

33506

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİRİNCİ DERECE DEPREM BÖLGELERİNDEKİ BETONARME  
YAPILAR İÇİN TASARIM KURALLARI

Cengiz POLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
Danışman: Prof. A. Sayıl ERDOĞAN

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ELAZIĞ  
1994

## ÖZET

Bu çalışmada depreme dayanıklı yapı tasarımı için kurallar geliştirilmeye çalışılmıştır.

İlk olarak depremin oluşumu, özellikleri ve deprem bölgeleri ve betonarme yapıların deprem yükü altındaki davranışı incelenmiştir. Depremde hasar gören yapıların tasarımından kaynaklanan hatalar araştırılmıştır.

Tüm bu bilgiler yardımı ile depreme dayanıklı betonarme yapılar için tasarım kuralları oluşturulmuştur. Bu kurallar örnek bir proje üzerinde uygulanmaya çalışılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda her yönüyle yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. A. Sayıl ERDOĞAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

|                                                        |      |
|--------------------------------------------------------|------|
| Özet                                                   | i    |
| Teşekkür                                               | ii   |
| İçindekiler                                            | iii  |
| Şekiller Listesi                                       | iv   |
| Tablolar Listesi                                       | vii  |
| Simgeler Listesi                                       | viii |
| 1. DEPREM HAREKETİ                                     | 1    |
| 1.1. Deprem Oluşumu ve Özellikleri                     | 1    |
| 1.2. Deprem Şiddet ve Büyüklüğü                        | 4    |
| 1.3. Deprem Bölgeleri                                  | 6    |
| 2. BETONARME YAPILARIN DEPREM YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞI | 10   |
| 2.1. Giriş                                             | 10   |
| 2.2. Yapı Malzemelerinin Davranışı                     | 11   |
| 2.2.1. Beton                                           | 11   |
| 2.2.2. Çelik                                           | 13   |
| 2.2.3. Betonarme Yapıların Davranışı                   | 14   |
| 2.2.4. Beton ve Çelik Arasındaki İlişki                | 15   |
| 2.2.5. Betonarme Çubukların Burkulması                 | 15   |
| 2.3. Elemanların Eğilme Davranışı                      | 16   |
| 2.3.1. Yük-Deformasyon İlişkisi                        | 16   |
| 2.3.2. Histeresiz Eğrilerin Hesabı                     | 19   |
| 2.4. Elemanların Kesme Davranışı                       | 20   |
| 2.4.1. Diyagonal Betonarme Elemanlar                   | 20   |
| 2.4.2. Kesme Mukavemeti                                | 21   |

|          |                                             |    |
|----------|---------------------------------------------|----|
| 2.4.3.   | Perde Duvarlar                              | 23 |
| 2.4.3.1. | Çerçevesiz Perde Duvarlar                   | 23 |
| 2.4.3.2. | Ankastre Perde Duvarlar                     | 24 |
| 2.4.4.   | Bağlantı Noktaları                          | 27 |
| 3.       | DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI             | 29 |
| 3.1.     | Giriş                                       | 29 |
| 3.2.     | Eşdeğer Statik Hesap Yöntemi                | 44 |
| 3.3.     | Betonarme Yapılar İçin Konstrüktif Kurallar | 53 |
| 3.3.1.   | Döşemeler                                   | 53 |
| 3.3.2.   | Kirişler                                    | 57 |
| 3.3.3.   | Kolonlar                                    | 61 |
| 3.3.4.   | Perdeler                                    | 68 |
| 3.3.5.   | Temeller                                    | 72 |
| 4.       | SONUÇ ve ÖNERİLER                           | 74 |
|          | KAYNAKLAR                                   | 76 |
|          | Ek-1                                        | 78 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Planda deprem hareketinin oluşması

Şekil 1.2 Fay hareketi ile deprem oluşumu

Şekil 1.3 Basitleştirilmiş bir deprem hareketine ait büyüklükler

Şekil 1.4 Yer kabuğu plakaları

Şekil 1.5 Türkiye'deki önemli fay çizgileri

Şekil 1.6 Türkiye depremleri merkez üstü haritası

Şekil 2.1 Yapıların tersinir yatay yük altındaki davranışı

Şekil 2.2. Betonun basma-uzama ilişkisi

Şekil 2.3 Tekrar yükleri altında betonun basma-uzama ilişkisi

Şekil 2.4 Betonun basma-uzama ilişkisine birim uzama oranının etkisi

Şekil 2.5 Çeliğin yük-deformasyon ilişkisi

Şekil 2.6 Burkulmayı önlemede etriyelerin etkisi

Şekil 2.7 Monolitik yük altındaki kirişin moment-eğrilik ilişkisi

Şekil 2.8 Sabit eksenel yük ve monolitik eğilme momenti altında elemanların moment-eğrilik ilişkisi.

Şekil 2.9 Kolondaki histeresiz moment-rotasyon ilişkisi

Şekil 2.10 Betonarme bir elemanın moment-eğrilik ilişkisi

Şekil 2.11 Kesit üzerinde belirli sayıya bölünmüş kuvvetler

Şekil 2.12 Paralel ve diyagonal donatılı kolonların, sabit eksenel yük ve kesme kuvveti ile beraber tersinir eğilme momenti altındaki moment-rotasyon ilişkisi

Şekil 2.13 Kiriş gövdesinde oluşan asal çekme gerilmeleri

Şekil 2.14 Perde duvar için yük-deformasyon ilişkisi ve diyagonal kırılmalar

Şekil 2.15 Dolgu duvarın yük-deformasyon ilişkisi

Şekil 2.16 Ankastre perde duvarın kırılma modları

Şekil 2.17 Ankastre perde duvarın eğilmeden oluşan yük-deformasyon ilişkisi

Şekil 2.18 Bir perde duvardaki birim uzama dağılımı

Şekil 2.19 Bir çerçevenin temel rotasyonundan dolayı oluşan yük-deformasyon ilişkisi

Şekil 2.20 a) Kuvvetler b) Panel üzerindeki gerilme c) Panelin mukavemeti

Şekil 2.21 Kiriş-kolon bağlantı noktasındaki yük-deformasyon ilişkisi.

Şekil 3.1 Planda düzensizlik

Şekil 3.2 Burulma rijitliği

Şekil 3.3 Ani rijitlik değişimi

Şekil 3.4 Yumuşak katlar

Şekil 3.5 Göçme modu

Şekil 3.6 Elasto-plastik etki-şekil değiştirme

Şekil 3.7 Sünek ve sünek olmayan etki-şekil değiştirme

Şekil 3.8 Yapılarda geometri ve rijitlik dağılımı

Şekil 3.9 Deprem yükü altındaki çerçeve sistemi

Şekil 3.10 Döşemelerin a) rijit diyafram davranışı b) elastik diyafram davranışı

Şekil 3.11 Döşemelerde düzlem içi kesit etkileri

Şekil 3.12 Döşemelerdeki küçük deliklerin çevresine eklenecek donatılar

Şekil 3.13 Kiriş hesap kesme kuvvetleri

Şekil 3.14 Kolon enine donatı bölgeleri

Şekil 3.15 Kolon kesme kuvveti  $V_d$ 'nin hesaplanması

Şekil 3.16 Birleşim yerlerinde oluşan etkiler

Şekil 3.17 Perdelerdeki küçük deliklerin çevresine eklenecek donatılar

Şekil 3.18 Köşegen donatılı bağ kirişi

**TABLolar LİSTESİ**

Tablo 1.1 Değiştirilmiş Mercalli şiddet cetveli

Tablo 1.2 Třrkiye'de meydana gelen son depremlere ait bilgiler

Tablo 3.1 Dřřeyde dřzensiz olan yapılar

Tablo 3.2 Yatayda dřzensiz olan yapılar

Tablo 3.3 Yapı tipi katsayısı  $R$

Tablo 3.4 Yapı 3nem katsayısı  $I$

Tablo 3.5 Değişik zeminlerin hakim periyotları

Tablo 3.6 Hareketli yşk azaltma katsayısı  $n$

Tablo 3.7 Değişik zeminlerin hakim periyotları  $T_0$

Tablo 3.8 D3řemeler i3in koşullar

Tablo 3.9 Sřnek kirişler i3in koşullar

Tablo 3.10 Sřnek kolonlar i3in koşullar

Tablo 3.11 Sřnek perdeler i3in koşullar

Tablo 3.12 Bağlantı kirişleri i3in koşullar



## SİMGELER LİSTESİ

|           |                                                      |
|-----------|------------------------------------------------------|
| $A_c$     | Betonun brüt kesit alanı                             |
| $A_{ck}$  | Sargı donatısı dış yüzünün içinde kalan beton alanı  |
| $A_0$     | Enine donatı çubuğu kesit alanı                      |
| $A_{sv}$  | Perdenin dikey donatı alanı (iki yüzdeki toplamı)    |
| $A_{sh}$  | Perdenin yatay donatı alanı (iki yüzdeki toplamı)    |
| $A_p$     | yapının tabandaki plan alanı                         |
| $a$       | Etriyenin boyuna çubuklar arasında kalan mesafe      |
| $b$       | Kolon en kesiti küçük boyutu                         |
| $b_j$     | Birleşim bölgesi genişliği                           |
| $b_w$     | Kiriş gövde genişliği                                |
| $C$       | Yatay yük katsayısı                                  |
| $C_0$     | Deprem bölge katsayısı                               |
| $D$       | Binanın periyot hesabı yapılan yöndeki plan uzunluğu |
| $d$       | Kiriş derinliği                                      |
| $F$       | Toplam taban kesme kuvveti                           |
| $F_i$     | $i$ katına etkiyen yatay kuvvet                      |
| $F_t$     | Yapının en üst katına etkileyen yatay yük            |
| $f_{ck}$  | Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı     |
| $f_{cd}$  | Betonun basınç hesap dayanımı                        |
| $f_{ywk}$ | Enine donatısının etriye karakteristik akma dayanımı |
| $H$       | Yapı yüksekliği                                      |
| $h$       | Gövde derinliği                                      |

|            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| $h_f$      | Döşeme kalınlığı                     |
| $I$        | Yapı önem katsayısı                  |
| $l_n$      | Serbest boy                          |
| $l_b$      | Kenetleme boyu                       |
| $l_c$      | Kolon sargı bölge uzunluğu           |
| $l_o$      | Donatı bindirme boyu                 |
| $M$        | Eğilme momenti                       |
| $M_{uc}$   | Kolon kesit moment kapasitesi        |
| $M_{uk}$   | Kiriş kesit moment kapasitesi        |
| $N$        | Eksenel yük                          |
| $N_d$      | Hesap eksenel yükü                   |
| $n$        | Hareketli yük katsayısı              |
| $Q$        | Hareketli yük                        |
| $R$        | yapı tipi katsayısı                  |
| $S$        | Yapı dinamik katsayısı               |
| $s$        | Enine donatı aralığı                 |
| $s_c$      | Sargı bölgesindeki etriye aralığı    |
| $s_{cj}$   | Birleşim bölgesindeki etriye aralığı |
| $s_h$      | Etriye aralığı                       |
| $s_x, s_y$ | Döşeme donatı aralığı                |
| $T$        | Yapı doğal titreşim periyodu         |
| $T_o$      | Zemin hakim periyodu                 |
| $V$        | Kesme kuvveti                        |
| $W$        | Toplam yapı ağırlığı                 |

## 1. DEPREM HAREKETİ

### 1.1. Deprem Oluşumu ve Özellikleri

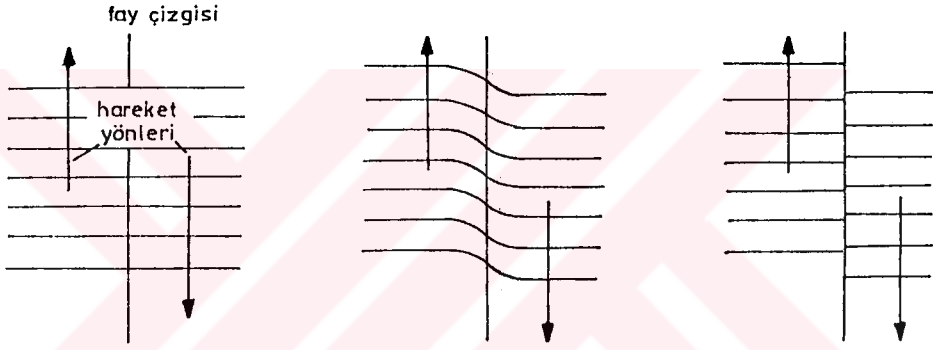
Depremlerin çok büyük bir bölümü yer kabuğunda soğumadan veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasından oluşur. Böyle bir olay sırasında yer kabuğunu oluşturan plakalar kendisini sınırlayan çizgiler olan faylar boyunca ani olarak kayar. Bu tür tektonik depremde ortaya çıkan yerdeğiştirme dalgaları sönmümlenerek uzaklara yayılır. Deprem yer ve şiddetine göre yer kabuğunda yeni fayları da oluşturabilir. Deprem hareketinin bu tür açıklanması "Elastik Geri Sekme Teorisi" olarak adlandırılır.

Plaka Tektoniği olarak bilinen bilim dalı, yer kabuğunun bir kaç parçadan oluştuğunu, bu plakaların birbirine göre hareket ettiklerini kabul etmekte ve birçok tektonik olayı bu esasa göre açıklamaktadır. Yer kabuğunda artan gerilmeler zayıf olan çizgiler üzerinde veya belirli zayıf bölgelerde yer kabuğunun taşıma gücünü aşarak ani bir kayma oluşur. Böylece uzun zamanda toplanan şekil değiştirme enerjisi kayma hareketi ile yer kabuğunun taşıyabileceği seviyeye ani olarak iner. Yer kabuğunda meydana gelen kaymanın bir dalga hareketi olarak yayılması sonucu oluşan yüzey titreşimleri deprem olarak algılanır (Şekil 1.1 ve 1.2)

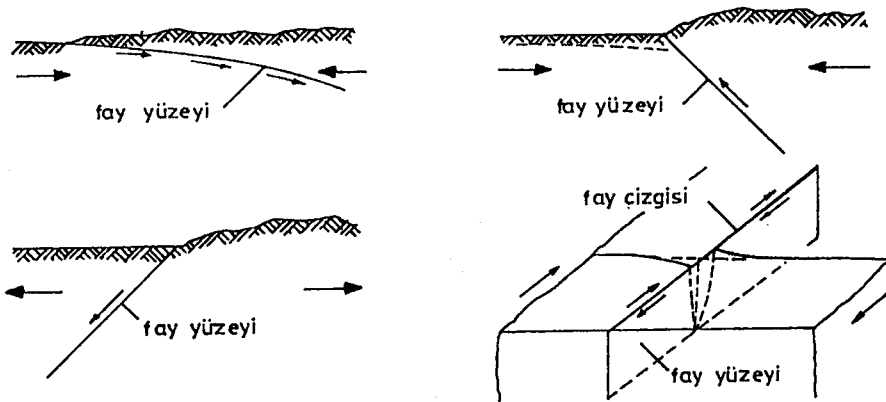
Deprem hareketinin başladığı bölgeye " Deprem Odağı " (Hiposantr) denir. Deprem odağının hemen üzerine rastlayan yüzeydeki noktaya "Merkez Üstü " (Episantr) denir. İkisi arasındaki uzaklığa odak derinliği denir (Şekil 1.3). Merkez üstü depremin en kuvvetli hissedildiği bölgedir. Bu bölgede önemli derecede düşey titreşimler hissedilirse de, bunlar hızlı şekilde söner

ve yatay titreşimler daha önemli ve belirgin hale gelir. Yatay titreşimler dağılırken plastik şekil değiştirmeler nedeni ile sönümlenerek yayılır. Zemin sağlamısa daha çabuk sönümlenir. Erzincan ovası gibi alüvyon (çürük zemin) ise daha fazla yayılır.

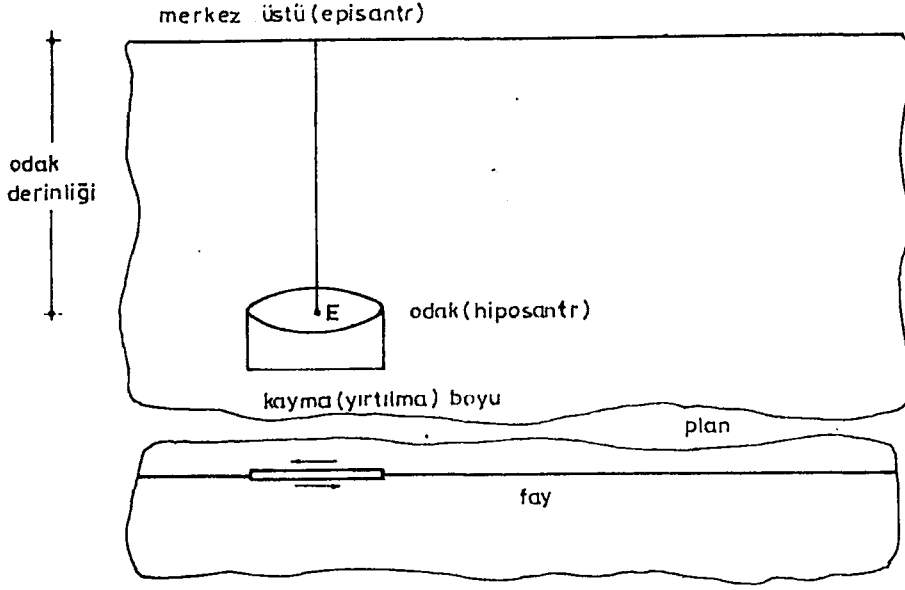
Merkez üstünden uzaklaştıkça kısa periyotlu titreşimler, uzun periyotlulara göre daha çabuk sönümlenir. Odak derinliği 60 km'den daha az olan depremlere " Sığ Depremler " , 60 km ile 300 km olan depremlere "Orta Derinlikteki Depremler " , 300 km ve daha fazla olan depremlere "Derin Depremler " denir. Türkiye'deki depremler sığ depremler olup bunların odak derinliği 10 km ile 30 km arasındadır (Celep ve Kumbasar, 1992).



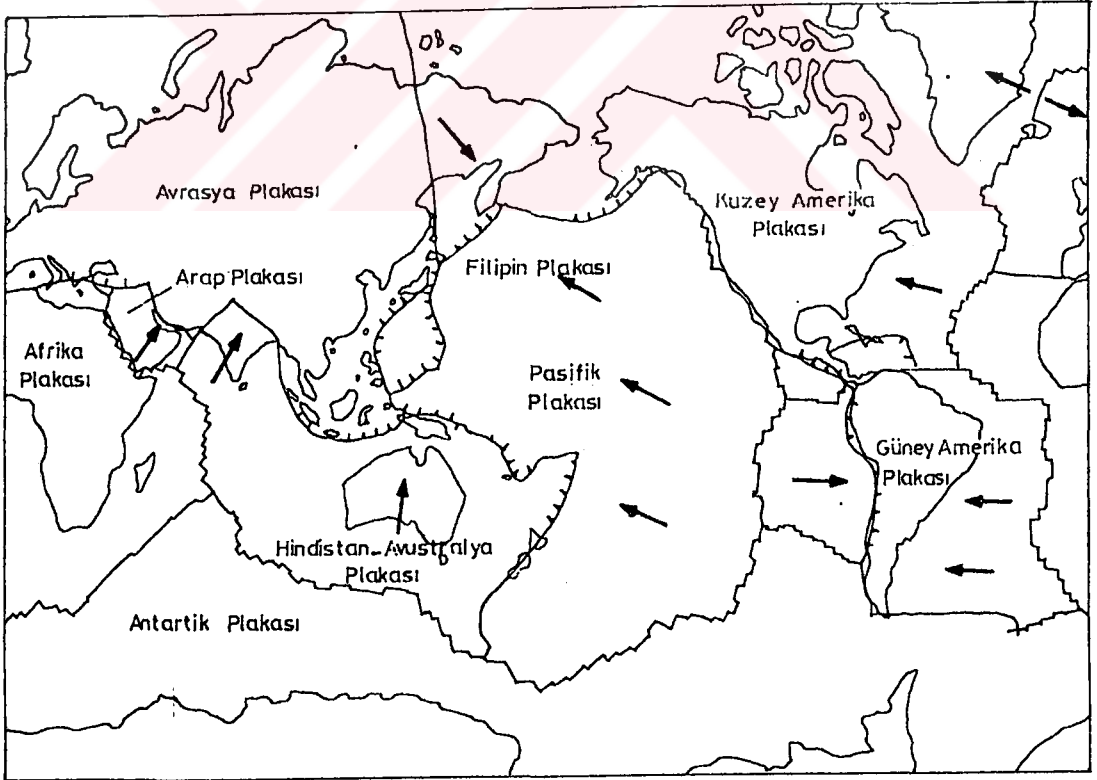
Şekil 1.1 Planda deprem hareketinin oluşması



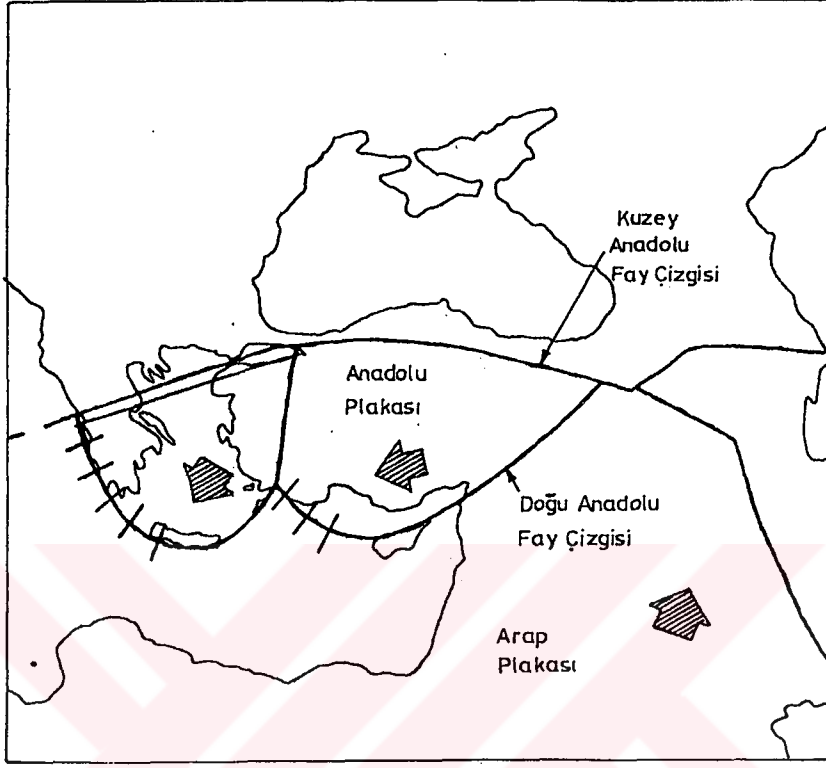
Şekil 1.2 Fay hareketi ile deprem oluşumu



Şekil 1.3 Basitleştirilmiş bir deprem hareketine ait büyüklükler



Şekil 1.4 Yer kabuğu plakaları



Şekil 1.5 Türkiye'deki önemli fay çizgileri

## 1.2. Depremiñ Şiddet ve Büyüklüğü

Bir depremin şiddeti yeryüzünün belirli bir noktasında tanımlanır ve bu noktada yaptığı etkinin derecesi ile belirlenir. Farklı şiddet tanımları olmakla beraber en yaygın olanı Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli'dir (Tablo 1.1). Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli yapıların hasar düzeyini esas aldığından , depremin esas ölçüsü olarak kabul edilemez.

Bir depremin büyüklüğü hakkında bilgi verebilecek en iyi ölçü deprem

hareketi sırasında ortaya çıkan enerji miktarıdır. Fakat bunu ölçmek veya hesaplamak hemen hemen mümkün değildir. C. F. Richter tarafından önerilen  $M$  ölçüsü olup,

$$M = \log (A/A_0)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $A$ , büyüklüğü bulunacak depremin 2800 kat büyütmeli, 0.8s periyotlu periyotlu ve % 80 sönüm oranlı bir standart Wood-Anderson sismografındaki en büyük genliğini,  $A_0$  ise büyüklüğü sıfır kabul edilen referans depreminin aynı şekilde ölçülen genliğini göstermektedir. Deprem hareketinin ölçülen en büyük genliği, kayma ve yırtılmanın meydana geldiği bölgeye olan mesafe ile değişir. Mercalli şiddet ölçeği belirli bir deprem için her yerde farklı olarak belirir. Diğer bir deyişle, Mercalli şiddet ölçeği, depremin mutlak büyüklüğüne ve göz önüne alınan noktanın depremin merkez üstüne olan mesafesine bağlıdır. Ancak tam merkez üstünde tanımlanacak Mercalli şiddet ölçeği, bu bölgedeki yapıların standart bir dayanıma sahip olduğu kabul edilirse, depremin bir mutlak ölçeği olarak kabul edilebilir. Değişik yerel  $M$  Richter ölçüsü ve merkez üstündeki  $I_0$  şiddeti arasında Türkiye için

$$M = 0.593 I_0 + 1.63$$

bağıntısı önerilmiştir. Tablo 1.2'de Türkiye'de meydana gelen son depremler hakkında bilgi verilmiştir (Celep ve Kumbasar).

### 1.3 Deprem Bölgeleri

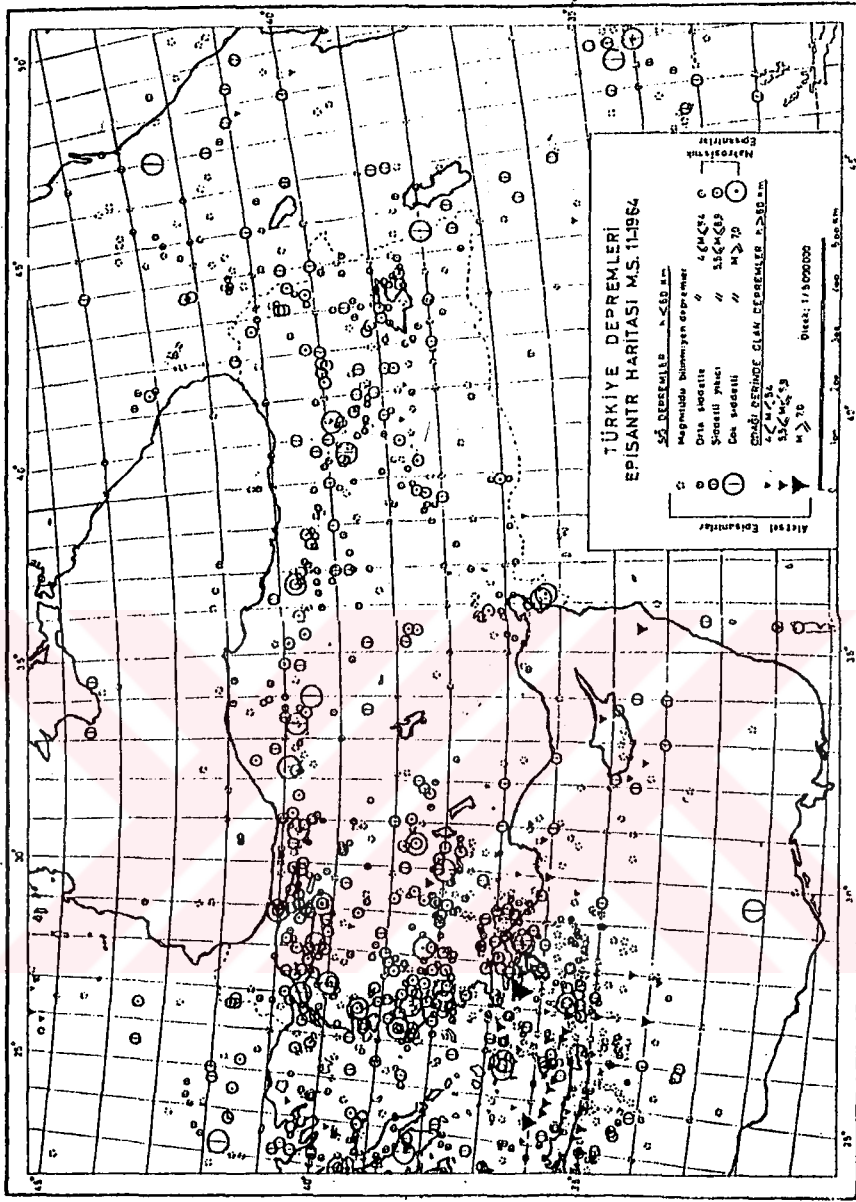
Bir bölgenin depreme maruz kalma derecesi, bu bölgenin depremselliğini gösterir. Bir bölgenin depremselliğinde en önemli yeri jolojik formasyonların kırılmasından oluşan faylar meydana getirir. Bölgelerin deprem riskleri, jeolojik olarak bu fayların belirlenmesi ile elde edilebileceği gibi, daha önceki deprem kayıtlarından faydalanarak da bulunabilir.

Şekil 1.6'da Türkiye ve civarında meydana gelen depremlerin merkez üstleri gösterilmiştir. Bu haritanın Şekil 1.5 'de verilen fay çizgileri ile karşılaştırıldığında, özellikle batı kıyılarımızın yanında, Marmara Bölgesin'den başlayan ve Doğu Anadolu'ya ulaşan Kuzey Anadolu Fay çizgisinin aktif olduğu ve Doğu Anadolu Fay çizgisi üzerinde bazı depremlerin meydana geldiği anlaşılır. 1939 ve 1992 'de iki büyük depremin meydana geldiği Erzincan'ın bu iki fay çizgisinin kesim bölgesinde bulunduğu görülmektedir.(Celep ve Kumbasar, 1992)



| Şiddeti | Tanımı                                                                                                                           | Zemin ivmesi                    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| I       | Yalnız duyarlı aletler algılar                                                                                                   | $\sim 1 \text{ cm/s}^2$         |
| II      | Özellikle üst katlarda, dinlenmekte olan kimselerce hissedilir. Hassas bir biçimde asılı olan cisimler sallanabilir.             | $2 \sim 3 \text{ cm/s}^2$       |
| III     | Bina içinde hissedilir, fakat deprem olup olmadığı her zaman anlaşılmaz. Duran otomobiller yanından kamyon geçmiş gibi sallanır. | $3 \sim 7 \text{ cm/s}^2$       |
| IV      | Bina içinde çoğunluk ve dışarıda az kimse tarafından hissedilir. Gece bazı kimseler uyanır, kap-kacak, kapı-pencere sallanır.    | $7 \sim 15 \text{ cm/s}^2$      |
| V       | Hemen herkes hisseder. Bazı tabaklar, sıvalar, pencereler kırılır, uzun cisimler oynar.                                          | $15 \sim 30 \text{ cm/s}^2$     |
| VI      | Herkes hisseder, birçoğu korkup dışarı fırlar. Bacalar, sıvalar düşer. Hafif hasarlar olur.                                      | $30 \sim 70 \text{ cm/s}^2$     |
| VII     | Herkes dışarı kaçar. Yapıda sağlamlığına bağlı olarak değişen hasarlar oluşur. Otomobil sürücülere de algılar.                   | $70 \sim 150 \text{ cm/s}^2$    |
| VIII    | Duvarlar çerçevelerden ayrılıp dışarı fırlar. Aynılar, bacalar, duvarlar devrilir. Kum ve çamur fışkırır.                        | $150 \sim 300 \text{ cm/s}^2$   |
| IX      | Yapılar temelinden ayrılır, çatlar, eğilir. Zemin ve yeraltı boruları çatlar.                                                    | $300 \sim 700 \text{ cm/s}^2$   |
| X       | Kargir ve çerçeve yapıların çoğu tahrip olur. Zemin çatlar, raylar eğilir. Toprak kaymaları olur.                                | $700 \sim 1500 \text{ cm/s}^2$  |
| XI      | Yeni tip yapılar ayakta kalabilir, köprüler tahrip olur. Yeraltı boruları kırılır. Toprak kayar. Raylar bükülür.                 | $1500 \sim 3000 \text{ cm/s}^2$ |
| XII     | Hemen herşey harabohur. Toprak yüzeyinde dalgalanma görülür. Cisimler havaya fırlar.                                             | $3000 \sim 7000 \text{ cm/s}^2$ |

Tablo 1.1 Değiştirilmiş Mercalli şiddet cetveli



Şekil 1.6 Türkiye depremleri merkez üstü haritası

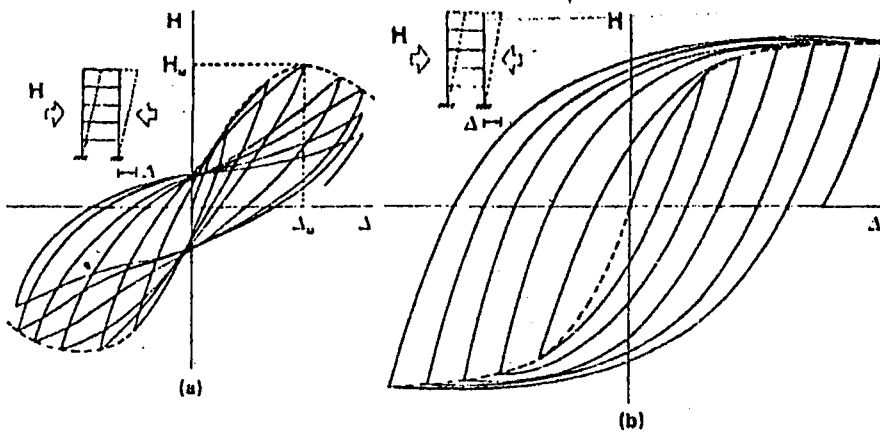
| Yer                 | Tarih      | Büyük-<br>lüğü (M) | Şiddeti (I) | Ağır hasar<br>sayısı | Can kaybı<br>sayısı |
|---------------------|------------|--------------------|-------------|----------------------|---------------------|
| Afyon - Dinar       | 07.08.1925 | 5.8                | IX          | 2043                 | 3                   |
| İzmir - Torbalı     | 31.03.1928 | 7.0                | IX          | 2000                 | 50                  |
| Sivas - Sıngıri     | 18.05.1929 | 6.1                | VIII        | 1357                 | 64                  |
| Denizli - Çivril    | 19.07.1933 | 5.7                | VIII        | 200                  | 20                  |
| Erdek               | 04.01.1935 | 6.7                | IX          | 600                  | 5                   |
| Kırşehir            | 19.04.1938 | 6.7                | IX          | 3860                 | 149                 |
| İzmir - Dikili      | 22.09.1939 | 6.5                | IX          | 1235                 | 60                  |
| Erzincan            | 26.12.1939 | 8.0                | X - XI      | 116720               | 32962               |
| Kayseri - Develi    | 20.02.1940 | 6.7                | VIII        | 530                  | 37                  |
| Van - Erciş         | 10.09.1941 | 6.0                | VIII        | 600                  | 194                 |
| Bigadiç - Sındırgı  | 15.11.1942 | 6.1                | VIII        | 1262                 | 7                   |
| Niksar - Erbaa      | 20.12.1942 | 7.0                | IX          | 32000                | 3000                |
| Adapazarı - Hendek  | 20.06.1943 | 6.6                | IX          | 2240                 | 336                 |
| Tosya - Ladik       | 26.11.1943 | 7.2                | IX - X      | 25000                | 2824                |
| Bolu - Gerede       | 01.02.1944 | 7.4                | IX - X      | 20865                | 3959                |
| Gediz - Uşak        | 25.06.1944 | 6.2                | VIII        | 3476                 | 21                  |
| Ayvalık - Edremit   | 06.10.1944 | 7.0                | IX          | 1158                 | 27                  |
| Adana - Ceyhan      | 20.03.1945 | 6.0                | VIII        | 650                  | 10                  |
| Kadınhan - Ilgın    | 21.02.1946 | 5.6                | VIII        | 509                  | 2                   |
| Varto - Hınıs       | 31.05.1946 | 6.0                | VIII        | 1986                 | 839                 |
| Karaburun - İzmir   | 23.07.1949 | 7.0                | IX          | 865                  | 2                   |
| Karlıova            | 17.08.1949 | 6.7                | IX          | 3000                 | 450                 |
| Kırşunlu            | 13.08.1951 | 6.6                | IX          | 3354                 | 52                  |
| Hasankale           | 03.01.1952 | 5.8                | VIII        | 701                  | 133                 |
| Yenice - Gönen      | 18.03.1953 | 7.4                | IX          | 1750                 | 265                 |
| Kırşunlu            | 07.09.1953 | 6.4                | VIII        | 230                  | 2                   |
| Söke - Aydın        | 16.07.1955 | 7.0                | IX          | 470                  | 23                  |
| Eskişehir           | 20.02.1956 | 6.4                | VIII        | 1440                 | 1                   |
| Fethiye             | 25.04.1957 | 7.1                | IX          | 3100                 | 67                  |
| Bolu - Abant        | 26.05.1957 | 7.1                | IX          | 4200                 | 52                  |
| Köyceğiz            | 25.04.1959 | 6.0                | VIII        | 775                  | 0                   |
| Çınarcık            | 18.09.1963 | 5.9                | VIII        | 230                  | 1                   |
| Malatya             | 14.06.1964 | 6.0                | VIII        | 678                  | 8                   |
| Manyas              | 06.10.1964 | 7.0                | IX          | 5398                 | 23                  |
| Denizli - Honaz     | 13.06.1965 | 5.7                | VIII        | 488                  | 14                  |
| Varto               | 07.03.1966 | 5.6                | VIII        | 1100                 | 14                  |
| Varto               | 19.08.1966 | 6.9                | IX          | 20007                | 2394                |
| Adapazarı           | 22.07.1967 | 7.2                | IX          | 5569                 | 89                  |
| Pülümür             | 26.07.1967 | 6.2                | VIII        | 1282                 | 97                  |
| Amasra - Bartın     | 03.09.1968 | 6.5                | VIII        | 2072                 | 29                  |
| Alaşehir            | 28.03.1969 | 6.6                | VIII        | 3702                 | 41                  |
| Gediz               | 28.03.1970 | 7.2                | IX          | 9452                 | 1086                |
| Burdur              | 12.05.1971 | 6.2                | VIII        | 1542                 | 57                  |
| Bingöl              | 22.05.1971 | 6.7                | VIII        | 5617                 | 878                 |
| Lice                | 06.09.1975 | 6.7                | VIII        | 8149                 | 2385                |
| Çaldıran - Muradiye | 24.11.1976 | 7.2                | IX          | 9232                 | 3840                |
| Erzurum - Kars      | 30.10.1983 | 6.8                | VIII        | 3241                 | 1155                |
| Erzincan            | 13.3.1992  | 6.8                | IX          | 3601                 | 801                 |

Tablo 1.2 Türkiye'de meydana gelen son depremlere ait bilgiler

## 2. BETONARME YAPILARIN DEPREM YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞI

### 2.1. Giriş

Depreme karşı dayanıklı iyi bir dizayn, yapıların deprem yükleri altında nasıl davranacağını bilmekle mümkündür. Sadece kod ihtiyaçlarını karşılayan bir yapı dizaynı tatmin edici değildir. Bu bakış açısından betonarme yapıların davranışı burada tartışılmıştır. Şekil 2.1.a'da iki değişik çerçevenin yatay yük-deplasman ilişkisi gösterilmiştir. Şekil 2.1.a'daki çerçevenin depreme karşı dayanım kapasitesi düşüktür. Çünkü, deplasmandan sonraki mukavemetteki zayıflama, maksimum mukavemete karşılık gelen değeri geçmektedir. Bu yüzden düktilite düşüktür, histeresiz (hysteresis) döngü sıkışık şekildedir, enerji-dissipasyon (enerji-yutma) kapasitesini gösteren histeresiz döngü içerisindeki alan küçüktür. Mukavemet yüklemenin tekrarı ile azalır. Diğer bir tarafta, Şekil 2.1.b'deki çerçevenin depreme karşı



Şekil 2.1. Yapıların tersinir yatay yük altındaki davranışı

a) Zayıf davranış b) İyi davranış

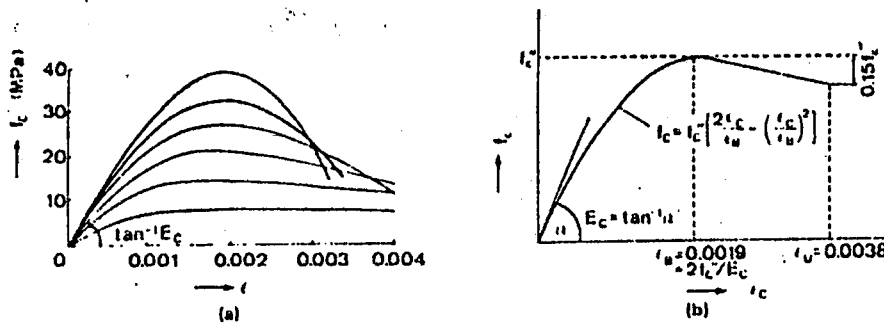
dayanım kapasitesi yüksektir. Çünkü, yüksek düktilite, yüksek enerji-dissipasyon kapasitesi ve mukavemet azalması olmadan stabil histerik döngüye sahiptir.

Aşağıdaki kısımda maksimum mukavemet, düktilite ve tekrar yükleri altındaki malzemelerin davranışları açıklanmıştır (Wakabayashi, 1986).

## 2.2. Yapı Malzemelerinin Davranışı

### 2.2.1. Beton

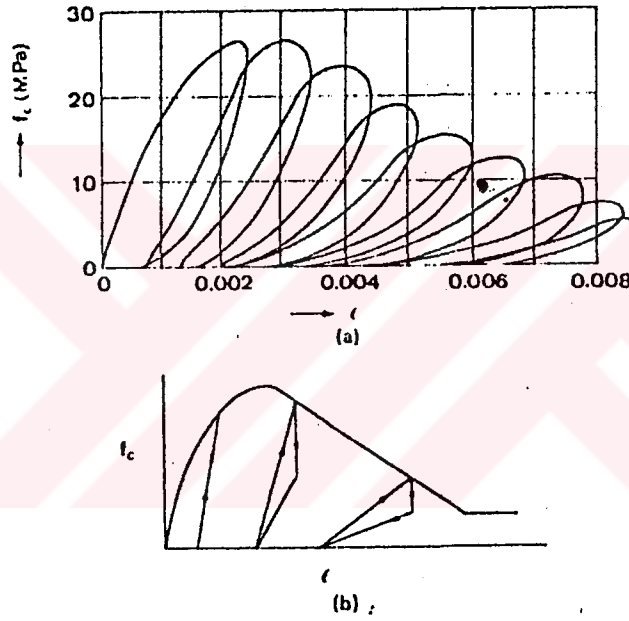
Betonun basınç mukavemeti genelde yüksekliği 30 cm. ve çapı 15 cm. olan silindir şeklindeki beton numunelerinin kırılmasıyla elde edilir (Bazı ülkelerde 20 cm'lik küpler kullanılır). Şekil 2.2.a'da beton silindir için basma-uzama grafiği gösterilmiştir. Elastisite modülü  $E_c=4730$  MPa olarak alınabilir.  $f'_c$  betonun basma mukavemetini göstermektedir (ACI Committee 318, 1983). Mukavemet ne olursa olsun maksimum basınç altındaki birim uzama değeri 0.002 olarak alınır. Eğilme mukavemeti ve



Şekil 2.2. Betonun gerilme-uzama ilişkisi.

- a) Gerçek ilişki
- b) İdealize edilmiş ilişki

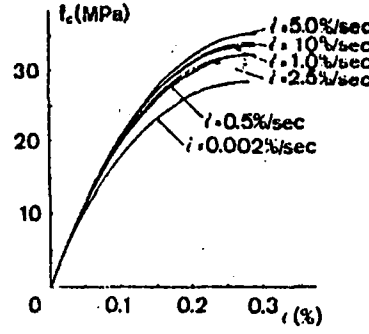
elemanlardaki deformasyon hesabını basitleştirmek için gerilme-uzama ilişkisini idealize eden bir model geliştirmek gereklidir. Şekil 2.2.b'de Hognestad (1952) tarafından önerilen basit bir model gösterilmiştir. Bu model bir parabol ve düz bir çizgiden oluşmaktadır. Şekil 2.3.a'da tekrar yükleri altında deneysel olarak elde edilen gerilme-birim uzama grafiği gösterilmiştir. Bunun idealize edilmiş modeli Şekil 2.3.b'de gösterilmiştir (Blakeley and Paik). Beton yüksek hızda basınca maruz kaldığı zaman (deprem yükünde olduğu gibi)  $f_c$ -eğrisi Şekil 2.4'de gösterilen biçimi alır.



Şekil 2.3. Tekrar yükleri altında betonun gerilme-uzama ilişkisi.

- a) Gerçek ilişki
- b) İdealize edilmiş ilişki

Eğrideki şekil değişmemesine rağmen maksimum mukavemet için artmadaki eğilim uzama oranıyla artar. Örnek olarak uzama oranı saniyede 0.5 için maksimum gerilme quasi-statik testinden elde edilen %14 değerinden daha fazladır (Wakabayashi, 1986).



Şekil 2.4. Betonun gerilme-uzama ilişkisine birim uzama oranının etkisi

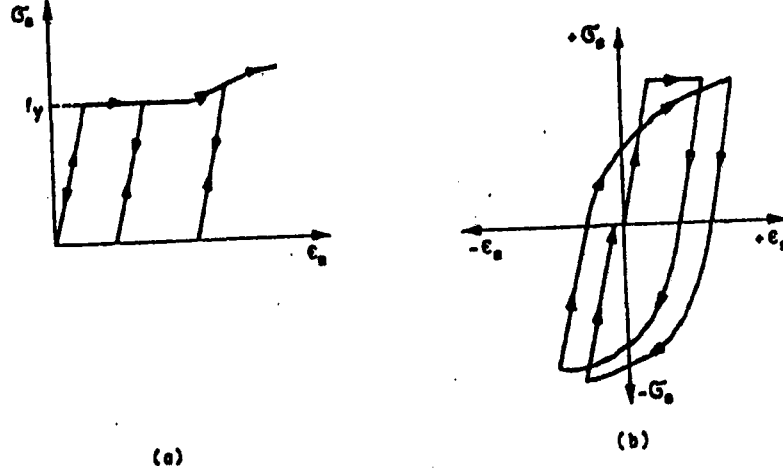
### 2.2.2. Çelik

Çelik basınç ve çekme altında benzer özellikler gösteren bir malzemedir. Çeliğin gerilme-birim deformasyon özellikleri, genellikle çekme deneylerinden elde edilir. Çelik elastik sınırlar içerisinde kaldığı sürece, tekrarlanan yük altında iniş ve çıkış yolları  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisinin doğrusal bölümü ile özdeş olacaktır. Elastik sınır aşıldıktan sonra yük boşaltıldığında ise, kalıcı bir deformasyon kaçınılmaz olacaktır (Şekil 2.5.a). Başka bir deyişle, monolitik yük altında elde edilen  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi tekrarlanan yük için bir zarf eğrisi oluşturacaktır.

Tersinir yükler altında gerilmenin işaret değiştirdiği durumlarda, çelik davranışında önemli değişiklikler göstermektedir. Tekrarlanan ve tersinir yükler altında elde edilen tipik  $\sigma$ - $\epsilon$  ilişkileri Şekil 2.5.b'de gösterilmiştir.

Şekilde görüleceği gibi, akmaya ulaştıktan sonra yüklemenin yönü değiştirildiğinde, ters işaretli gerilme altında, akma gerilmesine ulaşılmadan, eğrisi doğrusallığını kaybetmektedir. Buna "Bauschinger Etkisi" denmektedir. Bauschinger Etkisi nedeni ile yük geçmişi büyük önem kazanmaktadır. Bu nedenle, tersinir yükler altındaki davranışın

kestirilebilmesi için, numuneye daha önce uygulanan yük ve deformasyonların bilinmesi gerekir (Ersoy, 1985).



Şekil 2.5 Çeliğin yük-deformasyon ilişkisi

### 2.2.3. Betonarme Yapıların Davranışı

Deprem dizayn kodlarının geliştirilmesiyle beraber depremde dolayı oluşan hasarlar düşmektedir. Bununla beraber hatalı imal ve yapımdan dolayı hala dikkate değer hasarlar olmaktadır. Bunlar;

1. Birkaç kolon ve duvarın sebep olduğu kesme kırılmaları,
2. Kolonların ve kirişlerin gevrek kesme kırılmaları,
3. Kolon boylarının kısaltılmasıyla oluşan gevrek kesme kırılmaları,
4. Kiriş-kolon bağlantılarında demirlerin kayması veya kesmeye karşı direncinin azalması,
5. Perde duvarlardaki gevrek kesme kırılmaları,
6. Ağırlık merkezi ve rijitlik merkezinin kat planında uyuşmamasından ötürü meydana gelen tork,
7. Bina yüksekliği boyunca rijitlik oranındaki dengesiz dağılımdan meydana gelen hasar,



8. Zayıf birleşme noktalarından dolayı ikincil elemanların ayrılması.

1, 5, 6 ve 7 numaralı nedenler yapı planı ile 2, 3, 4 ve 8 numaralı nedenler de detaylardaki iyileştirme ile önlenabilir (Wakabayashi, 1986).

#### 2.2.4. Beton ve Çelik Arasındaki İlişki

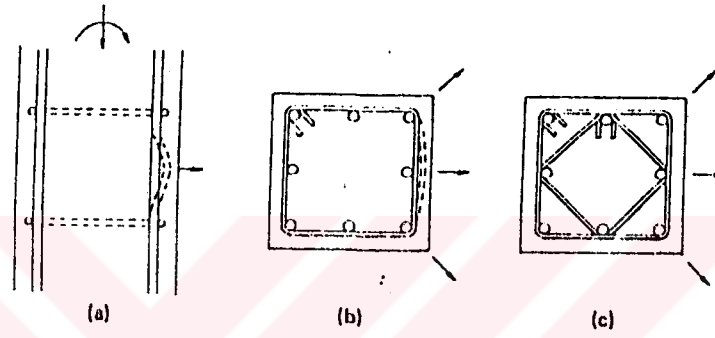
Beton ve çelik arasındaki bağ mukavemeti kimyasal adhezyon ve sürtünmeden meydana gelir. Eğer bir kez kayma olursa bu bağ sadece sürtünme ile sağlanabilir. Kaymanın başlangıcında düz çubuk ile nervürlü çubuğun bağ mukavemeti çok farklı değildir, fakat kaymanın ilerlemesi ile nervürlü çubuğun resistansı artar. Beton içerisine yerleştirilmiş nervürlü çubukların çıkıntıları kendisini çevreleyen beton tabakasını kırıp dışarı çıkmaya çalışır. Beton kalınlığının ve etriye çubukların artırılmasıyla bu olay önlenabilir.

Beton içerisindeki gerilim sıkıştırma mukavemetine eriştiği zaman betonda iç kırılmalarla oluşur ve beton genişlemeye başlar. Betondaki sıkıştırma bölgesi spiral ve etriyeler ile çevrelenirse betonun düktilitesi artar ve bu genişleme büyük ölçüde önlenmiş olur (Wakabayashi, 1986).

#### 2.2.5. Betonarme Çubukların Burkulması

Kiriş ve kolonlardaki boyuna çubukların burkulması betonun sağladığı yanal engelleme (pas payı) tarafından önlenir. Bununla beraber yanal beton tabakası yüksek bir sıkıştırma mukavemetine maruz bırakılırsa, yanal betonun stabilitesi bozulur ve boyuna çubuklar burkulur, bu nedenle sıkıştırma bölgesindeki boyuna çubukların taşıdığı yük azalır (Şekil 2.6.a). Bu azalma kiriş veya kolonun yük taşıma kapasitesini düşürür. Taşıma kapasitesindeki bu azalmayı minimize etmek için boyuna betonarme

çubuğunun etkili uzunluğunu (iki etriye arasındaki mesafeyi azaltmak) iyi ayarlamak gerekir. Etriye çubuklar, iki köşe arasına yerleştirilmiş boyuna çubukları etkili olarak destekleyemezler, çünkü etriyeler Şekil-2.6.b'de görüldüğü gibi dışarı doğru eğilirler. Bu noktalardaki boyuna çubukları tam desteklemek için Şekil 2.6.c'de görülen baklava biçimli takviye çubuklar yerleştirilmelidir (Wakabayashi, 1986).

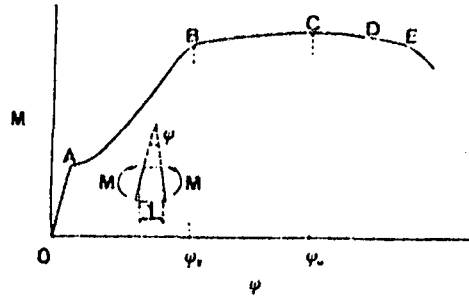


Şekil 2.6. Burkulmayı önlemede etriyelerin etkisi.

## 2.3. Elemanların Eğilme Davranışı

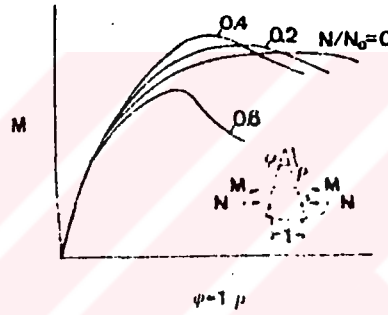
### 2.3.1. Yük-Deformasyon İlişkisi

Şekil 2.7'de çift mukavemetli beton kolonun moment ( $M$ ) ve eğrilik ( $\phi$ ) ilişkisi gösterilmiştir. Kırılmanın başladığı A noktasına kadar olan eğri lineerdir. B noktasında çekme altındaki çelik akar, fakat mukavemet artarak C noktasında maksimum değerine ulaşır. Basınç altındaki beton D noktasında kırılmaya başlar. E noktasında basınç çubukları burkulur ve mukavemet hızlı bir şekilde düşer.



- A: ilk kırılma
- B: çekme donatısının akması
- C: maksimum yük
- D: betonun ezilmesi
- E: donatının burkulması

Şekil 2.7 Monolitik yük altındaki kirişin moment-eğrilik ilişkisi.

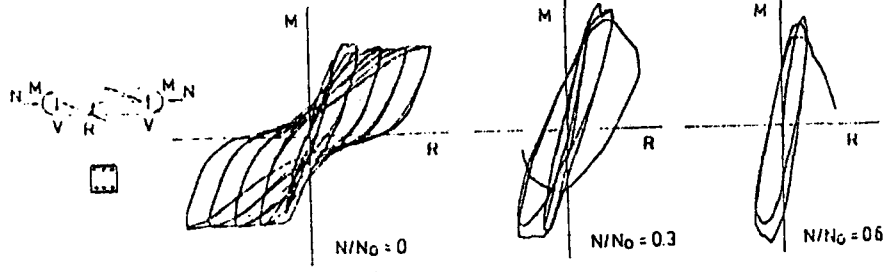


Şekil 2.8 Sabit eksenel yük ve monolitik eğilme momenti altında elemanların moment-eğrilik ilişkisi.

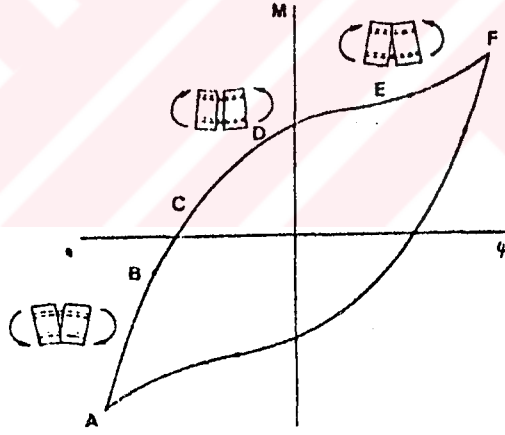
Sabit eksenel yük altındaki kolonun moment-eğrilik ilişkisi ve eğrilikteki monolitik artış Şekil-2.8'de gösterilmiştir. Burada  $N_0$  kolonun maksimum basınç mukavemetini göstermektedir.  $N/N_0=0$ 'daki davranış Şekil-2.7'de gösterilen ile aynıdır. Şayet  $N/N_0$  oranı belirli bir değerin altında ise eğilme mukavemeti eksenel kuvvetin artmasıyla beraber artar.  $N/N_0$  oranı bu değerin üzerinde ise mukavemet düşer. Diğer taraftan eksenel kuvvetin artması ile de düktilite azalır.

Şekil-2.9'da sabit eksenel yüke ve tersinir eğilme momenti ile beraber

kesme kuvvetine maruz bir kolondaki histeresiz moment ( $M$ ) ve rotasyon ( $R$ ) ilişkisi gösterilmiştir.  $N/N_0=0$  olduğu zaman histeresiz döngülerin iç



Şekil 2.9 Kolondaki histeresiz moment-rotasyon ilişkisi



B: Kırılmanın başlaması

C,D: Bauschinger etkisinden dolayı dönme

E: Basınç bölgesindeki kırılmalar.

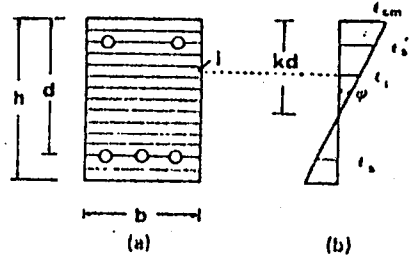
Şekil 2.10 Betonarme bir elamanın moment-eğrilik ilişkisi

şeklinde olduğu görülür. Düktilite ve enerji dissipasyon kapasitesi yüksek, tersinir yükten dolayı mukavemet azalması düşüktür.  $N/N_0=0.3$  oranında kirişin mukavemeti maksimuma eriştikten hemen sonra düşer.  $N/N_0=0.6$  olduğu durumda oldukça kırılğan bir göçme gözlenir.

Şekil 2.10'da çok düşük veya sıfır kabul edilebilecek eksenel yüklemeye maruz bir betonarme elemanın moment-eğrilik ilişkisindeki histeresiz döngüler görülmektedir (Wakabayashi, 1986 ).

### 2.3.2. Histeresiz Eğrilerin Hesabı

Tersinir yüklemeye maruz elemanların yük-deformasyon eğrileri (Şekil 2.9) moment-eğrilik ilişkisinden yola çıkılarak adım adım elde edilebilir. Yük altındaki elemanı belirli sayıda boyuna elemanlara bölüp her eleman üzerindeki momentin muntazam (üniform) olduğu varsayılabilir. Hesaplama yöntemini açıklamak için uç kısmında sabit eksenel yük ve tersinir yüke maruz bir ankastre kirişi göz önüne alalım. İlk olarak sabit uçta eğilme momenti değeri tahmin edilir ve bu elemanın eğriliği hesaplanır. Sınır şartları göz önüne alınarak eğriliğin boyuna eleman üzerinde integrali alınır, rotasyon açısı ve deformasyon (deflection) sabit uçta bulunur. Bu elemnın denge durumu (ikincil moment dikkate alınır) göz önüne alınarak bitişik eleman hesaplanır. Bu hesaplamalar serbest uca kadar yapılır. Serbest uçta moment sıfır çıkmayabilir. Tekrar başa dönülerek iteratif değeri ayarlanır ve serbest uçta moment sıfır oluncaya kadar bu işlem tekrarlanır. Bu sağlandıktan sonra ankastre kirişin denge durumundan tersinir yük hesaplanır. Bu metod sonucu elde edilen değerler kesme etkisi göz önüne alınmadığından dolayı belirli bir hata oranına sahiptir. Yukarıda açıklanan deformasyon hesabı moment-eğrilik ilişkisinin hesabını da içerir. İç kuvvetleri bulmanın en uygun yolu Şek. 2.11'de gösterildiği gibi belirli sayıya bölünmüş kesit üzerindeki kuvvetleri toplamaktır (Wakabayashi, 1986).



Şekil 2.11 Kesit üzerinde belirli sayıda bölünmüş kuvvetler

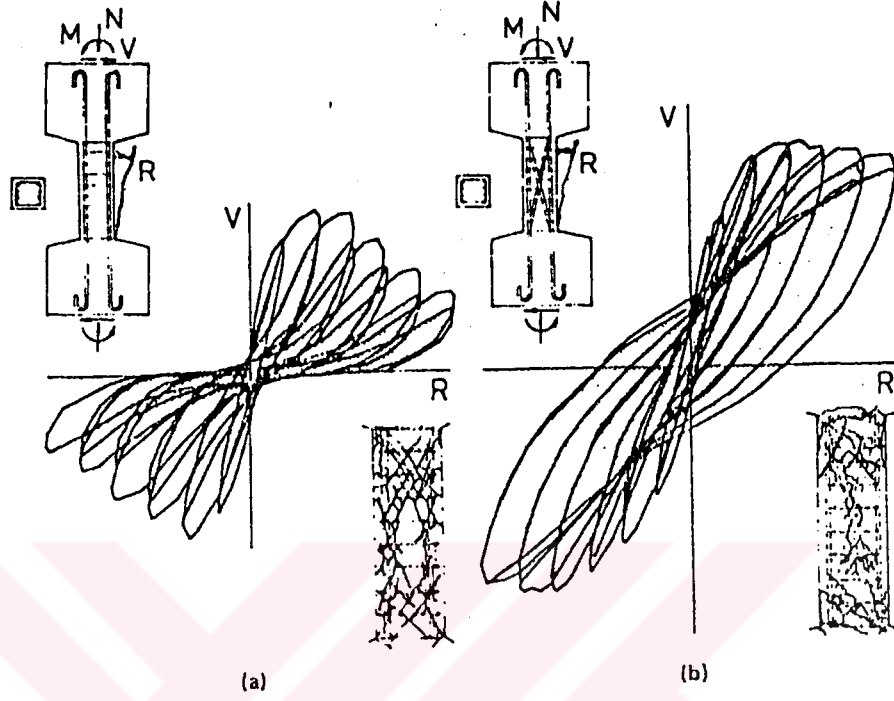
## 2.4. Elemanların Kesme Davranışı

### 2.4.1. Diyagonal Betonarme Elemanlar

Yüksek kirişler çoğu zaman kesme kırılmasına maruz kalırlar. Yeni Zelanda'da yapılan araştırmalar bu kırılmayı önlemek için bir metod geliştirmiştir. Bu metod kirişlerin diyagonal çubuklarla güçlendirip düktilitesini artırmaktır (Park and Paulay, 1975). Bu diyagonal çubuklar Wakabayashi (1986) tarafından kolonlarda da kullanılmış ve deneyler yapılmıştır.

Şekil 2.12'de paralel ve diyagonal çubuklarla donatılmış kolonların histeresiz davranışları karşılaştırılmıştır. Her iki elemenda da kullanılan takviye çelik miktarı aynı olmasına rağmen diyagonal donatılı eleman çok avantajlı görülmektedir. Bunlar;

1. Yüksek kesme mukavemeti,
2. Yüksek düktilite,
3. Yüksek enerji dissipasyon kapasitesi,
4. Yüksek eğilme dayanımı.



Şekil-2.12 Paralel ve diyagonal donatılı kolonların, sabit eksenel yük ve kesme kuvveti ile beraber tersinir eğilme momenti altındaki moment-rotasyon ilişkisi

a) Paralel donatılı kolon

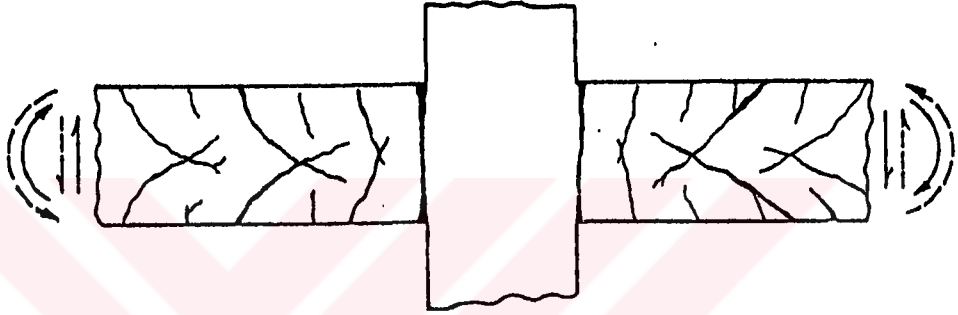
b) Diyagonal donatılı kolon

Pratikte diyagonal ve paralel donatıyı birlikte kullanmak daha avantajlı olabilir (Wakabayashi, 1986).

#### 2.4.2. Kesme Mukavemeti

Deprem yük altında kiriş momentlerinde ve kesme kuvvetlerinde tersinmeler oluşur. Bu tersinmelerin doğal sonucu olarak, kiriş gövdesinde

oluşan asal çekme gerilmelerinin yönü büyük çapta değişir (90 derece kadar) eğik çatlama asal çekme gerilmelerine dik yönde oluştuğundan, yük tersinmesi ile oluşan çatlaklar, tersinmeden önceki çatlaklara dik yönde oluşur, Şekil 2.13 . Eğik çatlakların her iki yönde de gelişmesi sonucu, beton basınç bölgesince taşınan kesme kuvveti büyük ölçüde azalır. Şiddetli deprem etkisi altında hem üstteki, hem alttaki boyuna donatı tersinme nedeni ile mesnet yakınlarında akma konumuna ulaşacağından, bu yörede oluşan



Şekil 2.13 Kiriş gövdesinde oluşan asal çekme gerilmeleri

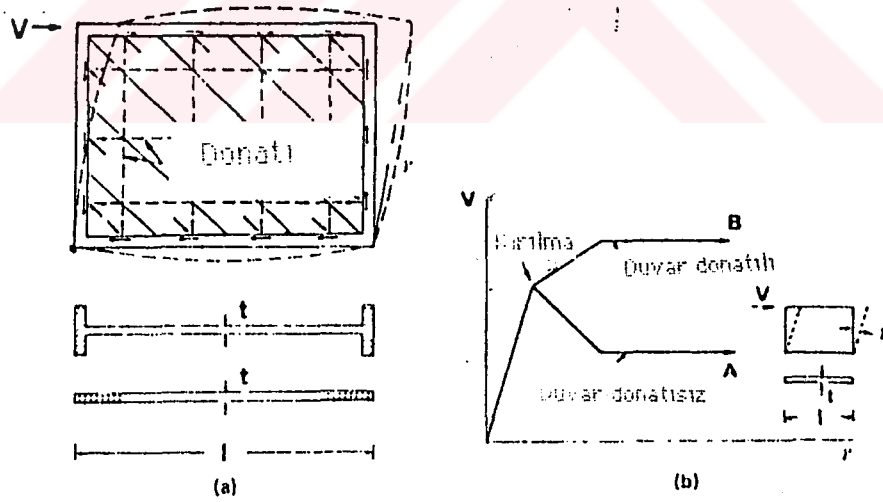
çatlakların genişliğinin büyük olacağı açıktır. Çatlakların iki yönde gelişmesi ve genişliklerin fazla olması nedeni ile, bu bölgedeki beton ufalanacak ve çatlak genişliğinin fazlalığı nedeni ile, boyuna donatısının kaldıraç etkisi ile taşıdığı kesme kuvveti de ihmal edilebilecek düzeye inecektir. Bu durumda beton tarafından taşındığı varsayılan kesme kuvveti çok azalacağından tüm kuvvetlerin etriyelerce karşılanması gerekmektedir. Bu nedenle, şiddetli depremin oluşması söz konusu olduğu durumlarda kayma donatısı hesaplanırken, beton katkısının ihmal edilmesi önerilecektir (Ersoy, 1985).



## 2.4.3. Perde Duvarlar

### 2.4.3.1. Çerçeveseli perde duvarlar

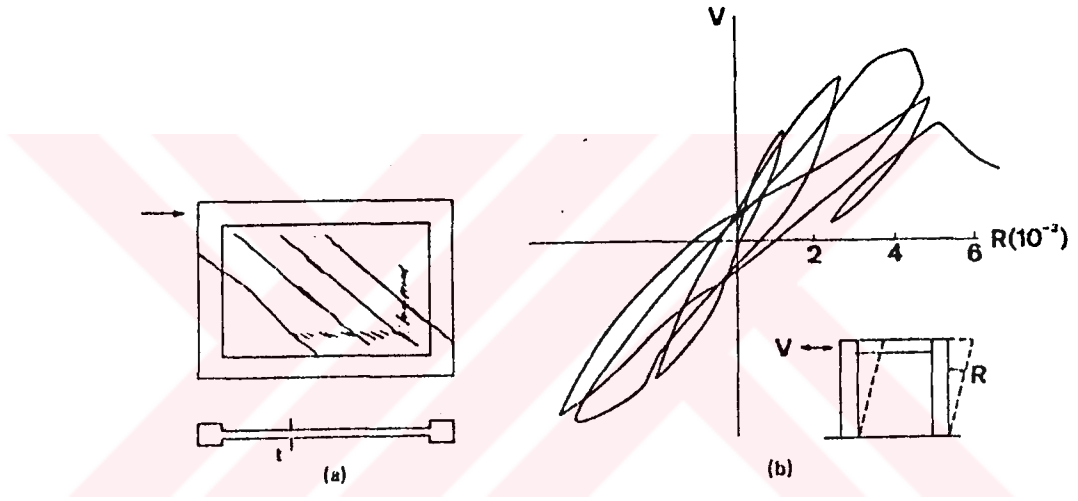
Şekil 2.14'de görüldüğü gibi çerçeveseli veya çok zayıf çerçeveseli bir perde duvara kesme kuvveti uygulandığı zaman, duvarın yük-deformasyon ilişkisi Şekil 2.14.b'deki gibi olur. Donatısız veya çok az donatılı duvarın kapasitesi kırılma başladıktan sonra düşer ve eğri A noktasına yönelir. Eğer duvar yeterli donatıya sahipse çekme donatısı ve betonun diyagonal destekleri serbest rotasyonu engelleyerek B noktasına yönelmesini sağlar. Eğer perde duvarın, beton diyagonal desteği çok yüksek ise perde duvarı kesme mukavemeti betonun kırılma mukavemeti ile kontrol edilir. Eğer çerçeve,



Şekil 2.14 Perde duvar için yük-deformasyon ilişkisi ve diyagonal kırılmalar

- a) Diyagonal kırılmalar ve duvar donatısının etkisi.
- b) Perde duvar için idealize edilmiş yük-deformasyon ilişkisi.

betonun diyagonal desteklerinden gelen yükü taşıyabilecek kadar yeterli mukavemette ise, beton desteğinin ezilmesi ile beraber kayma kırılması olana kadar perde duvar kesme yüküne karşı gelebilir (herhangi bir donatı kullanılmamasına rağmen), Şekil 2.15.a. Bununla beraber çerçeve genelde bu kadar güçlü olmaz ve duvarın mukavemeti kullanılan donatı miktarına bağlı olur. Duvarın maksimum kesme mukavemeti perde duvarın mukavemeti ile kolonların mukavemetinin toplamına eşittir. Şekil 2.15'de böyle bir duvarın kırılma modunu ve histeresiz davranışını göstermektedir. Burada kırılma başladıktan sonra rijitliğin azaldığı görülmüştür (Wakabayashi, 1986).



Şekil 2.15 Dolgu duvarın yük-deformasyon ilişkisi.

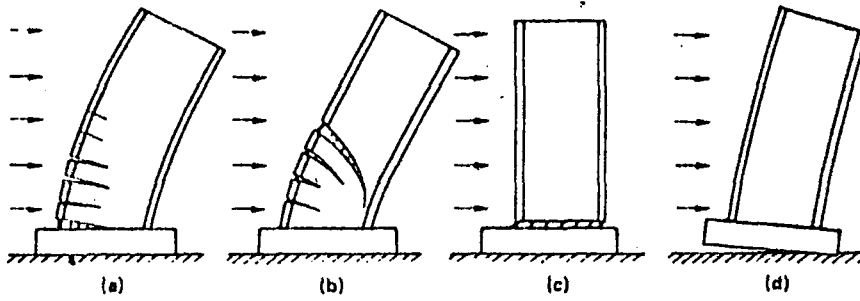
a) Kırılma modu

b) Histeresiz eğriler

#### 2.4.3.2. Ankastre perde duvarlar

Ankastre perde duvarlar, ankastre bir kolonun davranışına benzer bir davranış gösterirler, Şekil 2.16 (Park and Paulay, 1980).

**Eğilme kırılması**, düşey yüke göre duvardaki eksenel kuvvet, kırılma durumu göz önüne alındığı zaman daha azdır. Bu yüzden çekme çubukları



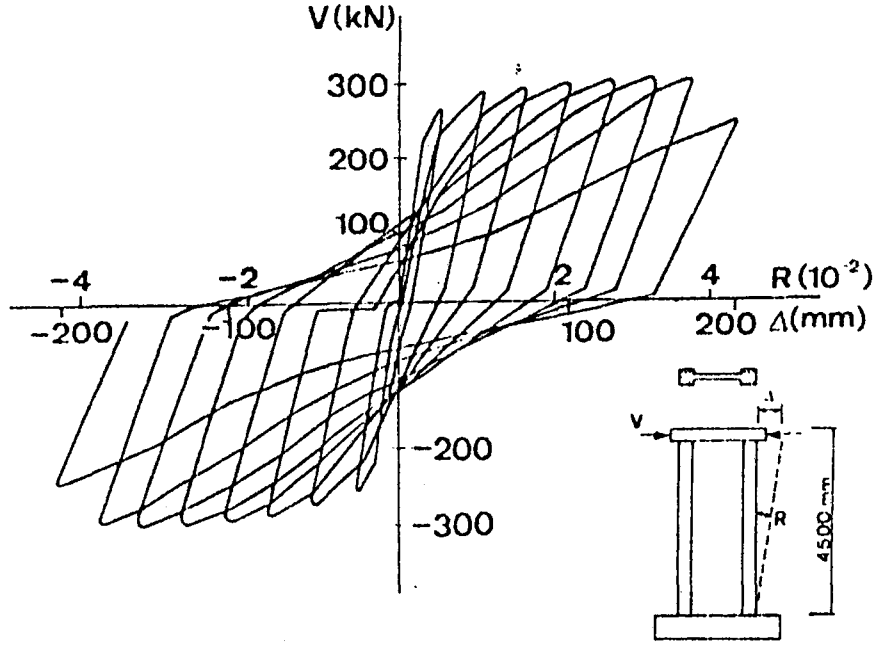
Şekil 2.16 Ankastre perde duvarın kırılma modları.

a) Eğilmeden dolayı oluşan kırılma b) Kesme kırılması c) Kayma-kesme kırılması d) Temelin rotasyonu (Park and Paulay, 1980).

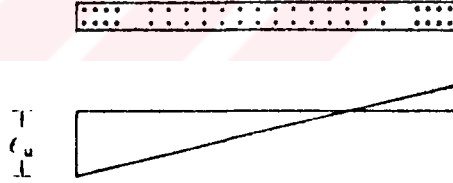
maksimum-kırılma durumunda akmaya başlar ve yüksek düktilite ve enerji-dissipasyon kapasitesi Şekil 2.17'de olduğu gibi olur (Fiorato and Carpenter, 1976). Bununla beraber, eğer eksenel kuvvet büyük olursa, çekme tarafına kayar (Şekil 2.18) ve basınç bölgesindeki betonda yüksek lif uzaması oluşur ve düktilite düşer.

**Kesme kırılması,** bir perde duvarda kesme kırılması genelde Şekil-2.16.b'de görüldüğü gibi olur. Eğer yatay donatı oranı düşük ise diyagonal çekme kırılmaları, donatı miktarı yeterli ise diyagonal basma kırılmaları oluşur. Bununla birlikte tekrarlanan yük ile beraber eğilmeden dolayı oluşan plastik mafsallardaki betonun kesme mukavemeti ihmal edilmelidir (Park and Paulay, 1980).

**Kayma kesme kırılması,** Şekil 2.16.c'de görüldüğü gibi perde duvarın yatay hareketi ile oluşur. Bu tip kırılmaları önlemek için düşey donatı beton içerisine düzenli aralıklarda yerleştirilmelidir.

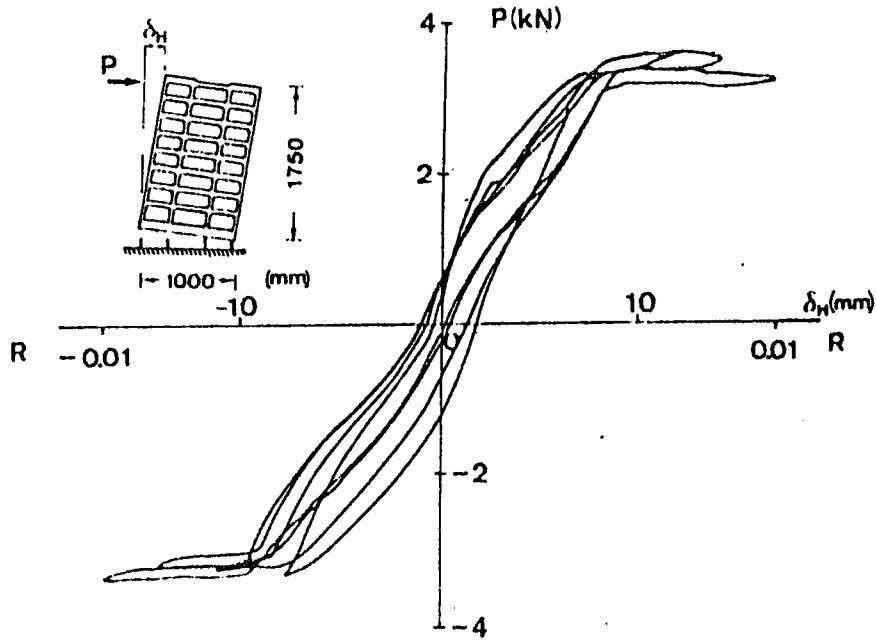


Şekil 2.17 Ankastre perde duvarın eğilmeden oluşan yük-deformasyon ilişkisi.



Şekil 2.18 Bir perde duvardaki birim uzama dağılımı.

**Temelin rotasyonu,** Şekil 2.16.d'de görüldüğü gibi, temelin rotasyo-nundan dolayı oluşan durumun histeresiz yük-deformasyon eğrileri, Şekil-2.19'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi yükleme ve boşalma eğrileri hemen hemen aynı yolu izlemektedir, dolayısı ile enerji-dissipasyon oldukça düşüktür (Wakabayashi, 1986).



Şekil 2.19 Bir çerçevenin temelin rotasyonundan dolayı oluşan yük-deformasyon ilişkisi

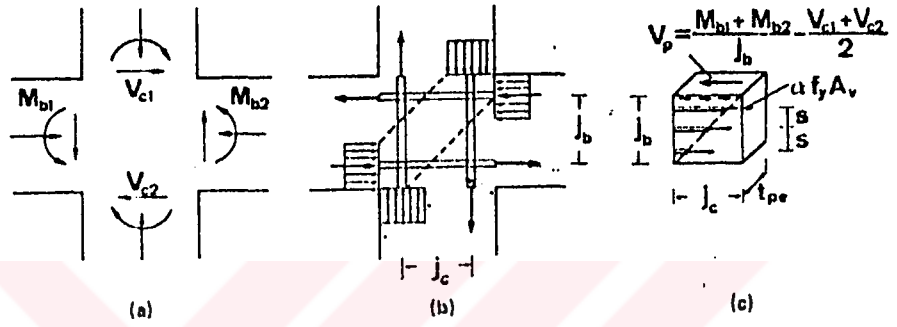
#### 2.4.4. Bağlantı Noktaları

Bir betonarme çerçeveye yatay bir yük uygulandığı zaman kiriş ve kolon üzerinde meydana gelen moment Şekil-2.20'de gösterilmiştir. Birleşme noktasında kesme kuvveti meydana gelir ve belirli yük altında diyagonal kırılmalar oluşur. Sonunda beton blok, bitişik kolon ve kirişteki eğilme momentinin yeterli olmasından kırılır (Corley and Hanson, 1969). Şekil-2.21'de böyle bir kiriş ve kolon birleşim noktasındaki histeresiz eğrileri göstermektedir (Wakabayashi, Nakamura and Matsuda, 1977). Böyle bir betonarme elemanın kesme kuvveti altındaki kırılmasından;

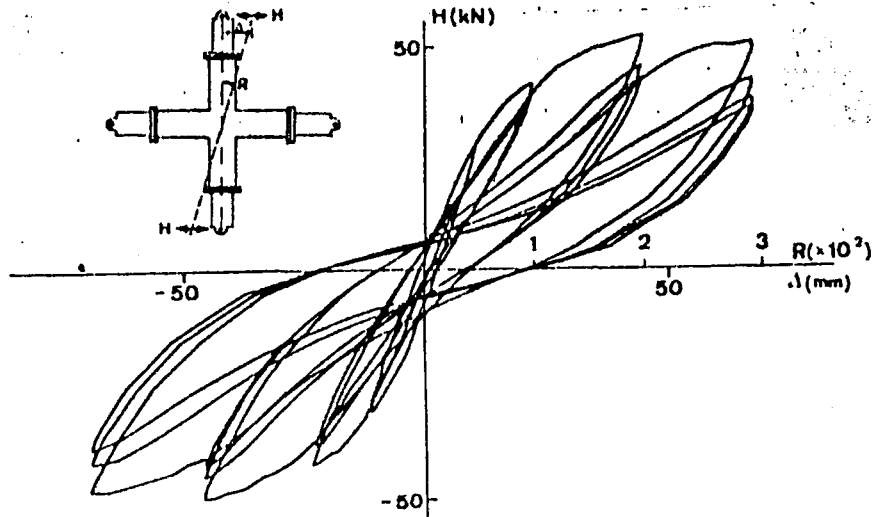
- düşük düktilite,
- düşük enerji-dissipasyon kapasitesi,

- yüksek mukavemet azalması vb., gibi sonuçlar çıkarılabilir (Wakabayashi, 1986).

Bu olayın önüne geçebilmek için, meydana gelen çatlamlarla rijitliğin önemli oranda azalmamasına, kiriş ve kolon donatılarında aderansın ve kenetlenmenin sağlanmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca sünekliği artırmak amacı ile etriyelerin sıklaştırılması ve gerekli kayma dayanımının sağlanması gerekir.



Şekil 2.20 a) Kuvvetler b) Panel üzerindeki gerilme c) Panelin mukavemeti.



Şekil 2.21 Kiriş-kolon bağlantı noktasındaki yük-deformasyon ilişkisi.

### 3. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

#### 3.1. Giriş

Bir yapının tasarımı ve boyutlanması genel olarak göçme durumunda yeterli güvenliğin sağlanması ve kullanma durumunda kararlılık, çatlama ve yerdeğiştirme gibi öngörülen koşulların yerine getirilmesi olarak tanımlanabilir (Celep ve Kumbasar, 1993). Mühendislik yapılarında deprem hasarları deprem sırasında oluşan enerjinin yapı tarafından tüketilememesi sonucunda oluşur.

Genellikle belirli kritik bölgelerde dayanımları aşılacak yapılar eğilimsizlik özelliğine sahip iseler, deforme olarak deprem etkisine karşı koyarlar. Ancak süneklilik yapının bir miktar hasar görmesi ile sağlanabilir. Ne var ki, sünekliliğe sahip olmayan yapılar dayanımlarını yitirdiklerini aniden tahrip olarak kısmen veya tümüyle çökerler. Deprem kuvveti, dayanım ve yapı davranışı arasındaki bu ilişkiler depreme dayanıklı yapı tasarımını üçlü bir ilkeler manzumesi ile ifade edilir. Bu tasarım ilkelerine göre;

1. Sıkça tekrarlanan hafif şiddetteki depremler yapının taşıyıcı sisteminde veya taşıyıcı olmayan elemanların da hasara neden olmamalıdır.

2. Tekrarlama süresi 30-50 yıl kadar olan orta şiddette depremler taşıyıcı sistemi hafif hasar görmesine, taşıyıcı olmayan elemanların kısmen hasar görmesine izin verilir.

3. Nadiren beklenen çok şiddetli depremlerde taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar meydana gelebilir. Taşıyıcı sistemin hasarı tanımlanabilir ölçüde olmalıdır ve yapının herhangi bir kısmında çökme meydana

gelmemelidir (Sucuoğlu ve Gülkan, 1992).

Yukarıdaki ilklerden de anlaşılacağı gibi birinci durumda yapı tamamen elastik kalmalı, ikinci durumda yapı plastik deformasyon yapmasına rağmen bu durum oldukça sınırlı olmalı ve üçüncü durumda da yapının ikinci durumdan daha fazla plastik deformasyon yapmasına rağmen yapının düşey dengesi kesinlikle yitirilmemelidir (yapıda oluşacak plastik mafsalların kirişlerde oluşması sağlanmalıdır).

Mevcut yapıların depreme karşı güvenlikleri değişik düzeylerde ve bu düzey çeşitli nedenlerle zaman içinde azalabilmektedir. Deprem güvenliğini azaltıcı nedenlerden biri, bitiminden sonra yapıya etkiyen tüm depremlerin ortaya çıkardığı kalıcı şekil değiştirmelerin birikmesidir. Kalıcı şekil değiştirmeler yardımıyla yapı, elastik olarak boyutlandırılması sırasında göz önüne alınan deprem yüklerinin çok üstünde deprem yüklerine dayanabilecektir. Yeter güvende ekonomik olacak bir yapı boyutlandırılması için esas olan bu durumu yakalamak üzere, kalıcı şekil değiştirmelerin önlenmesi değil, yapı bütününde tasarlanan biçimde yayılması amaçlanır.

Yapıdaki kalıcı şekil değiştirmelerin artmış olması ya da depremde artma olasılığının bulunması yapının mevcut deprem güvenliğinin saptanması ve gerekiyorsa güçlendirilmesini gerektirir. Güçlendirme yapının daha büyük ölçüde yatay yük taşıyabilir hale getirilmesi ile sağlanabileceği gibi taşıyıcılığını yitirmeden daha çok süre bilmesiyle de sağlanabilir. Veya karma bir yol olmak üzere yapının taşıyabileceği yatay yük düzeyi bir ölçüde arttırılırken, sünekliğin artmasına yönelik bir dizi önlem de birlikte alınabilir (Ohkubo, 1991).

Yapısal olan bu önlemlerin yapıya bağımlı olarak saptanması önemli bir deneyimi de gerektirmektedir. Çünkü, yapının yatay yükler altındaki davranışı



alınacak önlemlerle değişecektir. Bu değişimin öngörülen doğrultuda gerçekleşmesi zorunludur. Aksi halde yapının daha önce hasar görmemiş başka bölgelerinin aşırı zorlanması ya da alınan önlemlerin zararlı olması veya etkisiz kalması olasılığı vardır (Karadoğan, Ülker ve Diğerleri, 1993).

### a) Geometri

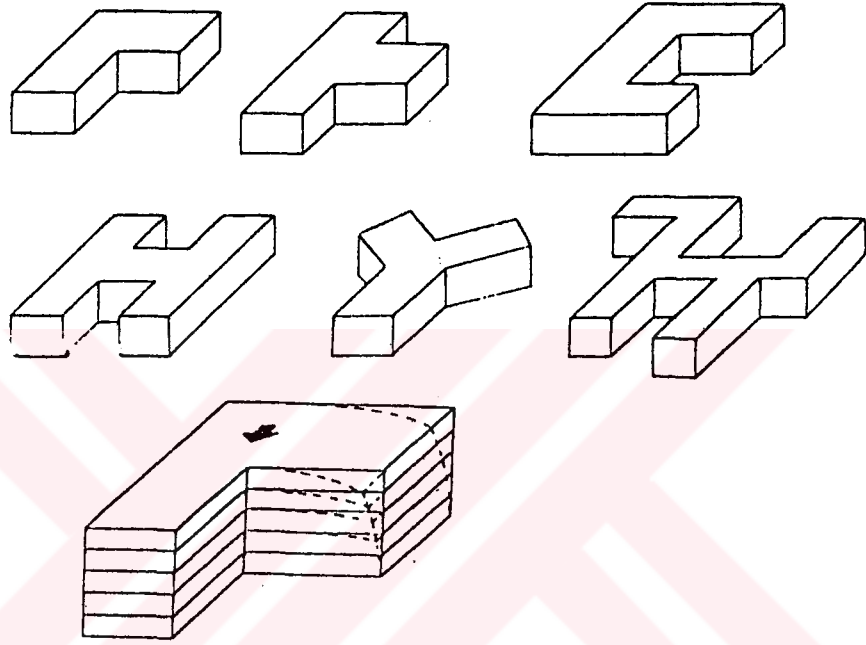
Yapı planı basit düzenlenmeli ve yüksek burulma rijitliğine sahip olmalıdır (Wakabayashi, 1986). Çünkü, bu tür yapıların yapımı daha kolaydır ve işçilik hataları daha az olur. Aynı zamanda bu tür yapıların depreme karşı davranışını tahmin edip buna göre çözümleme yapmak fazla zor olmaz.

Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve ek olarak ortaya çıkar burulma etkisini göz önüne almak daha uzun işlemler gerektirir.

Depreme karşı dayanıklılık bakımından yapının iki doğrultuda simetriyi sahip olması (yapı planının kare veya dairesel) istenir. L, T, U, H, Y tipinde kanatlı yapıların deprem sonrası kanat kısımlarının çok hasar gördüğü tespi edilmiştir (Şekil-3.1) (Wakabayashi, 1986). Örneğin, planda + şeklindeki yapı simetrik olmasına rağmen, düzensiz bir yapı kabul edilir. Binanın dış kısmın ve binaya bağlı olarak düzenlenen merdivan ve asansörler, rijitlik merkezin simetri merkezinden kenara çektikleri için ek burulma meydana getirirler. Yani, simetri yalnız plandaki şekille değil, taşıyıcı sistemdeki ayrıntıları da sağlanmalıdır. Ayrıca, deprem sırasında perde ve kolonlarda meydana gelen hasar elemanların dayanım ve rijitliklerini değiştirir ve statik konumda simetrik olan yapı, dinamik durumda burulma etkisine maru kalabilir. (Celep ve Kumbasar, 1993) Mimari nedenlerden dolayı da simetri olarak düzenlenemeyen yapıların, basit parçalara bölünmesi (kanat kısım ile yapı arasında yeterli boşluk bırakılması) gerekir.

Çok katlı binalarda görülen hasarlardan önemli bir bölümü bitişik niza

veya derzlerle ayrılmış binaların çarpışma sonucu ortaya çıkanlardır (Kumbasar, 1993). Bu olumsuz etkiyi önlemek üzere binaların arasına bırakılması gereken minimum aralık Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te aşağıdaki gibi belirtilmiştir. Yatay yükler altında yapı tipi katsayıları ( $R$ ) ile çarpılarak bulunan kat yatay ötelemelerine göre gereken yapı derzleri yapılmamış ya da gereken başka önlemler alınmamış



Şekil 3.1 Planda düzensizlik

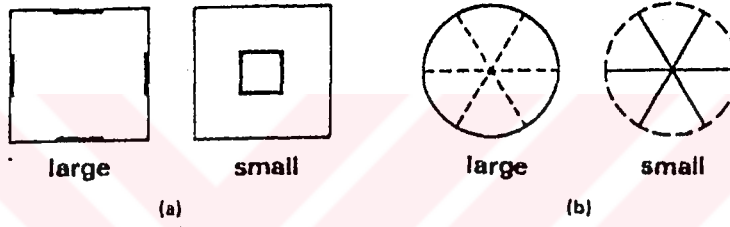
ise, sıcaklık değişimi, rötre, yükseklik farkı ve zemin koşulları düşünülerek oluşturulan yapı derzleri 6.0 m. yüksekliğine kadar en az 3.0 cm, 6.0 m'de sonraki her 3.0 m. için 1.0 cm. arttırılacaktır.

Planda uzun olan yapılar kısımlara göre daha çok zemin özelliklerini değişimine ve zemin çökmelerine maruzdurlar. Özellikle tekil temeller sahip uzun yapılar zemin etkilerine daha hassastırlar. Sürekli temelleri sistemin davranışı aha uygun duruma getirilebilir (Celep ve Kumbasar, 1993).

13 Mart 1992 tarihinde meydana gelen Erzincan depreminde seçile taşıyıcı sistemden dolayı ve dolgu duvarların çerçeve davranışına etki

dikkate alınmadığından, bu duvarlar nedeniyle bazı binalarda asimetri, dolayısı ile burulma oluşmuş ( Ersoy, 1992) ve bu olay büyük hasar meydana getirmiştir.

Yapılarda burulma etkisini azaltmak için yapının rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin üst üste gelmesi önemlidir. Eğer eksantrisite yapının rijitlik merkezi ve kütle merkezi arasında ise, depremden oluşan burulma deformasyonları düşük burulma rijitliği durumunda artmaktadır ,Şekil-3.2 (Wakabayashi, 1986).



Şekil-3.2 Burulma rijitliği

### b) Süreklilik

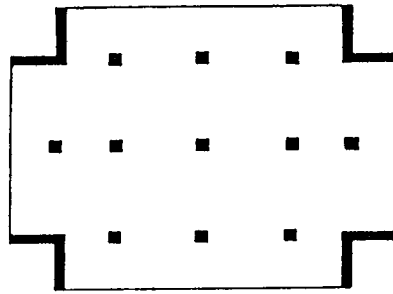
Taşıyıcı sistemde plan ve düşeyde bulunan elemanların sürekli olması gerekir (Wakabayashi, 1986). Kolon ve kirişlerin planda düzgün dağıtılması sistemin belirli bölgelerinin aşırı zorlanmasını önler. Bütün kolon ve perdeler temelden çatıya kadar sürekli olmalıdır. Kolon ve ona mesnetlener kirişlerin eksenleri arasındaki dış merkezlik elden geldiği kadar önlenmeli ve bunların genişliklerinin birbirine yakın olmasına çalışılmalıdır. Böylece betonarme elemanlarında kesit etkilerinin geçişini sağlayan iyi bir donatı

düzeni sağlanabilir. Taşıyıcı sistemde süreklilik ile elemanlar birbirine yardım etmesi sağlanırken, elastik davranışın ötesinde taşıma kapasitesi de artırılmış olur (Celep ve Kumbasar, 1993).

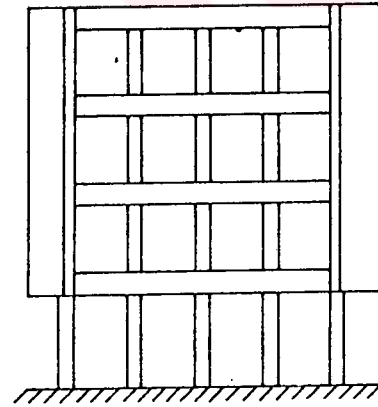
13 Mart 1992 Erzincan depreminde meydana gelen hasarların bir kısmı yapılarda sürekliliğin sağlanamamasından oluşmuştur.

Bazı binaların taşıyıcı sisteminde mimari düzenlemeler ve projecinin bilinçsizliği nedeni ile ani rijitlik değişimleri oluşmuştur. Örneğin, yerle bir olan iki yapıda dört köşede düzenlenen L biçimindeki perdeler zemin kat düzeyinde aniden kesit boyutları oldukça küçük kolonlara dönüştürülmüştür, Şekil-3.3..

Binaların birçoğunda çerçevelerin sürekli olmasına hiçbir özen gösterilmemiş, mimariye uyabilmek için çerçevelerin kesilmesinde, kolonların eksenden kaydırılmasına ve kirişlerin kolonlara eksantrik oturtulmasında hiçbir sakınca görülmemiştir (Ersoy, 1992).



(a) PLAN



(b) CEPHE

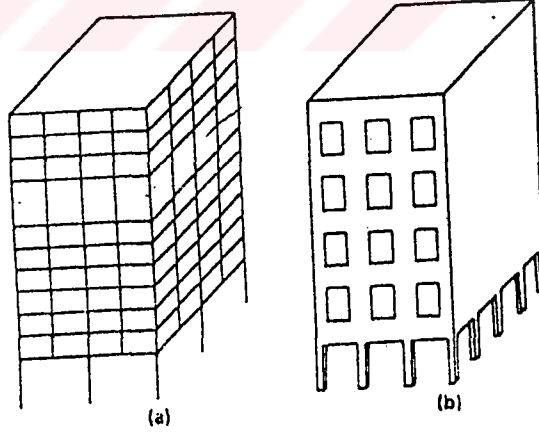
Şekil 3.3 Ani rijitlik değişimi

### c) Rijitlik ve Dayanım

Düşey doğrultuda elemanların rijitlik ve dayanımının ani olarak değişmesi istenmez. Yapının zemin katında yumuşak kat (düşük rijitlik) oluşturulmuşsa, Şekil-3.4, plastik deformasyon bu katta yoğunlaşarak yapının toptan göçmesine neden olabilir (Wakabayashi, 1986).

13 Mart 1992 Erzincan depreminde hasar gören yapıların üst katlarda dolgu duvar olmasına karşın zemin katların açık bırakılması ve kolonların da narin olması nedeniyle yumuşak zemin kat oluşmuş ve hasarın tek katta ve özellikle kolon gibi fazla sünek olmayan elemanlarda yoğunlaştırılması

nedeniyle hem dayanım, hem de yanal ötelenme açısından son derece sakıncalı bir sistem oluşturulmuştur (Ersöy, 1992).



Şekil 3.4 Yumuşak katlar

Yapı elemanlarının rijitliğini uygun seçerek titreşim periyodunu belirli aralığa getirerek deprem etkilerini küçültmek mümkündür. Bunun için ilk yapılacak iş, spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodu ile yapınınkini uzak tutarak rezonans olayını önlemektir. Örneğin, uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgede kısa periyotlu rijit, az katlı yapılar uygun düşer. Genellikle bu tür bölgelerde derin tabakalar halinde yumuşak zemin bulunur ve yer hareketinin yüksek frekanslı bölümünü filtre ederek söndürür. Geriye düşük frekanslı uzun periyotlu kısım kalır. Bunun karşıtı olan kayalık sert zemin bölgelerinde yer hareketinin yüksek frekanslı kısmı hakim olur. Buralarda yüksek periyotlu çok katlı yapılar uygun düşer. Alışılacağı yapılar da diğer başka isteklerin bulunması dolayısıyla, yukarıdaki koşullar çoğu zaman sağlanamaz. Ancak, temele yerleştirilen yer hareketi yalıtım düzenlerinin kullanılmasıyla, yapının dinamik davranışı değiştirilerek, deprem kuvveti azaltılabilir. Bu tür uygulamaların şimdilik deneme safhasında olduğu ve yeterince deneyim birikimi olmadığı bilinmelidir.

Yapının rijitliğini arttırarak, depremde meydana gelecek şekil ve yerdeğiştirmeleri azaltmak mümkündür. Bu suretle, taşıyıcı sistemle ona bağlı olan taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasar azaltılabilir. Bunun gibi yapının içindeki alet ve teçhizatın fonksiyonunu devam ettirebilmesi için, rijit yapı tercih edilir. Elastik yapılar da diğer bir istenmeyen durum yatay yerdeğiştirmelerin büyümesiyle normal kuvvetin ikinci mertebe etkisinin artmasıdır. Burada sözü edilen elastik ve rijit kavramlar, relatif olarak alınmalıdır. Donatısı iyi düzenlenmiş kiriş ve kolonların meydana getirdiği çerçevelerden meydana gelen betonarme taşıyıcı sistem elastik olarak kabul edilebilir. Orta bir depremde bile bu tür çerçevelerde katlar arası büyük yer değiştirmeler meydana gelir ve bölme duvarlarda geniş X çatlakları oluşur.

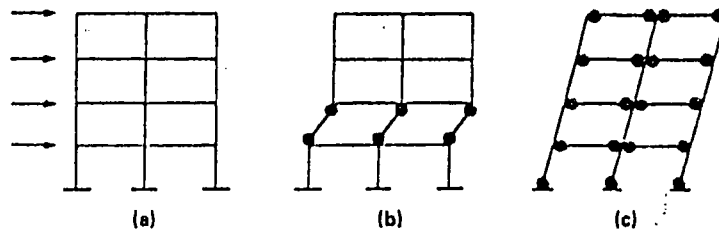
Buna karşılık bölme duvarlarının bulunması çerçeveye ek bir rijitlik kazandırarak yapının periyodunu küçültür ve yapıdaki kuvvet dağılımına etkili

olur. Bölme duvarlarında meydana gelen hasarla deprem enerjisini bir ölçüde söndürür. Bu etkilerin güvenilir biçimde boyutlandırma hesaplarını yansıtılması için güvenilir ve yaygın olarak kullanılan yöntemler yok denince kadar azdır. Yukarıda açıklanan çerçeve sisteminin rijitliğini arttırmak için günümüzde betonarme perdeler kullanılmaktadır. Böylece katlar aras yerdeğiştirmeler küçültülmekte ve normal kuvvetin ikinci mertebe moment de azaltılmaktadır (Celep ve Kumbasar, 1993).

#### d) Göçme Modu

Yapı tasarımı yapılırken plastik mafsallaşmasının kolonlarda veya kirişlerde oluşmasını sağlamak tasarımcının elinde olmasına rağmen genellikle mafsallaşmanın kolonlarda oluşması tercih edilir. Bunun nedenleri

1. Plastik mafsalların kolonlarda oluşması demek yapının toplam göçmesi demektir.
2. Zayıf-kolonlu yapılarda plastik deformasyon belirli bir katta yoğunlaşır (Şekil-3.5.b) ve kolon sürekliliğinin yüksek olması gerekir.



Şekil 3.5 Göçme modu a) Çerçeve b) Zayıf kolon-kuvvetli kiriş  
c) Kuvvetli kolon-zayıf kiriş

Yapı "kuvvetli kolon-zayıf kiriş" ilkesine göre tasarlanması durumunda plastik mafsallı taban dışında kiriş uçlarında oluşur ve katlara yayılır, Şekil-3.5.c. (Wakabayashi, 1986).

Bilindiği gibi, eğilme altında kolonların sünekliği kirişlere oranla çok daha azdır. Bu durumda b mekanizmasında davranış, gevrek olan kolonların büyük enerji tüketmeleri beklenmektedir. Söz konusu kolonların bu düzeyde enerji tüketmesi sağlanamadığında, yumuşak kat olarak adlandırılan bu zayıf katın kolonlarının kesilmesi tüm binanın göçmesine neden olacaktır. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında yumuşak kattan kaçınılması istenir (Ersoy 1992).

#### **e) Süneklik**

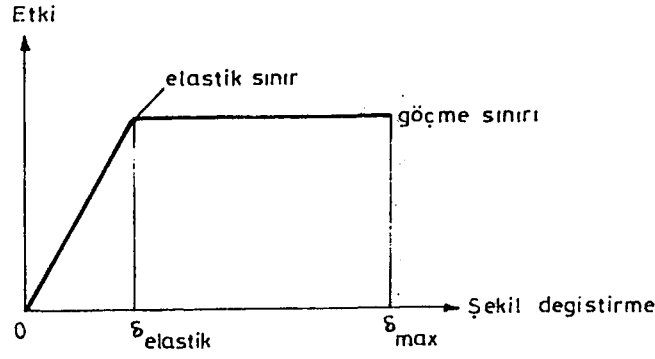
Yüksek bir yapıyı oluşturan yapı elemanları kiriş, kolon ve perdeleri tek tek sünekliği düşünülebileceği gibi bunların oluşturdukları çerçeve ve perde çerçeve sistemlerin genel sünekliliğini de düşünmek gerekir.

Süneklik, yapının mukavemetine önemli ölçüde azalma ile kararsız denge olmaksızın deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin oldukça büyük kısmını, elastik sınırın ötesinde elastik olmayan davranışla ve tersinir, dönüşümlü büyük şekil değiştirmelerle yutma yeteneğidir (Hasgür ve Gündüz, 1992).

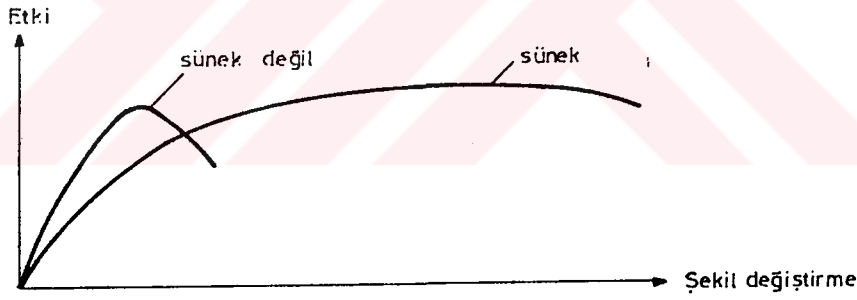
Bir yapı sünek ise, deprem sırasında zeminden yapıya iletilen enerjinin büyük bir kısmı, elastik sınırın ötesindeki titreşimler yapının dayanımını önemli bir kayba uğratmadan yutulur. Gerçek malzeme, Şekil-3.6'da verilen ideal elesto-plastik davranıştan daha çok Şekil-3.7'de verilen iki eğri arasındaki davranışa sahiptir. Burada sünek olan ve olmayan davranışlar arasındaki fark daha açık bir şekilde görülmektedir.

İyi düzenlenmiş sünek bir taşıyıcı sistemde deprem enerjisi, kontrollü hasarlarla, göçmeden uzak kalınarak karşılanmış olur.





Şekil 3.6 Elasto-plastik etki-şekil değiştirme



Şekil 3.7 Sünek ve sünek olmayan etki-şekil değiştirme

Sonuç olarak depreme dayanıklı bir tasarımda aşağıdaki noktalara dikkat etmek gerekir:

- a) Plan ve düşey kesitte yapı mümkün olduğu kadar basit olmalıdır.

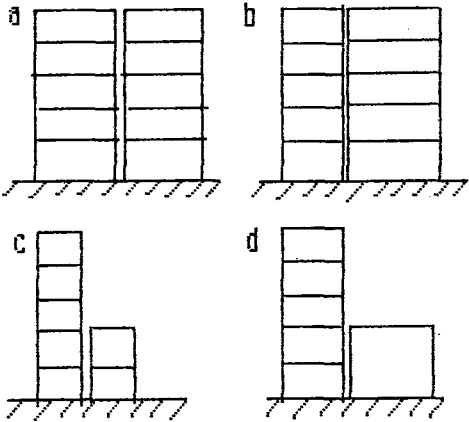
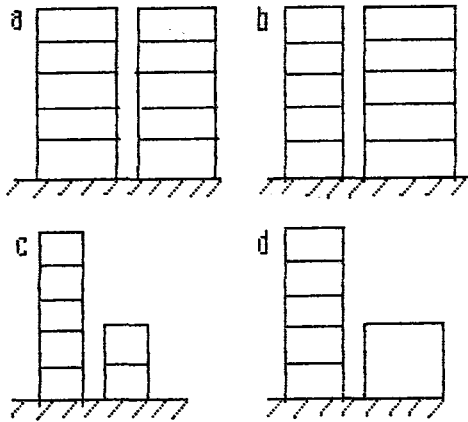
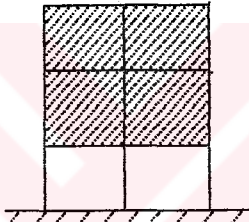
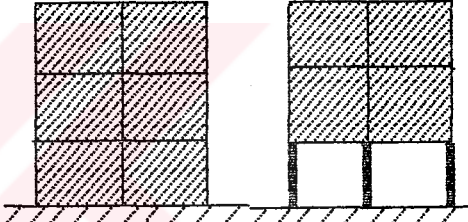
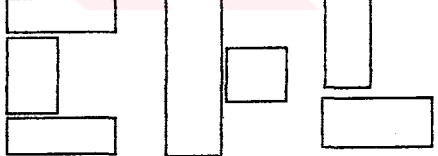
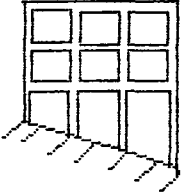
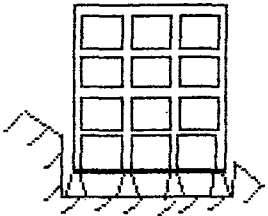
b) Temel sağlam ve düzgün özellikli zemine oturmalıdır.

c) Deprem etkisini taşıyacak elemanlar, burulma oluşturmayacak şekilde planlanmalıdır.

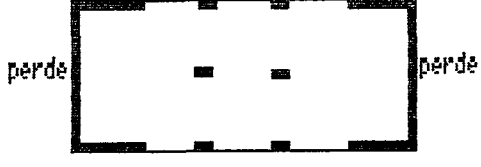
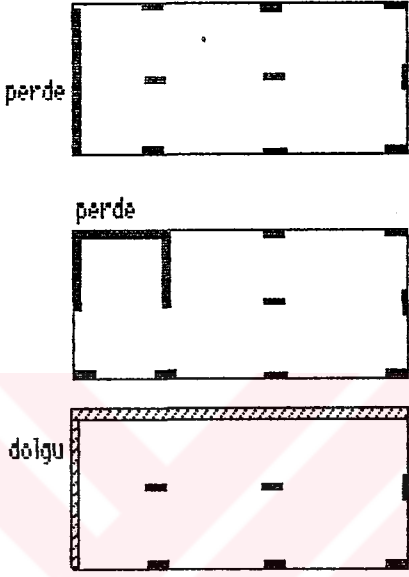
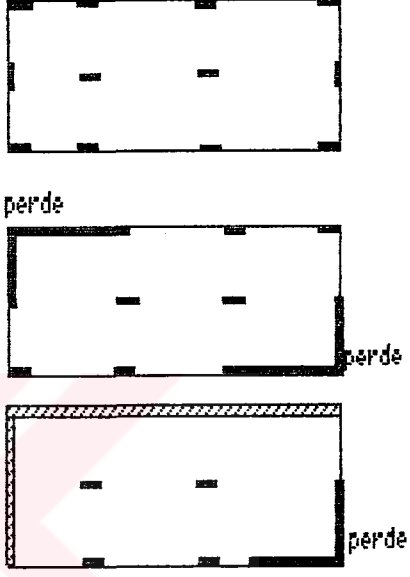
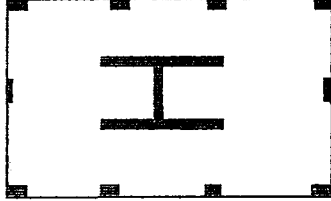
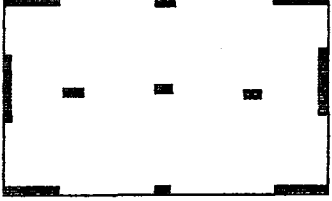
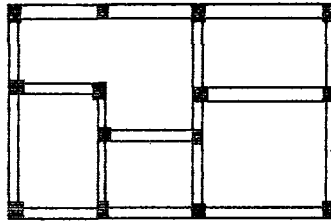
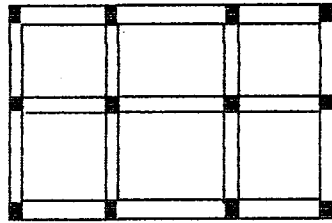
d) Yapı elemanları gerekli dayanımları yanında sünek olmalıdırlar.

Yukarıda açıklanan önerilerin bir kısmı Şekil-3.8'de verilmiştir (Celep ve Kumbasar, 1993).

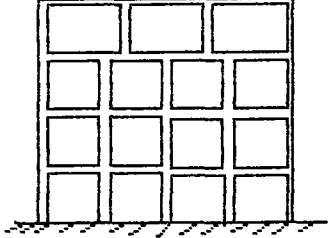
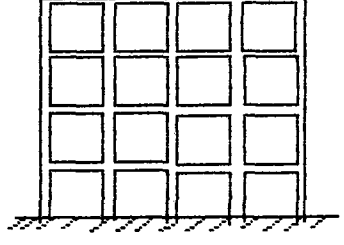
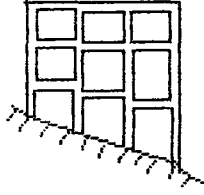
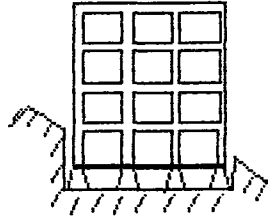
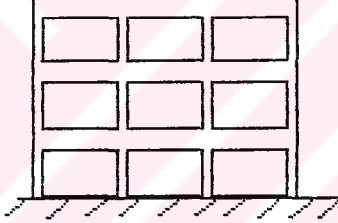
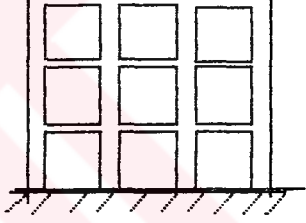
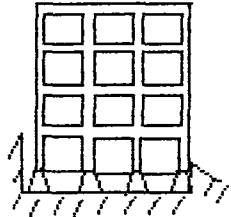
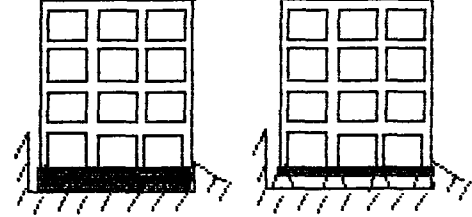
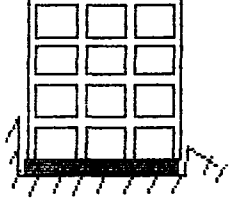
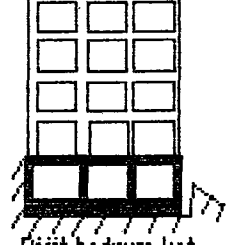


|   | UYGUN DEĞİL                                                                                                                                                            | UYGUN                                                                                                                                                                       |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 |  <p><math>\delta</math>=iki yapı arasındaki mesafe<br/><math>\delta=0-3</math> cm</p> |  <p><math>\delta</math>=iki yapı için hesaplanmış en büyük yerdeğiştirmelerin toplamı</p> |
| 2 |  <p>Dolgu duvarlarında ani rijitlik değişimi</p>                                     |  <p>Zemin katta rijitlik ve dayanım artışı</p>                                           |
| 3 |  <p>Planda simetriden ayrılma</p>                                                   |  <p>Planda simetri</p>                                                                  |
| 4 |  <p>Temelde dengesiz rijitlik dağılımı</p>                                          |  <p>Temelde düzgün rijitlik dağılımı</p>                                                |

Şekil-3.8 Yapılarda geometri ve rijitlik dağılımı

|   | UYGUN DEĞİL                                                                                                                                         | UYGUN                                                                                                                                         |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 |  <p>iki doğrultuda dengesiz rijitlik</p>                           |  <p>iki doğrultuda dengeli rijitlik</p>                     |
| 6 |  <p>Planda simetriden ayrılma sonucu oluşan burulma titreşimi</p> |  <p>Simetrik düzenleme ile burulma titreşiminde azalma</p> |
| 7 |  <p>Perdelerin burulmaya katkısı küçük</p>                       |  <p>Perdelerin burulmaya katkısı büyük</p>                |
| 8 |  <p>iki doğrultuda kötü çerçeve davranışı</p>                    |  <p>iki doğrultuda iyi çerçeve davranışı</p>              |

Şekil-3.8 Yapılarda geometri ve rijitlik dağılımı

|    | UYGUN DEĞİL                                                                                                               | UYGUN                                                                                                                                 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9  |  <p>Kirişe oturan kolonlar</p>           |  <p>Sürekli düşey taşıyıcılar</p>                   |
| 10 |  <p>Kiriş sürekliliğinde belirsizlik</p> |  <p>İyi çerçeve düzeni</p>                          |
| 11 |  <p>Zayıf kolon-kuvvetli kiriş</p>     |  <p>Kuvvetli kolon-zayıf kiriş</p>                |
| 12 |  <p>Bağlanmamış tekil temeller</p>     |  <p>Plak temeller veya kuvvetli bağ kirişleri</p> |
| 13 |  <p>Temel derinliği küçük</p>          |  <p>Rijit bodrum kat</p>                          |

Şekil-3.8 Yapılarda geometri ve rijitlik dağılımı

### 3.2. Eşdeğer Statik Hesap Yöntemi

Yapıların deprem hesabı eşdeğer statik hesap yönteminde daha kolay olduğu için hemen hemen bütün yapıların modellenmesi bu metoda göre yapılır (Wakabayashi, 1986). Bu metodun kullanılabileceği durumlar aşağıda belirtilmiştir.

a) Bütün deprem bölgelerinde yüksekliği 75 metreden az olan düzenli yapılar.

b) 1. ve 2. deprem bölgelerinde inşa edilen yüksekliği 30 metre veya 1 kattan fazla olmayan düzensiz yapılar. (Tablo 3.1 ve 3.2)

| Düzensizlik                 | Tanımı                                                                                          |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rijitlik düzensizliği       | Komşu iki katın yanıl rijitliğinde önemli farkların olması                                      |
| Kütle düzensizliği          | Bir katın ( çatı katı hariç ) kütlelerinin al veya üst kat kütleline oranının 3'de fazla olması |
| Kütle geometri düzensizliği | Yatay yükleri taşıyan sistemin alt veya üst kat genişliğine oranının 1.25 'de fazla olması      |
| Süreksizlik                 | Yatay yük taşıyan düşey elamanları alt katlarda devam etmemesi                                  |

Tablo 3.1 Düşeyde düzensiz olan yapılar

| Düzensizlik                                   | Tanımı                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Burulma düzensizliği                          | Deprem yönüne dik doğrultuda rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki dışmerkezliğin bu doğrultudaki yapı genişliğinin % 20 'sinden fazla olmaması |
| Girinti düzensizliği                          | Plandaki girintilerin bu yöndeki yapı boyutunun % 20 'sinden fazla olmaması                                                                             |
| Kat döşemesi süreksizliği                     | Katlarda diyafram görevi yapan döşeme sisteminde % 50 'den fazla boşluk bulunmaması                                                                     |
| Taşıyıcı eleman düzensizliği                  | Yatay yükleri taşıyan elemanların, planda üst üste olmaması                                                                                             |
| Taşıyıcı sistemin paralel olmama düzensizliği | Yatay yükleri taşıyan elemanların, yapının ana eksenlerine paralel veya simetrik olmaması                                                               |

Tablo 3.2 Yatayda düzensiz olan yapılar

Deprem taban kesme kuvveti  $F$  yapının tabanında meydana geldiği kabul edilir ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$F=CW$$

Burada  $W$  yapı ağırlığı olup  $F$  yapının taban kesme kuvveti olarak bilinir. Deprem katsayısı  $C$  ise,

$$C = C_0 I S / R > C_0 I / (2R)$$

Burada;

$C_0$ : Deprem bölgesi katsayısını,

$I$  : Yapı önem katsayısını,

$S$  : Yapı dinamik katsayısını,

$R$  : Yapı katsayısını göstermektedir.

Burada  $C$ , maksimum deprem ivmesinin yerçekim ivmesine olan orar olarak belirir.  $C_0$  değerleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

| Deprem bölgesi | 1    | 2    | 3    |
|----------------|------|------|------|
| $C_0$          | 0.40 | 0.30 | 0.20 |

Tablo 3.3 Deprem bölge katsayısı  $C_0$

Deprem bölge katsayısı belirlenirken yapının ekonomik ömrünün 60-70 yıl olduğu kabul edilmiş ve bu sürede söz konusu bölgede beklenen en şiddetli deprem göz önüne alınmıştır (Celep ve Kumbasar, 1992).

Tablo 3.4'de yapı tipi  $R$  katsayıları verilmiştir. Değerleri incelenmesinden, sünek yapılar için  $R$  katsayısının büyük değerler aldığı ve dolayısı ile eşdeğer statik yüklerin küçük olmasını sağladığı görülür. Yapıyı "perdeli ve çerçeveli" olarak kabul edilebilmesi için temel üstünde, depremler yüklerinin tabanda meydana getirdiği toplam devrilme momentinin %50'den fazlası perdeler tarafından karşılanmalıdır.



| Yapı tipi                                    |                                | R   |
|----------------------------------------------|--------------------------------|-----|
| Betonarme yapılar                            | Çerçeveseli yapılar            | 3.5 |
|                                              | Perde duvarlı yapılar          | 2.5 |
|                                              | Perdeli ve çerçeveseli yapılar | 3.0 |
| Betonarme yapılar<br>(sünekliği arttırılmış) | Çerçeveseli sistemler          | 5.0 |
|                                              | Perde duvarlı yapılar          | 3.2 |
|                                              | Perdeli ve çerçeveseli yapılar | 4.0 |

Tablo 4.4 Yapı tipi katsayısı R

Yapı dinamik katsayısı (spektrum katsayısı) S

$$S=1.0/(1.0+T-T_0)^{0.67} < 1.0$$

formülü ile hesaplanır. Burada T saniye olarak yapının birinci moduna ait doğal periyodu ve  $T_0$  zeminin hakim periyodudur.

Bina türünden yapılarda, daha gerçekçi bir hesap yapılmadığında, doğal periyod,

$$T=0.09 H / (D)^{0.5}$$

perde duvarlı yapılar için

$$T = 0.05 N$$

betonarme çerçeve yapılar için,

$$T = 0.10 N$$

formülleriyle hesaplanır. Burada H binanın temel üst seviyesinde ölçülen yüksekliği (metre), D yatay yükler doğrultusunda paralel bina genişliği (metre) N bina temel seviyesi üstündeki kat adedidir.

Zemin hakim periyodu Tablo 3.5'de verilmiştir. Zemin hakim periyodu hiçbir zaman  $0.15s < T_0 < 1.20s$  aralığı dışında seçilemez. Tablo 3.5 zemin tabakasının 50 m. mertebesinde bir kalınlıkta olması için geçerlidir. Zemin tabakalarının farklı kalınlıkta bulunması durumunda zemin hakim periyodu;

$$T_0 = 4H/V_s$$

formülü ile hesaplanır. Burada H tabaka kalınlığı ve  $V_s$  kayma dalgasının hızıdır.

Yapı önem katsayısı I, yapının kullanım amacını yansıtır. Depremde hemen sonra kullanılması gereken yapılar ve insanların fazla olduğu yapılarda bu katsayı yüksek tutulmuştur.

Eşdeğer statik yatay yüklerin toplamı F'nin hesaplanmasında kullanılacak olan W toplam yapı ağırlığı,  $W_j$  kat ağırlığı,

$$W = \sum W_j$$

$$W_j = G_j + nQ_j$$

bağıntılarından hesaplanacaktır. Burada,  $G_i$  ve  $Q_i$  söz konusu kattaki sabit hareketli yüklerin toplamıdır. Burada hareketli yükler  $n$  gibi bir katsayı azaltılmaktadır.

| Zemin cinsi | Tanımlanma                                                                                                                                                                                                                                | $T_0$ |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| I           | Ayrışmamış sağlam kayalar, çok sıkı çakıl kum ve kum-çakıl karışımları, sert killer, siltli killer (ve sismik özelliklerinin bunlara benzediği geçerli hesap yöntemleri ile gösterilmiş zemin tabakaları)                                 | 0.40  |
| II          | Ayrışmış ve çatlaklı kayalar, sıkı çakıl, kum ve kum-çakıl karışımları, çok katı siltli killer (ve sismik özelliklerinin bunlara benzediği geçerli hesap yöntemleri ile gösterilmiş zemin tabakaları)                                     | 0.60  |
| III         | Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış ve gevşek çimentolu kayalar, orta sıklıktaki kum ve çakıllar, katı kil, silt ve siltli killer                                                                                         | 0.80  |
| IV          | Yumuşak ve kalın (30 cm 'den çok) alüvyon tabakaları, bataklık veya çamur dıplı deniz doldurulması ile oluşmuş kalınlığı 3 m'den çok tabakalar ve 30 yıldan genç kontrolsüz dolgu tabakaları, gevşek ve çok gevşek kumlar, yumuşak killer | 1.00  |

Tablo 3.5 Değişik zeminlerin hakim periyotları  $T_0$

Yapının kat düzeylerinde uygulanacak  $F_i$  eşdeğer statik yükler,

$$F_i = (F - F_t) \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i}$$

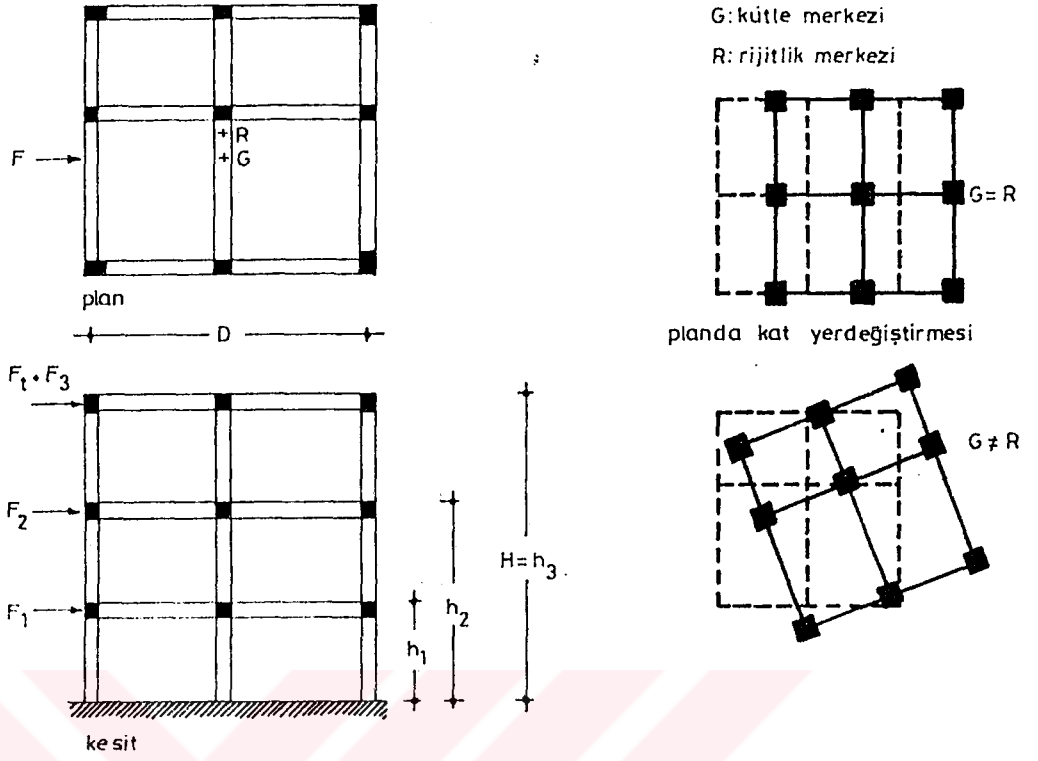
formülü ile hesaplanır. Burada  $F_t$ , Şekil 3.9'da gösterildiği gibi yapının üst katına ek olarak uygulanacak ek yatay yük olup yapılarda birinci mod yanında etkili olabilecek yüksek modların katkısını hesaba katmak içindir.  $F_t$  kuvvet;

$$F_t = 0.004 F (H/D)^2 < 0.15F$$

formülü ile hesaplanır. Eğer  $H/D < 3$  ise  $F_t=0$  alınabilir.

$F_i$  kat yatay yüklerinin; kat kütle merkezlerine etkidiği kabul edilir. Kat kütle merkezi ile rijitlik merkezi üst üste düşmüyorsa (Şekil-3.9) katlar bir öteleme yerdeğiştirmesi yanında, kata etkiyen burulma momentinin sonucu bir dönme yerdeğiştirmesi yaparlar. Bu olay giriş ve kolonlarda ilave eğilme momentlerinin oluşmasına neden olur.

Yönetmelik yapının her iki doğrultuda kütle merkezi ile rijitlik merkezleri arasındaki dış merkezliğe yatay yük doğrultusuna dik doğrultudaki en büyük plan boyutunun %8'i eklenerek bulunacak burulma momentine göre irdelenmesini öngörmektedir. Böylece düzgün olmayan kütle dağılımında doğacak olan burulma momenti de hesaba katılmış olmaktadır.



Şekil 3.9 Deprem yükü altındaki çerçeve sistemi

| Yapı cinsi                                                            | n    |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| Depolar                                                               | 0.80 |
| Okullar, öğrenci yurtları, sinema ve konser salonları, tiyatrolar, vb | 0.60 |
| Özel konutlar, oteller, hastaneler, vb                                | 0.30 |

Tablo 3.6 Hareketli yük azaltma katsayısı n

| Sınıfı                                                       | Kullanma amacı ve tipi                                                                                                                  | I   |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Çok önemli tesisler                                       | Bir deprem sırasında hemen kullanılması gereken yapılar. Zehirli, patlayıcı ve parlayıcı özellikleri olan maddelerin depolandığı yerler | 1.6 |
| 2. İnsanların toplandığı değerli eşyaların saklandığı yerler | Halkın çok yığıldığı yapılar, okullar, eğitim bina ve tesisleri, cezaevleri, müzeler, askeri kışlalar                                   | 1.4 |
| 3. İnsanların kısa süreli yoğun olarak bulunduğu yerler      | Halkın çok yığıldığı fakat kısa süreli kullanılan yapılar (spor tesisleri, sinema ve tiyatrolar, konser salonları)                      | 1.2 |
| 4. Diğer yapılar                                             | Yukarıki tanımlara girmeyen diğer resmi ve özel yapılar (özel konutlar, oteller, iş yerleri, vb.)                                       | 1.0 |

Tablo-3.7 Yapı önem katsayısı I

### 3.3. Betonarme Yapılar İçin Tasarım Kuralları

#### 3.3.1. Döşemeler

Döşemeler düşey yükleri karşılayarak bunları kolon ve perdeler iletirler. Bununla beraber döşemeler yatay yükü düzlemleri içinde oluşan i kuvvetler yardımı ile yatay yük taşıyıcı elemanlar arasında paylaşırlar. Gerçek düzlem içi şekil değiştirmelerin bu paylaştırmaya etkisi genellikle ihmal edilebilir büyüklüktedir ve döşemelerin düzlemleri içinde rijit oldukları çok yaygın olarak kullanılan bir varsayımdır.

Teorik olarak elastik kabul edilen döşemelerde yatay yükü dağıtılması, düşey elemanların rijitliklerinden bağımsız olarak meydana gelir. Bu durumda döşemeler, düşey elemanlar arasında bulunan basit kirişleritleri olarak davranır (Şekil 3.10). Rijit veya ona benzer davranış gösteren döşemeler, elastik mesnetli sürekli kiriş gibi yaklaşık olarak hesap edilebilir.

Döşemede yatay yüklerden oluşan kesme kuvveti ve eğilme moment etkilerinin bulunmasından sonra, bunların karşılandığının gösterilmesi gerekir (Şekil 3.11).

Eğilme momenti nedeni ile döşeme çevresinde ek donatıya gereksinim duyulabilir. Kirişsiz döşemelerde, döşeme doğrudan perde ve kolonlara mesnetlendiğinden perde ve kolon etrafındaki döşeme bölgesinde kesit etkilerinde önemli artışlar olur. Bu etkilerin güvenli bir şekilde ortadan kaldırılması gerekir.

Döşemeler ile ilgili koşullar Tablo-3.8'de verilmiştir. Burada;

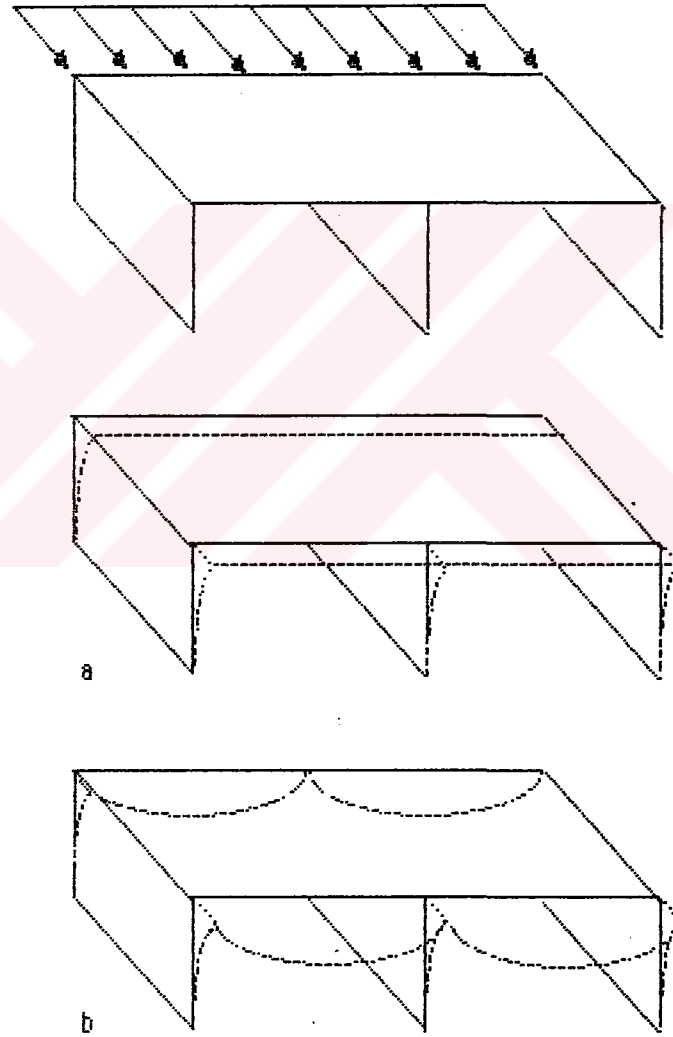
$p$ : Donatı miktarını

$l_n$ : Serbest açıklık veya boyu

$b_w$ : Kiriş gövde genişliğini

$h$ : Kiriş derinliğini

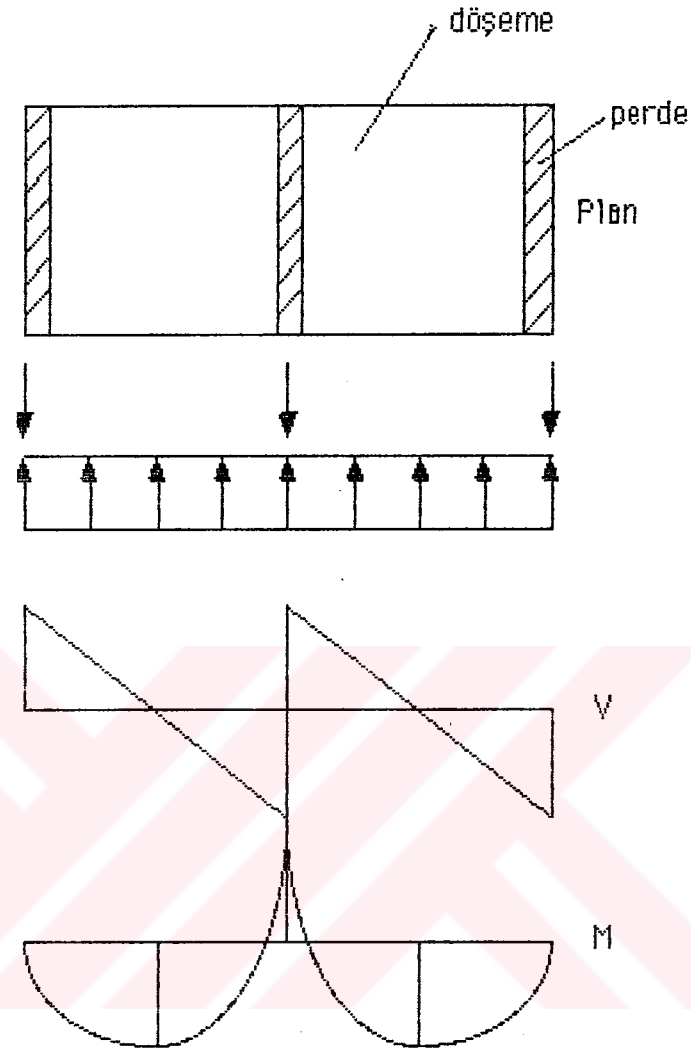
$h_f$ : Döşeme kalınlığını göstermektedir.



Şekil 3.10 Döşemelerin a) rijit diyafram davranışı b) elastik diyafram davranışı

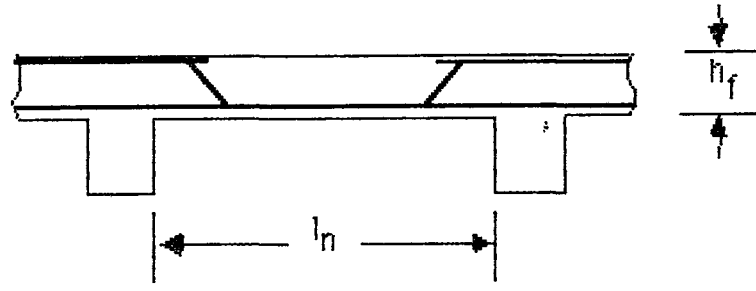


diyafram davranışı

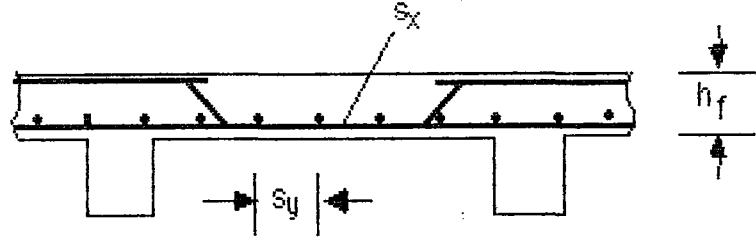


Şekil 3.11 Döşemelerde düzlem içi kesit etkileri

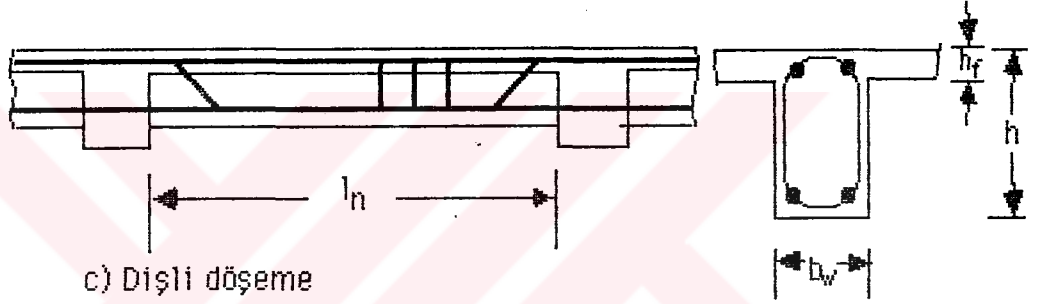
Basit döşeme deliklerinin dört kenarı boyunca altta ve üstte en az 1Ø12 lik çubuk bulunacak ve bu donatı her iki doğrultuda delik yüzünder kesilen donatıdan az olmayacaktır. Yatay yükler alan döşemenin normal çekme ve basınç kuvvetlerini diğer elemanlara emniyetle aktarabilmesi için ayrıca deliklerin her köşesine  $45^0$  açıyla altta ve üstte en az Ø12 lik yerleştirilecek ve bu çubukların uzunluğu ankraj boyunun iki katından az olmayacaktır (Şekil 3.12).



a) Tek yönlü dolu döşeme



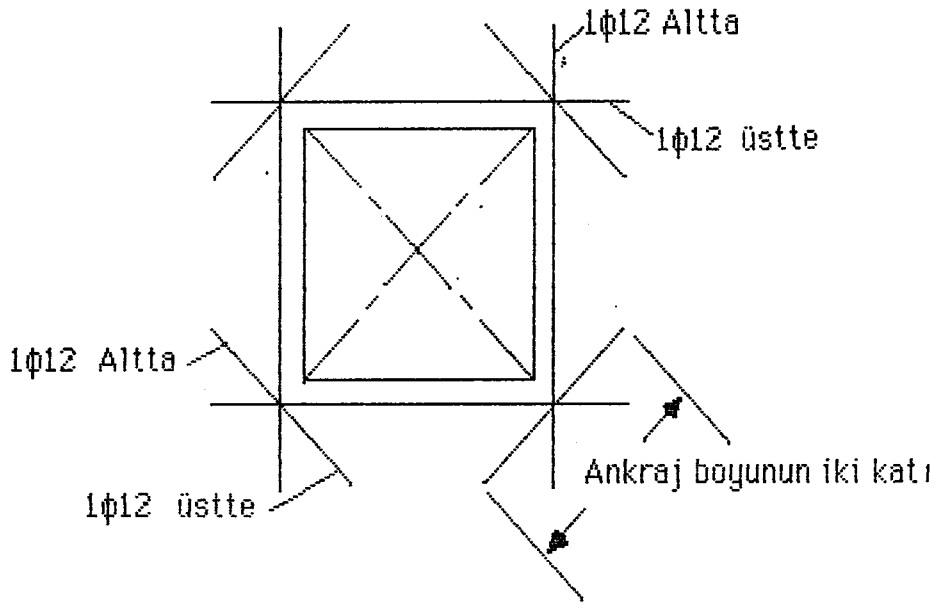
b) Çift yönlü dolu döşeme



c) Dışlı döşeme

| Tanım      | Tek yönlü         | Çift yönlü        | Dışlı döşeme |
|------------|-------------------|-------------------|--------------|
| min $h_f$  | 10 cm ve $l_n/30$ | 10 cm ve $l_n/40$ | 7 cm         |
| min $\rho$ | 0.003             | 0.0025            | 0.003        |
| max $s_x$  | 25 cm ve $2h$     | 25 cm ve $2h$     |              |
| max $s_y$  | 25 cm ve $2h$     | 25 cm ve $2h$     |              |
| min etriye | -                 | -                 | $\phi 6/25$  |
| min $b_w$  | -                 | -                 | 10 cm        |
| min $h$    | -                 | -                 | $l_n/20$     |

Tablo 3.8 Döşemeler için koşullar



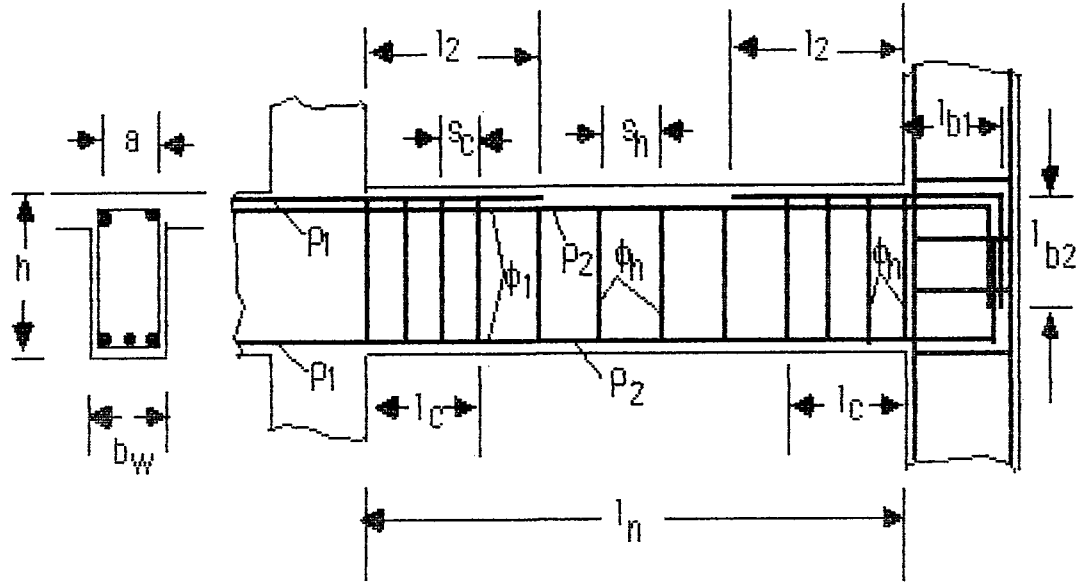
Şekil 3.12 Döşemelerdeki küçük deliklerin çevresine eklenecek donatılar

Dişli döşemelerde plak kalınlığı en az 7 cm. alınmalı ayrıca dereceden deprem bölgelerinde temel üstü yüksekliği 12 m'yi aşan yapılar yatay yükleri emniyetle temele aktarmak için, rijitlik merkezi ile kü merkezini elden geldiği kadar yaklaştıracak biçimde deprem perdeleri düzenlenmelidir. Kirişsiz döşemeler statik yüklere ek olarak deprem yüklerini de emniyetle taşıyabilecek ve düşey taşıyıcı elemanlara aktarabilecek boyut ve donatıyı kapsamalıdır.

### 3.3.2. Kirişler

Hesap eksenel basınç kuvveti;

$$N_d > 0.1 A_c f_{ck}$$



| Tanım                 | Öngörülen koşullar                 |
|-----------------------|------------------------------------|
| min $b_w$             | 25 cm                              |
| max $b_w$             | kolon genişliği + h                |
| min h                 | 30 cm ve $l_n/2$                   |
| max h                 | $4b_w$ ve $l_n/4$                  |
| min $l_c$             | $2h$                               |
| min $l_2$             | $l_n/4$ ve kenetleme boyu          |
| min $l_{b1}$          | $12\phi$                           |
| min $(l_{b1}+l_{b2})$ | $40\phi$ ; $l_{b2}=0$ ise $50\phi$ |
| min $\phi_h$          | 8 mm                               |
| max $s_h$             | 25 cm ve $h/2$ ve $b_w$            |
| max $s_c$             | $s_h/2$                            |
| min $s_c$             | 10 cm                              |
| max a                 | 40 cm                              |
| min $p_1$             | 0.006                              |
| min $p_2$             | 0.006(BÇI) ; 0.003(BÇIII)          |
| max $p_1, p_2$        | 0.02                               |
| min $p'_1$            | $p_1/2$                            |
| min $p'_2$            | $p_2/4$                            |

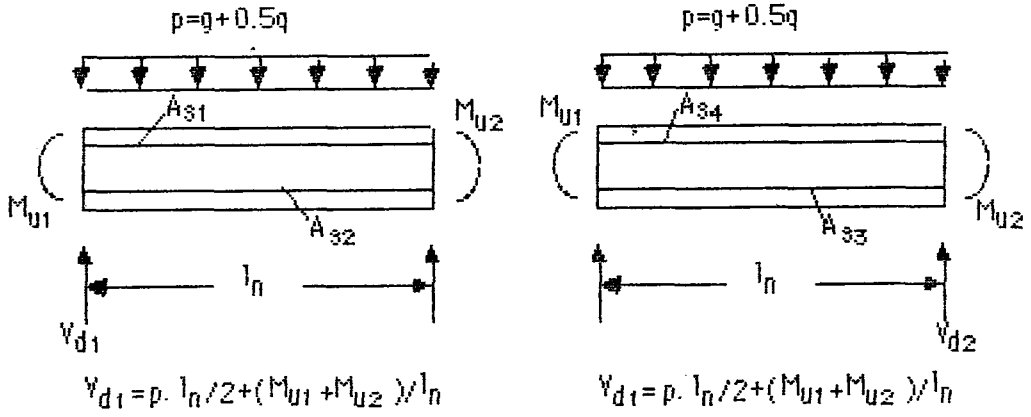
Tablo 3.9 Sünek kirişler için koşullar

olan ve eğilme momenti taşıyan yapı elemanları kiriş olarak kabul edilip ilgili koşullar Tablo 3.9'da verilmiştir. Kesitin  $M_u$  eğilme moment kapasitesi,  $M_d$  hesap momentinin 1,5 katından fazla ise Tablo-3.9'da verilen minimum donatı koşuluna bağlı kalınmayabilir. Ancak bu durumda gevrek göçmeyi önlemek için çekme donatısı oranı BÇ I için 0,0025'den ve BÇ II için 0,0015'den az olamaz.

Kirişler boyutlandırılırken mevcut basınç donatısı dikkate alınmamalıdır. Kiriş açıklığı boyunca herhangi bir kesitin negatif ve pozitif moment kapasitesi, mesnetteki maksimum moment kapasitesinin 1/4'ünden az olmamalıdır. Kirişin alt ve üst yüzünde en az 2Ø12 donatı bulunmalıdır. Kiriş açıklığı boyunca sürekli olmalıdır. Kirişin mesnet donatısının en az 1/4'ü bütün kiriş boyunca sürekli mesnetler arasında devam etmelidir.

Deprem yükleri altında kirişlerin mesnet bölgelerinde işaret değiştirerek eğilme momentleri meydana gelir ve bu bölgeler diğer kısımlara nazaran daha çok zorlanır. Burada betonun dayanımını artırmak ve daha sünük duruma getirmek için Tablo-3.9'da gösterildiği gibi etriye sıklaştırması ile  $l_c$  boyunda bir sargı bölgesi oluşturulmalıdır. Bu bölgelerdeki donatı bindirmeli ek yapılmamalıdır. Ancak, zorunlu durumda bindirmek ek aralığı 4/4 ve 15 cm'yi geçmeyen özel etriyelerle sarılarak yapılabilir.

Kirişlerde, kesme kuvvetinin karşılanması, depremin tekrarlı etkisi ve etki olması nedeni ile, 1. derece deprem bölgelerinde betonun katkısının olmadığı kabul edilecektir.



Şekil 3.13 Kiriş hesap kesme kuvvetleri

Betonarme kirişlerde kesme kuvvetinin karşılanması,  $M_{u1}$  ve  $M_{u2}$  iki uçtaki eğilme momenti kapasiteleri ve  $V_0$  basit kiriş kesme kuvveti dikkate alınarak,

$$V_d = (M_{u1} + M_{u2}) / L_n + V_0$$

denkleminde bulunan kesme kuvveti dikkate alınacaktır. Bu yolla güç kaybının gevrek kesme göçmesi yerine, sünek eğilme göçmesi ile meydana gelmesi sağlanır. Kiriş uçlarında moment kapasiteleri hesaplanırken beton ve donatı hesap dayanımları kullanılmalı ve çelikteki pekleşmeyi göz önüne almak amacı ile karakteristik donatı akma gerilmesi 1.2 ile çarpılmalıdır. Bu amaçla kesit yüksekliği ile kuvvet kolu arasındaki fark da düşünülerek kesit moment kapasitesi için,

$$M_{ui} = 1.1 A_{si} f_{yk} h$$

formülü kullanılabilir. Ancak öngörülen boyuna donatı, hesapla bulunanın  $\geq 20$ 'sinden fazla değil ise kesme kuvvetinin karşılanmasına esas olacak

kesme kuvveti,  $M_d$  eğilme dayanımları kullanılarak,

$$V_d = 1.20 (M_{d1} + M_{d2})/L_n + V_{od}$$

olarak bulunabilir.

Eğilme elemanlarında hesaplanan kesme kuvveti  $V_d$  hiçbir zarf  $0,12f_{ck}b_wd$  sınırını aşamaz. Bu koşul sağlanmıyorsa kesit boyutları koşulu sağlayacak kadar büyütülür.

### 3.3.3. Kolonlar

Hesap eksenel basınç kuvveti;

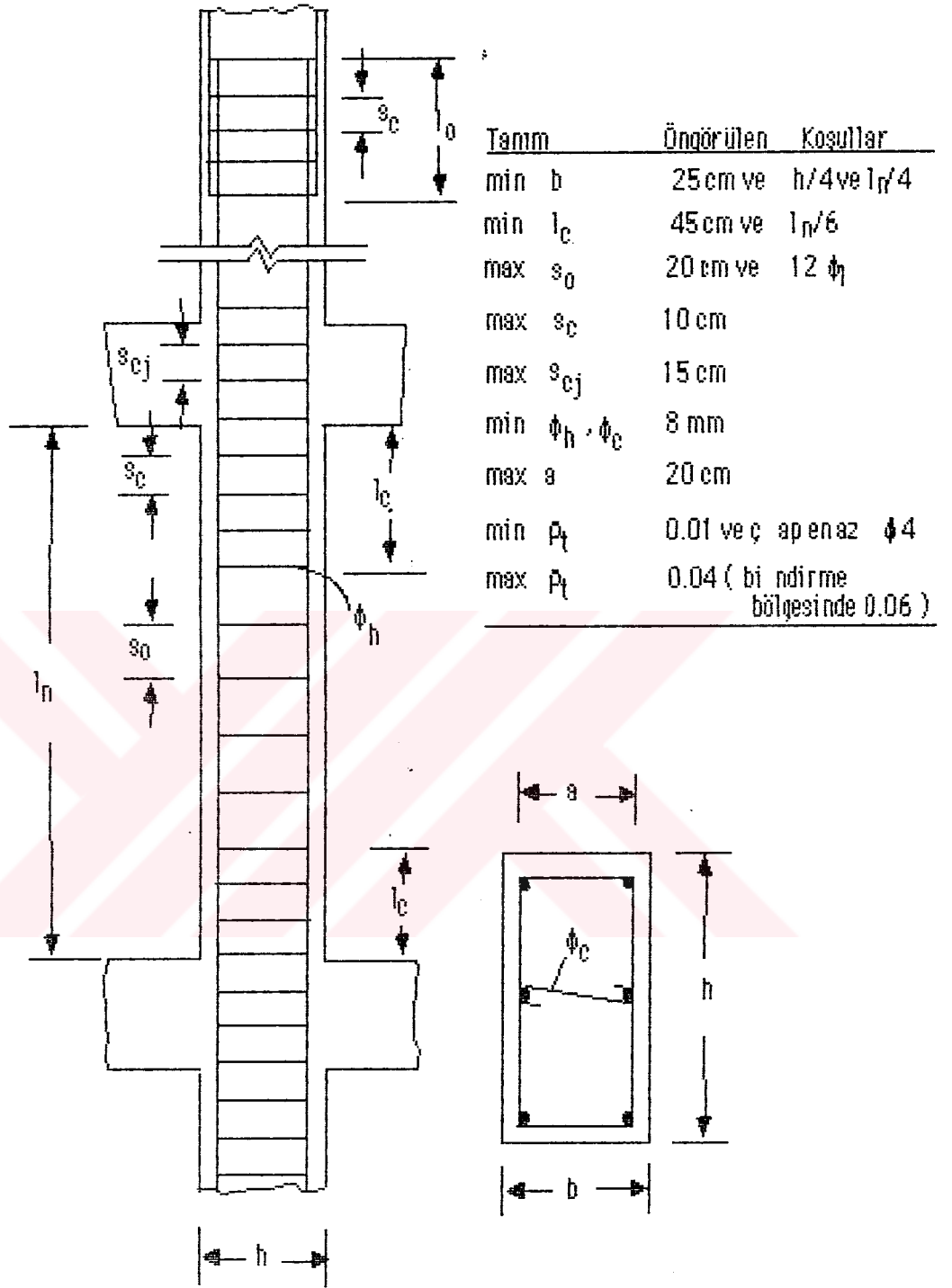
$$N_d > 0.1A_c f_{ck}$$

olan eğilme momenti yanında hakim normal kuvvet de taşıyan eleman kolon olarak kabul edilir. İlgili koşullar Tablo 3.10'da verilmiştir.

Kolonlar temel üst kolondan başlayarak yukarı doğru birbiri üzer gelecek şekilde yerleştirilecektir. Bu sağlanamıyorsa hesaplar yapı taşı sistemin düzensiz olduğu göz önüne alınarak yapılacaktır. Tüm kolonlar planda olabildiğince aksları boyunca aynı düzlem içine gelecek şekli düzenlenmesine çalışılmalıdır.

Daire kesitli kolonlarda en küçük çap 30 cm. olarak alınacak, 1<sup>o</sup> der deprem bölgelerinde kolon bürüt kesit alanı;

$$A_c > N_d/0.6f_{ck}$$



Tablo 3.10 Sünnek kolonlar için koşullar



koşulunu sağlamalıdır. Kolonların boyuna donatısı özel etriyeler ve çirozları (gerektiğinde) ya da fretle sarılmalıdır ;

Kolonlar enine donatı aralığı bakımından üç bölgede ele alınmalıdır (Şekil 3.14).

#### **a)Kolon sarılma bölgesi:**

Kolonların alt ve üst uçlarında, betonun sıkıca çemberlenmesir sağlamak ve böylece normal, kayma ve eğilme gerilmeleri altında gevre biçimde aniden kırılmasını önlemek amacı ile kolon sarılma bölgeler bulunacaktır. Sarılma bölgelerinde basit etriye kullanıldığında, birir yükseklikteki etriye;

$$A_{sh}/sc > 0.3a.f_{ck}/f_{ywk}(A_c/A_{ck}-1)$$

koşulunu sağlamalıdır. Burada  $A_c$  kolon kesit alanını ve  $A_{ck}$  etriye içind kalan beton alanını göstermektedir. Sarılma bölgesinde hacimsel donatı oranı;

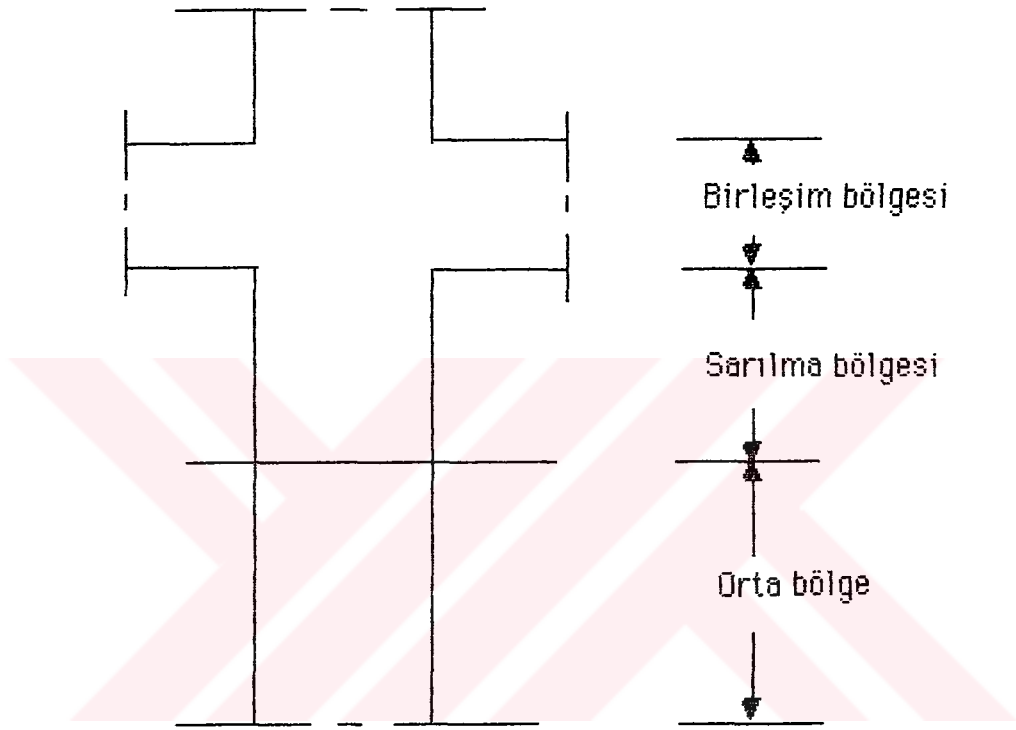
$$\rho_s > 0.5(f_{ck}/f_{ywk})(A_c/A_{ck}-1)$$

$$\rho_s > 0.005$$

koşulunu sağlayan, aralığı çekirdek çapının 1/5'i ve 8 cm. den fazla olmayar spiral donatı tercih edilmelidir. Eğer hesap kesme kuvveti,

$$V_d < 0.07f_{ck}A_c$$

ise denklem 1 ve 2 de verilen minimum hacimsel donatı yüzdesi koşul aranmaz ve sarılma bölgesindeki etriyelerin aralığı kolon orta bölgesindeki etriye aralığının yarısına indirmekle yetinilebilir.



Şekil 3.14 Kolon enine donatı bölgeleri

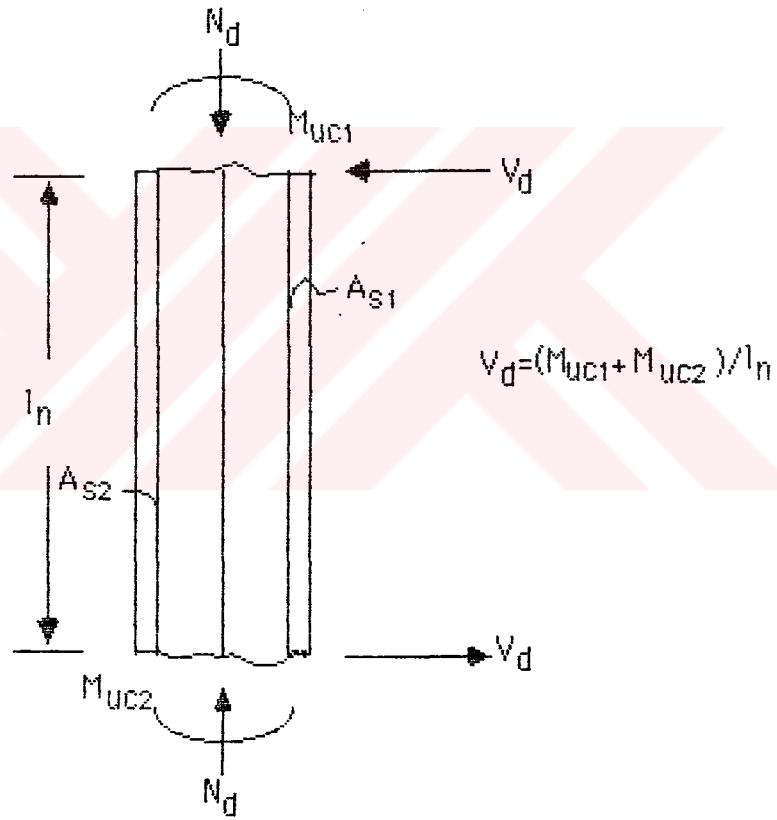
#### b) Kolon orta bölgesi:

Kolon orta bölgesindeki etriye alanı statik yükler ve deprem kuvvetleri altında ortaya çıkabilecek en büyük hesap kesme kuvvetini taşıyabilecek güçte olmalıdır.

Kolon orta bölgesindeki kesme kuvvetinin karşılanmasında beton katkısı göz önüne alınabilir. Hesap kesme kuvveti kolonun uç eğilme momenti kapasitesinden,

$$V_d = (M_{uc1} - M_{uc2}) / l_n$$

olarak elde edilmelidir . Böylece kesme kuvvetinin meydana getirdiği basınç gerilmelerinden gevrek göçme önlenmiş olur. Kolonun uçlarının moment kapasiteleri, kirişlerde olduğu gibi hesaplanacaktır.



Şekil 3.15 Kolon kesme kuvveti  $V_d$ 'nin hesaplanması

### c)Kolon-kiriş birleşim bölgesi:

Kritik bir bölge olan kolon-kiriş birleşim bölgesi beklenen davranış göstermesi için bu bölgenin uygun bir şekilde düzenlenmesi gerekir. Böyle büyük elastik olmayan şekil değiştirmeler altında dahi, kiriş ve kolonlar yeterli dayanım ve rijitliğin ortaya çıkması ve kiriş ve kolonun birlikt çalışması sağlanır.

Bir düğüm noktasına saplanan kolonların çerçeve yönündeki moment kapasitelerinin toplamı, o düğüm noktasına saplanan çerçeve yönündeki kirişlerin (kirişsiz döşemelerde döşeme şeritlerinin) moment kapasiteler toplamından en az %20 büyük olmalıdır (Şekil 3.16).

$$M_{uc1} > 1.20 M_{uk1}$$

Bu şekilde plastik mafsallın önce kirişte meydana gelmesi sağlanarak göçme mekanizması istenilen şekilde oluşur.

En dar kiriş genişliği, birleştiği kolon genişliğinin yarısından fazla en küçük kiriş yüksekliği en büyük kiriş yüksekliğinin en az 0,75 katı olmalıdır. Karşılıklı iki, üç ve dört kirişli birleşimler kuşatılmış birleşim olarak tanımlanır. Kuşatılmış Birleşim bölgelerinde sarılma bölgesinde öngörülen kolon sargı donatısı yarıya indirilebilir. Ancak sargı donatısı aralıkları Tablo 3.10'da verilen sınırı aşmamalıdır.

Kuşatılmış birleşim bölgesi sayılmayan bölgelerde kolon sarılma bölgesinde verilen sargı donatısı kullanılmalıdır. Birleşim bölgesinde hesap kesme kuvveti,

$$V_d = (M_{uk1} + M_{uk2})/d - V_{co}$$

formülü ile hesaplanacaktır. Bu denklemde  $V_{co}$  kolona etkiyen kesme kuvvetlerinin en küçüğüdür.  $M_{uk1}$  ve  $M_{uk2}$  kirişlerin moment kapasiteleri olup, gerçek boyut ve donatı temel alınarak hesaplanacaktır.

Bu şekilde hesaplanan hesap kesme kuvveti dört yandan kuşatılmış birleşimlerde;

$$V_d < 0.33 f_{ck}bh$$

karşılıklı iki veya üç yandan kuşatılmış birleşimlerde,

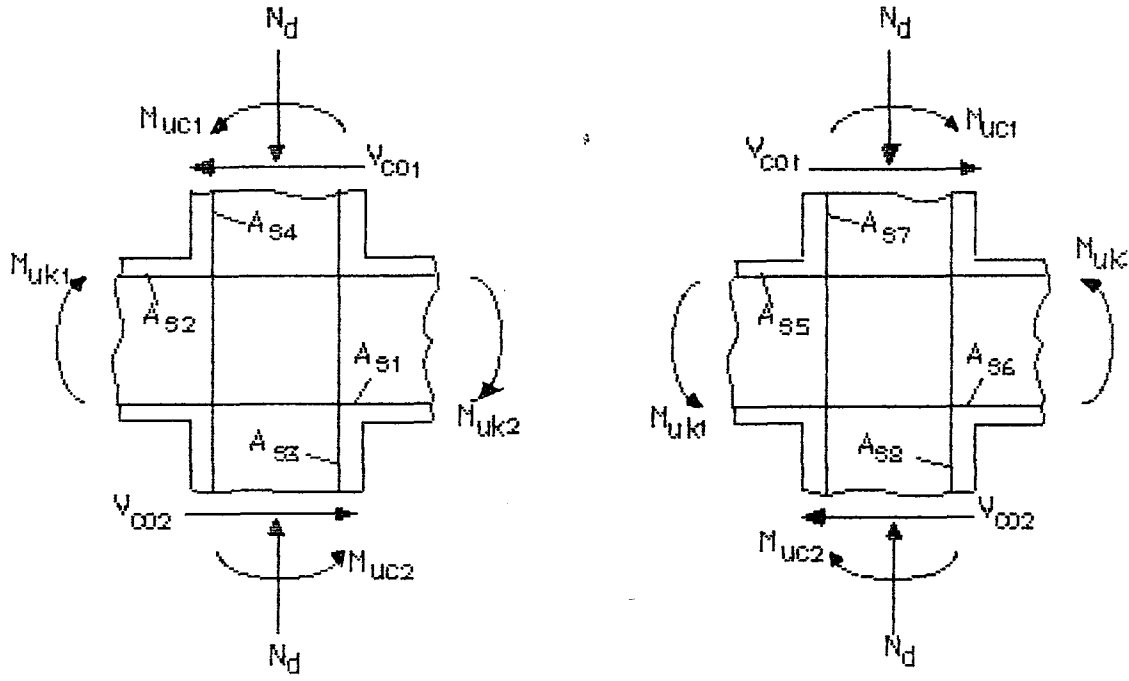
$$V_d < 0.27 f_{ck}bh$$

ve diğer birleşimlerde,

$$V_d < 0.20 f_{ck}bh$$

koşulunu sağlamalıdır. Verilen bu ifadeler ile oluşabilecek ani gevre göçmenin önlenmesi amaçlanır.

Mimariden kaynaklanan ve pencere boşlukları nedeni ile oluşan kısa kolonlardan kaçınılmalıdır. Eğer bu durum kaçınılmaz ise kolon tüm boyuncu sıklaştırılmış etriyelerle donatılara kolonun sünekliği artırılmalıdır.



Şekil 3.16 Birleşim yerlerinde oluşan etkiler

### 3.3.4. Perdeler

Perdeler yatay yüklere karşı yeterli bir rijitlik sağlayarak yapın relatif yerdeğiştirmelerini azaltırlar. Birbirine bağ kirişleriyle k seviyelerinde bağlı birden fazla perde de beraberce kullanılabilir. Bu t sistemlerde bağ kirişlerinde meydana gelen hasarla deprem enerjisinin önemli bir kısmı tüketilebilir.

Perdeler planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az 4 olan düşü taşıyıcı elemanlardır. İlgili koşullar Tablo 3.11'de verilmiştir.

Perdeler yatay yükler altında meydana gelebilecek momentleri, eksen kuvvetleri ve kesme kuvvetlerini taşıyabilecek şekilde projelendirilmelidir.

Perdelerin en çok zorlanan bölgeleri olan enkesitlerinin her iki ucund plandaki büyük boyutunun %10'u boyutunda ve 25 cm'den daha kısa olmayı

bölgelerde düşey donatı aralığı yarıya indirilecektir. Bir başka deyişle bölgede minimum düşey donatı oranı 0,005 olacaktır. Bu bölgede minimum donatı olarak en az 6ø12 bulunmalıdır. Perde kesitinde, homojen kes varsayımı altında çekme gerilmeleri hesaplanırsa, bu bölgedeki donatı oranı BÇI için 0,005 ve BÇIII için 0,003'den az olmamalıdır.

Perdeli yapılarda her bir yönde  $A_d$  kat perde duvarı toplam alanı yapının plandaki  $A_p$  alanına oranının  $n$  kat adedi olmak üzere,

$$A_d/A_p > 0.0015$$

olduğu durumlarda, perdelerin yüksek zorlanma bölgeleri dışında, yatay düşey donatı oranı (iki yüzün toplamı) 0,0015'e düşürülebilir.

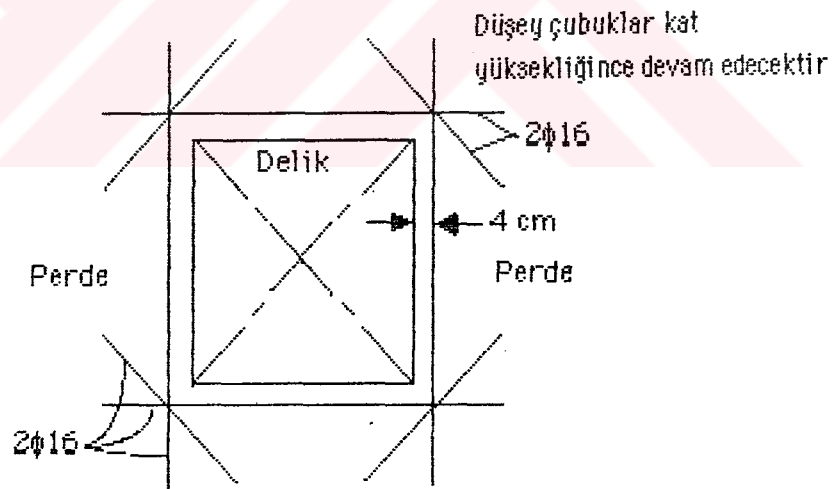
Perdelerdeki boşlukların kenarının iki yüzüne en az toplam 2ø yerleştirilmelidir. Kenardaki donatının toplam alanı boşluk nedeni kesilenlerin alanından az olmamalıdır. Ayrıca boşluk köşesine yat düzlemde 45° açı oluşturan en az 2ø16'lı donatı konulmalıdır. Perde kayır donatısı,  $h_w/l_w > 2$  ise, yatay donatı hesaplanırken betonun kayma katkısı da göz önüne alınabilir.

Depremle birlikte tüm yük etkileri altında, homojen kesit varsayımı i bulunacak perde ucundaki eksenel basınç gerilmeleri  $0,35f_{ck}$ 'den büyük ise perde uçlarında boyut ve donatı bakımından kolonlar için verilen koşulla uyularak özel uç elemanları düzenlenmelidir. Bu elemanlarda kolonlar iç öngörülen sargı donatısı tüm yükseklik boyunca kullanılmalıdır. Eğer per ucunda perdeye dik en az 50 cm. uzunluğunda başka perde varsa, bu özel elemanları yapılmayabilir.

Çok katlı perdeli sistemlerde bağ kirişleri özellikle kısa açıklık iseler, sistemin en çok zorlanan elemanlarını oluştururlar. Bu nedenle da

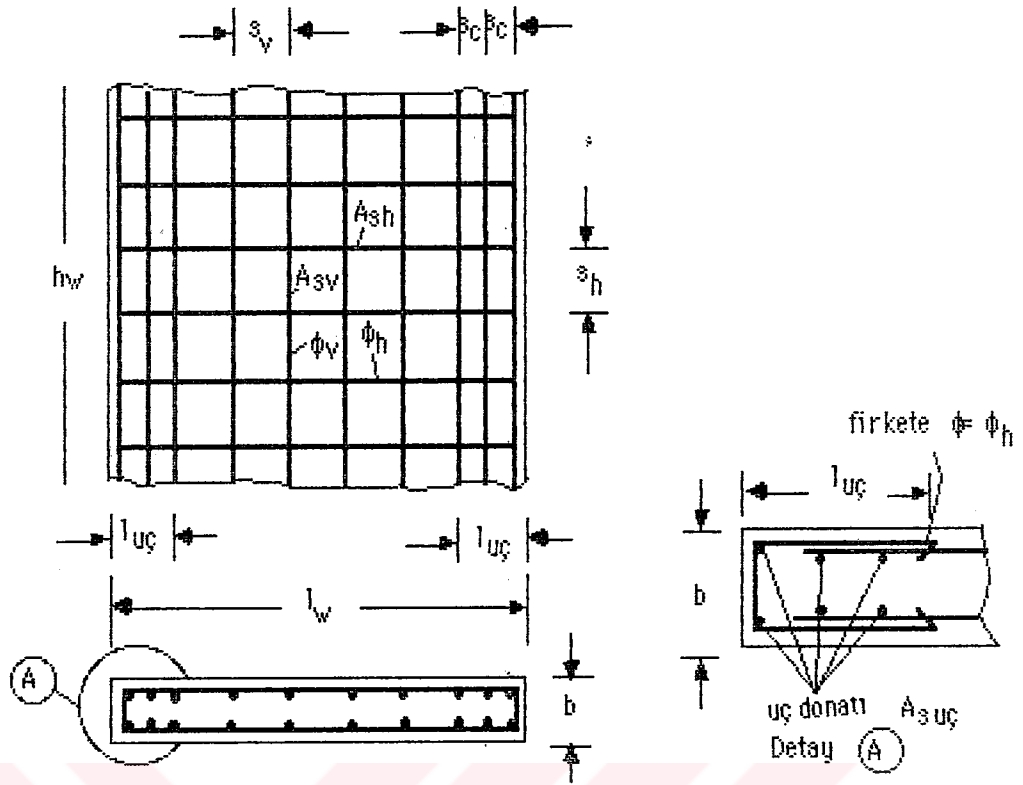
önce akma durumuna gelecekleri göz önüne alınarak eğilme rijitlikleri yarayan oranlarda azaltılarak hesap yapılması önerilmektedir. Buna rağmen bulunan kesit etkileri bu elemanların çok yüksek donatılı olmaları sonucu doğurur. Kısa açıklıklı olan bu perde bağ kirişlerinde oluşan büyük kes kuvvetinin karşılanması için köşegen donatı önerilmiştir (Şekil 3). Açıklığının yüksekliğine oranı 1-1,5 arasında olan kirişler için bu dor düzenin çok etkili olduğu belirlenmiştir. Bu oranın 5 değerine ulaşmış durumda dik köşegen donatısının etkili olduğu bildirilmiştir. Köşe donatısının perdeye giren kısımlarında kenetlenmesinin sağlanması donatının kalın olması ve aşırı zorlanabileceği nedeniyle önemlidir.

Büyük çekme kuvvetinden dolayı kenetlenme boyutunun yönetmeli verilene göre %50 arttırılması ve perde içinde çubukların ayrılarak aderar sağlanması uygundur.



Şekil 3.17 Perdelerdeki küçük deliklerin çevresine eklenecek donatılar

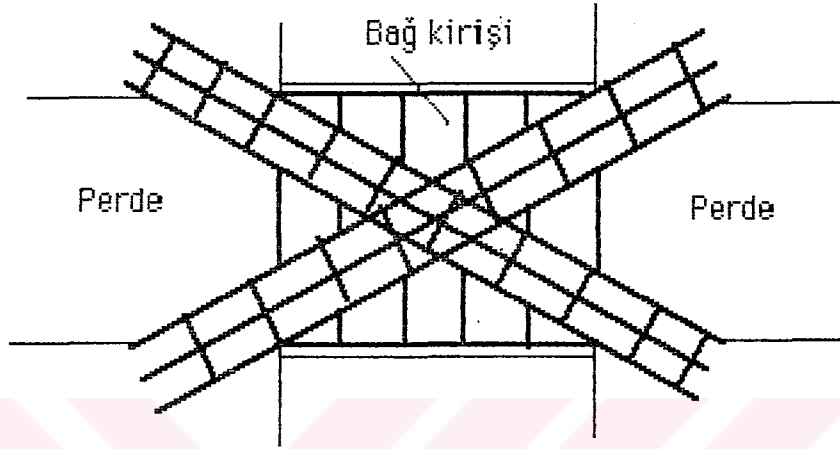




| Tanım                | Öngörülen koşullar                        |
|----------------------|-------------------------------------------|
| min $l_w$            | $4b$                                      |
| min $b$              | 15 cm ve kat yüksekliği/20                |
| max $s_v$            | 30 cm ve $1.5b$                           |
| max $s_h$            | 30 cm ve $1.5b$                           |
| min $\phi_v$         | 10 mm (Yüksek zorlanma bölgesinde)        |
| min $\phi_h$         | 8 mm (Yüksek zorlanma bölgesinde)         |
| max $s_c$            | $s_v/2$                                   |
| min $\rho_v, \rho_h$ | 0.0025                                    |
| min $\rho_{uc}$      | $0.005 (\rho_{uc} = A_{s uc} / b l_{uc})$ |
| min $A_{s uc}$       | $6 \phi 12$                               |
| min $l_{uc}$         | $0.11l_w$ ve 25 cm                        |

Tablo 3.11 Sünek perdeler için koşullar

Bağ kirişlerindeki sık etriye, kalın köşegen donatısının burkulmasını beton kabuğunun düşmesini önleyecektir. Ayrıca, bağ kirişinin sünekliğini arttıracaktır.



Şekil 3.18 Köşegen donatılı bağ kirişi

### 3.3.5. Temeller

Yapı temelleri, oturma ve farklı oturmalarından dolayı üst yapıda hasar neden olmayacak ve işlevini önlemeyecek biçimde, oturdukları zemin özelliklerine göre, temel tekniği ve zemin mekaniği prensipleri göz önünde tutularak projelendirilmelidir.

Tekil temeller her iki doğrultuda ve sürekli temeller sürekliliğe c doğrultuda bağlantı kirişleri ile birleştirilerek, deprem etkisine karşı birlikte çalışmaları sağlanmalıdır. Temel zeminin kaya olması halinde bağlantı kirişleri yapılmayabilir.

Bağlantı kirişleri yerine kalınlığı 15 cm. ve küçük açıklığın 1/50'sinde

az olmayan betonarme döşeme de yapılabilir. Bağlantı kirişleri ile ilgili koşullar Tablo 3.12'de verilmiştir. Etriye aralıkları 20 cm'yi geçmemelidir. Bağlantı kirişleri genellikle bağlandıkları temellerin kolonlarının yükleri ile orantılı zorlanır. Bu nedenle Tablo 3.12'deki hesap çekme kuvveti, kolon yüklerinin belirli bir oranı olarak verilmiştir.

| Deprem bölgesi | Boyut cinsi                                                                | Zemin cinsleri |      |      |      |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------|------|------|------|
|                |                                                                            | I              | II   | III  | IV   |
| 1 ve 2         | Hesap çekme kuvveti /<br>Bağlanan kolonların<br>düşey yüklerinin en büyüğü | 0.06           | 0.08 | 0.10 | 0.12 |
|                | Minimum en kesit (cm <sup>2</sup> )                                        | 625            | 900  | 900  | 900  |
|                | Minimum boyut (cm)                                                         | 25             | 30   | 30   | 30   |
|                | Minimum boyuna donatı                                                      | 4φ14           | 4φ16 | 4φ16 | 4φ18 |

Tablo 3.12 Bağlantı kirişleri için koşullar

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

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

2. Taşıyıcı sistemin, yükleri en kısa yoldan zemine aktaracak şekilde düzenlenmesi, 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 göz önüne alınarak belirlenmesi, kolonların zemine kadar kesintisiz devam etmesi önemlidir.

4. Depremde en çok zorlanan yerlerden birisi giriş-kolon birleşim bölgeleridir. Buralarda donatıların yerleştirilmesine, kenetlenmesinin sağlanmasına ve kolon etriyelerinin devam ettirilmesini özen gösterilmelidir.

5. Betonun yeterince süneklığe sahip olabilmesi için öngörülen dayanımda olması gerekir. Depremi alışılmışın üzerinde bir yükleme doğuracağı ve yapılan kusurların meydana çıkacağı unutulmamalıdır.

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

7. Taşıyıcı sistemde rijitlik ve taşıyıcılığın düzgün bir şekilde dağıtılmasının, depremden çıkan hasarların bazı bölgelerde yoğunlaşmadan tüm yapıda dağılmasını sağlayacağı gözden kaçırılmamalıdır.

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

9. Kolon ve perde kesitlerinin, taşıyıcı sistemin iki doğrultudaki rijitliğini birbirine yakınlaştıracak şekilde belirlenmesi, her iki

doğrultudaki deprem zorlamasının uyşumlu olarak taşınmasını sağlar.

10. Perdelerin, planda dış kenarlara yakın yerleştirilmesi, yapının tüm plan kesitinin burulma rijitliğini artırarak deprem etkilerinin daha düşük düzeyde kalmasını sağlar.

11. Kolon ve kirişlerdeki birleşim bölgelerine yakın sarılma bölgeleri deprem etkisi altında fazla zorlanacağı için, etriyelerin sıklaştırılması ile bu bölge betonlarında sarılmadan dolayı dayanım ve göçme şekil değiştirmesinin (sünekliğin) artması sağlanabilir. Böylece deprem etkilerinin neden olacağı hasar en düşük düzeye indirilebilir (Celep ve Kumbasar, 1992).



## KAYNAKLAR

1. **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.** (1975). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
2. **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.** (1991). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
3. ACI. 328-83., (1983). **Building Code Requirements for Reinforced Concrete Buildings.** American Concrete Institute
4. Celep, Z. , Kumbasar, N. , (1992). **Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş.** Sema Matbaacılık, İstanbul
5. Celep, Z. , Kumbasar, N. , (1993). **Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.** Sema Matbaacılık, İstanbul
6. Ersoy, U., (1985). **Betonarme.** Bizim Büro Basımevi, Ankara
7. Ersoy, U., (1993). **1992 Erzincan Depreminde Alınması Dersler.** 2. Ulusal Dep. Müh. Kong., İstanbul
8. Ersoy, U., (1992). **Erzincan Depremi ve Betonarme Yapılar.** 13 Mart 1992 Erzincan Dep. Müh. Rap., Ankara
9. Gülkan, P., Sucuoğlu, H., (1992). **Yapısal Hasarların Genel Değerlendirilmesi.** 13 Mart 1992 Erzincan Dep. Müh. Rap., Ankara

10. Haşgür, Z., Gündüz, H.N., (1992). **Betonarme Yüksek Yapılar.** İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

11. Karadoğan, F., Ülker, R., Boduroğlu, H., ve Yüksel, E., (1993). **Deprem Perdeleri ile Güçlendirilmiş Yapılar.** 2. Ulusal Dep. Müh. Kong., İstanbul

12. Kumbasar, N., (1993). **Kat Döşemeleri Farklı Düzeyde Olan Bina Çerçeveleri ile Depremde Çarpışma.** XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Ankara

13. Park, R., (1980). **Partially Prestressed Concrete in Seismic Design of Frames.** Proc. FIP Symp., Bucharest

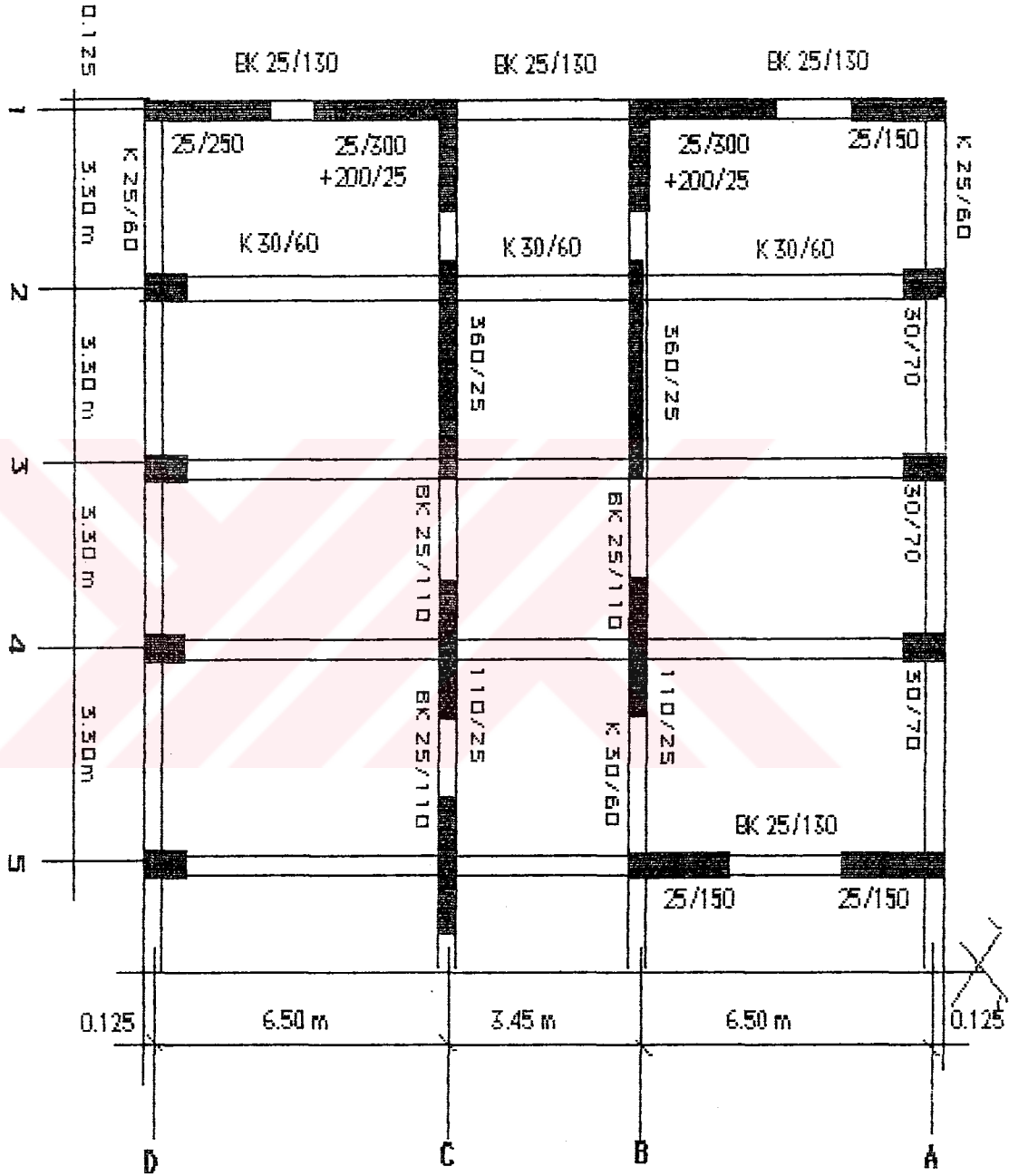
14. Paulay, T., (1980). **Concrete Structures.** Pentech Press, London

15. TS 500, (1985). **Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları.** Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

16. Wakabayashi, M., (1986). **Design of Earthquake Resistant Buildings.** Mc Graw Hill Book Company, Newyork

EK-1

500 m<sup>2</sup> alana sahip eğitim binasının yaklaşık method (Muto) ile deprem yüklerinin hesabı ve kolon donatılarının bulunması



7 Katlı Eğitim Binası Kalıp Planı



1. Derece deprem bölgesi

$$g_0 = 4.5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_0 = 3.5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{koridor}} = \text{ kN/m}^2$$

$$n = 7 \text{ kat}$$

$$h_K = 3.20 \text{ m}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

### Sabit Yükle

$$G_i = 5190 \text{ kN} = 5200 \text{ kN}$$

### Hareketli Yükle

$$Q_i = 1870 \text{ kN}$$

### Bir Katın Ağırlığı $W_i$

$$W_i = G_i + nQ_i \quad n = 0.60$$

$$W_i = 5200 + 0.60 \times 1870 = 6322 \text{ kN}$$

$$F = C W$$

$$C = C_0 \cdot S \cdot I \cdot 1/R = 0.40 \times 1.0 \times 1.4 \times 1/3.2 = 0.175$$

$$W = 0.8 \times 6322 + 6 \times 6322 = 7523 \text{ kN}$$

$$F_i = (F - F_t) W_i h_i / ( \sum W_i h_i ) \quad H/D < 3 \text{ ise } F_t = 0 \text{ alınabilir}$$

## Katlara etkiyen deprem kuvvetleri \*

| Kat   | $W_j$ (MN) | $h_j$ | $W_j h_j$ | $\Sigma W_j h_j / W_j h_j$ | $F_j$ (kN) | $V_{kat}$ (kN) |
|-------|------------|-------|-----------|----------------------------|------------|----------------|
| 6     | 5.058      | 22.4  | 113.3     | 0.2105                     | 1584       | 1584           |
| 5     | 6.322      | 19.2  | 121.4     | 0.2256                     | 1697       | 3281           |
| 4     | "          | 16.0  | 101.2     | 0.1880                     | 1414       | 4695           |
| 3     | "          | 12.8  | 80.9      | 0.1503                     | 1131       | 5826           |
| 2     | "          | 9.6   | 60.7      | 0.1128                     | 849        | 6675           |
| 1     | "          | 6.4   | 40.5      | 0.0753                     | 566        | 7241           |
| Zemin | "          | 3.2   | 20.2      | 0.0375                     | 282        | 7523           |

$$\Sigma W_j h_j = 538.2 \text{ MNm}$$

X-ekseninde 1. katta oluşan deprem yükleri

| Kolon<br>Perde             | $k_D/k_C$ | $\alpha$ | $D_i$ | $H_d$ | $U_c$ | $I-y$<br>$y$ | $M_{ust}$<br>$M_{alt}$ |
|----------------------------|-----------|----------|-------|-------|-------|--------------|------------------------|
| A2,A3,A4<br>D2,D3,D4<br>D5 | 0.50      | 0.20     | 6.6   | 620   | 64.5  | 0.50<br>"    | 103                    |
| A1                         | 0.578     | 0.220    | 83.0  | 490   | 335.5 | "            | 537                    |
| B1                         | 0.067     | 0.032    | 182.7 | 1045  | 738.5 | "            | 1182                   |
| C1                         | 0.089     | 0.042    | 239.8 | 1045  | 969.3 | "            | 1557                   |
| D1                         | 0.196     | 0.089    | 152.5 | 570   | 616.4 | "            | 986                    |
| B2,C2                      | 3.22      | 0.62     | 15.2  | 1720  | 147.9 | "            | 236                    |
| B4,C4,C5                   | 5.31      | 0.72     | 5.4   | 995   | 52.8  | "            | 85                     |
| A5                         | 0.457     | 0.186    | 68.8  | 645   | 278.1 | "            | 445                    |
| B5                         | 0.520     | 0.20     | 76.3  | 995   | 308.4 | "            | 493                    |

## X-ekseninde zemin katta oluşan deprem yükleri

| Kolon<br>Perde          | $k_D/k_C$ | $a$   | $D_i$ | $N_d$ | $U_c$ | I-y<br>y     | $M_{ust}$<br>$M_{alt}$ |
|-------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|--------------|------------------------|
| A2,A3,A4<br>D2,D3,D4,D5 | 0.49      | 0.40  | 13.2  | 744   | 85.5  | 0.30<br>0.70 | 82<br>192              |
| A1                      | 0.57      | 0.42  | 155.4 | 588   | 136.7 | 0.30<br>0.70 | 131<br>306             |
| B1                      | 0.066     | 0.27  | 1542  | 1254  | 1357  | 0.30<br>0.70 | 1303<br>3040           |
| C1                      | 0.088     | 0.28  | 1599  | 1254  | 1407  | 0.30<br>0.70 | 1351<br>3152           |
| D1                      | 0.196     | 0.316 | 541.3 | 684   | 476.3 | 0.30<br>0.70 | 457<br>1067            |
| B2,C2                   | 3.22      | 0.71  | 17.5  | 2064  | 113.4 | 0.45<br>0.55 | 163<br>200             |
| B4,C4,C5                | 5.31      | 0.79  | 5.9   | 1194  | 38.2  | 0.45<br>0.55 | 55<br>67               |
| A5                      | 0.457     | 0.39  | 144.3 | 774   | 127.0 | 0.30<br>0.70 | 122<br>285             |
| B5                      | 0.520     | 0.40  | 148.0 | 1194  | 130.0 | 0.30<br>0.70 | 125<br>291             |

## X-ekserinde zemin katta oluşan deprem yükleri

| Kolon<br>Perde          | $k_D/k_C$ | $a$   | $D_i$ | $N_d$ | $U_c$ | I-y<br>y     | $M_{ust}$<br>$M_{alt}$ |
|-------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|--------------|------------------------|
| A2,A3,A4<br>D2,D3,D4,D5 | 0.49      | 0.40  | 13.2  | 744   | 85.5  | 0.30<br>0.70 | 82<br>192              |
| A1                      | 0.57      | 0.42  | 155.4 | 588   | 136.7 | 0.30<br>0.70 | 131<br>306             |
| B1                      | 0.066     | 0.27  | 1542  | 1254  | 1357  | 0.30<br>0.70 | 1303<br>3040           |
| C1                      | 0.088     | 0.28  | 1599  | 1254  | 1407  | 0.30<br>0.70 | 1351<br>3152           |
| D1                      | 0.196     | 0.316 | 541.3 | 684   | 476.3 | 0.30<br>0.70 | 457<br>1067            |
| B2,C2                   | 3.22      | 0.71  | 17.5  | 2064  | 113.4 | 0.45<br>0.55 | 163<br>200             |
| B4,C4,C5                | 5.31      | 0.79  | 5.9   | 1194  | 38.2  | 0.45<br>0.55 | 55<br>67               |
| A5                      | 0.457     | 0.39  | 144.3 | 774   | 127.0 | 0.30<br>0.70 | 122<br>285             |
| B5                      | 0.520     | 0.40  | 148.0 | 1194  | 130.0 | 0.30<br>0.70 | 125<br>291             |

## Y-ekseninde zemin katta oluşan deprem yükleri

| Kolon<br>Perde          | $k_b/k_c$ | $\alpha$ | $D_i$ | $N_d$ | $D_c$ | $1-y$<br>$y$ | $M_{ust}$<br>$M_{alt}$ |
|-------------------------|-----------|----------|-------|-------|-------|--------------|------------------------|
| A1                      | 2.27      | 0.648    | 4.9   | 588   | 74.7  | 0.40<br>0.60 | 96<br>143              |
| A2,D2,A3<br>A4,D3,D4,D5 | 6.19      | 0.817    | 5.0   | 744   | 76.2  | 0.45<br>0.55 | 110<br>134             |
| B1,C1                   | 0.08      | 0.29     | 835   | 1254  | 703   | 0.30<br>0.70 | 675<br>1575            |
| B2,C2                   | 0.09      | 0.28     | 1247  | 2064  | 1049  | 0.30<br>0.70 | 1007<br>2345           |
| B4                      | 2.25      | 0.65     | 82    | 1194  | 69    | 0.40<br>0.60 | 88<br>133              |
| C4,C5                   | 2.17      | 0.64     | 81    | 1194  | 68    | 0.40<br>0.60 | 87<br>131              |
| D1                      | 1.54      | 0.576    | 7.2   | 684   | 109.7 | 0.40<br>0.60 | 140<br>211             |
| A5                      | 4.93      | 0.784    | 5.9   | 774   | 89.9  | 0.45<br>0.55 | 130<br>158             |
| B5                      | 6.7       | 0.828    | 8.7   | 1194  | 132.6 | 0.45<br>0.55 | 191<br>233             |

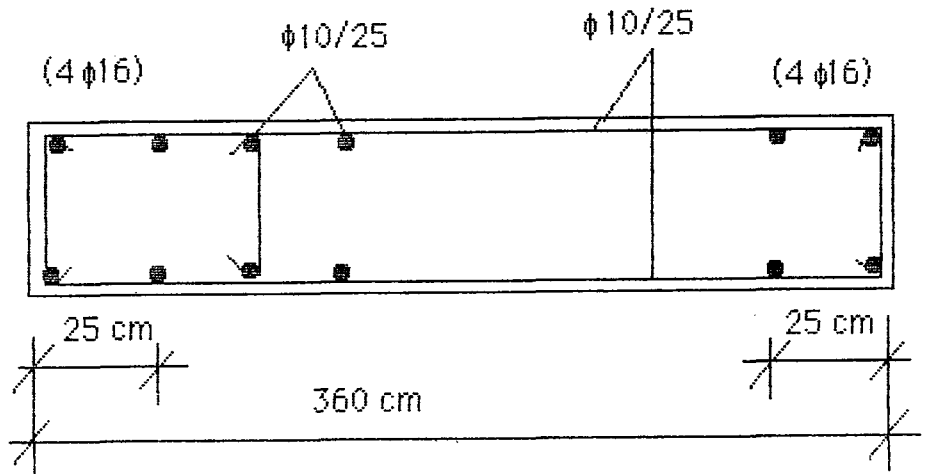
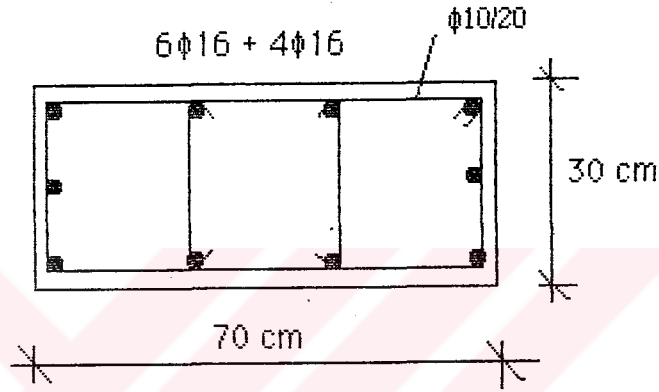
## Y-ekseninde zemin katta oluşan deprem yükleri

| Kolon<br>Perde          | $k_b/k_c$ | $\alpha$ | $D_i$ | $N_d$ | $D_c$ | I-y<br>y     | $M_{ust}$<br>$M_{alt}$ |
|-------------------------|-----------|----------|-------|-------|-------|--------------|------------------------|
| A1                      | 2.27      | 0.648    | 4.9   | 588   | 74.7  | 0.40<br>0.60 | 96<br>143              |
| A2,D2,A3<br>A4,D3,D4,D5 | 6.19      | 0.817    | 5.0   | 744   | 76.2  | 0.45<br>0.55 | 110<br>134             |
| B1,C1                   | 0.08      | 0.29     | 835   | 1254  | 703   | 0.30<br>0.70 | 675<br>1575            |
| B2,C2                   | 0.09      | 0.28     | 1247  | 2064  | 1049  | 0.30<br>0.70 | 1007<br>2345           |
| B4                      | 2.25      | 0.65     | 82    | 1194  | 69    | 0.40<br>0.60 | 88<br>133              |
| C4,C5                   | 2.17      | 0.64     | 81    | 1194  | 68    | 0.40<br>0.60 | 87<br>131              |
| D1                      | 1.54      | 0.576    | 7.2   | 684   | 109.7 | 0.40<br>0.60 | 140<br>211             |
| A5                      | 4.93      | 0.784    | 5.9   | 774   | 89.9  | 0.45<br>0.55 | 130<br>158             |
| B5                      | 6.7       | 0.828    | 8.7   | 1194  | 132.6 | 0.45<br>0.55 | 191<br>233             |

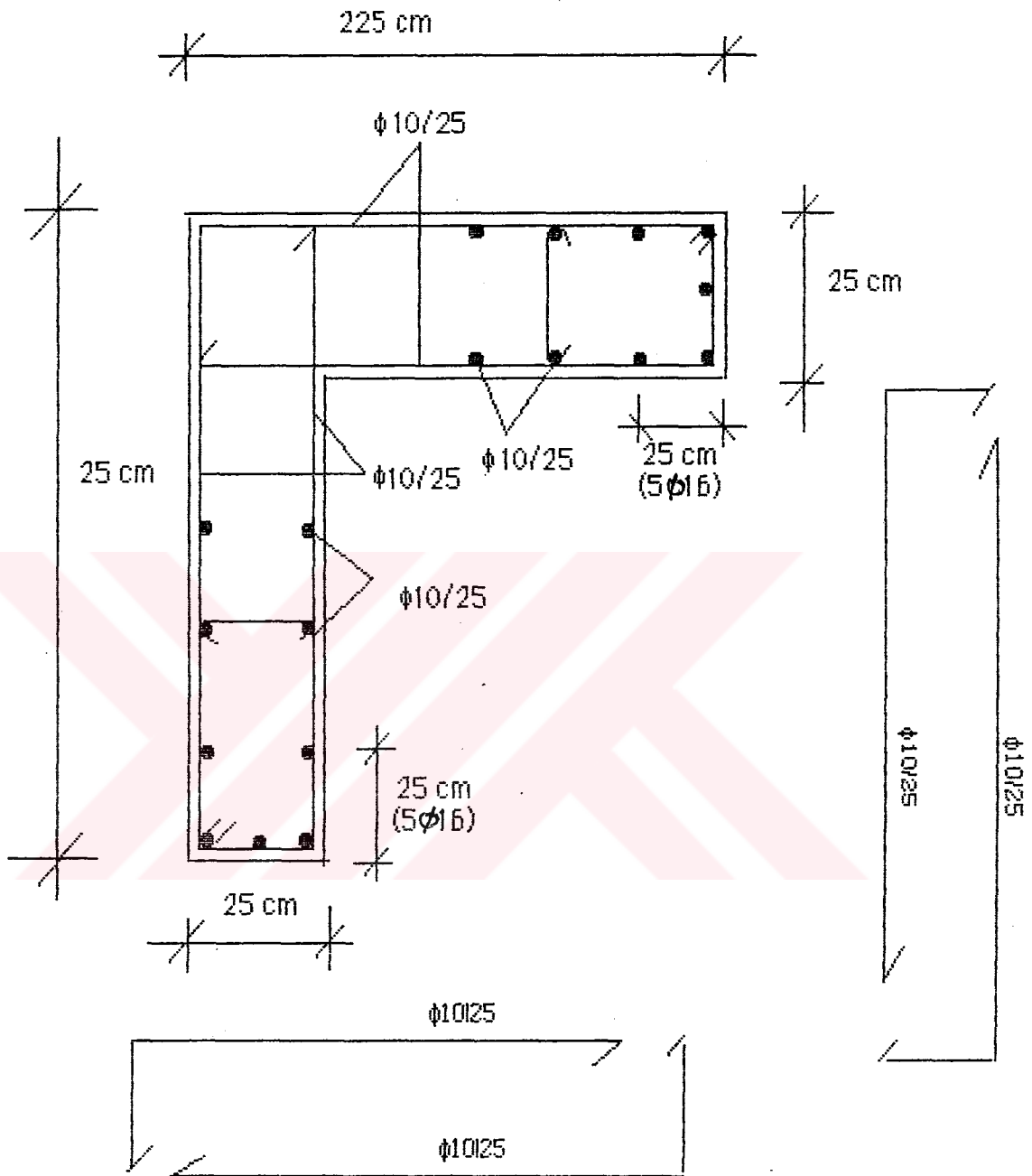
### Kolon Donatıları;

Yapılan hesaplarda yönetmeliklerde belirtilen minimum donatı miktarı ile bütün kolon ve perdelerin işlevlerini yerine getirebilecekleri görüldü.

Aşağıda seçilen kolon ve perdeler için donatı donatı detayları verilmiştir (önerilmiştir).







Not: C4 kolonu için  $M_{ku1} + M_{ku2} > M_{uc1} + M_{uc2}$  olduğundan plastik mafsalın kiriş yerine kolonda oluşmaktadır. Bu olayı önlemek için C4 kolonunun ebatları 80x35 olarak değiştirilmesi uygundur.