

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREMDE HASAR GÖRMÜŞ YAPILARIN
GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ VE
GÜÇLENDİRMEDE KULLANILAN MALZEMELER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan ATAY

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Mansur SÜMER

Ocak 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREMDE HASAR GÖRMÜŞ YAPILARIN
GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ VE
GÜÇLENDİRMEDE KULLANILAN MALZEMELER

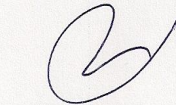
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Hasan ATAY

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

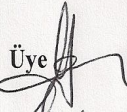
Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez / /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Jüri Başkanı

Doç. Dr. Mansur Sumer

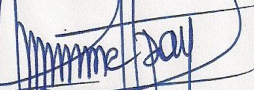


Üye

Prof. Dr. Kemal H. YILMAZ

Prof. Dr. Ahmet Apay

Üye



ÖZET

Anahtar kelimeler: Deprem, güçlendirme, perde, betonarme mantolama, fiber katkı polimerle güçlendirme.

Türkiye Dünya'nın en tehlikeli ve aktif deprem kuşaklarının üzerindedir ve bu gerçek Türkiye'deki yapıların projelendirilmesi ve inşası sırasında deprem etkilerinin göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Yapının servis ömrü göz önüne alınca, ömrü boyunca en az bir kere deprem yüküne maruz kalması kaçınılmazdır. Bu nedenle, yapı tasarımına, yapı davranışını söz konusu dinamik yüklerin etkilerini de içeren mühendislik yaklaşımıyla karar verilmelidir.

Uygulamada kullanılan güçlendirme yöntemleri farklı amaçlara hizmet etmektedir. Bu çalışmada, uygulama yeri ve şekline göre çeşitli etkileri olan yöntemler, elde edilen bilgiler doğrultusunda, eleman ve malzeme bazında olmak üzere iki başlık altında irdelenmiştir. Her bir güçlendirme yönteminin yapı davranışına etkisi, avantaj ve dezavantajları ve yöntemlere ait uygulama detaylarına yer verilmiştir.

Farklı güçlendirme ve onarım yöntemleri üzerinde detaylı bilgiler verip, mevcut yapı sistemi ve hasar tipi göz önünde bulundurularak optimum güçlendirme ve onarım yöntemleri tavsiye edilmiştir.

STRENGTHENING OF BUILDINGS DAMAGED IN THE EARTHQUAKE STRENGTHENING METHODS AND MATERIALS USED

SUMMARY

Keywords: Earthquake, retrofitting, shearwall, reinforced concrete sheathing, fiber reinforced polymer sheathing.

Turkey lies on one of the most dangerous and active earthquake zones of the world, and this fact makes it vital to take into consideration the seismic effects during the design and construction of building construction. As we consider the service life of a building, it would be affected by seismic loads at least once during its life. Therefore, it has to be decided to design of buildings by an engineering approach including building response under the corresponding dynamic loads.

Each retrofitting method used in strengthening applications serve for different purposes. In this study, various retrofitting methods with respect to the place and type of strengthening application, and also based on type of building component and the retrofitting material has been investigated. The effect of each one retrofitting method on the response of the building, their advantages and disadvantages, and the application details of each method has been presented.

After giving detailed information about different retrofitting methods, and taking into consideration the system of building and the type of damage, optimal strengthening and maintenance methods have been offered.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin süresince görüşleriyle yol gösteren, çalışmalarımı yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam, Yrd.Doç.Dr. Mansur SÜMER Bey'e, teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşım İnş. Müh.Aydın KAPLAN' a ve kardeşim Cezayir ATAY' a teşekkür ederim.

Bana her konuda destek olan ve sabır gösteren değerli Anne ve Babam' a ve bu çalışma boyunca bana olan inancını ve desteğini hiç eksik etmeyen sevgili eşim Müberra'ya, kızım Melek Dilara ve oğlum Atakan Yiğit'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER.....	xiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Geçmiş çalışmalar	2
1.3. Çalışmanın kapsamı ve amacı.....	5
BÖLÜM 2. YAPI SİSTEMLERİ VE DEPREM ŞİDDET İLİŞKİSİ	6
2.1. Deprem kendisi	6
2.2. Deprem zemin ilişkisi.....	6
2.3. MSK şiddet cetveli açıklaması:	12
BÖLÜM 3. YAPI SİSTEMLERİNDEKİ DEPREM HASARLARI VE NEDENLERİ	16
3.1. Uygulama hataları	16
3.1.1. Kapalı çıkmalar	16
3.1.2. Proje hataları 1.....	17

3.1.3. Proje hataları 2.....	17
3.1.4. Proje hataları 3.....	19
3.1.5. Güçlü kiriş zayıf kolon etkisi	19
3.1.6. Kalitesiz işçilik	21
3.2. Malzeme kalitesi	22
3.2.1. Uygun olmayan agrega ve kalitesiz beton	22
3.2.2. Korozyona uğramış betonarme donatısı	23
3.3. Donatı hataları.....	24
3.3.1. Etriye aralığı ve kanca payı.....	24
3.3.2. Birleşim yerleri detaylar.....	26
3.4. İşçilik hataları.....	27
3.5.Çekiçleme etkisi.....	28
3.6.Yumuşak kat	30
3.7. Zemin sıvılaşması.....	32
3.8. Kısa kolon davranışı	34
BÖLÜM 4. ONARIM VE GÜÇLENDİRME DÜZEYLERİ VE İLKELERİ.....	35
4.1. Onarım	35
4.2. Güçlendirme.....	36
4.3. Onarım ve güçlendirme ilkeleri	36
4.3.1 Yapının ağırlığı azaltılmalıdır	36
4.3.2. Yapının sünekliğinin artması	37
4.3.3.Yapının taşıma gücünün artırılması.....	37
4.3.4. Yapının dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi.....	38
4.3.5. Burulma etkisi azaltılmalıdır	38
4.3.6.Yükleri taşıyacak yeni elemanlar yerleştirilmelidir.....	39
4.4. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri.....	39

BÖLÜM 5. DEPREME KARŞI YAPI GÜÇLENDİRMESİ YÖNTEMLERİ.....	43
5.1. Mevcut yapının incelenmesi	43
5.1.1. Depremsiz yapı analizi.....	43
5.1.2. Yapının 2007 deprem yönetmeliği'ne göre incelenmesi	43
5.2. Yapı güçlendirmesi.....	44
5.2.1. Perde ve mantoların kullanılması	44
5.2.2. Perde tasarımında dikkat edilecek hususlar	45
BÖLÜM 6. GÜÇLENDİRME PERDELERİ.....	47
6.1. İki kolon arası panel perdeler.....	47
6.2. Başlık bölgesi kendi içinde yeni perdeler.....	47
6.3. Kirişin kırılarak perde oluşturmasının avantaj ve dezavantajları.....	50
6.3.1. Avantajları.....	50
6.3.2. Dezavantajları.....	50
BÖLÜM 7. GÜÇLENDİRMEDE MANTO DÜZENLENMESİ	51
BÖLÜM 8. FİBER KATKILI PLAKA (FRP) İLE GÜÇLENDİRME	52
8.1. FRP kompozit teknolojisi	52
8.2. Tipik uygulamalar	52
8.3. CFRP plakalar	53
8.4. İnşaat sektöründe frp kullanımının avantajları	53
8.5. FRP sisteminin yapıya faydaları	53
8.6. FRP plakaların faydaları	54
8.7. Uygulama aşamaları	54
8.8. FRP kumaşlar	54
8.9. Uygulama alanları	56
8.9.1. Kirişler	56
8.9.2. Kolonlar	56

8.9.3. Döşemeler	58
8.9.4. Bacalar	58
8.9.5. Tanklar / silolar.....	58
8.9.6. Borular	59
8.9.7. Tüneller	59
8.10. Dizayn kriterleri-dizayn için öneriler	60
8.11. Ankrajlama.....	61
8.11.1. Plakaların bitim noktalarından çelik plaka ve cıvata ile ankrajlanması:.....	61
8.11.2. Plakaların bitim noktalarından birkaç sıra kuşaklama ile ankrajlanması.....	62
8.11.3. (U) Kuşaklamanın ankrajlanması	62
8.11.4. Düğüm noktalarının ankrajlanması:	62
BÖLÜM 9. YAPI ONARIM YÖNTEMLERİ.....	64
9.1. Onarım yöntemleri	64
9.1.1. Beton yüzeylerin onarımı.....	64
9.1.1.1. Yüzeylerin hazırlanması.....	64
9.1.2. Beton çatlakların onarımı.....	69
9.1.2.1. Epoksi reçineleri	69
9.1.2.2. Epoksi ile onarım yöntemleri.....	70
9.1.2.3. Epoksi ile onarımda taşıma gücü artışı.....	71
9.2. Çimento şerbeti	72
9.3. Çimento enjeksiyonu	73
9.4. Mekanik bağlayıcılar	74
9.5. Donatı betona ankrajlanması (filiz ekimi)	75

BÖLÜM 10. BETONARME KOLONLARIN GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ ..	78
10.1. Mantolama	78
10.2. Eski ve yeni betonu kaynaştırma.....	79
10.3. Donatıların bağlanması ve ankraji.....	80
10.4. Mantolama ile kolon güçlendirmesi üzerine öneriler.....	81
10.5. Betonarme kolonların “kanat” eklenerek güçlendirilmesi.....	84
BÖLÜM 11. TEMEL GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	85
BÖLÜM 12. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
12.1. Sonuçlar	87
12.2. Öneriler	89
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Türkiye deprem bölgesi haritası (Anonim, 2009b)	8
Şekil 3.1. Bina kesiti.....	16
Şekil 3.2. Tek yönlü kiriş kullanım hatası örneği.....	17
Şekil 3.3. Deprem anında kolonlarda oluşan burulma etkisi	18
Şekil 3.4. Yetersiz etriye ve burulma kuvveti tesirinde kalmış kolonlar	18
Şekil 3.5. Bir kolon aplikasyon sistemi	19
Şekil 3.6. Zayıf kolon, güçlü kiriş etkisi altında yıkılmış bir bina	20
Şekil 3.7. Zemin katta kısmen güçlü kolonların kullanıldığı zayıf kolon, güçlü kiriş etkisi altında yıkılmış bir bina	21
Şekil 3.8 Yetersiz etriye aralığı ve kanca boyu kullanılan bir kolon örneği.....	22
Şekil 3.9. Uygun olmayan agrega ve yetersiz beton kullanılmış bir bina	23
Şekil 3.10. Yetersiz aderans ve donatı korozyonuna uğramış bir kolon	24
Şekil 3.11. Kanca paylarının yetersiz ve birleşim yerlerinde eklerin yeterli boyda Olmadığı bir perde örneği.....	25
Şekil 3.12. Kolon detayı.....	26
Şekil 3.13. Birleşim yerinde hasar oluşmuş bir bina	27
Şekil 3.14. Güçlü kiriş-zayıf kolon örneği.....	28
Şekil 3.15. Çekiçleme etkisinde yıkılmış bir bina (1)	29
Şekil 3.16. Çekiçleme etkisinde yıkılmış bir bina (2)	29
Şekil 3.17. Çekiçleme etkisinde yıkılmış bir bina (3)	30
Şekil 3.18. Yumuşak kattan dolayı yıkılmış bina örnekleri.....	31

Şekil 3.19. Zemin sıvılaşmasından dolayı yıkılmış bina örneği	33
Şekil 3.20. Zemin sıvılaşması örneği.....	33
Şekil 3.21. Kısa kolon davranışı.....	34
Şekil 5.1. Perde ve mantolama kesitleri.....	45
Şekil 5.2. Perde yeri tercihi	45
Şekil 5.3. Alt katta perde düzenlemesi ile güçlendirme	46
Şekil 6.1. İki kolon arası panel davranışı.....	48
Şekil 6.2. Geniş kirişlerde perde donatısının düzenlemesi	48
Şekil 6.3.Kiriş kullanılarak perdenin düzenlenmesi.....	48
Şekil 6.4.Dar kirişlerde perde donatısının düzenlenmesi	49
Şekil 7.1. Mantolama ile güçlendirme detayı.....	52
Şekil 7.2. Kolonlarda mantolama şekilleri.....	52
Şekil 8.1. Kolona FRP kumaşı uygulaması.....	56
Şekil 8.2. Kirişte FRP plaka uygulaması	57
Şekil 8.3. Kolonlarda FRP uygulaması.....	58
Şekil 8.4. Döşemede FRP uygulaması.....	58
Şekil 8.5. Bacalarda FRP uygulaması.....	59
Şekil 8.6. Siloda FRP uygulaması	59
Şekil 8.7. Boruda FRP uygulaması.....	60
Şekil 8.8. Tünelde FRP uygulaması	60
Şekil 8.9. Plakaların bitim noktalarından çelik plaka ve cıvata ile ankrajlanması.....	62
Şekil 8.10. Plakların bitim noktalarından birkaç sıra kuşaklama ile ankrajlanması....	63
Şekil 8.11. Kolon- kiriş birleşim yerlerinin kesme güçlendirmesi ve ankrajlanması ile ilgili tipik uygulamalar.(a) Dış birleşim noktası, (b) İç birleşim noktası ..	64

Şekil 8.12. Kiriş-Kolon birleşim yerleri yük-deplasman eğrileri. (a) Güçlendirilmemiş numune, (b) Güçlendirilmiş numune, Güçlendirilmiş numune kesme dayanımında % 70 bir artış sergiler	64
Şekil 9.1. Kılcal çatlakların içine bağlayıcı madde enjeksiyonu.....	70
Şekil 9.2. Çatlakların ve boruların çevrelerinin epoksi harcıyla kapatılması	72
Şekil 9.3. Taş duvara çimento enjeksiyonu.....	74
Şekil 9.4. Çatlakların onarımında mekanik bağlayıcıların kullanılması.....	75
Şekil 9.5. Betona filiz ekilmesi	76
Şekil 9.6. Perde filizi çakılması.....	77
Şekil 10.1. Eski ve yeni beton kaynaştırması.....	80
Şekil 10.2. Eski ve yeni betonu kaynaştırmak için kama	82
Şekil 10.3. Kolonun betonarme mantolama ile güçlendirilmesi uygulaması	82
Şekil 10.4. Kolon mantolama uygulaması	84
Şekil 11.1. Temel güçlendirme ayrıntıları	86
Şekil 11.2. Duvar yükünün yeni sömellere aktarılması.....	87
Şekil 11.3. Mantolanmış kolonda sömel takviyesi.....	87
Şekil 11.4. Temel genişletilmesi	88

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Şiddet, zemin ivmesi, hız ve yapı tiplerindeki hasar arasındaki ilişkiler (TDY, 2007)	10
Tablo 4.1. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliği'ne göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	41
Tablo 9.1. Epoksi ve harcının mekanik özellikleri.....	71

SİMGELER

- $A(T)$: Spektral ivme katsayısı
- A_0 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı
- B_a : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü.
- B_{ax} : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- B_{ay} : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- B_b : Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
- B_{bx} : Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- B_{by} : Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini doğrultusunda, x'e dik y Doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- B_B : Mod birleştirme yöntemi'nde mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük
- B_D : B_B büyüklüğüne ait büyütülmüş değer
- D_i : Eşdeğer deprem yükü yöntemi'nde burulma düzensizliği olan binalar için i'inci katta \pm %5 ek dışmerkezliğe uygulanan büyütme katsayısı
- D_{fi} : Binanın i'inci katında F_{fi} fiktif yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme

- d_i : Binanın i 'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
- F_{fi} : Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i 'inci kata etkiyen fiktif yük
- F_i : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde i 'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yüğü
- f_e : Yapısal çıkıntının, mimari elemanın, mekanik ve elektrik donanımının ağırlık merkezine etkiyen eşdeğer deprem yüğü
- g : Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s²)
- g_i : Binanın i 'inci katındaki toplam sabit yük
- H_i : Binanın i 'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i 'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği)
- H_N : Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik)
- H_w : Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
- h_i : Binanın i 'inci katının kat yüksekliği
- I : Bina Önem Katsayısı
- ℓ_w : Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
- M_n : n 'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
- M_{xn} : Gözönüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n 'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle

M_{yn}	: Gözönüne alınan y deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
m_i	: Binanın i'inci katının kütlesi ($m_i : w_i / g$)
$m_{\theta i}$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti
N	: Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
q_i	: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_{alt}, R_{üst}$: Kolonları üstten mafsallı tek katlı çerçevelerin, yerinde dökme betonarme, prefabrike veya çelik binaların en üst (çatı) katı olarak kullanılması durumunda, sırası ile, alttaki katlar ve en üst kat için tanımlanan R katsayıları
$R_{NÇ}$: Deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi normal çerçeveler tarafından taşındığı durum için tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_{YP}	: Deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perdeler tarafından taşındığı durum için tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı
$S(T)$: Spektrum Katsayısı
$S_{ae}(T)$: Elastik spektral ivme [m/s^2]
$S_{aR}(T_r)$: r'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme [m/s^2]
T	: Bina doğal titreşim periyodu [s]

T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
T_A, T_B	: Spektrum Karakteristik Periyotları [s]
T_m, T_n	: Binanın m'inci ve n'inci doğal titreşim periyotları [s]
V_i	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
V_t	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
V_{tB}	: Mod Birleştirme Yöntemi'nde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
W	: Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
w_e	: Yapısal çıkıntının, mimari elemanın, mekanik veya elektrik donanımının ağırlığı
w_i	: Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
Y	: Mod Birleştirme Yöntemi'nde hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu Sayısı
α	: Deprem derzi boşluklarının hesabında kullanılan katsayı
α_s	: Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tabanında elde edilen kesme kuvvetleri toplamının, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam kesme kuvvetine oranı
β	: Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

- ΔF_N : Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
- δ_i : Binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
- $(\delta_i)_{\max}$: Binanın i'inci katındaki maksimum etkin görelî kat ötelemesi
- η_{bi} : i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
- η_{ci} : i'inci katta tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
- η_{ki} : i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
- Φ_{xin} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta x eksenî doğrultusundaki yatay bileşeni
- Φ_{yin} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta y eksenî doğrultusundaki yatay bileşeni
- $\Phi_{\theta in}$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşeni
- θ_i : i'inci katta tanımlanan İkinci Mertebe Gösterge Değeri

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Genel

Türkiye bir deprem ülkesidir. Bu bilinç ile yaşamak, bu bilinç ile depreme dayanıklı yapılar inşa etmek ve bu bilinç ile yetersiz dayanıma sahip binalarımızı güçlendirmek zorundayız. Tipik bir konutun, şiddetli bir depremde hasar görmesi normal karşılanabilir. Önemli olan, yapıların göçmesinin önlenmesidir. Binaların şiddetli bir depremi tamamen hasarsız olarak atlmasını sağlayacak şekilde projelendirilmesi ekonomik değildir. Ancak, yönetmeliklerimiz en şiddetli depremlerde bile yapıların göçmesini engelleyecek önlemleri en detaylı şekilde içermektedir. Bu durumda, depremi hasarlı olarak atlattığı bir yapının taşıyıcı sisteminin onarımı gündeme gelmektedir. Bugüne kadar, çeşitli depremlerde hasar görmüş on binlerce yapıya onarım ve güçlendirme uygulanmıştır. Bu uygulamaların ana hedefi, yapıdaki hasarı onarmanın ötesinde, yapıyı gelebilecek en kuvvetli yer hareketlerine dayanabilecek şekilde güçlendirmektir. Yapı güvenliğinin belirlenmesine ne zaman gereksinim duyulur? Deprem bölgelerinde inşa edilmiş yapıların güçlendirilmesi için mutlaka bir depremden hasar görerek çıkmış olması gerekmektedir. Hasarsız bir binanın da yapısal sisteminin iyileştirilerek güçlendirilmesi gerekebilir. Yapı herhangi bir nedenle hasar görmüşse, yeterli güvenliğe sahip olmadığı açıktır (Anonim, 2009b).

Dünyanın oluşumundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde depremlerin ardışıklı olarak olduğu ve sonucundan da milyonlarca insanın ve barınakların yok olduğu bilinmektedir. Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir. Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde olduğu bilinmektedir (Anonim, 2009b).

Son 58 yıl içerisinde depremlerden, 58.202 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122.096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki, depremlerden her yıl ortalama 1.003 vatandaşımız ölmekte ve 7.094 bina yıkılmaktadır.

Bu çalışmada bütün bu olumsuzlukları, yapıların maruz kaldığı deprem hasarlarını iyi irdelemek ve meydana gelen hasarların oluş sebepleri ve bu hasarların giderilmesi için uygulanan güçlendirme teknikleri yer alacaktır. Amaç hasar görmüş yapılara gömlek giydirmek değil, yapıların maruz kalabilecekleri en şiddetli yer hareketlerine karşı dayanıklı hale getirmek olmalıdır.

1.2. Geçmiş Çalışmalar

Güzelce (1999) depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasarları ve deprem sonrası onarım, güçlendirme çalışmalarını çalışmıştır. Betonarme yapılarda çatlak ve hasar biçimleri, yığma ve kırsal bölgelerdeki hasar biçimleri hakkında bilgi vermiştir.

Arslan (2003) 17 Ağustos 2009 Kocaeli depreminde orta hasar görmüş ve bir okul binasının mevcut durumunun ve güçlendirilmiş durumunun deprem güvenliklerini araştırmıştır. İki durum için de deprem güvenliğinin yeterli olmaması üzerine binaya yeni güçlendirme sistemleri uygulanmıştır. Yapının SAP2000 programında analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapıdaki düzensizlikler ve kolon kapasiteleri kontrol edilmiştir. Arslan (2003), bu çalışmasında Japon Mimarlık Enstitüsü (AIJ) tarafından hazırlanan ve Japon araştırmacılar tarafından 1982 yılında ülkemizde uygulanan depreme dayanıklılık (S_{BG}) yöntemini kullanmıştır.

Sayın (2003) yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında, binalarda çerçeve arasını dolduran dolgu duvarların deprem etkisi altında yapı davranışına olan olumlu ve olumsuz etkilerini ayrıntılı bir şekilde incelemiş ve yapılmış olan deneysel ve analitik çalışmalar ışığında birtakım öneriler sunmuştur. Sonuç olarak, dolgu duvarların yapıda bulunduğu konumlar araştırılmış ve oluşturabileceği olumlu ve olumsuz etkiler vurgulanmıştır.

Akgönen (2005) 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden sonra hasar gören binaların onarımı, henüz hasar görmemiş ve görmesi muhtemel binaların güçlendirilmesi konulu bir tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, mevcut taşıyıcı sistemler ve taşıyıcı

sistem güçlendirme teknikleri incelenmiş, her bir sistemin statik ve dinamik özelliklerinin olumlu ve olumsuz yanları irdelenerek güçlendirmede kullanılacak en uygun taşıyıcı sistem tespit edilmeye çalışılmıştır. Ali Rıza (2005), daha sonra alternatif olarak, tübüler sistem olarak bilinen bir taşıyıcı sistemi, güçlendirme tekniği olarak sunmuştur. Sonuç olarak tübüler güçlendirme sistemini, geleneksel güçlendirme sistemlerine iyi bir alternatif olabileceği sonucuna varmıştır.

Durakoğlu (2006) deprem neticesinde hasara uğramış prefabrike yapıların onarım ve güçlendirme yöntemleri incelenmiştir. Prefabrike yapı sistemleri ayrı ayrı özetlenmiştir. Depremın prefabrike yapılara verdiği hasarlar ayrıntılı olarak incelenmiş son yıllarda Türkiye'deki ve dünyadaki deprem hasarları ve hasar nedenleri ele alınmış, yeni yapılacak prefabrike yapılar hakkında çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur. Yürürlükte olan deprem yönetmeliği ve 2005 yılında yayınlanmış olan tasarı deprem yönetmeliğinin prefabrike yapılar bakımından irdelenmiş, onarım ve güçlendirme alanındaki yeni eklentiler incelenmiştir. Depremde hasar görmüş prefabrike yapıların onarım ve güçlendirilmesine geçmeden yapılan hasar tespit çalışmaları ve hasar seviyeleri hakkında bilgi verilmiştir.

Gürol (2007), güçlendirme uygulamalarının yapının davranışına etkisini ele almadan önce genel itibariyle yapı taşıyıcı elemanlarının depreme benzeyen yükler altındaki davranışlarını incelemiştir. Her bir güçlendirme yönteminin yapı davranışına etkisi literatürde yer alan çeşitli deneysel çalışmalar yardımıyla incelenmiş ve yöntemlere ait uygulama detaylarına yer verilmiştir. Uygulama olarak, güçlendirme yöntemlerinin davranışa etkisi ve temel tasarım ilkeleri belirlendikten sonra durum çalışması olarak mevcut bir yapı ele alınmıştır. Seçilen yapı ABYYHY-2006 kuralları çerçevesinde irdelenmiş ve deprem dayanımının yetersiz olduğu bulgulanmıştır. Bu amaçla, yapının durumuna göre bir güçlendirme yöntemi seçilip doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yardımıyla mevcut sistemden hareketle güçlendirilmiş sisteme ait yapısal kapasiteler bulunmuştur. Elde edilen kapasite eğrileri Deplasman Katsayıları Yöntemi kullanılarak binanın performans deneyi kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Yapının performansının belirlenmesinde FEMA 356 ve ABYYHY-2006' dan yararlanılmıştır.

Durmuş (2004), aynı beton ve donatı kalitesine sahip betonarme dört grup giriş üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Kontrol girişi grubu dışındaki

gruplara, aynı miktarda enine CFRP donatısı sarılmış, boyuna donatı olarak da her grupta 2. kiriş numunesi 1. kiriş numunesinin yarısı oranında boyuna CFRP ile güçlendirilmiştir. CFRP ile güçlendirilen serilerden ikisi birbirinden farklı ankraj yöntemiyle CFRP tabakalarda basınç bölgelerinden levhalarla ankrajlanmıştır. Deneylerle kiriş grupları arasındaki yük- yer değiştirme ve yük-şekil değiştirme ilişkisi karşılaştırılmış ve değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

Korkmaz (2005), betonarme taşıyıcı sisteminin önemli elemanları olan kirişlerin fiber kompozit malzemeler ile güçlendirilmesi ve karbon liflerinin kullanım sahaları hakkında bilgi vermiştir. Konu ile ilgili deneysel çalışmalar ve geniş literatür çalışmasına yer vermiştir.

Çizmecioğlu (2007) çalışmasında, deprem sonrası onarım ve güçlendirilmesi yapılan betonarme okul binaları parametrik olarak incelemiştir. Bu çalışmada, 66 okula ait 85 adet betonarme ve yığma/kârgir bina incelenmiştir. İncelen binaların toplam inşaat alanı 175,056.86 m² olup güçlendirmeden önce ve sonra düşey taşıyıcı (kolon+perde) kesit alanları hesaplanmıştır. İncelen binaların iç akslarında kullanım olumsuz yönde etkileyecek düzenlere gidilmemeye özen gösterilmiş olmasına karşın cephelerde mimari bakımdan bazı olumsuzluklar gözlemlenmiştir; buna özellikle yeni eklenen perdelerin ve mantolanan kolonların cephedeki akslarda olması durumunda rastlanmıştır. Binaların tümü düşünüldüğünde, yaklaşık bir fikir vermesi bakımından, ortalama değer olarak güçlendirme öncesi kolon+perde alanı kat alanı oranı 0.02383, güçlendirme sonrası 0.05253'dir. Binaları tümü değil de katlar bazında bir değerlendirme yapıldığında pek çok binada bu oranların fazlaca değişmediği gözlemlenmiştir. Bunun nedenin de, genelde güçlendirme elemanlarının bina yüksekliği boyunca aynı enkesitlerde seçilmesi olduğu vurgulanmıştır.

Akyıldız (2007) performans kavramına dayalı, deformasyon kontrollü lineer olmayan analiz yöntemi olan Statik İtme Analizi Yöntemini kullanarak yapıların deprem karşısındaki davranışlarını değerlendirmiş, deprem kuvvetine karşı güvenliğinin kontrolü ve güçlendirme çalışmasını anlatmıştır. 1975 deprem Yönetmeliği'ne göre inşa edilmiş betonarme bir yapı üzerinde ayrıntılı şekilde bir uygulama çalışması gerçekleştirmiştir.

Yıldırım (2008) deprem hesabı 1975 deprem yönetmeliğine göre yapılmış ve inşaatı 1988'de tamamlanmış İstanbul'da mevcut 8 katlı, perdeli-çerçevesi sistemli betonarme bir binayı ele alıp, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 Bölüm 7'ye göre konut türü yapılar için öngörülen "Can Güvenliği" performans seviyesini araştırılmıştır. Çalışmalar sonunda yapının "Can Güvenliği" performans seviyesini karşılamadığı görülmüş, yapı için alternatif bir güçlendirme önerisi verilmiştir.

Erdem (2008), bir lise binası üzerinde; perde duvar ilavesi ve mantolama yöntemleri ile yapılacak bir güçlendirme yöntemi maliyeti ile binanın yapım maliyeti karşılaştırmıştır. Bunun için yapı maliyeti, güçlendirme ve güçlendirme maliyeti hakkında bilgiler verilmiş ve tip bir lise binası inşaatının perde duvar ve mantolama yöntemleri ile güçlendirilmesi, İDE paket programı ile çözülmüş, perde duvarlar ilave edilerek kolonlardaki mantolamalar ve perde duvar altında yapılacak temeller ortaya konulmuş ve bunların maliyetleri hesaplanarak bina yapım maliyetiyle karşılaştırılmıştır. Sonuçta güçlendirme maliyetinin, binanın yapım maliyetinin % 50 si olduğu görülmüştür.

1.3. Çalışmanın Kapsamı Ve Amacı

Bu çalışmada, depremde hasar görmüş yapıların güçlendirilmesinde kullanabilecek mevcut güçlendirme yöntemleri ve güçlendirmede kullanılan malzemeler incelenmiş ve bu yöntem ve malzemeler hakkında detaylı araştırma yapılmıştır. Bu çalışmanın kapsamında, öncelikle yapı sistemleri ve deprem şiddeti ilişkisi (Bölüm 2), yapı sistemindeki deprem hasarları ve nedenleri (Bölüm 3), hasar görmüş yapılarda onarım ve güçlendirme düzeyleri ve ilkeleri (Bölüm 4) incelenmiştir. Daha sonraki kısımlarda ise, depreme karşı yapı güçlendirmesi yöntemleri (Bölüm 5), perde ile güçlendirme (Bölüm 6), Betonarme mantolama ile güçlendirme (Bölüm 7) ve FRP ile güçlendirme (Bölüm 8) ve yapı onarım metotları (Bölüm 9) üzerinde detaylı bilgi verilip betonarme kolon (Bölüm 10) ve temel (Bölüm 11) güçlendirme teknikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda mevcut güçlendirme ve onarım metotları kıyaslanıp farklı koşullara göre güçlendirme ve onarım metotları önerilmiştir. (Bölüm 12)

BÖLÜM 2. YAPI SİSTEMLERİ VE DEPREM ŞİDDET İLİŞKİSİ

2.1. Depremın Kendisi

Depremın neden olduğu yer hareketinin kendisi birinci derecede önemli bir belirsizlik kaynağıdır. Çünkü hiçbir depremde meydana gelen yer hareketleri birbirine benzemez. İkinci derecede önemli belirsizliğe gelince, bu da mevcut yapıların deprem etkileri altında gösterdiği gerçek dayanımdır. Analitik olarak hesapladığımız yapı dayanımıyla gerçek yapı dayanımı arasında önemli farklar bulunmasına yol açan pek çok belirsizlik vardır (Anonim, 2009b).

Yapı sistemlerinin kuvvetli deprem altındaki özelliklerinin hesaplanabilmesi için üç boyutlu elastik ötesi dinamik analiz yapma yeteneğinin olmaması karşımıza önemli bir zorluk olarak çıkar. Basit bir elastik(esnek) yapının dinamik analizi bile hayli karmaşıktır. Böyle olunca üç boyutlu elastik ötesi dinamik yapı analizi sadece akademik bir düşünmekten öteye gitmemektedir. 2000 li yılların başında hala bu işi yapabilen bir bilgisayar programı geliştirilebilmiş değildir.

Deprem sırasında yırtılan faydan yayılan sismik dalgalar enerji kaynağını oluştururlar ve yerkabuğunun heterojen (ayrı türden) katmanlarından geçerken çok karmaşık biçimde kırılma ve yansımalara uğrayarak yeryüzünün farklı noktalarına çok farklı özelliklerle ulaşırlar. Bu dalgaların yapıya etkisi sonucu yapıda oluşturacağı kaçınılmaz hasarın yapıda kontrollü dağılması, çökmeye neden olmaması gerekir. İşte depreme dayanıklı yapı tasarımı burada adeta bıçak sırtında, hata kabul etmez durumdadır (Akgün, 1997; Korkmaz, 2005).

2.2. Deprem Zemin İlişkisi

Depremın etkilerini belirleyen en önemli faktörlerden biri de zemindir. Depremın meydana geldiği bölgenin jeolojik ve zemin yapısı oluşacak hasarların en önemli etkilerinden biridir. Deprem dalgaları, zemin tabakaları içinden geçerken depremin özelliklerinin değişmesi bir yana, bu dalgalar, zemin tabakalarının özelliklerini de

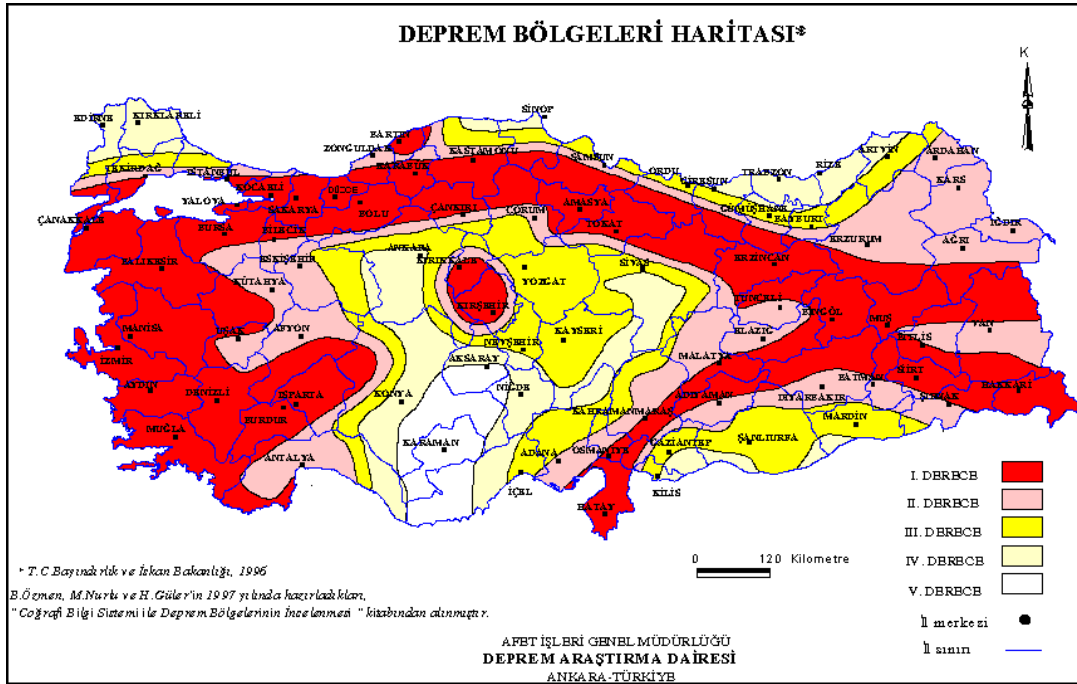
etkilemekte, bir yumuşama ve dayanım yitimine yol açabilmektedirler. Mesela, dalgalar sıvılaşma ve şev kaymalarında gözleendiği gibi, zemin tabakalarının dayanım ve şekil değiştirme özelliklerini de etkiler. Bu durumlarda dahi bu tip zeminler üzerinde bulunan yapılar zemin özelliğinin değişmesi sonucunda hasara uğrayabilir. Bundan dolayı, bir bölge için deprem tasarım özellikleri tanımlanırken en önemli adımlardan biri o bölgedeki zemini oluşturan tabakaların tekrarlı gerilmeler altındaki davranışlarının belirlenmesidir. Günümüz teknolojisiyle yerel zemin tabakalarının özellikleri, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan geniş kapsamlı bir inceleme yardımı ile istenen hassaslıkta saptanabilmektedir. Aynı zamanda bölgede oluşabilecek bir depremin kaynak özelliklerini de önceden tahmin edebilmek, kapsamlı çalışmaları gerektirmektedir (Anonim, 2009b).

Yapılan çalışmalar, deprem dalgalarının zemin tabaka özelliklerine göre zemin yüzeyinde farklı özellikteki dalgaların oluşmasına neden olduğunu göstermiştir. Bunun yanında birbirine çok yakın deprem ivme kaydı istasyonlarında yapılan ölçümlere göre deprem özelliklerinin, deprem kaynak ve yerel tektonik özelliklere bağlı olarak çok farklılık gösterdiği görülmüştür. Nitekim 17 Ağustos 1999 depremi sonrası yapılan inceleme ve gözlemlere göre oluşan hasar dağılımı ve alınan aletsel kayıtlar bu konuda önemli bulguları içermektedir (Anonim, 2009b).

Günümüzde depremlerde hasarlara yol açan başlıca etkenler bilinmektedir. Depreme dayanıklı yapı üretiminde araştırmalara dayalı daha güvenli tasarım ilkelerinin belirlenmesi ve bu bulgulara bağlı olarak yerleşim politikaları ve imar planlarının oluşturulması deprem hasarlarını büyük ölçüde azaltacaktır. Yakın zamana kadar bölgenin sismik özelliklerinin ve kabaca sınıflandırılmış zemin türlerinin bilinmesiyle yapı tasarımın yeterli olduğu zannediliyordu. Fakat 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi bunu yeterli olmadığını gözler önüne sermiştir. Çünkü depremde oluşan hasarlar bir noktadan diğere büyük farklılıklar göstermektedir. Aynı bölgede farklı noktalarda hasarlar farklı boyutlarda olabilmektedir (Dağcı, 2000).

Şekil 2.1'den şu anlaşılmalıdır ki, sadece sismik verilere ve tektonik yapıya bağlı olarak oluşturulmuş olan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası yeterli olmamakta ve çok daha ayrıntılı çalışmalara gerek duyulmaktadır. Bundan dolayı yerel geoteknik özelliklere ve oluşabilecek deprem kaynak özelliklerine uygulamalarına yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmalarda incelemesi yapılan bölgede beklenen

deprem kaynak özelliklerinin belirlenmesi, yerel zemin koşullarına bağlı olarak(zeminin hakim periyodu, zemindeki tabakalaşma, deprem etkisini büyütme düzeyi)farklı alanlarda uyulması, gerekli tasarım kuralları ve buna bağlı olarak yapılaşma yönlendirilmelidir. Bu da yeni yerleşim alanlarının depremlerde en az hasar göreceк biçimde seçilmesini ve en uygun yapı tipinin belirlenmesini sağlayacaktır (Anonim, 2009b).



Şekil 2.1. Türkiye Deprem Bölgesi Haritası (Anonim, 2009b)

Depremlerde yapısal hasara neden olan etkilerin, depremin kendisi, yerel zemin ve yapı özellikleri olduğu bilinmektedir. Depremin kendisi daha önceki bölümde incelenmiştir. Yapı özelliklerinin etkisi ise daha sonraki bölümlerde incelenecektir. Zemin ise tabakaların tür, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok değişebilmesi, farklı bölgelerde yapılmış aynı tip yapılarda farklı derecelerde hasar oluşmasına yol açar. Dolayısıyla yapısal hasarların azıtılabilmesi için deprem sırasında farklı davranış gösterecek bölgelerin belirlenmesi gerekmektedir.

Yapının doğal frekansı oturduğu zemininki ile aynı veya yakın ise yapı depremden büyük ölçüde enerji çekerek (rezonans olayı) ağır hasar alır ve çöker. Deprem enerjisinin yapıya güvenli bir şekilde geçişini sağlayacak şekilde temel tasarımına

gidilmesi gerekmektedir. Yapının çektiği enerji arttıkça hasar görme ihtimali de o ölçüde artacaktır.

Daha önce de bahsedildiği gibi Marmara Depreminde çok fazla hasarın olmasının nedeni, İzmit Körfezi, İzmit Kuzey Anadolu fayının kuzey kolu üzerinde yer alması ve bölgedeki jeolojik yapının bir seri basenlerden oluşmasıdır. Bunun yanında İzmit Körfezine boşalan nehirler jeolojik süreç içerisinde Gölcük, Hersek, Kavaklı deltalarını ve Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi arasındaki geniş ve uzun alüvyon düzlüğünü oluşturmasıdır. Bu alanların, zemin profili genelde çok kalın, yumuşak-orta katı kil veya gevşek kum tabakalarından oluşmaktadır. Diğer bir deyişle, Kuzey Anadolu Fay Hattının Marmara Denizinin güneyi boyunca uzandığı bölgede hem sismik aktivite çok yüksek hem de zemin koşulları son derece elverişsizdir. Çeşitli projelerle ilgili olarak bölgede yapılan zemin araştırmaları, zemin tabakalarının sıkışabilme özelliğinin çok yüksek olduğunu ve ayrıca bazı bölgelerdeki zeminlerin sıvılaşma potansiyeli gösterdiğini ortaya koymuştur. Nitekim depremden hemen sonra yerinde yapılan incelemelerde özellikle Adapazarı, Gölcük ve Yalova'da meydana gelen hasarların başlıca sebebinin zemin problemlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir (Anonim, 2009b).

Ciddi ve bilimsel zemin araştırmalarına dayanan temel mühendisliği çözümlerinin uygulandığı projelerde örneğin, yumuşak zemin koşullarında kazıklı temel sistemlerine taşıtılan binalarda ve sanayi tesislerinde, fay hattına çok yakın olsa bile herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Adapazarı örneğinde olduğu gibi, zemin koşulları elverişsiz ve yer altı su seviyesi çok yüksek olduğu halde ağır yapıların bile tekil, sürekli veya yeteri derinlikte yapılmayan radye temellere taşıtıldığı yerlerde ise binaların farklı oturma yaptığı, devrildiği, yana yattığı veya zemin katların bodrum kata dönüştüğü tespit edilmiştir. İlk defa bu depremden elverişsiz zemin koşulları, deprem hasarının büyük olması üzerinde bu derece etkili olmuştur (Tablo 2.1)

Denize yapılan, dolgu altındaki kum veya yumuşak zeminler su basıncının etkisiyle kolaylıkla sıvılaşmakta ve çok ciddi yapısal hasarlara neden olmaktadır. Nitekim 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminde Gölcükteki denize yapılan dolgu zeminler üzerine yapılan binalar, çok büyük hasarlar görmüştür.

Bunun yanında Kavaklı ve Gölcükte deniz kıyısı ile karayolu arasındaki düzlüklerde ortaya çıkan heyelanlar ve arazi çökmeleri, bölgenin morfolojisini tümüyle değiştirmiş ve bu bölgelerde denize yakın olan alanlar ve kıyıya yakın yapılar su altında kalmıştır.

Hatay ili ve ilçeleri deprem fay hattına çok yakın yerleşim alanlarıdır. Bunun yanında yerleşim alanlarının bir kısmı yumuşak alüvyonlu, yaşlı marn ve kireçtaşı zeminler üzerine kurulmuştur. Deprem fay hattına oldukça yakın bir yerleşim alanı olan Antakya da meydana gelecek bir deprem sırasında, zayıf zeminler üzerine kurulmuş yerleşim alanlarının hasar görme olasılığı yüksektir. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu zayıf zeminlerde deprem esnasında zemin sıvılaşmalarının meydana gelme olasılığı yüksek olduğundan bu zeminlerde yapılaşmaya gidilmeden önce saha ve laboratuvar zemin etütlerinin yapılarak zeminin tanınması ve buna göre temel ve yapı tasarımının yapılması gerekmektedir. Bunun için bütün deprem bölgelerinde yer altı su seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10 metre içinde olduğu durumlarda, D grubuna (Türkiye Deprem Yönetmeliği, Tablo12.1) giren zeminlerde Sıvılaşma Potansiyelinin bulunup bulunmadığının, saha ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve sonuçların belgelenmesi zorunludur (TDY, 2007).

Tablo 2.1. Şiddet, zemin ivmesi, hız ve yapı tiplerindeki hasar arasındaki ilişkiler (TDY, 2007)

Şiddet	Zemin ivmesi (0.5-2 sn periyot aralığı)	Yer titreşiminin (0.5-2 sn periyot hızı cm/sn aralığı)	Yapı Tipleri		
			Ax	Bx	Cx
V	12-15	1.0-2.0	%5 Hafif hasar	-	-
VI	25-50	2.1*4.0	%5 Orta hasar %50 Hafif hasar	%5 Hafif hasar	
VII	50-100	4.1-8.0	%5 Fazla yıkıntı %50 Yıkıntı	%5 Orta hasar	%5 Hafif hasar
VIII	100-200	8.1-16.0	%50 Fazla yıkıntı	%5 Yıkıntı %50 Ağır hasar	%5 Ağır hasar %50 Ağır hasar

IX	200-400	16.1-32.0	%50 Fazla yıkıntı	%5 Fazla yıkıntı %50 Yıkıntı	%5 Yıkıntı %50 Ağır hasar
X	400-800	32.1-64.0	% 75 Fazla yıkıntı	%50 Fazla yıkıntı	%5 Fazla yıkıntı %50 Yıkıntı

Şiddet cetvellerinin açıklamasına geçmeden önce, burada kullanılacak terimlerin belirtilmesine çalışılacaktır. Özel bir şekilde depreme dayanıklı olarak projelendirilmemiş yapılar üç tipe ayrılmaktadır:

A Tipi: Kırsal konutlar, kerpiç yapılar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş yapılar.
B Tipi: Tuğla yapılar, yarım kâgir yapılar, kesme taş yapılar, beton briket ve hafif prefabrike yapılar.

C Tipi: Betonarme yapılar, iyi yapılmış ahşap yapılar.
Şiddet derecelerinin açıklanmasında kullanılan az, çok ve pek çok deyimleri ortalama bir değer olarak sırasıyla, %5, %50 ve %75 oranlarını belirlemektedir.

Yapılardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır:

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

Orta Hasar: Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.

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

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

Fazla Yıkıntı: Yapıların tüm olarak yıkılmasıyla tanımlanır.
Şiddet çizelgelerinin açıklanmasında her şiddet derecesi üç bölüme ayrılmıştır.
Bunlardan;

— Bölümünde depremin kişi ve çevre,

- Bölümünde depremin her tipteki yapılar,
- Bölümünde de depremin arazi üzerindeki etkileri belirtilmiştir.

2.3. MSK Şiddet Cetveli Açıklaması:

I- Duyulmayan :

- Titreşimler insanlar tarafından hissedilmeyip, yalnız sismograflarca kaydedilirler.

II- Çok Hafif :

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

III- Hafif:

- Deprem ev içerisinde az kişi, dışarıda ise sadece uygun şartlar altındaki kişiler tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen hafif bir kamyonetin meydana getirdiği sallantı gibidir. Dikkatli kişiler, üst katlarda daha belirli olan asılmış eşyalardaki hafif sallantıyı izleyebilirler.

IV- Orta Şiddetli:

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

V- Şiddetli:

- Deprem, yapı içerisinde herkes, dışarıda ise çok kişi tarafından hissedilir. Uyumakta olan çok kişi uyanır, az sayıda dışarı kaçan olur. Hayvanlar huysuzlanmaya başlar. Yapılar baştan aşağıya titrerler, asılmış eşyalar ve duvarlara asılmış resimler önemli derecede sarsılır. Sarkaçlı saatler durur. Az miktarda sabit olmayan eşyalar yerlerini değiştirebilirler ya da devrilebilirler. Açık kapı ve pencereler şiddetle itilip kapanırlar, iyi kilitlenmemiş kapalı kapılar açılabilir. İyice dolu, ağzı açık kaplardaki sıvılar dökülür. Sarsıntı yapı içerisine ağır bir eşyanın düşmesi gibi hissedilir.

(b): A tipi yapılarda hafif hasar olabilir.

(c): Bazen kaynak sularının debisi değişebilir.

VI- Çok Şiddetli :

— Deprem ev içerisinde ve dışarıda hemen hemen herkes tarafından hissedilir. Ev içerisindeki birçok kişi korkar ve dışarı kaçarlar, bazı kişiler dengelerini kaybederler. Evcil hayvanlar ağıllarından dışarı kaçarlar. Bazı hallerde tabak, bardak v.s.gibi cam eşyalar kırılabilir, kitaplar raflardan aşağıya düşerler. Ağır mobilyalar yerlerini değiştirirler.

— A tipi çok ve B tipi az yapılarda hafif hasar ve A tipi az yapıda orta hasar görülür.

— Bazı durumlarda nemli zeminlerde 1 cm. genişliğinde çatlaklar olabilir. Dağlarda rast gele yer kaymaları, pınar sularında ve yeraltı su düzeylerinde değişiklikler görülebilir.

VII- Hasar Yapıcı :

— Herkes korkar ve dışarı kaçar, pek çok kişi oturdukları yerden kalkmakta güçlük çekerler. Sarsıntı, araç kullanan kişiler tarafından önemli olarak hissedilir.

— C tipi çok binada hafif hasar, B tipi çok binada orta hasar, A tipi çok binada ağır hasar, A tipi az binada yıkıntı görülür.

— Sular çalkalanır ve bulanır. Kaynak suyu debisi ve yeraltı su düzeyi değişebilir. Bazı durumlarda kaynak suları kesilir ya da kuru kaynaklar yeniden akmaya başlar. Bir kısım kum çakıl birikintilerinde kaymalar olur. Yollarda heyelan ve çatlama olabilir. Yeraltı boruları ek yerlerinden hasara uğrayabilir. Taş duvarlarda çatlak ve yarıklar oluşur.

VIII- Yıkıcı :

— Korku ve panik meydana gelir. Araç kullanan kişiler rahatsız olur. Ağaç dalları kırılıp, düşer. En ağır mobilyalar bile hareket eder ya da yer değiştirerek devrilir. Asılı lambalar zarar görür.

- C tipi çok yapıda orta hasar, C tipi az yapıda ağır hasar, B tipi çok yapıda ağır hasar, A tipi çok yapıda yıkıntı görülür. Boruların ek yerleri kırılır. Abide ve heykeller hareket eder ya da burkulur. Mezar taşları devrilir. Taş duvarlar yıkılır.
- Dik şevli yol kenarlarında ve vadi içlerinde küçük yer kaymaları olabilir. Zeminde farklı genişliklerde cm. ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Göl suları bulanır, yeni kaynaklar meydana çıkabilir. Kuru kaynak sularının akıntıları ve yeraltı su düzeyleri değişir.

IX- Çok Yıkıcı :

- Genel panik. Mobilyalarda önemli hasar olur. Hayvanlar rasgele öteberiye kaçar ve bağırsıkları.
- C tipi çok yapıda ağır hasar, C tipi az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda yıkıntı, B tipi az yapıda fazla yıkıntı ve A tipi çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Heykel ve sütunlar düşer. Bentlerde önemli hasarlar olur. Toprak altındaki borular kırılır. Demiryolu rayları eğrilip, bükülür yollar bozulur.
- Düzlük yerlerde çokça su, kum ve çamur tasmaları görülür. Zeminde 10 cm. genişliğine dek çatlaklar oluşur. Eğimli yerlerde ve nehir teraslarında bu çatlaklar 10 cm.den daha büyüktür. Bunların dışında, çok sayıda hafif çatlaklar görülür. Kaya düşmeleri, birçok yer kaymaları ve dağ kaymaları, sularda büyük dalgalanmalar meydana gelebilir. Kuru kayalar yeniden sulanır, sulu olanlar kurur.

X- Ağır Yıkıcı :

- C tipi çok yapıda yıkıntı, C tipi az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda fazla yıkıntı, A tipi pek çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Baraj, bent ve köprülerde önemli hasarlar olur. Tren yolu rayları eğrilir. Yeraltındaki borular kırılır ya da eğrilir. Asfalt ve parke yollarda kasisler oluşur.
- Zeminde birkaç desimetre ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Bazen 1 m. genişliğinde çatlaklar da olabilir. Nehir teraslarında ve dik meyilli yerlerde büyük heyelanlar olur. Büyük kaya düşmeleri meydana gelir. Yeraltı su seviyesi değişir. Kanal, göl ve nehir suları karalar üzerine taşar. Yeni göller oluşabilir.

XI - Çok Ağır Yıkıcı :

- İyi yapılmış yapılarda, köprülerde, su bentleri, barajlar ve tren yolu raylarında tehlikeli hasarlar olur. Yol ve caddeler kullanılmaz hale gelir. Yeraltındaki borular kırılır.
- Yer, yatay ve düşey doğrultudaki hareketler nedeniyle geniş yarık ve çatlaklar tarafından önemli biçimde bozulur. Çok sayıda yer kayması ve kaya düşmesi meydana gelir. Kum ve çamur fişkırmaları görülür.

XII- Yok Edici (Manzara Değişir) :

- Pratik olarak toprağın altında ve üstündeki tüm yapılar baştanbaşa yıkıntıya uğrar.
- Yer yüzeyi büsbütün değişir. Geniş ölçüde çatlak ve yarıklarda, yatay ve düşey hareketlerin yön miktarları izlenebilir. Kaya düşmeleri ve nehir ve sanlarındaki göçmeler çok geniş bir bölgeyi kaplarlar. Yeni göller ve çağlayanlar oluşur.

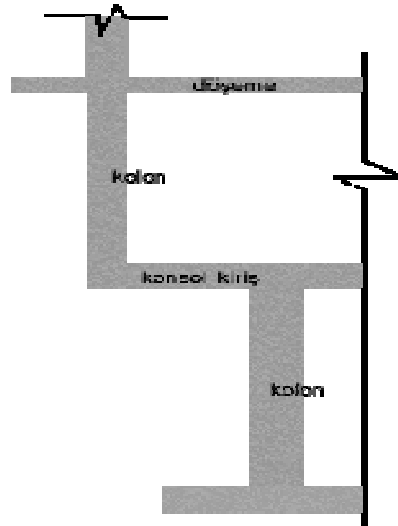
BÖLÜM 3. YAPI SİSTEMLERİNDEKİ DEPREM HASARLARI VE NEDENLERİ

3.1.Uygulama Hataları

3.1.1.Kapalı çıkımlar

Şekil 3.1’de bina kesitinde gösterildiği gibi düşeyde kolonlar aynı hat üzerinde değilse, yani konsol bir kirişle üst kat kolonu dışarıya alınmışsa (Bunlara mühendislikte düşeyde düzensiz yapılar deriz). Yurdumuzda bir zamanlar sık görülen bir yaklaşımdı. Üst katlarda iç mekânı büyütmek üzere dışarıya doğru 1.5 -2 metrelik çıkımlar çok sık görülür. Bunların bazılarında iç mekânda kolon ortalıkta görünmesin diye dış duvar içine almak üzere üst kat kolonu bu şekilde yerleştirilir (Anonim, 2009c).

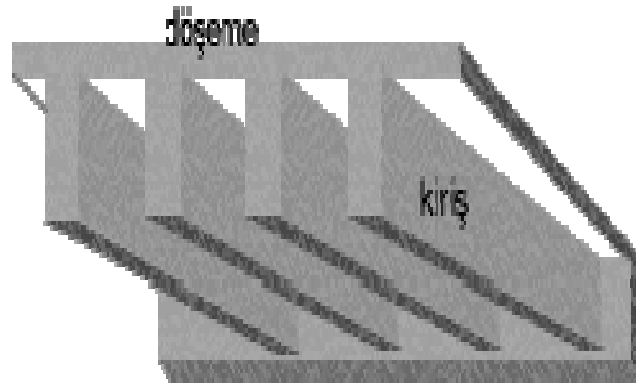
Bu tür yapılar özellikle Marmara depremi gibi düşey etkisi önemli depremlerde ciddi hasarlar görebilir.



Şekil 3.1 Bina kesiti

3.1.2. Proje hataları 1

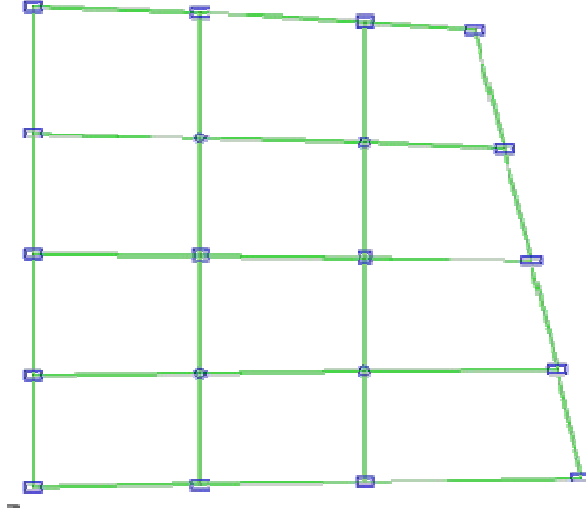
Bina bir yatay yönde güçlü kirişlere sahipken diğer yönde zayıf kalmışsa, Şekil 3.2’ de bir yönde birçok kiriş görülürken diğer yönde daha az ve zayıf kiriş kullanılmış olabilir veya bazı durumlarda diğer yönde hiçbir kiriş kullanılmamış olabilir. Bu durumlarda bina bir yönde deprem yüklerini rahatlıkla karşılarken, diğer yöndeki deprem yüklerine karşı çok zayıf kalabilir (Anonim, 2009c).



Şekil 3.2 Tek yönlü kiriş kullanım hatası örneği

3.1.3. Proje hataları 2

Bazı durumlarda, arsa planı yüzünden bina planları dikdörtgen kesitli değil de daha çok yamuk bir kesitte projelendirilmek zorunda kalınabilir. Bu durumlarda bir kenarda kolonlar arası mesafe diğer uç kenardaki mesafeye göre oldukça artmış olabilir. Her iki uç kenarlardaki kolonların boyutları yandaki planda gösterildiği gibi aynı alınırsa; bu durumda bina taşıyıcı sisteminde bir düzensizlik oluşur ve deprem anında bina hiç de istenmeyen “burulma” kuvvetlerine maruz kalır (Şekil 3.3). Şekil 3.4 burulma kuvvetleri tesirinde kalmış ve yetersiz etriye donatısı kullanılmış kolonlarda meydana gelen hasarı göstermektedir.



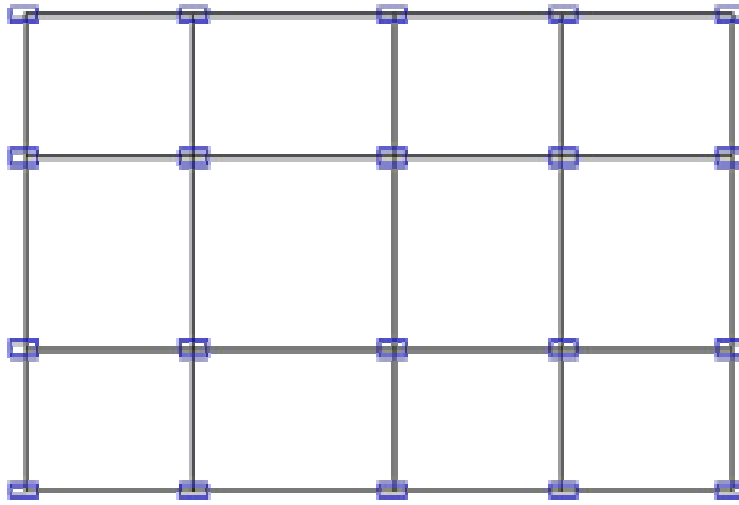
Şekil 3.3. Deprem anında kolonlarda oluşan burulma etkisi



Şekil 3.4. Yetersiz etriye ve burulma kuvveti tesirinde kalmış kolonlar

3.1.4 Proje Hataları 3

Bina kolon aplikasyon sisteminde düzenleme hataları: mesela 70 cm x 30 cm kolonlar kullanılıyor ama Şekil 3.5’de olduğu gibi tüm kolonlar bir aks doğrultusunda aynı yönde yerleştirilmiş. Bu durum o aks doğrultusunu deprem açısından güçlü kılarken diğer aks doğrultusunun zayıf kalmasına neden olabilir. Bu nedenle diğer doğru için bazı kolonların 90 derece döndürülmesi faydalı olacaktır (Anonim, 2009c).



Şekil 3.5 Bir kolon aplikasyon sistemi

3.1.5. Güçlü kiriş zayıf kolon etkisi

Yapılarda meydana gelen hasarların en önemli nedenlerinden biri, yapının statik sistemindeki aksaklıklardır. ‘Afet bölgelerinde yapılacak yapılar’ hakkındaki yönetmeliğin öngördüğü konstrüktif kurallara uyulmayarak taşıyıcı sistem elemanlarında etriyelerin yeterli sıklıkta yerleştirilmemeleri, kolon-kiriş düğüm noktalarında etriyelerin hiç konulmaması veya yeterince konulmaması nedeni ile bu düğüm noktalarında ağır hasarlar meydana gelmiştir. Bir kısım yapılarda bu düğüm noktalarının, yeterli rijitlikte olmaması yüzünden zayıf kolon ve güçlü kiriş etkisi oluştuğu, bu noktalarda göçme meydana gelerek tüm katların üst üste yığıldığı gözlemlenmiştir.(Şekil 3.6). Bu da önemli miktarda can ve mal kaybına sebep olmuştur. Düğüm noktalarında usulüne uygun donatı yerleştirilmesi ve etriye sıklaştırılmasının yapılması son derece önemlidir (Anonim, 2009c).



Şekil 3.6 Zayıf kolon, güçlü kiriş etkisi altında yıkılmış bir bina

Bu binadaki kolonlar kirişlerden daha zayıf olduğundan, zayıf kolonlar üst katlarda kırılarak göçmüştür. Deprem kuvvetleriyle oluşan enerji, kolon- kiriş birleşmelerinde, yetersiz donatı ve yetersiz kesit nedeniyle tüketilemediğinden, buralarda kırılma ve göçmeler meydana gelmiştir. Zemin katta kısmen daha güçlü kolonlar olduğundan yıkılmamıştır (Şekil 3.7). Bu binada, kolonlarda meydana gelen mafsallaşma sonucu tüm katlar üst üste yığılarak çökmüştür. Asmolen yapılarda yatay ötelenmeler daha fazla olacağından, bu yatay ötelenmeyi karşılamak için her iki yönde perde kolonlar yerleştirilmelidir (Anonim, 2009c).



Şekil 3.7. Zemin katta kısmen güçlü kolonların kullanıldığı zayıf kolon, güçlü kiriş etkisi altında yıkılmış bir bina

3.1.6. Kalitesiz işçilik

Kalite eksikliği ile yapının maliyetini azaltma düşüncesi uygun ve doğru bir yaklaşım değildir. Yaşanan depremlerde hasarların artmasına neden olan en önemli faktör yapı kalitesinin düşük olmasıdır. Deprem olgusu ülkelerde mevcut yapı düzeyi düşüklüğünü ortaya koymaktadır. Yaşanan depremlerde oluşan hasarların çok büyük olmasında hem tasarım hem de mühendislik hataları ve işçilik kusurları belirlenmiştir. Bu hatalar; malzeme kusurları (agrega, beton, çimento ve donatı), donatı ve beton üretimindeki işçilik kusurlarıdır. Genellikle etriye aralığı, kanca boyu, birleşim yerlerindeki detaylarda standartlara uyulmaktadır. Ayrıca beton dayanımına etki eden faktörler göz ardı edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Yetersiz etriye aralığı ve kanca boyu kullanılan bir kolon örneği

3.2. Malzeme Kalitesi

3.2.1. Uygun olmayan agrega ve kalitesiz beton

Betonarme yapılarda beton dayanımı çok önemlidir. Özellikle yapı çok katlı ise bu durumda yapıdan beklenen dayanım daha da önem kazanmaktadır. 8 katlı ve Sultandağı depreminde tamamen yıkılan bir bina henüz hizmete bile girmeden yıkılmıştır. Yapılan incelemelerde kullanılan agregaların çok fazla organik içerdiği ve boyutunun tamamen kum boyutunda olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca beton dayanımının 9 MPa civarında olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2009c).

Son yıllarda yaşanan depremlerde özellikle malzeme kalitesinin düşüklüğü her fırsatta ifade edilmektedir. Yaşanan depremde yerle bir olan Çeltik Suyu ilköğretim okulunun pansiyon inşaatında oransız ve organik alkali içeren agrega kullanılmıştır. Bu agregalar okula çok yakın bir yerde bulunan kurumuş bir nehir yatağından alınmıştır. Agregalar hem çok fazla organik alkali içermekte hem de uygun bir gronülometriye sahip değildir (Anonim, 2009c).

Marmara depreminde hasar gören yapılardan alınan kesitler bilinmektedir. Böyle agrega kullanımı Marmara bölgesindeki yapılarda çok yaygın olarak kullanılmıştır.

Özellikle deniz agregasıyla birlikte gelen tuzlar donatının korozyonuna neden olmuştur. Burada da çok önemli oranda korozyon görülmektedir. Yine agrega düzensizliği ve donatıda işçilik hataları görülmektedir. (Şekil 3.9)



Şekil 3.9 Uygun olmayan agrega ve yetersiz beton kullanılmış bir bina

3.2.2. Korozyona uğramış betonarme donatısı

Kimyasal reaksiyon sonucu malzemelerin kaybolması, faz değiştirmesi veya özelliğini kaybetmesine korozyon denilmektedir. Betonarmenin kompozit bir yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi, beton ve donatının aralarında sürekli kuvvet aktaracak şekilde birlikte çalışmasının sonucudur. Bu durum uygulamada aderans olarak tanımlanır. Donatı korozyonu bu yapı içerisinde beton elemanların maksimum dayanımını ve servis ömrünü etkileyerek, her ikisi arasındaki aderansı zayıflatmaktadır. (Şekil 3.10). Deniz suyunun etkilediği iskele, dalgakıran ve dol fenler gibi deniz yapıları korozyona uğramakta beton örtü tabakasında donatılara paralel çatlaklar ve kütle ayrışmaları olmaktadır. Beton ve çelik çubuklardan oluşan betonarme yapı elemanının durabil olabilmesi için çelik çubukların betona kenetlenmiş olması gerekir. Beton ve donatı arasındaki aderans gerilmeleri, donatıdaki gerilme ve moment nedeniyle oluşan deformasyonlardan, betondaki sünme ve rötreden, betonun yerleştirilmesine bağlı bir şekilde donatı-beton adezyonundan etkilenir. Depremlerde hasar gören yapıların çoğunda önemli derecede donatı korozyonu görülmüştür. Özellikle Marmara depreminde hasar gören yapıların

büyük bölümünde ileri derecede donatı korozyon gözlenmiştir. Bunun nedeni büyük ölçüde beton üretiminde deniz agregasının kullanılmasıdır (Anonim, 2009c).



Şekil 3.10 Yetersiz aderans ve donatı korozyonuna uğramış bir kolon

3.3. Donatı Hataları

3.3.1. Etriye aralığı ve kanca payı

Özellikle yetersiz ertiye aralığı(sargı donatısı) yüzünden kolon veya perdelerde düktil olmayan davranışlar ve kesme kırılmaları meydana gelmektedir. Kanca paylarının yetersiz olması veya birleşim yerlerinde eklerin yeterli boyda olmasından dolayı kolonlarda eğilme kapasitesine ulaşamamaktadır (Şekil 3.11). Bingöl ve Marmara depreminde hasar gören yapılarda 95 cm ve 80 cm ertiye aralığı ölçülmüştür. Ceyhan depreminde 55 cm etriye aralığı ve 7 katlı ağır hasar görmüş bir binanın 10×10 cm ahşap bir kolonla güçlendirme gayretleri tespit edilmiştir. Bingöl depreminde ağır hasar görmüş bir yapıdaki yetersiz sargı donatısı hemen her binada sık sık karşılaşılan sıradan bir durumdur. Bingöl ve Osmaniye depreminde hasar gören yapılardan alınan bu resimlerin benzerini diğer depremlerde hasar görmüş yapılarda görmek mümkündür. Genellikle kolon uçlarında sargı bölgesi oluşturulmamaktadır. Özellikle kolonlarda sargı görevi üstlenmeyen dik kancalı etriyeler hemen her

depremdeki hasar görmüş yapılarda görülmektedir. Yetersiz kenetleme yüzünden genellikle kolon ve kirişler deprem sırasından kolaylıkla birbirinden ayrılmıştır. Kiriş uçlarında da yeterli düzeyde sargılama görülmemektedir (Anonim, 2009c).



Şekil 3.11 Kanca paylarının yetersiz ve birleşim yerlerinde eklerin yeterli boyda olmadığı bir perde örneği

Kolon orta bölgesi, kolonun alt ve üst uçlarında tanımlanan sarılma bölgeleri arasında kalan bölgedir (Şekil 3.12). Kolon orta bölgesinde $\phi 8$ 'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır. Kolon boyunca etriye, çiroz veya spiral aralığı, en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm'den daha fazla olmayacaktır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık, a , etriye çapının 25 katından daha fazla olmayacaktır.



Şekil 3.13 Birleşim yerinde hasar oluşmuş bir bina

3.4. İşçilik Hataları

Bir yapının sünek olması, deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin önemli bir bölümünü yutabilme kabiliyetidir. Kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemler düğüm noktalarında çatlamların oluşması ile süneklik kazanırlar. Fakat yapıda zararlı zorlamalara meydan vermemek için çatlamların kiriş uçlarında meydana gelecek şekilde kolon ve kirişlerin donatılması gerekir. Bu sebeple de kolon-kiriş bölgelerinde donatı detayları çok önem kazanmaktadır. Kolon kiriş birleşimlerinde donatı detaylarının uygun olmaması sonucunda uygulamada güçlü kiriş-zayıf kolon olarak adlandırılmaktadır. Bu davranış ise yaşanan depremlerden yapıda çok büyük hasarların meydana gelmesine neden olabilmektedir.(Şekil 3.14)



Şekil 3.14 Güçlü kiriş-zayıf kolon örneği

3.5. Çekişleme Etkisi

İkiz nizam ve bitişik nizam yapılarda gerekli olan dilatasyon boşluğunun bırakılmaması yüzünden yapılarda deprem kuvvetleri karşısında oluşan çekişleme etkileri, bir kısım yapıların bu etki altında ağır hasar görmesine veya yapının tamamen düşeyden saporak devrilmesine sebep teşkil etmiştir. Bu gibi yapılarda yeteri kadar dilatasyon boşluğunun bırakılması zorunludur.

Her iki yanda bulunan komşu yapılar, ortadaki yapıda çekişleme etkisi ile çökme meydana getiriyor.(Şekil 3.15,16,17). Zemin kattaki dükkan katı zayıf kat etkisi ile tamamen çökmüş. Bina kenarlarındaki perde kolonlar, ortada da aynı yön seçilerek - tek yönlü- yerleştirilmiş. Bu nedenle diğer yönde oluşan zayıf kesitler daha fazla ötelenmeye sebep olmuş ve ağır hasar oluşmuştur (Anonim, 2009c).



Şekil 3.15 Çekişleme etkisinde yıkılmış bir bina (1)



Şekil 3.16 Çekişleme etkisinde yıkılmış bir bina (2)

Bitişik nizam yapılarda komşu binalar arasında dilatasyon boşluğu bırakılmamakta veya çok az bırakılmaktadır. Bunun sonucu yapı çekişleme etkisi ile zayıf dükkan katından çökmüştür. Bitişik nizam yapılarda usulüne uygun dilatasyon boşluğu bırakılarak çekişleme etkisi azaltılmalıdır (Anonim, 2009c).



Şekil 3.17 Çekişleme etkisinde yıkılmış bir bina (3)

Zemin katta meydana gelen mafsallaşma etkisi ve yapının normal katlarında meydana gelen aşırı ötelenme ile ağır hasar oluşmuştur.

3.6.Yumuşak Kat

Deprem Riskinin analiz edilmesi birçok kritere bağlı olsa da bu kriterler arasından belki de en yıkıcı sonuçlar doğuran kriter “Yumuşak Kat” etkisidir. Ülkemizde birçok konut ve işyeri binası maalesef özellikle giriş katlarında yumuşak kat yanlış yapılarak inşa edilmiştir. Kısaca binanın bir katının diğer katlara oranla olası sarsıntı sırasındaki tepkiye farklı karşılık vermesi olarak da tanımlanabilen yumuşak kat yanlışlığı, deprem riskini belirlemede tek başına yeterli olmasa da geçmiş hasarlar incelendiğinde önemli ölçüde yıkıcı etki yarattığı söylenebilir (Anonim, 2009b).

Şehir merkezi, cadde üzeri gibi bölgelerde bulunan binaların genellikle ilk katları mağaza ve showroom olarak kullanılmaktadır. Bu katların büyük bölümü de bina dışından iç cephenin rahatlıkla görülebilmesi için tuğla duvarlar yerine cam pencereler ile örtülüdür. Ancak aynı binanın üst katlarının dış cephe duvarları ağır tuğlalar ile örtülüdür. Bu durumda olası bir büyük deprem sırasında binanın genelinde yaşanacak deformasyonun büyük oranda bu yumuşak katta oluşacağı ve enerji dağılım yükünün de yine bu kattaki kolonlara etki edeceği söylenebilir. Geçmiş depremlerde binalarda yaşanan birçok kısmi hasar ve yıkılmaların ana

nedeni olarak özellikle kolon tasarımındaki yanlışlıklarla da birleşince ‘‘Yumuşak Kat’’ etkisi olduğu söylenebilir. 1999 İzmit Depremi sırasında Adapazarı ilinin işlek bir caddesinde yaşanan aşağıdaki tipik yumuşak kat hasar örneği bu durumu net bir şekilde anlatmaktadır (Anonim, 2009b).

Yumuşak kat yanlışlığı yapılan binalarda karşılaşılan tipik deprem hasarları genellikle binanın üst katlarının alt kattaki yumuşak kat üzerine çökmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu da binanın toplam değerini düşündüğümüzde kümül hasar (tam ziyan) ile sonuçlanması anlamına gelir ki bu tip bir hasar sonrası binanın kullanılabilmesi mümkün olmayacağından binanın tamamen yıkılarak yeniden inşa edilmesi gerekecektir.

Sonuç olarak; deprem riskinin ölçülmesi açısından önemli bir kriter olan yumuşak kat yanlışlığı yaşanan depremlerde de görüldüğü gibi binalarda yıkıcı etki yaratabilir. Bu yanlışlığının yapıp yapılmadığı konusu ise ancak detaylı yapısal bilgiler ile yapısal analizler sonrasında kesinlik kazanabilir. Ancak karmaşık hesaplara girmeden basit ve hızlı bir yorum yapmak mümkündür. Yapılan matematiksel modellemelerde de görüldüğü üzere bir binanın ilk kat kolon yüksekliği üst kattaki kolonların yüksekliklerinin yarısından daha fazla olduğu durumlarda yumuşak kat etkisi yaşanma riski mevcuttur denilebilir. Ayrıca ilk kat dış cephe duvarlarında üst kattakilerin aksine tuğla duvar yerine cam bölmeler mevcutsa bu durumda risk daha da artmıştır yorumu yapılabilir.(Şekil 3.18)



Şekil 3.18 Yumuşak kattan dolayı yıkılmış bina örnekleri

3.7. Zemin Sıvılaşması

Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesi altındaki tabakaların geçici olarak mukavemetlerini kaybederek, katı yerine viskoz sıvı gibi davranmalarıdır. Özellikle, kil bulunmayan kum ve silt ve bazen çakıl tabakaları sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Deprem sırasında, dalgaların özellikle kayma dalgalarının suya doymuş daneli tabakalardan geçerken, dane yerleşim düzenini değiştirir ve gevşek olarak bulunan danelerin göçerek yerleşmesine ve sıkışmasına sebep olur. Bu yerleşme sırasında daneler arasında su yol bulup, kaçamazsa boşluk suyu basıncı yükselir. Eğer bu basınç üstte bulunan tabakaların ağırlığına yakın bir seviyeye ulaşırsa, daneli tabaka geçici olarak sıvı gibi davranarak sıvılaşma olayını ortaya çıkarır. Zeminin sıvılaşması sonucu, yapı zemine batma veya hafif yapılarda yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi gösterebilir (Şekil 3.19,20). Sıvılaşarak kayma dayanımı kaybolan zeminde, yön değiştiren küçük kayma gerilmeleri büyük şekil değiştirmelerine sebep olur ve yapılarda zemin göçmesi hasarları meydana getirir. Bir zeminin sıvılaşması esas olarak gevşek bir yerleşime sahip olmasına, daneler arasındaki bağa, kil miktarına ve boşluk suyunun drenajının engellenmesine bağlıdır. Zemin sıvılaşmasında ortaya çıkan büyük yer değiştirme ve şekil değiştirmeler, ayrıca sıvılaşan tabaka kalınlığına, yüzey eğimine ve yükleme durumuna bağlıdır. Genellikle, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerdeki yakın zamana ait olan sıkışmamış kum ve siltin sıvılaşma potansiyeli yüksektir. Bunun yanında akarsuların yığıldığı kumlar, boyutlarındaki düzgünlük nedeniyle sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Yeraltı su seviyesinin yüzeye 10 m den daha yakın olması da sıvılaşma tehlikesini arttırır. Buna karşılık yer altı su seviyesinin 20 m.den daha derinde bulunması durumunda ve sıkı zeminlerde sıvılaşma potansiyeli azdır.

Zemin sıvılaşması potansiyeli olan bir bölgede yapılacak yapıda alınabilecek tedbirlerin başında muhtemel küçük zemin hareketinden doğabilecek etkilerin karşılanması gelir. Temel türünün ve derinliğinin seçiminde, yer hareketinin yapıyı olumsuz olarak zorlamasının azaltılması esas alınmalıdır. Plak temel seçerek rijit temel oluşturulması ve kazık ve kuyu temel sistemi ile sıvılaşma potansiyeli bulunan tabakanın altına inilmesi tavsiye edilebilir. Sıvılaşma potansiyeline sahip tabakanın kaldırılması ve değiştirilmesi, enjeksiyonla veya sıkıştırılarak sıkı durumuna

getirilmesi ve yeraltı su seviyesinin düşürülmesi alınacak diğer tedbirler olarak sıralanabilir.



Şekil 3.19 Zemin sıvılaşmasından dolayı yıkılmış bina örneği



Şekil 3.20 Zemin sıvılaşması örneği

3.8. Kısa Kolon Davranışı

Kolondan kolona uzanan perdelerdeki boşluklar veya yüksekliği fazla kirişlerden dolayı kısa kolonlar teşkil edilir (Şekil 3.21). Kısa kolon davranışı, kolonun kesme kırılması ile güç kaybetmesidir. Kat kirişlerinin süreksiz olması, rijit bölme duvarının kolonun etkili boyunu kısaltarak, eğilme momentini düşük tutar, kısa kolon oluşmasına neden olur. Dolgu duvarlarında kolonlar arasına bırakılmış boşluklarda kısa kolon oluşumuna neden olabilir. Kolonların sarılma bölgeleri için minimum enin donatı ve yerleştirme koşulları kısa kolonun tüm kat yüksekliğince uygulanmalıdır. Kolona bağlanan kirişlerin derin olması, pencere üstü hatılları, bant pencereler de kısa kolon oluştururlar. Yatay deprem kuvvetleri kolonlara ilikleri ile orantılı dağıtıldığı için rijitliği artan kolonlar daha çok yatay kuvveti karşılamak durumundadır. Kat kirişlerinde süreksizlikler kısa kolon davranışı yaratır. Kısa kolonlarda kesme kuvveti ile güç tükenmesi görülür, kolon oluşumu önlenemezse, donatının pekleşmesi nazara alınarak arttırılan uç eğilme moment kapasiteleri ile hesaplanmış kesme kuvvetine göre boyutlandırılır. Eğimli arazide temellerin değişik seviyelerde yapılması durumunda kısa ve uzun kolon oluşur, temellerin birbirleri ile bağlanması güçleşir, yapının dinamik davranışı değişir, kısa kolon büyük deprem kuvvetini çeker.



Şekil 3.21 Kısa kolon davranışı

BÖLÜM 4. ONARIM VE GÜÇLENDİRME DÜZEYLERİ VE İLKELERİ

Yapı hasarının giderilmesinde temel olarak iki düzey vardır. Yapı ya da yapı elemanının dayanımı hasar öncesi düzeye getirilir ya da yapı elemanının ya da yapının hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanımı olması sağlanır. Genellikle hasar öncesi dayanım düzeyine getirmek onarım hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanım düzeyine getirmek güçlendirme olarak nitelenmektedir.

4.1. Onarım

Depremde hasar görüp taşıma gücü azalmış elemanların deprem öncesi dayanımlarına yeniden getirilmesidir. Deprem yükünün etkilediği kısa süre içinde hasar olmuştur, Deprem getirdiği geçici yüklerin yarattığı kalıcı deformasyon ve hasar yapının ya da yapı elemanının normal düşey yükleri taşımadaki emniyet katsayısını azaltmıştır. Elemanların deprem öncesi dayanımlarına kavuşturmakla yetinen bir onarımla yapının normal işlevini yürütmesinde bir güvenlik sorunu kalmamıştır.

Bu düzeydeki onarımın mantığı şudur: Yapıda hasar yapan yükler normal kullanım yükleri gibi sürekli etkiyen yükler değildir, deprem yükleri geçici etkiyen yüklerdir. Yapının deprem öncesi durumuna getirilmesi yeterlidir. Çünkü yapının deprem öncesinde bir yük taşıma sorunu yoktu. Yapının eskisinden daha dayanıklı olması için gereken harcamalar, aynı düzeye getirmek için gerekenden daha fazladır. Öte yandan aynı büyüklükte bir depremin yapının ekonomik ömrü içinde bir kez daha olma olasılığı az olabilir. 50 yılda bir olan büyüklükte bir depremde hasar görmüş bir yapı 3-5 yıl sonra tümü ile yıktırılıp yeniden yapılacaksa, 50 yıl sonra tekrar olması beklenen aynı büyüklükteki bir ikinci depreme dayanacak düzeyde onarılması ekonomik değildir.

4.2. Güçlendirme

Ekonomik ömrü içinde sık sık olması beklenen düzeyde bir depremde hasar gören yapının aynı boyutta depremlerin birçok kez yenilenmesi beklentisi karşısında aynı hasarın tekrar tekrar olmaması için eski durumundan daha güçlü duruma getirilmesi gerekir.

Yapı ya da yapı elemanında hasar yapan etkinin boyutu aynı biçimde sürmekte ise, ya da deprem gibi yapının ekonomik ömrü içinde aynı boyutta depremlerin yine olması bekleniyorsa, ki bu etkinin süreceleceği anlamına gelir, hasarın önlenmesi, durdurulması ve yinelenmemesi için yapının eski durumundan daha güçlü bir konuma getirilmesi gerekir.

Yük altında aşırı sehim, deformasyon ve çatlak yapmış bir yapı ya da yapı elemanı yükünü taşıırken zorlandığını gösterir. Bu durumda ya yükü azaltmak ve hasara yol açan etkiyi, oturma gibi, gidermek ya da elemanın dayanımını arttırmak gerekir. Bu ise güçlendirmek olmaktadır.

4.3. Onarım Ve Güçlendirme İlkeleri

Onarım ve güçlendirme ilkeleri hasarın nedeni ile bağlantılıdır. Amaç hasarın nedenlerini giderecek önlemlerin belirlenmesi ve hasarın ortaya çıkardığı direnç kaybının giderilmesi ya da bir daha olmaması için gerekli güçlendirme önlemlerinin belirlenmesidir. Farklı hasar nedenleri değişik onarım ilkelerinin uygulanmasını gerektirmekle birlikte yine de hemen her durumda kullanılacak ortak önlemler vardır. Bu önlemler depreme dayanıklı yapı kavramı ile de bağlantılıdır.

4.3.1. Yapının ağırlığı azaltılmalıdır

Herhangi bir yapı elemanı yükünü taşıırken çatlamış ise yükü gerektiğinden fazla demektir. Bu durumda yük azaltılırsa çatlama duracağından hasar etkisi ortadan kalkacaktır. Depremde yapıya gelen kuvvet yapının ağırlığı ile orantılı olduğu için yapının ağırlığında yapılacak bir azaltma aynı oranda yapıya gelebilecek deprem kuvvetinin de azalmasını sağlayacaktır. Yapıyı hafifletmek için tuğla bölme duvarların yerine daha hafif alçı, gaz beton ya da ahşap panolu bölme duvarlar yapılabilir. Yapı üst katlarından bir ya da birkaçı yıkılabilir. Yapıda çatıyı yalıtım

için konulmuş ağır malzemeler daha hafifleri ile değiştirilebilir. Yapı içindeki kalın sıvalar ya da dış yüzündeki taş kaplamalar kaldırılabilir.

Yapıyı hafifletme olanağı her zaman olmayabilir. Ancak bu olanaktan yararlanma yolları aranmalıdır. Merdivenlerden taşıyıcı sisteme gelen yükleri azaltmak için merdivenlerin yüklerini doğrudan zemine aktaran düzenlemeler yapılabilir.

4.3.2. Yapının sünekliğinin artması

Süneklik yapının enerji tüketme gücüdür. Betonarme yapılar rijit kolon-kiriş birleşimlerinin çatlayıp hasar görerek mafsallı birleşim yerine dönüşmesi ile depremin enerjisini tüketirler. Mafsallaşan ek yerinin yük taşıma gücünde önemli bir kayıp olmamalıdır. Yapıların deprem sonrası onarımlarında çoğunlukla kesitlerin genişletilmesi, çerçeve boşluklarına perde duvar konulması gibi önlemler kullanılmaktadır. Bunlar ise genellikle yapının dayanımını artıran fakat sünekliği artırmayan uygulamalardır. Rijitliği yüksek elemanların sünekliği azdır. Ayrıca mantolama biçimindeki güçlendirmelerde çok miktarda donatı kullanılacağından süneklik yine azalacaktır. Donatı oranı yükseldikçe süneklik azalmaktadır (Bayülke 1989). Yapılan onarım ve güçlendirme de sünekliğin ne yönde değiştiğini belirlemek kolay değildir. Genellikle onarım ve güçlendirme yapının sünekliğini azaltmaktadır.

4.3.3. Yapının taşıma gücünün artırılması

Yapıda oluşan hasar gelen kuvvetlere karşı dayanımın az olmasının sonucudur. Gelen kuvvetlere karşı yeterli dayanımın sağlanması ile hasar durdurulacak ya da bir daha olmayacaktır. Bunun gerçekleşmesi için yapının gelen ya da gelebilecek yüklere karşı dayanımının, eğer yetersiz ise, artırılması gerekir.

Deprem hasarına karşı yapının özellikle yatay kuvvet taşıma gücü artırılmalıdır. Çünkü yapı hasar gördüğü depremin sonunda, deprem öncesindeki yetersiz olduğu bu depremde kanıtlanmış olan eski taşıma gücünden bile, daha az olan bir taşıma gücündedir. Özellikle bu durum yatay kuvvetlere karşı dayanım için geçerlidir. Bu arada yapının düşey yükleri değişmemiştir. Ancak yatay yüklerin etkisi ile olan hasar yapının düşey yük taşımadaki güvenliğini de azaltmıştır. Özellikle kalıcı yatay ötelemelerin oluşturduğu ikinci mertbe momentler ve çatlayıp zayıflamış olan kolon ve kiriş en kesitleri dolayısıyla yapı güvenliği azalmaktadır. Yapı hasar altında düşey

yüklerini düşük bir güvenlik payı ile taşımaktadır. Kuvvetli bir artçı depremde yıkılabilir. Yapının onarımının ilk aşaması zayıflamış düşey yük taşıma kapasitesinin artırılması, yapının askıya alınması ile, ikinci aşamada da yatay yüklere, deprem yüklerine, karşı olan dayanımın artırılması gerekir. Taşıma gücünün artırılması yapıya yatay ve düşey yükleri alacak yeni elemanlar eklenmesi, mevcut elemanların en kesitlerinin genişletilmesi ile yapılır. Genellikle yapılan onarım ve güçlendirme ile yapının daha büyük deprem yüklerine karşı elastik bölgede kalarak, hasar olmadan, karşı koymasını sağlamaktır.

4.3.4. Yapının dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi

Yapıdaki hasar, asal titreşim periyodu ile zemin hakim periyodunun birbirine çok yakın olmasından dolayı oluşan rezonans ile ilgili ise, yapının dinamik özelliklerinin değiştirilip yapı periyodu ile zemin hakim periyodunun birbirinden uzaklaştırılması sağlanabilir. Bunun için zeminin dinamik özellikleri de belirlenmelidir. Daha sonra yapı periyodunun uzatılması ya da kısaltılması, yapının daha esnek ya da rijit bir konuma sokulması ile, yapı periyodu zemin hakim periyodundan uzaklaştırılabilir.

Yapının yükü artırılsa periyodu uzar, ancak aynı zamanda yapıya gelen deprem yükü artar ve yapının taşıma gücünün de artırılması gerekir. Yapının rijitliği artırılsa periyodu kısalır. Yapıya yeni elemanlar eklenmesi ve kesitlerin genişletilmesi yapının hem rijitliğini hem de taşıma gücünü artıracaktır.

Yapının sönüm oranının artırılması ve yapıdaki katlar arasında rijitlik değişimlerinin uyumlu olmasının sağlanması da yapının dinamik özelliklerini iyileştiren önlemlerdir. Yapının rijitliğinin üst katlardan aşağıya doğru giderek artması, katlar arasında ani ve büyük rijitlik farklarının olmaması: üst kattan gelen perde duvarın zemin katta yapılmamış olmasından ya da zemin katta yapılan perde duvarların üst katlarda kesilmiş olması gibi, yapının dinamik özelliklerini iyileştiren önlemlerdir.

4.3.5. Burulma etkisi azaltılmalıdır

Birçok yapıda hasar yapının katlarındaki ağırlık ve rijitlik merkezlerinin birbirinden uzak olmasının ortaya çıkardığı burulma etkisi ile oluşmaktadır. Örneğin perde duvarların yapının bir yanında toplanmış olması burulma oluşturacağı gibi, taşıyıcı olmayan bölme duvarların katlarda dengeli bir biçimde yerleştirilmemiş olması da,

yapının ağırlık ve rijitlik merkezleri arasında fark oluşturarak, yapıda burulma etkisi ortaya çıkarabilmektedir. Burulma sonucu yapının bazı elemanlarına gelen yatay kuvvetler, burulma etkisi oluşmayacağı varsayımına göre yapılan hesaplarla, elemanda sağlanan dayanımdan büyük olur ve hasar yapar. Onarım sırasında eklenen perde duvarların da bir burulma etkisi yaratabilecekleri göz önünde tutulmalı ve yerleştirilmeleri sırasında rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe olabildiğince az tutulmalıdır.

4.3.6 Yükleri taşıyacak yeni elemanlar yerleştirilmelidir

Yapıda depremde gelen yatay, yükleri taşıyacak elemanlar yetersiz ise ya bu elemanların yatay yük taşıma güçleri artırılır ya da yeni yatay yük taşıyacak elemanlar yerleştirilir. Yapıların onarım ve güçlendirilmesine karar verilirken göz önünde tutulması gereken bir başka nokta yapının bulunduğu yerdeki olanaklardır. Nitelikli malzeme ve işçiliğin bulunamaması ile istenilen dayanımda yapılamamış bir yapının güçlendirilmesi için gerekli daha yüksek nitelikli malzeme ve işçiliğin bu kez sağlanabileceği ve güçlendirmenin istenilen düzeyde olabileceğini beklemek gerçekçi görünmemektedir.

Onarım ve güçlendirmenin uygulamasının projeyi hazırlayanlarca denetlenerek yaptırılmasının daha etkili olacağı sanılmaktadır. Çünkü istenilen amacı sağlayacak ayrıntıların kesinlikle hiçbir ödün verilmeden yaptırılması gerekir. Bir diğer deyişle onarım, projeyi yapan mühendis tarafından "kendi eli" ile gerçekleştirilmelidir.

4.4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İlkeleri

Bugünün geçerli depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerine göre yapılar ekonomik ömürleri içinde en az bir kez olması beklenen yüksek şiddetteki depremlerde can kaybını önleyecek dayanımda yapılırlar. Bu yaklaşımdan şu sonuç çıkarılabilir: Depreme dayanıklı yapıların olması beklenen en şiddetli depremin etkisinde taşıyıcı olan ya da olmayan elemanlarında hasar olacaktır. Depreme dayanıklı olarak nitelenen yapıların en şiddetli depremlerde hasar görmesinin beklendiği bir ortamda depreme karşı yeterli bir önlem alınmadan yapılmış eski ve yeni yapılarda da çeşitli düzeylerde genellikle daha ağır hasar olacağı kesindir. Bir deprem sonrasında, depremin şiddeti ile bağlı olmaksızın çeşitli düzeylerde hasar görmüş birçok yapı ile karşılaşmaktadır

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesi şiddetli depremin enerjisinin elastik olmayan deformasyonla tüketilmesidir. Yerinde dökme betonarme çerçeveli yapılarda deprem enerjisinin tüketilmesi çerçevelerde rijit kiriş uçlarının mafsallaşması ile sağlanacağı kabul edilir. Oysa bu sistemde kiriş uçları daha yapının doğuşunda mafsallıdır. Bu prefabrike sistemde deprem enerjisi nasıl tüketilecektir.

Yapıların elastik deformasyonlarla enerji tüketimi çok sınırlıdır. Enerji tüketimi elastik limit ötesindeki kalıcı şekil değiştirmeler ile sağlanmaktadır. Elastik şekil değiştirme limiti ötesinde kopmadan önce olan kalıcı şekil değiştirmenin elastik limit şekil değiştirmesine oranı “süneklik” olarak tanımlanmaktadır. Bu oranın yüksek olduğu yapı elemanları ve yapılar “sünek yapı” olarak tanımlanmaktadır. Kopmadan önce büyük kalıcı uzamalar yapan malzeme çeliktir. Çelik kopmadan önce % 10-20 kadar uzayabilmektedir. Betonarme yapıda deprem enerjisi tüketimi donatının kopmadan önce uzaması ile sağlanmaktadır.

Kiriş uçlarında mafsallaşmanın koşulları vardır: 1-Kiriş boyuna donatıları kolon içinde sürekli ve yeterli ankraj boyunda uzanmalıdır, 2-Beton ile donatı arasında aderansın yitirilmemesi için beton enine donatı ile sarılmış olacak ve 3-Kiriş donatısının basınç etkisi altında burkulmaması için enine donatı (etriyelerle) yeterli aralıklarla sarılmış olacaktır. Böylece beton donatı ile birlikte yük taşıyabilecek, birbirlerine yük aktarabilecekler, donatı betondan sıyrılmayacak ve de burkulmayacaktır.

Prefabrike yapıların “mafsallı” kiriş-kolon birleşimleri yukarıda anlatılan sünek davranış ve deprem enerjisi tüketme kurallarına uymamaktadır.

Aslında yapıların enerji tüketebilme güçleri yatay yük-ötelenme eğrilerinin altındaki alanın büyüklüğü ile değerlendirilmelidir. Yapıların deprem davranışlarını en iyi belirleyen “histerezis eğrisi” dir. Bu eğri yapı elemanın yönü değişen, tersinir, yükler altındaki davranışını gösterir. Yapı elemanları ve yapıların deprem enerjisi tüketme güçleri bir diğer deyişle kalıcı şekil değiştirme ile enerji tüketme güçlerinin elastik şekil değiştirme ile enerji tüketme güçlerine oranı R katsayısı denilen bir katsayı ile ifade edilir. Kalıcı deformasyonla enerji tüketme güçleri yüksek olan yapıların R katsayıları büyüktür. Bu yapıların daha küçük bir yatay yüke elastik olarak dayanmalarına izin verilir. Çünkü bu yapıların kalıcı şekil değiştirme ile enerji

tüketme güçleri yüksektir. Öte yandan depremde “elastik” kalacak ya da kalması istenen yapıların R katsayısı =1.0 olur. Böyle bir yapı depremde kendisine gelebilecek en büyük yatay deprem yükü altında kesitlerinde en küçük bir çatlak olmayacak biçimde tasarlanır ve deprem hesap yükü çok büyük alınır.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’te (Tablo 4.1 satır 2.2) bu tip tek katlı ve prefabrike yapılar için R-katsayısı verildiği gibi “Deprem yüklerinin tamamının, kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerin taşıdığı binalar “süneklik düzeyi yüksek” olarak nitelenmekte ve 5. 0 olarak alınmaktadır. Bu kabul bu prefabrike yapıların hesap yüklerinin belirlenmesinde kullanılan yer ivmesinin 5 katı deprem maksimum ivmesinin kalıcı ötelenme yaparak karşı koyabileceği anlamına gelmektedir.

Tablo 4.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliği’ne göre Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar....	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	6
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	—	5
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	—	4
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	5
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	4	6
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar	3	—
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	—	7
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	4	6
(c) Betonarme perde durumu.....	4	—
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	4	—
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	—	8
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	4	7
(c) Betonarme perde durumu.....	4	—

2.nci derece deprem bölgesinde yer ivmesi 0.30 g olarak verilmektedir. Eğer bu yapı sistemi “sünek” ise hesap kuvveti katsayısı (bir bakıma C katsayısı) $0.30 / 5 = 0.06$ olmaktadır. Üçgen kirişin devrilmesi için gereken yatay yük katsayısı 0.214 olması durumunda R katsayısı, gelen yatay yük katsayısı / hesap yatay yükü katsayısı ilişkisinden gidilerek $0.214 / 0.06 = 3.6$ olmaktadır. Yapı da eğer gerçekten $R = 5$ olsaydı kirişin 0.214 gibi bir C yatay yük katsayısının etkisi altında değilde 0.30 gibi bir yatay yük katsayısının etkisi altında devrilmesi gerekirdi.

Öte yandan gerek 6.0 magnitüdü Adana-Ceyhan, gerekse 6.8 magnitüdü Erzincan depreminin kuvvetli yer hareketlerinden hesaplanmış ivme ve ötelenme spektrumları bu yapılara gelen ivmelerin 0.6-1.2 g düzeylerinde olabileceğini ve üçgen kirişlerin devrilmemesi için bu ivmelerin yarattığı kuvvetlere dayanabilecek bir biçimde kolon uçlarına bağlanmalarının gerektiğini göstermektedir.

BÖLÜM 5. DEPREME KARŞI YAPI GÜÇLENDİRMESİ YÖNTEMLERİ

5.1. Mevcut Yapının İncelenmesi

Depreme karşı güçlendirilecek yapının projeye uygunluğunun tespiti, beton ve çelik kalitesinin bulunması ve zemin etütlerinin yapılarak gerçek durumunun ortaya çıkarılmasıyla ön çalışmalar yapılmalıdır. Mevcut yapı modellendikten sonra tüm kolon ve kirişler; 2. elastisite modülünde (E_2) elde edilen beton ve çelik karakteristik değerleri ve elastisite modülü tanımlanmalıdır. Yapı güçlendirme opsiyonlarında, güçlendirme açılmalı ve diğer opsiyonlar tanımlanmalıdır. Aşamalı olarak aşağıdaki analizler yapılmalıdır (Anonim, 2009c).

5.1.1. Depremsiz yapı analizi

Deprem analiz opsiyonunda eşdeğer deprem analizi seçilmeli ve deprem katsayısı $A_0=0$, $R=4$ alınarak yapı analizi incelenmelidir. Yapı depremsiz durumdaki kolon kiriş ve temelleri incelenmelidir. Eğer depremsiz durumda elemanlarda yetersizlikler var ise öncelikle bunlar takviye edilmelidir.

5.1.2. Yapının 2007 deprem yönetmeliği'ne göre incelenmesi

Yapının projelendirme tarihi ne olursa olsun 2007 deprem yönetmeliğine uygunluğu araştırılmalıdır. Eğer 2007 deprem yönetmeliği öncesi yapılan bir yapı ise depreme karşı zayıf tasarlanmıştır. 1997 deprem yönetmeliğine göre yapılmışsa ve özellikle kolonlarda sarılma bölgesi, boyuna donatı koşullarına uyulmuşsa depreme karşı biraz daha iyi durumda olması muhtemeldir. Yapıda perde kullanımı depreme karşı tasarım yapıldığını ifade eder. Ancak 2007 deprem yönetmeliği için yeterli değildir. Tasarlanan ve 1997 deprem yönetmeliği veya daha öncesine ait bir yapı olması halinde deprem yönetmeliğine uygun çözülmediği, daha fazla güçlendirmeye ihtiyacı olduğu bir gerçektir.

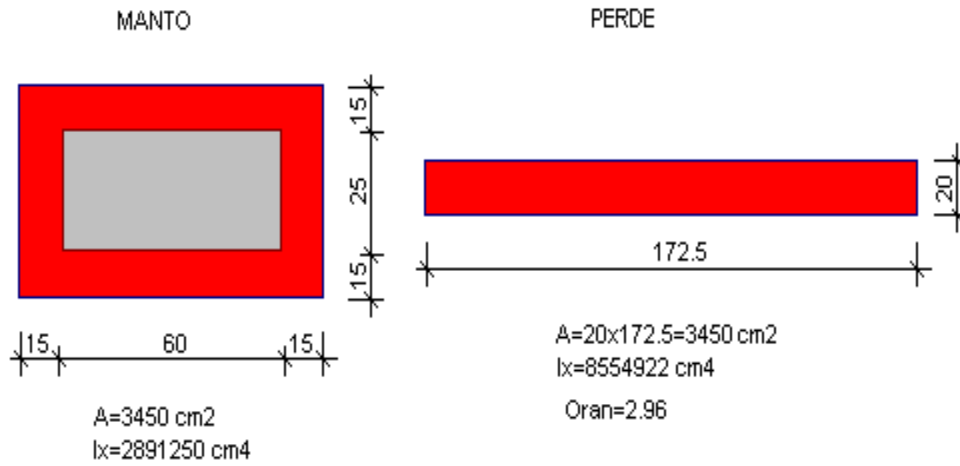
Mevcut yapı, genelde yüksek sünek yapı özelliklerini içermeyecektir. Deprem yönetmeliğinde tanımlanan yüksek sünek özellikleri içeriyorsa, yüksek sünek olarak bir çözümle kontrol edilebilir. Ama yetersizliklerin çıkması durumunda normal sünek olarak çözümlenmelidir. $R=4$ alınarak ve A_0 değeri de bölge deprem katsayısı alınarak çözümlenmelidir. Yapıda muhtemelen yetersizlikler çıkacaktır. Yapının mevcut kolon donatıları hesaplanarak yetersizlikler donatı bazında da yapılmalıdır. Eğer mevcut kolon donatıları hakkında fazla bilginiz yoksa depremsiz yapı analizindeki kolon donatısını esas alabilirsiniz. Yapı çözümlerindeki yetersizlik durumunda yapı güçlendirmesi gerekmektedir.

5.2. Yapı Güçlendirmesi

Yapıda depreme karşı güçlendirmede en önemli eleman perdelerdir. Depremsiz yapı çözümünde Yetersizlikler var ise veya hasar görmüş ise o elemana mantolama yapılmalıdır. Depremsiz çözümde kirişlerde yetersizliklerin olması durumunda o kirişlere güçlendirme yapılmalı, ancak depremsiz durumda yeterli olup ta depremlilik durumunda yetersizlik var ise; güçlendirilmesine gerek yoktur. Çünkü güçlendirme perdelerinin katılımıyla yapıdaki deprem enerjisinin büyük bölümünü perdeler alacağı için güçlendirilmiş çözümde kirişlere gelen deprem tesirleri azalacaktır.

5.2.1. Perde ve mantoların kullanılması

Mantolar güçlendirme elemanı olarak değil, tamir veya lokal bir takviye elemanı olarak düşünülmelidir (Şekil 5.1). Depreme karşı en önemli güçlendirme elemanı perdedir. Bir kolonun çevresine yapılan mantolama maliyeti, perde maliyetine yakın olmasına rağmen aynı hacimdeki perdenin ataletinin 1/3 kadarı olmaktadır. Deprem esnasında en son göçen eleman perdedir. Kolonlar deprem sırasında yetersizlikte plastikleşmesi durumunda, deprem enerjisini daha taşıyıcı perdeler tarafından karşılanacaktır. Bu nedenle yapıda yeni yapılan elemanların mevcut yapı elemanlarına nazaran daha rijit olması, plastik davranışta yeni rijit perdelerin deprem tesirlerinin taşıyabilen rijitlikte yapılması düşünülmelidir.

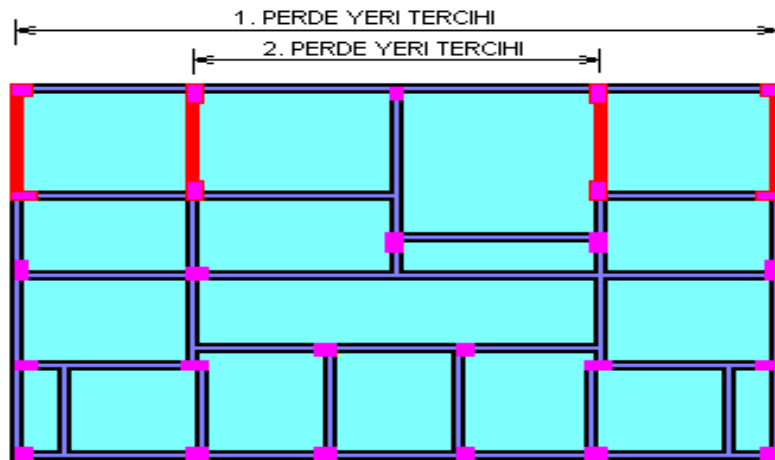


Şekil 5.1 Perde ve mantolama kesitleri

Yeni yapılan perdelerin deprem tesirleri, yapının deprem tesirlerinin en az %70 ini alacak şekilde Düşünülmeli ve toplam perdelerin perde moment taşıma kapasitesi de deprem devrilme momentinden büyük olması depremde yapının plastikleşme durumunda en önemli sigortası olacaktır.

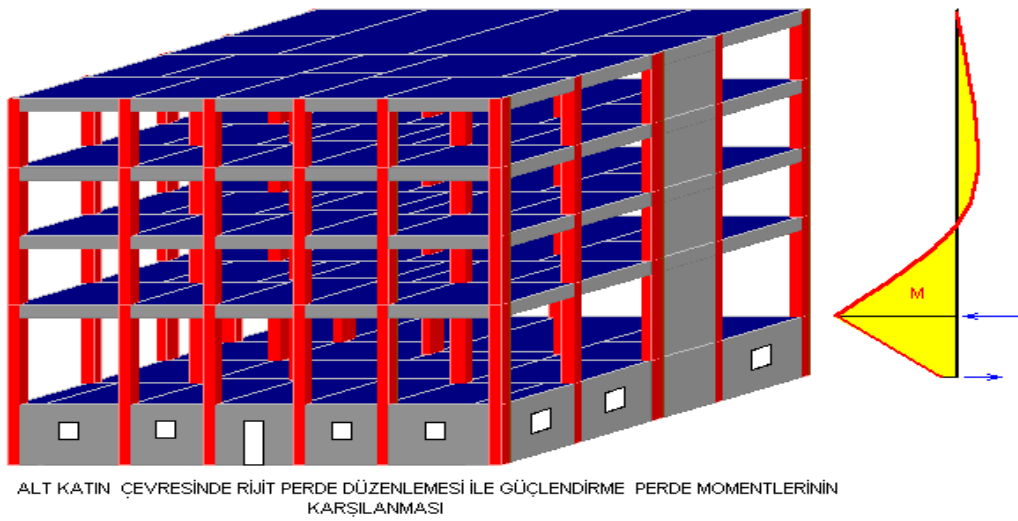
5.2.2. Perde tasarımında dikkat edilecek hususlar

Perdeler birbirlerine yakın boyut ve rijitliklerde düzenlenmelidir. Her iki yönde rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi yakın olacak şekilde yapının kenarlarına yakın, burulma alacak şekilde yerleri belirlenmelidir(Şekil 5.2). Perdeler yapı boyunca sürekliliği olmalıdır. Yüksek sünek perde özelliklerine uyulmalıdır.



Şekil 5.2 Perde yeri tercihi

Perdelerin her iki yönde perde moment taşıma kapasitesi deprem momentini karşılamalıdır (Şekil 5.3). Güçlendirme perdeleri 200 cm den olabildiğince büyük olmalıdır. Yapıda bodrum perdeleri var ise çok rijit perde tasarlanması uygundur, temellere gelen tesirler bodrum tarafından karşılanabilecektir. Bodrum perdeleri yok ise ve ilk katı çevre duvarları bodrum perdesi haline getirilerek bodrumlaştırma imkânı yoksa orta rijitlikte daha fazla perde ile temeller düşünülerek tasarlanmalıdır. İnşaat derzlerinde mutlaka diğ oluşturulmalıdır.



Şekil 5.3 Alt katta perde düzenlemesi ile güçlendirme

BÖLÜM 6. GÜÇLENDİRME PERDELERİ

6.1. İki Kolon Arası Panel Perdeler

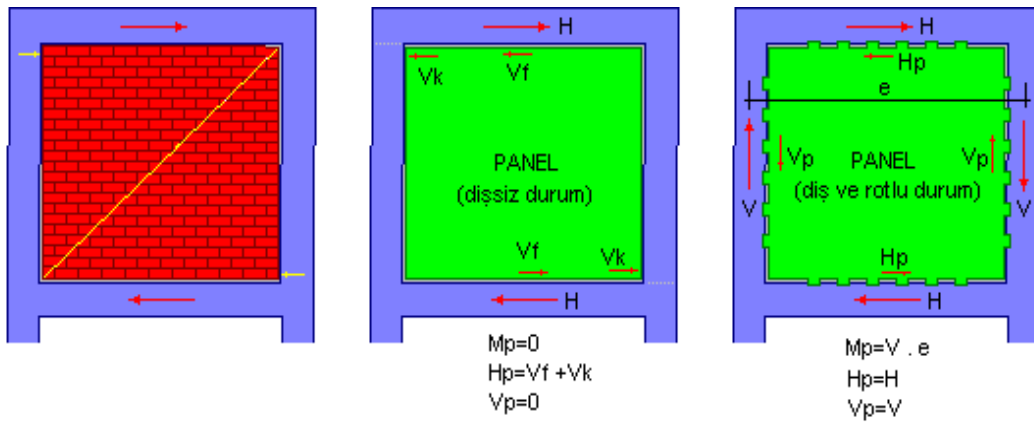
İki kolonun, panel perdenin başlık bölgesi olabilmesi için; asgari C16, donatı yüzdesi 0.01 den fazla ve etriye sıklaştırma bölgelerinin olması gerekir. Ayrıca genel perde alanının en az %10 unu sağlamalıdır. Analiz sonrası boyuna ve enine donatıların yeterli olması durumunda kullanılabilir. Yetersizlik durumunda mantolama ile takviye edilebilir veya başlık bölgesi kendi içinde perde tasarlanmalıdır (Şekil 6.1). Bu takdirde panel elemanın başlık bölgesi manto-kolon ile teşkil edilecektir. Manto ve panel eleman birlikte yapılacağı için dış ve rota gerek kalmayacaktır.

Panel eleman tasarımında dikkat edilecek husus hesaplarda dikkate alınan tesirlerin uygulamada aktarılmasıdır. Dış ve rot kullanılmaması durumunda yatay yükler bir taraftaki kolonun kesme kapasitesi ve düşey yükün sürtünme kuvvetiyle karşılanacaktır (Şekil 6.1). Bu bazı durumlarda yeterli gelebilir. Ancak perde momentini sağlayan iki kolonun kuvvet çiftinin aktarılması mümkün olmayacaktır. Bu takdirde hesaplarda dikkate alınan perde momenti uygulamada dikkate alınmayacaktır. Mutlaka kolonlara dış oluşturulmalı ve rot ile bağlantılar yapılmalıdır (Şekil 6.1). Birleşim yüzeylerine, epoksi esaslı farklı betonun aderansını sağlayan kimyasal sürülmelidir. Rot bağlantısı, epoksi esaslı kimyasal malzeme ile yapılmalıdır. Bu dış ve rot uygulamasının yapılmaması daha rijit tuğla duvar davranışından farklı olmayacaktır (Şekil 6.1).

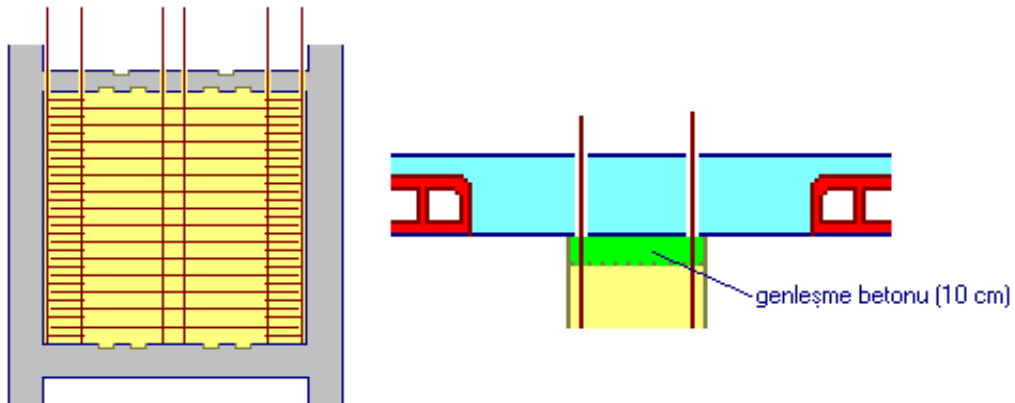
6.2. Başlık Bölgesi Kendi İçinde Yeni Perdeler

Yukarıda tanımlanan panel perdelerde mevcut kolonların yeterli olmaması durumunda başlık bölgesi kendi içinde perde yapılabilir. Ancak bu uygulamada önemli bir noktada perdenin moment taşımasını sağlayan başlık bölgesi boyuna donatılarının sürekliliğidir. Mutlaka boyuna donatılar üst kattaki perdelerle geçiş

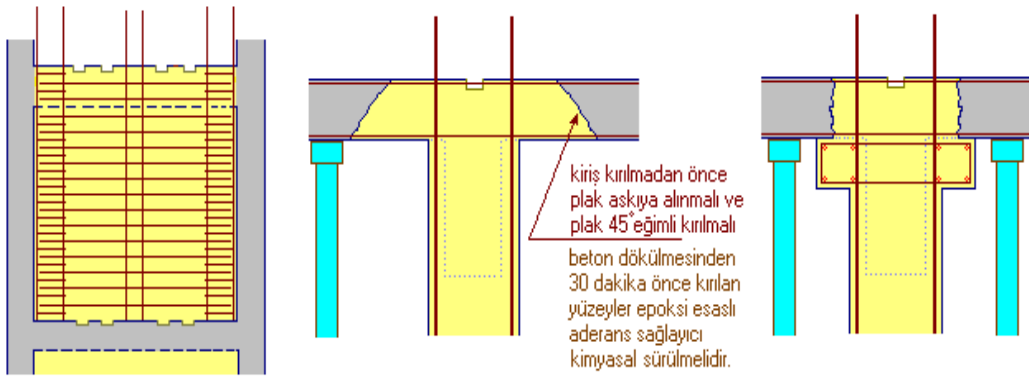
yapmalıdır (Şekil 6.2). Bunun için iki yöntemden biri ile yapılabilir. Mevcut üst kiriş geniş yassı bir kirişe delik açılarak donatılar geçirilebilir (Bkz. Şekil 6.3). Ancak dar bir kirişe; mevcut kirişin kenarlarındaki plaklar askıya alınıp, kırılır ve perdenin beton ve donatısında süreklilik sağlanır. Mevcut beton dökümünden yarım saat önce kırılan plak yüzeylerine epoksi esaslı aderans sağlayıcı kimyasal sürülmelidir. Dar kirişlerde, kirişin kenarından geçen perde donatısının betonu 10 cm den az olması durumunda zayıf kesit oluşacak, perdenin zayıf yönündeki çalışmasında çatlaklar oluşabilecektir (Şekil 6.4).



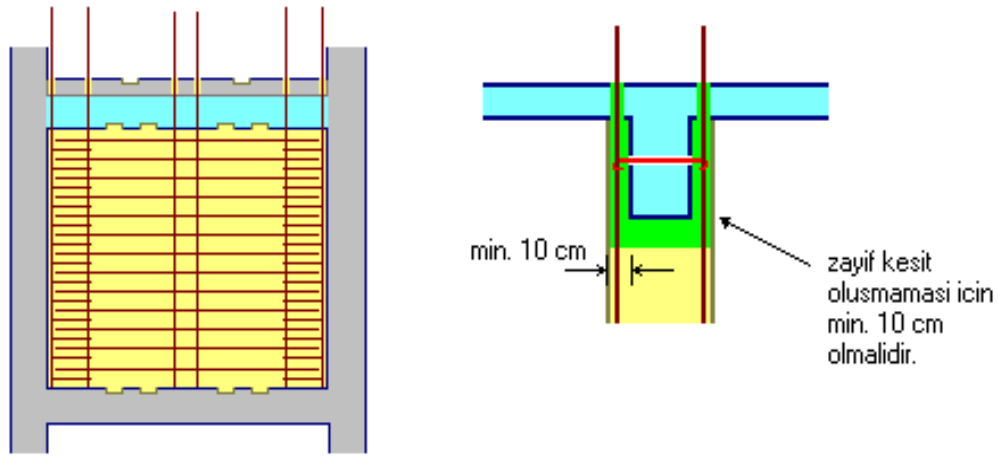
Şekil 6.1. İki kolon arası panel davranışı



Şekil 6.2. Geniş kirişlerde perde donatısının düzenlenmesi



Şekil 6.3. Kiriş kullanılarak perdenin düzenlenmesi



Şekil 6.4. Dar kirişlerde perde donatısının düzenlenmesi

Yapı beton kalitesinin çok düşük olması durumunda perde içinde sürekliliği bozan kirişin kırılması perde için daha iyi olacaktır. Perdelerin en önemli özelliği deprem sırasında taşıdığı yatay deprem yükleridir. Bu nedenle perdelerdeki kesme kuvveti ve bunun oluşturduğu deprem momentleri mevcut yapı sistemi içinde emniyetle aktarılmalıdır. Perde içinde kirişin kalması durumunda perde betonu ile kiriş arasında boşlukların oluşması ve betonun rötre büzülmesi dolayısıyla düşey yük transferi tam olmayacaktır. Uygulama kolaylığı bakımından 10 cm boşluk oluşturularak, boşluk daha sonra genleşen beton ile doldurulmalı ve düşey yükün doğru aktarılması sağlanmalıdır. Genleşen beton aynı zamanda mevcut kirişe ön gerilme vererek mevcut kolonların üzerindeki düşey yükün bir kısmının perdeler tarafından taşınmasını sağlayacak, perdenin sürtünme yatay yük taşımalarını da artıracaktır (Anonim, 2009c). Kirişin kırılarak yapılması durumunda; perdenin plak diyaframından alacağı yatay yüklerin emniyetli aktarılabilmesi için kırılan kirişin

komşu kirişlerinin olması gerekir. Deprem yükünün her iki yönünde perde komşu kiriş alanı ile yük aktarımını sağlayacaktır.

6.3. Kirişin Kırılarak Perde Oluşturmasının Avantaj Ve Dezavantajları

6.3.1. Avantajları

Kirişlere açılan dış ve rot uygulamasına nazaran, zaman ve güçlüğü bakımından avantajlıdır. Bir rotun delinmesi ve epoksi uygulaması 30 dakikadan az olmayacaktır. Aynı şekilde dış oluşturulması da süre olarak uzun olacaktır. Buna karşılık kirişin kırılarak yapılması daha kısa sürede olacaktır.

Perdenin davranışı bakımından, arada zayıf bir kesit olmaması ve perde gövdesi beton ve donatısı birlikte döküleceğinden emniyetle yük aktarma açısından yeni bir perde davranışı gibi olacaktır.

Kenar kolonların yetersiz olması durumunda başlık bölgesi yeni beton içinde oluşturup donatı sürekliliği ve kesme güvenliği açısından yapı içinde gerçek perde davranışı sağlanabilecektir. Dar kirişlerde rot düzenlemesi kiriş içindeki donatılardan dolayı kolay olmayacaktır.

6.3.2. Dezavantajları

Kirişe yük aktaran plakların askıya alınması gerekmektedir. Geniş kirişlerde uygulanamaz. Asmolen tarzı yapılarda yükün tek yönlü gelmesi Diyaframdan yük alması için kırılan kirişin komşu kiriş alanları ile olacaktır. Uygulama kolaylığı ve perdenin davranışı bakımından, kirişin kırılarak yapılması daha avantajlı olmaktadır.

BÖLÜM 7. GÜÇLENDİRMEDE MANTO DÜZENLENMESİ

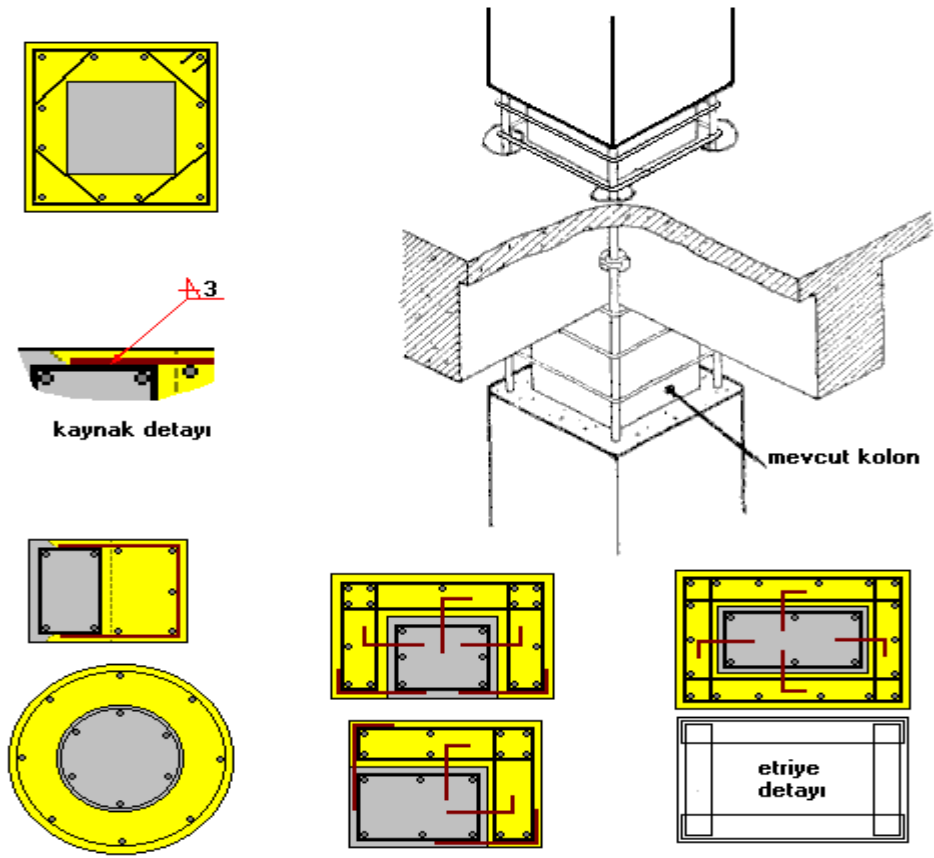
Kolonlarda manto hasarlı veya yetersizlik durumunda yapılmalıdır (Şekil 7.1).

Kolonlara manto, aşağıdaki durumlarda yapılmalıdır:

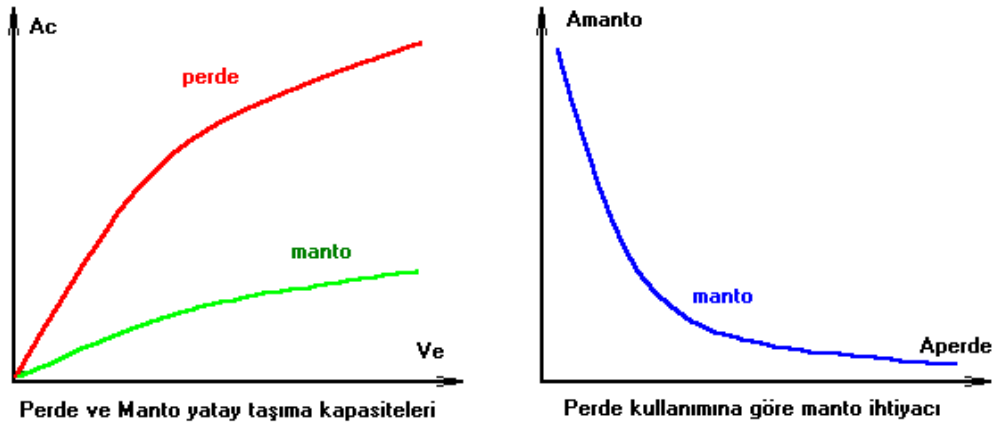
- Kolonun deprem geçirmesi sonunda hasarlı olması, düşey yükler altında yetersiz olması.
- İki kolon arasına yapılan güçlendirme perdesi yapıma durumunda; kolonların perde başlık bölgesi olarak çalışması neticesinde yetersiz olması.
- Güçlendirme amacıyla deprem perdelerinin konulmasında sonra kolonların yetersiz olması.

Yapı önce kolonlarda mantosuz olarak deprem analizi yapılmalıdır. Yapıda yetersizlikler olması muhtemeldir. Yapıyı depreme karşı güçlendirme perdelerle yapılmalıdır. Perdeler mevcut kolonlar üzerinde daha önce olan deprem momentlerini büyük ölçüde azaltacaktır. Bu da kolonların düşey yük altındaki tesirlerine yaklaşmasını sağlayacaktır. Bu şartlarda kolonlarda yetersizlik durumunda ya perdeler yeterli taşıyıcılığa sahip değildir, ya da kolonlar yetersizlik sınırına çok yakındır. Gerekirse yeni perde ilaveleri yapılacak ya da bir çok kolon mantolanacaktır. Mümkün olduğunca deprem taşıyıcılığını perdelerle oluşturup, daha az sayıda manto yapılması yapı ekonomisi açısından önemlidir.

Şekil 7.2’de gösterilen eğrilerden de görüleceği gibi yapıda perde oranının artması durumunda mantolanacak kolonların sayısı oldukça azalacaktır. Bu nedenle yapının ilk güçlendirme modellemesinde önce perdelerle yapı güçlendirilecek, yetersizlik durumunda manto kullanımına gidilecektir. Mantolanan kolon düşey yükleri zaten taşımaktadır. Yeni yapılan manto sıfır gerilmede çalışacaktır. Bu aşamadan sonraki kolonlardaki tesirler rijitlikleri oranında paylaşılacaktır. Deprem olması durumunda, manto daha rijit olması nedeniyle daha fazla deprem tesirlerini alacaktır. Bir avantajı da kolonun, deprem durumunda yetersizlik durumunda tüm taşıyıcılığı üstlenebilecektir.



Şekil 7.1 Mantolama ile güçlendirme detayı



Şekil 7.2 Kolonlarda mantolama şekilleri

BÖLÜM 8. FİBER KATKILI PLAKA (FRP) İLE GÜÇLENDİRME

8.1. FRP Kompozit Teknolojisi

FRP malzemeleri karbon, aramid, kevlar ve cam olmak üzere 4 gruba ayrılırlar. Bu malzemeler çok düşük ağırlıklarına rağmen çok yüksek mukavemetlere, anti korozif özelliklere, yüksek mekanik ve fiziksel değerlere sahiptirler. FRP kompozit malzemeler tek yönlü plakalar, kumaşlar, çubuklar ve çift yönlü örtüler olarak üretilmektedir. Epoksi, fiber matriksinden oluşan CFRP plakalar (Karbon Fiberle Güçlendirilmiş Polymerler) çelik plakaları her türlü fiziki değerlerde geride bırakmaktadır. Düşük sünme ve uzama gösterir ve çeliğe kıyasla ince, hafif ve çekme dayanımı 5-10 kat daha fazladır. Kompozit güçlendirme sistemi betonarme elemanlara dıştan uygulanan bir güçlendirme sistemidir. Harici yapıştırımalı kompozit sistemler, yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini ve eğilme dayanımını artırır. Yükler epoksi reçine yapıştırıcısı vasıtasıyla kompozite aktarılır, böylelikle uniform bir yük dağılımı sağlanır (Anonim, 2009a).

Kompozit sistem aşağıdaki malzemelerden meydana gelir:

- Yüzey düzeltme macunu.
- Epoksi yapıştırıcı.
- Kompozit ürünler (Karbon, Aramid, Cam)
- Koruyucu kaplama.

8.2. Tipik Uygulamalar

FRP kompozit teknolojisini sismik güçlendirme, kullanım değişikliği, yapıların yeni yönetmeliklere uygun hale getirilmesi, tasarım ve işçilik hataları, ilave servis yükleri gibi nedenlerle kirişlerin, döşemelerin, kolonların, bacaların, siloların, tünellerin, boruların, tankların ve diğer elemanların güçlendirilmesinde kullanılır.

8.3. CFRP Plakalar

Karbon fiber ve epoksi matriksinden oluşan plakalar, kolon, kiriş, döşeme ve duvarların taşıma kapasitelerini arttırmak için harici takviye donatısıdır. Bu plakalar yapı elemanlarının çekme bölgelerine yüksek mukavemetli epoksi reçine ile yapıştırılır. Epoksi reçine kürlendikten sonra yükleri plakalara aktarır. Plakalar yük altında akma limitlerine kadar yüksek gerilmeleri karşılar. Elastisite modülüne göre değişik karbon plaka tipleri mevcuttur. Uygun plaka tipi güçlendirilecek elemanın yükleme durumuna ve açıklığa göre seçilir. Yüksek elastisite modüllü plakalar kullanılarak donatı deformasyonu ve çatlak genişlikleri azaltılabilir. Aşırı sehimden dolayı güçlendirilmesi gereken elemanlarda E modülü yüksek plakalar kullanılmalıdır. Karbon plakalar öngermeli olarak ta kullanılabilir (Anonim, 2009a).

8.4. İnşaat Sektöründe FRP Kullanımının Avantajları

- Tasarım kolaylığı.
- Farklı fiziksel değerler için farklı kompozit malzeme kullanma imkanı.
- Anti korozyonlar.
- Yapılarda kullanım altında uygulama imkânı.
- Uygulama ve kullanım kolaylığı.
- Maliyeti yüksek makine ve ekipman gerektirmez.
- Her çeşit yapı elemanı güçlendirmesinde kullanılır.
- Bakım gerektirmez.
- Kullanılan bütün bileşenlerin önceden kalite kontrolü yapılmış olması.

8.5. FRP Sisteminin Yapıya Faydaları

- Yük taşıma kapasitesini arttırır.
- Eğilme dayanımını arttırır.
- Durabiliteyi geliştirir.

- Dinamik yükten gelen malzeme yorulması direncini güçlendirir.
- Sehimi azaltır.
- Ölü yükü arttırmaz, eleman geometrisini değiştirmez.
- Esnektir, çeşitli formlara adapte edilebilir.

8.6 FRP Plakaların Faydaları

- Performans: Yüksek fiziksel ve mekanik değerlere sahiptirler.
- Yüksek dayanım: yüksek elastisite modülü ve çekme dayanımı ile yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırır.
- Tasarı kolaylığı: Çok amaçlı malzeme seçeneği sunar.
- Uygulama kolaylığı: Sorunsuz montaj ve uygulama söz konusudur.
- Öngermeli uygulama

FRP plakaların yapıştırılmasından önce yüzey hazırlığının doğru yapılması çok önemlidir. Beton yüzeyi; letans, yağ, kir, zayıf kısımlar, sıva ve boyalardan kumlama veya taşlama gibi mekanik yöntemlerden biri kullanılarak temizlenmelidir. Beton yüzeyin minimum çekme dayanımı 1.5 N/mm² olmalıdır. Yüzey profili düzgün olmalı, kot farkı 2 metrede 5 mm yi geçmemelidir (Anonim, 2009a).

8.7. Uygulama Aşamaları

- İstenilen uzunlukta hafif kolay taşınabilir rulolarda paketlenen plakalar uygulama yerinde istenilen uzunlukta kesilir.
- Epoksi reçine plakaya ve uygulanacak elemana 2 mm kalınlıkta sürülür.
- Plakalar uygun pozisyonda tutularak yapıştırılır.
- Yapıştırıldıktan sonra üzerine rulo gezdirilerek sabitlenir.

8.8. FRP Kumaşlar

Tanım: FRP kumaşlar tek yönlü veya iki yönlü %100 karbon liflerden oluşur. Kiriş, baca, silo, tünel, boru, duvar gibi yapı elemanlarının harici güçlendirme donatısıdır.

Özellikle komplike şekilli yapı elemanlarının güçlendirilmesi için eşsiz bir çözüm sağlar (Anonim, 2009a).

- Kolonlarda: Kesme, kayma, eğilme dayanımını ve darbe direncini artırır. Uzun süreli yük taşıma özelliğini pekiştirir.
- Kirişlerde: Eğilme ve kesme dayanımını artırır.
- Bacalarda: Rüzgar yüküne karşı direnci ve eğilme dayanımını artırır.
- Silolarda: Dairesel çevre gerilme dayanımını artırır ve çatlak oluşumunu azaltır.
- Borularda: Geniş çaplı boruların basınç kapasitesini artırır.
- Tünellerde: Yanal hareketlere, eğilme ve basınca karşı dayanımı artırır.
- Duvarlarda: Darbe direncini artırır, patlamalara karşı koruma sağlar.

FRP kumaşların yapıştırılmasından önce yüzey hazırlığının doğru yapılması çok önemlidir. Beton yüzeyi; letans, yağ, kir, zayıf kısımlar, sıva ve boyalardan kumlama veya taşlama gibi mekanik yöntemlerden biri kullanılarak temizlenmelidir. Beton yüzeyin minimum çekme dayanımı 1.5 N/mm^2 olmalıdır. Köşeli kesitler en az 10 mm çapında yuvarlatılmalıdır (Şekil 8.1).



Şekil 8.1 Kolona FRP kumaşı uygulaması

- Yüzey bozuklukları epoksi puty ile düzeltilir.
- Uygun şekilde hazırlanmış yüzeye epoksi sürülür.

- FRP gerilerek yapıştırılır, rulo gezdirilerek sabitlenir ve epoksi ile iyice doyurulur.
- FRP kumaşın üzerine son kat epoksi uygulanır.
- Koruyucu kaplama yapılacaksa kum serpilir ve daha sonra sıva veya başka bir uygulama ile işlem tamamlanır.

8.9. Uygulama Alanları

8.9.1. Kirişler

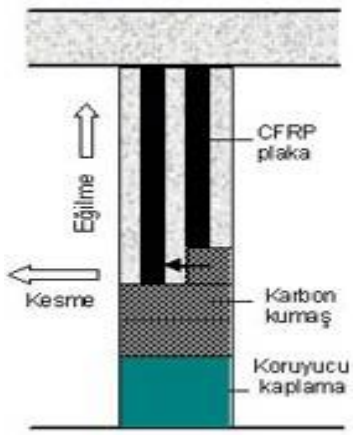
FRP kumaşlar betonarme veya yığma duvarlara uygulandığında duvar düzlemine dik ve paralel yüklere karşı dayanımı artırır, patlamalara karşı koruma sağlar. Duvar uygulamaları şunları kapsar: betonarme ve yığma duvarlar, istinat duvarları, sismik ve patlama etkilerine karşı güçlendirme (Şekil 8.2).



Şekil 8.2 Kirişte FRP plaka uygulaması

8.9.2. Kolonlar

FRP uygulaması kolonlarda kesme, kayma, eğilme dayanımını, aksenal yük taşıma kapasitesini ve darbe direncini artırır. Uzun süreli yük taşıma özelliğini pekiştirir (Şekil 8.3).



Şekil 8.3 Kolonlarda FRP uygulaması

8.9.3. Döşemeler

FRP uygulaması döşemelerde tek veya çift yönlü yerleştirme ile servis yüklerini büyük oranda artırır (Şekil 8.4). Uygulama alanları; Bina ve endüstriyel yapı döşemeleri, köprü tabliyeleri. Tipik Güçlendirme İhtiyaçları:

- Kullanımdaki değişiklik nedeniyle servis yüklerinin artması,
- Yeni merdiven veya asansör boşluğu açılması,
- Döşeme altındaki duvarların kaldırılması.
- Trafik yükündeki artış,



Şekil 8.4 Döşemede FRP uygulaması

8.9.4. Bacalar

FRP uygulamalar bacalarda rüzgar yükü ve kesme kuvvetlerine karşı dayanımı artırır (Şekil 8.5).



Şekil 8.5 Bacalarda FRP uygulaması

8.9.5. Tanklar / Silolar

FRP uygulamasıyla su, petrol tankları ve siloların çevresel gerilmelere karşı dayanımını artırır ve çatlakların ilerlemesi önlenir (Şekil 8.6).



Şekil 8.6 Siloda FRP uygulaması

8.9.6. Borular

Büyük çaplı boruların içten veya dıştan FRP uygulaması ile basınç kapasiteleri arttırılabilir (Şekil 8.7). Dıştan sargılamayla güçlendirmenin etkinliği içten sargılamaya oranla çok daha fazladır (Yaklaşık 2 kat).

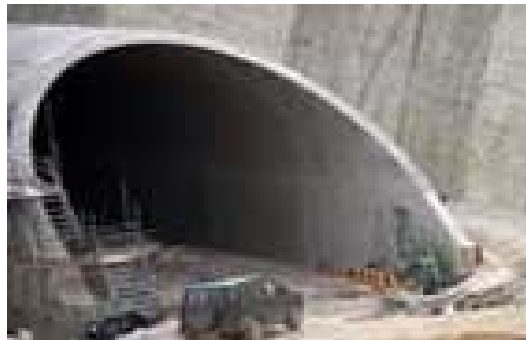
ABD de yapılan bir uygulamada hasar görmüş 2,6 m çapında, 50 yıllık, 30-35 m derinlikteki içme suyu borularının basınç kapasitesi içten 3 kat FRP uygulamayla 120 psi (8 kg/m²) den 300 psi (20 kg/m²) ye çıkarılmıştır. ABD de uygulanan benzer projelerin başarısına dayanarak FRP teknolojisi su işleri tamir tekniği seçeneği olarak benimsenmiştir (Anonim, 2009a).



Şekil 8.7 Boruda FRP uygulaması

8.9.7. Tüneller

Model üzerinde yapılan araştırmalar tünelleri FRP ile içten sargılamının dış yükten gelen basınç dayanımını arttırdığını göstermiştir (Şekil 8.8).



Şekil 8.8 Tünelde FRP uygulaması

8.10. Dizayn Kriterleri- Dizayn İçin Öneriler

- Yapıştırılacak yüzeyin çekme mukavemeti min. 1.5 N/mm² olmalıdır. Fib(14)
- Uygulama yapılacak yüzeydeki min. Paspayı 10 mm olmalıdır. Fib(14)
- Güçlendirme faktörü 2 olmalıdır.
- Yüzeydeki klorid içeriği %0,3 (ağırlıkça), rutubet < %4 olmalıdır.
- Yüzey profili düzgün olmalı kot farkı 2 metrede 10 mm yi geçmemelidir.
- Maksimum kat sayısı plakalar için 3, kumaşlar için 5 olmalıdır. Fib(14)
- Karbon plaka ile beton arasındaki epoksi kalınlığı sıkıştırmadan sonra min. 1.5 mm olmalıdır. Fib(14)
- Kiriş uygulamalarında karbon plakanın kenara uzaklığı büyük- eşit paspayı olmalıdır. Fib(14)
- Kiriş uygulamalarında karbon plakalar arasındaki açıklık min. (0,2L; 5 h) olmalıdır. Fib(14) (L= kiriş boyu, h= kiriş yüksekliği)
- Karbon kumaş uygulamasında köşeler min.10-15 mm çapında yuvarlatılmalıdır. Fib(14)
- Kolon sargılamada bindirme boyu min. 200 mm olmalıdır.
- Kolon sargılamada kat sayısı min. 2 olmalıdır.

Güçlendirme Faktörü: Güçlendirilmiş yapının yük taşıma kapasitesi, güçlendirilmemiş yapının yük taşıma kapasitesinin iki katından büyük olmalıdır (Denklem 11.1). Bu faktör eğilme güçlendirmesi derecesini sınırlayarak kullanım sırasında dâhili donatının akmasını önler.

$$V = N_v / M_0 \times 2 \quad (8.1)$$

Denge Hali: Güçlendirme sırasında dahili donatıların ön gerilmeleri dikkate alınmalıdır. Güçlendirme çalışmaları sırasında yapının zorlanmasını azaltmak için yükün boşaltılması veya askıya alınması gerekebilir.

Maksimum Uzama Limitleri: FRP plakaların uzamasının büyük olması güçlendirilmiş elemandaki çatlak derinliğinin artmasına yol açar. FRP plakalardan bütünüyle yararlanmada önemli bir faktör uzamanın sınırlanması ve izin verilen max. uzama sınırına uyulmasıdır. Yapılan araştırmalarda plakaların yüzeyden ayrılmasının, plakaların elastik uzamasına bağlı olduğu kadar donatı demirinin plastik uzamasına da bağlı olduğunu göstermiştir. Donatı demirinin akmaya başlama noktası karbon şeritlerin uzamasının %65'i noktasındadır. Buda karbon şeridin akma noktasındaki uzamasının donatıya göre 5-7 kat daha fazla olduğunu ifade eder. Kirişteki hasarın karbon plakanın uzamasının % 1,3 değerinde iken olduğu gözlenmiştir. Fakat dizaynda kullanılabilir max. Uzama %0,6-0,8 arasında sınırlandırılmalıdır (Anonim, 2009a).

8.11. Ankrajlama

8.11.1. Plakaların bitim noktalarından çelik plaka ve cıvata ile ankrajlanması:

Kuvvetler 4-6 cıvata ile sabitlenmiş çelik plaka ile FRP plakadan döşemeye aktarılır (Şekil 8.9). Testler ankrajlama ile FRP plakadan döşemeye çekme kuvveti transferinin iki katına çıktığını göstermiştir.



Kuvvetler 4-6 cıvata ile sabitlenmiş çelik plaka ile FRP plakadan döşemeye aktarılır.

Testler ankrajlama ile FRP plakadan döşemeye çekme kuvveti transferinin iki katına çıktığını göstermiştir.

Şekil 8.9 Plakaların bitim noktalarından çelik plaka ve cıvata ile ankrajlanması

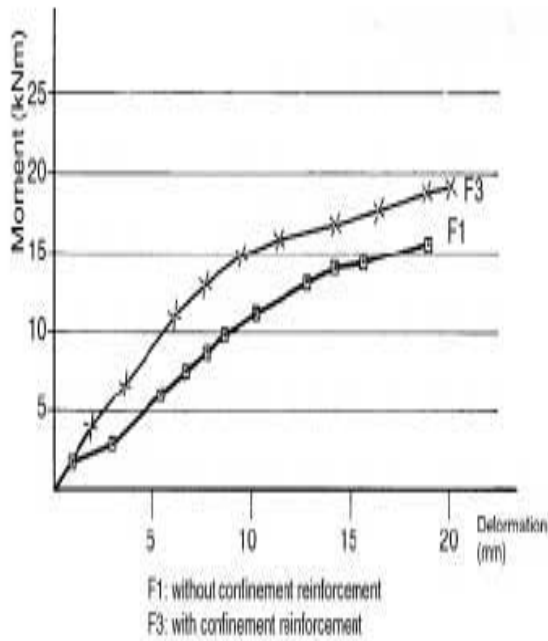
8.11.2. Plakların bitim noktalarından birkaç sıra kuşaklama ile ankrajlanması

Testler FRP plaka uygulanmış kirişlerin bitim noktalarından birkaç sıra karbon kumaşla kuşaklamasının eğilme momentini yaklaşık %20 arttırdığını göstermiştir.

8.11.3. (U) Kuşaklamanın ankrajlanması

— Kanal açarak ankrajlama:

Fib bülten 14'e göre kirişlerde komple kuşaklamanın mümkün olmadığı durumlarda FRP kumaş şekilde görüldüğü gibi basınç bölgesine ankrajlanmalıdır. Ankrajlama bölgesi yüksekliğinin tamamının kullanılması önerilir (Şekil 8.10).

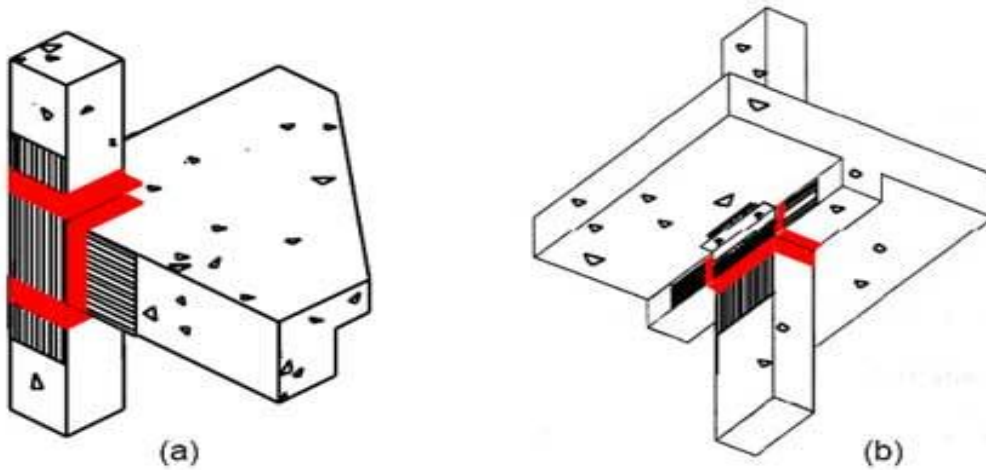


Testler FRP plaka uygulanmış kirişlerin bitim noktalarından birkaç sıra karbon kumaşla kuşaklamasının eğilme momentini yaklaşık %20 arttırdığını göstermiştir.

Şekil 8.10 Plakların bitim noktalarından birkaç sıra kuşaklama ile ankrajlanması

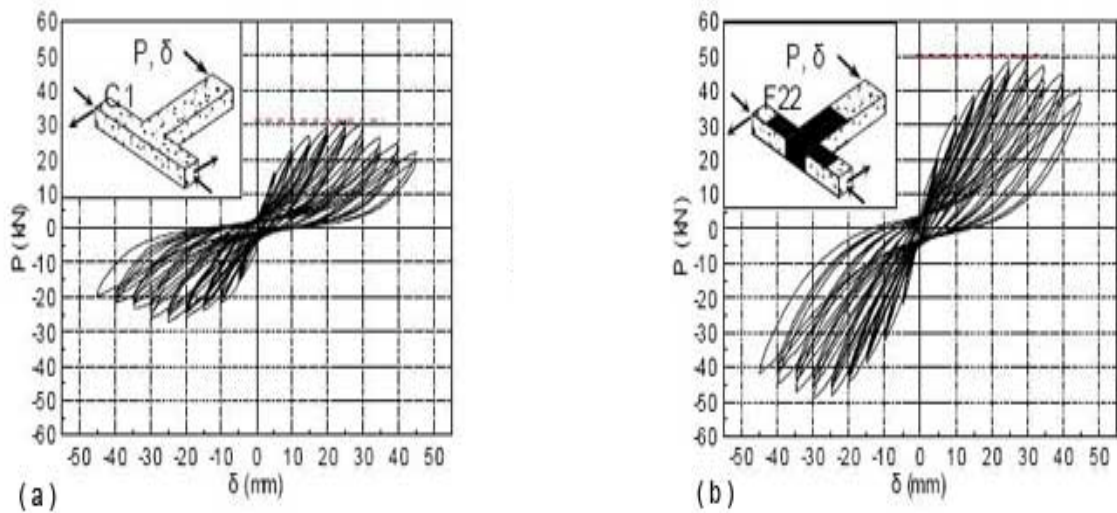
8.11.4. Düğüm noktalarının ankrajlanması:

Kayma etkisi altındaki FRP ile güçlendirilmiş birleşim noktaları üzerinde yapılan araştırmalar, birleşim noktalarının dıştan uygun şekilde çok ince FRP tabakaları ile sargılamanın dahi (Örneğin 0,12 mm kalınlıkta 2-3 kat karbon kumaş) makaslama/kayma kapasitesinde %80-100 üzerinde bir artış getireceğini göstermiştir. Bu artış söz konusu sargılamanın kiriş eksenini yönünde hatta mümkünse kolon eksenini yönünde de yapılmasıyla sağlanabilir (Anonim, 2009a). (Şekil 8.11)



Şekil 8.11 Kolon- kiriş birleşim yerlerinin kesme güçlendirilmesi ve ankrajanması ile ilgili tipik uygulamalar. (a) Dış birleşim noktası, (b) İç birleşim noktası.

Kiriş –kolon birleşim yerlerinde kesme kapasitesindeki artış; Şekil 8.12’deki periyodik yükler altında bulunan güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş (iki kat 0,12 mm kalınlıkta karbon kumaş) numunelere ait yük-deplasman grafiğinde görülmektedir. (Antonopoulos ve Triantafillou, 2003)



Şekil 8.12 Kiriş-Kolon birleşim yerleri yük-deplasman eğrileri. (a) Güçlendirilmemiş numune, (b) Güçlendirilmiş numune, Güçlendirilmiş numune kesme dayanımında % 70 bir artış sergiler.

BÖLÜM 9. YAPI ONARIM YÖNTEMLERİ

9.1. Onarım Yöntemleri

Bu bölümde betonarme, yığma ve kırsal konutlardaki hasarın onarımı ve yapının güçlendirilmesinde kullanılacak yöntemler ile ilgili ayrıntılar ele alınacaktır. Önce genel olarak çatlak onarımı verilecek daha sonra betonarme yapı onarımında eski ve yeni betonun kaynaştırılması, yeni donatının mevcut donatı ile bağlanması ile yeni donatının ankrajı konuları incelenecektir. Betonarme kiriş ve kolonların en kesit genişletme yöntemi ile onarımı ve güçlendirilmesi ile betonarme çerçevelerin dolgu elemanları ile doldurulup güçlendirilmesi yöntemi de bunları izleyecektir. Betonarme yapı temellerinin güçlendirilmesi ile ilgili ayrıntılar da verilecektir. Daha sonra yığma ve kırsal konutların onarım ve güçlendirme yöntemleri verilecektir.

Onarım çalışması yapılarda güçlendirme gerektirmeyen şekilde aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar.

- Beton yüzeylerin onarımı
- Beton çatlakların onarımı
- Aşınmış çeliklerin takviye edilerek korunması
- Gözenekli betonların onarımı
- Düğüm noktalarının onarımı

9.1.1. Beton yüzeylerin onarımı

Beton yüzeyleri onarımı için yüzeylerin hazırlanması ve onarım için uygun duruma getirilmesi gerekir.

9.1.1.1. Yüzeylerin hazırlanması

Bütün durumlarda beton onarılır, bu şartlar altındaki betonda hasar alanı gösterilen betonun onarımında asıl önemli olan husus dayanıklılıktır. Daha sonraki önemli konu, var olan sağlam betonlarda yüzeylerle taze beton arasındaki tutuculuğun zayıf olmasıdır. Bu yüzden sağlam betonlardaki yüzey bağlantılarının zayıf olmaması için bütün yabancı maddeler temizlenmelidir. Geçerli birkaç metot aşağıda gösterilmiştir. Tercih edilen uygun bir metot, mevcut beton tabakalarının kaldırılmasıyla gerçekleştirilip bu işlem hasarın yeri, durumu ve tipine bağlı olarak değişir.

A. Mekanik Metot

Genellikle mekanik ekipmanlarla yapılan el çalışmalarında tercih edilir. Diğer metotlara göre daha yoğun çalıma gerektirir. İşleme tarzı bakımından güvenli olup giderek daha fazla tercih edilmektedir. Gerçekçi bir bakışla daha kaba bir yıkım yöntemi olup daha ucuza mal edilmektedir. Bununla birlikte toz, gürültü ve titreşim meydana getirdiği için bu metot arzu edilmemekte ve bazı durumlarda kabul görmemektedir.

Tercih edilen mekanik metot işlemleri esnasında, sağlam metot kontrol edilmeli ve donatılar korunmalıdır. Betonun mekanik olarak sökülmesi esnasında, kırılma düzleminde daima toz oluşacaktır. Bu yöntemin başarısı vakumlama ile veya havada sıkıştırılmış serbest gazların patlatılmasıyla ölçülür. Ayrıca basınç altında su püskürtme işlemi kullanılabilir. Bu işlemde betonun nemlendirilmesi işlemi sakıncasız olmaktadır veya yüzeylerin kurutulması için gerekli zaman yeterli olmaktadır.

A.1. Yıkım vasıtasıyla delme ve ayırma

Bilinenler karot, sondaj araçları ve öğütücüler ile serbest vibrasyon için görülen ekipman parçalarıdır.

A.2. Kapalı yontma

Eğer bir beton tabakasında kaldırılacak yüzey derin değilse, kapalı yontma tavsiye edilir. Kuvvetli bir elektrikli çekiç, basınçlı hava çekici veya keski araçları kullanılabilir. Bu durumda çirkin bir yüzey kaldırma ve derine batma riski vardır.

Böylelikle sağlam maddelerin kaybı ile tehlikeli bir onarım meydana gelir. Takviye çubukları ve öngermeli kirişlerde keski ile temastan kaçınılmalıdır.

A.3. İşleme

Betonun tüm yüzeyi işleme araçları yardımıyla dikkatlice kaldırılmalıdır. Yaklaşık olarak 5 mm' den daha fazla olan işlenme geçitleri sıkıntıya sebep olmaktadır. Ek olarak donatıların yerleştirilmesinde her zaman risk olup, yeterince tanınmamalarından doğan zararlı etkiler oluşabilmektedir.

A.4. Basınçlı kumla yüzey temizleme (Katı parçaları ile basınçlı hava patlatma)

Bu metot kalın tabakaların kaldırılmasında ekonomik değildir. Bu yöntem özellikle pürüzlü ve kirli yüzeylerde uygun olup çimento harcı ve gevşek tanelerin kaldırılmasında kullanılır. Gevşek tanelerin kaldırılmasından sonra yontma ve işleme çalışmalarına geçilebilir. Tek dezavantaj, göreceli olarak büyük miktarların işlenmesi sırasında toz oluşmasıdır. Yükseklik tepici, temiz bir conta etrafında yerleştirilmiş bir hortum ağzı ile patlatılıp, doğrudan yüzeyleri temizlemektedir. Oluşabilecek tozlardan sakınıp belli bir miktar su, kum ile karıştırılmalıdır(Islak patlatma). Basınçlı kum yöntemi kalınlığı 5 mm'den fazla olan beton tabakaların kaldırılması için uygun değildir.

A.5. Hidrolik su jeti

Bu metot ile 10-40 MPa basınçtaki su jeti yardımıyla gevşek bölümler veya beton yüzeyindeki bitkisel tabakalar kaldırılır. Bu metot, katı beton yüzeylerini pürüzlendirdiğinden uygulanabilir değildir. Bu yöntemin basınçlı kum yöntemine benzeyen bir avantajı toz oluşturmamasıdır. Bununla birlikte, su içerisindeki katı ve çözülmemiş parçalar, bir çökme havuzunda toplanabilir.

A.6. Yüksek basınçlı su jeti

Bu metot içinde 40-120 MPa arasındaki basınç ile püskürtme yapılır. Su jetinin jetinin etkisi artmaktadır. Yüksek basınç altındaki su jeti zayıf beton yüzeylerde (Kötü beton sathı) ve gevşek zeminlerde etkilidir. Bu basınç altında, kötü beton yüzeyleri dışında uniform dağılımlı beton elde etmek mümkündür.

A.7. Su jeti metodu

Bu metodun kullanılması yaygınlaşmaktadır. 120-240 MPa bir basınç ile birlikte, su jeti derin penetrasyon yeteneğine sahip olup oluk açabilmektedir. Bu metot ile genellikle serbest vibrasyon yapılmaktadır. Bu yöntem var olan derin penetrasyon ile beton içerisinde nem oluşmaktadır. Bu metoda benzer olan metot ile, su jetine kuvars kum eklenerek hidrojet kesme işlemi yapılır. Hatta bu metot yüksek dayanımlı betonlarda, toz ve vibrasyon olmaksızın kesmeyi sağlayabilmektedir.

A.8. Ağ patlatma

Ağ patlatma metodu, küçük çelik bilyaların patlatılması vasıtasıyla beton yüzeyler üstünde merkezkaç etkisine sahip olan bir aygıt ile bu yüzeylerde aşınmaya yol açan bir metottur. Bu hareketli araç yatay veya yataya yaklaşık yüzeylerde faydalı olabilmektedir. Çok küçük tozlar oluşmaktadır. Bununla birlikte kapalı devre metodu da denilen bu metot ile temiz ve ayrı patlamalar oluşur.

A.9. Buharlı patlatma

Bu metot, temiz beton yüzeylerde kullanılır. Suyu temizlenmiş bir madde eklenmelidir. Betonun çıkarmada başarılı bir yöntem değildir.

B. Termal metot

Termal işlemler sırasında, beton yüzeyler 1500 °C lik oksijen-asetilen alevi ile termal etkiler uygulanır. Bu termal şoklar, beton yüzeylerde farklı termal yayılım kat sayısına sahip kaya agregalarda ve çimentolarda dikey sıcaklık şiddetinde artışlara neden olup, çok yüksek kalıcı gerilmelere neden olurlar. Bu yüzden beton bir termal işlemlerle kaldırıldıktan sonra, son tabaka mekanik işlemlerle kaldırılmalıdır. Bu metot sadece kaliteli firmalar ve tecrübeli personel tarafından uygulanmalıdır.

C. Kimyasal metot

Bu metoda göre güçlendirme ve betonun kaldırılması arasında bir farklılık olmalıdır. Betonun kaldırılması sırasında asitler ve alkaliler kullanılır. Asitler, korozyon riski nedeniyle öngermeli ve takviyeli betonlarda kullanılmamalıdır. Yetersiz kontrol işlemleri nedeni ile betonun tutuculuk özelliklerine zıt etkiler oluşmaktadır. Ek

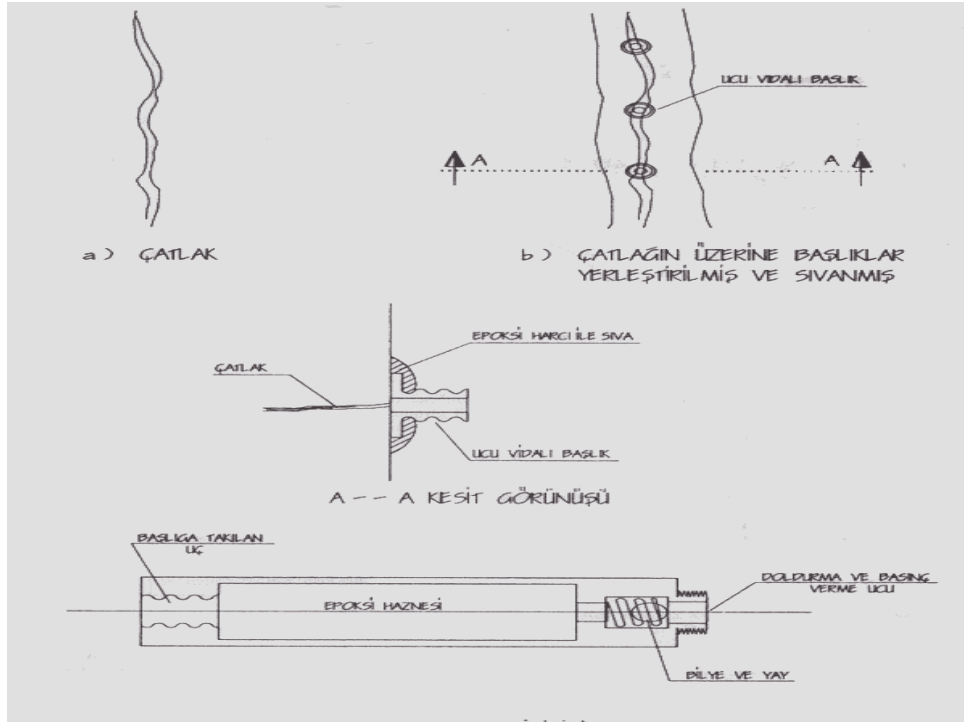
olarak işçilerin uzun dönemli sağlıklarında tehlikem oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu metot mevcut riskleri nedeni ile tavsiye edilmemektedir.

9.1.2. Beton çatlakların onarımı

Çatlaklar durmuş ise onarılabilir. Çatlak onarımı kendi başına bir olay değildir. Çatlak etkiyen bir kuvvetin ya da bir dayanım yetersizliğinin ifadesidir. Çatlağa yol açan etki ortadan kaldırıldıktan sonra çatlak onarımı yapılmalıdır. Çatlak onarımı bir bakıma bir "makyaj" görünüş düzeltilmesi olarak düşünülmelidir.

Öte yandan genellikle durmuş çatlak yoktur. Bütün çatlaklar açılır ve kapanır. Çatlakların genleşebilen strafor gibi esnek malzeme ile doldurulması oynamayı önleyebilir. Ancak bu malzemenin üzerine konulan sıva bu harekete uymayabilir. Dolgu ve örtü için çekomastik gibi daha elastik malzeme daha uygun olacaktır. Ancak çatlakların "dikilmesi" başka yerlerde yeni çatlakların oluşmasına engel olamayabilir.

Çatlakların onarımında genişliklerine göre değişen yöntemler kullanılabilir. Kılcal çatlaklar gözle ancak ayırt edilen çatlak ile 1-2 mm'ye kadar olan çatlaklardır. Bunların örtülmesinin nedeni zamanla bu çatlaklardan sızan nemin betonarme donatısında paslanmaya yol açabilmesi ve çatlamış kesitli betonarme elemanların rijitliklerinin azalması ve dolayısı ile yapının dinamik özelliklerinin değişmesini önlemektir. Çatlaklar, özellikle dış hava koşullarına açık taşıyıcı elemanların kısa zamanda güçlerini yitirmelerine yol açmaktadırlar. Çatlakların doldurulmasında çimento şerbeti, epoksi reçineleri, çok ince kumlu yüksek çimento oranlı harçlar ve başka özel katkı maddeli harçlar kullanılabilir. Çimento şerbeti ve epoksi reçinelerinin çok derinlere giden ince çatlaklara tam olarak içirilmeleri için basınç altında uygulanmaları gerekir. Genellikle uygulanması zor, zaman alıcı ve masraflı işlemlerdir. Gereken özen gösterilmezse istenilen amaç sağlanmayabilir. Kılcal çatlakların içine bağlayıcı maddelerin içirilmesi oldukça güçtür (Şekil 9.1).



Şekil 9.1 Kılcal çatlakların içine bağlayıcı madde enjeksiyonu

9.1.2.1. Epoksi reçineleri

Epoksi reçineleri yapıştırma özellikleri çok iyi olan sentetik reçinelerdir. Bunların çekme gerilmeleri 50-110 kg/cm² arasında değişir. Kopma birim uzamaları % 15-50 arasında olabilmektedir. Suya, aside ve alkaliye dirençleri çok iyidir. Zamanla özellikleri yitirmezler. Çatlağa doldurulmuş epoksi yapıştırıcısı, çatlakın yarattığı süreksizlik ortamını sürekli duruma dönüştürür. Çatlakın her iki yüzünü çatlak boyunca sürekli olarak birbirlerine bağlar ve gerilme birikimlerini önler. Sentetik reçineler kimyasal moleküler yapışma sağlarlar. Kimyasal moleküler yapışma yüzeylerin pürüzlülüğü ile artar, çünkü kuvvet aktarmada daha büyük bir alan çalışmaktadır. Genellikle ince bir tabaka yapıştırıcı madde daha güçlü yapışma sağlamaktadır. Epoksi reçinelerine polisülfid eklenmesi ile daha elastik bir yapıştırıcı oluşmaktadır. Polisülfitli epoksi reçinelerinin çekme dayanımları 200 kg/cm²'ye kadar çıkabilmektedir. Epoksi reçinelerinin yüksek ısılara dayanım gücü azdır. Şekil 1.1'da beton epoksi reçinesi ve harcının basınç gerilmesi altında birim deformasyon özellikleri verilmektedir (Tasai ve Akino 1991). Epoksinin basınç dayanımı 700-800 kg/cm²'ye kadar ulaşabilmektedir. Çekme dayanımı da 300 kg/cm² kadar olabilmektedir. Epoksilerin basınç dayanımı 15x15x40 mm boyutundaki küpler

yapılarak ölçülmektedir. Epoksi ile onarımın etkinliğini belirlemek için yapılmış bir dizi deneylerde (Tasai ve Akino, 1991) kullanılan epoksi reçine ve harcının mekanik özellikleri Tablo 9.1 'de verilmektedir.

Tablo 9.1 Epoksi ve harcının mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Reçine	Harç
Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	650	790
Çekme Dayanımı (kg/cm ²)	340	290
Basınç Altında Birim Kısılma	0.047	0.022
Basınç Elastisite Modülü (kg/cm ²)	23 000	73 000
Çekme Altında Birim Uzama	-	0.0039

Kullanılan epoksi harcı ya da reçinesinin basınç dayanımı istenilen biçimde değiştirilebilir. Beton basınç dayanımına daha yakın dayanımlarda, düşük dayanımlı, epoksi reçinesi ya da harcı kullanılması daha uygundur. Epoksi reçinesi ve harcının elastik modülünün betona göre daha düşük olması daha elastik bir malzeme olduğunu göstermektedir. Epoksinin elastisite modülü de katkı maddeleri ile azaltılıp çoğaltılmaktadır.

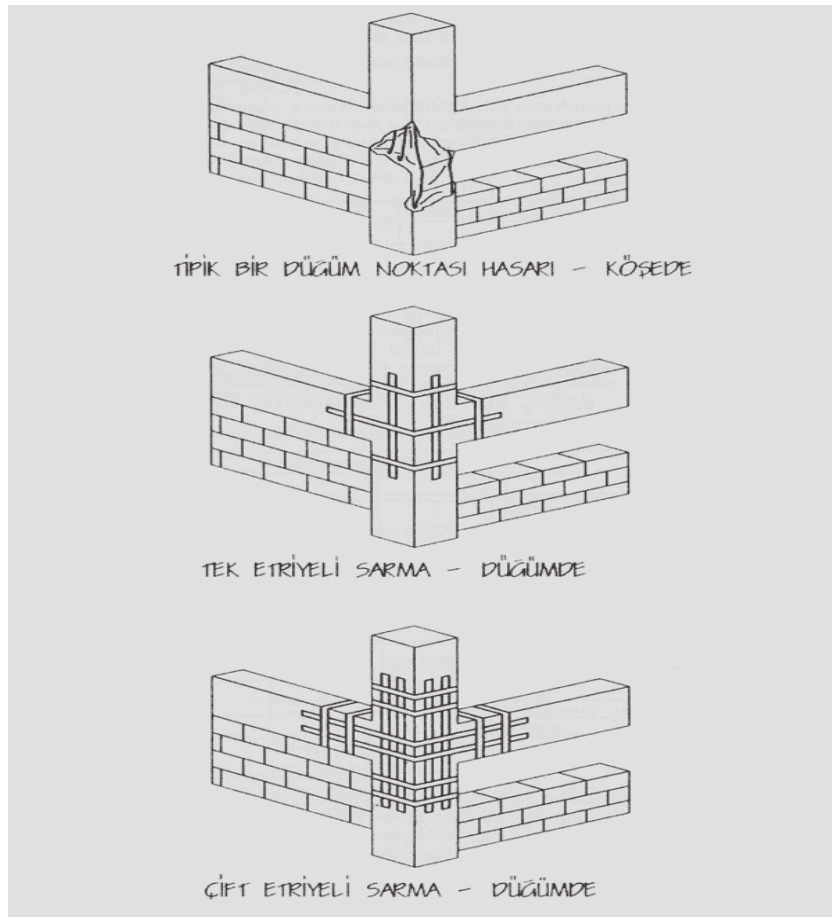
Piyasada çeşitli ticari markalar altında satılan sentetik yapıştırma maddeleri bulunmaktadır. Bunların kullanım yerleri eski ve yeni beton arasında bağlantı sağlama, yeni betonda delik, çatlak ve köşelerin onarımıdır. Bu arada bazı katkı maddeleri ince kumlu harca katılarak çekme dayanımı yüksek harç yapılmaktadır. Genellikle 5 mm'ye kadar olan çatlaklara yalnız epoksi, daha geniş çatlaklarda ise dolgu maddesi katılmış epoksi harcı kullanılmaktadır.

9.1.2.2. Epoksi ile onarım yöntemleri

Epoksi onarım iki biçimde kullanılmaktadır. Epoksi enjeksiyon yöntemi 0.2-0.3 mm genişliğindeki çatlakların onarımı için uygundur. Düşük viskoziteli epoksi reçinesi sürekli bir düşük basınç altında iştirilmektedir. Bu yöntemle betondaki ince ve kılcal eğilme çatlakları kapatılmakta ve çatlak yüzeyinden çekme kuvveti aktarımı gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda epoksi reçinesi donatı ile beton arasında açılmaları doldurarak donatı ile beton arasındaki yapışmayı (aderans) artırmaktadır.

Epoksi harcı ile doldurma ezilmiş ve parçalanmış ve de dökülmüş betonları doldurmak için kullanılır. Epoksinin içine çok ince agrega katılarak bir tür "beton" elde edilir ve tahrip edilmiş betonun yerine konulmaktadır.

Düşük basınç altında epoksi enjeksiyonunda düşük viskoziteli epoksi kullanılmaktadır. Enjeksiyon da düşük bir basınç altında yapılmakta ve uzun süre beklenmektedir. Bu işlemde önce çatlak üzerine belirli aralıklarla borular yerleştirilmekte, Şekil 9.2’de çatlak ve boruların çevresi epoksi harcı ile kapatılmaktadır. Daha sonra epoksi ile doldurulmuş tüpler borulara takılmakta. Tüplere diğer bilyalı uçlarından basınç uygulanmakta ve bu basınç altında tüpteki epoksinin çatlağın içine doğru yavaşça akması beklenmektedir.



Şekil 9.2 Çatlakların ve boruların çevrelerinin epoksi harcıyla kapatılması

9.1.2.3. Epoksi ile onarımda taşıma gücü artışı

Epoksi doldurulmuş çatlak ara yüzeyinde oldukça yüksek bir çekme dayanımı sağlanmaktadır. Ancak onarılmış elemanın tekrar yüklenmesi ile, eski çatlakların

hemen yanında ya da onarılmış iki çatlak arasında bir yerde yeniden çatlak olduğu ve elemanın dayanımının hasar öncesi dayanım düzeyinde kaldığı görülmektedir (Penzien ve Çelebi, 1973; ve Tasai ve Akino, 1991). Bunun nedeni epoksi doldurulmuş iki çatlak arasındaki betonun dayanımının onarım öncesi dayanım düzeyinde kalması ve en düşük dayanımlı kesit olduğu için yeniden yüklemeye kırılmanın burada olmasıdır.

Ayrıca epoksi ile yapılan kiriş onarımı, kirişin dayanım artışını sağlamamaktadır. Çünkü onarım öncesinde çatlak yakınındaki donatılarda akma gerilmesi aşılmıştır. İki çatlak arasında ise donatıda gerilme akma gerilmesinin altındadır. Onarımdan sonraki yüklemeye ise taşıma gücünün artması için daha önce akmış donatının pekleşme bölgesine daha çok girmesi gerekmektedir. Ya da donatıdaki pekleşmenin ilk yüklemeye elastik kalan bölgede de olması gerekir. Ancak bu bölge epoksi ile onarılmadığı için yine aynı dayanımdadır. Bu nedenle de burada dayanım artışı olamaz.

Kirişlerde çekme bölgesindeki çatlakların onarımı aynı zamanda düz donatı ile beton arasındaki yapışmayı (aderans) da artırmaktadır. Bu durum ise donatıda daha yüksek akma ve pekleşme gerilmelerine ulaşılmasını sağlamaktadır. Kesitin bu yönde daha çok moment taşıyabilmesi, ancak bu artan moment altında oluşan daha büyük kesme kuvvetini taşıma gücünün de bulunmasına bağlıdır. Yoksa artan moment taşıma gücü sonucu eğilme kırılması yerine kesme kırılması oluşur. Epoksi harcı ya da enjeksiyonu ile beton ile donatı arasındaki yapışmada büyük artışlar olabilmektedir: 27 kg/cm²'den 98 kg/cm²'ye

9.2. Çimento şerbeti

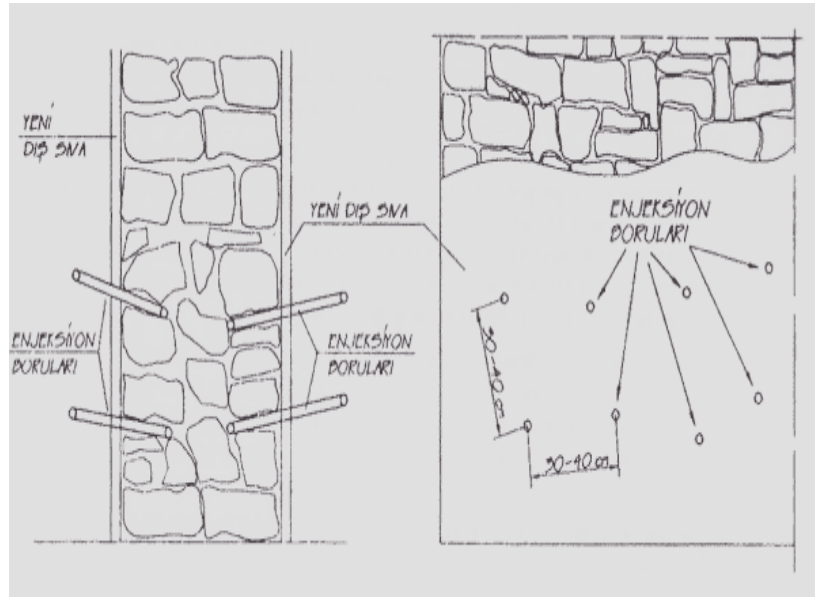
Çimento standardı (TS-24)'e göre çimento tanelerinin % 95'i 200 ile 325 nolu eleklerden geçmelidir. Bu koşula göre çimento taneciklerinin 0.074 mm'den daha büyük olmaması gerekir. Diğer bir deyişle çimento şerbetinin 0.1 mm ve daha büyük çatlaklara girebilmesi olanaklı görünmemektedir. Ancak kılcal çatlaklara çimento şerbeti ancak basınç altında doldurulabilir.

Çimento şerbeti ya da harç yapımında ilk dayanımı yüksek portland çimentosu (İPÇ) ve genleşen (ekspansif) çimento kullanımı, onarımın hızlı yapılmasını sağlar. Genleşen çimento ise çatlakların içine giren harcın ya da şerbetin genişleyip bütün

boşlukları doldurmasını sağlar. Genleşen çimento içine sülfoalüminat konulmuş bir çimentodur. Normal portland çimentosuna da çok ince öğütülmüş alüminyum tozu katılması ile genleşen çimento elde edilmektedir.

9.3. Çimento Enjeksiyonu

Çimento enjeksiyonu özellikle taşıma gücü zayıf olan moloz taş duvarlarda düşük basınçlar altında uygulanır (Şekil 9.3). Bunun için duvarın içine kadar uzanan borular yerleştirilir. Duvarın iç ve dış yüzeyi 2-3 cm, kalınlığında sıva ile kaplanır. Daha sonra altlardaki deliklerden başlayarak düşük basınç altında çimento şerbeti enjeksiyonu yapılır. Herhangi bir borudan çimento pompalama, yandaki borulardan çimento şerbeti taşmaya başlayıncaya kadar sürdürülür. Çimento içirimi yapılmış delik kapatılır. Bu işlem her bir sıradaki delikler doluncaya kadar sürdürülür. Daha sonra aynı işlemler bir üst sıradaki enjeksiyon deliklerine uygulanır. Delikler arasında 30-40 cm kadar aralık olabilir. Bu deliklerin duvardaki taş ya da tuğla ve benzeri malzeme arasındaki derz durumlarına göre yerleştirilmesi gerekir. Deliklere takılacak borular kullanılacak pompanın hortum ucu boyutuna göre seçilir.



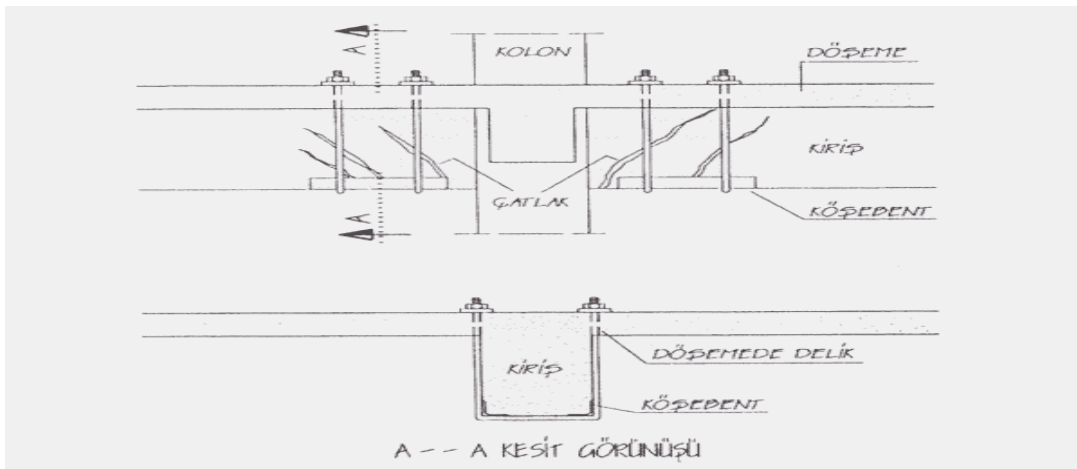
Şekil 9.3 Taş duvara çimento enjeksiyonu

Çimento enjeksiyonu yöntemi ile çok zayıf ve düşük dirençli moloz taş duvarların direncinin yükseltildiği ve daha sağlam bir duvar oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Sağlam ve normal dayanımlı olan çimento ve kireç harçlı duvarlarda ise çimento içiriminin duvar dayanımında göze çarpıcı bir artış yapmadığı da bilinmektedir.

Çimento içirimi kötü ve zayıf duvarları iyi duvar düzeyine çıkarmaktadır. Yöntem yavaş, zaman alıcı ve çimento pompalama donanımı gerektirmektedir. Kullanılan çimento genişleyen ve ilk direnci yüksek çimento olmalıdır. Bu yöntemin çok eski yıllarda yapılmış tarihsel ve kültürel değeri olan kırsal alan yapılarının moloz taş duvarlı çamur harçlı duvarlarında kullanılmasının etkili olacağı sanılmaktadır. Taşları arasındaki çamur harcın zamanla dökülmüş olduğu bu tip yapılarda taşlar arasındaki boşluklara içinde az miktarda ince kum da bulunan çimentolu şerbetin içirimi ile güçlendirme çok etkili olacaktır.

9.4. Mekanik Bağlayıcılar

Çatlakların epoksi reçinesi, çimento şerbeti ya da harçla onarımı genellikle artık genişlemeyen, durmuş çatlakların doldurulması amacı ile yapılmaktadır. Çatlakta genişleme sürüyorsa çatlağın mekanik bağlayıcılarla "dikilmesi" gerekir. Bu dikişler çatlağı kesen çubuklar ve çubukların uçlarının uygun bir biçimde bağlanması ile oluşur. Bu tür mekanik bağlayıcılar süresiz olduklarından gerilim birikimi yapabilir. Uçlarındaki sıkıştırılmış somunlar dayandıkları yerlerde yerel ezilme ve kırılmalara yol açabilir. Mekanik bağlayıcılar bağladıkları yüzeyler arasında oluşturdukları sürtünme kuvveti ile kuvvet aktarımı yaparlar. Mekanik bağlayıcılar ile çatlak yüzeylerine dik yönde bir kuvvet uygulandığı zaman, diğer bir deyişle vidalar sıkıştırıldığı zaman etkili olarak çalışmaya başlarlar. Eğer çatlağın genişleme eğilimi varsa, çatlağa dik yöndeki çubuklarda ek gerilmeler oluşmağa başlar. Çatlak, çubuklarda oluşan ek gerilmelere karşılık olan birim uzama miktarları kadar açılabilir.



Şekil 9.4 Çatlakların onarımında Mekanik Bağlayıcıların kullanılması

Çatlakların dikilmesinde (Şekil 9.4) 'deki yöntemler kullanılabilir. Bu onarım yönteminde kolon ya da kirişin hasarlı bölgesindeki parçalanmış ve ezilmiş beton temizlenmekte, bu bölümler epoksi harcı ile doldurularak eksilmiş beton hacim doldurulmaktadır. Burkulmuş ya da deforme olmuş donatılara dokunulmamaktadır. Daha sonra epoksi ile yamanmış bölge en az 5 mm kalınlığında ve 50 mm genişliğinde metal şeritlerle sarılmaktadır. Şeritlerin altına betona yapışması için epoksi reçinesi sürülmekte ve metal şeritlere epoksi sertleşinceye kadar baskı uygulanmaktadır. Bu onarım yöntemi 1992 Erzincan depremi sonrasında perde duvarlarla takviye edilen kooperatif konutlarındaki hasarı onarmak için kullanılmıştır.

9.5. Donatı Betona Ankrajlanması (Filiz Ekimi)

Betonarme yapılarda beton ve donatının birlikte çalışması için betonun donatıya tam olarak yapışması gerekir. Çekme gerilmesi taşıyan donatının betondan sıyrılmaması için beton ile arasında en üst düzeyde yapışma olması, bir diğer deyişle donatıdaki çekme kuvvetinin beton ve donatı arasındaki yapışma ile dengelenmesi gerekir. Bu işlem bir anlamda donatının betona bağlanması, ankrajlama olarak tanımlanır (Resim 9.5). Onarım ve güçlendirme sırasında betonarme elemana konulacak ek donatıların eski ya da yeni beton içinde ankrajı gerekmektedir.



Şekil 9.5 Betona filiz ekilmesi

Güçlendirme sırasında eklenen yeni bir taşıyıcı elemanın var olan elemanlarla birlikte çalışması için aralarında tam bir kuvvet aktarması olması gerekir. Örnek olarak çerçeve ortasına konulan perde duvarın çerçeve ile birlikte çalışması için kolonda açılan yuvalara donatılar ankraj edilir. Ankraj donatıları perde ile kolonun birlikte çalışması için kesme kuvveti aktarımı sağlamakla görevlendirilmiştir.

Kuvvet aktarma işlemi ankrajlama ya da kamalama ile yapılmaktadır. Ankrajlamada donatı eksenine doğrultusunda çekme kuvveti taşır. Kamalamada ise betona gömülü donatıya eksenine dik yönde kesme kuvveti taşıttırılmaktadır. Donatının betona bağlanması için ucu genişleyen özel ankraj betonu ya da epoksi gibi kimyasal yapıştırıcılar kullanılmaktadır.

Birinci ankrajlama yönteminde özel ticari adlar altında anılan ankraj sistemleri vardır (hilty gibi). Bu sistemlerde betonda açılan deliğe mekanik olarak yerleştirilmiş bulonlar takılır. Bu bulonların derinlik ve özel kesme takozları gibi özelliklerine bağlı olarak taşıyabilecekleri çekme ve kesme kuvveti vardır. Burada uygulanan çekme kuvveti bulon ile delik arasında sürtünme ve oluşan kesme takozu çevresindeki betonun kesme dayanımı ile taşınmaktadır.



Şekil 9.6 Perde filizi çakılması

İkinci yöntemde ise ankrajlanan bulonun çevresine özel sentetik yapıştırıcılar sürülmektedir. Bu tür sentetik yapıştırıcıların 100-150°C'de yandığı bilinmektedir. Eğer yangın tehlikesi varsa deliklerin daha derin yapılması önerilmektedir.

Betona ankrajlanmış bulonların dayanımında deliğin temizlenmiş olması çok önemlidir. Deneylerde iyi temizlenmemiş deliklerde çekme dayanımının en düşük olduğu gözlenmiştir (Jirse, 1988). Deliğin yan duvarlarında hiç toz kalmamalıdır. Ankraj boyu uzun ise ankrajda daha yüksek kesme dayanımına ulaşılabilmektedir. Öte yandan ankraj bulonu sayısının etkisi ise farklı olmaktadır (Jirse, 1988).

Yapılan deneylerde donatının ankrajlandığı betonda spiral donatı varsa kesme dayanımının daha yüksek olabildiği gözlenmiştir (Endo ve Shimazu, 1985). Eski ve yeni betonun ara yüzeyinde çentik ve pürüzler varsa kesme kuvveti taşıma gücü artmaktadır. Epoksi reçinesi doldurulan ankrajlarda yüksek dayanımlı epoksi donatının tam ankrajını sağlamakta, çekme kuvveti altında kırılma betonun bir koni biçiminde ayrışması biçiminde olmaktadır.

Eğer ankraj derinliği çok ise kırılma donatının çekme etkisi altında kopması biçiminde olmaktadır. Donatının epoksi ile ankrajlandığı deneylerde donatının ankrajlandığı betonun donatılı ya da donatısız olmasının fazla bir etkisi olmadığı gibi beton dayanımının da fazla bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

Epoksili ankrajda betonun kama biçiminde kırılması için gereken en küçük ankraj derinliği

$$h_{koni} = \tau_0 \pi d_0 / 1.84 \sqrt{f'_c} \quad (10.1)$$

Denklemleri ile verilmektedir (Cook ve diğerleri, 1998). Burada d_0 = delik çapı, τ_0 = aderans gerilmesi, f'_c = beton silindir basınç dayanımıdır. Eğer ankraj derinliği daha az ise kırılma koni biçiminde beton kopması ile olacaktır.

BÖLÜM 10. BETONARME KOLONLARIN GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

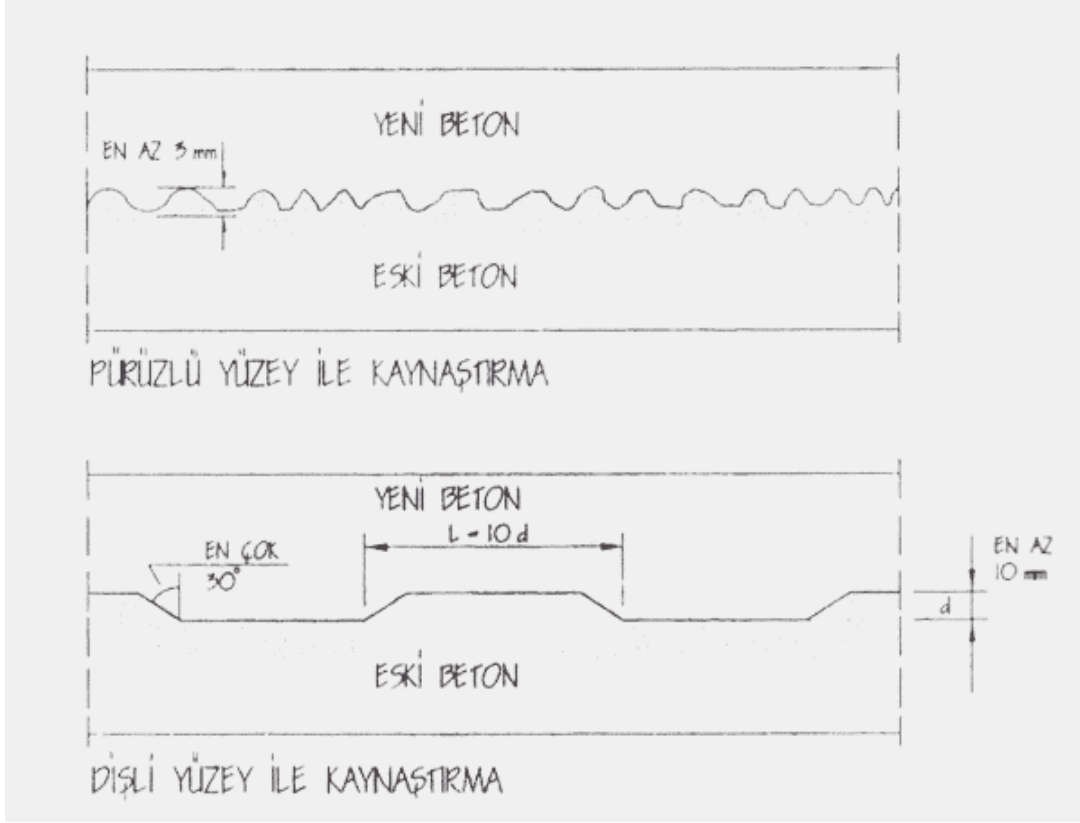
Betonarme kolonların güçlendirilmesi onların aksenal yük, moment ve kesme kuvveti taşıma güçlerinin artırılmasıdır. Bu işlem genellikle ya betonarme kesitin artırılması, kolona yeni donatılı en kesit eklenmesi yada kolonun çelik bir kafes içine alınarak betona yandan destek verilerek taşıma gücünün artırılmasıdır. Konulan çelik çerçeve de düşey yük taşıma gücünü artıracaktır.

Betonarme kesitin artırılması ya kolonun bütün çevresinde olur buna "mantolama" ya da "gömlek geçirme" denir; ya da kolonun yalnızca iki kenarına yeni kesitler eklenir. Bu yöntem de "kanat ekleme" olarak nitelenir.

Çelik kafes içine alarak güçlendirmede birbirinden farklı iki malzemenin birlikte çalışması için çelik kafes ile beton arasında tam bir yapışma ve çelik kafesin kolonun aksenal yükünden payı alacak biçimde kirişlere de bağlanmasıdır.

10.1. Mantolama

Betonarme kolonun betonarme elemanlarla onarımı ya da güçlendirilmesi kolonun beton en kesitinin ve boyuna donatısının artırılmasıdır. Donatı miktar olarak artırılır ancak yüzde olarak aynı kalabilir ya da artırılabilir. Mantolamada üzerinde durulacak ayrıntılar eski ve yeni betonun kaynaştırılması, yeni boyuna donatı ile eski boyuna donatının ankraji olarak sıralanabilir. Güçlendirmede en önemli nokta kolona eklenen bölüme eski var olan bölümden yük aktarılmasıdır. Mantolamanın temel amacı kolonun düşey yük taşıma kapasitesini artırarak düşey yüklere karşı güvenlik payını yükseltmektir.



Şekil 10.1 Eski ve Yeni Beton Kaynaştırması

10.2. Eski Ve Yeni Betonu Kaynaştırma

Kolon güçlendirmesinde kolonun üzerindeki hasarlı bölümler etriyeler ve boyuna donatı ile belirlen kolon "çekirdek" bölümüne kadar kazınmalıdır. Var olan beton varsa basınçlı su ile yıkanarak toz ve gevşek malzemeden temizlenmelidir. Mantolama sırasında eklenen yeni bölümlerin kalınlığı 5 ya 10 cm olacaktır (Şekil 10.1). 5 cm kalınlığında gömlek geçirme ile küçük kolonlarda (25 x 25 cm) % 96, büyük kolonlarda (40 x 40 cm) % 56 kadar en kesit artışı olmaktadır. Buna karşılık 10 cm'lik gömlek geçirme ile küçük kolonlarda % 224, büyük kolonlarda ise % 125 en kesit artışı sağlanmaktadır. Bu açıdan pek çok durumda 5 cm 'lik gömlek geçirme ile önemli miktarda düşey yük taşıma kapasitesi artışı sağlanabilecektir.

Eski ve yeni betonu kaynaştırmak için daha önce verilen "eski ve yeni betonu kaynaştırma yöntemleri" kullanılabilir. Var olan kolonun betonunda açılacak dişlerin kuvvet aktarmaya olumlu katkısı vardır. Eski ve yeni betonu kaynaştırmak için betonda

diş açılması yanında eski kolonun çekirdeğinin içinden geçen çiroz etriyelerde yararlı olur.

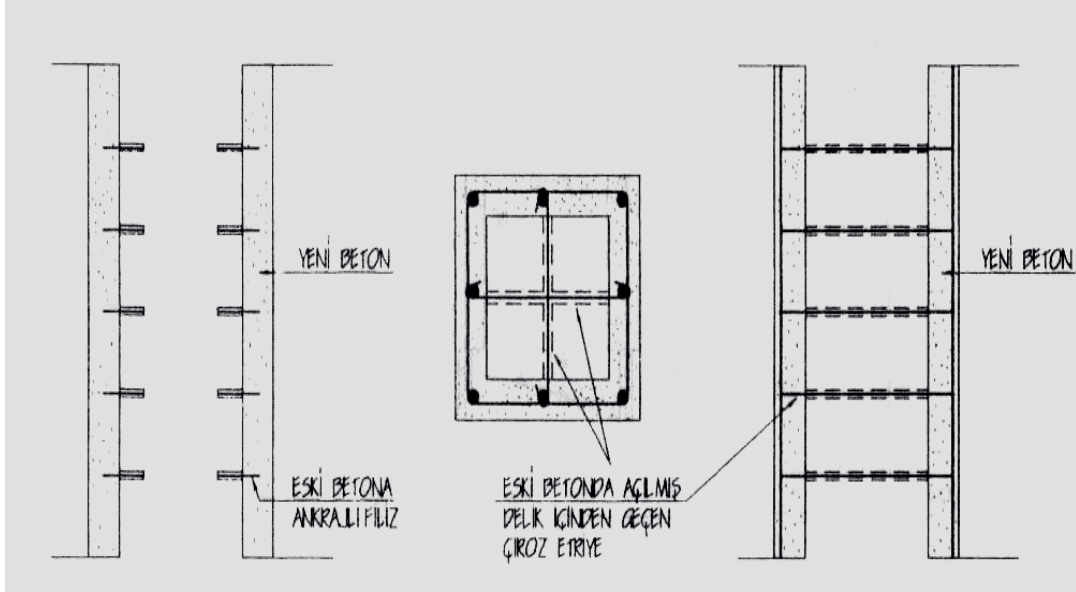
10.3. Donatıların Bağlanması Ve Ankraji

Kolonun eski ve yeni betonunun mantolanan bölümdeki donatıları arasındaki bağlantı (Şekil 10.3) 'de verilen yöntemlerle yapılabilir. (Şekil 10.2)'de görüleceği gibi donatıların birbirine bağlantısı esnek ya da rijit bağlantıdan biri olacaktır. Rijit bağlantı 5 cm kalınlığında, esnek bağlantı ise 10 cm kalınlığında gömlek geçirmede uygulanmalıdır.

Kolon güçlendirmesinin bir başka ayrıntısı da kolon boyuna donatılarının ankrajıdır. Bodrum katta mantolanan bölümün boyuna donatıları temel pabucunda açılacak yuvalara özel harçlı olarak yerleştirilebilir. Mantolama işleminin üst katlarda da yapılması durumunda kat düzeyini geçerken boyuna donatıların bindirme ayrıntısı verilmektedir.

Mantolama işlemi üst katta devam etmiyorsa kolon boyuna donatılarının üst uçlarının ankrajlanmasında kullanılan soldaki yöntem mekanik ankraj olarak nitelenebilir. (şekil 10.2) de Sağ taraftaki yöntem ise betonun içinde ankraj olarak nitelenebilir. Burada da boyuna donatının bindirildiği yerlerde kaynaklanması gerekir.

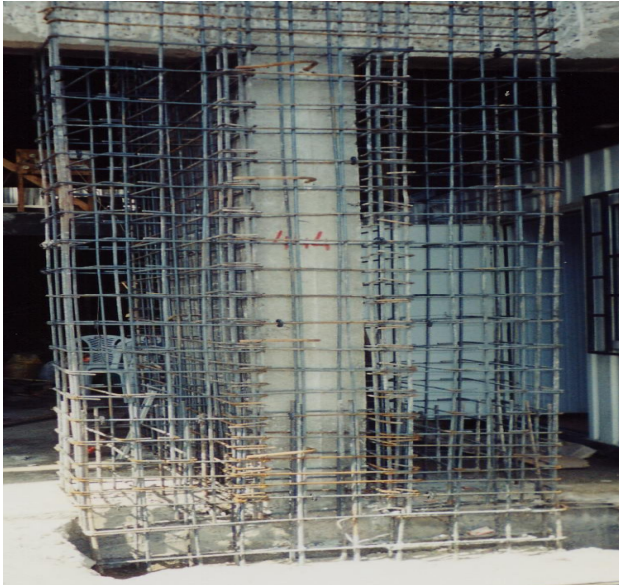
Güçlendirme için yeniden eklenen bölümlerde enine donatıların bağlanması ve betonu ve boyuna donatıları sıkıca sarması gerekir. Bilindiği gibi etriyelerin, boyuna donatıların burkulmalarını önlemek, kesme gerilmelerini taşımak, betonu sararak yanal destek sağlayarak basınç dayanımını artırmak gibi görevleri vardır. Bunun için yeniden sarılan etriyelerde bir bolluk olmaması gerekir. Bu amaçla konulacak etriyelerin uçlarında bindirmeli kanca yerine kaynak ya da bidonla sıkıştırılmalı bağlantı yapmak çok daha etkili olacaktır.



Şekil 10.2 Eski ve Yeni Betonu Kaynaştırmak İçin Kama

10.4. Mantolama İle Kolon Güçlendirilmesi Üzerine Öneriler

Kolonların betonarme mantolama ile güçlendirilmesinde boyuna donatı yüzdesi % 1'den az olamayacağı gibi, % 1'in çok üzerine de çıkılmamalıdır. Çünkü donatı yüzdesi % 1 olan kolonların sünek davranan en ekonomik donatı yüzdeli kolonlar olduğu deneysel olarak çıkarılmıştır.



Şekil 10.3 Kolonun betonarme mantolama ile güçlendirilmesi uygulaması

Mantolama ile kolon güçlendirmesi için gereken en kesit ve donatı miktarının hesabı yapılabilir. Bu hesap yaklaşımı ile gereken en kesit hesabı ve seçilen et kalınlığı ve donatının taşıyabileceği yük hesaplanmalıdır. Yeni eklenen bölüm ile eski bölüm arasında tam bir kaynaşma, kuvvet aktarımı, olmasını beklemek gerçekçi olamaz. Bu nedenle güçlendirme için eklenen bölümün yük taşıma kapasitesinin teorik olarak hesaplanan miktarının en çok % 70'inin pratik olarak kullanılabilceği düşünülerek gereken en kesit ve donatı miktarı seçimi yapılmalıdır.

Beton kabuğu tümü ile dökülmüş, boyuna donatıları burkularak eğilmiş, bazı etriyeleri açılmış kolonların, bir diğer deyişle mafsallaşmanın son aşamasında kolonlarında onarımı yapılabilir. Önce bütün paralanmış beton temizlenir. Bu arada kolonun askıya alınmış olması gerekir. Kolon askıya alındığı zaman üzerindeki yük kalkmış olan boyuna donatılar kendiliğinden düzelebilir ya da burkulmuş boyuna donatılar ısıtılarak ya da başka yöntemlerle düzeltilir. Isıtma ile donatı düzeltilmesinde demire uygulanan ısı 500°C den fazla olmamalıdır. Düzeltilen boyuna donatılara yeni donatı parçaları kaynakla eklenir. Bu eklenen yeni donatıların çapları eski düzeltilmiş donatıların aynı olabileceği gibi daha büyük çaplı donatı da konulabilir. Daha sonra bu bölüme yeniden sık aralıklarla ve çift etriye yerleştirilir. Son olarak bu bölüme yüksek dayanımlı beton doldurulur. Betondaki agrega boyutlarının büyük olmaması betonun bütün donatıları sarabilmesi için gereklidir. Kolondaki mafsallaşmanın derecesine göre bu onarım biçiminin çeşitli aşamaları vardır. Eğer boyuna donatı burkulup üzerindeki beton dökülmemiş ise yalnızca parçalanmış beton temizlenip bir miktar daha yeni etriye eklenmesi ve yeniden betonlama ile yetinilebilir. Bu onarım yönteminin etkinliğini belirlemek için yapılan deneylerde kolonların hasar öncesi dayanımlarının yeniden sağlanabildiği laboratuvar koşullarında gözlenmiştir.

Kolonların güçlendirilmesi sırasında kullanılacak betonun agrega boyutları hem eklenen en kesit alanının et kalınlığına hem de boyuna donatılar arasındaki aralığa bağlıdır (Şekil 10.2). Genellikle kullanılan agreganın en büyük tane çapı, bu sözü edilen et kalınlığının yarısından büyük olmamalıdır. Yoksa donatıların arasına beton girmez, donatı ile tam olarak sarılmaz ve donatı ile beton arasındaki kenetlenme (aderans) gerçekleşmez.



Şekil 10.4 Kolon mantolama uygulaması

Şekil-7.1a'da gösterilen biçimde onarım ile kolonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi artarken moment ve aksenal yük taşıma gücünde bir artış olmaz. Buna karşılık Şekil-7.1b'deki gibi bir onarım ile mantolanmış bölüm boyuna donatılarının mevcut kolon boyuna donatıları ile bağlantısı sağlanmış ise kesme kuvveti taşıma gücünün artışı yanında moment ve aksenal yük taşıma gücünde de artışlar beklenmelidir. Ancak moment taşıma gücünü artırmak için kolon güçlendirilmesi öngörülmemektedir. Bu amaç için çerçeve açıklıklarına perde duvar yerleştirme yöntemi kullanılmalıdır.

Tankut ve Ersoy (1990) yaptıkları deneylerde hasarsız kolonların güçlendirilmesinde kolon yükünün askıya alındığı ve onarımın yük altında yapıldığı durumlarda mantolamanın etkinliğinin %90'a ulaştığını, hasarlı kolonlarda yapılan mantolama sonrası yükleme deneylerinde ise kolonun yükünün askıya alınarak yapılan mantolamanın % 80 etkili olduğu, kolonun askıya alınmadan yük altında mantolamanın yapıldığı durumlarda ise etkinliğin ancak % 50 kadar olduğu gözlemlemiştir. Bu açıdan hasarlı kolon onarımının kesinlikle kolonun yükü askıya alınarak yapılması önerilmektedir.

10.5. Betonarme Kolonların “Kanat” Eklenererek Güçlendirilmesi

Kolonlarda uygulanan bir başka güçlendirme biçimi kolonun iki yanına kanat biçiminde perde duvar eklenmesidir. Bu yöntem ile perdenin yatay donatısı kolonun yatay donatılarına kaynaklanmaktadır. Daha sonra betonlama ile eski kolon betonunun yeni perde betonu ile tek parça olarak birlikte çalışması sağlanmaktadır.

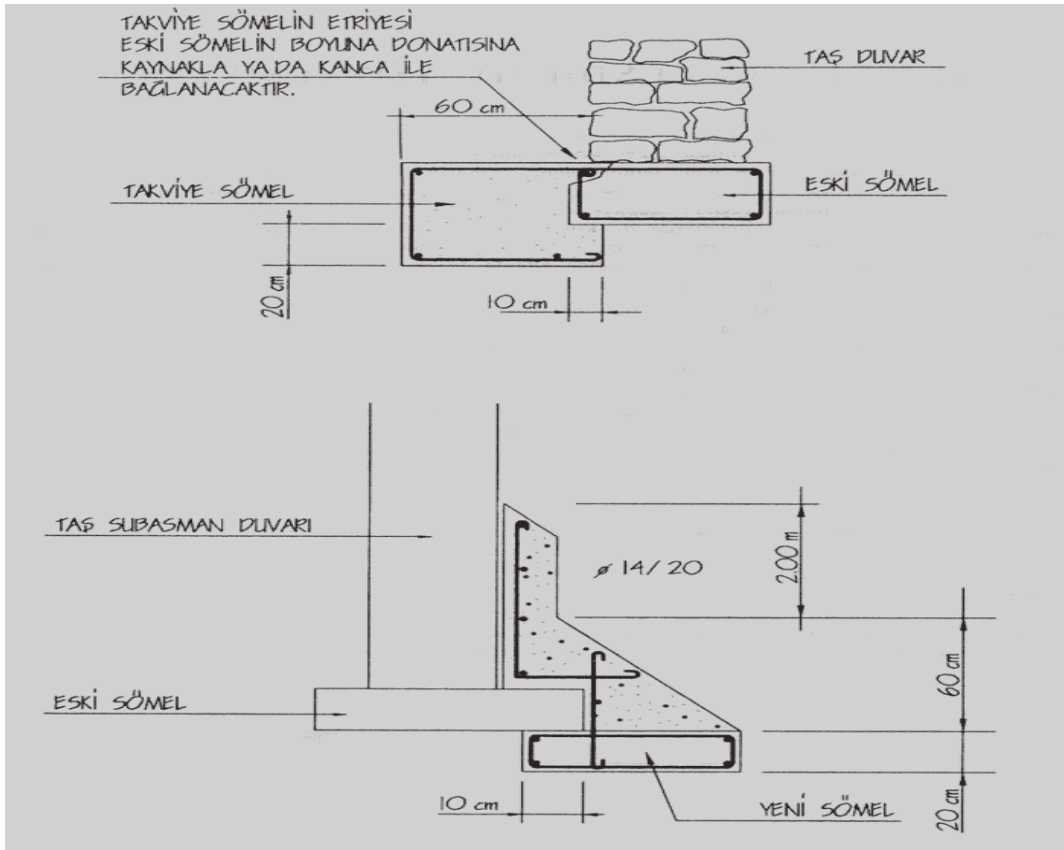
Kanat eklenerek takviye edilmiş kolonlar üzerinde Ohkubo (1991) tarafından yapılan deneylerde kanatsız ve kanatlı kolonun yatay yükler altında davranışı incelenmiştir. Kanat eklenmiş kolonlar ya eğilme etkisinden ya da kesme etkisinden kırılmaktadır. Kolonlara kanat eklenmesi ile hem moment hem de kesme kuvveti taşıma gücü 2-3 kat artmaktadır. İnce olan kanatlardaki basınç bölgesi betonunun etriyelerle kısıtlanması oldukça güç olduğu için genellikle süneklik artışları az olmaktadır. Ancak Bush ve Diğerleri (1986) yaptıkları deneylerde kolona ekledikleri kanatlar, kolon kalınlığında olduğu ve çekirdek betonu etriyeler ve boyuna donatı ile iyi sarıldığı ve de eklenen bölüm ile eski bölümler arasında tam bir yapışma sağladıkları için yüksek süneklik gerçekleşmiştir. Bu nedenle kolonlara kanal eklenerek dayanım ve sünekliği artırılması için:

- Eklenen kanatlarla kolon bir perdeye dönüştürülmeli,
- Kanalların uçlarında özel olarak kısıtlanmış uç elemanları olmalı,
- Kanatların kalınlığı uçlardaki beton çekirdek alanının etriyelerle kısıtlayabilecek kadar olmalı ve kanat çekirdek betonu alanı toplanı kanal alanına yakın olmalıdır.

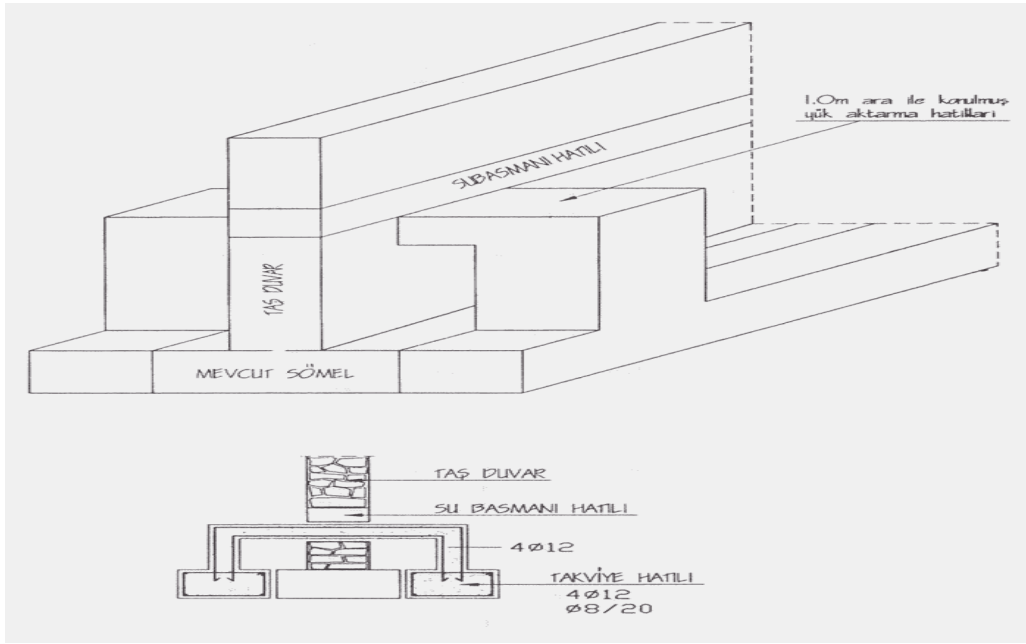
Kanat eklenmiş kolonların davranışı başlangıçta perde duvar davranışına yaklaşmakta daha sonra kanatların hasarının gelişmesinden sonra kanatsız kolonun davranışına yaklaşmaktadır.

BÖLÜM 11. TEMEL GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

Temellerdeki güçlendirme gereği iki ayrı biçimde ortaya çıkmaktadır. Birincisi temel boyutlarının gelen yükleri taşımada, yetersiz olması, diğeri ise yapılm güçlendirilmesi için eklenen yeni elemanlar için yeni temel yapılması ya da mevcut temelin genişletilmesidir. Temellerin güçlendirilmesinde eski ve yeni bölümlerin birlikte çalışması, eski elemandan yeni elemana yük aktarılmasının sağlanması gerekmektedir. Bunu sağlayacak bazı temel ayrıntıları (Şekil 11.1) ve (Şekil 11.2)'de verilmektedir. Bu ayrıntılar tuğla yığma yapıların betonarme temellerinde de kullanılabilir. Subasman duvarı hatılının hemen altında 1.0 metre ara ile konulacak duvara dik yöndeki hatıllarla duvarın yükü eski temelin her iki yanına yapılmış yeni sömellere de aktarılmaktadır.

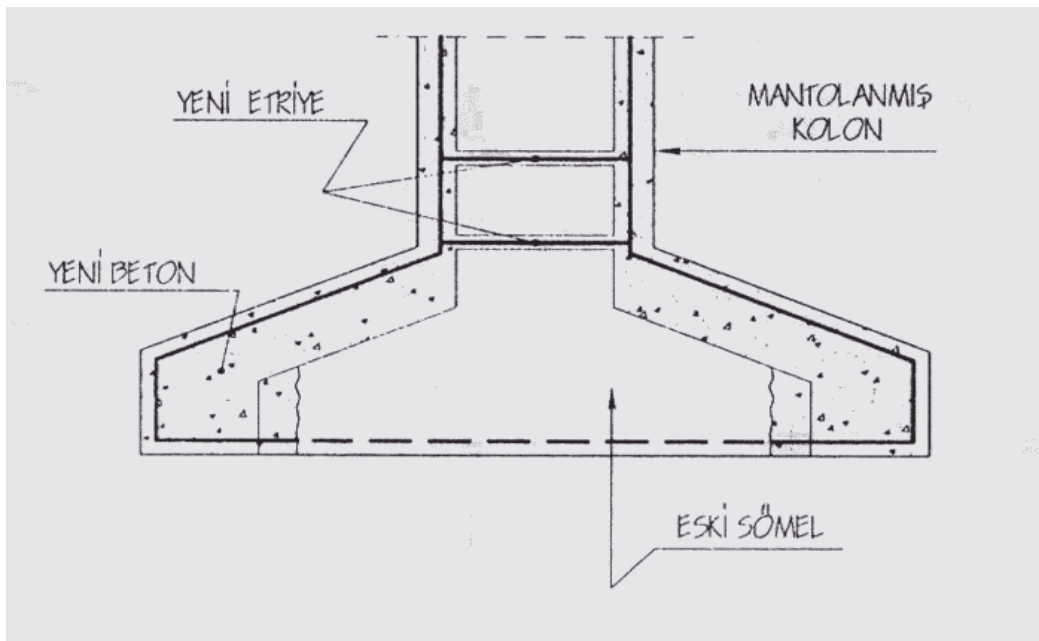


Şekil 11.1 Temel güçlendirme ayrıntıları



Şekil 11.2 Duvar yükünün yeni sömellere aktarılması

Şekil 11.2'de betonarme yapılarda çerçeveler arasında konulmuş ve kolonlarla bağlantısı olmayan bir perde duvarın temel ayrıntısı verilmektedir. Buradan perdenin temeli mevcut kolonların temeli ile bağlantısız yapılmaktadır. Perde duvarın temelini boyutları perdenin bir deprem sırasında taşıyabileceği en büyük eğilme momentini güvenle taşıyabilecek güçte seçilmelidir.



Şekil 11.3 Mantolanmış kolonda sömel takviyesi



Şekil 11.4 Temel genişletilmesi

Şekil 11.3'de mantolanarak genişletilmiş bir kolonun temel takviyesi görülmektedir. Mantolanarak en kesidi genişletilmiş bir kolonun temeli yeterli olabilir, diğer bir deyişle temel kolonun aksine projesine göre yapılmıştır. Bu durumda temeli büyütme gerekliliği olmayabilir. Mantolanarak genişletilen kolonun yeni donatıları eski temelde ankrajlanabilir ya da sömel biraz genişletilerek yeni eklenen donatılar genişletilen bölgede ankrajlanabilir. Sömelin genişletilen bölümüne konulan donatılar eski bölümün donatılarına kaynakla bağlanmalıdır. Bu arada genişletilen bölümün 10 cm kadar eski sömelin altına girmesi uygun olacaktır.

Eklenecek perdelerden gelen depremde gelecek yatay kuvvetlerin temelde yapacağı dönme ve temele aktarılacak gerilmelerin, kolonlarda gelen düşey yüklerin karşı yöndeki baskı etkisi ile azalacağı sanılmaktadır. Kolonlardan gelen düşey yük momentin yaratacağı dönmeye karşı koyacaktır.

BÖLÜM 12. SONUÇ VE ÖNERİLER

12.1. Sonuçlar

- Bu çalışmada elde edilen bilgiler sonucunda, yapının taşıyıcı sistemi ve meydana gelen hasarın tipine göre güçlendirme metodu seçiminin önemli olduğu ve bu doğrultuda bir güçlendirme yöntemine karar verilmesinin güçlendirilmiş yapının performansına çok etkisi olduğu kanısına varılmıştır.
- Çalışmada, öncelikle binaların depremlerde hasar görmesinin ve yıkılmasının nedenleri araştırılmıştır. Yapılan araştırmalarda yapıların depremlerde çeşitli şiddetlerde zarar görmesinin yapı zemininin seçiminde, projelendirilmesinde, malzeme seçiminde ve yapım esnasındaki işçilik hatalarından kaynaklandığı saptanmıştır.
- Araştırmada binanın deprem etkilerinde nasıl davrandığı konusu araştırılmıştır. Betonarme yapıların deprem karşısındaki davranışını anlamayabilmek için, bütünü meydana getiren parçaların davranışının bilinmesi gerekmektedir.
- Yapının güçlendirilme yöntemleri genel olarak sistem ve elaman seviyesinde ele alınabilir. Sistem bazında güçlendirme genelde yeni perdeler eklemek, bölme duvarları güçlendirmek, ya da çelik levhalar eklemek suretiyle yapılmaktadır.
- Yapının durumuna ve güçlendirme stratejilerine bağlı olarak çeşitli şekillerde uygulanan bu yöntemlerin seçiminde, yapının kullanım fonksiyonları, yeni elemanların yarattığı ilave zorlamalar ve mevcut elemanlar ile yeni elemanların birlikte çalışmasını sağlayacak detayların üretilmesi hususları göz önünde bulundurulmalıdır.

- Eleman seviyesinde güçlendirme yöntemleri altında, kolon ve kiriş elemanlar ile düğüm noktalarının güçlendirilmesi ele alınmıştır. Söz konusu elemanda da betonarme manto ile lifli polimerler (FRP) ile güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler giderilmesi istenen zayıflığa göre çeşitli şekillerde tatbik edilmektedir.
- Betonarme manto ile güçlendirilmiş elemanlarda kapasite ve enerji yutma kapasitesi anlamında önemli gelişmeler elde edilmiştir. Yapı kolonunun sünenliğinin geliştirilecek olması durumunda manto eleman boyunca, sünekliliğinin yanında dayanımının da geliştirilmesinin gerektiği hallerde ise boyuna donatıların kat geçişlerinin bindirme boyu kadar uzatılması suretiyle uygulanmalıdır. Mantolamada önemli olan diğer bir husus da donatıların kenetlenmesi olduğu belirlenmiştir.
- FRP levhalar ile gerçekleştirilen güçlendirme yöntemleri de başarılı sonuçlar sunmaktadır. Plakalar ile mevcut eleman arasına aderans sağlayıcı harç sürerek tatbik edilen bu yöntem uygulama sekline göre çeşitli zayıflıklara karşı etkili olmaktadır. Ayrıca, FRP veya CFRP ile güçlendirilen elemanlarda oldukça bol miktarda eğilme ve kesme kapasitesi artışı sağlanabildiği gibi süneklilik problemlerini de hafifletmek mümkündür.

12.2. Öneriler

- Yapılan araştırmada depremde hasar gören yapıların onarılmasında ve güçlendirilmesinde birçok yöntem olduğu, bu yöntemlerden hangisinin seçilmesinin gerektiğini bilmek için yapının depremdeki davranışını iyi analiz etmek gerekir.
- Güçlendirme projelerinin hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken husus: projelendirilmesi öncesinde yapının birebir mimari ve statik rölevesinin çıkarılması, donatı tespitinin sağlıklı yapılması, olası korozyon durumunun göz önünde bulundurulması, yüklemelerin doğru yapılması ile birlikte mimari planı bozmayacak, yapıda en az tahribat meydana getirecek şekilde, simetrik bir güçlendirme elemanı yerleşimi yapılmalıdır.

- Taşıyıcı sistemin deprem yüküne en çok maruz kalan kısımları kolon-kiriş birleşim noktalarıdır. Özellikle 1999 İzmit depreminde ağır hasar gören ve kullanılamaz hale gelen yapıların neredeyse tamamında bu bölgelerde eksik donatı, devamsız etriye düzeni ve etriye sıklaştırılması eksikliği tespit edildi. Bu yüzden, kolon-kiriş birleşim noktalarında, donatının düzenine, kenetlenmenin sağlanmasına ve kolonda etriye sıklığına dikkat etmek gerekir. Etriye sıklaştırması, kolon-kiriş birleşim noktasına yakın bölgelerde hem betonun dayanımını hem de sünekliğinin artmasını sağlar.
- Yapının ilave perdelerle güçlendirilmesine karar verilmişse, güçlendirilmiş yapının eski kolon ve kirişlere isabet eden uç momentlerinin, düşük mukavemetli beton kesitler tarafından taşınabileceği gösterilebilmelidir. Aksi takdirde, bu güçlendirme ile ilave kesit zorlamaları altında kalan kolon ve kiriş elemanlarının mutlak suretle yeterli dayanıma gelebilmesi için frp, manto veya çelik plaka veya korniyerlerle takviye edilmesi gerekmektedir.
- Gerek inşaat sektöründeki yenilikler gerekse de özellikle güçlendirme sektöründe geliştirilen inovatif yöntemler dikkatle takip edilip, her bir metodun yapının genel sistemi ve yapı elemanları bazındaki başarıları irdelenmelidir.

KAYNAKLAR

ACI COMMITTEE 440 REPORT,"Guide for the Design and Strengthening of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures." , Ekim 2001.

ACI COMMITTEE 440 REPORT,"Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", Ekim 2001.

AKMAN, M.S., "Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri" İstanbul, Aralık 2000.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi 1997.

AKGÖNEN, A.R.İ. "Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve onarım-güçlendirme tekniklerinin incelenmesi." Y.Lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2005.

AKGÜN, A., Deprem etkisindeki betonarme yüksek binaların farklı zeminlerde incelenmesi. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1997.

AKYILDIZ, H. , Betonarme bir yapının güçlendirme öncesi ve sonrası yapı performansının incelenmesi. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2007.

ANONİM Tekno Yapı Kimyasalları. <http://www.teknoyapi.com.tr>, 2009a.

ANONİM <http://www.deprem.gov.tr>, 2009b.

ANONİM, <http://www.megainsaatvemimarlik.wordpress.com>, 2009c.

ANTONOPOULOS, C. P. and TRIANTAFILLOU, T. C., "Experimental Investigation of FRP-Strengthened RC Beam-Column Joints", Journal of Composites for Construction, ASCE, 7(1), 39-49, 2003.

ARSLAN, B., “Bir okul yapısının depreme karşı güvenliğinin sağlanmasında iki ayrı güçlendirme sisteminin irdelenmesi.” Y.Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2003.

BAYÜLKE, N., "Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar" Teknik Yayınevi, Ankara, 1998.

CELEBİ, M., and PENZIEN, J., “Experimental investigation into the seismic behavior of the critical regions of reinforced concrete components as influenced by moment and shear.” Rep. UCB/EERC-73/4, Earthquake Engrg. Res. Ctr., University of California, Berkeley, Calif., 1973.

CELEP, Z., KUMBASAR, N. ,“Örneklerle Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş. İstanbul. 1992.

CELEP Z., KUMBASAR, N., “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 2000.

COOK, R.A., KUNZ, J., FUCHS, W., and KONZ, R. Behaviour and design of single adhesive anchors under tensile load in uncracked concrete. ACI Structural Journal, ACI, 95, 1, 9-26, 1998.

ÇİZMECİOĞLU, M.F.T., “Betonarme okul binalarında depreme karşı güçlendirme sonrası kolon+perde kesit alan oranlarının karşılaştırılması.” Y.Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2007.

Deprem Yönetmeliği. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, 2007.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar. Deprem Yönetmeliği, 2007

DEMİR, H. “Depremden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Hasarı İle İlgili Çalışmalar ve İlkeler” 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 1993.

DURAKOĞLU, S., “Depremde hasar görmüş prefabrik betonarme yapıların onarım ve güçlendirme yöntemleri.” Y.Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 2006.

DURMUŞ, H.Y., Betonarme kirişlerin CFRP plakalarla güçlendirilmesinde ankraj etkisi üzerine bir araştırma. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2004.

ERDEM, M.F. ,“ Perde duvar ve betonarme mantolama yöntemleriyle güçlendirilen binalarda güçlendirme maliyetinin incelenmesi Akşehir İHL örneği”. Y.Lisans tezi, Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü, 2008.

Fib Bulletin No.14, Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Technical report, 2001.

GÜROL, K.B., “Deprem dayanımı yetersiz betonarme binaları güçlendirme yöntemleri.” Y.Lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2007.

GÜZELCE, K., Depremelerin yapılarda meydana getirdiği hasarlar ve takviye yöntemleri. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1999.

JİRSE, J.O., 'Behaviour of Epoxy-Grouted Dowels and Bolts Used for Repair or Strengthening of RC Structures Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering paper no:5-371, 1988.

KİYATSIL, S., “Depremde Hasar Gören Yapılar ve Onarım Güçlendirme Sorunları” Sakarya Üniversitesi Yüksek Lisans Bitirme Tezi.Eylül 2001.

KORKMAZ, G., Betonarme kirişlerin FRP malzeme ile güçlendirilmesi üzerine bir araştırma. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2005.

OHKUBO, M., (1991) 'Current Japanese System on Seismic Capacity and Retrofit Techniques for existing end Post Earthquake Damage inspection and Restoration Techniques' U. of California San Diego La Jolla, Report SSRP-91 /02. May 1991

PASHİNA, K.A. and PASHİNA, B. J. Concrete International, 59, 1989.

RASHEEDUZZAFAR, F. H. D. and GAHTANİ, S. G., Concrete International, 48, 1985.

SAYIN, B., “ Mevcut betonarme yapıların yeni deprem yönetmeliğine göre projelendirilmesi ve güçlendirme teknikleri.” Y.Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2003.

Seminar Course Manual / ACI SCM-16 (87), 17, 1987.

TANKUT, T. and ERSOY, U., "Rehabilitation of Concrete Structures - Column Repair", Proceedings, International Conference on Concrete Structures and Materials, Tehran, , pp. 400-415, 1990.

TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Şubat 2000.

TUNA, M.E., “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” Kasım 2000.

YILDIRIM, C., “ 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre mevcut bir yapının performansının belirlenmesi ve bir güçlendirme önerisi”. Y.Lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan ATAY, 1974 yılında Adıyaman 'da doğmuştur. İlköğretimini Adıyaman Namık Kemal İlkokulu'nda bitirdikten sonra ortaokul ve lise eğitimini Adıyaman Lisesi'nde tamamlamıştır. 1995 Yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğretime başlamış, bir yıl İngilizce hazırlık eğitiminden sonra 2000 yılında aynı okuldan inşaat mühendisi olarak mezun olmuştur. 2001–2002 öğretim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Mezun olduğu tarihten itibaren inşaat sektöründe sayısız binanın statik ve uygulama projelerine başarıyla imza atmaktadır. Ayrıca onlarca binanın deprem tahkiklerini ve güçlendirme projelerini hazırlamıştır.