan zemine aktaracak şekilde düzenlenmelidir. Böylece, örneğin burulma gibi, bazı ek etkilerin meydana gelmemesi için çaba harcanması yararlıdır.

3- Düşey taşıyıcı olan kolonlara ve temellere gerekli önemin verilmesi, özellikle temellerin zemin durumu gözönüne alınarak belirlenmesi, kolonların zemine kadar kesintisiz devam etmesi önemlidir.

4- Depremde en çok zorlanan yerlerden birisi kiriş-kolon birleşim bölgeleridir. Buralarda donatılarının yerleştirilmesine, kenetlenmesinin sağlanmasına ve kolon etriyelerinin devam ettirilmesine özen gösterilmelidir.

5- Betonun yeterince sünekliğe sahip olabilmesi için istenilen dayanımda olması gerekir. Depremin alışılmışın üzerinde bir yükleme doğuracağı ve yapılan kusurları meydana çıkacağı unutulmamalıdır.

6- Deprem etkisi en fazla alt katlarda ortaya çıkacağı için, buradaki kolonların yapım ve düzenlenmesine önem verilmeli ve görünüş veya kullanım gerekleriyle ani rijitlik değişikliğine gidilmemelidir.

7- Taşıyıcı sistemde, rijitlik ve taşıyıcılık düzgün bir şekilde dağıtılmalıdır.

8- Taşıyıcı sistemin planda simetrik olarak düzenlenmesi depremde ortaya çıkacak etkilerin gereksiz yere artmasını önler.

9- Kolon ve perde kesitleri, taşıyıcı sistemin iki doğrultudaki rijitliğini birbirine yakınlaştıracak şekilde düzenlenmelidir.

10- Kolon ve kirişlerdeki birleşim bölgelerine yakın sarılma bölgeleri deprem etkisi altında fazla zorlanacağı için, etriyeler sıklaştırılmalıdır. Böylece, bu bölge betonları sarılarak dayanımın ve göçme şekil değiştirmesinin (sünekliğin) artması sağlanabilir.

11- Temel bağlantı kirişleri, temelleri bağlayıp birbirine göre yer değiştirmeyi önleyecek şekilde düzenlenmelidir.

KAYNAKLAR

- Akbaşak, O., (1999), Ege Mimarlık, “Marmara Depremi Üzerine Gözlemler” Mimarlar Odası, İzmir Şubesi, İzmir, (32):4-6.
- Akman, S., (1990), Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Ansal, A., (1999), “Depremlerde Yerel Zemin Tabakalarının Davranışları”, 49-55, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, T. Aktüre (Der.), Mesa Yayınları, Ankara.
- Ansal, A., Erken, A., Yıldırım, H., İyisan, R., Okur, V., Güllü, H., Bayraklı, Y. ve Özçimen, N., (1999), Türkiye Mühendislik Haberleri, “Zeminlerin Tekrarlı Gerilmeler Altında Davranışları ve 17 Ağustos Kocaeli Depremi”, T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, (404):23-33.
- Bayülke, N., (1998), Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, İzmir.
- Bayülke, N., (1997), Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, İzmir.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (1993), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (1996), Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (1998), Betonarme Yapılar, İstanbul.
- Ersoy, U. ve diğerleri, (1992), “13 Mart Erzincan Depremi Mühendislik Raporu”, T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, Ankara.
- Ersoy, U., (1995), Betonarme, İstanbul.
- Ersoy, U., (1999), “Binaların Mimarisinin ve Taşıyıcı Sisteminin Deprem Dayanımına Etkisi”, 65-77, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, T. Aktüre (Der.), Mesa Yayınları, Ankara.
- Hamuroğlu, M., (1999), Ege Mimarlık, “Büyük Depremden İzlenimler”, Mimarlar Odası, İzmir Şubesi, İzmir, (32):16-18.
- Postacıoğlu, B., (1987), Beton, İstanbul.
- Schueller, W., (1992), Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemi, (Çev., E. Yamantürk ve G. Özşen), Y.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Sucuoğlu, H., (1999), “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, 79-86, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, T. Aktüre (Der.), Mesa Yayınları, Ankara.
- Tezcan, S., (1998), Bir Mimarın Seyir Defteri, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
- Tezcan, S., (1999), Ege Mimarlık, “17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Düşündürdükleri”, Mimarlar Odası, İzmir Şubesi, İzmir, (32):4-6.

T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, (1992), “13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu” Ankara Şubesi, Ankara.

T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, (1993), “Erzincan Depremi”, İstanbul Şubesi, İstanbul.

T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, (1998), “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, İzmir Şubesi, İzmir.

Topal, H. ve Okutucu, F., (1998), Ege Mimarlık, “Adana-Ceyhan Depremi”, Mimarlar Odası, İzmir Şubesi, İzmir, (28):13-14.

Türkiye Deprem Vakfı, (1997), “ Deprem Her An Gelebilir!”, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	24.10.1975	
Doğum Yeri	İzmir	
Lise	1989-1992	İzmir Gaziemir Lisesi
Lisans	1994-1998	Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Çalıştığı kurum	1999-2000	Bural İnşaat Taahhüt Turizm Ltd.Şti.

