

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128653

BETONARME YAPILARIN DEPREMDE  
HASAR  
GÖRME NEDENLERİ VE ÇÖZÜM  
ÖNERİLERİ

İnşaat Müh. Berzan HOCAOĞLU

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Programında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TE YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zekeriya POLAT

29.01.2002

Prof. İbrahim Ekiz  
Prof. Zekai Celep

Prof. Dr. Zekeriya POLAT  
Anziller

128653

İSTANBUL, 2002

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. YAPI YERİ SEÇİMİNİN DOĞRU YAPILMAMASI.....	1
1.1 Zemin Sıvılaşması.....	1
1.1.1 Sıvılaşma Nasıl Meydana Gelir?.....	2
1.1.2 Sıvılaşma İçin Gerekli Koşullar.....	5
1.1.3 Yüzeyde Gözlenemeyen Sıvılaşma.....	7
1.1.4 Sıvılaşmanın Etkileri.....	8
1.1.5 Sıvılaşmadan Kaynaklanan Hasarların Azaltılması.....	13
1.1.5.1 Sıvılaşmaya Duyarlı Zeminlerde Yapı İnşasından Kaçınılması.....	13
1.1.5.2 Sıvılaşmaya Karşı Dayanıklı Yapı İnşası.....	14
1.1.5.3 Zemin İyileştirilmesi.....	16
1.2 Zemin Yapı Etkileşiminin Gözönüne Alınmaması.....	17
1.2.1 Zemin Yapı Etkileşimi.....	19
1.2.2 Zemin Hakim Periyodu ile Yapı Periyodu İlişkisi.....	20
1.3 Bir Yapının Farklı Zeminlere Oturması.....	22
2. BETON KALİTESİNİN DÜŞÜK OLMASI.....	23
2.1 Düşük Beton Dayanımının Kolon Eksenel Yüğü Üzerindeki Etkisi.....	23
2.1.1 Düşük Beton Dayanımının Eksenel Yüğü Altındaki Kolonların Moment Taşıma Gücüne Etkisi.....	24
2.2 Betonun İyi Yerleştirilmemesi.....	26
2.3 Donatı sıyrılması.....	26
3. BETONARME YAPI ELEMANLARININ SÜNEKLİĞİ.....	27
3.1 Süneklik Düzeyi Yüksek Kolon Tasarımı.....	29
3.2 Süneklik Düzeyi Yüksek Kiriş Tasarımı.....	32
3.3 Süneklik Düzeyi Yüksek Perde Tasarımı.....	35
4. TAŞIYICI SİSTEM SEÇİMİNDE YAPILAN HATALAR.....	38
4.1 Kolonların Kirişlerden Daha Zayıf Yapılması.....	38
4.2 Yumuşak Kat.....	39

	Sayfa
4.3 Zayıf Tabliye, Asmolen Ve Kirişsiz Döşemeler.....	39
5. YAPILARDA YATAY RİJİTLİĞİN AZ OLMASI NEDENİ İLE İKİNCİ MERTEBE MOMENTLERİN ARTMASI.....	42
5.1 Yatay rijitliğin her iki doğrultuda sağlanmaması.....	47
6. YAPI DÜZENSİZLİKLERİ.....	49
6.1 Burulma düzensizliği.....	49
6.2 Döşeme süreksizliği.....	50
6.3 Planda çıkıntılar bulunması.....	51
6.4 Kütle ve rijitlik düzensizlikleri Burulma düzensizliği.....	52
6.5 Taşıyıcı olmayan elemanlar nedeni ile burulma etkileri.....	53
6.6 Çerçevelerin yatay ve düşeydeki süreksizliği.....	54
7. DONATI DETAYI YETERSİZLİKLERİ.....	57
7.1 Kiriş Ve Kolon Uçlarında Etriye Sıklaştırmasının Yapılmaması.....	59
7.1.1 Sargılı Beton Davranışı.....	59
7.2 Kolon Kiriş Birleşim Bölgesinde Kalan Kolon Etriyelerinin Devam Ettirilmemesi.....	63
7.3 Minimum Donatı Oranı, Minimum Çiroz Adedi Ve Benzeri Detayların Uygulanmaması.....	64
8. MİMARİDE YAPILAN HATALAR.....	65
8.1 Mimari Tasarımı Etkileyen Faktörlerin Deprem Açısından İrdelenmesi	66
8.2 Kısa Kolon Durumlarının Depremde Neden Olduğu Hasarlar.....	69
9. DEPREMDE YAPILARIN HASAR GÖRMESİNİN DİĞER NEDENLERİ .....	72
9.1 Boyutlandırmada Kapasite Tasarımına Önem Verilmemesi.....	72
9.2 Bitişik Nizam Yapılarda Dilatasyon Derzlerinin Bırakılmaması.....	74
9.3 Döşeme Ve Sıva Kaplamalarının Gereğinden Daha Kalın Ve Ağır Yapılması.....	75
9.4 Yapının İçinde Tasarlanan Su Ve Kömür D. Benzer Eklerin Zararları..	75
9.5 Temellerin Bağ Kirişleriyle Birbirine Bağlanmaması.....	75
9.6 Farklı Seviyelerdeki Temel ( Topal Temel).....	78
9.7 Malzeme Ve İşçilikte Kalitesizlik Ve İnşaat Denetim Yetersizliği....	78
10. GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ VE MALZEMELERİ.....	80
10.1 Onarım ve güçlendirme malzemeleri.....	80
10.1.1 Tamir harçları ile onarım.....	80
10.1.2 Püskürtme beton ile onarım ve güçlendirme.....	83
10.1.3 Epoksi reçinesi ile onarım ve güçlendirme.....	87
10.1.4 Çelik şeritler ile onarım ve güçlendirme.....	93

10.1.5	Lif takviyeli plastik levhalarla onarım ve güçlendirme.....	95
11.	GÜÇLENDİRME İLE YAPILARDAN BEKLENEN DAVRANIŞ BİÇİMLERİ.....	96
11.1	Güçlendirilen yapı elemanları üzerinde yapılan deneyler.....	96
11.1.1	Onarılmış / Güçlendirilmiş kiriş deneyleri.....	96
11.1.1.1	Betonarme katmanla güçlendirilmesi.....	96
11.1.1.2	Kirişe yapıştırılan çelik plakalarla yapılan onarım ve güçlendirme.....	97
11.1.2	Mantolu kolon deneyleri.....	98
11.1.2.1	Eksenel yüklü mantolu kolonlar.....	98
11.1.2.2	Eksenel yük ve eğilme altında denenen mantolu kolonlar.....	99
	KAYNAKLAR.....	101
	ÖZGEÇMİŞ.....	102



**SİMGE LİSTESİ**

$a$	Depremde oluşan yatay ivme
$F_c$	Beton kesit alanı
$f_{yd}$	Hesapta kullanılacak çelik akma dayanımı
$f_{ck}$	28 günlük betonun silindir basınç dayanımı (karakteristik dayanım)
$f_{ctd}$	Hesapta kullanılacak beton çekme dayanımı
$L_b$	Donatı çubuğunun kenetlenme boyu
$M_d$	Hesapta kullanılacak eğilme momenti
$N$	Eksenel kuvvet
$N_0$	Eksenel basınç altında taşıma gücü
$V$	Kesme kuvveti
$\rho$	Çekme donatısı oranı
$\rho'$	Basınç donatısı oranı
$\sigma$	Gerilme



## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Sıvılaşma ve kum dayklarının oluşumunu gösteren en kesit .....	4
Şekil 1.2	En kolay sıvılaşan ve potansiyel sıvılaşma eğilimine sahip zeminler için sıvılaşma alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri .....	6
Şekil 1.3	Sıvılaşma sonucu yüzeyde ve yeraltında gelişen olumsuzluklar.....	7
Şekil 1.4	Sıvılaşma sonucu zeminin dayanımını yitirmesi ve yapının yana yatması.	9
Şekil 1.5	Zeminin salınımının mekanizması.....	10
Şekil 1.6	Yanal yayılmanın mekanizması.....	10
Şekil 1.7	Akma türü kayma.....	12
Şekil 1.8	Karla kaplı bir rampa üzerindeki bir cismin hareket eğrisi.....	12
Şekil 1.9	Sıvılaşmış bölge.....	14
Şekil 1.10	Sıvılaşma nedeni ile kazık temellere etkileyen eğilme momentleri ve yapının rotasyona uğraması .....	15
Şekil 1.11	San Francisco 1957 Depreminde zemin kalınlığının kesme kuvvetine etkisi.....	18
Şekil 1.12	Zemin yapı etkileşiminin değişik hassaslıkta modellenmesi .....	20
Şekil 1.13	Farklı zeminlere oturan bir yapı örneği.....	22
Şekil 2.1	Uzun süreli yüklemelerde beton basınç gerilmesi / beton dayanımı oranının beton birim şekil değiştirme ve kırılmaya etkisi.....	24
Şekil 2.2	Eksenel yük – moment karşılıklı etki diyagramı.....	25
Şekil 3.1	Yanal şekil değiştirmesi değişik şekillerde sınırlandırılmış betonun gerilme – şekil değiştirme eğrisi.....	28
Şekil 3.2	Betonun davranışına etriye aralığının etkisi.....	28
Şekil 3.3	Sargılı ve sargısız betonda N / No oranının sünekliğe etkisi.....	29
Şekil 3.4	Normal kuvvetin kesit sünekliğine etkisi.....	29
Şekil 3.5	Etriye aralığının burkulma boyuna etkisi.....	30
Şekil 3.6	Beton basınç dayanımının yanal basınçla artması.....	30
Şekil 3.7	Süneklik düzeyi yüksek kolon tasarımında dikkat edilmesi gereken donatı detayları.....	31
Şekil 3.8	Sünek giriş davranışı.....	32
Şekil 3.9	Kirişlerde etriye sıklaştırması ile ilgili ayrıntılar.....	33
Şekil 3.10	Kirişlerde donatı yerleştirme şekilleri ve ankraj boyu ile ilgili ayrıntılar...	33
Şekil 3.11	İç ve dış aks kolon giriş birleşiminde giriş uçlarında donatı sıklaştırması..	34
Şekil 3.12	Kiriş uçlarında negatif moment altında donatı sıkışıklığının önlenmesi.....	34
Şekil 3.13	Basit eğilme etkisindeki perde kesitinde donatı miktarının ve kesitteki dağılımının davranışına etkisi.....	35
Şekil 3.14	Eğilme ve kesme hasarı örnekleri.....	36
Şekil 3.15	Perdelere donatı yerleştirme biçimleri .....	37
Şekil 4.1	Kiriş ve kolon boyutlarının mafsallaşma üzerindeki etkileri.....	38
Şekil 4.2	Yumuşak kat ve zayıf kat örnekleri.....	39
Şekil 4.3	Zemin kat kirişlerinin asmolen döşeme nedeni ile üst katlara göre sığ yapılması sonucu birinci ve ikinci katların kolonları arada döşeme yokmuş gibi olmakta, burkulma olasılığı artmakta ve esnek zemin katlı davranış olasılığı güçlenmektedir.....	40
Şekil 5.1	Büyük yatay ötelemelerde çok etkili olan ikinci mertbe momentlerinin şematik gösterimi.....	42
Şekil 5.2	Esnek yapılarda ikinci mertbe momentlerin oluşması.....	43
Şekil 5.3	Esnek yapılarda aşırı yatay ötelemelerden yıkılma.....	43
Şekil 5.4	Taşıyıcı sistemlerin yatay yükler altındaki idealleştirilmiş davranışları.....	44

	Sayfa
Şekil 5.5	Yalın çerçeve ve dolgulu çerçevelerin yanal yük etkisiyle yatay deplasmanları..... 45
Şekil 5.6	Tuğla dolgulu ve betonarme perdeli çerçevelerin görelî kat ötelenme eğrileri..... 45
Şekil 5.7	Yatay ötelenmelerden oluşan ikinci mertebeli momentlerinin oranı..... 46
Şekil 5.8	Dış cephedeki açıklıkların geniş kolonlarla küçültme kaygısı sonucu yapı bir yönde çok rijit, diğer yönde çok esnek ..... 47
Şekil 5.9	Deprem açısından uygun olmayan kolon yerleştirme biçimi örneği..... 47
Şekil 5.10	Deprem açısından uygun kolon yerleştirme biçimi örneği..... 47
Şekil 5.11	Küçük ve çok sayıda perde duvar, büyük ve az sayıdaki perde duvardan iyidir..... 48
Şekil 6.1	Rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki eksantrisite (e) nedeni ile yapıda burulma etkilerinin oluşması; rijit çekirdek yapının planında simetrik olmayan durumda..... 49
Şekil 6.2	Perdeli çerçeve yapılarında perde duvar yerleştirme biçimleri..... 49
Şekil 6.3	Deprem açısından sakıncalı plan şekilleri..... 50
Şekil 6.4	Deprem açısından uygun ve uygun olmayan yapı dış planları..... 50
Şekil 6.5	Döşeme rijitliğinde süreksizlik..... 50
Şekil 6.6	A2 türü düzensizlik durumları..... 51
Şekil 6.7	A3 türü düzensizlik durumları..... 51
Şekil 6.8	Düşey düzensizlik durumları..... 52
Şekil 6.9	Taşıyıcı olmayan elemanlar nedeni ile asimetri..... 53
Şekil 6.10	Deprem açısından sakıncalı düşeyde süreksizlik örnekleri..... 54
Şekil 6.11	Perde duvarların yükseklik boyunca sürekliliği..... 55
Şekil 6.12	Konsol çıkmaların uçlarını kolonlu yapılmasının sonuçları..... 55
Şekil 6.13	Çok rastlanılan çerçeve süreksizliğine bir örnek..... 56
Şekil 6.14	Çerçeve sisteminin seçiminde dikkat edilecek noktalar..... 56
Şekil 7.1	Etriye uçlarının bükülme şekilleri..... 57
Şekil 7.2	Uçları 135° bükülen özel deprem etriye ve çirozları..... 57
Şekil 7.3	Etkili sargı oluşturmak için uçları 135° bükülmüş etriye ve çirozlar..... 58
Şekil 7.4	Enine donatıların miktar ve yerinin betona verdiği yanal basınç dağılımı üzerinde etkisi..... 58
Şekil 7.5	Kolon çekirdek betonunun kısıtlanması için etriye yerleşim biçimleri..... 59
Şekil 7.6	Betona uygulanan sargı etkisi..... 60
Şekil 7.7	Etriye den dolayı sargı etkisindeki beton kısımları..... 61
Şekil 7.8	Sargı donatısının süneklik ve dayanıma etkisi..... 63
Şekil 7.9	Kolon giriş birleşme bölgesinde etriyelerin olmaması nedeni ile sargısız beton davranışı..... 63
Şekil 8.1	Yapının en kesitinin küçüldüğü kat düzeyinde büyük gerilmeler oluşur.... 67
Şekil 8.2	Deprem açısından sakıncalı ve sakıncasız yapı şekilleri..... 68
Şekil 8.3	İçe dönük köşeli yapılarda gerilme birikimini önleyecek çözümler..... 68
Şekil 8.4	Bant pencerelerin neden olduğu kısa kolon örneği..... 69
Şekil 8.5	Merdivenlerde deprem hasarını önleyecek ayrıntılar..... 70
Şekil 8.6	Kısa kolon etkilerinin oluşmaması için kolon ile perde arasına esnek bir malzemenin konulması..... 71
Şekil 8.7	Kısa kolon etkisi oluşmaması için bant pencerelerin kolona bitirilmemesi..... 71
Şekil 8.8	Merdiven ve sahanlık girişinin meydana getirdiği kısa kolonlar..... 71
Şekil 9.1	Farklı yapı türlerinin göçme biçimleri..... 71

	Sayfa
Şekil 9.2	Kat döşemeleri aynı düzeyde olmayan komşu yapılarda çarpışma ile kolon kırılması..... 74
Şekil 9.3	Kat döşemeleri aynı seviyede fakat, kat sayıları farklı komşu yapıların etkileşmesi..... 74
Şekil 9.4	Bağ kirişlerinin tekil temelli bir yapıda mesnet koşullarına etkisi..... 76
Şekil 9.5	Bağ kirişlerinin konacağı doğru ve yanlış yerler..... 77
Şekil 9.6	Düzensiz çerçeveli taşıyıcı sistemler..... 78
Şekil 10.1	Bir binada hasır çelik ve püskürtme beton veya tamir harcı uygulaması.. 81
Şekil 10.2	Hasır çelik ve püskürtme beton veya tamir harcı uygulamasının temele bağlanması..... 81
Şekil 10.3	Hasır çelik ve püskürtme beton veya tamir harcı uygulamasının çatı hatılına bağlanması..... 82
Şekil 10.4	Hasır çeliğin mevcut yığma duvara bağlanması..... 82
Şekil 10.5	Yakın ve uzak tabanca ile püskürtme uygulaması..... 85
Şekil 10.6	Püskürtme beton uygulaması örnekleri..... 88
Şekil 10.7	Güçlendirme perdesinin mevcut kolon ve kirişlere dikiş donatısı ile bağlanması..... 89
Şekil 10.8	Kolon mantolamasında ve perde güçlendirmesinde epoksi uygulamaları.91
Şekil 10.9	Dış perdenin mevcut kirişlere bağlanması..... 92
Şekil 10.10	Enjeksiyon uygulama detayı..... 92
Şekil 10.11	Kolon giriş birleşim bölgesinin çelik şeritler sarılarak güçlendirilmesi.... 93
Şekil 10.12	Düğüm dışında çelik lama ile sarma..... 94
Şekil 11.1	Güçlendirilmiş giriş örnekleri..... 97
Şekil 11.2	Onarılmış ve güçlendirilmiş girişlerin moment kapasite eğrileri..... 98
Şekil 11.3	Onarım ve güçlendirme kolonlarının aksenal yük kapasite eğrileri..... 99
Şekil 11.4	Onarım ve güçlendirme kolonlarının moment kapasite eğrileri..... 100



**ÇİZELGE LİSTESİ**

Sayfa

Çizelge 1.1	Zemin hakim periyodunun zemin cinsine göre değişimi.....	21
Çizelge 10.1	Beton ve epoksi reçinesinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.....	90
Çizelge 10.2	Lif takviyeli plastiklerin (LTP) mekanik özellikleri.....	95



## ÖNSÖZ

Depremler; önlenemez olması, ayrıca etkilediği bölgelerdeki yapıları çok kısa bir sürede ve çoğu kez yıkım derecesine varacak düzeyde tahrip ederek insan yaşamını da büyük tehdit altında bulundurması nedeniyle, en yıkıcı doğal afet türü olarak kabul edilmektedir.

Günümüz teknolojisi ile depremin zamanının tam olarak tespit edilmesi mümkün değildir. Depremin zamanı tam olarak bilinse bile, bu bilgi insanların hayatını kurtarabilirken, depremin yapılar üzerindeki tehdidini ortadan kaldırmaz. Yapıların depremden ciddi bir şekilde hasar görüp kullanılamaz hale gelmesi veya toptan göçmesi, ekonomik anlamda ciddi kayıplara neden olacaktır. Öyle görünüyor ki; depreme dayanıklı yapı tasarımı, Dünya var oldukça önemini koruyacaktır.

Bu çalışmada betonarme binaların depremde hasar görmesinin nedenleri ve çözüm önerileri, güçlendirme teknikleri ve malzemeleri ile güçlendirilen betonarme yapılardan beklenen davranış biçimleri ve güçlendirilmiş eleman deneyleri sunulmuştur.

Çalışmalarım sırasında sorduğum bütün soruları büyük hoşgörü ile karşılayıp, titizlikle cevaplayan danışman hocam sayın Prof. Zekeriya Polat'a, mühendislik hayatım boyunca her türlü destekte bulunan sayın İnş. Müh. Abdurrahman Kurt'a, tezin yazımında çok emeği geçen sayın İnş. Tek. Mehmet Bayrak, İnş. Tek. Ferhat Şengür ve her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ediyorum.

**ÖZET**

Deprem sırasında yapı temeline ulaşan enerjinin, sınırlı bir kısmının yapıya geçmesine izin veren düzenekler ile ilgili teorik çalışmalar eskidir. Buna rağmen uygulama ile ilgili teknikler halen gelişme aşamasındadır. Yapıların deprem yükünü taşıyıcı olarak bilinen bu uygulamaların, ülkemizde yaygın olarak kullanımı yakın gelecekte beklenmemektedir. Deprem enerjisi yapıya iletdikten sonra, yapının aldığı bu enerjinin taşıyıcı sistem elemanları tarafından başarı ile tüketilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, betonarme binaların deprem davranışı ile ilgili, günümüze kadar yapılan çok sayıda teorik ve deneysel çalışmalar ve deprem geçirmiş yapılar üzerinde yapılan gözlemlerden yararlanılmıştır. Betonarme yapıların depremde hasar görme nedenleri araştırılmış ; en temel nedenin süneklik düzeyi yüksek yapı tasarım kurallarına uyulmaması olduğu sonucuna varılmıştır.

Şiddetli bir depremde taşıyıcı sistem elemanları elastik dayanım sınırları üzerinde zorlanarak hasar görebilirler. Bu durumda yapılacak olan, artan yükler altında hasarın kontrollü biçimde dağılmasını sağlamaktır. Yapıdaki elemanların belirli hiyerarşik bir sıra içinde ve en fazla süneklik göstereceği eğilme modunda kapasitelerine ulaşması istenir. Bu durum ancak kapasite tasarım yöntemi ile mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Süneklik, eğilme modu, kapasite tasarımı.

**ABSTRACT**

Although the studies about the mechanism which lets a limited part of the energy reached to the base, to cross the construction is old, the practicing technics are still in developing phase. These applications which are known as the earthquake isolation of constructions are not being expected to be used in the near future. The energy transmitted by the earthquake to the constructions must be consumed ( absorbed ) by the conveyer system components.

In this study, the theoretical and experimental studies made up to now and observations on the buildings experienced earthquake are evaluated and used about the seismic behaviour of reinforced concrete building. The cause of the damage of reinforced concrete structures has been searched, and basically it has been seen that the most important fault is not obeying to the rules of designing high ductile structures .

In a devastate earthquake, the conveyer system can be damaged by the force which is over then it's elastic limit. In this situation, the damage under increased loads must be distributed under control. It is wished the elements of conveyor system in an hierarchic row to reach the most ductile capacity of their own in inclination. This situation is possible just by capacity designing method.

**Key Words :** ductility, inclination mode, capacity designing.

## 1. YAPI YERİ SEÇİMİNİN DOĞRU YAPILMAMASI

Binaların depremde hasar görme nedenlerinden ilki yapı yer seçiminin doğru yapılmamasıdır. Zemin kaynaklı deprem hasarlarının ortadan kaldırılması için zemin araştırmaları yapılmalıdır.

Zemin araştırmaları ile bir bölgenin sıvılaşma duyarlılığı belirlenebilir. Sıvılaşmadan kaynaklanan zararların ortadan kaldırılabilmesi için en basit ve ekonomik yol sıvılaşabilir zeminlerde inşaat yapımından kaçınmaktır.

Bu bölümde yapıların depremde hasar görmelerinin en önemli nedenleri arasında sayılan zemin sıvılaşmasının meydana geliş nedenleri, sıvılaşma için gereken koşullar, sıvılaşmanın neden olduğu hasar çeşitleri ile sıvılaşmadan kaynaklanan hasarların azaltılması yöntemleri üzerinde durulacaktır.

### 1.1 Zemin Sıvılaşması

Depremlerin neden olduğu tekrarlanmalı gerilimler, sığ derinliklerde yer alan gevşek zeminlerde özel zemin davranışlarının gelişmesine yol açmaktadır. Dinamik yüklerden kaynaklanan bu tür zemin davranışları arasında yer alan sıvılaşma ve bununla ilgili zemin duraysızlıkları, yapısal hasarlar üzerinde etkin rol oynamaktadır. Sıvılaşma sonucu dayanımı azalarak taşıma gücünü yitiren zemin, üzerindeki yapıları taşıyamayarak yapıların oturmasına, yana yatmasına veya devrilmesine, gömülü altyapı elemanlarında çeşitli hasarlara neden olur. Ayrıca sıvılaşmaya bağlı olarak gelişen yanıl yayılma ve akma türü kayma davranışları sebebi ile, geniş zemin kütleleri ve üzerindeki yapılar nehir göl ve denize doğru sürüklenebilir.

İnsanoğlu geçmişten günümüze değin savaş, salgın hastalık, yangın vb. olayların yanı sıra deprem, heyelan, taşkın, çığ, volkan patlaması, kasırga ve hortum gibi doğal afetler nedeni ile kitlesel kayıplara ve maddi zararlara maruz kalmış ve kalmaya da devam etmektedir. Önlenemez olması, ayrıca etkilediği bölgelerdeki yapıları çok kısa bir sürede ve çoğu kez yıkım derecesine varacak düzeyde tahrip ederek insan yaşamını da büyük tehdit altında bulundurması sebebiyle depremler, en yıkıcı doğal afet türü olarak kabul edilmektedir. Depremlerin jeolojik anlamda neden olduğu etkiler birincil ve ikincil etkiler şeklinde iki grupta değerlendirilmektedir. Birincil etkiler; yer kabuğunda, fayların oluşması ve buna bağlı olarak tektonik anlamda meydana gelen yükselme ve

çökmelerdir. Bu tür etkiler, yer kabuğunun derinliklerinde karmaşık mekanizmaların ürettiği kuvvetlerden kaynaklanmaktadır. Yer kabuğunun derinliklerinden yüzeye kadar devam eden faylar deprem sırasında izledikleri hatlar boyunca üzerlerinde ve yakınlarında yer alan yapıları etkileyebilmektedir.

İkincil etkiler ise, depremden kaynaklanan titreşimlerin etkisi ile çok sığ derinliklerde gelişen zemin davranışlarıdır. Bunlar; sıvılaşma, zemin tanelerinin sıkışması ve sıvılaşmaya bağlı olarak zeminin farklı türlerde yenilmesi şeklinde sınıflandırılabilir. Gevşek toprak zeminlerin özellikle içsel özelliklerine, yeraltı suyu seviyesinin derinliğine ve depremden kaynaklanan yer ivmesinin büyüklüğüne bağlı olarak gelişen bu tür zemin davranışları, yapısal hasarların meydana gelmesinde önemli rol oynamaktadır. Dünyada yaşanan her deprem sonrasında, depremlerle farklı açılardan ilgilenen meslek disiplinleri dışında, toplumun büyük çoğunluğunun dikkatleri daha çok birincil etki grubunda yer alan fayların yanı sıra, can kayıpları ve maddi hasarlar üzerinde yoğunlaşmakta, buna karşın yapısal hasarlar üzerindeki etkileri göz ardı edilemeyecek derecede önem taşıyan ikincil etkiler geri planda kalmaktadır. Bununla birlikte, ülkemizde son iki yılda meydana gelen ve zemin sıvılaşması ile buna bağlı diğer zemin hareketlerinin ve etkilerinin yaygın şekilde gözlemlendiği 1998 Adana Ceyhan ve 1999 Kocaeli depremlerinden sonra bu tür zemin davranışları da geniş halk kitlelerinin dikkatini çekmeye başlamıştır. Sıvılaşma, bu depremlerden sonra halk arasında kum kaynaması ve kum fişkirması, sıvılaşmaya bağlı olarak kıyı bölgelerinde gelişen yanal yayılma ve akma sıvılaşması türü hareketleri ise kıyı kayması veya kıyı heyelanı sözcükleri ile tanımlamaya başlamıştır.

### 1.1.1 Sıvılaşma Nasıl Meydana Gelir?

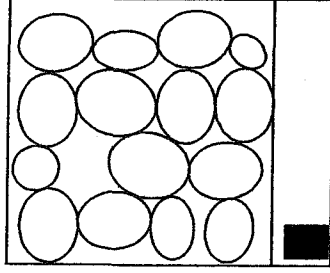
İlk kez japon araştırmacılar Mogami ve Kubo tarafından ortaya atılan sıvılaşma sözcüğü, tarihsel süreçte; suyun zemin ortamından uzaklaşmadığı koşullar altında, suya doygun kohezyonsuz (tanelerin birbirine bağlanma yeteneğinin olmaması) zeminlerin tekdüze, geçici veya tekrarlı şekilde örselenmesinden kaynaklanan zemin deformasyonlarını kapsayan davranış biçimlerinin tümü için, ayırım yapılmaksızın, kullanılmaktadır.

Sıvılaşma davranışının meydana geldiği ortamlar, ayrık katı bileşenleri arasında doğal çimento görevi üstlenecek bir bağlayıcı bulunmayan veya çok gevşek olarak bulunan bir bağlayıcının su etkisi ile ortamdan kolayca uzaklaştırılarak tanelerin serbest hale geçebildiği ayrık kayaçlar ve mineraller topluluğu şeklinde tanımlanan ve toprak zemin olarak adlandırılan malzemelerdir. Buna karşın kütleli, çimentolanmış, taneli veya kristalli yoğun kayaç türü zeminlerde ise, sıvılaşma meydana gelmemektedir. Toprak zeminlerdeki sıvılaşma davranışının anlaşılabilmesi için depremden önceki zemin koşullarının iyi bilinmesi gerekir. Bir zeminde çok sayıda tane bir arada bulunmaktadır. Ve bunlara yakından bakıldığında, her tanenin çevresindeki diğer tanelerle temas halinde olduğu görülür (Şekil 1.1). Her tanenin kendi üzerindeki diğer tanelerin ağırlığından dolayı taneler arasında temas kuvvetleri oluşur ve bu kuvvetler taneleri bir arada tuttuğu gibi, zeminin bir dayanıma sahip olmasını da sağlar. Taneler arasındaki boşluklar ise, su ve hava ile doludur. Suyun tanelere yaptığı basınç gözenek suyu basıncı olarak adlandırılır.

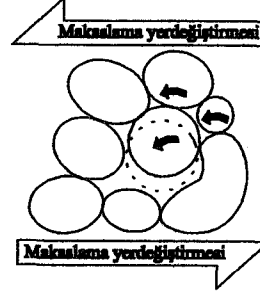
Deprem sırasında sismik dalgalar, (özellikle makaslama dalgaları) suya doygun ( yer altı suyu tablası altındaki) gevşek kum zeminler içinde yayılırken birbirine göre ters yönde etkiyen kuvvetler oluşturarak (makaslama kuvvetleri) zeminin tanelerinde yer değişimlerine neden olurlar. Bu koşullar altında gevşek konumdaki kum tanecikleri birbirlerine yakınlaşma eğilimi gösterirler ve bu davranış sırasında tanelerin temas noktalarındaki gerilim, taneleri çevreleyen suya aktarılır. Depremlerin ani ve çok kısa süreli hareketlere neden olması, taneler arasındaki suyun kaçması (drene olması) için gereken yeterli süreye olanak tanımamakta, dolayısıyla ortamdan uzaklaşamayan gözenek suyunun basıncını aniden artırmaktadır. Gözenek suyu basıncındaki bu ani artış, zemin tanelerini bir arada tutan temas kuvvetlerini yok ederek taneleri birbirlerinden uzaklaştırır ve böylece zemin dayanımını yitirir. Bu koşullar altında zemin, deprem öncesinde gösterdiği katı malzeme davranışı yerine, bir sıvı gibi davranarak suyla birlikte hareket eder ve yüzeyden çıkmaya başlar. Zeminin sergilediği bu hareket biçimi sıvılaşma olarak tanımlanır (Şekil 1.1).

Sıvılaşma yüzeyde; kum fişkırmaları, tek başına veya ard arda dizilmiş kum volkanları ve yarıklar (fisürler) boyunca kum birikimleri şeklinde görülür. Kum volkanları, sıvılaşan zeminin yüzeye doğru yükselmesi sırasında yüzeydeki toprak seviyesini yanlara iterek ve bir baca oluşturarak meydana gelmektedir. Bacanın oluşumu ile birlikte çapı 3 m derinliği ise 1-2 m civarında çukurlar oluşabilmektedir. Kum konileri ise 10-50 cm

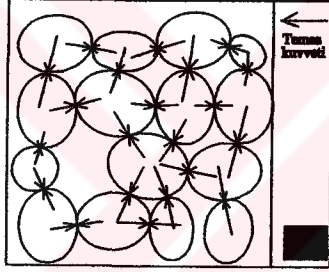
arasında değişen çapa ve 15-25 cm yüksekliğe sahip olabilmektedir.Örneğin 1999 Kocaeli depreminde Yalova'nın doğusundaki Yalakdere deltasında gelişmiş kum konilerinin çapları 50 cm'ye kadar ulaşmıştır. Ayrıca yüzey kırıkları boyunca da kum fişkirmaları meydana gelebilmektedir.



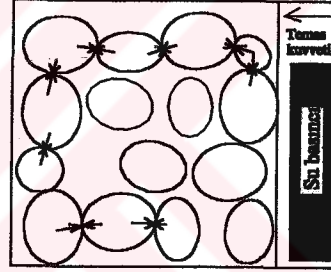
Zemini oluşturan tanelerin deprem öncesi görünümü (gözenek suyu basıncının seviyesini sağdaki siyah renkli kolon göstermektedir.)



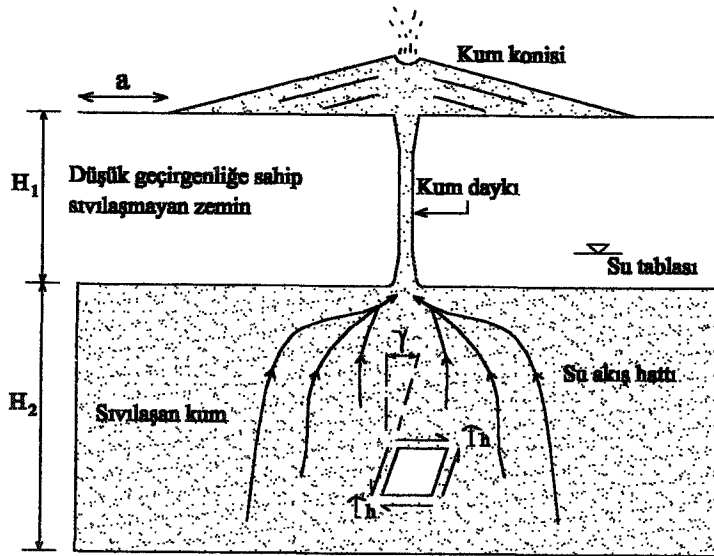
Depremiñ neden olduğu maksaslama yerdeğiştirmesi ile zemini oluşturan tanelerde sıvılaşma süreci



Zemin taneleri arasında etkiyen temas kuvvetleri (Okların boyu temas kuvvetlerinin büyüklüğüñü göstermektedir.)



Gözenek suyu basıncının ani artışıyla tanelerin temaslarını yitirmesi



Şekil 1.1- Sıvılaşma ve kum dayklarının oluşumunu gösteren en kesit ( a: yatay ivme  
Th: Yatay ivmeden kaynaklanan maksaslama gerilmesi  $\gamma$ : maksaslama yerşekil değiştirmesi)  
(Ulusoy, 2001)

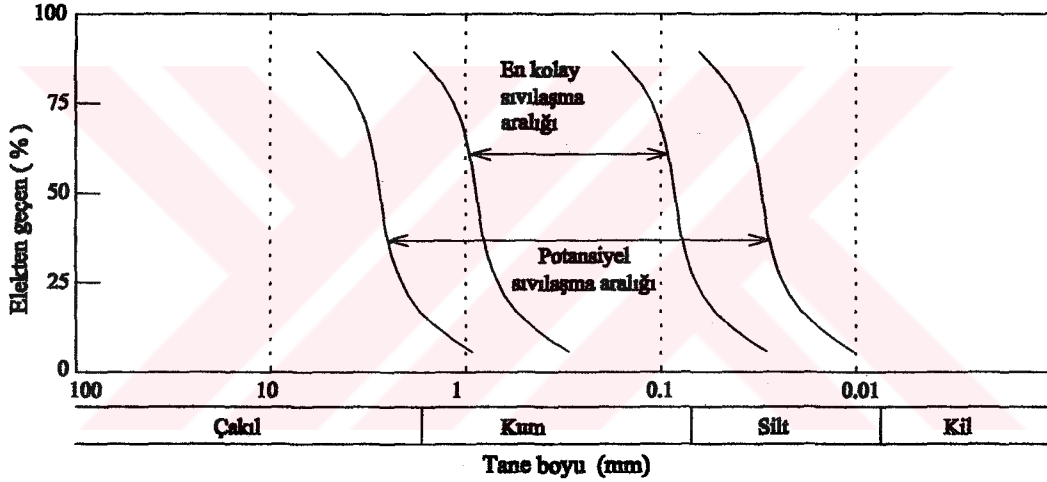


### 1.1.2 Sıvılaşma İçin Gerekli Koşullar ( Sıvılaşma Duyarlılığı)

a) **Jeolojik ölçütler:** Sıvılaşma her zeminde ve her koşulda meydana gelen bir davranış biçimi olmayıp, belirli jeolojik ortamlarda ve hidrojeolojik koşullar altında gerçekleşir. Genellikle jeolojik anlamda genç ve gevşek çökellerin, özellikle kum ve silt tane boyundaki malzemelerin depolandığı ve yer altı suyunun sığ olduğu ortamlar sıvılaşmanın gelişmesi açısından en uygun ortamlardır. Sıvılaşmaya karşı en duyarlı çökeller Holosen yaşlı ( 10.000 yıldan daha genç) delta, akarsu, taşkın ovası, taraça, kıyı ve çöl ortamlarındaki çökeltme süreçleri sonucunda birikmiş çökellerdir. Çünkü bu ortamlarda egemen olan çökeltme süreçleri, tanelerin üniform şekilde ( hemen hemen aynı tane boyundan oluşan tanelerin bir araya gelmesi ) ve gevşek halde depolanmasına olanak sağlamaktadır. Pleyistosen yaşlı ( 0.1-1.8 milyon yıl arası) çökellerin son yüzyılda meydana gelen depremlerde sıvılaştığı ender olarak görülmüştür. Ülkemizde depremler sırasında gözlenen sıvılaşmaların Holosen yaşlı çok genç alüviyal çökellerin bulunduğu alanlarda gözlenmesi de bu olguyu desteklemektedir. Ayrıca yol ve baraj çalışmalarında inşa edilen ince taneli ve iyi sıkıştırılmamış dolgular ve suyla birlikte atık barajlarına akıtılıp biriktirilen çok ince maden atıkları da sıvılaşmaya karşı duyarlı olan malzemelerdir. Sıvılaşma yeraltı suyu tablasının yüzeyden itibaren en fazla 10 m derinlikte bulunduğu ortamlarda yaygın şekilde meydana gelebilmektedir. Ender olmakla birlikte , yeraltı suyu tablasının 20 m'den daha derin olduğu yerlerde de sınırlı miktarda sıvılaşmanın meydana geldiği bilinmektedir.

b) **Zeminin bileşimi ile ilgili ölçütler:** Bir zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı, zemini oluşturan tanelerin boyutlarına ve zemin türüne, ayrıca tanelerin şekline bağlıdır. Hemen hemen benzer boyutlarda tanelerden oluşan zeminler (üniform derecelenmiş zeminler) değişik boyuttaki tanelerin yaklaşık olarak aynı miktarda birlikte bulunduğu zeminlere ( iyi derecelenmiş zeminler) göre, çok daha yüksek bir sıvılaşma riskine sahiptir. Çünkü iyi derecelenmiş zeminlerde iri tanelerin arasını dolduran daha küçük boyutlu taneler, deprem sırasında aşırı gözenek suyu basınçlarının gelişmesini engellemekte, dolayısı ile sıvılaşma riskini azaltmaktadır. Zeminlerin tane boyu dağılımı açısından sıvılaşma potansiyeline sahip olup olmadıkları, zemini oluşturan tanelerin boyları ve dağılımları elek ve hidrometre analizi gibi laboratuvar teknikleri ile araştırılarak belirlenir (Şekil 1.2).

Yıllardır sıvılaşma olgusunun kumlarla ilişkin olduğu bilinmekteydi. Bununla birlikte çakıllarda ve plastik olmayan siltlerde de sıvılaşma davranışına rastlanılmıştır. 0.002 mm'den küçük taneciklerden oluşan ve tane boyu tanımı açısından kil olarak adlandırılan zeminler ise, birkaç yıl öncesine değin sıvılaşmaya duyarlı olmayan zeminler olarak bilinmekteydi. Ancak, 1995 yılında Japonya'da meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki Kobe depreminde deniz kıyısındaki killerde de yerel olarak sıvılaşmanın gözlenmesi, sıvılaşan zemin türleri ile ilgili mevcut görüşlere yeni bir boyut getirmiştir. Kilin depremin neden olduğu sarsıntı ile yumuşayıp, sıvılaşan kumlarla birlikte yükselerek yüzeye çıktığı şeklindeki görüşün, killerde ilk kez rastlanan bu sıvılaşma davranışı için, en muhtemel gerekçe olacağı öne sürülmektedir.

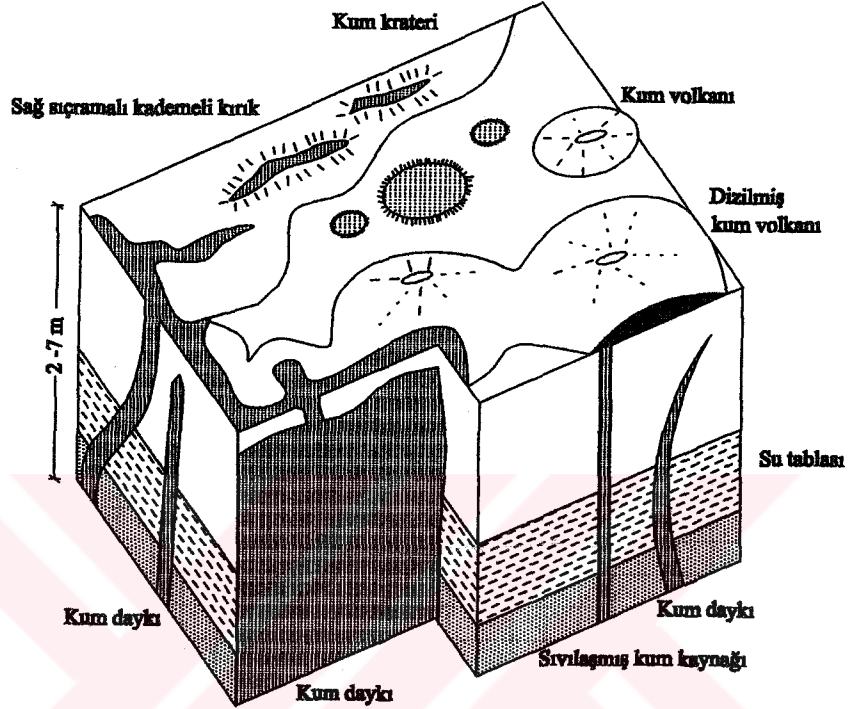


Şekil 1.2- En kolay sıvılaşan ve potansiyel sıvılaşma eğilimine sahip zeminler için sıvılaşma alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılımı eğrileri ( Ulusoy, 2001 )

Zemini oluşturan tanelerin şekli de sıvılaşma duyarlılığı üzerinde etkilidir. Yuvarlak tanelerden oluşan zeminler köşeli taneleri içeren zeminlere oranla daha kolay sıkışma eğilimi gösterdikleri için, bu tür zeminlerin sıvılaşma potansiyeli daha yüksektir.

**c) Gerilim koşulları ve zeminin yoğunluğu ile ilgili ölçütler:** Yukarıda belirtilen ölçütlerin öngördüğü koşullar sağlansa bile, zeminler sıvılaşmaya duyarlı olmayabilir. Çünkü sıvılaşma duyarlılığı, aynı zamanda zeminin deprem sırasında içinde bulunduğu gerilim koşullarına ve yoğunluğuna (sıkılığına) da bağlıdır. Uzun süreli gerilim koşullarının etkisinde kalmış bir zeminde taneler arasında kenetlenme bozulabileceği

gibi, rölatif yoğunluğu % 47'nin altında olan zeminler daha gevşek bir konumda bulunacakları için sıvılaşmaya daha yatkındırlar.



Şekil 1.3- Sıvılaşma sonucu yüzeyde ve yeraltında gelişen olumsuzluklar (Mavi gezegen,2000/2)

### 1.1.3 Yüzeyde Gözlenemeyen Sıvılaşma

Sıvılaşma yüzeyde çoğu kez kum kaynamaları veya kum volkanları şeklinde görülür (Şekil 1.3). Deprem sırasında zeminlerde gelişen yüksek gözenek suyu basıncı suyun yüzeye doğru hareketiyle azalma eğilimi gösterir. Bu harekete bağlı olarak, hidrolik eğim kritik bir değere ulaştıkça kum taneleri zemindeki çatlak, fisür ve kanallar boyunca su tarafından yüzeye taşınır ve yüzeyde kum kaynamaları şeklinde yayılır. Bu sürece hızlı koşul adı verilmektedir. Ancak sıvılaşan kumun yüzeye kadar ulaşabilmesi, gelişen gözenek suyu basıncının büyüklüğüne, sıvılaşan zeminin kalınlığına ve yoğunluğuna, ayrıca sıvılaşan zeminin üzerinde yer alan sıvılaşmaya yatkın olmayan zeminin kalınlığı ile geçirgenliğine de bağlıdır. Dolayısıyla, derinde veya ince kum seviyelerinde meydana gelen sıvılaşmalar, üzerlerindeki sıvılaşmayan kalın zeminlerin varolması halinde yüzeye kadar ulaşamayabilirler. Bu tür zemin koşullarında

sıvılaşmanın göstergesi olabilecek kum kaynamaları veya volkanları görülememekle birlikte, bu durum her zaman sıvılaşmanın oluşmadığı anlamına da gelmemektedir. Çünkü depremler sonrasında zeminlerde açılan inceleme çukurlarında sıvılaşmış kumun bir baca boyunca dizildiği, ancak yüzeyin altında herhangi bir derinliğe kadar yükselebildiği görülmüştür. Nitekim 1999 Kocaeli depreminden sonra Adapazarı'nda sıvılaşmanın yüzeyde gözlenemediği bazı yerlerde yana yatmış yapıların bulunması, sıvılaşma meydana gelmekle beraber sıvılaşmanın yüzeye kadar ulaşmadığının göstergesidir.

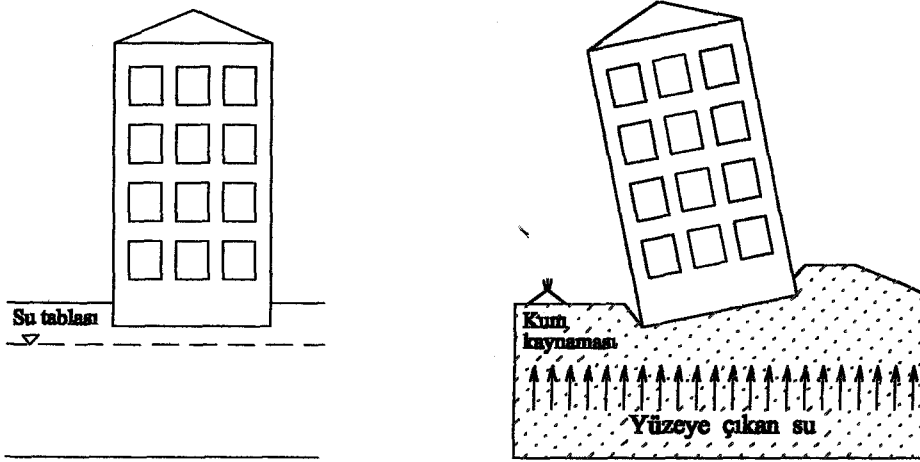
#### **1.1.4 Sıvılaşmanın Etkileri ( Zemin Duraysızlıkları)**

Sıvılaşma; zeminlerde neden olduğu duraysızlıklar nedeni ile binaları, köprüleri, yeraltına döşenmiş boruları ve diğer yapıları farklı şekillerde etkilemektedir. Sıvılaşmanın etkileri benzer olduğu için bunların ayırt edilmesi güç olabilmekle birlikte, oluşum mekanizmaları farklıdır.

Bu etkiler;

- a) Zeminin taşıma gücünü yitirmesi,
- b) Zemin oturması,
- c) Zemin salınımı,
- d) Yanal yayılma,
- e) Akma türü kayma,

başlıkları altında toplanmaktadır. Her ne kadar kum kaynamaları da bazı araştırmacılar tarafından sıvılaşmanın etkileri arasına dahil edilmekteyse de, mühendislik açısından fazla önemli değildir. Sıvılaşmanın zeminde yaklaşık 0,1 m civarında bir deformasyon meydana getirerek yapısal hasarlara neden olması zemin yenilmesi olarak adlandırılmaktadır.

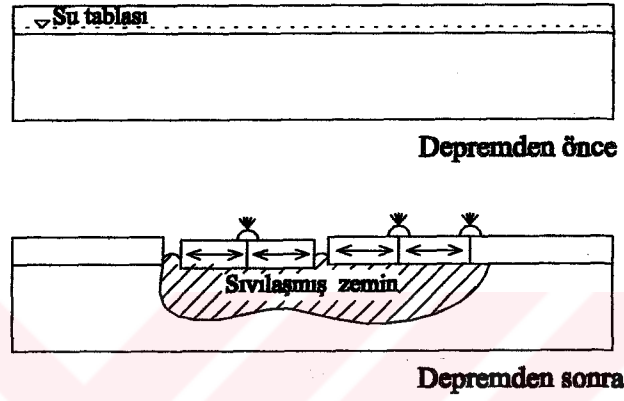


Şekil 1.4- Sıvılaşma sonucu zeminin dayanımını yitirmesi ve yapının yana yatması

**a) Zeminin taşıma gücünü yitirmesi:** Yapıları taşıyan zemin sıvılaştığı zaman taşıma gücünü yitirerek deformasyona maruz kalır. Sıvılaşan kum yüzeye doğru yükselirken zemini zayıflatır, dolayısıyla dayanımını yitiren zemin yapının aktardığı yükleri taşıyamaz hale gelir. Bu gelişmeye koşut olarak, zeminin üzerindeki yapılarda öne yada geriye doğru yatar veya domino taşları gibi devrilir (Şekil 1.4). Sıvılaşma sonucu bu duruma maruz kalmış binalar, tabanlarından kazıklarla desteklenerek eski konumlarına getirilebilmektedir. Sıvılaşma nedeni ile zeminin taşıma gücünü yitirmesiyle binalarda gözlenen davranışın aksine, sıvılaşan zeminin içinde gömülü tanklar ve borular ise, yüzeye doğru yükselme (kabarma) eğilimi gösterirler ve kırılmaya yada bükülmeye maruz kalırlar.

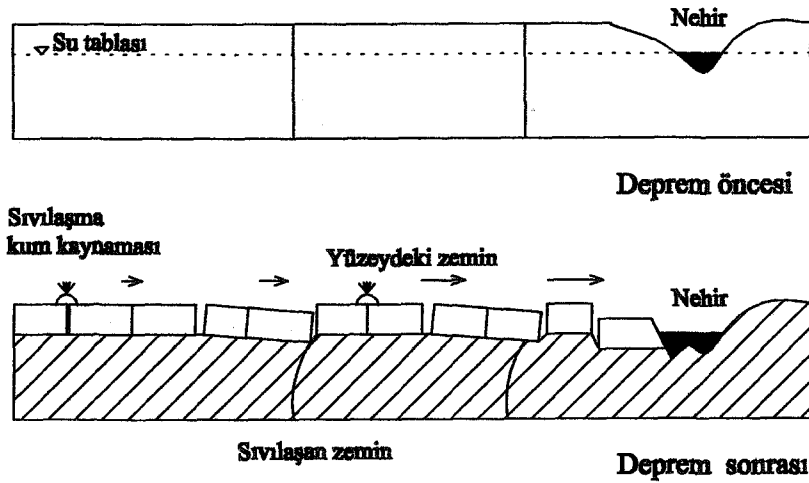
**b) Zemin oturması:** Sıvılaşma sırasında tanelerin gösterdikleri bir araya gelme eğilimi ve zeminin taşıma gücünü yitirmesi, yüzeyde oturma şeklinde deformasyona (yer değiştirmeye) neden olabilir. Bu koşullarda zeminde gelişen oturma yer değiştirmesi zeminin üzerindeki yapıya da yansyarak, yapının zemin içine doğru batmasına neden olur. 1971 San Fernando (ABD) depreminde San Fernando barajındaki hasar ve 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda giriş katları zemine batan binalar, zemin oturmasının tipik örnekleridir.

c) **Zemin salınımı:** Bu davranış biçimi sıvılaşmanın yamaç eğiminin son derece az ve dolayısıyla yanal yönde yer değiştirmenin mümkün olduğu alanlarda gelişmesi halinde gözlenebilir (Şekil 1.5). Sıvılaşma yüzeye yakın derinlikteki zeminin bloklara ayrılmasına ve bu blokların ileriye ve geriye sürüklenmesine yol açar. Bu sürüklenme deprem dalgaları gibi titreşimlere neden olur. Titreşimle birlikte fisür yada çatlaklarda açılıp kapanmalar ve zeminde oturmalar meydana gelerek yapılar, boru hatları ve zemine gömülü diğer alt yapı tesisleri ciddi hasarlara maruz kalabilirler.



Şekil 1.5- Zeminin salınımının mekanizması

d) **Yanal yayılma:** Sıvılaşma genç veya doygun çökellerde (toprak zeminlerde) meydana gelmektedir. Bu tür çökeller yüzey topografyasının son derece düşük eğime sahip olduğu nehir, göl ve deniz kıyılarında yaygın olarak bulunurlar (Şekil 1.6).



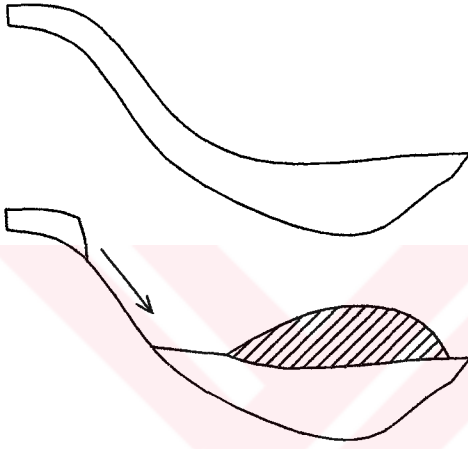
Şekil 1.6- Yanal yayılmanın mekanizması

Kıyılarda sıvılaşmanın meydana gelmesi halinde çok büyük zemin kütleleri, üzerlerinde bulunan yapıları da beraberinde sürükleyerek, nehir, göl veya denize doğru hareket ederler. Sıvılaşmanın bu türdeki etkilerinden biride yanal yayılma olarak adlandırılmaktadır. Yanal yayılma, sıvılaşan zemin seviyesinin üzerinde bulunan zeminin geniş bloklara ayrılması ve blokların yanal yönde hareket etmesidir. Bu hareket depremden kaynaklanan yerçekimi kuvvetleri ve içsel kuvvetlerin birlikte etkimesi ile meydana gelmektedir. Yanal yayılma genellikle eğimi son derece az ( $0,3-3^\circ$ ) yamaçlar boyunca ve nehir yatağı, göl veya deniz kıyısı gibi harekete engel olmayacak serbest yüzeylere doğru gelişir. Yatay yöndeki hareket birkaç metreden onlarca metreye kadar ulaşabilir. Hareket sırasında zemin yer değiştirir, bloklara ayrılır ve buna bağlı olarak zeminde fisürler, kırıklar, küçük çöküntüler ve yükselmeler meydana gelir. Yanal yayılmaya maruz kalan zeminlerin içinde bulunan yapı temelleri, atıksu şebekeleri ve boru hatları ile diğer altyapı tesisleri hasar görürler veya eklem yerlerinden koparlar. Ayrıca kaymanın topuk bölgesindeki (kıyıdaki) yapılar sıkışır veya bükülürler. Dolayısıyla yanal yayılmanın neden olduğu hasarlar, zeminin üzerindeki yapıların yoğunluğuna da bağlı olarak, bir felaket düzeyine ulaşabilmektedir. Örneğin 1964 Alaska depreminde taşkın ovası çökelleri üzerinde inşa edilmiş 250 köprü yanal yayılma nedeniyle tahrip olmuş veya yıkılmıştır. Japonya'da 1964 ve 1995 yıllarında meydana gelen Niigata ve Kobe depremlerinde de köprüler benzeri şekilde yıkılmışlardır. Ülkemizde de 1998 Adana Ceyhan depreminde Ceyhan nehri kıyısında yanal yayılmaya bağlı deformasyonlar gelişmiştir. Ayrıca Sakarya nehrinin yatağına doğru gelişen hareketle Adapazarı il merkezindeki yollarda ve nehir kıyısında fisür ve yarıkların meydana gelmesi, Sapanca gölünün ve İzmit körfezinin güney kıyısında, kısmen normal faylanmanın da etkisiyle yapıların denize sürüklenmiş olması, 1999 Kocaeli depreminde sıvılaşmaya bağlı olarak gelişmiş yanal yayılma hareketlerinin tipik örnekleridir.

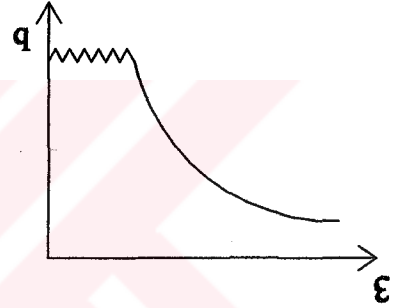
**e) Akma türü kayma (akma sıvılaşması):** Bu tür zemin hareketleri, sıvılaşmanın neden olduğu en etkili duraysızlıklardır. Akma sırasında çok geniş zemin kütleleri, çok kısa bir sürede ve saatte onlarca kilometreye ulaşan bir hızla, eğimli yüzeyler boyunca onlarca kilometre hareket ederler (Şekil 1.7). Akma tamamen sıvılaşmış bir zeminde gelişebileceği gibi, sıvılaşan zeminin üzerinde yer alan sert bir malzemeye ait blokların hareket etmesiyle de meydana gelebilir. Bu tür hareketler eğimi 3 dereceden daha büyük olan yamaçlar boyunca, gevşek veya suya doygun kumlar veya siltlerde gelişmektedir.

Ayrıca, maden işletmelerindeki atık barajlarında toplanan, suya doymun ve çok ince cevher atıklarının da depremler sırasında akma davranışı gösterdikleri bilinmektedir.

Akma sıvılaşması, düşük dayanımlı bir zeminde statik dengenin dinamik yükler tarafından ortadan kaldırılması olayıdır. Dinamik yükler; depremler, patlatma ve kazık temellerin inşası sırasında gelişebilmektedir. Dinamik yüklerin zemine uygulanmasıyla akma sıvılaşmasına karşı duyarlı olan zeminin dayanımı, sarsıntı öncesinde zemine etkileyen statik gerilmeye uzun süre karşı koyamaz ve akma gerçekleşir.



Şekil 1.7- Akma türü kayma



Şekil 1.8 Karla kaplı bir rampa üzerindeki bir cismin hareket eğrisi

Bu davranış biçimini, Şekil 1.7’de verilen ve karla kaplı eğimli bir rampa üzerinde harekete geçen bir cismin davranış biçimine benzetmek mümkündür. Cismin hareketini başlatmak amacıyla yaptığı küçük bir hareketten sonra, yerçekiminden kaynaklanan statik hareket kuvveti, cisim ile kar arasındaki sürtünme direncinin aşılmasını sağlar. Bu davranış, cisim rampa aşağı hareket ettirir. Şekil 1.8’de gösterilen ve cismin izlediği yolu ifade eden eğri, cismin hareket öncesine göre duraysız bir konuma geçtiğini gösterir. Bu örnek, akma sıvılaşmasını tetikleyen dinamik hareketin benzeridir. Hem kayan cisim örneğinde, hem de akma sıvılaşmasında; çok hızlı bir harekete neden olan bir duraysızlık, nispeten küçük bir hareket (örselenme) sonrası gelişebilmektedir.

Günümüze değin geniş çapta ve büyük hasarlara neden olan akma hareketlerinin önemli bir bölümü kıyılarda gelişmiştir. Su altında gelişmesi durumunda, akma hareketleri kıyılardaki yapıların, limanların ve diğer tesislerin hareket eden zeminle beraber derinlere sürüklenmesine yol açmaktadır. Bu tür olayların tipik örnekleri ülkemizde



1999 Kocaeli depreminde meydana gelmiş ve İzmit körfezinin güney kıyısındaki Değirmendere’de akma hareketiyle kıyı şeriti ve buradaki yapılar denize sürüklenmiştir. Çünkü, Değirmendere’de kıyı topoğrafyasının eğimi daha dik olup sıvılaşmayla birlikte akma hareketi için gerekli ortam şartları sağlanmıştır. Akma türü kaymanın en tahrip edici düzeyde yaşandığı deprem, Çin’de meydana gelen 1920 Kansu depremidir. Bu depremde malzeme 1,6 km boyunca akmış ve yaklaşık 200.000 kişinin yaşamını yitirmesine neden olmuştur.

### **1.1.5 Sıvılaşmadan Kaynaklanan Hasarların Azaltılması.**

Binaların veya köprü, yol vb. gibi yapıların tasarımında ve inşasında gelecekte meydana gelebilecek olası bir sıvılaşmadan kaynaklanabilecek zararların en aza indirilebilmesi için esas alınan yöntemler;

- 1) Sıvılaşmaya duyarlı zeminlerde yapı inşasından kaçınılması,
- 2) Sıvılaşmaya karşı dayanıklı yapı inşası,
- 3) Zemin iyileştirilmesi,

olmak üzere üç gruba ayrılır (Mavi gezegen, 2000/2)

#### **1.1.5.1 Sıvılaşmaya Duyarlı Zeminlerde Yapı İnşasından Kaçınılması**

Sıvılaşmaya karşı önlem olarak akla gelen ilk ve en ekonomik yöntem, sıvılaşabilir zeminlerde inşaat yapılmasından kaçınmaktır. Bu amaçla; öncelikle sahanın jeolojik ve hidrojeolojik (yer altı suyuna ilişkin) özellikleri belirlenmekte, daha sonra belirli teknikler ve ölçütler kullanılarak ve zemin mekaniği biliminin esaslarından faydalanarak zeminin sıvılaşmaya yatkın olup olmadığı tayin edilmektedir. Değerlendirme sonuçlarının zeminin sıvılaşma potansiyeline sahip olduğunu göstermesi halinde, planlanan yapının inşasının bu zeminde yapılmasından vazgeçilerek başka inşaat alanı seçenekleri araştırılır.

Bununla birlikte yapılaşma açısından zorunlu alan sınırlaması ve herhangi bir tesis için (örneğin fabrika, liman vb.) uygun koşulların o sahada bulunması gibi faktörlerden ve diğer nedenlerden dolayı, sıvılaşma potansiyeline sahip olmasına rağmen yapının bu tür zeminler üzerinde inşasının zorunlu olduğu durumlarda söz konusu olabilmektedir.

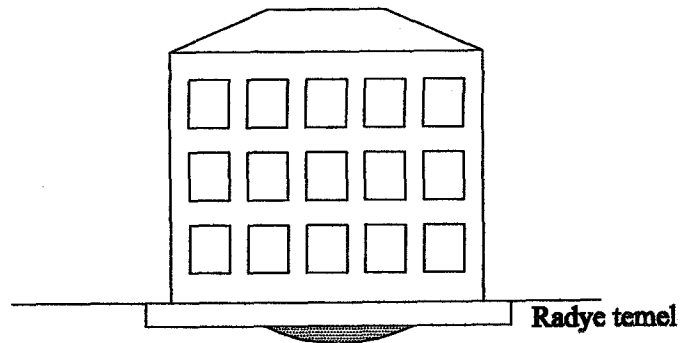
Sahanın terk edilemediği bu tür durumlarda aşağıda belirtilen yapı teknikleri veya zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır.

### 1.1.5.2 Sıvılaşmaya Karşı Dayanıklı Yapı İnşası

Sıvılaşmaya karşı dayanıklı yapı inşasında yapının temelini oluşturan yapı elemanları sıvılaşmanın etkilerini karşılayabilecek şekilde tasarılır. Temel tasarımına ilişkin hususlar sığ ve derin temel kavramları için aşağıda verilmiştir.

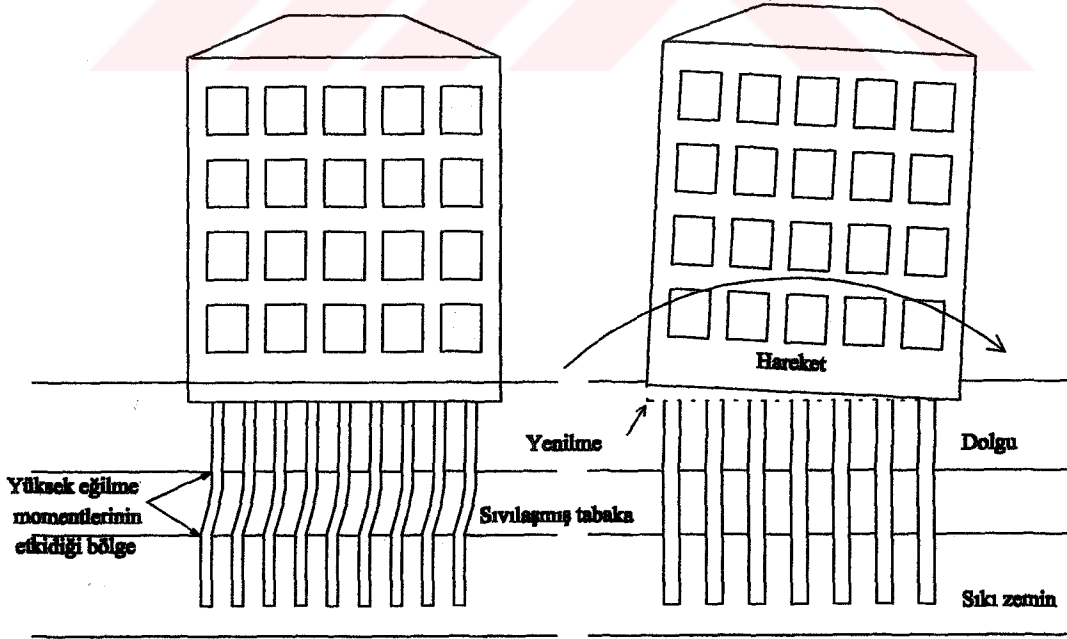
a) **Sığ temeller:** Yüzeyden itibaren sığ derinliklerde yer alan yapı temellerinde tüm temel elemanları, temelin harekete maruz kalması halinde yapının zemine aynı miktarda oturmasını (üniform oturma) sağlayacak şekilde bağlantılandırılmaktadır. Böylece temelin üzerindeki yapısal elemanlarda gelişebilecek makaslama kuvvetlerinin (birbirine ters yönde etkiyen kuvvet çiftleri) miktarı azaltılmaktadır. Bu amaçla, radye temel tipi seçimi iyi bir sığ temel örneği olarak bilinir. Temelin altında yerel olarak bulunan bir sıvılaşma bölgesinden (Şekil 1.9) kaynaklanacak yükler, bu tür bir temel tarafından sıvılaşan bölgenin çevresindeki daha sağlam zemine aktarılarak, yapının görebileceği hasarlar en aza indirilmekte veya önlenmektedir.

Sığ derinliklere yerleştirilen ve zeminin içinde gömülü durumda bulunan atık su şebekesi veya su borusu gibi alt yapı elemanlarının sıvılaşmadan kaynaklanabilecek hareketlerden ve oturmalarından etkilenmemesi için bunların bağlantılarının mümkün olduğunca sünümlü (esnek) olmasına özen gösterilir.



Şekil 1.9- Sıvılaşmış bölge

**b) Derin temeller:** Yapı temellerinin içine yerleştirileceği zeminin taşıma kapasitesinin çok düşük ve sağlam zemin seviyesinin derin olduğu koşullarda yapının sığ temeller üzerine inşa edilmesi tercih edilmez. Bu tür koşullarda, sağlam zemine veya temel kayaya kadar inen kazık temeller oluşturularak, yapılar bu temellerin üzerine inşa edilmektedir. Zemin sıvılaşması, kazık temellerin üzerinde büyük yanal yüklerin etkimesine neden olur (Şekil 1.10). Bu nedenle zayıf ve sıvılaşmaya yatkın zeminler içinde yapılan kazık temeller sadece yapının aktardığı yükleri taşımakla kalmayacak, aynı zamanda zayıf zeminin sıvılaşması halinde yatay yönde etkiyen yüklere ve bükülme momentlerine de karşı koyacak şekilde tasarlanır. Sıvılaşmanın etkilerine karşı yeterli derecede direnç gösterebilmesi için kazıklar daha büyük boyutlarda ve takviyeli olarak yapılır. Kazık temel uygulanmasında dikkat edilen diğer önemli bir husus da kazıkların yapının tabanındaki bağlantılarının esnek bir şekilde yapılmasıdır. Böylelikle yapının herhangi bir dönmeye uğraması engellenmiş olur. Eğer kazıkların bağlantı noktaları yenilirse (hasar görürse) yapı döndürücü momentlere karşı koyamayarak hasara uğrayabilir.



Şekil 1.10- Sıvılaşma nedeni ile kazık temellere etkiyen eğilme momentleri ve yapının rotasyona uğraması

### 1.1.5.3 Zemin İyileştirilmesi

Zeminlerin sıvılaşmaya karşı direncini artırmak amacıyla uygulanan zemin iyileştirilmesi (ıslahı) tekniklerinin esas hedefi, deprem sırasında aşırı gözenek suyu basınçlarının gelişmesini önlemektir. Hedefe ulaşılması için doğal durumuna oranla zeminin sıklığı artırılır veya drenaj kapasitesi (suyu uzaklaştırma) geliştirilir. Bu amaçla çeşitli teknikler uygulanmakla birlikte, bu teknikler özellikle geniş alanlarda yapılacak iyileştirme çalışmaları için oldukça pahalı tekniklerdir ve ayrıca siltli zeminlerde her zaman iyi sonuç vermeyebilir.

**a) Dinamik kompaksiyon (sıkıştırma):** Bu yöntem şahmerdan adı verilen metalden yapılmış bir ağırlığın 10 ila 30 m arasında değişen yüksekliklerden ard arda düşürülerek , zeminin darbe etkisiyle sıkıştırılması esasına dayanır. Bu amaçla, iyileştirilecek zeminin yüzeyi kare şeklindeki alanlara bölünür ve her karenin içinde kalan alandaki zemine darbe uygulanır. Yöntem, kum zeminlerin sıvılaşmaya karşı direncinin artırılmasında ekonomik bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Dinamik yüklemeden dolayı zemindeki aşırı gözenek suyu basıncı kaybolduğunda, zeminde ek bir sıkışma meydana gelir. Bununla birlikte, zeminin içerdiği ince tane miktarı fazla ise sıkışma zorlaşır.

**b) Vibroflotasyon :** Bu yöntemde, zeminin içine indirilen bir başlığın titreştirilmesiyle zeminin tane yapısı bozulmakta ve taneler bir araya gelerek zeminin sıkılaşması sağlanmaktadır. Uygulamada 30 m kadar bir derinliğe inilebilmekte ve kompaksiyon yönteminde olduğu gibi belirli aralıklarla sıkıştırma işlemi yapılmaktadır.

**c) Taş kolonları:** Zeminde açılan geniş çaplı deliklerin çakıl ile doldurulması, bu yöntemin esasını oluşturur. Taş kolonları vibroflotasyon tekniğiyle zemine yerleştirilebileceği gibi, metal muhafaza borularının içinden zemine dökülen çakılların üzerine şahmerdan düşürülerek de oluşturulabilir. Sıkıştırma işlemi yapıldıkça muhafaza borusu aşamalı olarak yüzeye çekilir.

**d) Sıkıştırma enjeksiyonu:** Bu yöntemde, su, kum ve çimentonun karıştırılması ile elde edilen ve akıcılığı düşük bir karışım, belirli bir basınç altında zemine enjekte edilir. Karışım nüfuz ettiği zeminin tanelerini öteleyerek sıkıştırır ve duraylı bir bölge

oluşturur. Yöntemin en önemli avantajlarından biri de mevcut yapıların temellerine de uygulanabilmesidir. Bu amaçla enjeksiyon işlemi yapının yan tarafından yapılacağı gibi, eğimli delikler aracılığıyla doğrudan yapının tabanındaki zemine de uygulanabilir.

**e) Sıvılaşabilecek zeminin sıvılaşmayan bir zeminle yer değiştirmesi:** Yöntem, sıvılaşma potansiyeline sahip zeminin kazılarak kaldırılması ve yerine sıvılaşma eğilimi olmayan bir zeminin konması esasına dayanır. Bu amaçla genellikle çimentoyla karıştırılmış çakıl ve kum kullanılmaktadır. Ancak yer değiştirme işlemi yapılırken, kazı şevinin yıkılmadan (kaymadan) duraylı kalması önem taşır. Sıvılaşabilecek zeminin kalınlığı fazla ise yöntem ekonomik olmaz.

**f) Drenaj teknikleri:** Sıvılaşmadan kaynaklanabilecek zararlar, zeminin drenaj kapasitesinin (suyun zeminden alınması) artırılması suretiyle de azaltılabilmektedir. Eğer zeminin gözeneklerindeki su ortamdan uzaklaştırılabilirse, deprem sırasında gelişebilecek aşırı gözenek suyu basınçları da önemli ölçüde azaltılmış olacaktır. Çakıl ve kum drenleri veya zemine yerleştirilen sentetik malzemeler (jeomembranlar) başlıca drenaj teknikleri olarak kullanılmaktadır. Çakıl ve kum türü malzemeler, zeminde belirli aralıklarla düşey yönde açılmış deliklerden dökülerek çakıl veya kum drenleri oluşturulur. Buna karşılık, sentetik malzemedan yapılan jeomembranlar ise, zemine istenen açıyla yerleştirilebilmektedir. Sıvılaşmaya karşı daha etkili bir zemin iyileştirilmesinin yapılabilmesi amacıyla drenaj teknikleri çoğu kez yukarıda belirtilen diğer zemin iyileştirme teknikleriyle birlikte kullanılmaktadır (Mavi gezegen, 2000/2).

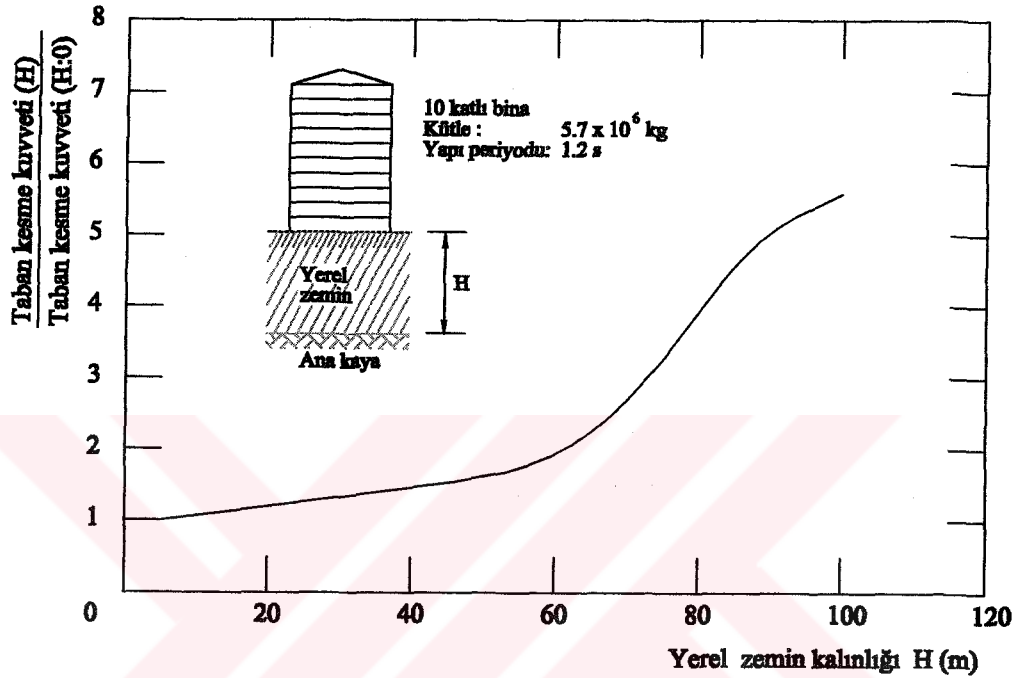
## 1.2 Zemin Yapı Etkileşiminin Göz Önüne Alınmaması

17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen Marmara Depremi'nde İstanbul Beyoğlu ve İstanbul Avcılar'da ivme kaydedicilerden okunan değerler; Beyoğlu'nda yatay ivme  $a:0.06g$ , Avcılar'da yatay ivme  $a:0.18g$  olarak ölçülmüştür. Yani Avcılar'da ki bir bina Beyoğlu'nda bulunan aynı özellikteki bir binanın yaklaşık 3 katı yatay yüke maruz kalmıştır.

Bu durumu depremin merkez üssüne olan uzaklıkla değil, zeminin deprem yükünü büyütmesi olarak açıklamak mümkündür. Beyoğlu'nda genel olarak Z2 sınıfına giren Trakya formasyonu denilen kayalık zemin hakim iken, Avcılar' da ise Z4 sınıfı denilen

oturmasını tamamlamamış sonradan doldurma olan zeminler daha çoktur. Yukarıda verilen örnek bile zemin etkisinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Ana kaya üzerindeki yerel zemin sınıfının kalınlığı ile taban kesme kuvvetinin nasıl değiştiği Şekil 1.11'de gösterilmiştir.



Şekil 1.11- San Francisco 1957 depreminde zemin kalınlığının kesme kuvvetine etkisi

Şekil incelendiğinde ana kaya ile yapı arasındaki yerel zeminin yüksekliği arttıkça taban kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Grafikte  $H=80$  m değerine karşılık yaklaşık olarak taban kesme kuvveti (H) / taban kesme kuvveti (H=0) oranı 4 olmaktadır. Yani binamız ana kaya üzerinde otururken taban kesme kuvveti  $V$  iken, bina ile ana kaya arasında 80 m'lik yerel zemin varken taban kesme kuvveti  $4V$  olmaktadır.

### 1.2.1 Zemin Yapı Etkileşimi

Deprem hareketinde zemin ve yapı birlikte hareket ederler ve bu sırada birbirlerini etkilerler. Örneğin 1970 Gediz depreminde merkez üstünden 135km uzaklıktaki yerleşim merkezinde hiçbir hasar meydana gelmemiş, sadece bir fabrika yıkılmıştır. Daha sonra yapılan incelemede, fabrikanın ilk frekansının, yapının üzerinde bulunduğu zemininki ile yaklaşık olarak eşit olduğu tespit edilmiştir. Bu olay zemin yapı etkileşiminden çok, zeminin yapının davranışına olan etkisini göstermektedir (Celep ve Kumbasar, 2000)

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

- a) Yapının altındaki zemin ana kayadaki deprem etkisini değiştirerek verir. Bu bazı yapılarda etkinin büyümesi sonucunu doğurur.
- b) Zeminin etkisi ile yapının periyod ve mod şekilleri gibi dinamik özelliklerinde değişiklikler meydana gelir.
- c) Yapıdaki titreşim enerjisinin önemli bir kısmı, zemine mesnetlenmenin rijit olmaması, zemindeki sönüm ve zeminde yayılma etkisi ile söner.
- d) Yapının, üzerinde bulunduğu zeminin etkisiyle deprem sırasında farklı oturmalar meydana gelebilir.

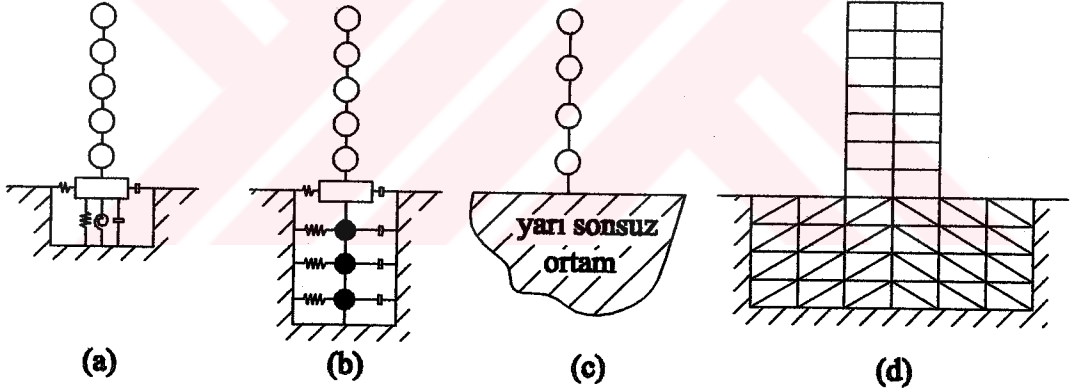
Genellikle, zemin yapı etkileşimi, b ve c'de verilen olayların incelenmesi olarak ele alınır. Bu iki durumda yapının davranışı kısmi olarak zeminden ve benzer şekilde zeminin davranışı da yapıdan etkilenir. Bunun gibi zeminin yer hareketini büyültmesi olarak bilinen olayda zemin yapı etkileşiminden değişikliğe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

Yapının davranışının incelenmesinde izlenecek ideal yol, deprem hareketinin ana kayaya uygulanması ve bunun üst zeminde ve yapıdaki etkilerinin hesaplanması olarak görülebilir. Ancak yer hareketi için elde edilen bilgilerin ana kayaya ait olmayıp, yer

yüzü ölçümlerinden elde edildiği düşünülürse bunun gerçekçi olmadığı ortaya çıkar. Bunun yerine yapının temelinde yay ve sönüm alarak, deprem hareketinin yüzeyden etkidiğini kabul etmek daha uygun olabilir. Diğer bir yol da, zeminin dinamik karakteristiklerinin önceden belirlenip, zemin ve yapı davranışının beraberce incelenmesidir.

Zeminin dinamik karakterlerinin incelenmesinde, zemin rijitliğini, sönümü ve sonsuz ortama enerji yayılmasını göz önüne alan modeller çeşitli yaklaşıklıkta geliştirilebilir (Şekil 1.12);

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



Şekil 1.12- Zemin yapı etkileşiminin değişik hassaslıkla modellenmesi (Celep ve Kumbasar, 2000)

### 1.2.2 Zemin Hakim Periyodu İle Yapı Periyodu İlişkisi

Zemin hakim periyodu ile binanın titreşim periyodunun yakın olması durumunda rezonans durumu oluşur ve yapı çok büyük deprem yüküne maruz kalır. Örneğin 1970 Gediz depreminde merkez üssünden 135 km uzaklıktaki hiçbir yapıda hasar meydana gelmemiş olmasına rağmen bir fabrika yıkılmıştır. Daha sonra yapılan incelemede fabrikanın ilk



titreşim periyodunun, yapının üzerinde bulunduğu zeminin zemin hakim periyoduna çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Bu durum şöyle değerlendirilebilir: Yapının depremde fazla yük almaması için zemin hakim periyodu ile binanın titreşim periyodu birbirine yakın olmamalı, mümkün olduğunca bu değerler birbirinden uzak olmalıdır.

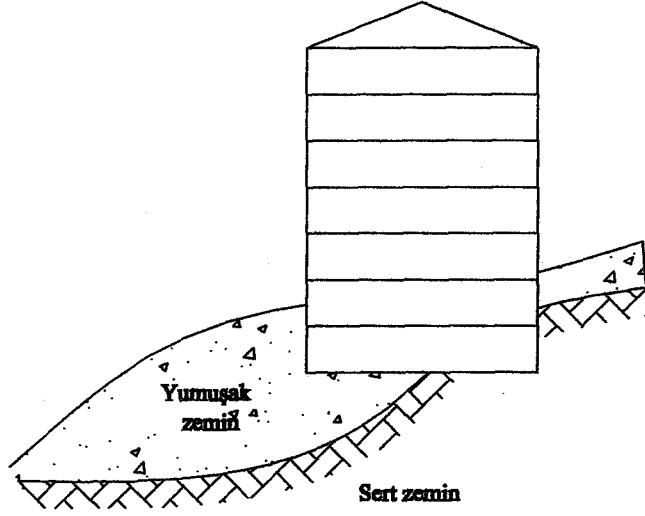
Zemin hakim periyodunun zemin cinsine göre değişimi Tablo 1.1'deki gibidir.

Tablo 1.1- Zemin hakim periyodunun zemin cinsine göre değişimi

ZEMİN 1	Cinsi a	To : 0.20	Tort : 0.25
ZEMİN 1	Cinsi b	To : 0.25	
ZEMİN 1	Cinsi c	To : 0.30	
ZEMİN 2	Cinsi a	To : 0.35	Tort : 0.42
ZEMİN 2	Cinsi b	To : 0.40	
ZEMİN 2	Cinsi c	To : 0.50	
ZEMİN 3	Cinsi a	To : 0.55	Tort : 0.60
ZEMİN 3	Cinsi b	To : 0.60	
ZEMİN 3	Cinsi c	To : 0.65	
ZEMİN 4	Cinsi a	To : 0.70	Tort : 0.80
ZEMİN 4	Cinsi b	To : 0.80	
ZEMİN 4	Cinsi c	To : 0.90	

Tabloyu incelediğinde; Z1, Z2 sınıfı sert zeminlerin zemin hakim periyodunun düşük olduğunu görülmektedir.. Öyle ise sert zeminlere titreşim periyodu yüksek olan çok katlı yapı yapılması mümkündür. Z3, Z4 sınıfı yumuşak zeminlere zemin hakim periyodu yüksek olduğu için çok katlı yapı inşası sakıncalıdır. Bu cins zeminlere titreşim periyodu düşük olan az katlı yapıların yapılması gerekir.

### 1.3 Bir Yapının Farklı Zeminlere Oturması Durumu



Şekil 1.13- Farklı zeminlere oturan bir yapı örneği

Şekil 1.13'deki gibi, iki farklı zemin üzerine oturan bir yapı, özellikle deprem esnasında, farklı zeminlerde farklı oturmalar meydana geleceğinden dolayı, tek tip bir zemine oturan bir yapıya göre, daha fazla depremden etkilenecektir. Bu yapı, deprem olmadan dahi zeminlerin farklı oturmalar yapmasından dolayı, zamanla hasar görebilir. Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak için, yapı mutlaka aynı tip zemin üzerine yapılmalıdır. Eğer, yapının oturduğu alanın büyük olmasından dolayı bu yapılamıyorsa farklı zemin üzerinde olan yapı kısımları derzlerle birbirinden ayrılmalıdır.

## 2. BETON KALİTESİNİN DÜŞÜK OLMASI

Depreme dayanıklı yapının birinci kuralı, projedeki beton dayanımının bitmiş yapıda da sağlanmasıdır. Eğer projedeki beton dayanımı inşaatta sağlanamıyorsa, inşaatta sağlanabilecek beton dayanımına göre proje hazırlanmalıdır.

Yurdumuzda oluşan deprem hasarlarının en önemli nedeni beton kalitesinin düşük olmasıdır. 21. yüzyıla girdikten sonra bile Ülkemizde hazır beton kullanımının çok yaygın olmaması ve betonun genellikle elde yapılması beton kalitesinin düşük olmasının en önemli nedenidir. Beton elle yapılırken betonu oluşturan agrega ve çimento genellikle göz kararı karıştırılarak beton elde edilmektedir. Maliyeti düşürmek için çimento miktarında azaltmaya gidilmesi, işçilerin betonu kolay karabilmek ve yerleştirebilmek için fazla su katması, beton dökülürken vibratörün kullanılmaması, beton döküldükten sonra özellikle ilk hafta beton kürüne dikkat edilmemesi, betonun dış etkilerden korunmaması, beton kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Türkiye’de elle yapılan betonların ortalama mukavemeti  $60-100 \text{ kg/cm}^2$  civarındadır. Bu değer ise deprem bölgelerinde kullanılması gereken minimum beton kalitesi olan BS 20’nin çok altındadır. Avrupa ülkelerinde, Amerika ve gelişmiş ülkelerde asgari beton kalitesi ülkemizde öngörülenin çok üstündedir (BS 25- BS 30- BS 35).

Ülkemizdeki deprem hasarların azaltılabilmesi için, elle beton dökümüne son verilmeli, beton santrallerinin yaygınlaştırılarak sıkı bir denetim altında tutulmalıdır.

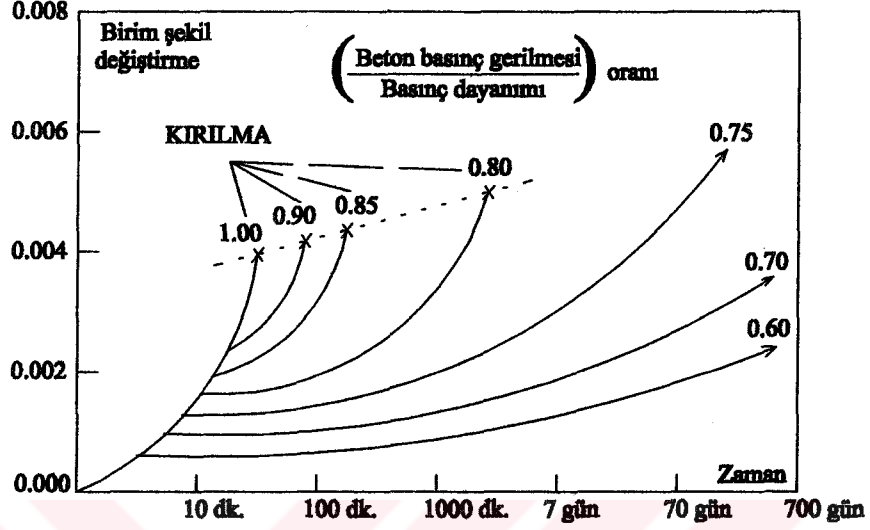
Betonarme yapı elemanlarında, betonun en önemli görevi, deprem anında bile kendisine etki edecek basınç gerilmelerini ezilmeden ve dağılmadan taşıyabilmesidir. Beton ezildikten sonra donatıların da göçmeyi geciktirmek dışında yapabileceği bir şey yoktur. Çünkü donatıların esas görevi basınç gerilmelerini değil, çekme gerilmelerini karşılamaktır. Beton ile sarılmayan boyuna donatılar sık etriyelerle sarılırsa bile, beton ezilerek görevini yapamaz hale gelmesi ile birlikte er veya geç burkularak basınç taşıyamaz hale gelir. Bu durum ise betonarme elemanın göçme konumunu ifade eder.

Ayrıca hesaplarda göz önüne alınmamasına rağmen, betonarme yapı elemanları çatlayıncaya kadar beton, donatılarla birlikte çekme gerilmelerini karşılar.

### 2.1 Düşük Beton Dayanımının Kolon Aksenal Yüğü Üzerindeki Etkisi

Rüsch (1960) tarafından yapılmış uzun dönemli yük altında beton davranış deneylerinde, betonun taşıdığı yükün kırılma yüküne oranı büyüdükçe betonun daha

kısa sürelerde kırıldığı gözlenmiştir (Şekil 2.1). Bu durum betonun taşıdığı yük ile kırılma yükü arasındaki oranın önemini göstermektedir.

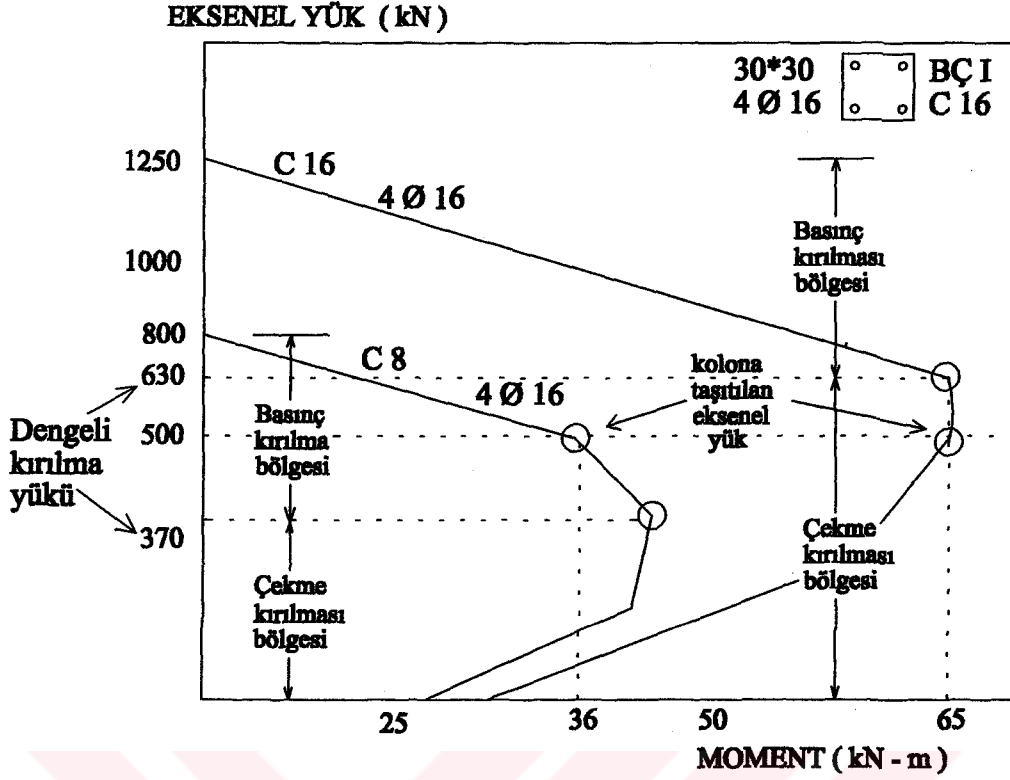


Şekil 2.1- Uzun süreli yüklemelerde beton basınç gerilmesi / beton dayanımı oranının beton birim şekil değiştirme ve kırılmaya etkisi (RUSCH, 1960)

Eğer beton kırılma yükünün % 75 ve daha çoğunu taşıyorsa, kırılma yükü gelen yükten en çok % 33 fazla ise beton kısa sürede kırılmaktadır. Taşınan yük kırılma yüküne yaklaştıkça bir anlamda emniyet payı azaldıkça beton kırılmaktadır (Bayülke, 1998).

### 2.1.1 Düşük Beton Dayanımının Aksenal Yük Altındaki Kolonların Moment Taşıma Gücüne Etkisi

Kolonlar yalnızca aksenal yük taşımazlar. Özellikle depremde yanal yükler kolon uçlarında eğilme momentleri oluşturmakta ve kolon hem aksenal yük hem de moment altında zorlanmaktadır. Şekil 2.2'de örnek bir kolonun moment aksenal yük karşılıklı etki diyagramı verilmektedir.



Şekil 2.2- Eksenal yük – moment karşılıklı etki diyagramı

Hem aksenal yük hem de eğilme momenti taşıyan kolonların kırılma biçimi aksenal yük düzeyine ve gelen aksenal yükün, aksenal yük taşıma gücüne oranına bağlıdır. Kolonun taşıdığı aksenal yük, dengeli kırılma aksenal yükünden küçük ise moment etkisi altında çekme, büyük ise basınç kırılması olacaktır. Basınç kırılması hem daha küçük bir yatay kuvvetin etkisi ile hem de gevrek ve ani bir beton kırılması ile olmaktadır. Deprem enerjisi tüketimi azdır. Çekme kırılması ise sünektir ve kırılma donatıda ve daha çok deprem enerjisi tüketerek olur (Bayülke 1989). Şekilde görüldüğü gibi 500kN aksenal yük taşıyan ve  $16 \text{ kN/mm}^2$  basınç dayanımlı betonu olan kolonda kırılma çekme bölgesinde olurken kırılma momenti 65 kN.m'dir. Beton basınç dayanımı  $8 \text{ kN/mm}^2$  olunca 500 kN yük altında kırılma basınç bölgesinde ve ancak 36 kN.m bir moment altında olmaktadır (Bayülke, 1998)

## 2.2 Betonun İyi Yerleştirilmemesi

Betonun içindeki boşluk oranı ne kadar düşük olursa beton kalitesi o kadar yüksek olur. Beton hazırlanırken kullanılan fazla su, betonun içindeki boşluk oranının fazla olmasına, dolayısı ile beton kalitesinin düşmesine neden olur.

İyi yerleştirilmeyen beton içerisinde ise büyük boşluklar oluşabilir. Betonun içerisinde boşluk kalmaması için beton vibratör ile yerleştirilmelidir. Ayrıca süper akışkandırıcı kullanımı da betonun boşluksuz yerleştirilmesinde önemli bir etkidir. Yüksek kalitedeki betonun basınç ve çekme dayanımının yüksek olmasının yanında geçirimsizliği de yüksektir. Bu özellik ise betonun ve betonun içindeki donatıların dış etkilerden korunması için önemli bir etkidir. Geçirimsizliği yüksek olan beton dış etkilere karşı daha dayanıklı ve daha uzun ömürlüdür.

## 2.3 Donatı Sıyırılması

Beton dayanımı yüksek değilse betonla donatı arasındaki kenetlenme (aderans) dayanımı da az olur. Kenetlenme dayanımı az ise donatı akma gerilmesine ulaşmadan betondan sıyrılır ve donatının yüksek kalıcı deformasyon ve pekleşme ile daha büyük yük taşıması ve kesitte daha büyük moment oluşması ve donatının sünek davranmasına dayanan 'mafsallaşma' ile deprem enerjisi tüketimi gerçekleşemez (Bayülke, 1998).

Betonarme bir elemanın depremde enerji tüketebilmesi ancak donatıların akma değerine kadar zorlanması ile mümkündür. Donatıların akma gerilmesine ulaşması için donatı bindirme boyu uzun tutulmalı ve beton dayanımı yüksek olmalıdır. Eğer beton kalitesi düşük ve donatı bindirme boyu kısa ise deprem anında donatı sıyırılması olabilir. Bu durumda ise betonarme eleman, deprem enerjisini tüketmeden geçebilir.

Donatıların bindirme boyları ile ilgili TS 500'de verilen aşağıdaki denklemlere uyulmalıdır:

a) Düz donatılarda

$$L_b = \left(0,22 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \right) \geq 40 \emptyset$$

b) Nervürlü donatılarda

$$L_b = \left(0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \right) \geq 40 \emptyset$$

### 3. BETONARME YAPI ELEMANLARININ SÜNEKLİĞİ

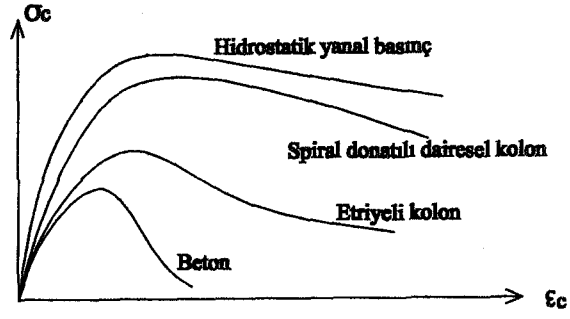
Yapıların depremde hasar görmesinin en önemli nedenlerinden birisi süneklik düzeyi yüksek eleman oluşturulmasına özen gösterilmemesidir.

Deprem durumunda zeminden temele, temelden binaya iletilen deprem enerjisi binanın taşıyıcı sistem elemanlarını şekil değiştirmeye zorlar. Eğer taşıyıcı sistem elemanları taşıma güçlerinden önemli bir kayıp vermeden bu enerjiyi tüketebilirlerse, bu bina depremi zarar görmeden atlatır. Ancak, elemanlar deprem enerjisini tüketebilecek şekilde tasarlanmamışlarsa, bu deprem enerjisi taşıyıcı sistem elemanlarının dayanımında önemli derecede azalmalara, hatta güç tükenmesine sebep olabilir. Bu tür yapılar depremde ciddi anlamda etkilenerek kısmen ya da tamamen yıkılabilirler.

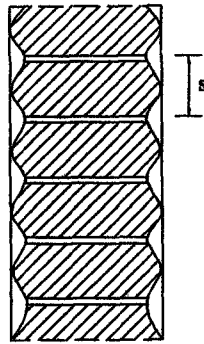
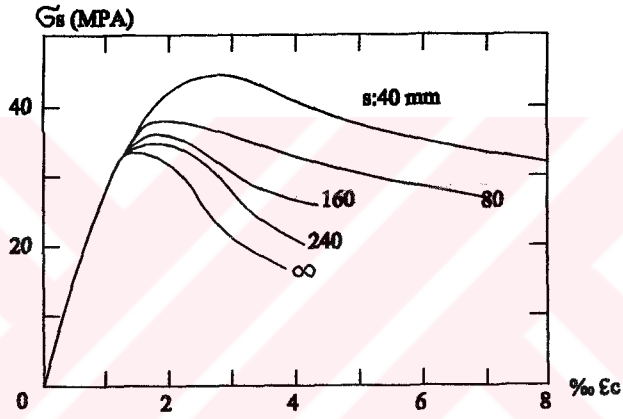
Burada üzerinde durulması gereken önemli bir nokta vardır. Taşıyıcı sistem elemanları (kolon, kiriş ve perdeler) nasıl tasarlanmalı ki, depremden kendi payına düşen enerjiyi başarı ile tüketebilsin?

“Yüksek şekil değiştirme kabiliyetine sahip, şekil değiştirirken taşıma gücünde önemli bir kayıp vermeden deprem enerjisini tüketebilen elemanlara süneklik düzeyi yüksek elemanlar denir. Süneklik düzeyi yüksek yapı elemanları, dolayısı ile bu elemanları içeren yapı sistemleri, göçmeden önce büyük plastik şekil değiştirmeler yapabilmektedir” (Polat, 2000). Beton, basınç altındaki şekil değiştirme dışında çekme ve kesme kuvveti altında oluşan gerilmelere ve bu gerilmelerin oluşturduğu şekil değiştirmelere karşı çok zayıf olan gevrek, kırılğan bir malzemedir. Gevrek bir malzeme olan betonu, deprem sırasında göçmeksizin eğilip bükülebilen bir eleman haline getiren; kolonlara, kirişlere ve perdelerle konulan boyuna donatılar ve etriyelerdir. Betonu sararak koruyan özel deprem etriyeleri ve çirozları depreme dayanıklı yapının en basit ancak en önemli elemanlarıdır.

Süneklik düzeyi yüksek betonarme eleman oluşturmanın en basit ve en önemli kuralı betonarme elemanların sık etriyelerle sarılmalarıdır. Şekil 3.1 ve 3.2’de beton dayanımına yanal basıncın etkisini göstermektedir.



Şekil 3.1- Yanal şekil değiştirmesi değişik şekillerde sınırlandırılmış betonun gerilme – şekil değiştirme eğrisi



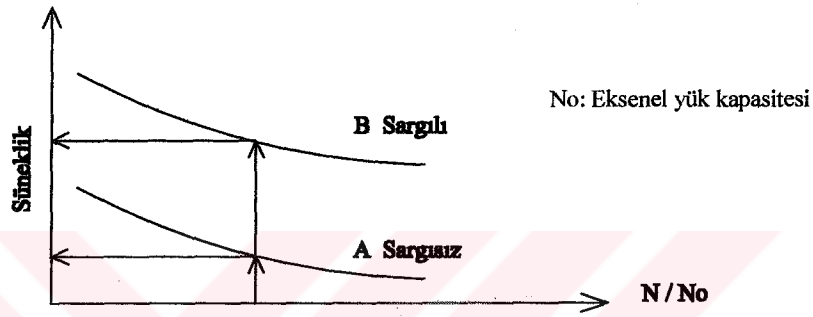
Şekil 3.2 – Betonun davranışına etriye aralığının etkisi (Celep ve Kumbasar, 2000)



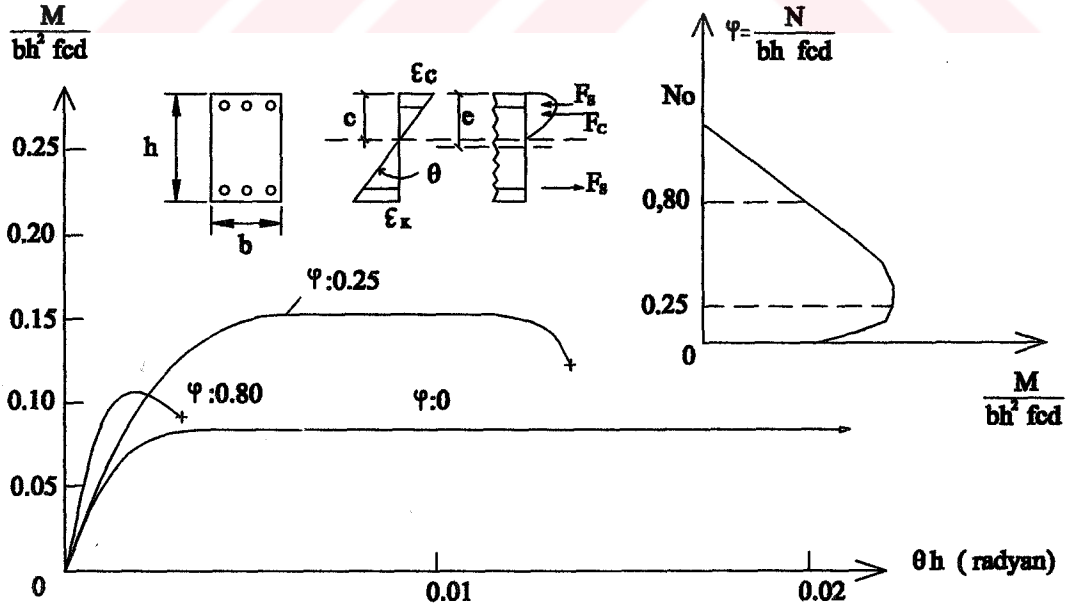
### 3.1 Süneklik Düzeyi Yüksek Kolon Tasarımı

Kolonlar genellikle normal kuvvetin hakim olduğu elemanlardır. Bundan dolayı kolonlar depremde kırılma konumuna genellikle çekme donatısı akmadan basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile ulaşır. Bu tür kırılmada süneklik yoktur. Kolonlarda süneklik aksenal yük arttıkça azalır( şekil 3.3 - 3.4).

Betonun bu özelliğini dikkate alan 1997 Deprem Yönetmeliği deprem bölgelerindeki kolon kesitlerinin  $F_c = bh \geq Nd / (0,5 f_{ck})$  şartını yerine getirmesi istenmektedir.



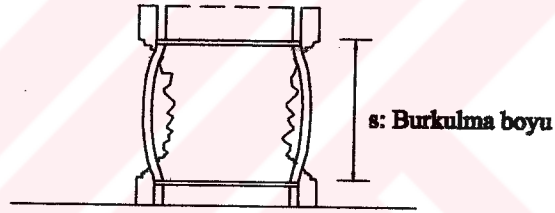
Şekil 3.3- Sargılı ve sargısız betonda  $N / N_o$  oranının süneklığe etkisi



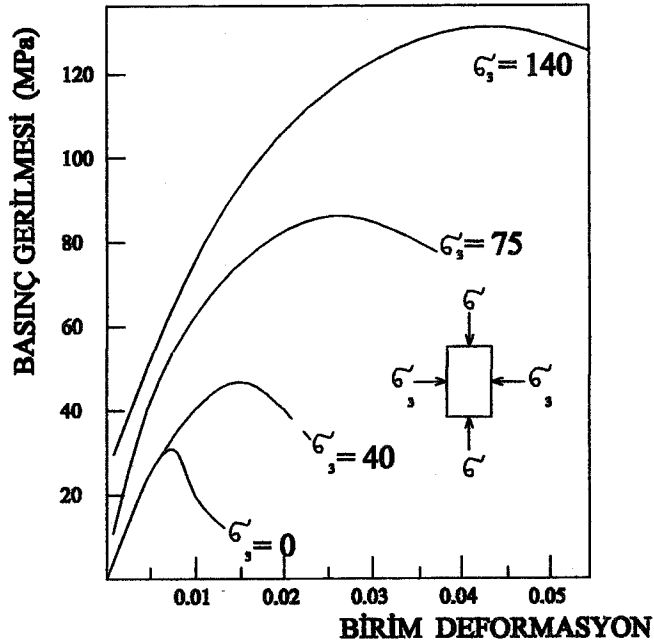
Şekil 3.4- Normal kuvvetin kesit süneklığıne etkisi

Kolonun sünekliğini artırmanın bir yolu kolonun kesitini artırmak, diğer yolu ise etkili sargı donatısı uygulamak ve beton kalitesini artırmaktır. Betonarme yapı elemanlarını oluştururken dikkat edilmesi gereken nokta çekme gerilmelerini çeliğe, basınç gerilmelerini de betona taşımaktır. Özel deprem etriyeleri ve çirozları Şekil 3.6'dan da anlaşılacağı gibi betonun basınç dayanımını önemli ölçüde artırmaktadır. Ayrıca sık uygulanan etriyeler, boyuna donatıların burkulma boyunu azaltarak, deprem sırasında boyuna donatılarda oluşan basınç gerilmelerini, boyuna donatıların burkulmadan taşımalarını sağlar (Şekil 3.5).

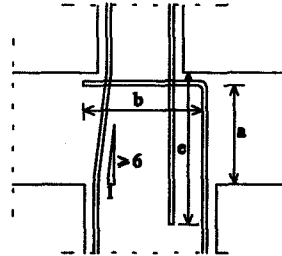
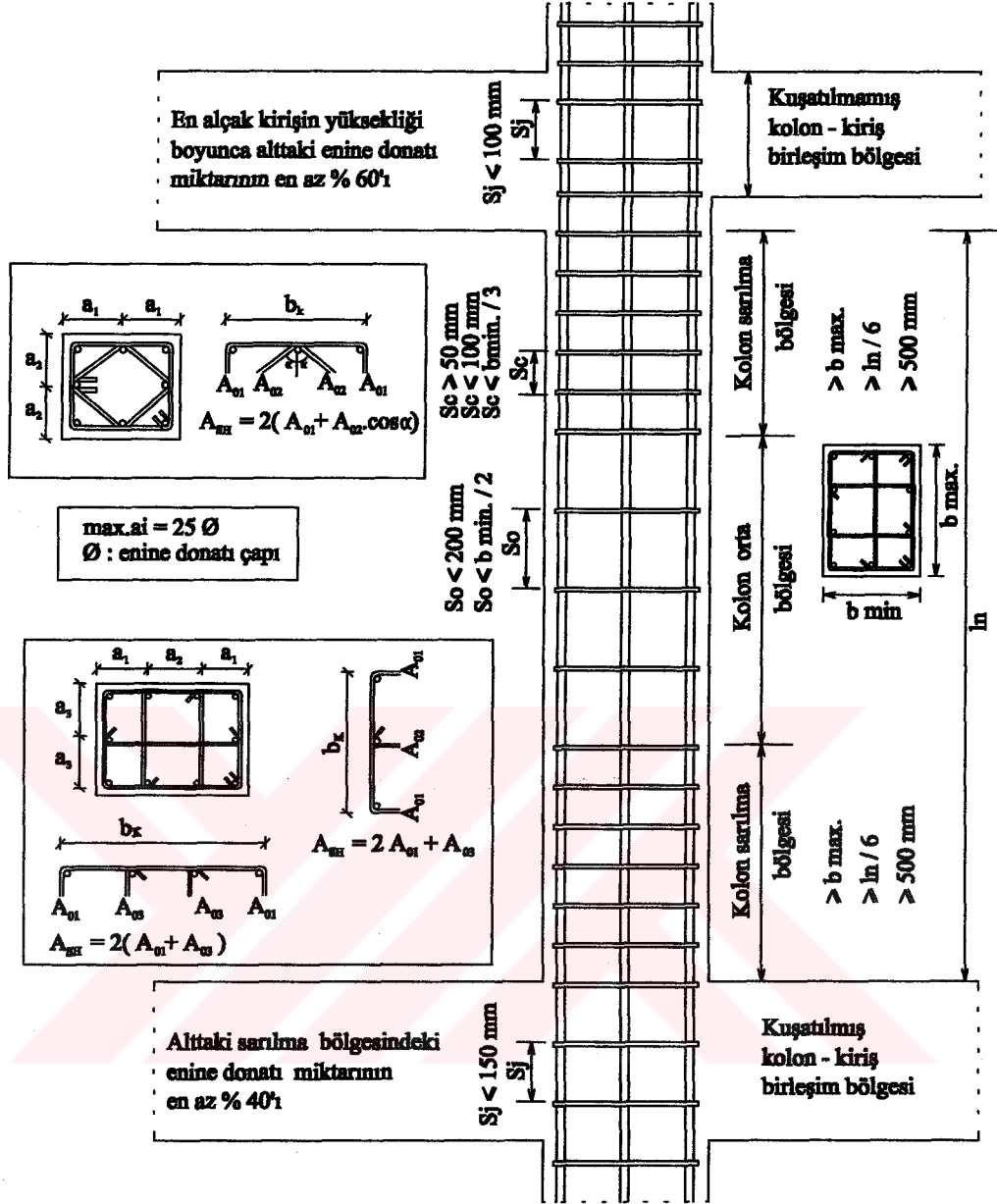
Betonun basınç dayanımının yanal basınçla artışı Şekil 3.6'da verilmiştir. Betonun basınç dayanımının bu şekilde artırılıyor olması, özel etriye ve çirozların geliştirilip uygulanmasına sebep olmuştur. Süneklik düzeyi yüksek kolon yapımında dikkat edilmesi gereken detaylar Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.5- Etriye aralığının burkulma boyuna etkisi



Şekil 3.6- Beton basınç dayanımının yanal basınçla artması (Richart vd, 1928)



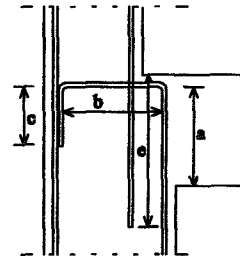
$$(a + b) \geq 1.5 l_b$$

$$(a + b) \geq 40 \emptyset$$

$$b \geq 12 \emptyset$$

$$e \geq 1.5 l_b$$

$$e \geq 40 \emptyset$$



$$(a + b + c) \geq 1.5 l_b$$

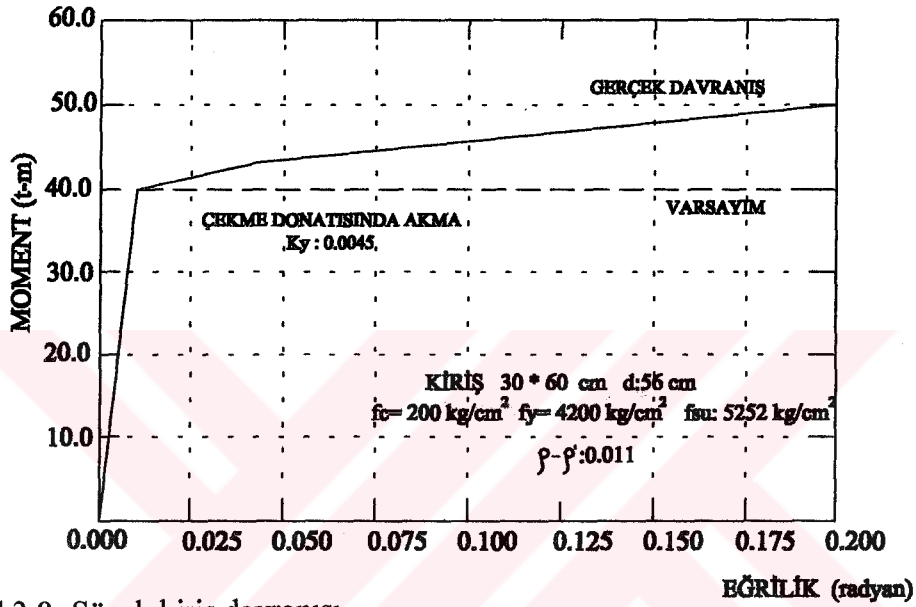
$$(a + b + c) \geq 40 \emptyset$$

$$c \geq 12 \emptyset$$

Şekil 3.7- Süneklik düzeyi yüksek kolon tasarımında dikkat edilmesi gereken donatı detayları ( ABYYHY, 1997)

### 3.2 Süneklik Düzeyi Yüksek Kiriş Tasarımı

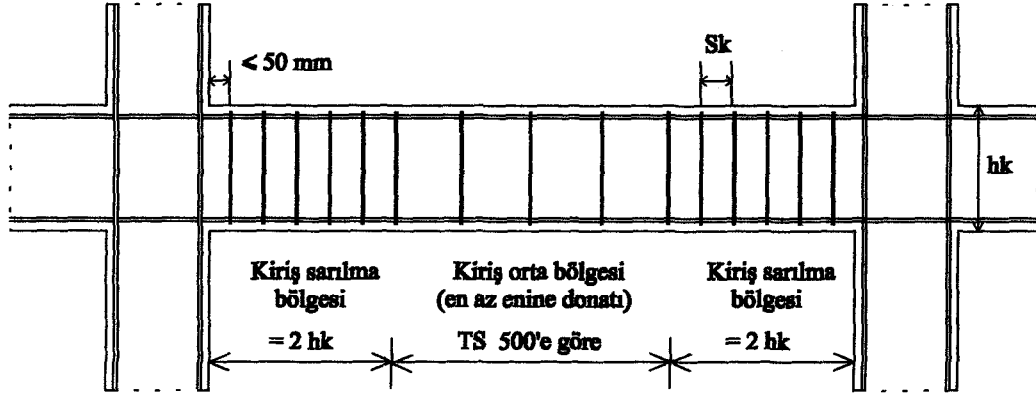
Herhangi bir kiriş eğilme altında taşıma gücüne basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile ulaşır. Deprem yönetmeliğinin öngördüğü denge altı kirişlerde beton ezilmeye başlamadan çok önce donatı akar (Şekil 3.8). Donatının daha önce akması kirişin sünek davranmasını sağlar.



Şekil 3.8- Sünek kiriş davranışı

Betonarme bir kirişin eğilme yerine kesmeden kırılması, gevrek bir kırılmaya yol açar. Gevrek kırılma ise depremde istenmeyen bir kırılma çeşididir. Kesme kırılması olurken kirişlerdeki donatılar birçok kez akma dayanımına kadar zorlanmaz. Bu durumun önlenmesi için kiriş hesabı yapılırken kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden fazla olması gerekir. Bu da yeterli etriye bulundurmakla sağlanır (özellikle sıklaştırma bölgesine özen gösterilmelidir). Kirişlere konacak iyi detaylandırılmış kapalı etriyeler kesme kapasitesini artırdığı gibi, eğilmede akma sonrası sünekliği de önemli ölçüde artırır.

Süneklik düzeyi yüksek kiriş yapımında beton kalitesinin yüksek olmasının yanında donatı detaylarına dikkat edilmelidir (Şekil 3.9, 3.10, 3.11, 3.12).

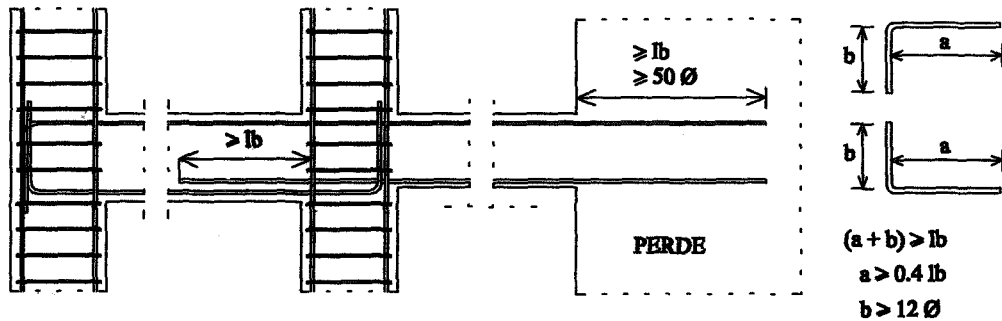
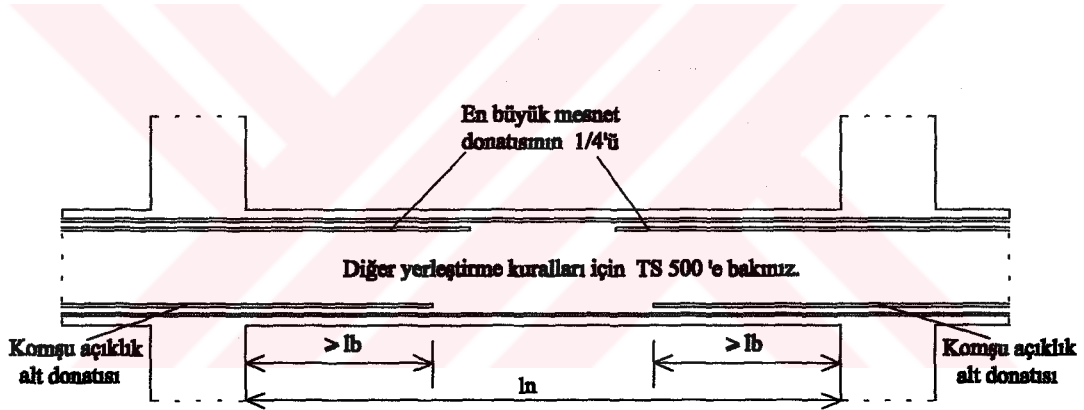


$$S_k < h_k / 4$$

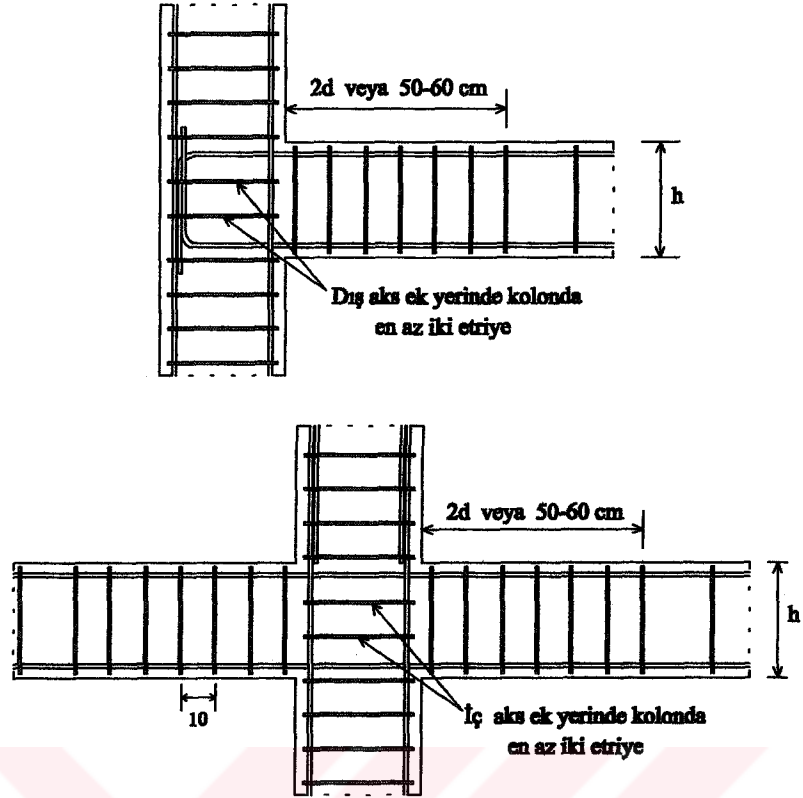
$$S_k < 8 \varnothing \quad (\varnothing \text{ en küçük donatı çapı})$$

$$S_k < 150 \text{ mm}$$

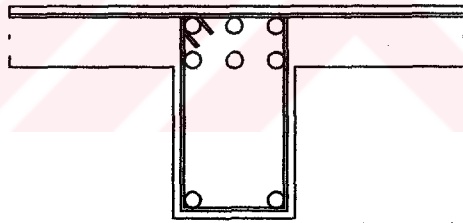
Şekil 3.9- Kirişlerde etriye sıklaştırması ile ilgili ayrıntılar



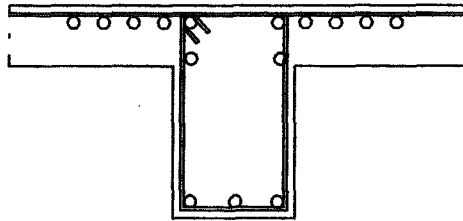
Şekil 3.10- Kirişlerde donatı yerleştirme şekilleri ve ankraj boyu ile ilgili ayrıntılar (ABYYHY, 1997)



Şekil 3.11- İç ve dış aks kolon kiriş birleşmesinde kiriş uçlarında donatı sıklaştırması



a) Negatif moment altında çift sıra donatının sıkışık bir şekilde yerleştirilmesi. Üst donatıların arasından beton ve vibratörün geçmesi zor.



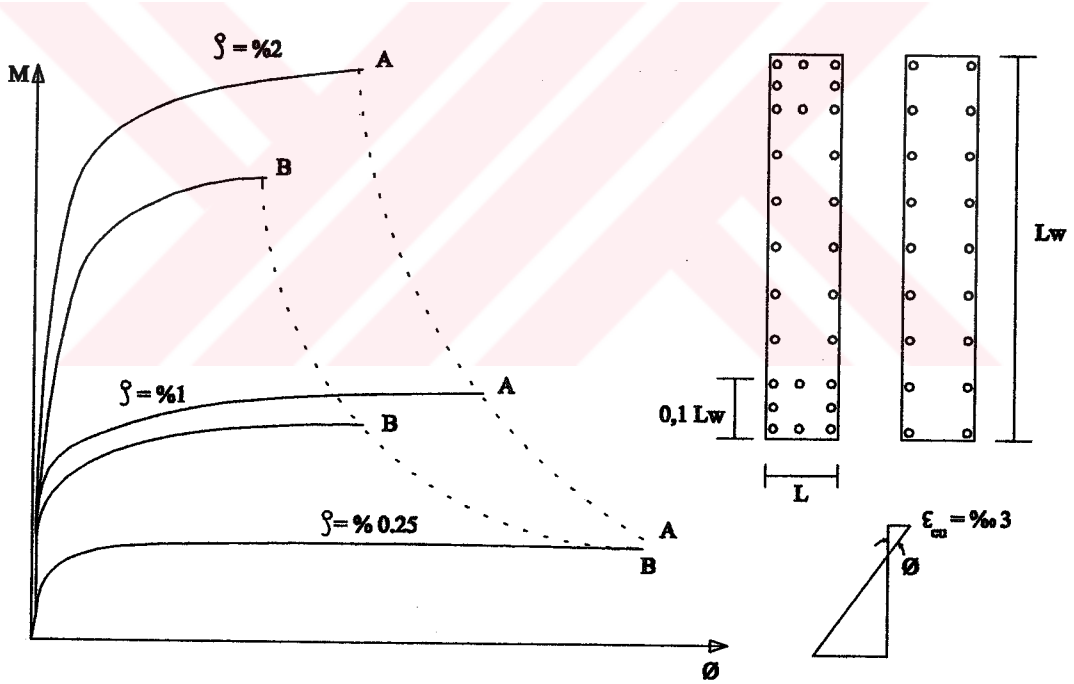
b) Negatif moment donatılarının sıkışıklığı önleyecek şekilde yerleştirilmesi. Daha ince donatılar seçilmelive döşeme kalınlığının 4 katını aşmayan bir bölgede döşemeye yerleştirilmelidir.

Şekil 3.12- Kiriş uçlarında negatif moment altında donatı sıkışıklığının önlenmesi (Bayülke, 1998)

### 3.3 Süneklilik Düzeyi Yüksek Perde Tasarımı

Betonarme perdeler, deprem bölgelerinde inşa edilen betonarme yapıların vazgeçilmez elemanlarıdır. Perdeler çok katlı yapılarda mukavemetleri yanında yanal yer değiştirmeleri başarı ile sınırlaması yönünden tercih edilirler. Simetrik, yeterli kesitte ve özenle düzenlenmiş perdeler, sistemin toptan göçmesini önledikleri gibi taşıyıcı olmayan yapı kısımlarının hasarlarını da büyük ölçüde önlerler.

Orta yükseklikteki binalarda perde kesitlerinde genellikle çok büyük kesit tesirleri meydana gelmez. Bu yüzden perde donatısı tüm çevresine düzgün bir şekilde dağıtılır. Ancak büyük eğilme momentleri halinde uç bölgelerdeki donatı yoğunlaştırması, aynı zamanda sünekliliğini de nispeten artırır. Bu yüzden uçlarda daha sık donatı düzenlenmesi her zaman yararlıdır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13- Basit eğilme etkisindeki perde kesitinde donatı miktarının ve kesitteki dağılımının davranışına etkisi

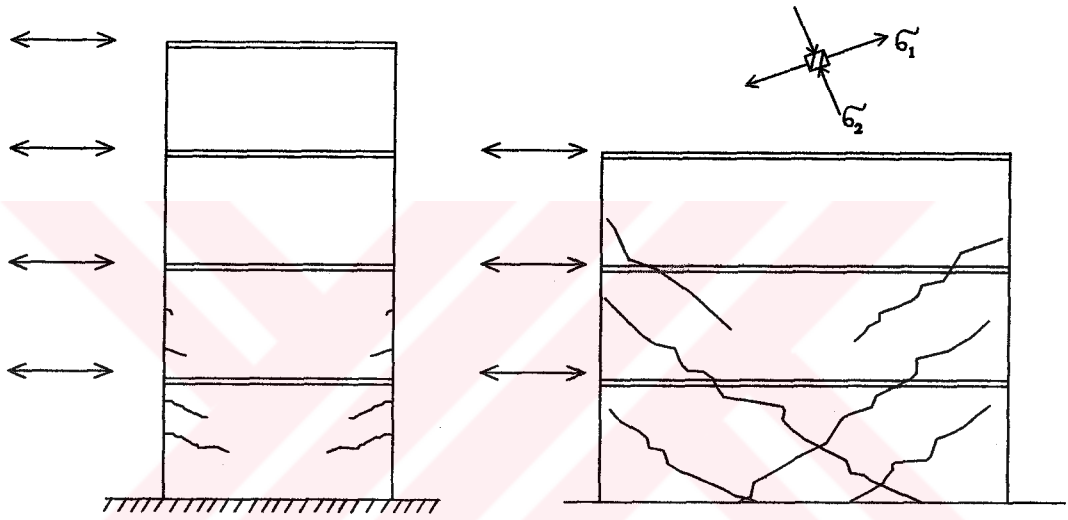
Ayrıca tıpkı kolonlarda olduğu gibi, perde boşluklarının zorlanma ihtimali yüksek olan ilk katlarda sık etriyeli yapılması, perdenin sünekliliğini ayrıca artırır (Polat, 2000).

Perdeler kırılma durumuna kesme veya eğilme nedeni ile ulaşabilir. Eğilme kırılması şekil 29a'da gösterildiği gibi eğilme çatlağı boyunca donatının akması ile meydana

gelir. Kesmenin hakim olduğu durumlarda asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşan eğik çatlaklar kırılmaya neden olur (Şekil 3.14-b).

Asal basınç gerilmelerinin yüksek olduğu durumlarda perde gövdesinde eğik yönde ezilme olur ve donatı burkular. Yukarıda bahsedilen Şekil 3.14 a'da gösterilen olumsuz durumun önüne perdede başlık bölgesi oluşturarak, Şekil 3.14 b'de gösterilen olumsuz durumun önüne ise yeterli yatay donatı kullanarak geçilebilir.

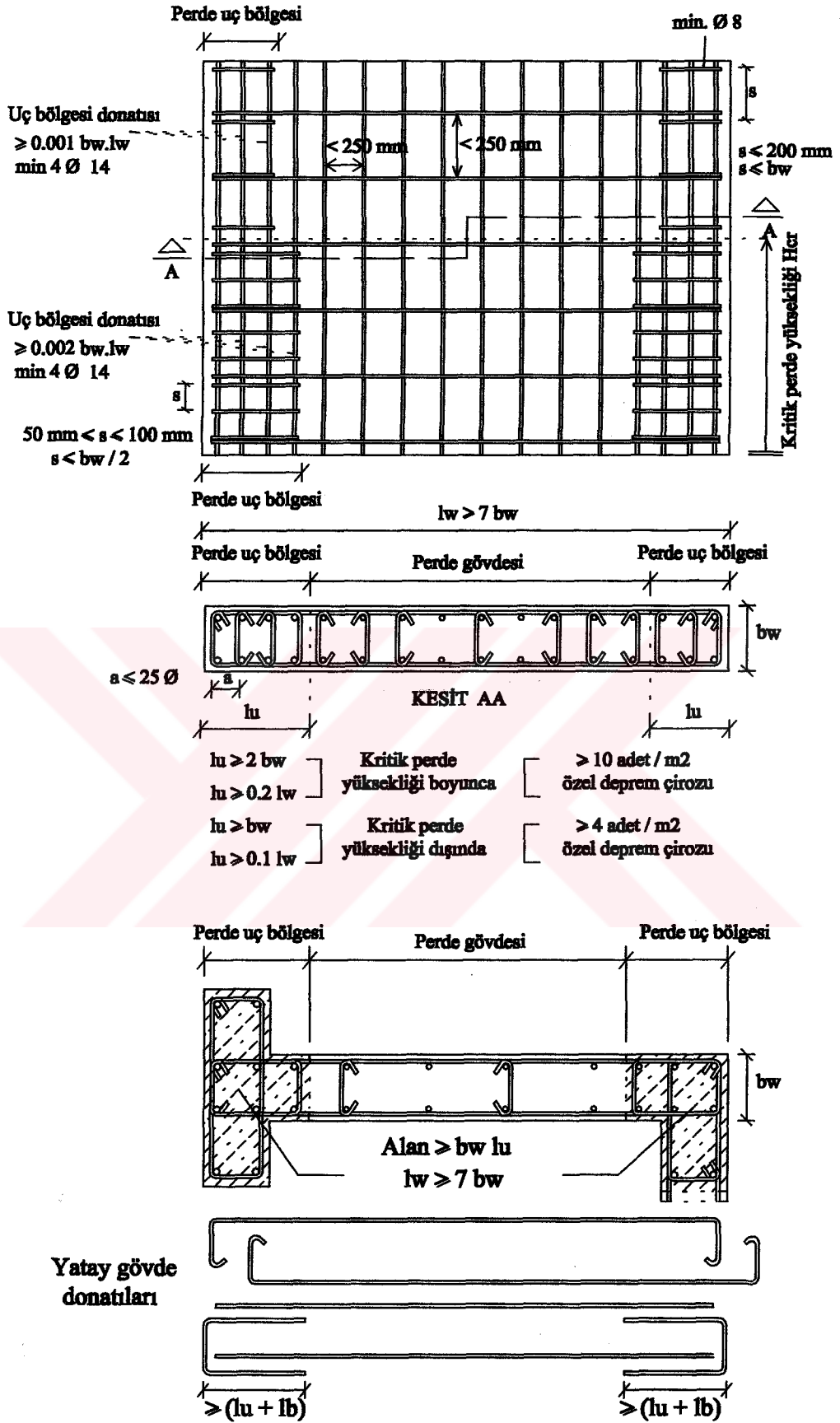
Süneklik düzeyi yüksek perde dayanımında dikkat edilmesi gereken donatı detayları Şekil 3.15'deki gibidir.



Şekil 3.14.a- Eğilme  
hasarı örneği

Şekil 3.14.b- Kesme  
hasarı örneği



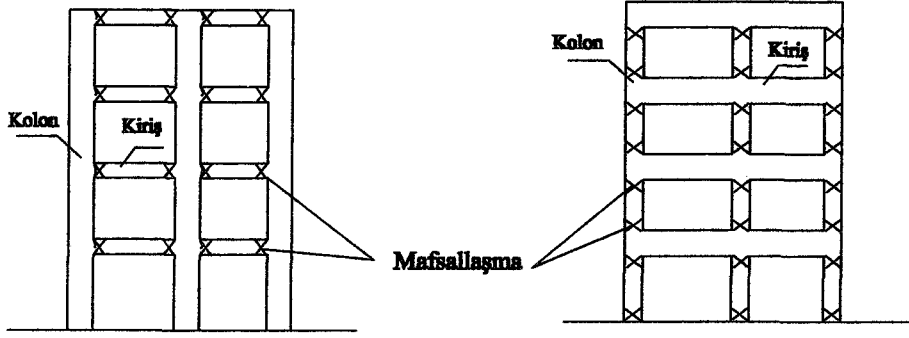


Şekil 3.15- Perdelere donatı yerleştirme biçimleri (ABYYHY, 1997)

#### 4. TAŞIYICI SİSTEM SEÇİMİNDE YAPILAN HATALAR

##### 4.1 Kolonların Kirişlerden Daha Zayıf Yapılması

Bir çerçeve göçme konumuna yeterli sayıda plastik mafsall oluşması ile ulaşır. Göçme mekanizması Şekil 4.1'de gösterildiği gibi iki ayrı biçimde oluşabilir.



a) Kirişler kolonlardan daha zayıf,  
Kırılma kirişte  
Daha az tehlikeli

b) Kolonlar kirişlerden daha zayıf  
Kırılma kolonda  
Daha çok tehlikeli

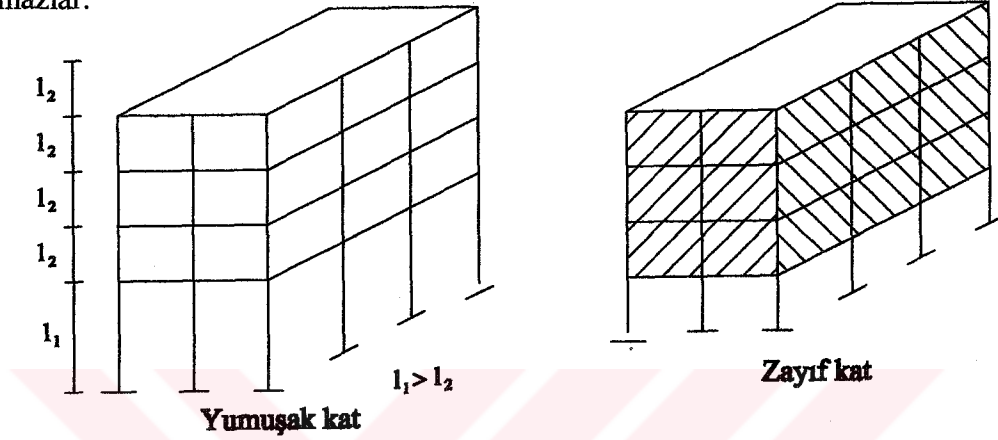
Şekil 4.1- Kiriş ve kolon boyutlarının mafsallaşma üzerindeki etkileri

Şekil 4.1 a'da gösterilen kiriş mekanizmasıdır. Bu tür göçmede mekanizma, kiriş uçlarında plastik mafsallarda oluşur. Şekil 4.1 b'de gösterilen ise, kolon mekanizmasıdır. Kolon (özellikle aksenal yük kapasitesi yüksekse) kirişe göre daha gevrek bir özellik gösterir. Bundan dolayı, kiriş mekanizması kolon mekanizmasına tercih edilmelidir. Göçmenin kolon yerine kiriş mekanizmasında oluşması, kolonların kirişlerden daha güçlü yapılması ile mümkündür.

Büyük bir depremde yapıda yüksek bir ihtimalle hasar meydana gelir. Bu hasarın kolon uçlarında değil de kiriş uçlarında oluşması sağlanmalıdır. Bir katın kolon uçlarında plastik mafsalların oluşması yapının göçmesi için yeterlidir. Plastik mafsalların kiriş uçlarında olması sağlanırsa, yapı göçmeden önce nispeten büyük deplasmanlar yapmaktadır. Kolonlar mafsallaşmadığı sürece yapı ayakta kalmakta, oluşan çevrimsel deplasmanlarda (titreşimlerde), plastik mafsallarda önemli ölçüde enerji tüketilmekte ve salınım genlikleri hızla küçülmektedir. Bu arzu edilen kuvvetli kolon zayıf kiriş davranış şeklidir. Yurdumuzda depremlerdeki yıkılmaların en önemli sebeplerinden biriside kolonların kirişlerden zayıf yapılmasıdır.

## 4.2 Yumuşak Kat

Statik hesaplarda ihmal edilen ancak deprem esnasında çok büyük görevler üstlenen dolgu duvarlarından bahsetmek gerekir. Dolgu duvarlar betonarme perdeler kadar olmasa da depremde bulunduğu katın yatay rijitliğini önemli ölçüde artırarak yatay ötelemeyi kısıtlar. Bu durumda kolonlar büyük ikinci mertbe momentlere maruz kalmazlar.



Şekil 4.2- Yumuşak kat ve zayıf kat örnekleri

Üst katların konut, zemin katında ticari amaçlarla kullanılması sonucu üst katlarda bulunan dolgu duvarlar zemin katlarda genelde bulunmaz. Bu durumda ise zemin kat düzeyinde yumuşak kat oluşabilir (Şekil 4.2).

Yumuşak katın en büyük dezavantajı, kolon mafsallaşması nedeni ile sünekliliğin sınırlı kalması ve hasar sonrası onarım güçlüğüdür. Ayrıca tüm enerji tüketimi tek katta yoğunlaşmaktadır.

## 4.3 Zayıf Tabliye ( Kirişsiz Ve Asmolen Döşemeler )

Yerinde dökme kirişsiz döşemelerde kiriş yoktur. Döşeme doğrudan doğruya kolon tarafından taşınır. Kirişsiz döşemelerde döşeme kalınlığı kirişli plak döşeme kalınlığının yaklaşık iki katıdır. Bu döşeme sisteminin üç önemli mahsuru vardır.

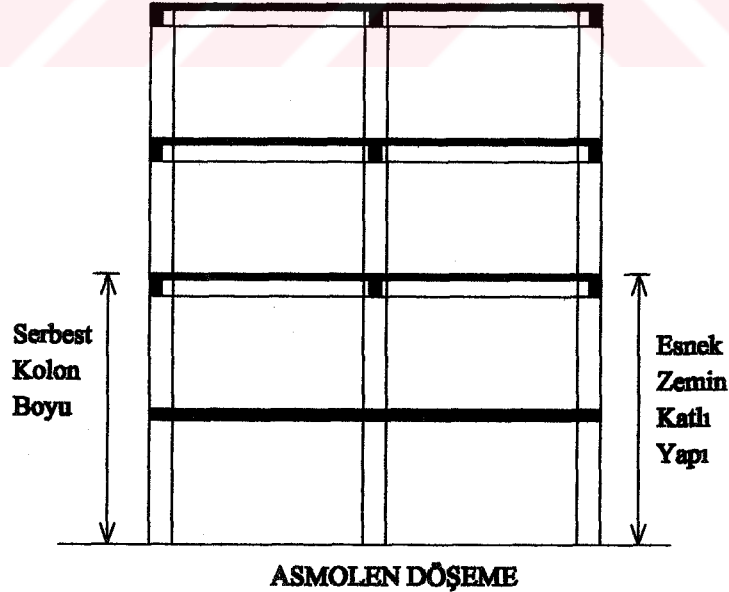
- 1- Döşemeler doğrudan kolonlar tarafından taşındığı için kolon ve döşeme ara yüzeyi sınırlıdır. Sınırlı ara yüzeyde büyük kesme gerilmeleri olduğundan zımbalama kırılması olasıdır.
- 2- Çerçevelerde kiriş olmadığından daha az rijittir. Bu ise yatay ötelemelerin ve ikinci mertbe momentlerin büyük olması anlamını taşır.

- 3- Kirişli plak döşeme sistemine nispetle daha ağır olduğundan daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kalır.

Asmolenli döşemelerde kalınlık 25-35 cm arasındadır. Yatık kirişlerin derinliği ise bu yükseklik ile sınırlıdır. Asmolen dolgulı nervürlü döşeme sistemi, plak kiriş döşeme sistemine göre % 25 daha ağırdır. Bu tür döşeme sistemli yapılara gelen deprem yükleri daha büyüktür. Bunun dışında kiriş derinliğinin sınırlı olması çerçeve rijitliğinin sınırlı olmasına, dolayısı ile yatay ötelemenin büyümesine sebep olur. Yatay ötelemenin büyümesi durumunda ise ikinci mertbe momentlerin devreye girmesi söz konusu olur.

Eğer bir binanın giriş katı ticari amaçla kullanılacaksa, bu kata dolgu duvarların fazla istenmemesi normal karşılanabilir. Ancak bu kat için ek tedbirlerin alınması gerekir.

- 1- Bina boyunca devam eden ve planda simetrik olarak dağıtılan betonarme perdeler yapılabilir.
- 2- Deprem yönetmeliğinde öngörülen yük artırımına göre kesitler hesaplanmalı ve düşey taşıyıcıların kesitleri yeteri kadar büyük yapılmalıdır.
- 3- Etriye sıklaştırması kolon boyunca devam ettirilmelidir.
- 4- Bu kattaki beton kalitesi daha yüksek seçilmelidir.



Şekil 4.3- Zemin kat kirişlerinin asmolen döşeme nedeni ile üst katlara göre sığ yapılması sonucu birinci ve ikinci katların kolonları arada döşeme yokmuş gibi olmakta, burkulma olasılığı artmakta ve esnek zemin katlı davranış olasılığı güçlenmektedir (Bayülke, 1998).

Yukarıda bahsedilen döşeme sistemleri, deprem tehlikesinin çok düşük olduğu 4. ve 5. deprem bölgelerinde 3-4 katlı yapılarda kullanılabilir. Deprem tehlikesinin yüksek olduğu yerlerde yapının yatay ötelenmesi betonarme perdelerle sınırlandırılmış ise kullanılabilir.



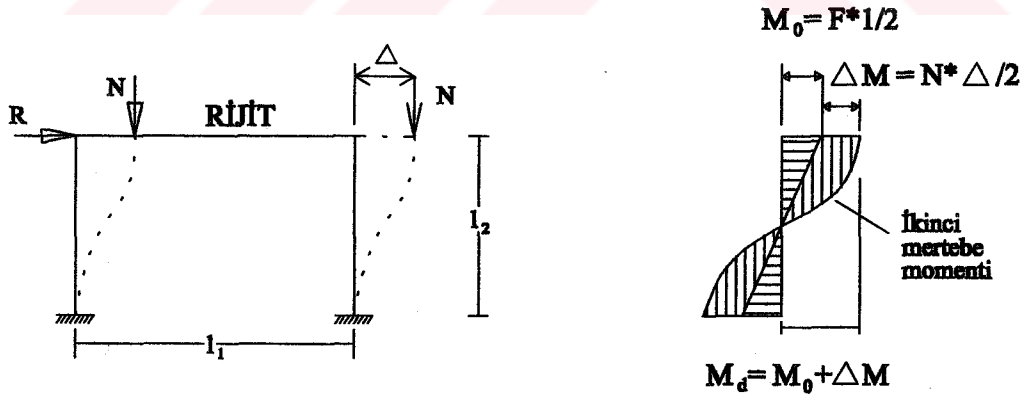
## 5. YAPILARDA YATAY RİJİTLİĞİN AZ OLMASI NEDENİ İLE İKİNCİ MERTEBE MOMENTLERİN ARTMASI

Sınırlı yatay ötelemenin çok önemli olduğu özellikle son yıllarda yapılan gözlemler ve deneylerle kanıtlanmıştır. Bu nedenle tasarımda, özellikle düşey taşıyıcılar boyutlarında cömert davranılması gerekmektedir. Başka bir deyişle yanal rijitliğin yüksek tutulması gerekmektedir.

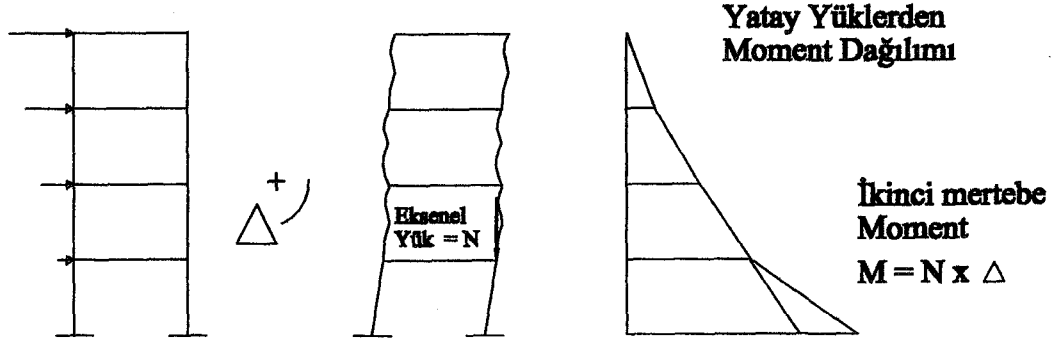
Yanal rijitliği artıran etkenler şöyle sayılabilir:

- 1) Yapıda her iki yönde simetrik olan betonarme perdeler;
- 2) Büyük kesitli kolonlar;
- 3) Derin kirişler ( kuvvetli kolon zayıf kiriş kuralı çerçevesinde);
- 4) Dolgu duvarları;
- 5) Yüksek dayanımlı beton ve iyi tasarlanmış donatılar.

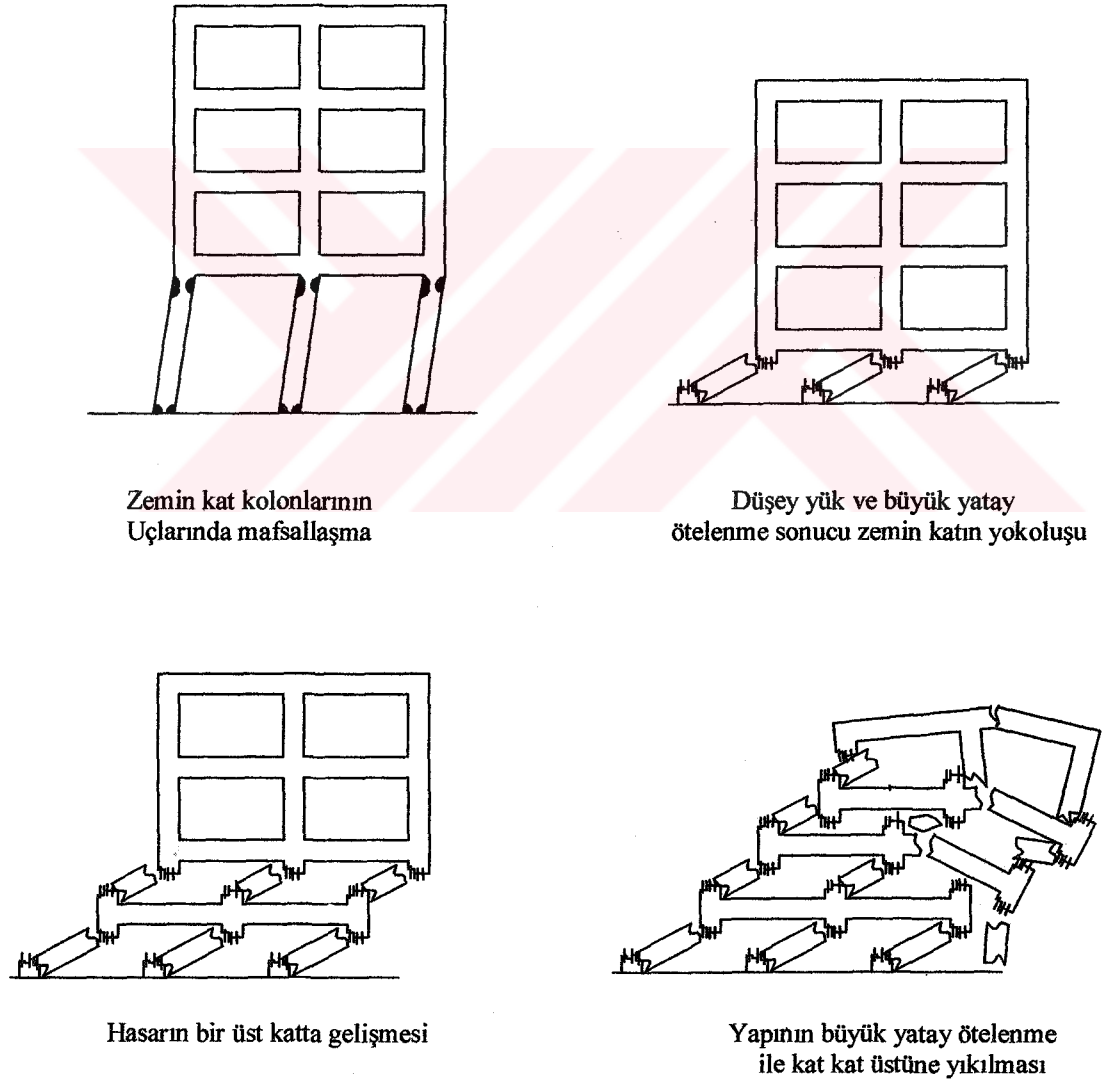
Bir yapı yukarıda bahsedilen özellikleri taşııyorsa, depremde büyük yatay ötelemelere maruz kalacaktır. Büyük yatay ötelemeler sonucu etkili olan ikinci mertebe momentleri Şekil 5.1, 5.2, 5.3'de gösterilmiştir.



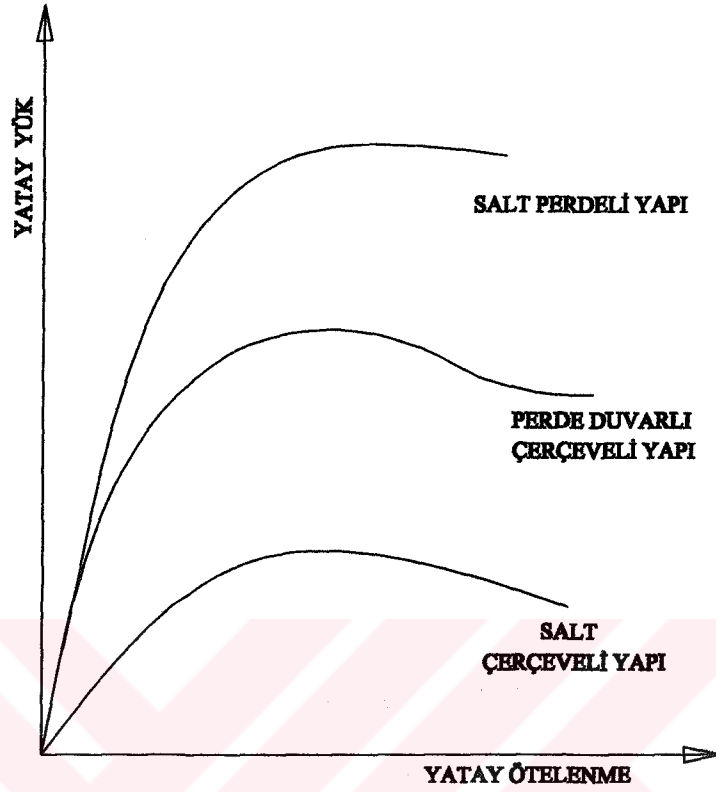
Şekil 5.1- Büyük yatay ötelemelerde çok etkili olan ikinci mertebe momentlerinin şematik gösterimi



Şekil 5.2- Esnek yapılarda ikinci merteye momentlerin oluşması



Şekil 5.3- Esnek yapılarda aşırı yatay ötelenmeden yıkılma (Bayülke, 1998)



Şekil 5.4- Taşıyıcı sistemlerin yatay yükler altındaki idealleştirilmiş davranışları

Bu grafik perdelerin bir binada ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

1997 Deprem Yönetmeliğinde görelî kat ötelemesi sınırlanmıştır.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (5.1)$$

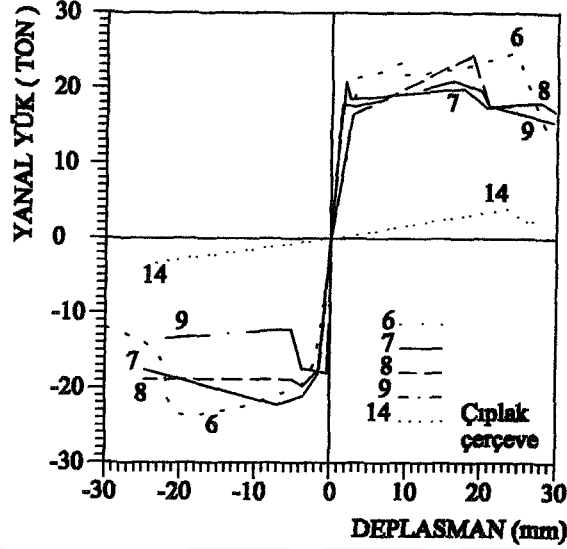
Her bir deprem doğrultusu için binanın herhangi bir  $i$ 'nci katındaki kolon veya perdelerde denklem (5.1) ile hesaplanan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri  $(\Delta_i)_{\max}$ , denklem (5.2)'de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacaktır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad (5.2a)$$

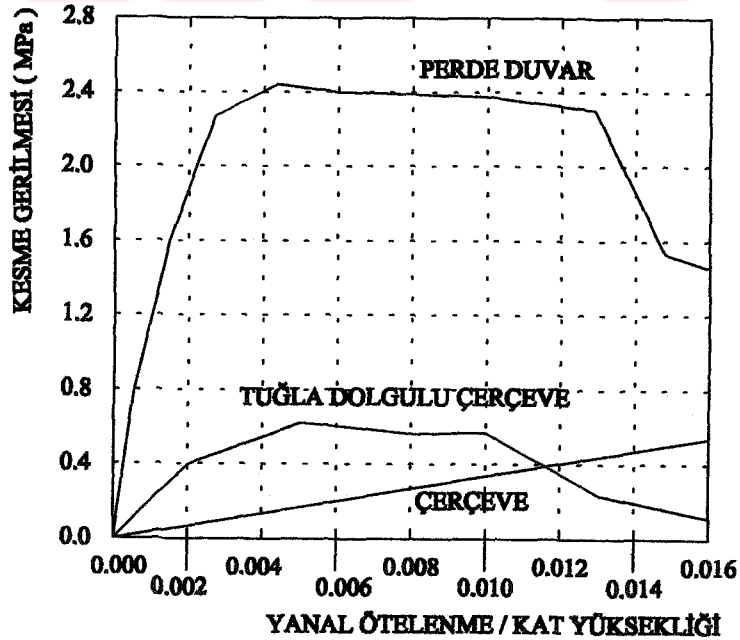
$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \quad (5.2b)$$



ODTÜ’de yapılan deneylerde yalın çerçeve ve dolgulu çerçevelerin yanal yük ve yatay deplasmanları ölçülerek Şekil 5.5 elde edilmiştir.

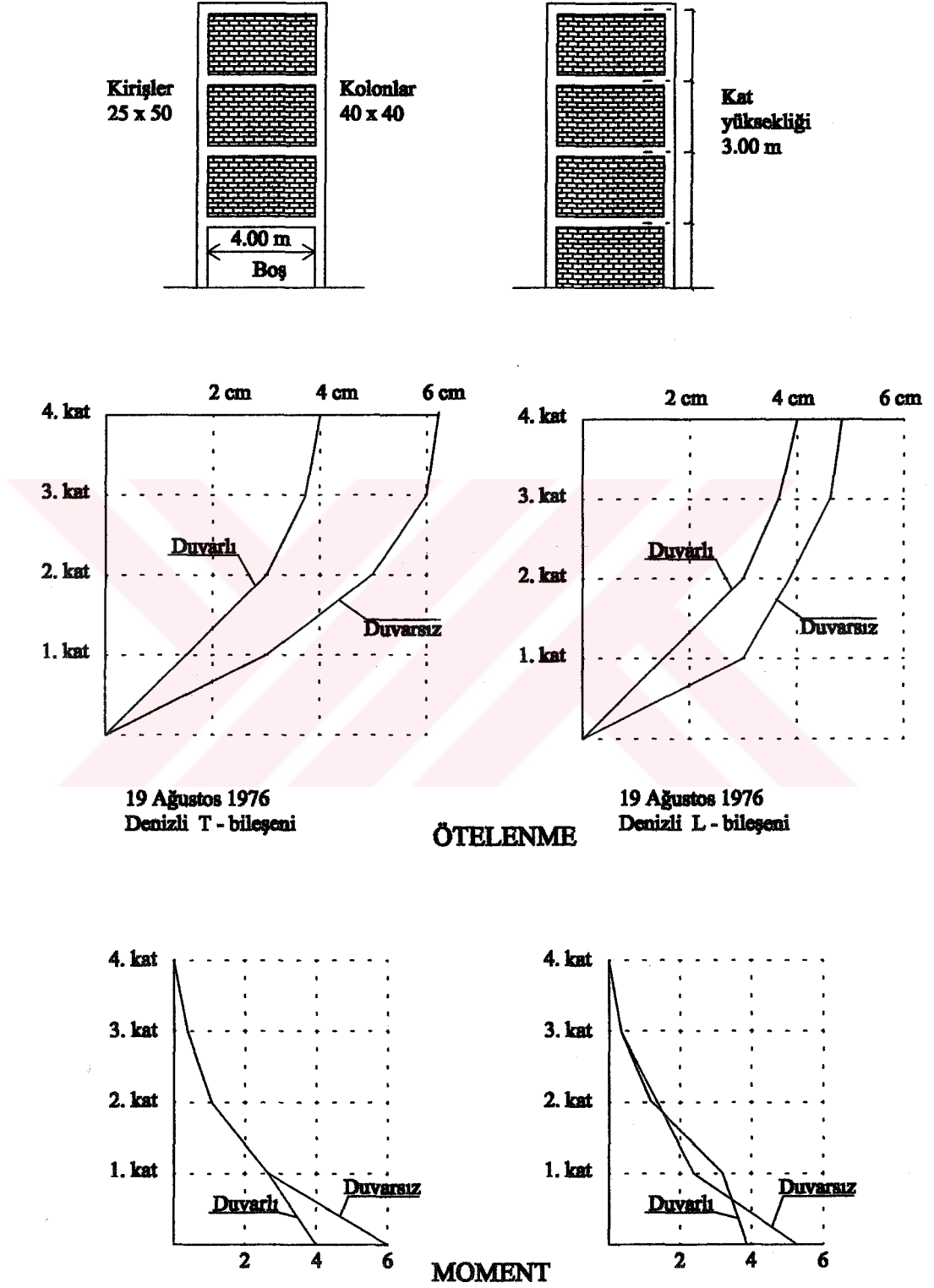


Şekil 5.5- Yalın çerçeve ve dolgulu çerçevelerin yanal yük etkisi ile yatay deplasmanları Şekilde görüldüğü gibi betonarme dolgu yerleştirilen çerçevenin yanal yük taşıma kapasitesi 10 kat, rijitliği ise 20 kat artmıştır. Çıplak çerçeve, betonarme dolgu çerçeve ve tuğla dolgu çerçevenin deneylerden elde edilen kesme gerilmesi görel kat ötelenmesi eğrileri Şekil 5.6’da gösterilmiştir



Şekil 5.6- Tuğla dolgulu ve betonarme perdeli çerçevelerin görel kat ötelenme eğrileri

Şekil 5.7'de 19.08.1976 Denizli Depreminde duvarlı ve duvarsız çerçevede oluşan yatay öteleme ve moment değerleri görülmektedir.

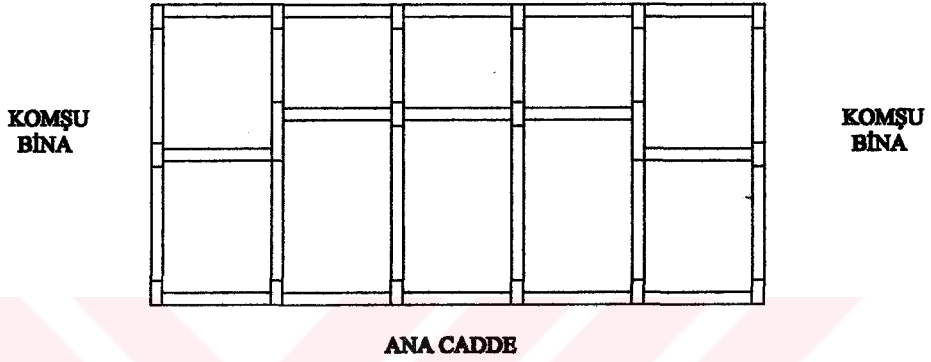


Şekil 5.7- Yatay ötelenmelerden oluşan ikinci merteye momentlerinin oranı (Bayülke, 1998)

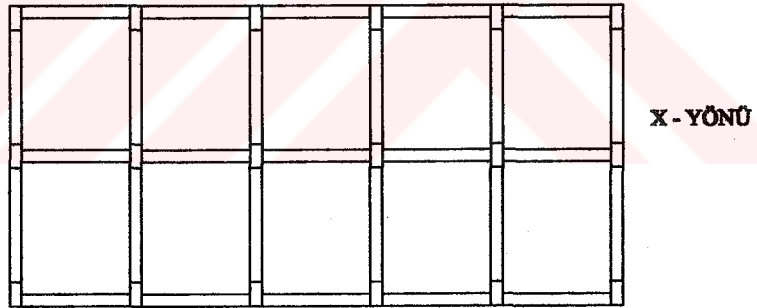
### 5.1 Yatay Rijitliğin Her İki Yönde Sağlanması

Düsey taşıyıcılar planda dağıtılırken yapının her iki yönde de rijitliğin sağlanması gerekir. Kolon veya perdelerin yalnız bir yönde konması, yapıyı bir yönde aşırı rijit, diğer yönde çok az rijit hale getirmektedir (Şekil 5.8, 5.9).

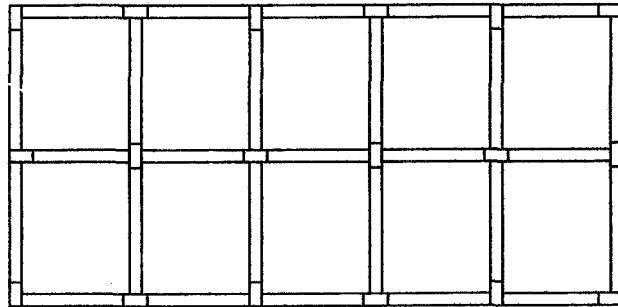
Bu durumun önlenmesi için Şekil 5.10'te gösterilen şaşırtmalı kolon yerleştirme düzenine özen gösterilmelidir. Böylece yapının her iki yönde rijitliği sağlanmış olur.



Şekil 5.8- Dış cephedeki açıklıkların geniş kolonlarla küçültme kaygısı sonucu yapı bir yönde çok rijit, diğer yönde çok esnek

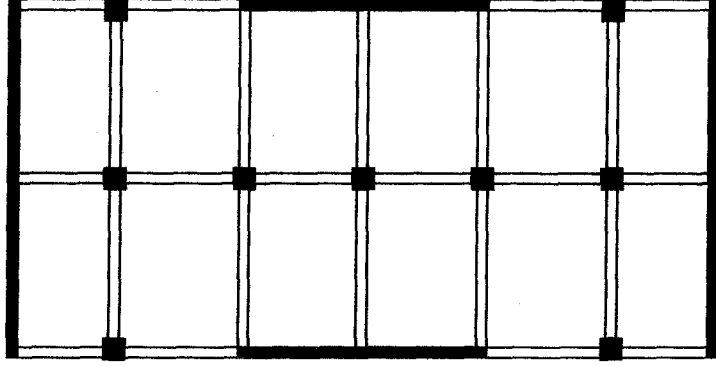


Şekil 5.9- Deprem açısından uygun olmayan kolon yerleştirme biçimi örneği

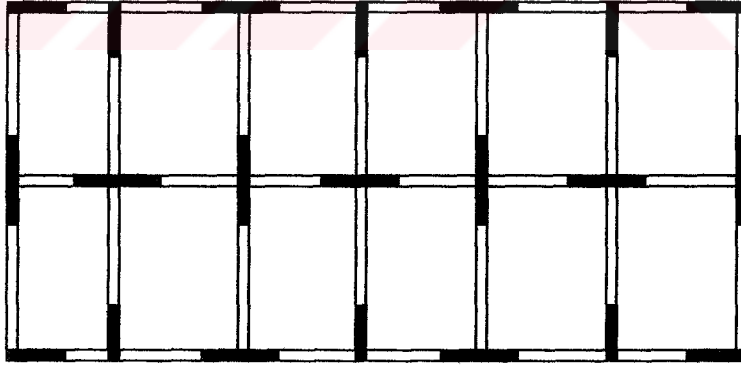


Şekil 5.10- Deprem açısından uygun kolon yerleştirme biçimi örneği

Her iki doğrultuda yatay rijitliği sağlamak için perde yerleştirirken uzun ve az sayıda perde yerine kısa ve çok sayıda perde yapmak tercih edilmelidir.



Her iki yönde perde duvarlardan biri hasar görürse yapıda büyük burulma olacaktır.

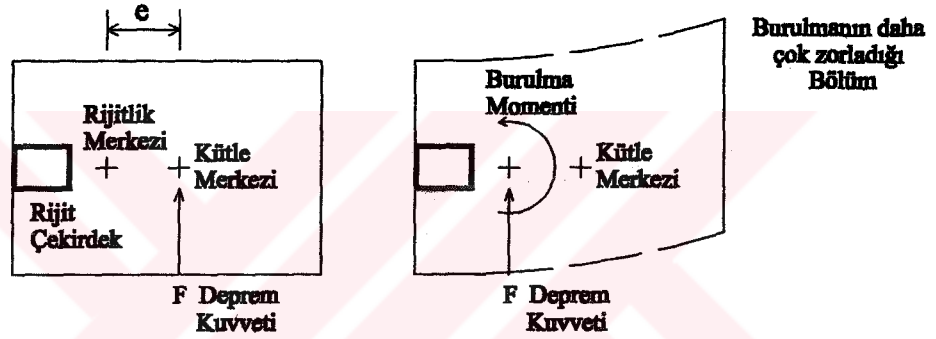


Şekil 5.11- Küçük ve çok sayıda perde duvar, büyük ve az sayıdaki perde duvardan iyidir

## 6. YAPI DÜZENSİZLİKLERİ

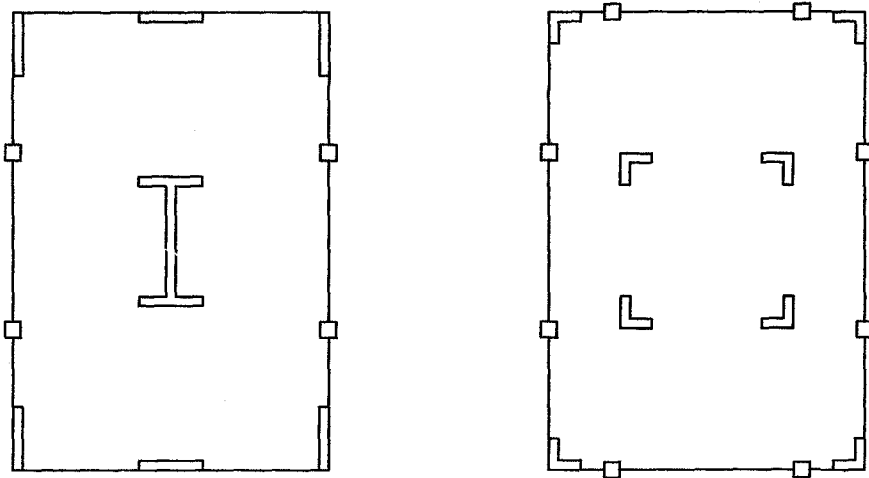
### 6.1 Burulma Düzensizliği (A1 Düzensizliği)

Depremde yapıya gelen kuvvetler yapının kütle merkezine etkimektedir. Kütle merkezi birçok yapıda yapının geometrik merkezi olarak alınabilmektedir. Rijitlik merkezi ise yapıdaki kolon, perde, duvar gibi düşey taşıyıcı elemanların ağırlık merkezidir. Bu iki merkez arasında olan farklılık yapıya gelen deprem kuvvetinin yapıyı rijitlik merkezinden geçen düşey eksen çevresinde döndürmesine yol açar.



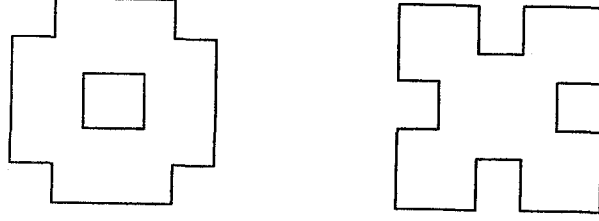
Şekil 6.1- Rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki eksantrisite (e) nedeni ile yapıda burulma etkilerinin oluşması; rijit çekirdek yapının planında simetrik olmayan durumda

Burulma etkilerinin oluşmaması için örnek perde duvar yerleşim biçimleri

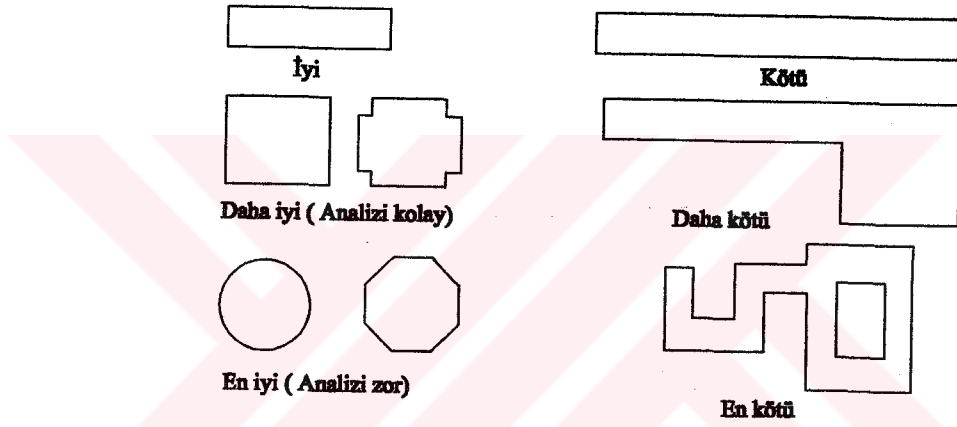


Şekil 6.2- Perdeli çerçevesel yapılarda perde duvar yerleştirme biçimleri

Depremde yapıda burulma etkilerinin oluşmasını önlemek ya da en aza indirmek için planda basitlik ve simetri sağlamaya özen gösterilmelidir (Şekil 6.3, 6.4).



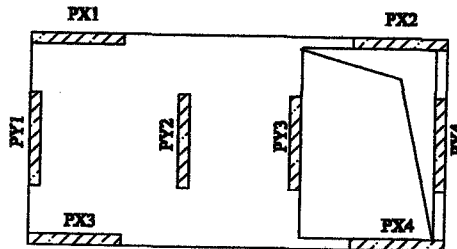
Şekil 6.3- Deprem açısından sakıncalı plan şekilleri



Şekil 6.4- Deprem açısından uygun ve uygun olmayan yapı dış planları

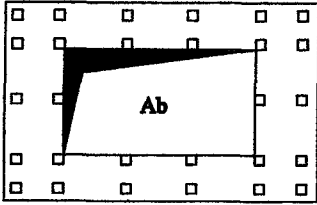
## 6.2 Döşeme Süreksizliği (A2 Düzensizliği)

Deprem yüklerinin düşey sistem elemanlarına aktarımı döşemeler ve kirişler tarafından olmaktadır. Döşemede büyük boşlukların olması deprem durumunda yük aktarımını ya zorlaştırmakta ya da imkansız hale getirmektedir.

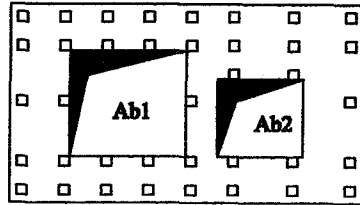


Şekil 6.5- Döşeme rijitliğinde süreksizlik

Şekil 6.5’de görüldüğü gibi döşemelerde büyük boşluklar bulunması durumunda döşemenin PX2, PX4, PY3, PY4 perdelerine yük aktarması zorlaşmakta bu perdeleri çevreleyen döşeme kesitinde azalma olduğu için, bu kesimlerde gerilme yığılmaları oluşmaktadır. Depremde bu bölgelerde döşeme yırtılmaları olması olası bir sonuçtur.

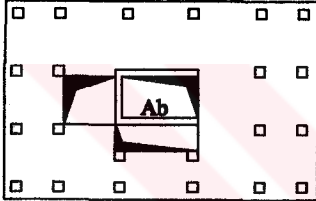


A2 türü düzensizlik durumu – I

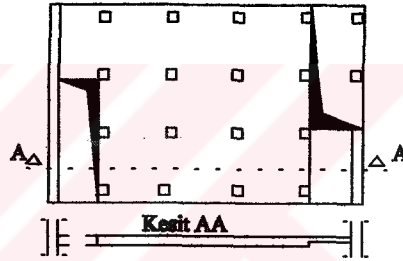


$$Ab = Ab1 + Ab2 \quad Ab / A > 1/3$$

$$Ab = \text{Boşluk alanları toplamı} \quad A = \text{Brüt kat alanı}$$



A2 türü düzensizlik durumu – II

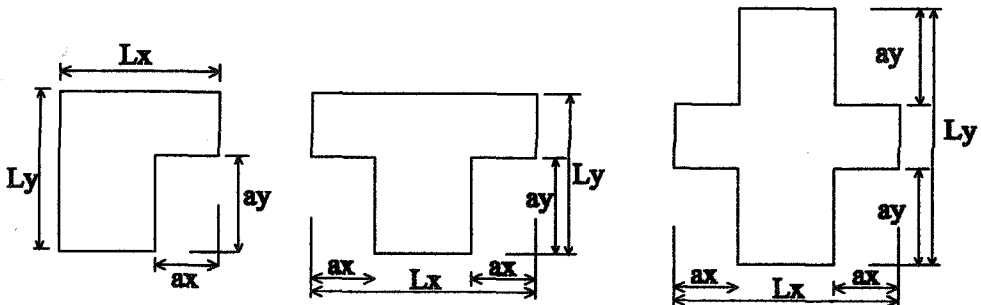


A2 türü düzensizlik durumu – II ve III

Şekil 6.6- A2 türü düzensizlik durumları

### 6.3 Planda Çıkıntılar Bulunması (A3 Düzensizliği)

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultuda boyutlarının her ikisinin de binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20’inden daha büyük olması durumu A3 düzensizliği olarak adlandırılır.

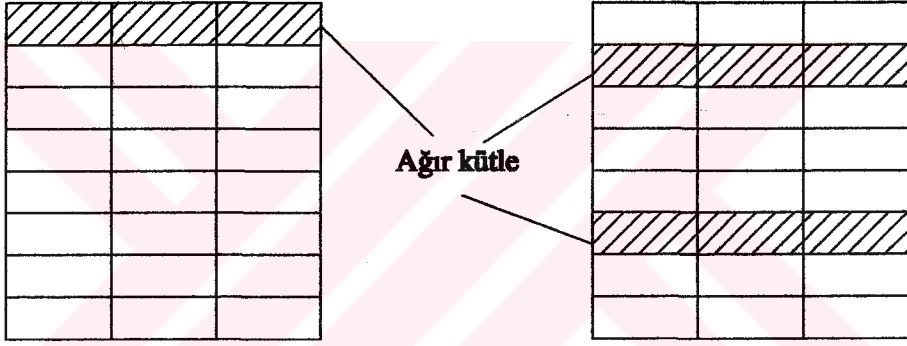
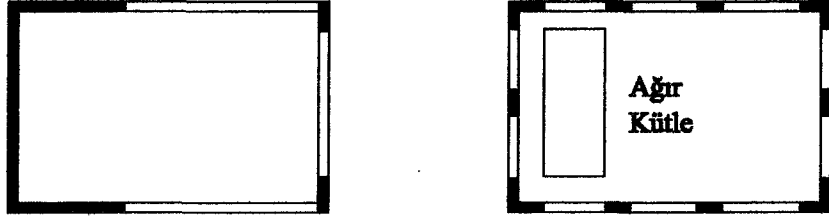


$$ax > 0.2 Lx \text{ ve aynı zamanda } ay > 0.2 Ly$$

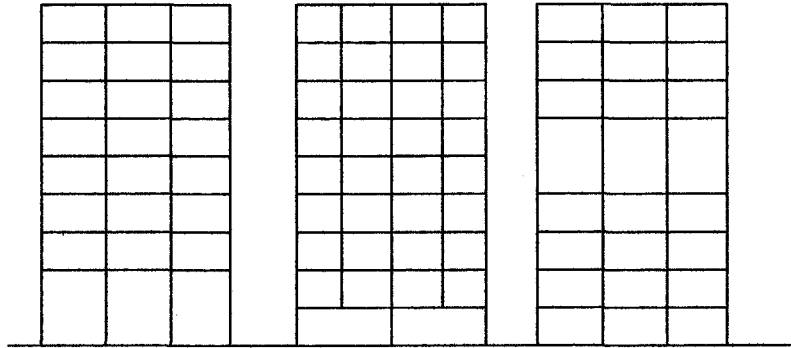
Şekil 6.7- A3 türü düzensizlik durumları

#### 6.4 Kütle Ve Rijitlik Düzensizlikleri

Yapı kare veya dikdörtgen bir plan biçiminde bile olsa yapı içindeki düzensizlikler sonucu yine burulmalar oluşabilir. Örneğin düşey taşıyıcıların planda simetrik olarak dağıtılmaması veya ağırlıkların bir bölgede yoğunlaşması olabilir.



Kütle düzensizlikleri



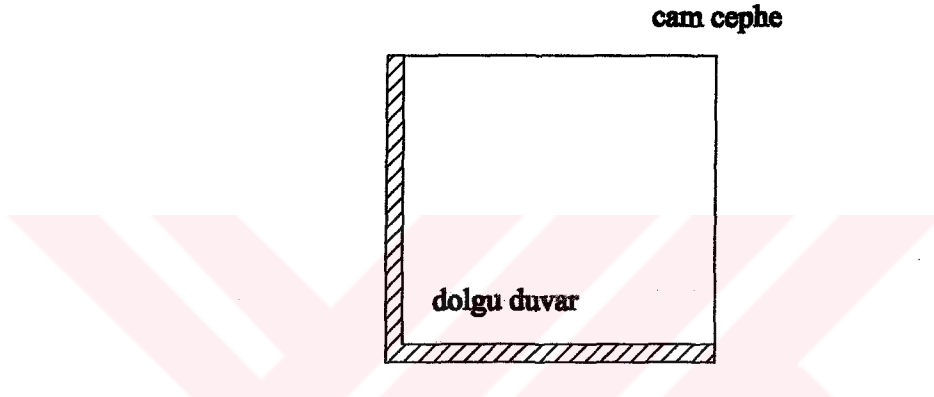
Rijitlik düzensizlikleri

Şekil 6.8- Düşey düzensizlik durumları



### 6.5 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar Nedeni İle Burulma Etkileri

Dolgu duvarlar hesaplarda göz önüne alınmamasına rağmen deprem yükü alan ve yapının yatay rijitliğini önemli ölçüde artıran yapı elemanlarıdır. Betonarme perdeler kadar olmasa da yatay rijitlikleri önemli mertebelere sahiptir. Bundan dolayı betonarme perdelerin planda, her iki yöne ve simetrik olarak dağıtıldığı gibi dolgu duvarların da mümkün mertebe her iki yönde ve burulma oluşturmayacak şekilde dağıtılmaları önemlidir.

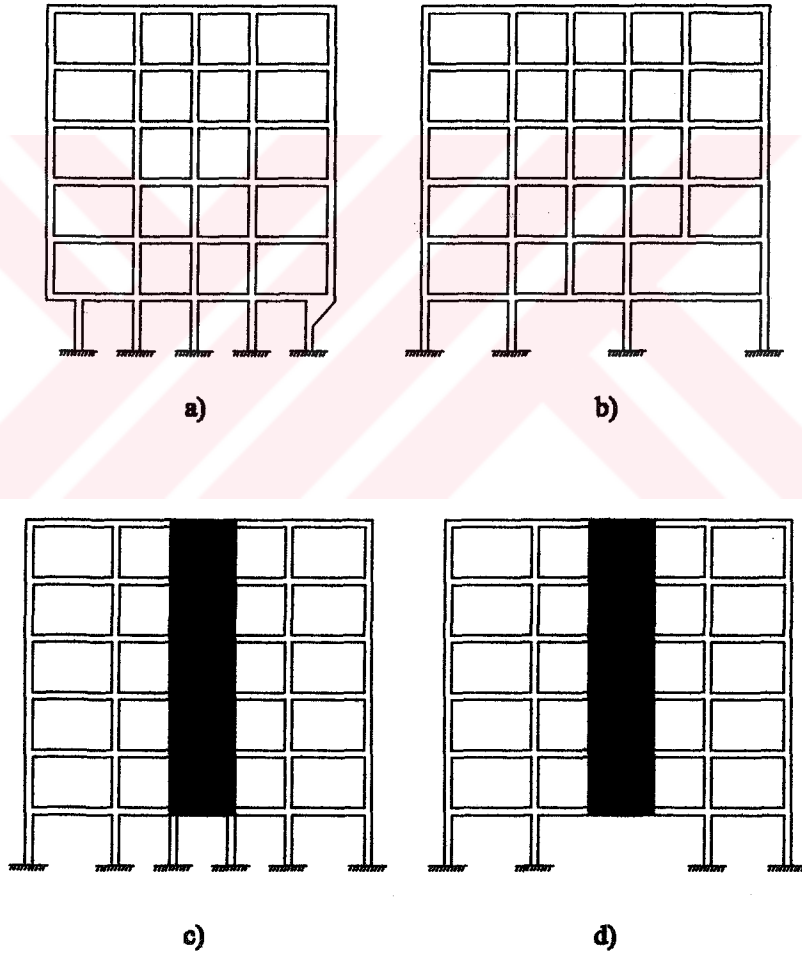


Şekil 6.9- Taşıyıcı olmayan elemanlar nedeniyle oluşan asimetri

Yukarıdaki şekilde iki tarafı dolgu duvar diğer iki tarafı cam cephe olan yapıda taşıyıcı olmayan elemanlar nedeniyle önemli burulma etkileri oluşabilecektir.

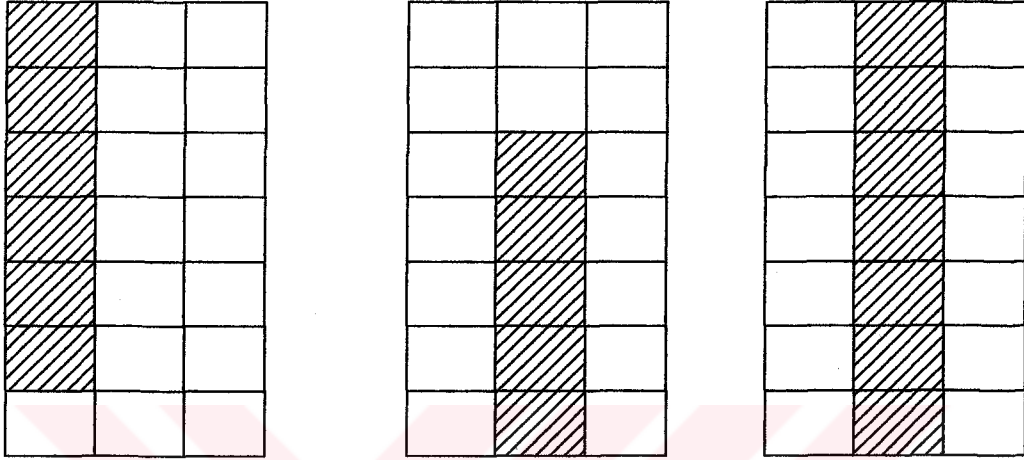
### 6.6 Çerçevelerin Yatay Ve Düşeydeki Süreksizliği

Düşey yönde düzenli bir çerçeve sisteminin ilk şartı bütün kolon akslarının yapı yüksekliği boyunca sürekli olmasıdır. Kolon kesitleri üst katlara doğru küçültülebilir. Ancak, hiçbir zaman bir kolonun herhangi bir katta ortadan kaldırılmasına ya da yönünün değiştirilmesine izin verilmemelidir. Ayrıca kolon ve perdeler gusenin ucuna ya da kirişin üzerine oturtulmamalıdır. Kolon temelden başlamalı ve yapı yüksekliği boyunca devam etmelidir. Şekil 6.10'da düşeyde düzensizlik durumları ile ilgili örnekler verilmektedir. Bu şekillerde verilen her dört durumdan da kaçınılmalıdır.



Şekil 6.10- Deprem açısından sakıncalı düşeyde süreksizlik örnekleri (DY, 1997)

Kolonlar gibi perde duvarlarının da temelden başlayarak bina boyunca devam etmesi gerekmektedir. Perde duvarların, yapının herhangi bir katında kesilmesi, duvarın bittiği yerde gerilme birikimlerine yol açar. Yapının perdenin olmadığı ilk katta hasar görme olasılığı çok artar. Bunun için Şekil 6.11'de belirtilen a ve b hallerinden kaçınılmalı, c şıkkı uygulanmalıdır.

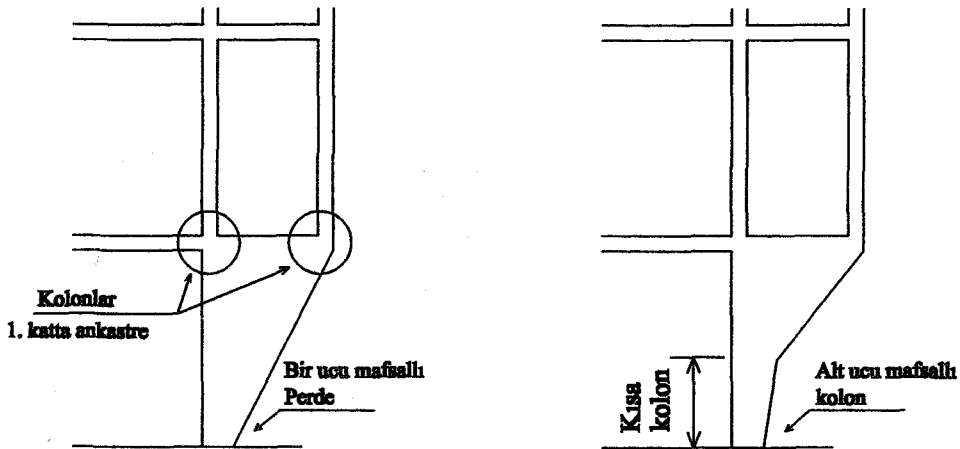


a) Sakıncalı zemin katı elastik yapı

b) Sakıncalı duvarın bittiği yerde gerilme birikimi

c) Uygun

Şekil 6.11- Perde duvarların yükseklik boyunca sürekliliği

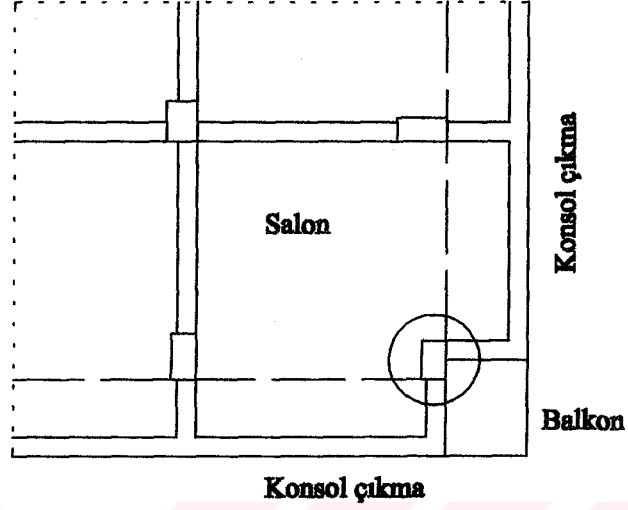


a) Kolonlarda guse yapılması

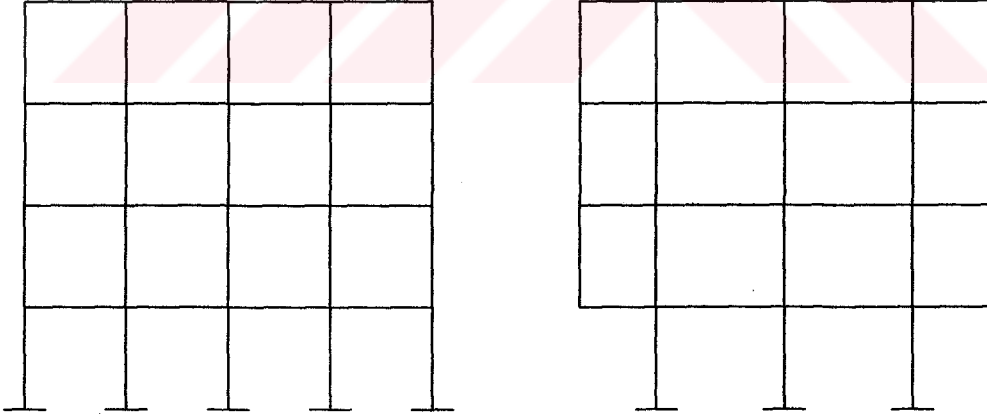
b) Kolonların değişken kesitli yapılması

Şekil 6.12- Konsol çıkmaların uçlarının kolonlu yapılmasının sonuçları

Çerçeveslerin yataydaki süreksizliğine bir örnek Şekil 6.13'de gösterilmiştir.



Şekil 6.13- Çok rastlanılan çerçeve süreksizliğine bir örnek



a) Deprem açısından iyi düzenlenmiş taşıyıcı sistem

- Yüksek hiperstatiklik derecesi
- Üniform kütle dağılımı

b) Deprem açısından iyi düzenlenmiş taşıyıcı sistem

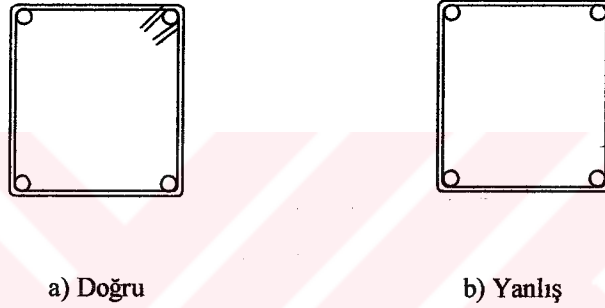
- Düşük hiperstatiklik derecesi
- Esnek zemin katı

Şekil 6.14- Çerçeve sisteminin seçiminde dikkat edilecek noktalar

## 7. DONATI DETAYI YETERSİZLİKLERİ

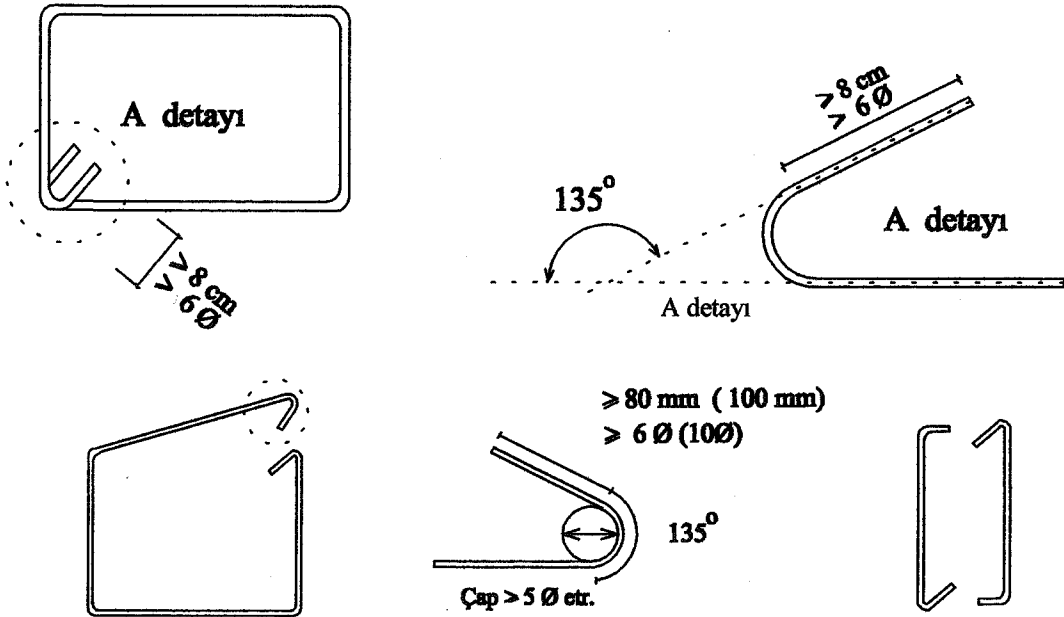
Betonun basınç dayanımını, uygun etriye ve çiroz formları ile artırmak depreme dayanıklı yapı oluşturmanın en önemli öğelerinden biridir. Şekil 3.6'da betonun basınç dayanımının yanal basınçla ne kadar artırılabilirdiği görülmektedir.

Betona  $\sigma_3$  yanal basıncı pratikte etriye ve çirozlarla uygulanabilir. Etriyelerin sargı olarak etkili olabilmesi için, etriye uçlarının Şekil 7.1 a'da olduğu gibi içe bükülerek kenetlenmesi gerekir. Etriye kenetlenmesi Şekil 7.1 b'deki gibi yapıldığı takdirde basınç altında uçlar açılacak ve etkili bir sargı sağlanamayacaktır.

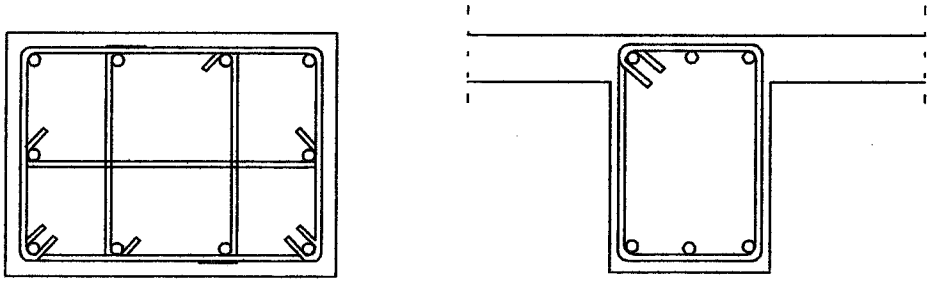


Şekil 7.1- Etriye uçlarının bükülme şekilleri

Betona sargı etkisinin uygulanabilmesi için uygun etriye ve çiroz formları



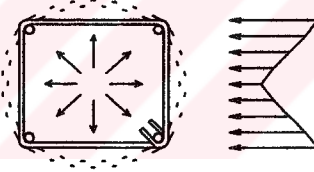
Şekil 7.2- Uçları  $135^\circ$  bükülen özel deprem etriye ve çirozları



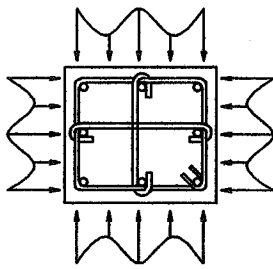
Şekil 7.3- Etkili sargı oluşturmak için uçları 135° bükülmüş etriye ve çirozlar

Boyuna donatılarda etkili bir sargı oluşturabilmek için, etriye uçlarının, 135°'ye dönük olarak dairesel etriye koluyla yapılması yanında, uygun formlarda çirozlarda kullanılmalıdır.

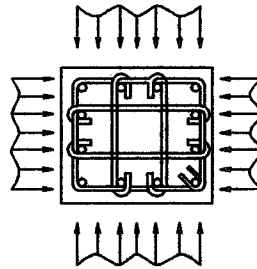
Aşağıdaki şekillerde etriye ve çirozların, miktar ve yerinin betona verdiği yanıl basınç dağılımı üzerindeki etkisi görülmektedir (Şekil 7.4, 7.5).



a) Etriyelerin sağladığı yanıl basınç dağılımı

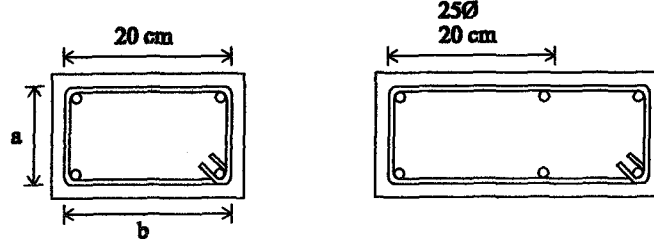


b) Çirozlarla yanıl basıncın eşit yayılı dağılıma yaklaştırılması

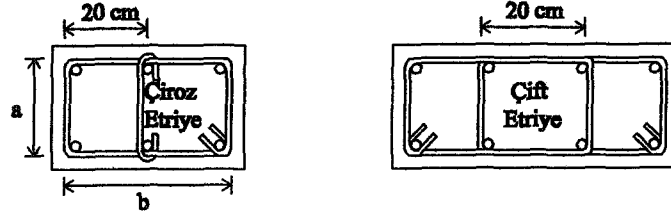


c) Çok sayıda çiroz ile yanıl basınç dağılımı eşit yayılı duruma gelir

Şekil 7.4- Enine donatıların miktar ve yerinin betona verdiği yanıl basınç dağılımı üzerindeki etkisi



Etriye serbest boyları 20 cm'den büyük olmamalı



Çiroz etriye ve çift etriye kullanılarak etriyelerin serbest boylarının azaltılması

### Şekil 7.5- Kolon çekirdek betonunun kısıtlanması için etriye yerleşim biçimleri

Etriye ve çirozların kanca yapımında dikkat edilecek çok önemli bir nokta vardır. Kanca veya fiyonglar, çaplarının 5 katı olan bir merdane etrafında bükülmelidir. Ülkemizde büküm işinde gerekli itina gösterilmemekte ve donatı çubukları bir mengeneye tutturularak bükülmektedir. ODTÜ yapı mekaniği laboratuvarında yapılan deneylerde, bu şekilde mengene ile bükülmüş, akma gerilmesi  $4200 \text{ kg/cm}^2$  olması gereken çubukların  $1000 \text{ kg/cm}^2$ 'de kırıldığı gözlenmiştir. Şantiyeden sorumlu mühendislerin bu ürkütücü sonuçları dikkate alarak, kanca bükümünde gereken titizliği göstermeleri gerekir ( Ersoy, 1985)

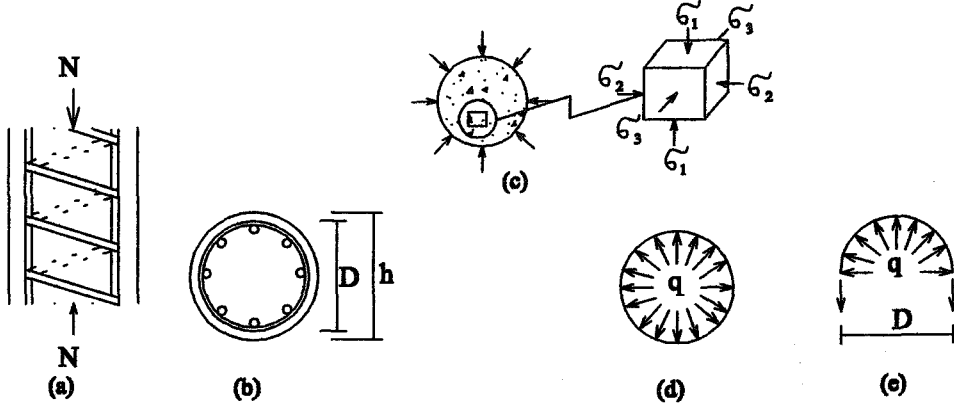
### 7.1 Kiriş Ve Kolon Uçlarında Etriye Sıklaştırmasının Yapılmaması

Kolon ve kiriş uçları özellikle depremde en fazla gerilmelere maruz kalan kısımlardır. Bu bölgelerin düzenlenmesine özel itina gösterilmelidir.

#### 7.1.1 Sargılı Beton Davranışı

Betonarme elemanların bir çoğunda boyuna donatıyı çepeçevre saran, enine donatı bulundurulur. Enine donatı, sürekli helezon şeklinde fretlerden veya donatı kafesinin biçimine uymak üzere dikdörtgen şeklinde bireysel etriyelerden oluşur. Sürekli fret,

boyuna donatının kesit içinde bir çember boyunca sıralandığı durumlarda, dikdörtgen etriye ise, boyuna donatının kesitte bir dikdörtgen çevresi boyunca dağıtıldığı durumlarda kullanılır. Her iki durumda da enine donatı, içinde kalan ve göbek alanı olarak adlandırılan betonu sardığından, bu tür donatıya sargı donatısı da denir. Bu şekilde sarılmış olan betonun davranışı serbest betondan farklı olduğundan, burada kısaca irdelenecektir.



Şekil 7.6- Betona uygulanan sargı etkisi

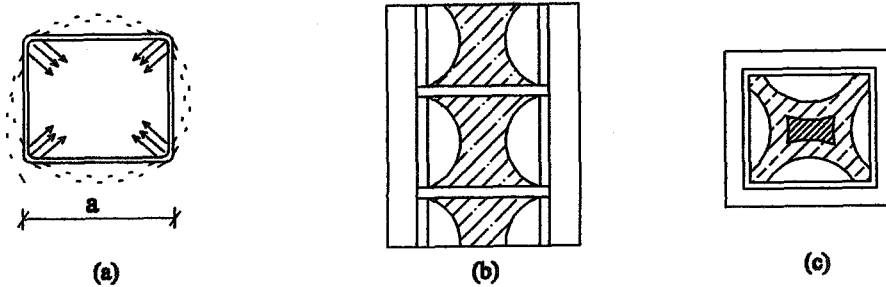
Önce davranışı daha açık ve daha kolay olması nedeniyle sürekli dairesel fretle sarılmış, dairesel kesitli bir eleman ele alınacaktır (Şekil 7.6 a, 7.6 b). Bu elemana aksiyel basınç uygulandığında, önce h çapı ile tanımlanan tüm beton alanı etkili ve bu betonun davranışı serbest betonun davranışı gibi olacaktır.

Ancak, birim kısalma maksimum gerilmeye karşı olan  $\epsilon_{co}$  değerini aştıktan sonra, kabuk olarak adlandırılan ve göbeğin dışında kalan beton alanı ezilerek dökülecektir. Fretle çevrilmiş olan göbek alanındaki beton ise, artan Poisson oranı etkisi ile yana doğru genişlemeye çalışacak, ancak fret buna mani olacaktır. Bu durumda fret, göbekteki betona, betonda dairesel fret donatısına eşit ve ters yönde kuvvetler uygulayacaktır (Şekil 7.6 d). Bu durumda fret donatı, iç basınca maruz, ince çeperli bir boru gibi davranacaktır (Şekil 7.6 e). Çepeçevre yanal basınç altında bulunan göbek alanındaki beton, Richart deneylerindeki numuneler gibi davranacaktır. Yani göbek betonunun yanal basınç ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ) nedeni ile hem dayanımı, hem de sünekliği artacaktır. Göbekteki sarılmış betonun Richart deneylerindeki numunelerden en önemli farkı, uygulanan yanal basıncın fret deformasyonunun bir fonksiyonu olmasıdır. Deformasyon arttıkça  $\sigma_2 = \sigma_3$  azalacaktır. İç basınç altındaki ince çeperli borunun deformasyonu,



eksenel rijitliğe bağlıdır. Adım aralığı az bir fretin eksenel rijitliği oldukça büyük olduğundan, deformasyon az olacak, dolayısı ile  $\sigma_2 = \sigma_3$  oldukça etkili düzeye çıkabilecektir. Yapılan deneyler bu kanıyı kanıtlamakta ve dairesel fretle sarılmış betonun gerek dayanımının, gerekse sünekliliğinin önemli ölçüde arttığını göstermektedir.

Çoğu durumda sargı donatısı olarak dikdörtgen etriyeler kullanılmaktadır. Poisson etkisi ile genişlemeye çalışan göbek betonunun dikdörtgen etriyeye uygulayacağı basınç dairesel frette uygulanandan değişiklidir. Bunun nedeni Şekil 7.7 a'da gösterildiği gibi, uygulanan iç basınç altında dikdörtgen etriyenin kapalı bir çerçeve gibi deforme olmasıdır. Bu durumda davranışa eğilme hakim olduğundan, deformasyon ortalarda maksimum, köşelerde ise sıfır olacaktır. Dikdörtgen etriyenin deformasyonu, eğilme rijitliğine bağlı olduğundan ve eğilme rijitliği eksenel rijitlikten çok daha küçük olduğundan, bu tür etriyelerdeki deformasyonlar frette oranla çok daha büyük olacaktır. Göbekteki betona uygulanacak sargı kuvvetleri deformasyonun bir fonksiyonu olduğundan, etriyenin Şekil 7.6 a'da gösterilen deformasyonu sebebi ile köşeler dışında etkili bir sargı etkisi ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ) söz konusu olamayacaktır. Ayrıca Şekil 66 c'de gösterildiği gibi etriyeler arasında göbek betonunun Poisson etkisi ile genişlemesi etriye düzeyindeki gibi kısıtlanmadığından, burada sargı etkisi azalacaktır. Şekil 7.6 b'de taranmış alan, sargı etriyesinin etkili olduğu bölgeleri göstermektedir. Şekil 7.6 c'de ise planda etriye düzeyinde ve iki etriye ile sarılmış bölgede ( $\sigma_2 = \sigma_3$  yanal basıncının var olduğunun kabul edilebileceği alanlar) etkili alanlar gösterilmiştir. Seyrek taranmış alan etriye düzeyindeki, sık taranmış alan ise, iki etriye arasındaki sarılmış alanları belirlemektedir. Dikdörtgen etriyenin dairesel frette oranla çok daha az etkili olduğu kolayca anlaşılır.



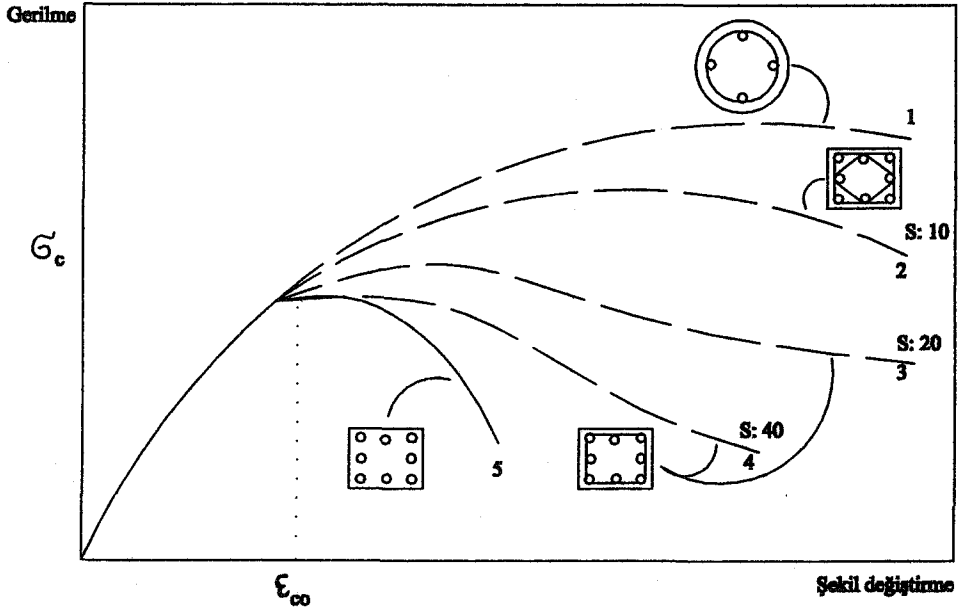
Şekil 7.7- Etriye den dolayı sargı etkisindeki beton kısımları

Göbek betonuna uygulanan yanal basınç,  $\sigma_2 = \sigma_3$ , deformasyona, dolayısı ile dikdörtgen etriyede eğilme rijitliğine , dairesel frette ise aksel rijitliğe bağlı olduğuna göre, sargı donatısının çapı arttıkça ve adım aralığı azaldıkça, dayanımın ve sünekliğin artacağı doğaldır. Ayrıca eğilme deformasyonu gösteren dikdörtgen etriyenin açıklığının (köşeler arasındaki uzaklık) azaltılması da sargı etkisini artıracaktır.

Şekil 7.8'de sargısız ve sargılı betonların  $\sigma$ - $\epsilon$  ilişkileri gösterilmiştir. 5 no'lu eğri sargısız , diğerleri sargılı beton içindir. 3 ve 4 no'lu eğriler kesitinde tek dikdörtgen etriye olan elemanlar içindir. 3 ve 4'ün arasındaki tek fark 3 no'lu elemandaki etriye aralığının daha az olmasıdır. Dikdörtgen etriye, etriyesiz duruma kıyasla sünekliği önemli ölçüde artırmakta, ancak dayanım artışı az olmaktadır. 2 no'lu eğride gösterilen elemanda ise çift etriye konarak eleman açıklığı 3 ve 4'e kıyasla yarıya indirilmiştir. Etriye serbest açıklığını azaltmak çok etkili olmuş, sünekliğin artması yanısıra dayanımda önemli ölçüde artmıştır. En etkili sargı, deformasyonların aksel rijitliğe bağlı olduğu frettir; 1 no'lu eğri bunu kanıtlamaktadır.

Özetlenecek olursa Şekil 7.8'de gösterilen çeşitli  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrilerinden şu sonuçlar çıkarılabilir:

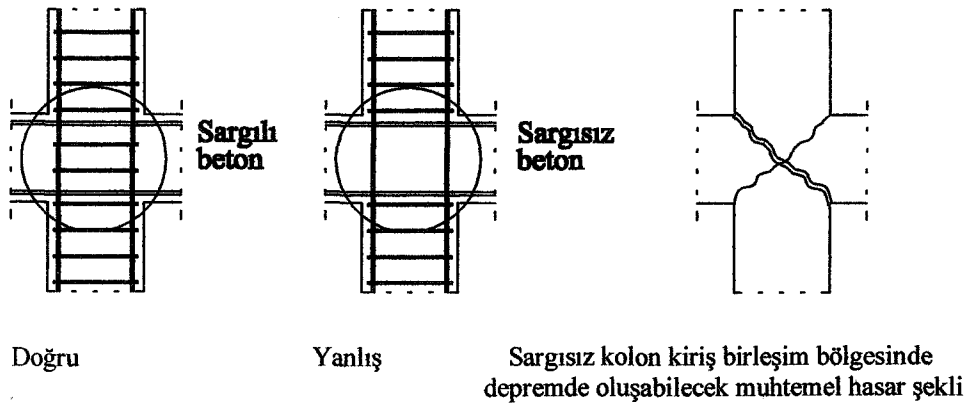
- Sargı donatılı betonun  $\sigma$ - $\epsilon$  ilişkisi, sargısız betonunkinden çok değişiktir. Sargı süneklik ve dayanımı artırdığı gibi, maksimum gerilmeye karşılık olan  $\epsilon_{co}$  , sargı ile büyümektedir,
- Fret en etkili sargı donatısıdır,
- Dikdörtgen etriye sünekliği artırmakta, dayanım artışı ise, ancak etriye serbest açıklığını azaltmakla ( çift ve daha fazla etriye) mümkün olmaktadır,
- Etriyenin aralığı azaltıldıkça sargı etkisi, dolayısı ile süneklik artmaktadır. Etriye çapının artırılması aynı ölçüde olmasa bile davranışı olumlu yönde etkilemektedir ( Ersoy, 1985).



Şekil 7.8- Sargı donatısının süneklilik ve dayanıma etkisi

## 7.2 Kolon Ve Kiriş Birleşim Bölgesinde Kalan Kolon Etriyelerinin Devam Ettirilmemesi

Bölüm 7.1.1'de sargının süneklilik ve dayanımı ne denli önemli ölçüde artırdığı görülmüştü. Aşağıdaki şekillerde sargılı ve sargısız kolon kiriş birleşim bölgelerinin davranışı örneklenmiştir.



Şekil 7.9- Kolon kiriş birleşme bölgesinde etriyelerin olmaması nedeni ile sargısız beton davranışı

### 7.3 Minimum Donatı Oranı Minimum Çiroz Adedi Ve Benzeri Detayların Uygulanmaması

Deprem Yönetmeliği, betonarme yapı elemanlarının sünek davranışını sağlamak için, hesaplarda gerekli olmasa bile minimum donatı adedi, minimum çiroz adedi ve benzeri sınırlamalar koymuştur. Bu sınırlamaların çok köklü araştırmalara dayandığını bilmek ve bunun gereklerini yerine getirmek, depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli kurallarındandır.



## 8. MİMARİDE YAPILAN HATALAR

20.yüzyılın başından başlayarak yapı işlerinde, yapıların sanatsal veya işlevsel tasarımı, taşıyıcı sistem tasarımından ayrılmış, ortaya çıkan mimarlık ve mühendislik ayrımı yerleşmiştir. Bu ayrım gerek yapı malzemesi, gerekse hesap ve yapım yöntemlerindeki büyük gelişmenin bir sonucu olmuştur. Mimarın eğitimi sanatsal, dekoratif ve işlevsel ağırlıklı gelişirken, mühendisin eğitimi fiziksel ve taşıyıcı sistem ağırlıklı olarak gelişmiştir. Ayrıntılı bir taşıyıcı sistem tasarımından uzak bir eğitim görmesi yanında bugün tasarlanan her cins yapının inşa edilebilmesi gerçeği mimarın özgürlüğünü son derece genişletmiştir. Bugün önemli olan, şu ya da bu biçimde olan bir mimari tasarımın gerçekleştirme olanağının olup olmadığının değil de, o biçimin gerçekleştirilmesinin doğru olup olmadığıdır. Özellikle, deprem açısından her türlü tasarımın gerçekleştirilmesi uygun olmamaktadır.

Geçmiş yüzyıllara göre taşıyıcı sistem tasarımından uzaklaşmış mimarlığın, bazı tasarımlarının uygulanmasının deprem açısından doğru olmadığı, en azından depremlerdeki yapı hasarının önemli bir bölümünün mimari tasarımdan kaynaklandığı ortaya çıkmıştır.

Mimarlık nasıl soğuk ve sıcak iklim koşullarına en iyi uyan ve de güzel olan yapı ve mimari biçimleri geliştirmişse, hem depreme dayanıklı hem de güzel olan yapı ve mimari biçimleri de geliştirecektir. Burada Frank Lloyd Wright tarafından yapılmış olan Tokyo Imperial oteli örneği hatırlanabilir. 20.yüzyılın başlarında yapılmış olan bu yapı 1923 Büyük Kanto depreminden etkilenmediği gibi sanatsal değeri kabul edilmiş bir yapı olarak mimarlık tarihine geçmiştir.

Mimarların, çağdaş teknolojiyi anlama konusundaki donanım ve gayretlerinin sınırlılığının giderilebilmesi için, daha iyi eğitilmeleri gerekmektedir. Çabalar mimarları taşıyıcı malzemelerin, yapı sistem ve elemanlarının deprem, rüzgar, dinamik ve tersinir yükler altında davranışları konularında daha çok bilgilendirme üzerinde yoğunlaşmalıdır. Teknolojik ve doğal etkenlerin kısıtlayıcı kalıpları içinde de mimarın kişiliğini göstermeye ve geliştirmeye olanak veren biraz dar da olsa bir alan vardır.

## 8.1 Mimari Tasarımı Etkileyen Faktörlerin Deprem Açısından İrdelenmesi

Mimari tasarımı etkileyen faktörler, genellikle yapının kullanım amacı, estetik değerler, kültürel değerler, moda, özgün ve orijinal olma gibi, sıralanabilir.

Taşıyıcı sistem tasarımına etkiyen faktörler ise malzemenin nitelikleri, kullanma amacından doğan yükler, dış kuvvetler ve burada söz konusu olan mimari tasarım biçimidir. Yapının kullanma amacı ile mimari sanat anlayışı sonucu ortaya çıkan biçimler taşıyıcı sistem seçiminde etkilidir. Örneğin mimari tasarımın tavandan sarkan kirişler ve bölme duvarlar istememesi sonucu mantar, kirişsiz veya asmolen döşemeli bir taşıyıcı sistemin kullanılması gerekebilir.

Türkiye’de yapım uygulamasında mimari tasarım mimarların, taşıyıcı sistem tasarımının da inşaat mühendislerinin ilgi alanı olması kabul edilmiştir. Ancak bu iki yapım mesleği arasında mimari tasarım aşamasında karşılıklı danışma çok sınırlı bir düzeyde olmaktadır. Bu mühendisliğe bazı mimarlar tarafından bir araç olarak bakılmasındandır.

Mimarlar yapıların taşıyıcı sistem tasarımı üzerinde hemen hiç düşünmeden, inşaat mühendislerinin taşıyıcı sistemin sorunlarını nasıl olsa çözecekleri ve işin bu yanının yalnızca inşaat mühendislerini ilgilendiren bir konu olduğu yaklaşımından giderek, mimari tasarımlarında olabildiğince özgür davranırlar.

Gerek Türkiye’de gerekse Dünya’da depremlerden edinilen deneyimler depreme dayanıklı yapı tasarımının daha mimari safhada başladığını göstermektedir. Deprem hasarı bazen doğrudan doğruya seçilen mimari tasarım yüzünden olmaktadır.

Depreme dayanıklı yapıların gerektirdiği koşullarla çelişen bazı mimari tasarım kriterleri vardır:

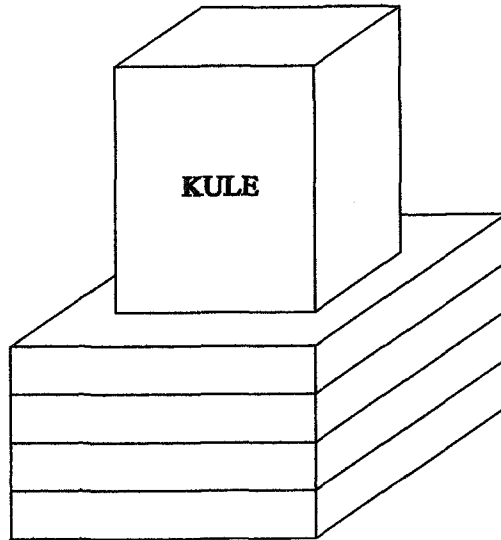
- 1- Bol ışık, geniş ve engelsiz alan kullanma eğiliminin ortaya çıkardığı sürekli taşıyıcı duvarlar ve büyük kesitli kolonların bulunmadığı geniş ve büyük hacimler;
- 2- Çok miktarda dış cephe boşlukları;
- 3- Kolonların ve kirişlerin bölme duvarlarının içine saklanabilmesi için gerektiğinden küçük boyutta yapılması;
- 4- Betonarme yapıların bölme duvarların yerlerinin istenildiği gibi değiştirilebilmesi için kirişleri olmayan ve rijitliği az olan asmolenli veya kirişsiz döşeme yapılması
- 5- Planda ve yükseklikte basit ve simetrik olmayan yapı biçimleri;

6- Taşıyıcı elemanların simetrik ve düzenli yerleştirilmesine izin vermeyen plan ayrıntıları....gibi

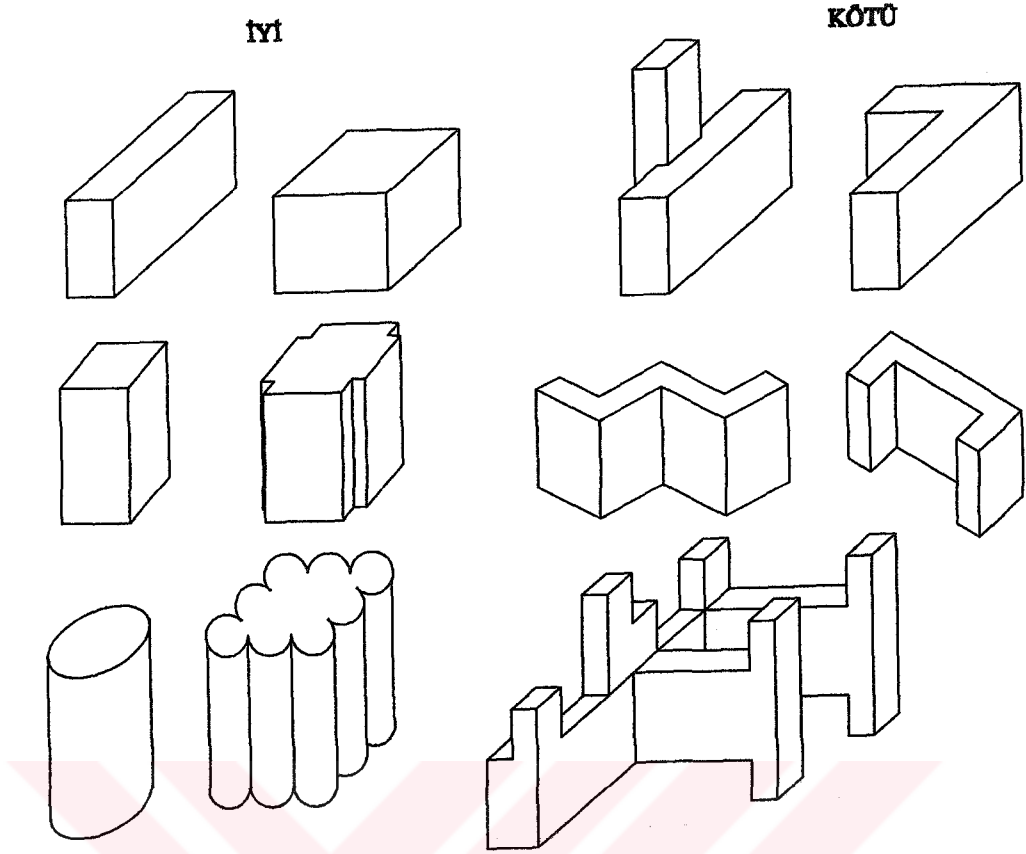
Bu ve benzer yaklaşımlar depreme dayanıklı taşıyıcı sistem oluşturmayı güçleştir-mekte veya bulunan çözümler pahalı ve yetersiz güvenlikte olmaktadır.

Deprem yönetmeliklerindeki koşullar basit ve simetrik yapılar için geliştirilmiştir. Yapının karmaşıklığı nispetinde analizi güçleşmekte ve çözümü kolaylaştırmak için yaklaşık kabuller yapılması gerekecek ve sistemin gerçek davranışına göre tasarım yerine, yaklaşık davranışına göre tasarım ile yetinilecektir. Basit yapılar için geliştirilmiş hesap yöntemlerinin karmaşık taşıyıcı sistemler içinde uygulanması ile bu yöntemlerin sağladığı güvenlik düzeyi azalacaktır.

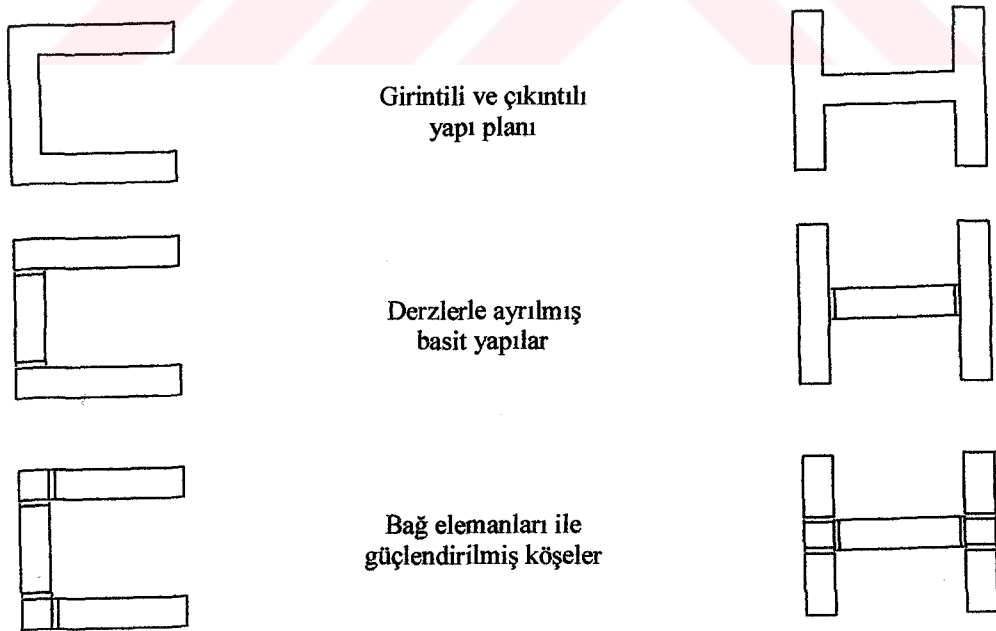
Mimari tasarımda deprem açısından sakıncalı olacak ayrıntı ya da biçimlerden kaçınmanın amacı yalnızca mühendisin işini kolaylaştırmak değildir. Bunun yanında hem depreme dayanıklı hem de ekonomik taşıyıcı sistemler oluşturulacaktır. Bu yalnızca yapının şiddetli bir depremle yıkılmasını önlemekle kalmayacak, yapının ekonomik ömrü içinde olacak çok sayıdaki hafif ve orta şiddetli depremde yapının mimari hasarını ve yapı içindeki eşyaların hasarını önleyerek yapının her koşulda işlevini yerine getirmesini sağlayarak büyük maddi kazanç getirecektir. Deprem açısından sakıncalı, ve sakıncasız yapı şekilleri Şekil 8.1, 8.2, 8.3'de verilmiştir.



Şekil 8.1- Yapının en kesidinin küçüldüğü kat düzeyinde büyük gerilmeler oluşur



Şekil 8.2- Deprem açısından sakıncalı ve sakıncasız yapı şekilleri

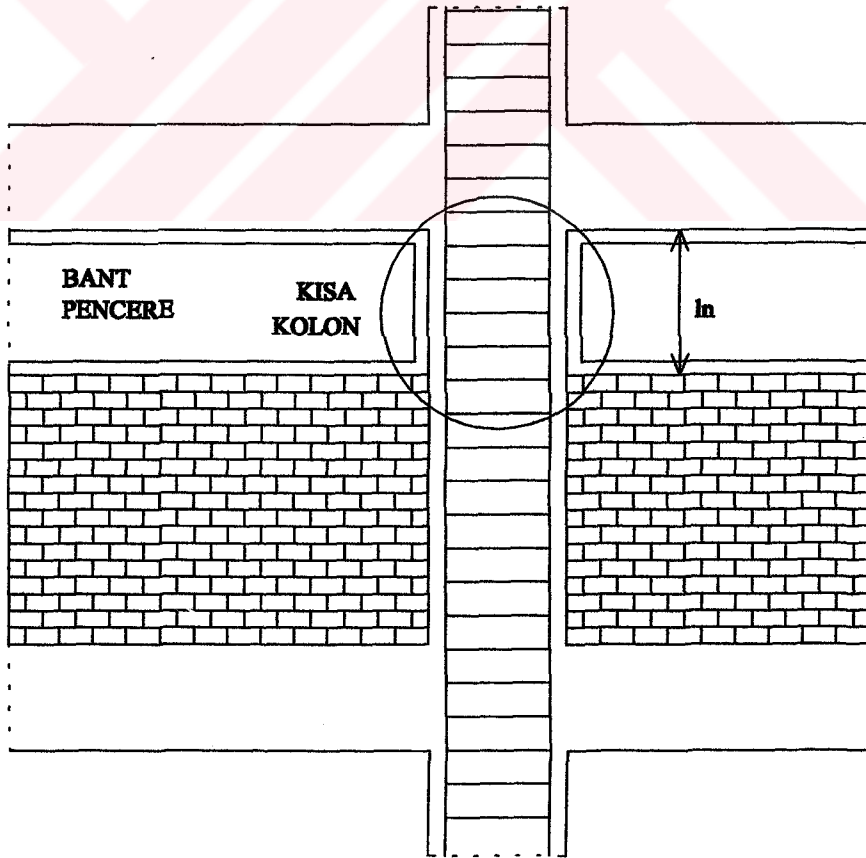


Şekil 8.3- İçe dönmük köşeli yapılarda gerilme birikimini önleyecek çözümler (Bayülke, 1998)



## 8.2 Kısa Kolon Durumlarının Depremde Neden Olduğu Hasarlar

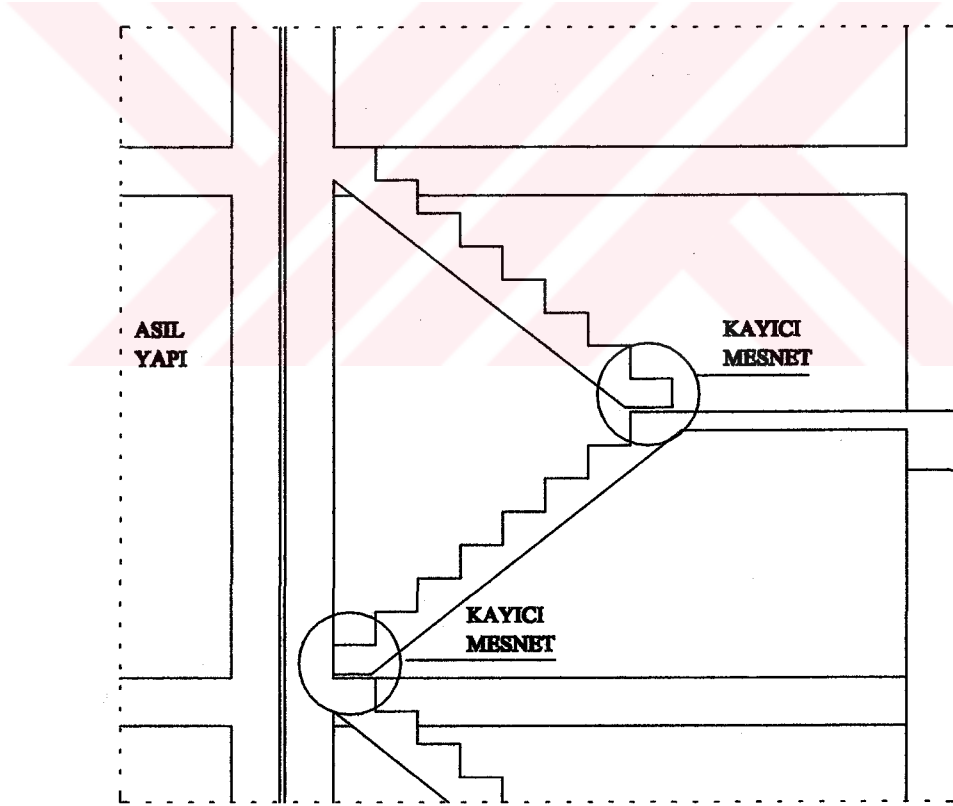
Kat seviyelerine etki ettiği varsayılan deprem kuvvetleri düşey taşıyıcılar arasında rijitlikleri ile doğru orantılı olarak paylaşılmaktadır. Örneğin betonarme perdeler uzun yönüne doğru etki eden deprem kuvvetlerinin çok büyük bir kısmını alırlar. Eğer perdeler iyi detaylandırılmış donatılara ve yüksek beton kalitesine sahip iseler bu deprem etkilerini başarı ile atlatırlar. Ancak kısa kolonda durum daha farklıdır. Olayın daha iyi anlaşılması için bütün düşey taşıyıcılarını kare şeklindeki özdeş kolonların oluşturduğu bir yapı düşünölsün. Kolonların serbest boyları aynı ise bu kolonların depremden alacakları yatay yükler yaklaşık olarak aynı olacaktır. Ancak bu kolonlardan bazılarının serbest boyları kısa ise bu kısa kolonlar yatay ötelemeye karşı daha rijit davrandıkları için, deprem yüklerinin büyük bir kısmını kendi üzerlerine çekeceklerdir. Bu arada serbest boyları fazla olan kolonların ise depremden aldıkları yatay kuvvet miktarı kısa kolonlara nispeten daha az kalacaktır. Kısa kolonların aldıkları fazla yükler hasar görmelerine neden olabilmektedir (Şekil 8.4).



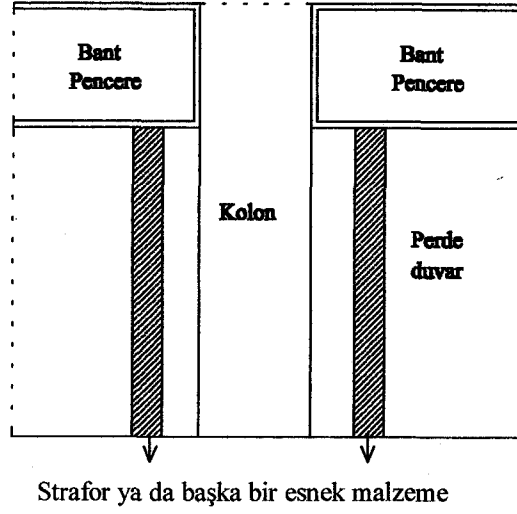
Şekil 8.4- Bant pencerelerin neden olduğu kısa kolon örneği

Kısa kolon etkisinin oluşmaması için;

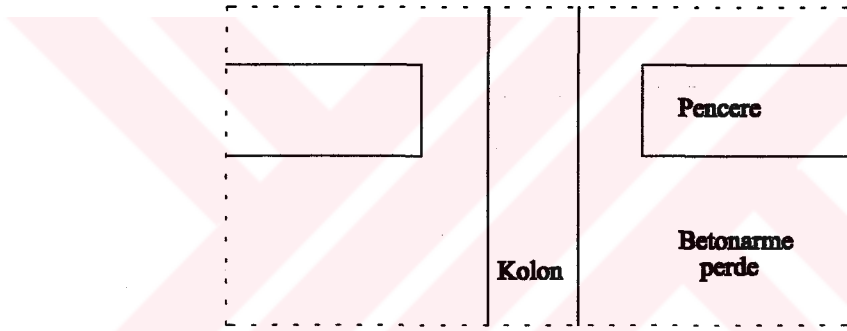
- a) Merdivenlerde oluşabilecek kısa kolon etkileri kayıcı mesnetler yardımıyla ortadan kaldırılabilir: Şekil 8.5.
- b) Perde ve dolgu duvarlarının, kolonun yatay hareketini engellememesi için, kolona yakın kısımlarda esnek bir malzeme konabilir: Şekil 8.6.
- c) Bant pencereler kolona tam yaklaştırılmamalıdır: Şekil 8.7.
- d) Kısa kolon etkisinin oluşabileceği bölgede etriye çapı büyük tutularak etriye sıklaştırması yapılabilir. Kısa kolonda çiroz adedine de daha fazla özen gösterilmelidir ( Ancak bu şıkta anlatılan tedbirler bile kısa kolon kırılmasını önlemeyebilir).



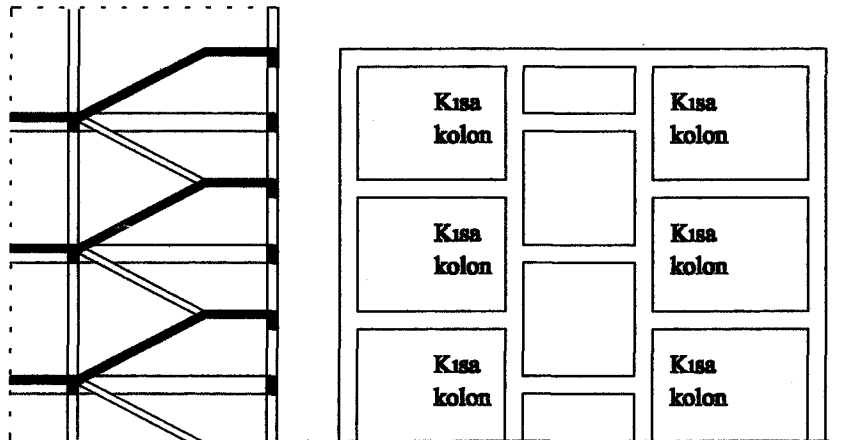
Şekil 8.5- Merdivenlerde deprem hasarını önleyecek ayrıntılar.



Şekil 8.6- Kısa kolon etkilerinin oluşmaması için kolon ile perde arasında esnek bir malzemenin konulması



Şekil 8.7- Kısa kolon etkisinin oluşmaması için bant pencerelerin kolona bitiştirilmemesi



Şekil 8.8- Merdiven ve sahanlık kirişinin meydana getirdiği kısa kolonlar

## 9. BETONARME BİNALARIN DEPREMDE HASAR GÖRMELERİNİN DİĞER NEDENLERİ

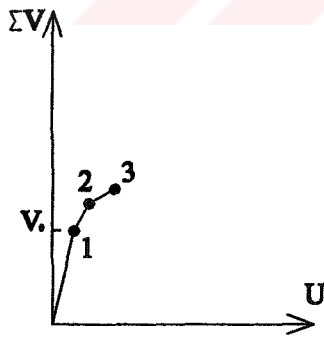
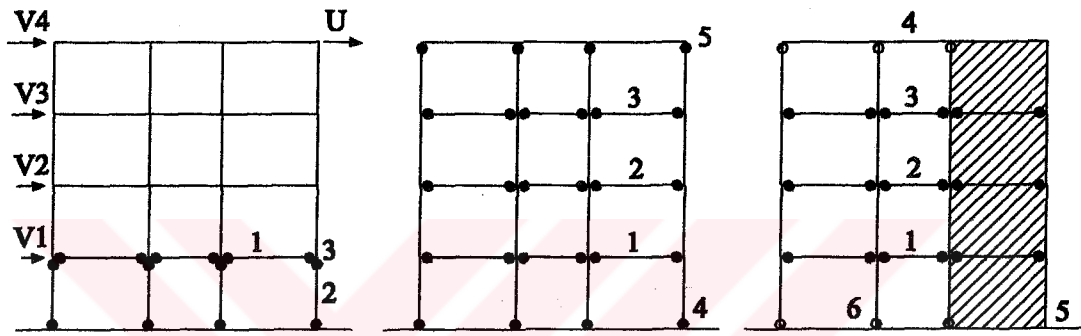
### 9.1 Boyutlandırmada Kapasite Tasarımına Önem Verilmemesi

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

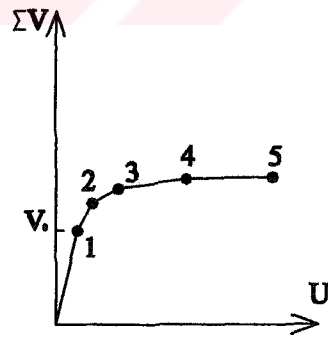
Kapasite tasarımında eleman düzeyinde en fazla deformasyona imkan veren sünek kırılma modu, eğilmedir. Kesme veya basınç kırılması ise çok gevreklerdir. Eleman kapasitelerinin tasarımında basınç ve kesme kapasiteleri eğilme kapasitesinin üstünde tutularak eğilme kırılmasına öncelik verilir. Betonarme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

Yapı sistemi düzeyinde ise artan yükler altında kırılma hiyerarşisinin sağlanması gereklidir. Bir çerçeve sisteminde bunu sağlamanın yolu önce aksel yük taşımayan ve yapının kararlılığında etkisi az olan kirişlerin akması, sonra sıranın kolonlara gelmesi gerekir. Kolonların da üst katlardan alt katlara doğru akması tercih edilir, ancak alt kat kolonları her zaman daha fazla zorlandığı için bu pek mümkün değildir. Kapasite tasarımında kirişlerin kolonlardan önce mafsallaşmasını sağlamanın bir yolu, düğüm noktalarında toplam kolon eğilme kapasitelerini toplam kiriş eğilme kapasitelerinden yüksek tutmaktır. Eğer çerçeve sistemi yerine perde çerçeve sistemi kullanılırsa bu durumda daha olumlu plastik deformasyon özellikleri elde edilir. Perde çerçeve sistemlerinin kırılma hiyerarşisinde, önce kirişler sonra da perdelerde plastik mafsallaşma görüldüğünde kolonlar elastik kalırlar ve düşey yükü rahatlıkla taşımaya devam ederler. Böylece kararlılık ve denge kaybına ancak büyük ötelenmelerde ulaşılır.

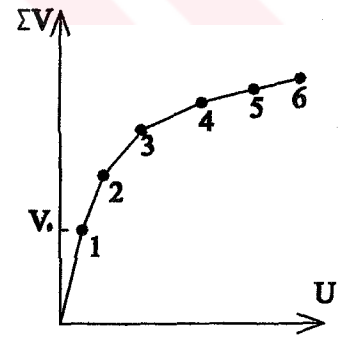
Bu sistemlerde perdenin kesme veya ezilme kırılması moduna girmesi mümkündür. Dolayısı ile, perdenin sünek kırılma sağlaması için yapılacak detaylandırma çok önemlidir. Deprem yönetmeliklerinde bu detaylar verilmektedir. Şekil 9.1'de farklı özelliklere sahip sistemlerin plastik mafsal oluşturmadaki hiyerarşileri ve buna bağlı olan kapa-site eğrileri gösterilmektedir.



a) Zayıf kolon – kuvvetli kiriş sistemi



b) Kuvvetli kolon – zayıf kiriş sistemi

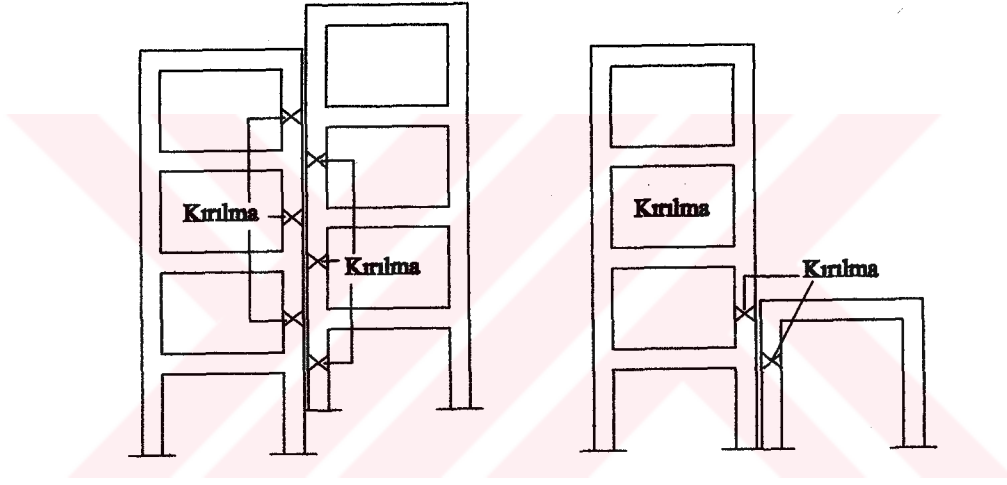


c) Perde – çerçeve sistemi

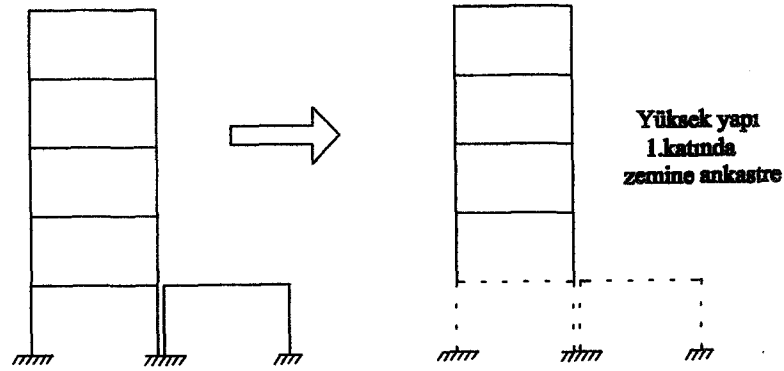
Şekil 9.1- Farklı yapı türlerinin göçme biçimleri

## 9.2 Bitişik Nizam Yapılarda Dilatasyon Derzlerinin Bırakılmaması

Bir yapının titreşim periyodu, yapının rijitliği ve kütesinin bir fonksiyonudur. Bitişik nizam yapıların titreşim periyotlarının aynı olması çok zayıf bir ihtimaldir. Öyleyse binaların deprem süresince aynı anda aynı yöne doğru hareketi pek mümkün olan bir durum değildir. Örneğin bir yapı, depremin herhangi bir anında +x yönünde hareket ederken, bitişik taraftaki bina -x yönünde hareket edebilir. Eğer, yapıların arasında yeteri kadar dilatasyon derzi bırakılmamışsa, yapılar birbirine çarparak zarar görebilirler. Bu zarar, kat döşemeleri aynı düzeyde olmayan yapılarda kısa kolon etkileri oluşturarak kolon kırılmalarına yol açabilir (Şekil 9.2, 9.3).



Şekil 9.2- Kat döşemeleri aynı düzeyde olmayan komşu yapılarda çarpışma ile kolon kırılması



Şekil 9.3- Kat döşemeleri aynı seviyede fakat, kat sayıları farklı komşu yapıların etkileşmesi (Tek katlı komşu yapı, çok katlı yapının zemin katta yan al ötelenmesini kısıtlamakta) (Bayülke, 1998)

### **9.3 Döşeme Ve Sıva Kaplamalarının Gereğinden Kalın ve Ağır Yapılması**

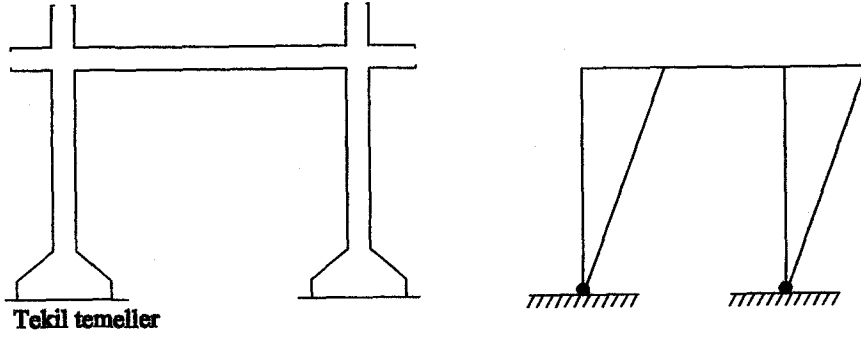
Bir yapının depremden aldığı etki kütlesi ile doğru orantılıdır. Bu gerçek göz önüne alındığında, yapının kütlesini olabildiğince azaltmak önem kazanmaktadır. Bölme duvarlarının hafif ve rijitliği yüksek olan elemanlardan yapılması dışında döşeme ve sıva kaplamalarının kalın olmaması, kalıp yapımı ve beton dökümü sırasında dikkatli olmaya bağlıdır. Ayrıca, duvar yapımı esnasında sonradan sıvayla kapatılmaya çalışılacak hataların olmamasına dikkat edilmelidir.

### **9.4 Yapının İçinde Tasarlanan Su Deposu Kömürlük Ve Benzeri Eklerin Zararları**

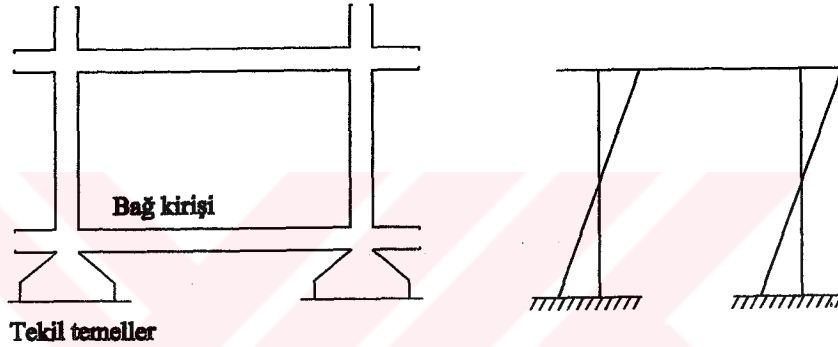
Bir önceki maddede yapının aldığı deprem yüklerinin kütlesi ile doğru orantılı olduğu vurgulanmıştır. Yapıya ek deprem yükü getirecek su deposu kömürlük ve benzeri eklerin yapının dışında yapılması gerekir. Bu ekleri bina içinde yapmak zorunluluğu varsa, bodrumda yapmalıdır. Su deposu ve kömürlüğün çatıya yapılması, yapının alacağı deprem etkilerinin en üst düzeye çıkmasına sebep olacaktır.

### **9.5 Temellerin Bağ Kirişleri İle Birbirine Bağlanmaması**

Çerçevesiz yapılarda tekil temeller her iki yönde, sürekli temellerde sürekli olmaları yönlerinde kolonların mesnet koşulu mafsalıya yakın olmaktadır. Bu koşullarda yatay yükler altında kolon momenti Şekil 9.4 a'daki gibi olmaktadır. Tek yönde sürekli ve bir sıra üzerindeki kolonları bağlayan temellerdeki kolonlar, bir yönde ankastre olurken diğer yönde mafsalı olmaktadır. Bu durumu önlemek için tekil ya da yanyana duran sürekli temellerin bağ kirişleri ile birbirine bağlanması gerekmektedir. Bu koşullarda kolonların mesnet durumu ankastreye yaklaşmakta ve moment dağılımı Şekil 9.4 b'deki gibi olmaktadır.



a) Bağ kirişiyile bağlanmamış temelleri olan yapı mesnetleri mafsallıya yakın bir şekilde davranacaktır.



b) Bağ kirişleri ile bağlı tekil temelleri olan yapı zeminde ankastreye yakın şekilde davranacaktır.

Şekil 9.4- Bağ kirişlerinin tekil temelli bir yapıda mesnet koşullarına etkisi

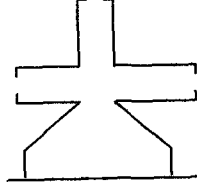
Burada bağ kirişlerinin konulması gereken yer önemlidir. Bağ kirişlerinin kolonun hemen alt ucunda, temelin hemen üstünde yada kolonun dar kenarı kadar temelin üzerinde yapılmalıdır. Kolonları daha yukarıdan bağ kirişleri ile bağlamak ise kısa kolonlar oluşturmaktadır. Bu durumda mafsallaşma bağ kirişlerinde ya da kısa kolonda oluşabilir.

Bağ kirişlerinin belli bir boyutta olması gerekir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar hakkındaki Yönetmelik bu konuda yeterli kayıt içermektedir.

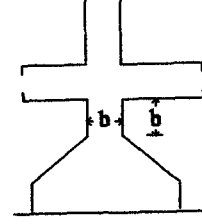
Geniş açıklıklı, tek katlı fabrika çerçevelerinde, çerçeve yönünde kolonları birbiri-ne bağlayan bağ kirişleri, ancak çok büyük ve ekonomik görülmeyecek boyutlarda yapılsa, tekil temellere oturan kolonların alt ucunu ankastre yapmak gerçekleştirilebilir. Bu nedenle bu tip yapıların düşey yükü de az olan kolonların alt ve üst uçlarının çerçeve



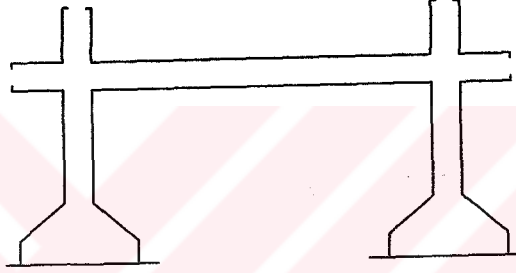
yönünde mafsallı olarak kabulü daha doğru olacaktır. Bağ kirişlerinde, kolonun aksenal yükünün % 10 – 15'i kadar bir çekme kuvvetini taşıyacak biçimde donatısı bulunmalıdır (Bayülke, 1998).



Bağ kiriş temelin hemen üzerinde



Bağ kiriş temele üzerindeki kolonun dar kenarının boyu kadar üzerinde

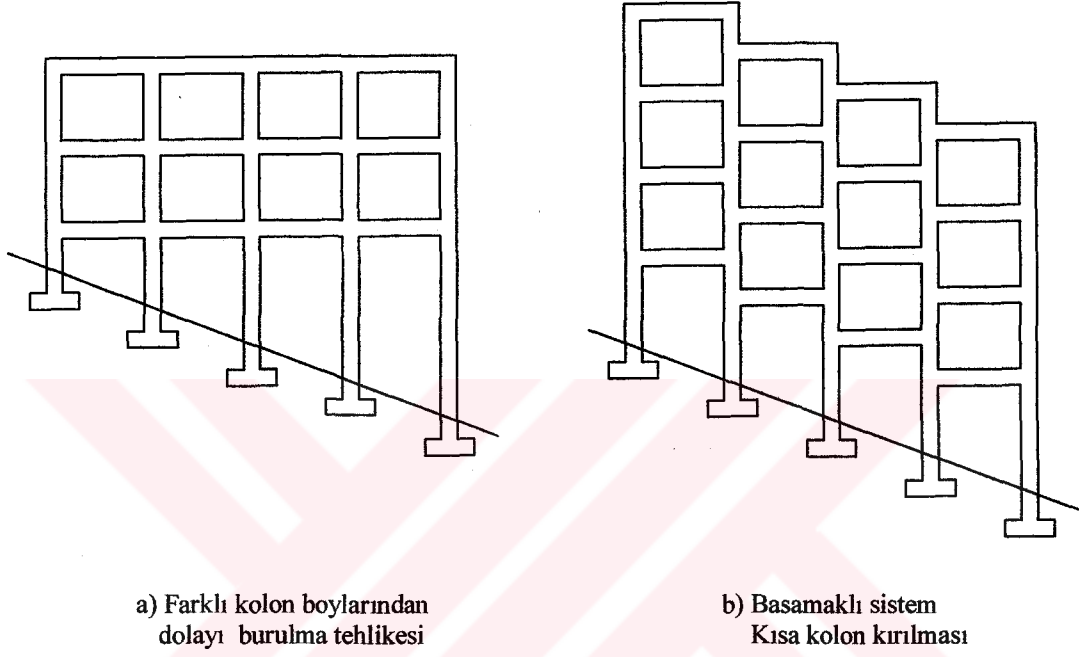


Bağ kirişleri beklenen görevi yapamayacak düzeyde kısa kolon kırılma olasılığı var

Şekil 9.5- Bağ kirişlerinin konacağı doğru ve yanlış yerler (Bayülke, 1998)

### 9.6 Farklı Seviyelerde Temelin Oluşturduğu Sakıncalar

Farklı seviyelerdeki temelerde kolon boylarının farklı olması kısa kolon etkileri ile burulma tehlikesi oluşturabilir. Şekil 9.6'da belirtilen durumlardan mutlaka kaçınılmalıdır.



Şekil 9.6- Düzensiz çerçevesel taşıyıcı sistemler

### 9.7 Malzeme Ve İşçilikte Kalitesizlik Ve İnşaatta Denetim Yetersizliği

Depremde hasar gören yapılar üzerinde yapılan araştırmalar; taşıyıcı sistemde kullanılan malzemelerin kalitesizliğinin, yapıların hasar görmelerinde önemli bir neden olduğunu göstermektedir. Kullanılan betonun kalitesizliği yapının hasar görmesinde en önemli sebepler arasında sayılmaktadır.

Beton kalitesinin düşük olmasının nedenleri arasında;

- Yıkanmamış, elenmemiş deniz kumu kullanımı,
- Killi kumların ve midyeli agregaların kullanımı,
- Yetersiz miktarda çimento kullanımı,
- Kullanım süresi geçmiş çimento kullanımı,
- Betona gerekenden fazla katılan su,

- f) Gronülometrisi uygun olmayan agrega kullanımı,
- g) Özellikle ilk hafta beton kürüne dikkat edilmemesi,
- h) Beton yerleşimine özen gösterilmemesi (vibratör kullanılmaması), sayılmaktadır.

Deprem bölgelerinde yıkılan yapılardan alınan beton numunelerinin dayanımının 60 – 100 kg / cm<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Bu dayanım deprem bölgelerinde kullanılması gereken BS 20 kalitesindeki beton dayanımının çok altındadır.

Bu durumun önüne geçebilmek için elle beton yapımına izin verilmemeli ve hazır beton kullanımı zorunlu hale getirilmelidir. Hazır beton kullanımının yaygın hale getirilmesi sorunu tek başına çözmez. Çünkü üzülmektedir ki hazır beton firmalarının hepsinin bu konuda hassas davrandığı söylenemez. Hazır beton firmaları sıkı denetim altına alınmalı, ayrıca yapının kontrol mühendisi dökülen betondan numune alarak gerekli dayanımı sağlayıp sağlamadığını kontrol etmelidir.

Dikkat edilmesi gereken bir başka husus da betonun priz almaya başlamadan dökülmesidir. Süresi geçen beton kesinlikle sulandırılarak kullanılmamalıdır. Yapı da kullanılan demirin dayanımı ve süneklik özelliği mutlaka kontrol edilmelidir. Dayanımı ve sünekliği düşük olan demirler kullanılmamalıdır.

İşçilik kalitesindeki düşüklük, üzerinde durulması gereken önemli bir husustur. İmalat kalitesini yükseltmek için, işçilerin eğitimden geçirilip hak edenlere sertifika verilmesi ve sertifikalı işçilerin inşaatlarda çalıştırılması gereklidir. Bütün bunların dışında denetim yetersizliği, işçilerin kendi işlerine gelen tarzda imalat yapmalarına imkan sağlamakta ve yapının güvenliği bir anlamda işçinin ve müteahhidin insafına kalmaktadır. Yapının teknik uygulamasından sorumlu kişiler, yasal sorumlulukları dışında vicdani sorumluluklarını da yerine getirmeli; denetimde yapacakları ihmallerin birçok insanın hayatına mal olabileceğini unutmamalıdır.

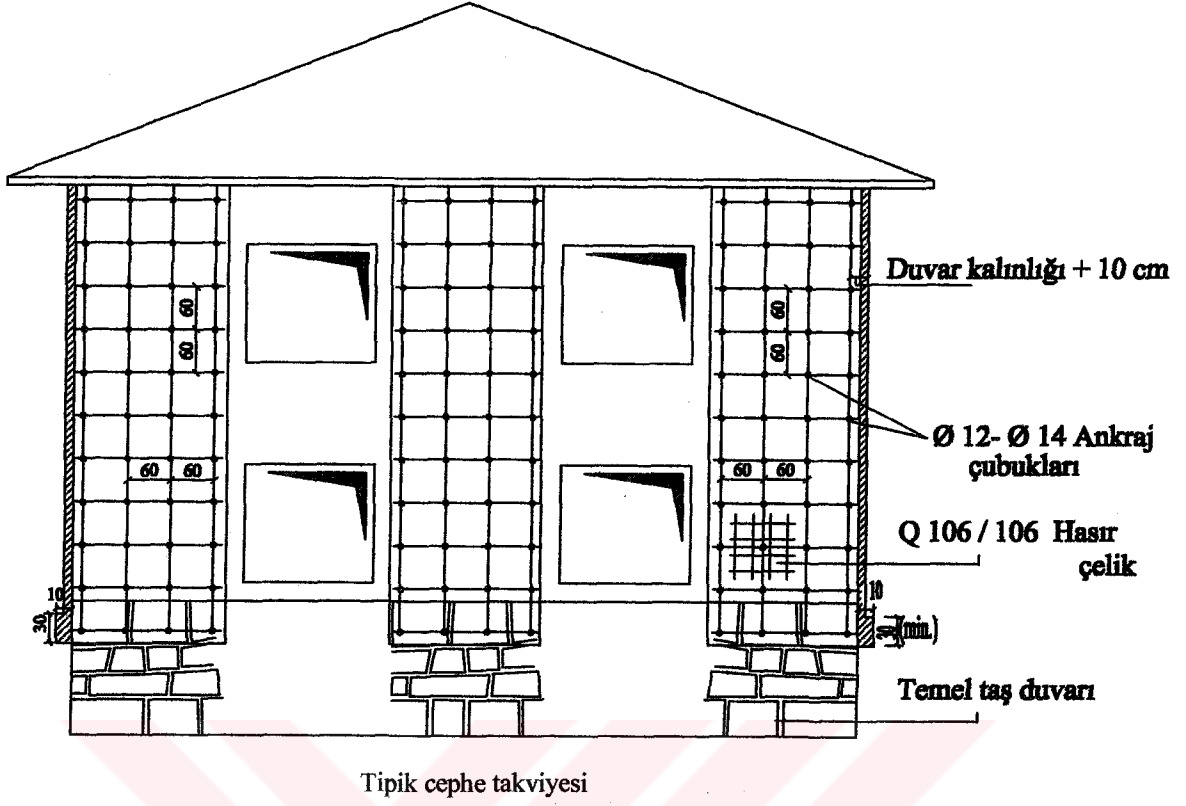
## 10. GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ VE MALZEMELERİ

### 10.1 Onarım Ve Güçlendirme Malzemeleri

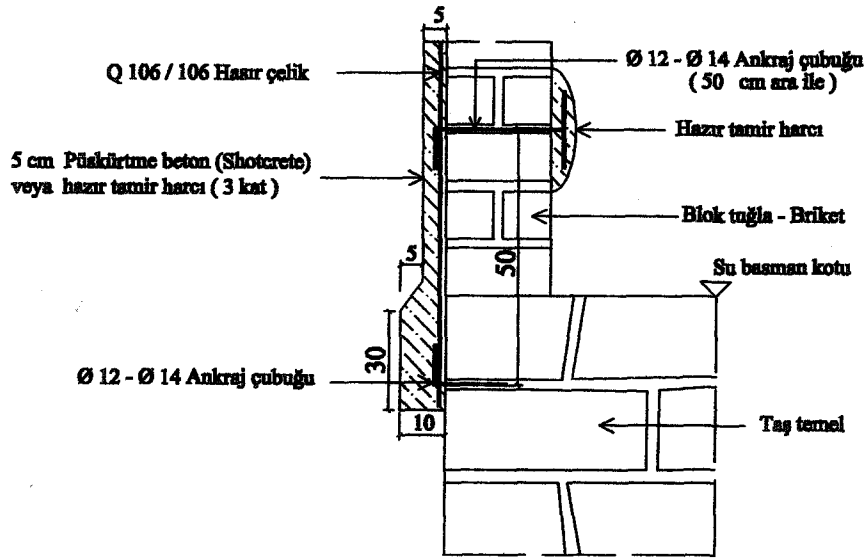
Betonarme yapı elemanları için günümüzde çok değişik güçlendirme elemanları mevcuttur. Bunlar özelliği yüksek olduğu oranda pahalı olup, uygulaması daha çok özen ister. Dikkatsiz ve rastgele yapılacak uygulamadan, malzemedeki beklenen verimin alınması mümkün değildir. Bu tür malzemelerin seçiminde yaygın kullanım alanı bulmuş şantiye koşullarına uygun olanları tercih etmek yerinde olur. Malzemenin alınması sırasında imalatçısından teknik destek sözü de alınmalıdır. Uygulama sırasında en az günlük belirlenecek deneylerle malzemenin ve uygulamanın kalitesi kontrol edilmelidir. Yapının kalitesinin düşük olması ve çok belirsizlikleri içermesi durumunda, ileri teknoloji ürünleri yerine, olabildiğince uygulaması basit, yaygın ve kabul görmüş ürünleri tercih etmelidir. Mesela beton kalitesi çok düşük bir elemanda epoksi enjeksiyonu ve karbon lifli malzeme uygulamasının vereceği sonuç şüpheli olacaktır. Ayrıca, onarım ve güçlendirmede son kararın maliyet analizi yapıldıktan sonra verilmesi gerekir.

#### 10.1.1 Tamir Harçları İle Onarım

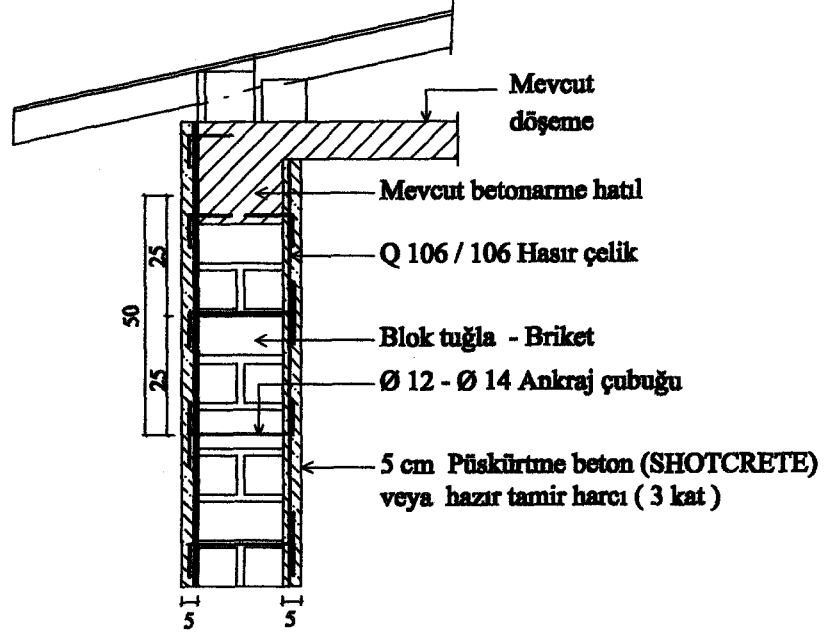
Tamir harçları elemanlarda yerel olarak ortaya çıkan beton hasarlarının giderilmesinde yaygın olarak kullanılır. Yeterli basınç dayanımına ve aderans özelliğine sahip olan bu harçların seçiminde, uygulandığı beton yüzeye iyi yapışması, alt tabaka ile aynı elastikiyet modülü ve ısı genleşme katsayısına sahip olması beklenir. Bu suretle yüklenme durumunda sıcaklık değişimi ile ek gerilmelerin meydana gelmesi önlenmiş olur. Tamir harcı uygulanan yüzey dışı açık olduğu için atmosfer koşullarına dayanıklı olması ve düşük geçirimliğe sahip olması tercih edilmelidir. Tamir harçları küçük hacimlere uygulandığı için, kalıp kullanılıyorsa yüksek akışkanlık, kalıpsız kullanılıyorsa yüksek yapışkanlık özelliği önemli olur. Kururken büzülmesinin düşük olması ve işlenebilmesi için su çimento oranını düşürmek amacıyla süper akışkandırıcı içermesi de tercih sebebidir. Tamir harcı ile onarım detayları (Şekil 10.1, 10.2, 10.3, 10.4)'de gösterilmiştir.



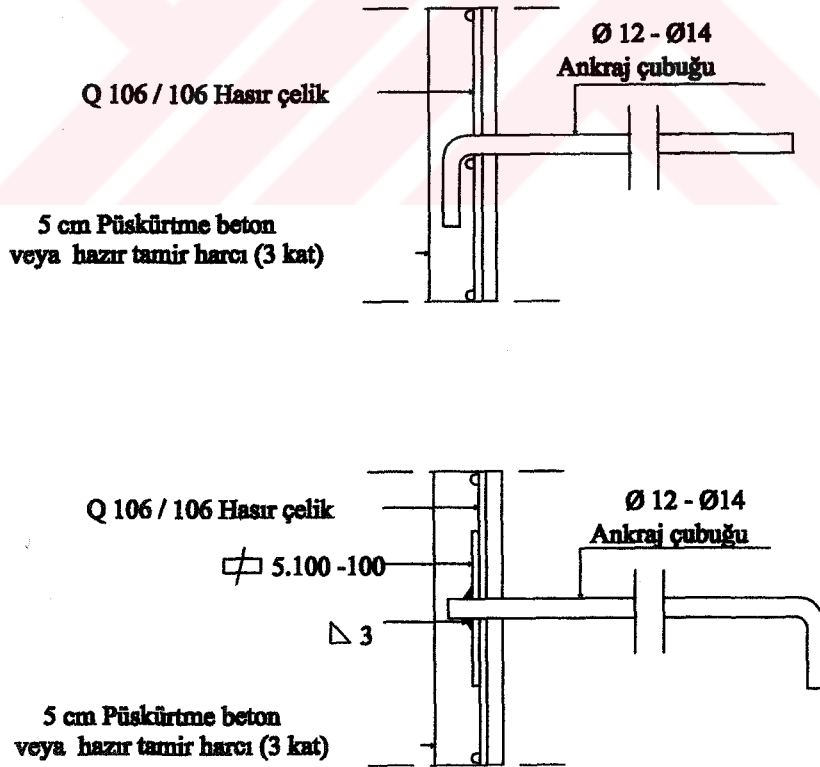
Şekil 10.1- Bir binada hasır çelik ve püskürtme beton veya tamir harcı uygulaması



Şekil 10.2- Hasır çelik ve püskürtme beton veya tamir harcı uygulamasının temele bağlanması



Şekil 10.3- Hasır çelik ve püskürtme beton veya tamir harcı uygulamasının çatı hatılına bağlanması



Şekil 10.4- Hasır çeliğin mevcut yığma duvara bağlanması (Celep ve Kumbasar, 2000)

Tamir harcı uygulamadan önce yüzeydeki harç, gevşek parçalar ve bozulmuş, hasar görmüş beton temizlenmelidir. Yüzeydeki yağ, boya kalıntıları, kireç, toz ve kir temizlenmelidir. Yüzey bir keski ile pürüzlendirilmelidir. Kesitteki donatı çeliği kumlandırılarak üzerindeki pas silinmeli ve üzerine korozyona karşı koruyucu bir kimyasal sürülmelidir. Mevcut donatının kapasitesi azalmışsa, yeni donatı çubukları ilave etmelidir. Tamir harcı uygulanacak yüzeyde su sızıntısı mevcut ise, bu sızıntı durdurulmalıdır. Eğer tamir harcı uygulaması 20mm'den kalın olacaksa ve etriye yoksa harç kalınlığındaki gerilmeleri alabilmek için yüzeye tel veya çelik hasır bağlanmalıdır. Bazı tamir harçları içerisinde çelik lifler bulunmaktadır. Bu durumda ayrıca tel veya çelik hasıra gerek olmayabilir. Donatı çubukları veya hasır yerleştirildikten sonra, tamir harcı uygulamasından önce kesit suya doygun hale getirilmelidir. Harç kalıp içine dökülüyorsa kalıbın özel açılma pencereleri bulunmalıdır. Döküm işlemine başlamadan önce ahşap kalıplar ıslatılmalıdır. Böylece harcın içindeki suyun emilmesi önlenmiş olur. Tamir harcı malayla sürülebileceği gibi püskürtülerek de uygulanabilir. Harcın düzeltme işleminden sonra sıcaklık veya rüzgar gibi nedenlerle hızla kuruyarak içindeki hidrasyon suyunu kaybetmemesi için, bitmiş kesitte bakım yapılmalıdır.

### 10.1.2 Püskürtme Beton İle Onarım Ve Güçlendirme

Aşağıda açıklanan mantolama yöntemi ile yapılacak güçlendirmede, beton kalınlığının az olduğu durumlarda kalıp yapılması ve betonun yerleştirilmesi zordur. Böyle durumlarda araç, gereç ve beceri kazanmış eleman varsa püskürtme beton uygulanabilir. Bu uygulama için gerekli donanımın sağlanması külfetini sağlayacak kadar da işin olması karar için etkindir.

Püskürtme beton basınçlı hava ile uygulanan bir betondur. Karışımın hazırlanmasında iki ayrı yöntem kullanılır. Bunlardan ilki kuru karışım olarak bilinir. Bu tür püskürtme beton için makinanın karışım odasında çimento ve agrega uygun ölçülerde bir araya getirilip karıştırıldıktan sonra, bu karışım seyrek olarak ve basınçlı hava yardımıyla bir hortum içinde püskürtme ucuna iletilir. Meme ya da tabanca olarak adlandırılan bu uca gelen kuru karışıma basınçlı su eklenir. Elde edilen beton, basınçlı hava yardımıyla betonlanacak yüzeye yüksek hızla püskürtülür. Tabancada katılan su miktarı, isteğe uygun bir karışım elde edilmesi için kolayca ayarlanabilir. Gerekli olduğunda bu suya beton katkı maddeleri de eklenebilir. İkinci yöntemde ise çimento, agrega ve su beraber

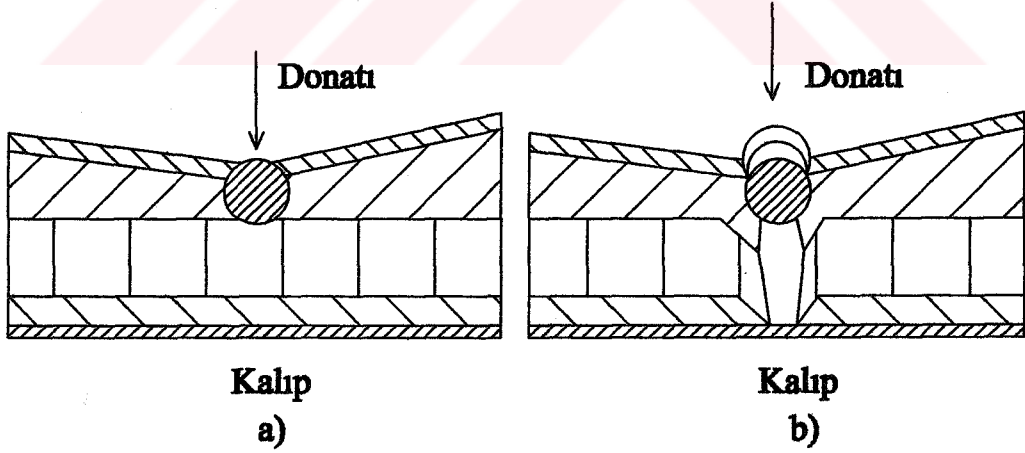
karıştırılır. Elde edilen ıslak karışım benzer şekilde hortumla ve basınçlı hava yardımıyla püskürtme ucuna iletilir. Püskürtme beton yeni inşa edilen yapıların yanında, özellikle eski yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde geniş bir kullanım alanı bulur. Mevcut kargir, çelik, tuğla ve betonarme yapıların yüzlerinin beton tabakası ile kaplanmasında, güçlendirilmesinde ve benzeri yerlerde kullanılır. Sonuç olarak püskürtme betonun, özellikle kalıp yapmanın zor olduğu veya ekonomik olmadığı yerlerde, betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması güç olduğu veya betonun ince bir tabaka olarak uygulanması gereken yerlerde kullanılmasının uygun olduğu söylenebilir.

Başarılı bir püskürtme betonun elde edilmesi, donatının uygun seçilip yerleştirilmesine bağlıdır. Küçük çaplı onarım işlerinde donatı kullanılmayabilir. İşin şekline ve beton kalınlığına göre yuvarlak veya hasır donatı kullanılır. Donatı püskürtme sırasında yerini koruyacak ve az yayılacak şekilde yerleştirilmelidir. Donatı hasırı pimlerle veya takozlarla beton püskürtülecek yüzeye bağlanarak bu koşul yerine getirilebilir. Küçük çaplı donatılar tercih edilmeli ve gerektiğinde kullanılan büyük çaplı donatının betonla sarılmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca; donatı, beton karşı taraftan ve düşeyden az bir sapma ile püskürtülecek şekilde yerleştirilmelidir. Donatıların etrafında betonun boşluk yapmadan püskürtülmesini sağlayacak kadar mesafe bulunmalıdır. Donatıların birbirine, donatının kalıba veya arka yüzeye mesafesi olan bu aralık, en büyük dane büyüklüğüne ve donatının çapına bağlı olmakla beraber, ince malzemeli püskürtme harç ve ince çaplı hasır kullanıldığında en az 10-20mm olup, püskürtme beton ve büyük çaplı donatılarda 40-50mm önerilir. Gerekirse donatıyı mesafeyi ayarlayan ayaklar üzerine oturtmalıdır. Ancak, bunların kesitleri zayıflatmamasına dikkat etmelidir. Donatıların dış tesirlerden korunmasında, normal betonda uygulanan kurallara uyulur. Aynı doğrultuda bulunan donatılar arası temiz açıklık 50-60mm'den ve konulacak hasır donatının göz aralıkları da 50mm'den az olmamalıdır. Daha küçük gözlü hasır donatı ancak konstrüktif donatı olarak kullanılabilir. Püskürtme beton kalınlığının 50 mm 'den büyük olduğu durumlarda ikinci ağı birinci ağ betonla sarıldıktan sonra koymak daha uygun olabilir. Ancak, tabancaya yakın ağ her iki doğrultuda en az çubuk çapının 12 katı aralığa, diğer ağda yine her iki yönde en az çubuk çapının 6 katı aralığa sahipse, her iki ağın beraber betonlanmasıyla da tatmin edici sonuçlar alınabilir. Projede öngörülen yerlerine itinalı bir şekilde yerleştirilen donatılar temiz ve kenetlenmeyi zayıflatacak şeylerden arınmış olmalıdır. Gerek çubukların, gerekse hasır donatının ek yerlerinde zayıf bölgelerin oluşmaması için önlem alınmalıdır. Donatı çubuklarının bindirme yolu ile



eklenmesinde, ek boyu donatı çapının 40 katından az olmamalı ve çubuklar ekte birbirine bağlanmamalıdır; araları en az 50mm olacak şekilde ayrılmalıdır. Hasır donatının eki ise her doğrultuda en az bir veya birbuçuk göz bindirilerek yapılmalıdır.

Çalışmaların odak noktası püskürtme ucu ve tabancası olduğundan, püskürtenin yeterli tecrübeye sahip olması şarttır. Püskürtme yerinin gerektiği gibi temiz olduğu kontrol edildikten veya gerektiğinde daha önce yapılacak basınçlı hava ve su temizliğinden sonra, püskürtme işlemine başlanır. Püskürtme tabancasını tutan, hava basıncını kontrol ederek püskürtmenin düzgün ve uygun hızda olmasını sağlar. Su miktarı kuru yöntemde tabancada kontrol edildiğinden ayrıca dikkat sarf etmek gerekir. Püskürtülen plastik karışımın sıkı olması, az zayıf vermesi fakat bunun yanında gerekli sertlikte olup akmaması hep uygun su ayarı ile mümkündür. Buna ayrıca tabancanın püskürtme yüzeyine imkan oranında dik ve uygun uzaklıkta tutulması etkilidir. Tabanca uygulamaya göre değişmek üzere 0.50-1.50 m mesafede tutularak uygun sonuç alınabilir. Uzak tutulan tabanca donatının arkasını yeterli betonla dolduramayacağı için, zayıf kesitler meydana gelir. Buralarda kalan malzeme ilerde beton yüzünde çatlaklara sebep olabilir. Fazla yakın tutulan tabancada ise yüzeye yapışmadan sıçrayan beton çok olur.



Şekil 10.5- a) yakın ve b) uzak tabanca ile püskürtme uygulaması

Mevcut donatının arkasını betonlamak amacıyla, tabanca normalden daha fazla yanaştırılabileceği gibi, yüzeye olan dikliği biraz değiştirilebilir. Ayrıca betonun aralığa daha iyi yerleşmesi, betonun akmamasına dikkat ederek, suyunu buralarda artırarak sağlanabilir. Donatı çubukları sıkıysa, tabancanın yeri değiştirilmeden birden fazla donatı

betonlanabilir. İyi karışmamış veya akan beton uzaklaştırılarak yerine tekrar püskürtme beton tatbik etmelidir. Özellikle ıslak karışımda, karışım odasında 30-50 dakikadan fazla bekleyen beton tabancaya sevk edilmemelidir. Bu süre kuru karışımda 1 saat civarındadır. Geri sıçrayan betonun yeni karışıma karışması önlenmeli ve ortamdaki uzaklaştırılmalıdır. İletim hortumunun kolay hareketi sağlanarak tabancayı idare edenin istediği yönde ilerlemesine imkan verilmelidir.

Püskürtme yapılacak yüzey büyük ise kalınlık takozlarla veya gergin tellerle belirtilebilir. Ancak daha sonra takozların çıkartılmasına ve yerlerinin betonla doldurulmasına, tellerin püskürtme sonuna kadar gergin kalmasına dikkat edilmelidir. Düşey ve düşeye yakın yüzeylerde püskürtmeye aşağıdan başlanmalıdır. Kalınlık fazla ise püskürtme tabakalar halinde yapılmalıdır. Tabaka kalınlığını püskürtme betonun yerinde durabilmesi ve akması belirler ise de 20mm'den az uygulanmamalıdır. İlk tabakanın en azından donatıyı kapatacak kadar olması uygundur. Tabakalı uygulamada geriye sıçrayan betonun uzaklaştırılmasına dikkat edilmelidir. Döşemelerde tabanca biraz saptırılarak sıçrayan betonun bitmiş kısma düşmemesi sağlanırsa oradan kolayca uzaklaştırılır. Tabakalı uygulamayla fazla kalınlıktan ötürü betonun akması ve düşmesi önlenir. Tavana ve duvara yapılacak uygulamada tabaka kalınlığının 20-30mm'yi geçmemesi tavsiye edilirken, döşemelerde bu kalınlık 70mm olabilir. Alt tabaka yeterli ölçüde katılaştıktan sonra, tamamen sertleşmesi beklenmeden yeni tabaka püskürtülür. Bu bekleme betonun türüne ve uygulama şartlarına bağlı ise de 30-60 dakika arasında değişir. Tamamen sertleşmiş tabakaya beton, ancak gerekli temizlikleri yapıp, basınçlı hava ve su tutulduktan sonra püskürtülebilir. Yeni tabakanın püskürtülmesinden önce, şüpheli yerler kontrol edilerek iyi kaynaşmamış kısımlar uzaklaştırılmalı ve bütün yüzeyler nemlendirilmelidir. Kontrol ve uzaklaştırma sırasında çekiç veya basınçlı hava ile çalışan yuvarlak uçlu aletler kullanılmalı, taşçı kalemi gibi sivri aletler kullanılmaktan kaçınılmalıdır.

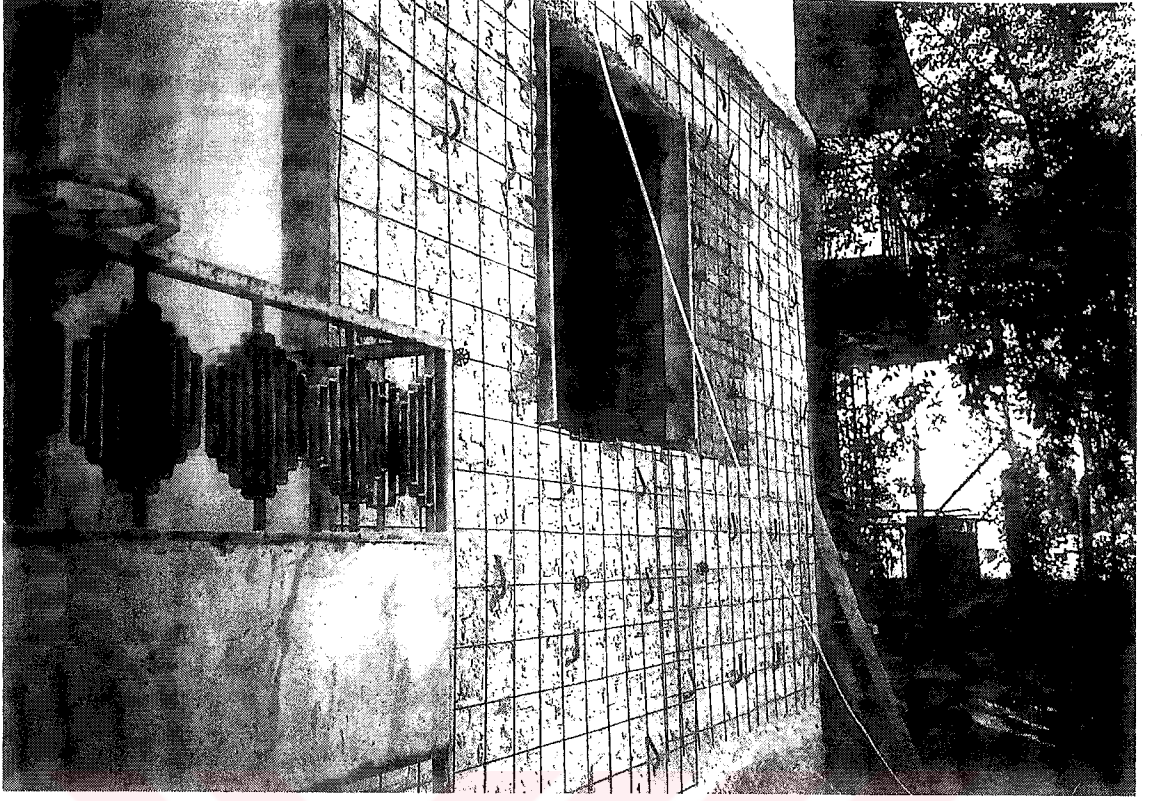
Püskürtme betonun bir kısmı püskürtme yerindeki sert yüzeye, donatıya veya daha önce yapılan betona çarparak geri sıçrar. Bu geri sıçrayarak kullanılmaz hale gelen beton oranı püskürtmeye, su çimento miktarına, agreganın en büyük dane büyüklüğüne, donatının miktar ve şekline, püskürtme tabakasının kalınlığına bağlıdır. Bunlarda değişiklik yaparak azaltılırsa da püskürtme yüzeyinin eğimi çok önemlidir. Genel olarak sıçrama oranı döşeme gibi yatay yüzeyler için % 5-15, duvar gibi düşey yüzeyler için % 15-30 , tavanlarda yapılan uygulamada % 25-50 arasında değişir. Sıçrama başlangıçta

büyük olursa da ilk betonun yüzeye yapışmasıyla azalır. Daha çok iri ve çimento hamuru ile sarılmamış malzeme geri sıçradığı için yüzeyde kalan betonun çimento oranı yüksektir. Bu betonun dayanımını artırsa da, betonu büzülme çatlaklarına karşı daha hassas duruma getirir. Ayrıca danelerin sıçraması sonucu betonda daha ince daneli agrega çoğalır. Az da olsa elek eğrisi değişir. Geri sıçrayan çimento oranı az olup 50 kg/m<sup>3</sup> civarında değişir. Tabancanın püskürtme yüzeyine dik tutulmaması veya sallanması, karışım suyunun az olması sıçramayı artırıcı yönde etkiler. Sıçrayan beton ne yapışan betona katılmalı, ne de püskürtme betonun hazırlanmasına katılan malzemeye katılmaması sağlanmalıdır (Şekil 10.6).

Kuru karışımda, karışımın her yerinde eşit oranda olmasına ve topaksız olmasına dikkat edilmelidir. Islak sistemde ise çıkan betonun plastikliği devamlı kontrol edilmeli ve günde bir defa plastiklik, sıkılık ve su çimento oranı deneylerle belirlenmelidir. Püskürtme betonun tabakalı uygulanmasında her bir tabaka çekiçle kontrol edilerek şüpheli yerlerdeki beton uzaklaştırılmalıdır. En az her 100 m<sup>3</sup> betonda bir defa püskürtülen betonun sıkılığı, su çimento oranı ve bileşimi kontrol edilmelidir. Başlangıçta yapılan uygunluk kontrolünde bulunan değerlerden sapmalar düzeltilmelidir. Yapı veya deney levhaları üzerinde sertleşmiş betondan uygun numuneler alınarak beton kalitesi kontrol edilmelidir. Güçlendirme amaçlı olarak kolon, kiriş ve duvarların genişletilmesinde kullanıldığı durumlarda, kalıbın sıçrayan betonu tekrar içerde bırakmayacak şekilde hazırlanmış olmasına dikkat edilmelidir. Genel olarak dar delik ve oyukların püskürtme beton yerine normal betonla doldurulması, sonra üzerinin püskürtme betonla kaplanması tavsiye edilir.

### 10.1.3 Epoksi Reçinesi İle Onarım Ve Güçlendirme

Epoksi ve benzeri reçineler beton çatlaklarının doldurulmasında ve ince çelik elemanların betona yapıştırılmasında kullanılır. Uygulamada epoksi; bu türden olan sıvı reçineler (epoksi, poliester, poliüretan, akrilik gibi) için genel anlamda kullanılmaktadır. Reçineyi oluşturan kimyasal bileşenlerin çeşitlerine ve kimyasal yapılarına, kullanılma oranlarına ve eklenen maddelere bağlı olarak pek çok çeşitleri mevcuttur. Bu nedenle amaca uygun reçinenin seçilmesi önemlidir. Bir mukayese olması bakımından betonun ve epoksi reçinesinin mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 10.6- Püskürtme beton uygulaması örnekleri (Celep ve Kumbasar,2000)



Şekil 10.7- Güçlendirme perdesinin mevcut kolon ve kirişlere dikiş donatıları ile bağlanması (Celep ve Kumbasar,2000)

Tablo 10.1- Beton ve epoksi reçinesinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik	Beton	Epoksi reçinesi
Basınç dayanımı (MPa)	20-70	250'ye kadar
Çekme dayanımı (MPa)	2 – 5	3.5-35
Eğilmede çekme dayanımı (MPa)	3.5-7.0	10-35
En büyük boy değiştirme	0.01	0.2-50

Genel olarak reçinenin kullanım sırasında sıvı ömrünün uzun olması ve kapta hemen sert hale gelmemesi istenir. Reçinenin betona, yığma duvara ve çeliğe yapışma özelliği çok iyidir. Bu bağda nemle bir azalma görülmez. Uygulamada nem ve sıcaklığa bağlı olarak enjeksiyondan sonra sıcaklıkla sertleşme hızlandırılabilir. Genel olarak reçineler 100 °C'den sonra dayanımlarını kaybederler. Bu nedenle kullanımları sınırlı kalabilir. Yangına karşı korunmaları gerekebilir. Viskozitelerinin enjekte edilecekleri çatlığa uygun olması gerekir.

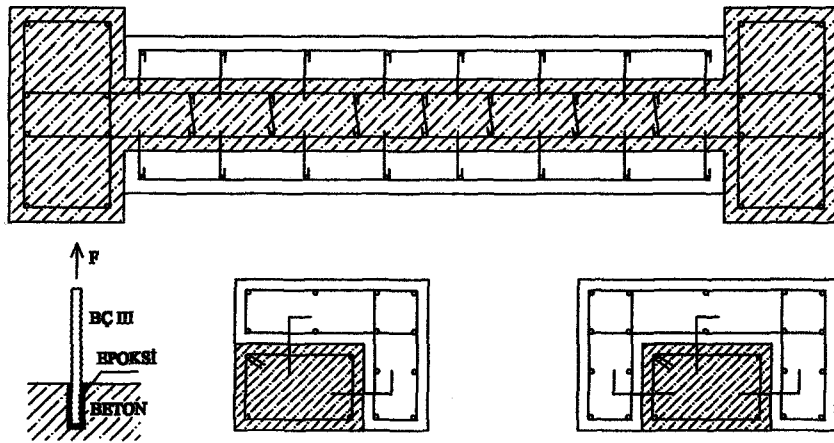
Epoksi; betonarme perdeler, kolonlar, kirişler ve döşemelerdeki çatlakların onarımında yaygın bir şekilde kullanılır. Bu yöntemde çatlak ve boşluklar epoksi malzemesi ile doldurulur. Uygulamaya başlamadan önce beton içinde ses hızı ölçülerek çatlak ve boşluk durumu hakkında bir tespit yapılır. Çatlaklar boyunca yaklaşık 100-150mm derinliğinde ve 10mm genişliğinde yeterli sayıda delik açılır. Yüzeyde çatlakın dış kısımları genişletilerek V şekline getirilir. açılan deliklerdeki toz ve beton parçaları hava ile emilerek temizlenir. Daha sonra, çatlakın dış yüzü enjeksiyonun dışarıya çıkmaması için pasta kıvamlı bir epoksiyle çatlak boyunca yapıştırılır. Açılan deliklere basınçlı hava uygulaması için memeler yerleştirilir. Bu küçük elemanların kenarlarının sızdırmaz bir şekilde kapatılması önemlidir. Uygulamaya en düşük seviyedeki memeye epoksi enjeksiyonu ile başlanır ve epoksinin üst memeden çıkması beklenir. Bu durumda ele alınan meme ucu kapatılarak benzer işlem için daha üstteki memeye geçilir. Epoksi enjeksiyonunun bakımı yapıldıktan sonra, bu bölgedeki ses hızı tekrar ölçülür. Düzensizlikler olduğu gözlenirse işlem tekrarlanır.

Epoksi enjeksiyonu genellikle genişliği 0.5-5 mm arasındaki çatlaklar için başarı ile uygulanır. Çatlak genişliğinin küçük olduğu durumda (0.1-0.5 mm) çatlakın bulunduğu kesitin kum ve fırça ile temizlenmesinden sonra, epoksi dış yüzeyden doğrudan doğruya fırça ile uygulanır. Daha geniş çatlaklarda; büzülme, sünme ve sıcaklık etkilerini

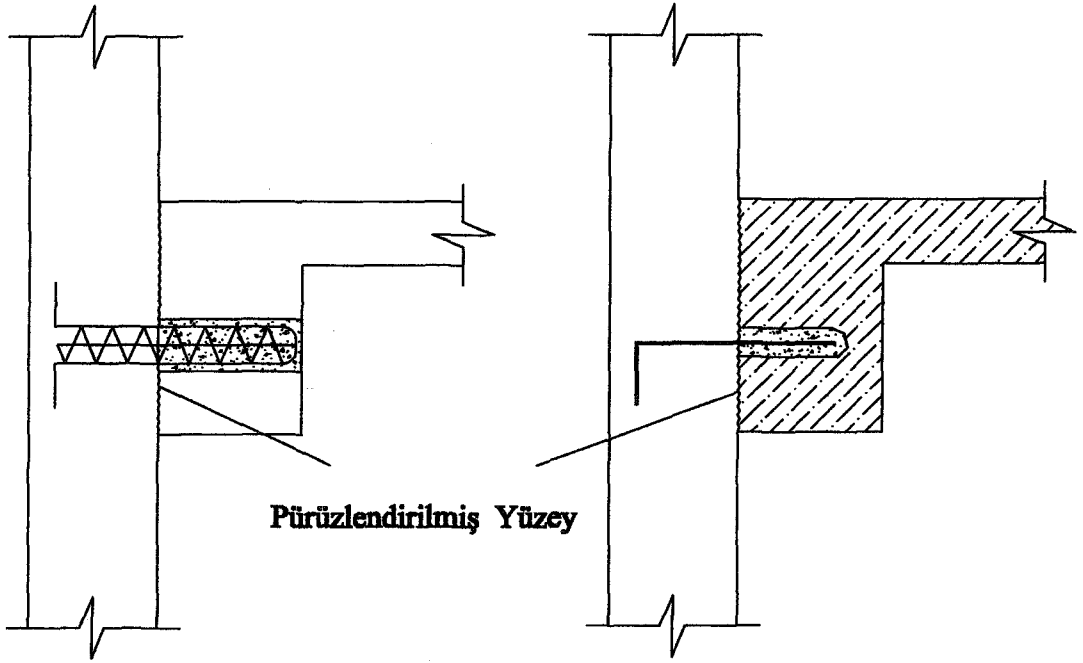
azaltmak için ek bir doldurucu malzemenin kullanılması önerilir. Çok geniş çatlaklarda çatlak ince kumla doldurulduktan sonra epoksi enjeksiyonu uygundur.

Epoksi kullanımında yerel çatlak onarımı yapıldığı unutulmamalıdır. Bir elemanı veya bir bölgeyi güçlendirmek için genellikle tek başına kullanılmaz. Güçlendirme işinde diğer yöntemlerle beraber epoksi uygulaması tercih edilir. Mesela, ek beton kesitlerinin elde edilmesinde mevcut beton yüzü temizleyip epoksi sürüldükten sonra yeni betonun dökülmesi aradaki kaynaşmaya yardımcı olur. Böyle durumlarda da mekanik bazı önlemlerin alınması (dikiş donatısı gibi) önerilir (Şekil 10.7). Uygulamanın özel malzeme, işçilik ve alet gerektirmesi maliyeti artırır.

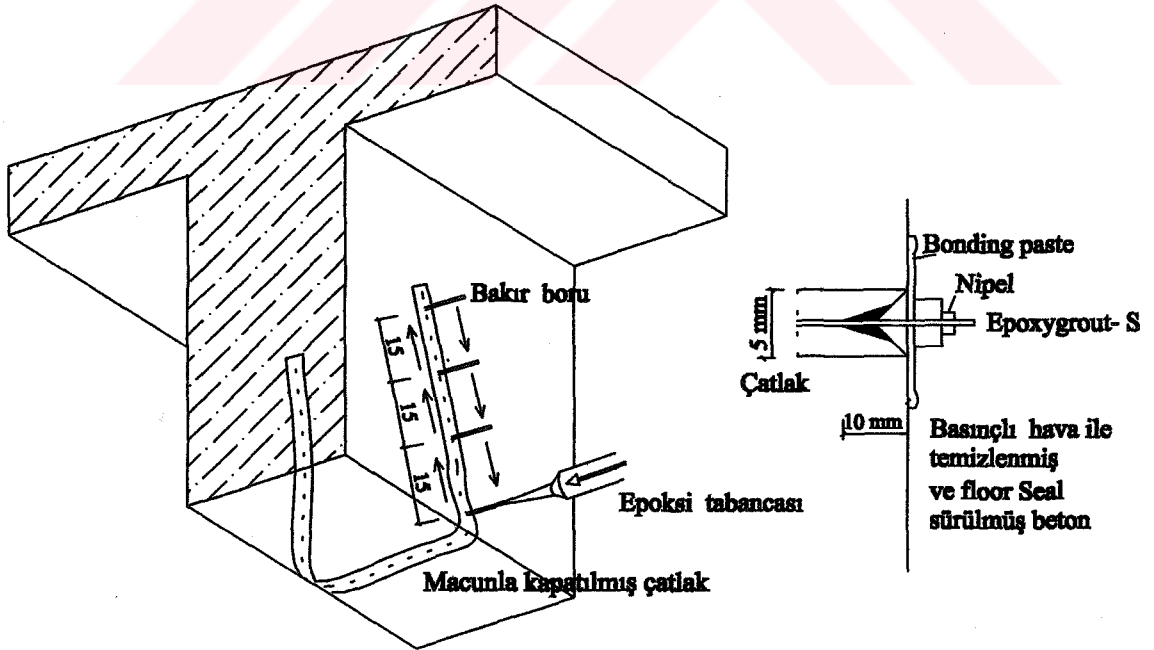
Epoksi uygulamasının başarısı, bu yöntemle onarılmış silindirler üzerinde yapılacak deneylerle kontrol edilebilir. Başarılı bir uygulamada, silindirin onarılan epoksi beton yüzeyinden değil, yeni çatlaklara kırılması gerekir. Deprem yüklemesini temsil etmek üzere yapılan tersinir yükleme deneyinden, onarım gören kirişlerin çok iyi enerji yutma kapasitesine sahip oldukları belirlenmiştir. Donatıdaki pekleşme nedeniyle, onarılmış kirişlerin çatlamamış kirişlere göre daha dayanıklı oldukları gözlenmiştir. Ancak, muhtemelen çatlakların doldurulamaması nedeniyle bu tür kirişlerde daha esnek davranış ortaya çıkar. Sonuç olarak epoksi uygulamasını konu alan deney sonuçlarının genellikle olumlu olduğu söylenebilir. Ancak kolon kiriş birleşim bölgelerindeki donatının aderans çözülmesi bu onarım türünün bir üst sınırı olarak görülebilir (Şekil 10.8, 10.9, 10.10).



Şekil 10.8- Kolon mantolamasında ve perde güçlendirmesinde epoksi uygulamaları



Şekil 10.9- Dış perdenin mevcut kirişlere bağlanması



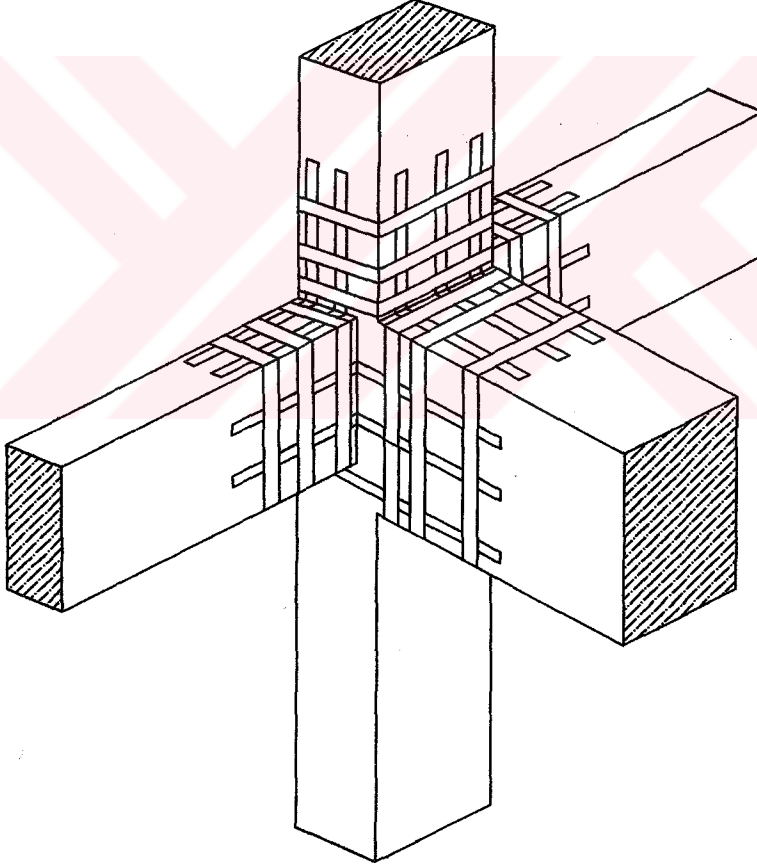
Şekil 10.10- Enjeksiyon uygulama detayı



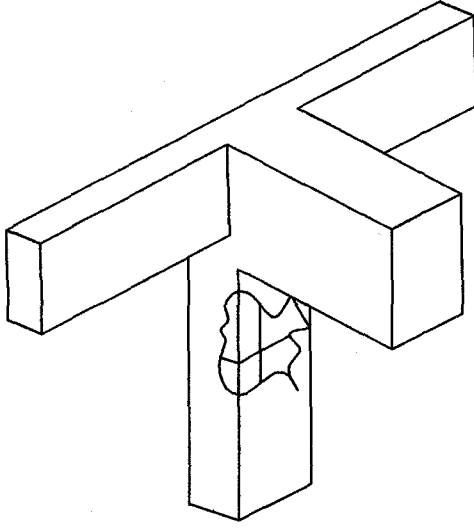
#### 10.1.4 Çelik Şeritlerle Onarım ve Güçlendirme

Çelik şeritlerle onarım ve güçlendirme oldukça yeni bir yöntem olup, bunlar kirişin alt ve yan yüzlerine, kolonların düşey yüzlerine ve kiriş kolon birleşim bölgesine epoksi ile yapıştırılırlar. Paslanmaz çelikten yapılmış olan bu şeritler 1.0-1.5mm kalınlığındadır.

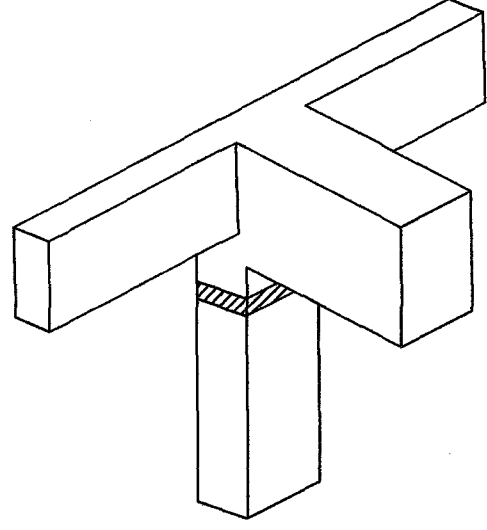
Uygulamada beton yüzeyi zımpara ile düzeltilip, yıkanır ve kurutulur. Yüksek akışkan özellikli epoksi reçinesi beton ve çelik şeritin yapışma yüzeyine sürülür. Basınç uygulayarak 24 saat yapıştırma sağlanır. Şeritler tel ağ ve çimento harcı veya püskürtme beton ile kaplanır (Şekil 10.11, 10.12).



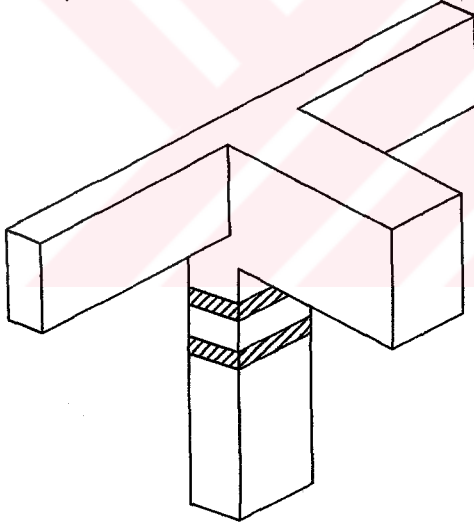
Şekil 10.11- Kolon kiriş birleşim bölgesinin çelik şeritler sarılarak güçlendirilmesi



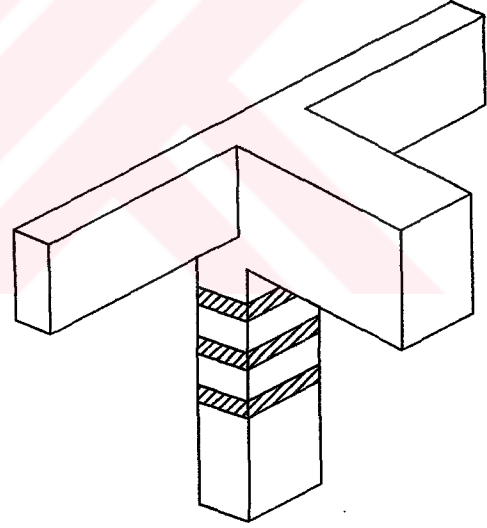
Çelik lama ile sarılacak  
Kolon hasarı örneği



Bir etriyeli sarma



İki etriyeli sarma



Üç etriyeli sarma

Şekil 10.12- Düğüm dışında çelik lama ile sarma

### 10.1.5 Lif Takviyeli Plastik Levhalarla Onarım Ve Güçlendirme

Bu uygulama çelik şerit yapıştırma işlemine benzer. Hafif olması korozyon tehlikesinin bulunmaması ve büyük boyutta bulunması üstünlüklerindedir. Ayrıca elastiklik modülünün küçük olması ve güç tükenmesi durumunda büyük şekil değiştirmeler yapabilmesine sebep olur. Ancak, güç tükenmesine kadar elastiklik davranışı sebebi ile, malzeme düşük sünekliktedir. Sürekli yük altında başlangıç mukavemetinde %15-60 'a varan önemli azalmalar olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle depreme karşı ve sürekli olmayan yük için güçlendirme uygulamalarında faydalıdır. Bu tür plastik levhalar uygulamada bir ve iki doğrultuda takviyeli olarak kullanılır. Özellikleri kullanılan malzemeye göre değişir. Özellikle betonarme perde ve döşeme ile yığma yapı duvarı gibi geniş düz yüzey uygulamaları ve dairesel kolon, baca, hazne ve tank gibi elemanların onarım ve güçlendirmesinde tercih edilir. Levha yapıştırılarak alttaki yapıştırıcının emilmesi sağlanır. Sıva yapılacaksa üzerine kum serpilerek bırakılır.

Tablo 10.2- Lif takviyeli plastiklerin (LTP) mekanik özellikleri

Malzeme	Elastiklik Modülü(GPa)	Çekme dayanımı(MPa)	Güç tükenmesi uzaması (%)	Sürekli yükte dayanım kaybı
Cam	50	1700-2100	3	% 60
Aramid-LTP	65-120	1700-2100	2-3	% 50
Karbon-LTP	135-190	1700-2100	1-1.5	% 15
Çelik	200	220-460	0.2 (akma gerilmesi)	-

Bunların çelikten en önemli farklılığı davranışının güç tükenmesine kadar tamamen elastik olmasıdır. Bu plastik levhalar, çelik levhalar yerine elemanların eğilme momenti ve kayma dayanımını artırmak için başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. İnce olduklarından dolayı elemanın rijitliğini ve taşıyıcı sistemdeki kuvvet dağılımını değiştirmezler. Bu durum yerine göre olumlu ve olumsuz özellik olarak ortaya çıkar. Buna karşılık kesit sünekliğini olumsuz yönde azaltırlar (Celep ve Kumbasar, 2000).

## 11. GÜÇLENDİRME İLE YAPILARDAN BEKLENEN DAVRANIŞ BİÇİMLERİ

Güçlendirme ile yapının bulunduğu bölgede oluşabilecek en şiddetli depremde bile ayakta kalması istenir. Bununla anlatılmak istenen yapının hiç hasar görmemesi değildir. Yapı hasar görse bile insanların canlarını kurtarmalarını sağlamalıdır. Güçlendirilen yapı elemanları kendi paylarına düşen deprem enerjisini başarı ile tüketebilmelidir. Ancak güçlendirilen yapı elemanlarının monolitik elemanlar gibi performans göstermeleri beklenmemelidir.

### 11.1 Güçlendirme Yapı Elemanları Üzerinde Yapılan Deneyler

1965 yılından bu yana birçok binanın onarım/güçlendirilmesinde danışmanlık yapan ODTÜ Yapı Mekaniği grubu, 1970 yılından bu yana uyguladıkları yöntemlerin ne denli sağlıklı ve etkili olduklarını görmek amacı ile birçok deneysel çalışma yapmıştır. Bu deneylerde onarılmış/güçlendirilmiş yapı elemanları ve yapı sistemleri monolitik ve tersinen-tekrarlanan yükler altında denenmiştir (TÜBİTAK ve İMO, 1999).

Bu bölümde yapılan deneylerden elde edilen ve uygulamaya ışık tutabilecek sonuçlar irdelenecektir.

#### 11.1.1 Onarılmış / Güçlendirilmiş Kiriş Deneyleri

Bu grupta iki tür onarım ve güçlendirme yöntemi uygulanmıştır.

##### 11.1.1.1 Betonarme Katmanla Güçlendirme

Bir deney dizisinde Şekil 11.1'de gösterildiği gibi kirişin eğilme kapasitesini artırmak için, çekme yüzüne betonarme bir katman eklenmiştir. Kaynaşma mevcut etriyelere kaynaklanan U biçimindeki etriyelerle veya Z çubukları ile sağlanmıştır. Deneylerde aşağıdaki konular araştırılmıştır.

- Onarım (hasarlı) ve güçlendirme arasındaki fark,
- Yeni katmanın mesnetten önce kesilmesinin etkisi,
- Eski ve yeni betonun kaynaşmasındaki U etriye ve Z çubuklar,

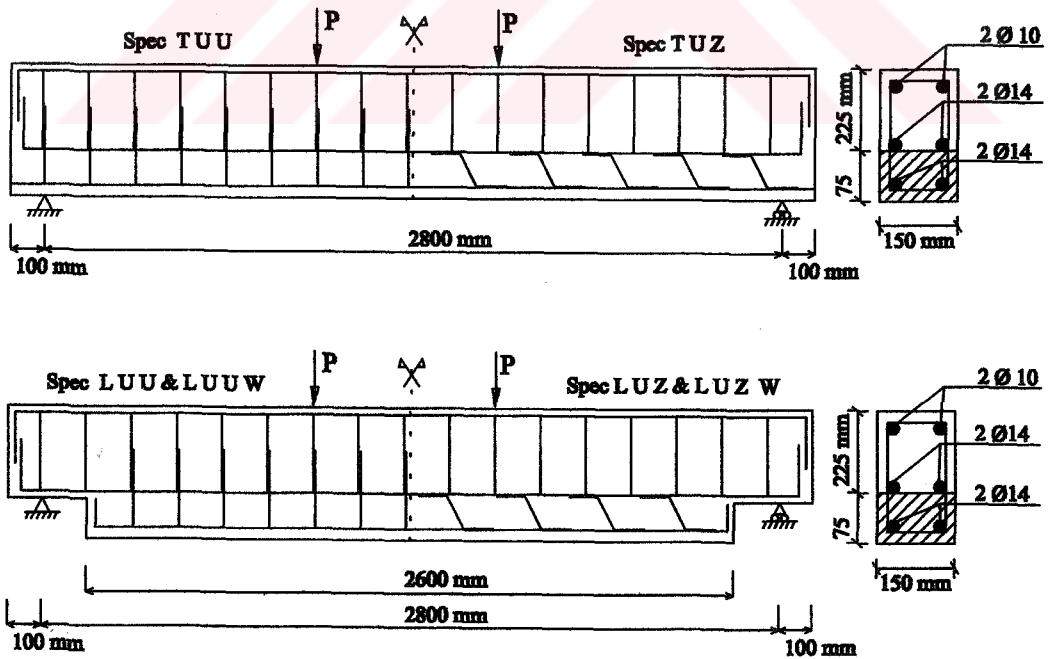
- Yük altında yapılan onarım.

Deneyler sonunda, gerek onarım olsun gerek güçlendirme, eklenen katmanın referans olarak kullanılan monolitik ( bir döküm ) kiriş kadar iyi davrandığı gözlenmiştir. Şekil 11.2'de gösterildiği gibi, yük altında onarılan kiriş bile iyi davranmış monolitik referans elemanının kapasitesinin % 90'ına ulaşmıştır. Uygulamada onarılan veya güçlendirilen kirişin monolitikmiş gibi hesaplanan taşıma gücünün % 90'ının alınması önerilmiştir. Rijitlik için de benzer bir oran kullanılabilir.

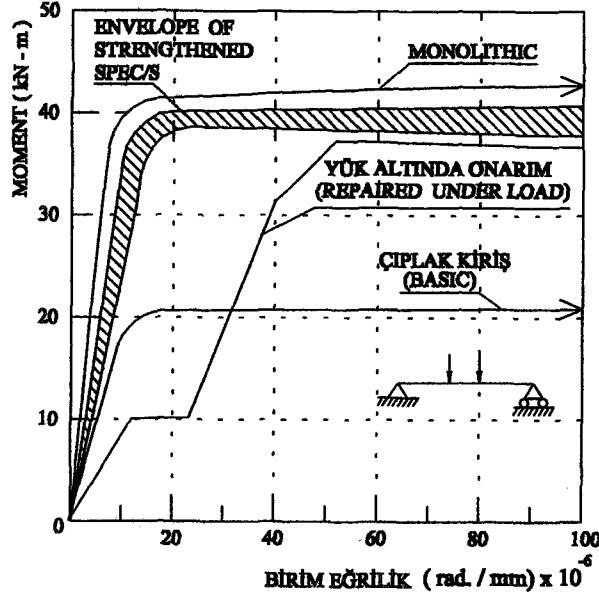
### 11.1.1.2 Kiriş Yapıştırılan Çelik Plakalarla Yapılan Onarım / Güçlendirme

Bu deneylerde iki önemli sonuç elde edilmiştir:

- Çelik plakalar aynen betonarme donatı gibi teorik olarak gereksinme duyulmayan noktadan kiriş derinliği kadar uzatılıp kesilmelidir.
- Çelik plaka uçları bir kelepçe ile kiriş gövdesine bağlanmalıdır.



Şekil 11.1- Güçlendirilmiş kiriş örnekleri



Şekil 11.2- Onarılmış ve güçlendirilmiş kirişlerin moment kapasite eğrileri

### 11.1.2 Mantolu Kolon Deneyleri

Mantolu kolon deneyleri iki grupta irdelenebilir.

#### 11.1.2.1 Eksenel Yüklü Mantolu Kolonlar

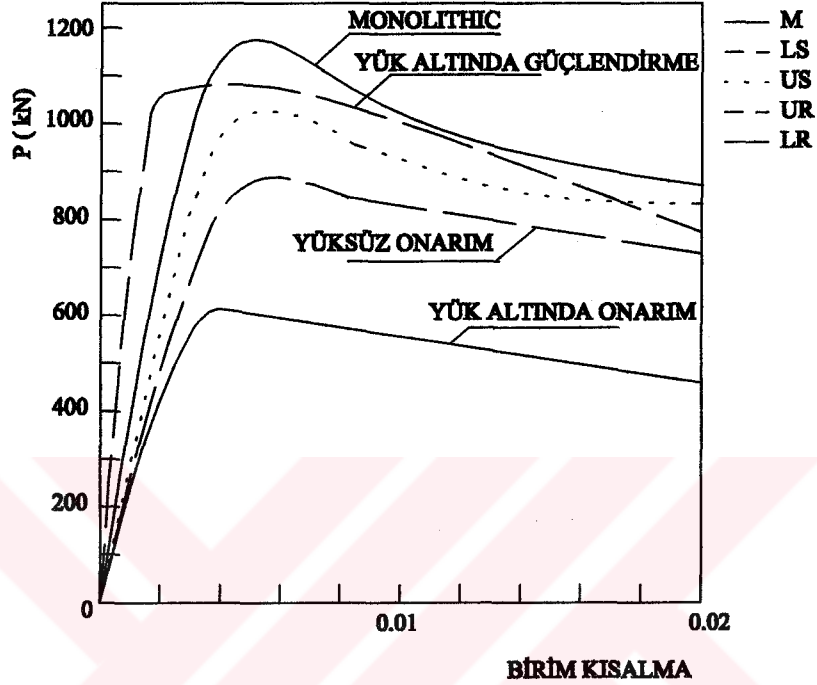
Hasar görmüş ya da görmemiş kolonlara betonarme manto yapıldıktan sonra bunlar eksenel yük altında denenmiştir. Hasar görmüş olanlar onarım, görmemiş olanlar güçlendirme olarak adlandırılmıştır. Bazı kolonlara manto yük kaldırıldıktan sonra uygulanmış, bazılarında ise manto yük altında yapılmıştır. Bu deney dizisinde amaç, onarım ve güçlendirme mantoları arasındaki farkı ve yük altında yapılan mantonun etkinliğini araştırmaktır.

Deney sonuçları Şekil 11.3'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, yük altında yapılan onarım dışında, tüm mantolu kolonlar monolitik referans elemanına yakın bir davranış sergilemiştir.

Bu deneyler sonunda şu önerilerde bulunulabilir:

- Güçlendirme mantosunun taşıma gücü monolitik olarak hesaplananın % 90'ı olarak alınabilir.

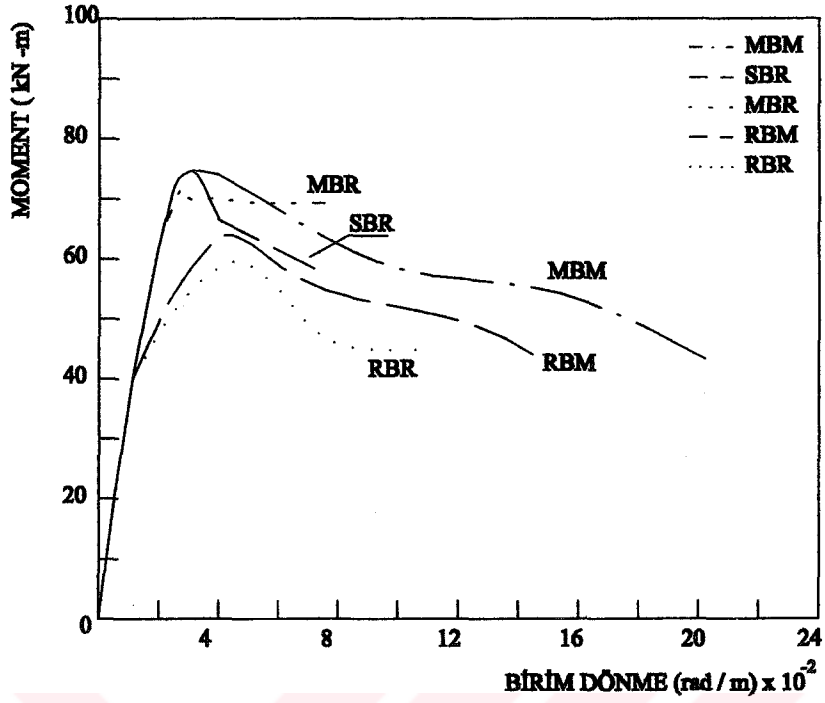
- Onarım mantosu yük kaldırıldıktan sonra yapılmışsa, monolitik olarak hesaplanan taşıma gücünün % 80'i alınmalıdır. Onarım yük altında yapılmışsa, kapasite tasarımında salt manto dikkate alınmalıdır.
- Onarım mantosunda, monolitik rijitliğin %80'i alınmalıdır.



Şekil 11.3- Onarım ve güçlendirme kolonlarının aksel yük kapasite eğrileri (TÜBİTAK ve İMO, 1999)

### 11.1.2.2 Eksenel Yük Ve Eğilme Altında Denenen Mantolu Kolonlar

Bu dizide manto yük kaldırıldıktan sonra yapılmıştır. Eğilme momenti bazı deneylerde monolitik olarak (aynı yönde sürekli) bazı deneylerde ise tersinen- tekrarlanan bir düzende verilmiştir. Deney sonuçları Şekil 11.4'de gösterilmiştir. Deney elemanları adlandırılırken ilk harf, manto türünü göstermektedir. M monolitik, R onarım, S ise güçlendirme mantosunu işaret etmektedir. Son harf ise yükleme düzeni ile ilgilidir. M bir düze aynı yönde yüklemeyi (monolitik), R ise tersinen (tekrarlanan) yüklemeyi işaret etmektedir.



Şekil 11.4- Onarım ve güçlendirme kolonlarının moment kapasite eğrileri

Şekil 11.4'de görüldüğü gibi; genelde onarım mantolarının dayanımı, güçlendirme mantolarına göre daha düşüktür. Tersinen yük altında deformasyon kapasitesi daha sınırlı olmaktadır. Deney sonuçlarının ışığında aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Güçlendirme mantoları ( hasarsız) monolitik referans elemanlarının taşıma gücünün % 90'ına ulaşmaktadır.
- Onarım mantoları (hasarlı) için taşıma gücü hesaplanırken, monolitik olarak hesaplanan kapasitelerinin % 80'inin alınması önerilebilir.
- Mantolanmış kolonların deneyde gözlenen sünekliği oldukça yeterlidir. Ancak bu gözlem yanıltıcı olabilir; deney elemanlarının kesit boyları küçük olduğundan süneklikle ilgili bir yargıya varmak zordur.
- Hasarsız olarak mantolanmış (güçlendirme) kolonun rijitliği, monolitik olarak hesaplanan rijitliğin yaklaşık % 90'ıdır.
- Hasarlı olarak mantolanmış (onarım) kolonun rijitliği, monolitik olarak hesaplananın % 70'idir (TUBİTAK ve İMO, 1999)



**KAYNAKLAR**

Bayülke, N., ( 1998 ), Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yapı Tasarımı, İzmir.

Bayülke, N., ( 2001 ), Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İzmir.

Committee on Earthquake Engineering., ( 1985 ), Liquefaction Of Soils During Earthquakes. National Academy Press, Washington, D.C.

Celep, Z. Ve Kumbasar, N., ( 2000 ), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul

Çamlıbel, N., ( 1994 ), Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarım İlkeleri, İstanbul.

Ersoy, U., ( 1985 ), Betonarme Temel İlkeler Ve Taşıma Gücü Hesabı, İstanbul.

İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi., ( 1998 ), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Kramer , S.L., ( 1996 ), Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, New Jersey.

Mavi Gezegen Dergisi., ( 2000 / 2 ), TMMOB. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

Obermerier, S.F., ( 1996 ), Use Of Liquefaction-induced Features For Paleoseismic Analysis. Engineering Geology.

Polat, Z., ( 2000 ), "Betonarme Yapı ve Yapı Kısımlarının Davranışı", İstanbul.

Port and Harbour Research Institute, Ministry Of Japan., ( 1997 ), Handbook On Liquefaction: Remedition Of Reclaimed Land. A.A. Balkema , Rotterdam.

Shibata, T. and Oka, F. and Ozawa , Y., ( 1996 ), Characteristics Of Ground Deformation Due To Liquefaction. Soils and Foundations.

TÜBÜTAK ve İ.M.O., ( 1999 ), Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi, Kurs Notları.

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

Ulusay, R., ( 2001 ), Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, Ankara.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi 01.01.1971

Doğum Yeri Diyarbakır

Lise 1982 – 1988 Mersin Dumlupınar Lisesi

Lisans 1988 - 1992 İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek lisans 1994 – 2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

**Çalıştığı Kurumlar**

1998 – Devam ediyor Ak İnşaat Mim. Ltd. Şti.

