

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

139836

BETONARME YAPILARDA ONARIM VE
GÜÇLENDİRME VE MALİYET ANALİZİ

- 139836 -

İnş. Müh. Nihan DOĞRAMACI

FBE İnşaat Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. İbrahim EKİZ

Prof. İbrahim Ekiz
Yrd. Doç. Dr. Sema ALACALI
Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK
17/03/2003

İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Hasar Nedenleri.....	1
1.1.1 Genel.....	1
1.1.2 Projelendirme Hataları.....	2
1.1.3 Yapım Kusurları.....	2
1.1.4 Kullanım, Kullanım Amacının Değişimi.....	3
1.2 Güçlendirme Esasları.....	3
1.2.1 Genel Değerlendirme.....	3
1.2.1 Zemin Koşullarının Belirlenmesi.....	4
1.2.3 Malzeme Özelliklerinin Saptanması.....	4
1.2.4 Taşıyıcı Sistem Rölevesinin Çıkarılması.....	5
1.2.5 Sistem Hesap ve Kontrolü.....	5
1.2.6 Güçlendirme Çalışması.....	5
2 BETONARME YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME MALZEMELERİ.....	7
2.1 Çimento Esaslı Onarım Ve Güçlendirme Malzemeleri.....	9
2.1.1 DSP.....	9
2.1.2 MDF Çimento.....	10
2.1.3 Çelik Tel Donatılı Betonlar.....	11
2.1.4 RPC.....	12
2.1.5 SIFCON.....	16
2.1.6 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar.....	16
2.2 Bazı Onarım ve Güçlendirme Örnekleri.....	18
2.2.1 Reaktif Pudra Betonu Kullanılarak Yapılan Onarım Ve Güçlendirme.....	18
2.2.2 SIFCON İLE Onarım ve Güçlendirme.....	18
2.3 Polimer İle Modifiye Edilmiş Çimento Esaslı Malzemeler.....	20
2.4 Polimer Malzemeler ,Polimer Harçları Ve Betonları.....	21
2.5 Lif Takviyeli Polimer Kompozitler.....	24
2.5.1 Malzeme Özellikleri.....	24
2.5.1.1 Lifler.....	24
2.5.1.2 Matriks (sürekli faz)	24
2.5.1.3 Kompozit.....	25
2.5.2 LTPK'ın Üretim Ve Uygulaması.....	26
2.5.2.1 Kolonların Güçlendirilmesi.....	27

2.5.2.2	Kiriş Ve Döşemelerin Güçlendirilmesi.....	28
3	ONARIM YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI.....	31
3.1	Eski Ve Yeni Betonun Kaynaştırılması.....	31
3.1.1	Basınç Kuvvetlerinin Aktarımı.....	32
3.1.2	Kesme Kuvveti Etkisi Altında Kaynaşma.....	33
3.1.3	Kama Donatısı İle Kaynaştırma.....	33
3.1.4	Epoksi Reçineleri İle Kaynaştırma.....	35
3.2	Donatının Betona Ankrajı.....	35
3.2.1	Ankrajların Özellikleri.....	35
3.2.1.1	Kırılma Biçimleri.....	37
3.2.1.2	Ankraj Derinliği.....	39
3.2.1.3	Delik Derinliği.....	39
3.2.1.4	Çatlaklı Betonda Ankraj.....	41
4	BETONARME KİRİŞLERİN GÜÇLENDİRİLMESİ.....	43
4.1	Moment Artıran Güçlendirme.....	43
4.2	Kirişlerde Kesme Kuvveti Taşıma Gücünün Artırılması.....	46
4.3	Çelik Levha Yapıştırma İle Güçlendirme.....	47
4.4	Betonarme Kirişlerin Epoksi İle Güçlendirilmesi.....	49
4.5	Eğilme Dayanımını Artıran Güçlendirme.....	49
4.6	Kesme Dayanımını Artıran Güçlendirme.....	51
4.7	Uygulama	52
4.8	Kirişlerin Güçlendirilmesi İle İlgili Ayrıntılar.....	52
5	BETONARME KOLONLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ.....	54
5.1	Güçlendirme Yöntemleri.....	54
5.2	Mantolama.....	54
5.2.1	Eski Ve Yeni Betonu Kaynaştırma.....	54
5.2.2	Donatıların Bağlanması Ve Ankrajı.....	55
5.2.3	Mantolama Kolon İle Kolon Güçlendirmesi Üzerine Öneriler.....	58
5.2.4	Betonarme Kolonların “Kanat” Eklenecek Güçlendirilmesi.....	61
5.3	Çelik Kafes İçine Alınarak Güçlendirme.....	64
5.4	Kolonların Güçlendirme Yöntemlerinin Etkinliği.....	66
6	PERDE DUVARLA GÜÇLENDİRME.....	68
6.1	Çerçeveleri Doldurma Yöntemleri.....	70
6.1.1	Donatısız Yığma Duvarlarla Doldurma.....	70
6.1.2	Donatılı Yığma Duvarlarla Doldurma.....	71
6.1.3	Yerinde Dökme Perde Duvarla Dolgu.....	72
6.1.4	Perde Duvarların Kalınlaştırılması.....	75
6.1.5	Hazır Dökülmüş Panolarla Dolgu.....	76
6.1.6	Çelik Diyagonal Elemanlarla Güçlendirme	77
6.2	Dolgu Duvarla Güçlendirmenin Etkinliği.....	79
6.3	Çerçevelerin Perde Duvara Dönüşmesinin Yaratacağı Sorunlar.....	83

7	TEMEL GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	84
8	DEPREMDE HASAR GÖREN YAPILARIN GÜÇLENDİRME AŞAMALARI.....	88
8.1	Zemin Çalışmaları.....	88
8.2	Malzeme Tespit Çalışmaları.....	88
8.3	Mimari Ve Statik Röleve Hazırlanması.....	89
8.4	Hasar Değerlendirme Yöntemi.....	89
8.5	Güçlendirme İlkeleri Ve Projeleri.....	93
8.5.1	Temel Güçlendirme İlkeleri.....	93
8.5.1.1	Güçlendirme Perdeleri.....	93
8.5.1.2	Kolonların Mantolaması.....	94
8.5.1.3	Temel Takviyesi.....	94
8.6	Metraj, Birim Fiyat Ve Keşifler.....	95
8.6.1	Metraj.....	95
8.6.2	Bina keşifleri.....	95
8.7	Maliyet Analizlerinde İnce İşlerin Maliyete Etkisi.....	103
8.8	Sonuçlar.....	107
	KAYNAKLAR.....	109
	ÖZGEÇMİŞ.....	111

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Beton performansı ve servis ömrü arasındaki ilişki	8
Şekil 2.2 Portland çimentosundaki topraklanmış taneler	9
Şekil 2.3 Normal ve DSP esaslı betonlar için basınç altında gerilme şekil değiştirme eğrisi	10
Şekil 2.4 MDF ve normal çimento hamurunun eğilme dayanımı	11
Şekil 2.5 Çatlak köprülenmesine farklı lif boyutlarının etkisi	12
Şekil 2.6 Reaktif pudra betonların ve normal betonların granülometri eğrilerinin karşılaştırılması	13
Şekil 2.7 Teorik maksimum tane dizilişi	14
Şekil 2.8 Normal harç ve RPC 200'ün eğilme davranışı	15
Şekil 2.9 Normal harcın ve RPC 200'ün kırılma enerjileri	16
Şekil 2.10 Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri	17
Şekil 2.11 Bingham Modeli ile Newton Sıvı'sının davranışları	17
Şekil 2.12 Çatlamış betonarme kirişin Reaktif Pudra Betonuyla güçlendirilmesi	18
Şekil 2.13 Kirişin kayma kapasitesinin artırılması için SIFCON ceket uygulanması	18
Şekil 2.14 Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kirişlerin tipik davranışı, Yük - sehim eğrisi	19
Şekil 2.15 Çatlaklara epoksi enjeksiyonu	21
Şekil 2.16 Onarım malzemesinin alt betona aderansını ölçüm şekli ve kırılma türleri	23
Şekil 2.17 Kolonlarda kompozitlerle yapılan güçlendirme şekilleri	28
Şekil 2.18 LTP kompozitlerle güçlendirilmiş betonarme kirişlerde göçme mekanizmaları	29
Şekil 2.19 Kirişte oluşan eğilme- kayma çatlağının gelişerek plak -beton arakesitine ulaşması	29
Şekil 2.20 Kirişlerde uyg. kompozit plakların uçlarının ayrılmasının önlenmesine yönelik örn	30
Şekil 2.21 LTP levha ve örgülerin kirişlerin kaymaya karşı güçlendirilmesinde uygulama şek.	30
Şekil 3.1 Bozulmuş Beton Onarımının Boyutları	31
Şekil 3.2 Eski ve yeni betonun kaynaşmasının basınç etkisi altında şematik etkinliği	32
Şekil 3.3 Eski ve yeni betonların kaynaştırma yöntemleri	33
Şekil 3.4 Eski ve yeni beton arasındaki kama donatısının yatay kuvvet aktarma biçimleri	34
Şekil 3.5 Eski ve yeni betonu kaynaştırmak için kama donatısının kullanılması	34
Şekil 3.6 Ankrajların yüklenme biçimleri	36
Şekil 3.7 Ankrajların yük aktarma mekanizmaları	36
Şekil 3.8 Ankraj bulonunun kuvvet aktarma şeması	37
Şekil 3.9 Ankrajların eksenel çekme yükü altında kırılma biçimleri	37
Şekil 3.10 Ankrajların eksenel çekme yükü altında kırılma biçimleri	38
Şekil 3.11 Ankrajların kesme yükü altında kırılma biçimleri	38
Şekil 3.12 Ankrajların boy ve sayısının dayanım üzerinde etkisi	39
Şekil 3.13 Ankrajların kırılma biçimi ve bulon aralıkları	40
Şekil 3.14 Gruplu ankraj ve kama için boyut koşulları	41
Şekil 3.15 Kolon boyuna donatı ankraji	41
Şekil 4.1 Kiriş güçl. eski ve yeni donatının v ve z demirleri ile birbirine bağlanması	43
Şekil 4.2 Eski ve yeni donatıların birbirine rijit ve esnek olarak bağlanması	44
Şekil 4.3 V Demirleri ile en kesit güçlendirmesinde ek etriyelerin kaynakla bağlanması	44
Şekil 4.4 Kiriş güçlendirilmesinde boyuna donatıların ankraj biçimleri	45
Şekil 4.5 Kiriş mesnetlerinde negatif moment kapasitesini artırmak için güçlendirme	46
Şekil 4.6 Kirişlerin etriyelerle güçlendirilmesi	46
Şekil 4.7 Kirişlerin etriyelerle güçlendirilmesi	47
Şekil 4.8 Çelik levha yapıştırma ile güçlendirme	48
Şekil 4.9 Epoksili dokuma ile güçlendirilmiş kirişlerin kırılma biçimleri	50
Şekil 4.10 Epoksili dokumanın kirişlere uygulanma biçimleri	50
Şekil 4.11 Kesme dayanımını artırmak için dokuma uygulama biçimleri	51

Şekil 4.12 Eski ve yeni betonu kaynaştırma yöntemleri.....	53
Şekil 4.13 Kirişin enkesit ve donatı alanının artırılması.....	53
Şekil 5.1 Çiroz etriyelerle kolonda eski ve yeni betonu kaynaştırma.....	55
Şekil 5.2 Kolonun eski ve yeni donatılarının birbirine rijit ve esnek olarak bağlanması.....	55
Şekil 5.3 Yeni eklenen kolon boyuna donatılarının kat düzeyinde eklenmesi.....	56
Şekil 5.4 Yeni eklenen donatılarının kolon üst başında ankrajı.....	56
Şekil 5.5 Eklenen boyuna donatıların mekanik ankrajı.....	56
Şekil 5.6 Yeni ekl. bölümdeki etriyelerin betonu ve boyuna donatıyı sıkı sarması için ayr.....	57
Şekil 5.7 Kolon mantolanmasında çelik hasır kullanılması.....	58
Şekil 5.8 Mafsallaşmış kolon uçlarının onarımı.....	59
Şekil 5.9 Moment ve kesme kapasitesi için mantolama yöntemleri.....	60
Şekil 5.10 Kat düzeyinde bindirme boyları yetersiz olan kolon boyuna donatılarının kaynakla eklenen donatılarla sürekli duruma getirilmesi.....	61
Şekil 5.11 Betonarme kolonun perde duvara dönüştürülerek güçlendirilmesi.....	62
Şekil 5.12 Kolonların kanat eklenerek güçlendirilmesi.....	63
Şekil 5.13 Kanat ekleme ile güçlendirmenin etkinliği	63
Şekil 5.14 Kanatla güçlendirmenin yatay yük altında davranış etkisi.....	64
Şekil 5.15 Betonarme kolonun çelik kafesle güçlendirilmesi.....	65
Şekil 5.16 Betonarme kolonun çelik lama kafesle güçlendirilmesi.....	65
Şekil 5.17 Değişik kolon güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırılmalı etkinliği.....	66
Şekil 6.1 Betonarme kolon ve çerçevelerin yatay yüklere karşı güçlendirme yöntemleri.....	69
Şekil 6.2 Perdelerin çerçeveler ile birlikte çalışması için uygun ayrıntılar.....	71
Şekil 6.3 Eklenen perdenin donatısının mevcut kolon ve kirişe bağlanması.....	71
Şekil 6.4 Perde duvarların kolon ve kirişlere bağlantıları.....	72
Şekil 6.5 Perde duvarı betonlama yöntemleri.....	74
Şekil 6.6 Çerçevenin yanına perde duvar eklenmesi.....	75
Şekil 6.8 Perde duvarın kalınlaştırılarak güçlendirilmesi.....	76
Şekil 6.9 Hazır panoların kolon ve kirişe bağlantısı	76
Şekil 6.10 Çevre açıklığına kaynaklı diyagonal çelik elemanlar konulması.....	78
Şekil 6.11 Çerçeve açıklığı bulonlu çelik diyagonal elemanlar yerleştirilmesi.....	78
Şekil 6.12 Çelik diyagonal elemanla güçlendirme pencereleri kapanmayan diyagonal yerl.....	79
Şekil 6.13 Çelik çerçeveden betonarme elemanlara kuvvet aktarma ayrıntıları.....	79
Şekil 6.14 Çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon gücü üzerindeki etkileri.....	80
Şekil 6.15 Eski ve yeni duvar kaynaştırma yöntemleri	82
Şekil 6.16 Betonarme çerçevenin değişik çelik diyagonalı çerçeve ile güçlendirilmesinin etkinliği.....	82
Şekil 7.1 Temel güçlendirme ayrıntıları.....	84
Şekil 7.2 Duvarların yükünün yeni takviye sömellere aktarılması	85
Şekil 7.3 Takviye perde duvar temel ayrıntıları.....	85
Şekil 7.4 Münferit kolon sömelin genişletilerek takviyesi.....	86
Şekil 7.5 Sömel takviyesi.....	87
Şekil 8.1 Örnek hasar tespit formu	91
Şekil 8.2 Hasar röleve notasyonu	92
Şekil 8.3 Örnek takviye kalıp planı	96
Şekil 8.4 Örnek tipik betonarme perde detay çizimi	97
Şekil 8.5 Örnek tipik kolon mantolama detay çizimi	98
Şekil 8.6 Örnek tipik temel detay çizimi	99
Şekil 8.7 Yapı alanı – güçlendirme/yeniden yapım oranı.....	107

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 NDB- YDB –RPC nin karşılaştırılması.....	14
Çizelge 8.1 Yapı Hasar Durumu ve Onarım Sonuç Listesi.....	100
Çizelge 8.2 Depremde Hasar Görmüş Yapıların Takviye ve Güçlendirme İşi Maliyeti.....	101
Çizelge 8.3 SSK hastane binası güçlendirme/yeniden yapım oranı.....	104
Çizelge 8.4 Güven Apt. güçlendirme/yeniden yapım oranı.....	105
Çizelge 8.5 Okul güçlendirme/yeniden yapım oranı.....	106
Çizelge 8.6 Yapı Alanı –Hasar Puanı – Güç./Yeniden Yapım Oranı Karşılaştırması.....	108



ÖNSÖZ

Önemli bir deprem kuşağında yer alan ülkemizde oluşan depremlerde bir çok yapı çeşitli düzeylerde hasar görmekte veya yıkılmaktadır. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999' da Marmara bölgesini etkileyen depremler, yol açtığı mal ve can kayıplarıyla toplumu derinden etkilemiştir. deprem ve yangın gibi afetlerin dışında da yapılar hasar görmekte veya ekonomik ömürlerini tamamlayarak kullanım dışı kalmaktadır. Bu nedenle yapılarda meydana gelen hasarların belirlenmesi, hasarlı yapıların incelenmesi, çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemlerinin kullanılması önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, ülkemizdeki yapıların büyük bir bölümünü oluşturan betonarme yapıların onarım ve/veya güçlendirme yöntemleri hakkında genel bir inceleme yapılmıştır. Bu yöntemlerin etkinliği ve yapılacak onarım ve güçlendirme işleminin maliyeti ile onarım ve güçlendirme esnasında yapıya verilen hasarın düzeltilmesi (parke, fayans, boya vb. maliyetler) dahil toplam maliyetle yapının tekrar yapılması halindeki analizleri incelenmiştir.

Bu çalışmada bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. İbrahim EKİZ'e çalışmalarımda fikir veren, hazırlanmasına ve yürütülmesinde yardımcı olan sayın Öğr. Gör. Dr. Ali KOÇAK'a , tez çalışmamda kullandığım verilerin teminin de PROMER A.Ş ve SSK İnşaat emlak daire başkanlığına ,tez çalışmalarım sırasında bana sabır gösteren aileme katkıları ve yardımlarından ötürü teşekkür ederim.



ÖZET

Betonarme elemanlar ekonomik ömürleri süresince deprem, yangın,korozyon gibi harici veya aşırı yükleme, kullanım amacının değişmesi gibi etkenler altında hasara uğrayabilirler. Bu hasarlar etkinin şiddetine göre kılcal çatlaklardan göçmeye kadar geniş bir yelpazede dağılırlar.

Yapısal hasarlara yapılacak müdahale öncesi hasarı oluşturan faktörler incelenmeli, gerekli analizler yapılmalı,hasarı ve onu oluşturan faktörleri ortadan kaldıracak çözümler araştırılmalıdır. Öncelikle hasarın dercesi tespit edilmeli,doğru teşhis konulup yürürlükteki çerçevesinde problem ortadan kaldırılmalıdır.

Öncelikle hasarın ve hasar düzeyinin belirlenmesi, yapı hakkında verilecek kararın (onarım, güçlendirme,yıkım vs..) doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Oluşan hasarların onarımı ve güçlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizdeki yapıların büyük bir bölümünü oluşturan betonarme yapıların onarım ve/veya güçlendirme yöntemleri hakkında genel bir inceleme yapılmıştır. Bu yöntemlerin etkinliği ve yapılacak onarım ve güçlendirme işleminin maliyeti ile onarım ve güçlendirme esnasında yapıya verilen hasarın düzeltilmesi (parke, fayans, boya vb. maliyetler) dahil toplam maliyetle yapının tekrar yapılması halindeki analizleri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler : onarım, güçlendirme, hasar, maliyet

ABSTRACT

The reinforced elements are under attack of earthquake, fire corrosion damages and overloading changing usage aim etc... during their lifetime. These damages are changes in a wide range, from microscopic cracks to totally collapses, due to the level of magnitude of effects.

Before repairing and strengthening works, detailed investigations should be made and the solution must found both for damages and its causes. At first the level of the damage should determined correctly and solutions must be prepared according to the codes.

Especially determining the level and kind of damage is so important for the right decision (repair, strengthening, collapse etc...). various repairing& strengthening methods are used for the structural damages.

In this study, we make a general investigation about repair and strengthening methods of reinforced constructions annd we investigate the effectivity of this methods and make comprasiin analyses repair and strengthening costs to whole construction costs which take damages at earthquakes.

Keywords: repair, strength, damage, cost



1. GİRİŞ

En yaygın inşaat malzemeleri arasında başta gelen betonarme, ekonomik olması ve kolay uygulanabilmesi nedeni ile yaygın/yoğun olarak kullanılmaktadır. Uygun olmayan kullanım şekilleri/teknikleri sonucu sistemde yetersizlikler ortaya çıkmakta, depremlerde ağır hasarlar ve yıkımlar yaşanmaktadır. Ülkemizde yapıma gerekli özen gösterilmediğinden, deprem olmadan da hasar sorunlarıyla karşılaşmaktadır.

Onarımın, ortaya çıkan sınırlı hasarın giderilmesi için yapılmasına karşılık güçlendirme, hasar olmadan da sistemin tümünün yada belli elemanlarının taşıma gücünü artırmak amacıyla yapılır. Bununla birlikte onarım, iyileştirme ve güçlendirme iç içe girebilen işlemlerdir, genel olarak güçlendirmeye dönüşmektedir.

Yapı hasarları, afet sonrası tespitler dışında ancak yapı sahibinin, onarım ve iyileştirmeye yönelik başvurusuyla saptanabilmektedir. Deprem sonrası bu konuda da kargaşa yaşanmış, hasar düzeyini azaltma (orta→az, ağır→orta vb) çabaları sürüp gitmiştir; bunun sonunda yapılması zorunlu iyileştirme ve güçlendirme çalışmaları da sınırlı, gerekenin altında kalmıştır.

1.1 Hasar Nedenleri

1.1.1 Genel

Betonarme sistem elemanlarında ortaya çıkan yetersizlikler, aşırı çatlak ve deformasyonlar şeklinde belirmekte, başlıca aşağıdaki nedenlere dayanmaktadır:

- Projelendirme hataları,
- Yapım ve malzeme kusurları,
- Kullanım, kullanım amacının değişmesi

Bu nedenlerin bir yada birden çoğunun bir araya gelmesi hasarla, daha da kötüsü göçme ile sonuçlanmaktadır; bu durum her depremde olduğu gibi yaşanan son depremlerde de çarpıcı biçimde ortaya çıkmıştır.

1.1.2 Projelendirme Hataları

En yaygın projelendirme hatası, uygun olmayan taşıyıcı sistem seçimi ve donatı düzenlenmesi şeklinde göze çarpmaktadır. Bunun sonucu bir kısım yada tüm taşıyıcı sistem elemanları, var olan yada olası (deprem) etkilerini taşıyamayacak duruma düşmektir. Yaşanan son depremler tasarım hatalarını açık biçimde ortaya çıkarmıştır:

- Çıkmalı katlarda bağlantısız kolon durumlarıyla sıkça karşılaşılmakta, böylesi köşe kolonlar bu açıdan daha da elverişsiz bir durum yaratmaktadır.
- Kat içinde devam etmeyen ve dar kolonlara oturan konsol kirişler sorunlara yol açmaktadır.
- Konsol ucunda kolonlar alabildiğine olumsuzdur.
- Aşırı dışmerkez ve kat köşelerinde asimetrik yerleştirilen perde duvarlar göçmelere yol açmıştır.
- Kısa kolonlar ve yumuşak katlar başta gelen hasar nedeni olmuştur.
- Özellikle çok katlı konut binalarında aşırı dolaylı yük aktarımları/kiriş kirişe mesnetlenmeler uygun değildir.
- Sisteme etkiyen/etkimesi olası yüklerin eksik alınması, önemli bir projelendirme hatasıdır; deprem etkilerine karşı yetersiz projelendirme yoğun hasarlara sebep olmuştur.
- Temel zemininin özelliklerini tam belirlemeden boyutlandırılan yetersiz temeller üst yapıda büyük sorunlara yol açmıştır; proje onay makamlarınca zemin incelemesinin zorunlu tutulmaması ve yaptırılmaması, son depremlerde diğer bir hasar nedeni olarak ortaya çıkmıştır.

Taşıyıcı sistemin uygun seçilmesinin pek çok sorunu ortadan kaldıracağı açıktır. Uygun olmayan, tutarsız bir sistemle işe başlandığında, hesap ve projelendirmeye ne kadar özen gösterilirse gösterilsin, tutarsızlığın önlenmesi mümkün değildir.

1.1.3 Yapım Kusurları

Yapım kusurları kapsamında düşük nitelikli betonarme betonu, donatının eksik yada hatalı yerleştirilmesi başta gelmektedir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırılmasının

önem ve gereği bilinmesine karşın yapımına yeterince özen gösterilmemektedir. Buda yaşanan depremlerde hasar ve göçmelere neden olmuştur.

Hazır beton üretimi, istenilen kaliteye ulaşılmasını sağlamakta ve sorunu büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Yinede pek çok şantiyede elle beton üretimi sürmekte, özen gösterilmeyen karışım oranları (agrega, su/çimento vb) sorunun sürmesine yol açmaktadır.

Kullanılan donatıda da zaman zaman sorunlarla karşılaşmaktadır. Uygun olmayan, aşırı sert donatı kullanımına sıkça rastlanmaktadır. Bu nedenle donatı alımlarında kalite belgesi istenmesi yada kalitenin deneysel olarak belirlenmesi gereği ortaya çıkmıştır.

1.1.4 Kullanım, Kullanım Amacının Değişimi

Genellikle binaların kullanımına özen gösterilmemektedir. Buna bir de alt yapı eksikleri, drenaj vb. yetersizlikleri eklenince, daha önceleri önemi pek fark edilmeyen yada göz ardı edilen ağır bir korozyon sorunu ortaya çıkmıştır. Betonun yerleştirilmesi sırasında gerekli sıkıştırma/vibrasyon yapılmaması ve uygun olmayan karışım oranları korozyonun başta gelen nedenidir. Yetersiz alt yapı durumu daha da ağırlaştırmaktadır. Son depremlerin İstanbul için tek yararı bunun anlaşılması ve önlenmesine yönelik çabaların başlatılması olmuştur; yine de yeterli çalışmanın yapıldığını söylemek mümkün değildir.

Proje aşamasında binanın kullanım amacı tam belirlenmeden hesaba katılan eksik faydalı yükler yada kullanım amacının değişmesi nedeni ile yapılan bilinçsiz yükleme ve düzenlemelerde, özellikle döşeme ve kirişlerde hasara yol açmaktadır.

1.2 Güçlendirme Esasları

1.2.1 Genel Değerlendirme

Ülkemizde güçlendirme çalışmaları yaşanan son depremlere kadar, deprem sonrası hasar onarımları ile sınırlı kalmıştır. 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminde, İstanbul ve çevresi de etkilenince bu konuda büyük bir düşünce değişikliği olmuş, deprem öncesi yapı güvenliği kontrolü ve sınırlıda olsa güçlendirme çalışmaları başlamıştır. Ülkemizin depremselliğinin bilinmesine karşın uzun yıllar “depreme dayanıklı yapı” kavramına önem verilmemiş,

depreme karşı durumu belirsiz, yeterliliği şüpheli büyük bir yapı stoku ortaya çıkmıştır. Şimdi düşünce bazında da olsa, olanaklar zorlanarak, binaların güçlendirilmesi yolları aranmaktadır. Depremde hasar gören (az,orta) yada deprem öncesi güçlendirilmek istenen binalarda izlenmesi gereken yol, alt bölümlerde, sırası ile açıklanmıştır.

1.2.2 Zemin Koşullarının Belirlenmesi

Binanın yer aldığı zemin koşulları, Deprem yönetmenliğince belirlenen doğrultuda incelenir, zemin grubu ve zemin sınıfı saptanır. Zeminler yönetmelikte Z1, Z2, Z3, Z4 şeklinde sınıflandırılmıştır. Yönetmelikte özelliği olan binalar için saha ve laboratuvar deneylerine dayanan zemin araştırmalarının yapılması öngörülmektedir. Bu kapsamda yer altı su seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10 m içinde olduğu D grubuna giren kalın alüvyon tabakalarında, gevşek kum ve yumuşak yada siltli kil tipi zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin bulunup bulunmadığının incelenmesi istenmektedir. 17 Ağustos 1999 depreminde Sakarya ve yer yer Yalova-Gölcük sahil kesiminde sıvılaşma olduğu saptanmıştır.

1.2.3 Malzeme Özelliklerinin Saptanması

Binada kullanılan betonarme betonu kalitesinin ölçülmesi gerekir. Bunun için binanın taşıyıcı sistem elemanlarında tahribatsız deneyler yapılır.

- Taşıyıcı sistem elemanlarının uygun bölümlerinden, yeteri sayıda karot alınır.
- Beton dayanımları darbe çekici ve ses hızıyla ölçülür
- İki yöntemle elde edilen ölçümler değerlendirilerek malzeme kalitesi saptanır

Son depremlerde yapılan böylesi ölçümler, binalardaki beton dayanımlarının, çoğunlukla projede öngörülenin hayli altında olduğunu göstermiştir. Elle hazırladığı ve yeterince sıkıştırılmadığı belirlenen eski betonarme betonlarında bu düşme daha da fazladır. Betonun yaşıyla birlikte dayanımının da arttığı bilindiğine göre, ölçüm değerlerinin projede öngörülenin üstüne çıkması gereği açıktır, ancak buna çok seyrek rastlanmıştır.

1.2.4 Taşıyıcı Sistem Rölevesinin Çıkarılması

Taşıyıcı sistemin mevcut durumunun tüm ayrıntılarıyla saptanması gerekir; mevcut durumun yapıma esas statik ve betonarme projesine uygunluğu (boyut, donatı vb) kontrol edilir. Donatıların belirlenmesi güçtür; çoğunlukla ve koşullar elverdikçe kritik bölüm ve elemanlarda yer yer pas payları kaldırılarak ve örnekleme yöntemi ile yapılmaktadır, bu kapsamda profometreden de yararlanılabilir. Yine de bu saptamanın en önemli olduğu giriş mesnet bölgelerinde, bölme duvarları vb. engeller nedeni ile tespit güçtür.

Binanın projesi yoksa iş daha da güçleşmektedir. Ne çare ki ülkemizde projesiz binalar çoğunluğu oluşturmaktadır. Bina ruhsatlıda olsa proje çoğu kez bulunamamaktadır. Proje bulunduğu da projeye uyumsuzluklar ve aşırı sapmalar ortaya çıkmaktadır. Bu gibi durumlarda rölevenin çıkarılması daha da güçtür. Yine de sonuca gitmek ve binanın durumunu tespit etmek için mevcut eleman boyutlarının belirlenmesi, örnekleme ile donatı tespitleri, kolon ve girişlerde minimum donatı kabulleri benzeri karma bir yol izlenmesi uygun olmaktadır.

1.2.5 Sistem Hesap Ve Kontrolü

Yukarıda belirtilen tespitlerin ışığında sistem, mevcut (1997 tarihli) Deprem Yönetmeliği koşulları altında çözülür; bulunan iç kuvvetlerin ışığında kesit ve donatılar kontrol edilir. Çıkan sonuçlara göre sistemin deprem güvenliği değerlendirilir. Yönetmelikler (örneğin 1968, 1975 ve 1997 tarihli) arasında önemli farklar ve yukarıda değinilen çeşitli yetersizlikler nedeniyle, eski bir yönetmeliğe göre projelendirilip yapılan bir sistemin, yeni yönetmelik şartlarını da sağlaması az rastlanan bir durumdur. Bina yapım tarihi eskidikçe ve kat sayısı arttıkça bu olanaksızlık daha da artmaktadır. Gerçekten 5-6 katlı bir binada 1. derece deprem bölgesi için 1968 tarihli yönetmelikte yatay yük katsayısı – 0.04 iken, bu katsayı 1975 yönetmeliğinde – 0.10’a, 1997 yönetmeliğinde ise yaklaşık – 0.15’e yükseltilmiştir. Yinede taşıyıcı sistemin genel durumu değerlendirilmelidir, bu hususta çok katı davranılmasına gerek yoktur.

1.2.6 Güçlendirme Çalışması

Yapılan tespitler ve hesaplamalar sonunda sistem yetersiz çıkarsa güçlendirilmesi zorunluluğu

doğar. Yetersiz eleman (kolon,kiriş) sayısı az ise yalnızca bunların güçlendirilmesi ile yetinilir kapsamlı yetersizlik varsa, daha genel çözümler aranmalıdır. Bunun için en uygun/kestirme çözüm sisteme perde duvarlar eklenmesidir. Sistemin yanal rijitliğinin sağlanmasında 5-6 kattan sonra en etkin çözümün perde duvarlar olduğu bilinmektedir.

Güçlendirme projesi hazırlandıktan sonra maliyeti çıkarılır. Diğer kırıp dökmeler ve duvar-sıva vb. onarımları da göz önüne alınarak toplam maliyet hesaplanır; bu maliyet yıkıp yeniden yapmanın yarısını geçerse, özelliği olmayan binalarda genel olarak yıkmanın/yenilemenin uygun olduğu kabul edilir. Bu seçimde zaman kısıtlamaları da belirleyici olmaktadır.

1999 depremleri sonrası yapılan incelemelerde,tutarlı bir güçlendirmeye olanak vermeyen, düzenli çerçeveler içermeyen pek çok binaya rastlanmıştır.



2. BETONARME YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME MALZEMELERİ

Betonarme yapılar zaman içinde değişik nedenlerle hasar görebilir ve eskiyebilir. Beton içindeki çelik donatıların korozyonu sonucu betonda çatlak ve bozulmalar oluşabilir. Soğuk iklimlerde ise donma- çözülme etkisi altında benzer bozulmalar ortaya çıkabilir. Bunların dışında, diğer dürabilite problemleri nedeni ile betonda sorunlar doğabilir.

Yurdumuz gibi deprem bölgesinde bulunan ülkelerde deprem etkisi sonucu yapılarda hasar oluşabilir. Bazı ülkelerde ise şiddetli fırtınalar etkisiyle benzer durumlar ortaya çıkabilir. Dış etkiler nedeniyle oluşan hasarlar onarılacak yapı hasar öncesi durumuna dönüştürülebilir.

Otoyollarda, köprü ve viyadüklerde trafik koşullarının değişmesi(örneğin trafik yoğunluğunun artması, maksimum trafik yüklerinin yükseltilmesi gibi) nedeni ile güçlendirme gereği ortaya çıkabilir. Güçlendirme kavramı içinde mevcut yapının performansını artırmaya yönelik çalışmalar, örneğin taşıma kapasitesini yükseltmek yer alır. Yapılarda ise kullanım amacı değişikliği yada yapıda ekleme- döşemede, merdiven asansör gibi değişiklikler amacı ile ve delik açma gibi nedenlerle güçlendirme durumu yaşanabilir.

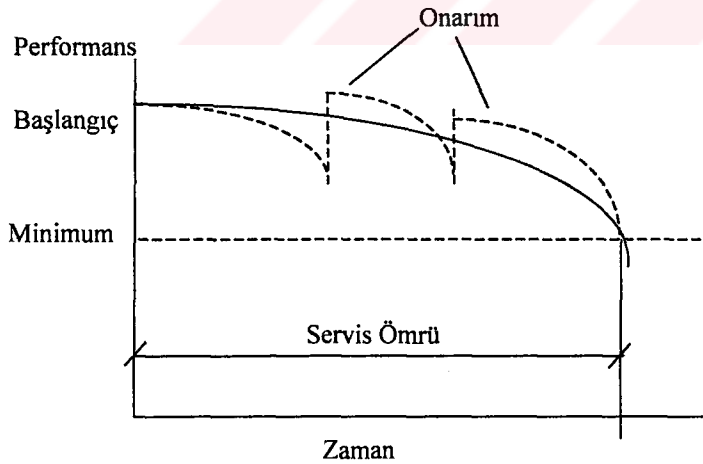
Öte yandan retrofit kavramı olarak yapıların (otayol yapıları dahil) depreme karşı güçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Örneğin, kolonların gömlek giydirilerek güçlendirilmesi retrofit işlemi kapsamında düşünülmektedir.

Onarım ve güçlendirme ve depreme karşı takviye konularda birçok malzeme bulunmaktadır ve bu malzemelerde sürekli gelişmeler gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, amaca uygun malzeme bulmak önemlidir. Onarım malzemeleri için hasarın yerine, tipine, yapının içinde bulunduğu dürabilite ile ilgili koşullara bağlı olarak seçim yapmak gerekir. Benzer durum güçlendirme malzemeleri içinde geçerlidir.

Onarım ve güçlendirme malzemeleri mevcut yapı ile uyum içinde olmalı, zaman içinde hacimsel kararlılığını koruyabilmelidir. Yapının oluştuğu malzemenin, onarım ve güçlendirme malzemelerinin özellikleri iyi bir şekilde bilinmeli, malzeme bileşiminin davranışına etkileri göz önüne alınmalı, malzeme- çevre etkileşimi ve dürabilite konuları dikkate alınarak malzeme seçimi ve uygulama yöntemi belirlenmelidir.

Onarım malzemeleri olarak çimento esaslı, polimer ile modifiye edilenler ve polimer esaslı olmak üzere 3 gruptan söz edilebilir. Çimento esaslı olanlar döküm harcı (grout), harç ve beton olabilir. Bu malzemeler değişik liflerde içerebilir. Beton olarak, hazır beton kullanılabileceği gibi , bu beton kendiliğinden yerleşme özelliğide gösterebilir,yada pudra inceliğinde aktif malzemeler kullanılarak üretilen pudra betonları, lifli betonlarda olabilir. Harç ve betonlar değişik polimerlerle modifiye edilerek özellikleri iyileştirilebilir. Bağlayıcı olarak çimento yerine bir polimer kullanılarak elde edilen polimer harç ve betonları da onarım amacı ile kullanılabilir. Güçlendirme ve onarım için bunların dışında çelik levhalarla takviye yapılabileceği gibi, özellikle son yıllarda geliştirilen Lif Takviyeli Polimer Kompozitler (LTPK) de kullanılabilir. Aşağıda onarım ve güçlendirme malzemeleri daha ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır.

Betonarme yapıların tasarımında önceliğin dayanımdan çok dürabiliteye göre yapılması anlayışı günümüzde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle donatı korozyonuna bağlı çatlakların betonarme yapının dürabilitesini olumsuz biçimde etkilediği ve performansını azalttığı bilinmektedir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi betonarme yapının performansı zamanla azalmaktadır. Bakım ve onarım projesi işletmede olan bir yapıya ait projenin bir parçasıdır. Bundan dolayı şekilde de görüldüğü gibi yapı onarıldığı zaman performansı artmaktadır.[6]



Şekil 2.1 Beton performansı ve servis ömrü arasındaki ilişki [6]

2.1 Çimento Esaslı Onarım Ve Güçlendirme Malzemeleri

Yaklaşık yirmi yıl önce homojen dağılı ultra incelikteki taneleri içeren yoğunlaştırılmış sistemler (DSP) ve büyük boşluklarından arındırılmış (MDF: Macro- Defect- Free) çimento gibi yeni malzemeler geliştirildi. İlki (DSP) sıkıştırılmış taneli yapıya sahip matris içeren beton olup çimento, süper akışkanlaştırıcı, silis dumanı ve kalsine olmuş boksit veya granit gibi ultra sert agregalar kullanılarak üretilir. İkincisi (MDF çimento) ise 150 MPa'lık veya daha yüksek çekme dayanımına sahip ve alüminli çimentolarla üretilmiş olan bir polimer hamurudur[7]. Yüksek dayanımlı betonlarda olduğu gibi bu malzemelerin sünekliği düşük olduğundan, sünekliklerini artırmak için çelik teller kullanılmaktadır. SIFCON (Slurry İnfiltrated Fibered Concrete) gibi ürünler ise çelik tellerle kalıbın doldurulması ve bir akıcı harç bulamacının enjeksiyonu ile üretilirler.

Reaktif pudra betonları Fransa'da geliştirildi. Bu ultra yüksek dayanımlı sünek betonların basınç dayanımları 200 MPa'dan 800 MPa'a kadar değişmekte ve kırılma enerjileri 40000 J/m² ye varmaktadır [8].

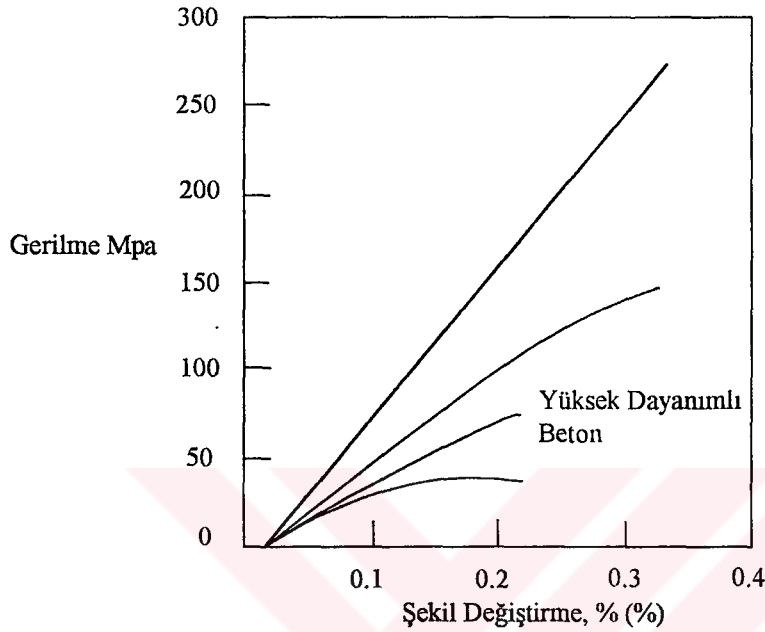
2.1.1 DSP

Çimentolu malzemelerin bu yeni sınıfı Danimarka'daki Aalborg Portland Çimento tarafından üretilmiştir[7,9]. DSP bağlayıcılar. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi çimento taneleri arasında kalan boşluklarda homojen olarak dağıtılan ultra incelikteki silis dumanını içerirler. Mümkün olan en yoğun dizilişi elde etmek için, karıştırma ve döküm sırasında çimento ve silis dumanının topaklanmasını önlemek için süper akışkanlaştırıcılar kullanılır. Bu DSP esaslı kompozitler Densit adı altında söz konusu firma tarafından kullanıcılara sunulmaktadır.



Şekil 2.2 Portland çimentosundaki topraklanmış taneler (a), bir süperakışkanlaştırıcı (b) yardımıyla topaklanmaları önlenmektedir. Bir DSP hamurunda boşlukları dolduran silis dumanı ile yoğun bir sıkı diziliş elde edilir (c) [7].

16 mm'lik kırılmış garnit agregasına sahip normal DSP'nin basınç dayanımı yaklaşık 130 MPa'dır. eğer kalsine olmuş boksit gibi dayanımı yüksek agregalar kullanılırsa basınç dayanımı 270 MPa'a kadar ulaşabilir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi DSP esaslı malzemeler ise çok gevrekler, normal Portland çimentosu hamurundan da gevrekler [7,9]. Yüksek dayanımlı DSP betonunun gevrek olduğu vurgulanmalıdır.



Şekil 2.3 Normal ve DSP esaslı betonlar için basınç altında gerilme şekil değiştirme eğrisi[7,9].

2.1.2 MDF Çimento

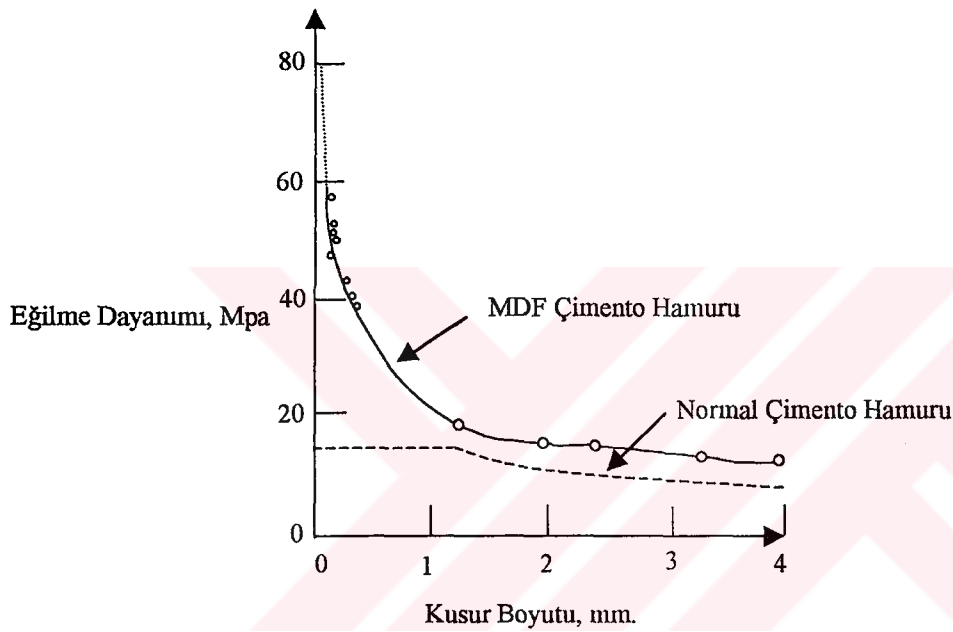
MDF çimentolu malzemeler Portland veya Yüksek Alüminli çimentoların yüksek moleküler kütleli suda çözünen bir polimer ile birleştirilmesiyle oluşturulan kompozitlerdir. Polimer çimento tanelerinin topaklanmasını önler, düşük su/katı oranındaki karışımın viskozitesi artar.

Yıllar önce Birchall ve meslektaşları [10] Griffith yaklaşımını kullanarak “büyük kusurlardan arınmış (MDF)” çimentolarını geliştirdiler. Bu araştırmacılara göre, normal çimentolarda, yaklaşık 1 mm'lik kusur boyutuna kadar Griffith eğrisiyle iyi bir uyum sağlandı. Bu kusur boyutunun altında dayanımlar aynı kaldı. Daha sonra, büyük boşlukları yok etmek için özel bir proses tekniği kullanılarak çimentolar hazırlandılar. Bu çimentolarda çok yüksek eğilme dayanımlarına eriştiler ve gözlenen en büyük boşlukların çapı yaklaşık 90 μ m oluncaya dek Griffith teorisi uygulandı. Sonuçlar Şekil 2.4'de gösterilmektedir.[10,11]

2.1.3 Çelik Tel Donatılı Betonlar

Çelik telleri betonda kullanmanın başlıca beş yararı vardır:

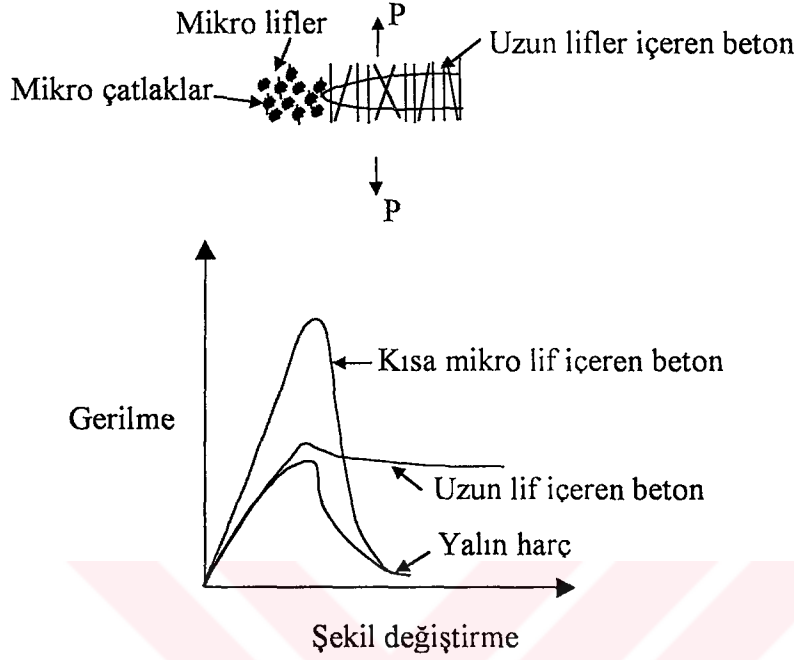
1. Yüksek taşıma kapasitesine sahip sünek beton üretmek,
2. Donatı korozyonunun oluşmadığı düzgün beton yüzeyinin elde edilmesi,
3. Etkin çatlak kontrolü,
4. Dayanıklılık
5. Donatı işçiliğinde belirgin azalma.



Şekil 2.4 MDF ve normal çimento hamurunun eğilme dayanımı [10,11].

Çelik teller beton içinde yüzey ve kenarlar da dahil olmak üzere homojen biçimde dağılır. Çekme gerilmelerinin rastlantısal doğasına çelik teller karşı koyar; rötre çatlakları oluşmadan, şekillenmeden ve daha fazla büyümeden önlenir. Betonun sertleşmesi sırasında, hidrasyon süreci malzeme içinde sayısız küçük boşluklara ve çatlaklara neden olur. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi çelik teller ilerleme eğilimindeki çatlak üzerinde köprü görevini üstlenerek çatlağın büyümesini engeller. Böylece dayanımlı ve dayanıklı, kusurları giderilmiş beton elde edilir. Çelik teller; su yapıları, konutlar ve endüstriyel yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Şekil 2.5'deki mikro lifler çimento hamurunu, mezo lifler (kısa kesilmiş çelik teller) harç fazını ve uzun çelik teller ise betonu güçlendirmektedir. Bundan dolayı betonda kırılma enerjisinin artırılmasında uzun çelik tellerin narinliğinin de önemli katkısı vardır.



Şekil 2.5 Çatlak köprülenmesine farklı lif boyutlarının etkisi [12]

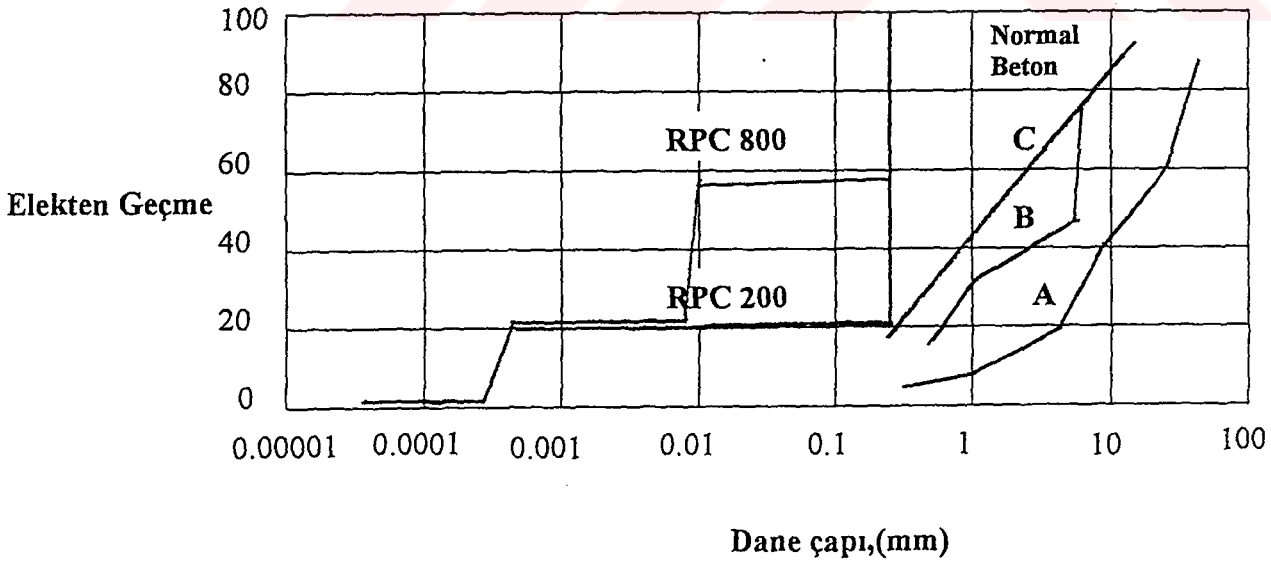
2.1.4 RPC

Reaktif Pudra Beton (RPC) ileri mekanik özelliklere, üstün fiziksel karakteristiklere, mükemmel süneklığe ve aşırı derecede düşük geçirimsiliğe sahip ultra yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozitlerdir [8,13-17]. Bu ultra yüksek dayanımlı çimento esaslı malzemeler, ilk kez 1990'lı yılların başlarında Paris'te Bouygues'in laboratuvarındaki araştırmacılar tarafından geliştirildi. Reaktif Pudra Betonları küp basınç dayanımları 200 ve 800 MPa arasında, çekme dayanımları 25 ve 150 MPa arasında ve kırılma enerjileri yaklaşık 30000 J/m² ve birim ağırlıkları 2500-3000 kg/m³ aralığında değişen yeni kuşak betonları temsil etmektedir [18]. Reaktif Pudra Betonunun iç yapısı daha sıkı tane düzenine sahip olup, mikroyapı yüksek performanslı betonlar kıyasla en kuvvetli çimentolu hidrate ürünlerinin varlığıyla güçlendirilmektedir.

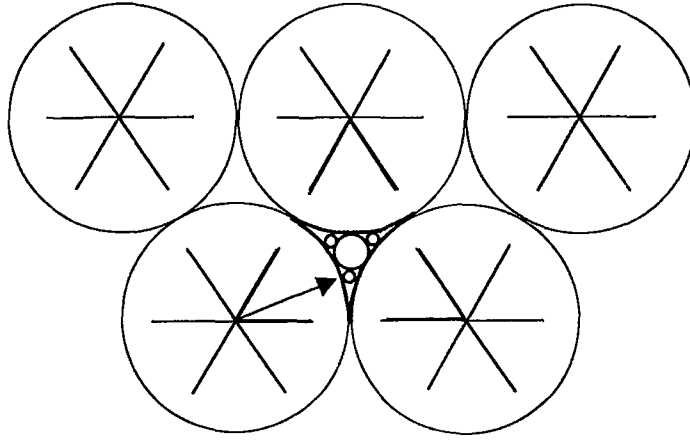
Bu dikkate değer özelliklere aşağıdaki aşamalarla erişilmektedir:

- i. Optimum bir yoğunluktaki matrise varmak için karışımdaki bütün tanelerin dağılımının hassas biçimde ayarlanması,
- ii. Betonun homojenliği için agrega tanelerinin en büyük boyutunun küçültülmesi
- iii. Betondaki su miktarının azaltılması
- iv. Yüksek inceliğe sahip silis dumanının pozolanik özelliklerinin yoğun biçimde kullanımı,
- v. Bütün bileşenlerin optimum bileşimi,
- vi. Süneklik için kısa kesilmiş çelik tellerin kullanımı,
- vii. Çok yüksek dayanımlara erişmek için basınç altında ve yükseltilmiş sıcaklık koşullarında sertleştirme [13,18].

Şekil 2.6, RPC 200, RPC 800 ve normal betonların (A,B ve C) granülometri eğrilerini göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi, reaktif pudra betonlarının granülometri eğrileri süreksizdir. Bu şu teorik düşünceye dayanmaktadır: Maksimum sıkı diziliş agrega çapında 7 gibi bir çarpanla fark eden dane bölümleriyle elde edilebilir. Şekil 2.7’de R_1/R_2 oranı 7’dir [13].



Şekil 2.6 Reaktif pudra betonların ve normal betonların granülometri eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 2.7 Teorik maksimum dane dizilişi

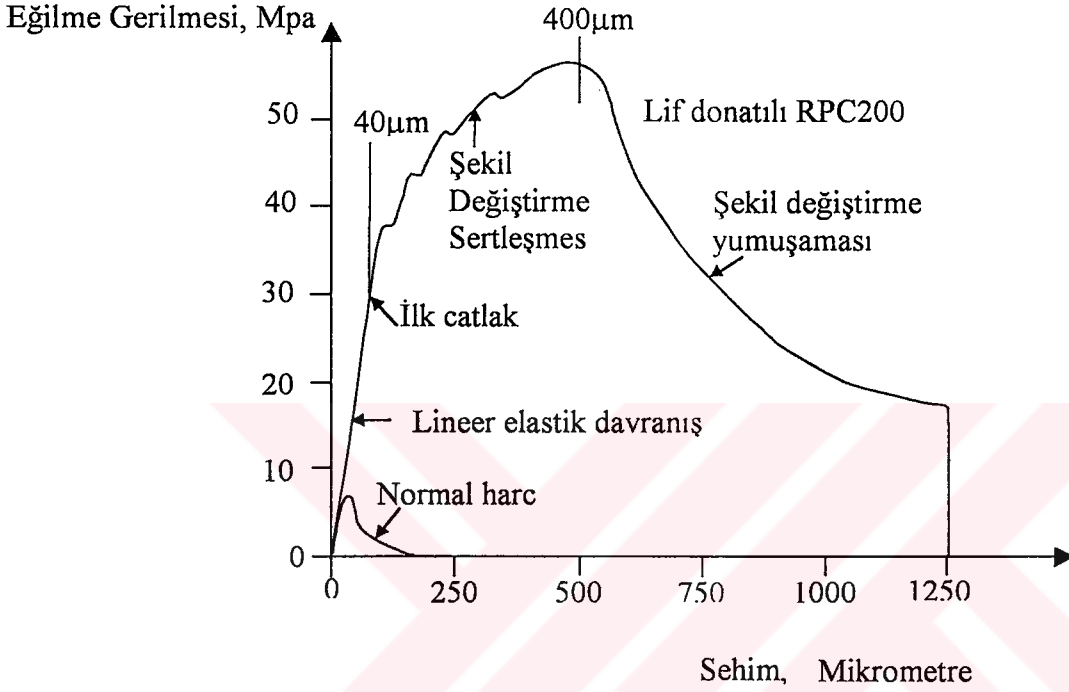
Reaktif pudra betonlarında kullanılan agregaların boyutları çimentonunkilere yakındır. Bu hidrate olmamış çimento tanelerinin de tane iskeletine uygun olması ve malzemenin dayanımına katkıda bulunması demektir. Bu betonlarda su/çimento oranı çok düşük olup 0.15 mertebesinde. İşlenebilme fazla miktarda kullanılan bir süper akışkanlaştırıcı ile tutturulmaktadır. RPC 200, RPC 800'e ait bileşimler ve mekanik özellikler Kaynak 13'de verilmektedir. İstenilen dayanımlara erişmek için, hem bileşen malzemelerin özellikleri hemde bunları mikserde karıştırma sırasının önemli olduğunu akılda tutmak gerekir. Normal dayanımlı, yüksek dayanımlı, reaktif pudra betonlarına ve SIFCON'a ait bir karşılaştırma Çizelge 2.1 'de yapılmaktadır.

Çizelge 2.1: Normal dayanımlı beton (NDB) yüksek dayanımlı beton (YDB) ve reaktif pudra betonlarının (RPC) karşılaştırılması

Mekanik özellikler	NDB	YDB	RPC
Basınç dayanımı(MPa)	20-60	60-115	200-800
Eğilme dayanımı(MPa)	4-8	6-10	50-140
Kırılma enerjisi(J/m ²)	100-120	100-130	10000-40000
Elastisite modülü	20-30	35-40	60-75

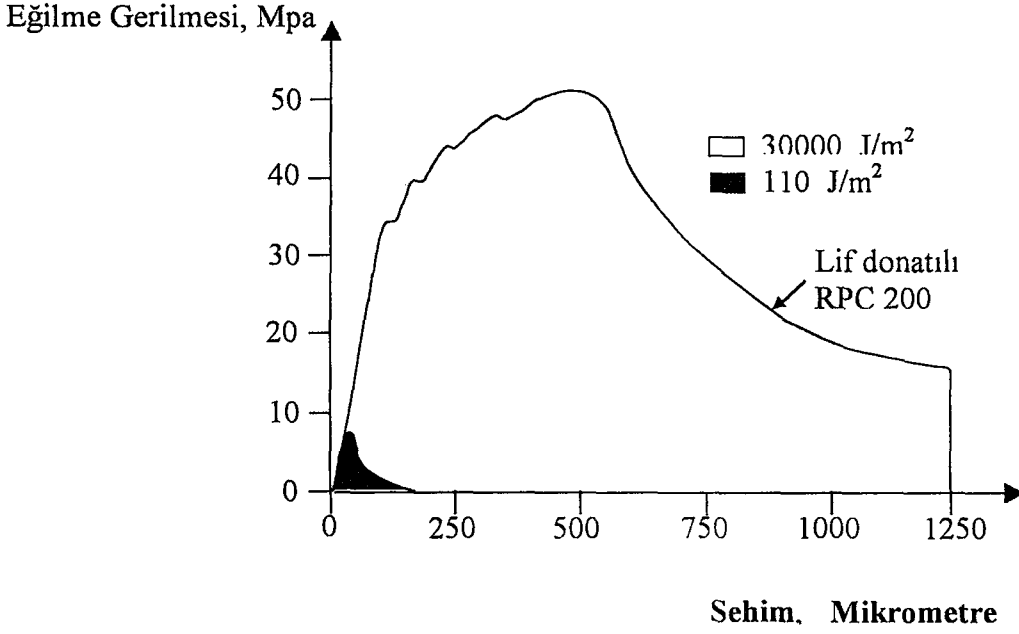
Bu tabloda görüldüğü gibi çelik tellerin eklenmesiyle eğilme dayanımlarında 50-140 MPa arasında değişen değerler elde edilmektedir. Bu betonların kırılma enerjileri ise 10000 J/m²'den 40000 J/m²'ye kadar değişmektedir. Eğilme dayanımlarında ve kırılma enerjilerindeki değişim eklenen çelik tellerin yüzdeleriyle belirlenmektedir. Deneylerde çentikli kiriş numuneleri kullanılmış olup, Şekil 2.8 normal bir harcın ve RPC 200'ün basit

kiriş halindeki mekanik davranışını göstermektedir. Reaktif pudra betonunun büyük bir şekil değiştirme sertleşmesi sergilediği görülmektedir. Eğilme dayanımı ilk çatlama gerilmesinin iki katı kadar yüksektir. Maksimum gerilmedeki deplasman ilk çatlaktaki deplasmandan yaklaşık 10 kat daha büyüktür [18].



Şekil 2.8 Normal harç ve RPC 200'ün eğilme davranışı[18].

Kırılma enerjisi “gerilme- açıklığın ortasındaki sehim” eğrisi altında kalan alanın hesaplanmasına dayanmaktadır. Ölçülen kırılma enerjisi RPC için 30000 J/m^2 ve normal harç için 110 J/m^2 'dir.[13]. Reaktif pudra betonunun kırılma enerjisinin normal harcının yaklaşık 300 katı olduğu sonucuna varılabilir. SIFCON'da kırılma enerjisi normal betonun 1350 katına çıkmaktadır[19].



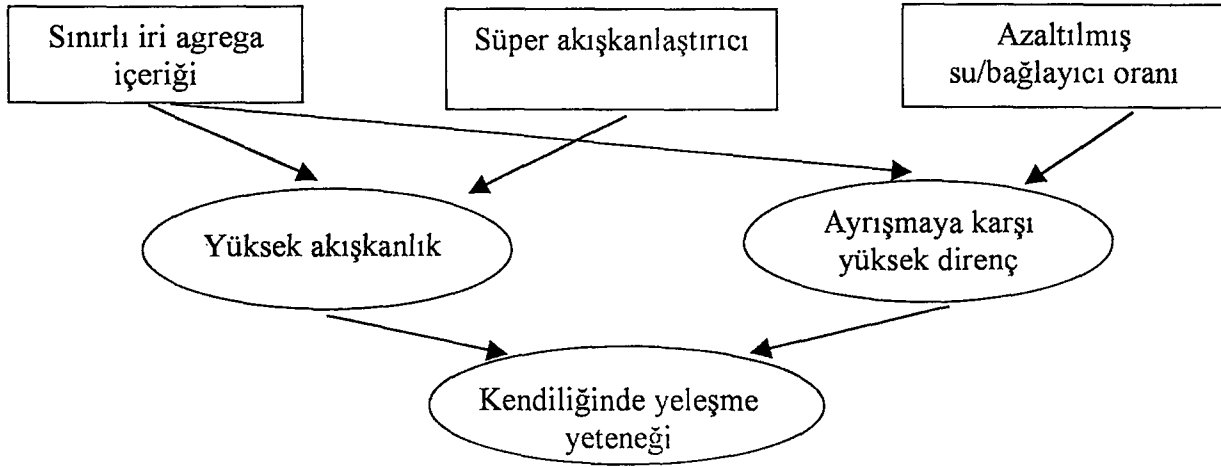
Şekil 2.9 Normal harcın ve RPC 200'ün kırılma enerjileri.

2.1.5 SIFCON

SIFCON (Slurry İnfiltrated Fibered Concrete) ; çimento, su, süper akışkanlaştırıcı, silis dumanı ve çok ince kumdan oluşan bir bulamacın sertleşmesiyle oluşan bir matris içinde hacmen %20'e varan oranda çelik tel içeren sünek bir betondur. Çelik tel donatılı betonlarda çelik tel içeriğinin %2-%3 olduğu düşünülürse yaklaşık 10 kat fazla donatılan malzeme sünekliğin mertebesi daha iyi anlaşılmaktadır.

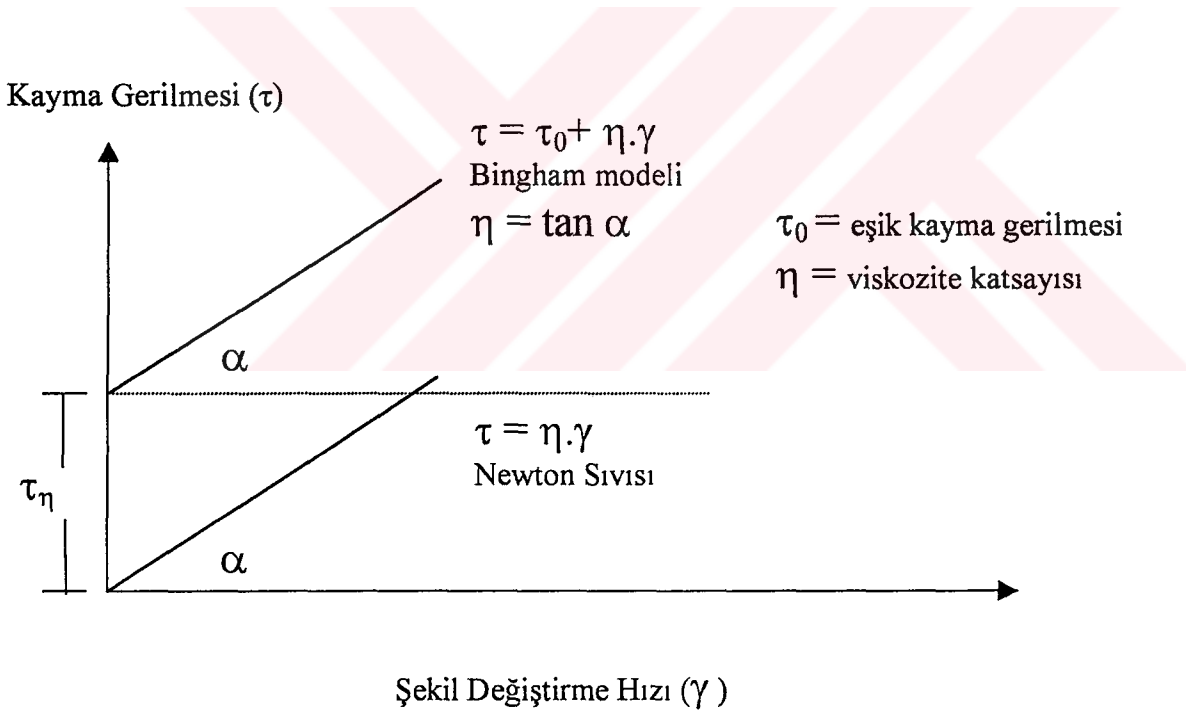
2.1.6 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

Bu betonların üretiminde en büyük agrega boyutu normal betona göre biraz düşürülmekte ve ince malzeme miktarı artırılmaktadır. Ayrıca, yüksek akışkanlık sağlayan, terlemeyi azaltan ve böylece betonun ayrışmadan stabilitesini düzenleyen katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu betonlar ayrışmadan kendiliğinden kalıba yerleşir, işçilikte azalma ve inşaat hızında artış sağlanır. 28. gündeki dayanımları 60MPa'ı aşacak biçimde tasarlanabilirler. Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri Şekil 2.10'daki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.10 Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri

Bu betonlara Şekil 2.11’de görüldüğü gibi eşik kayma gerilmesi küçültülerek Bingham Modeli’nden Newton Sıvı’sına doğru bir davranış sergilenir.



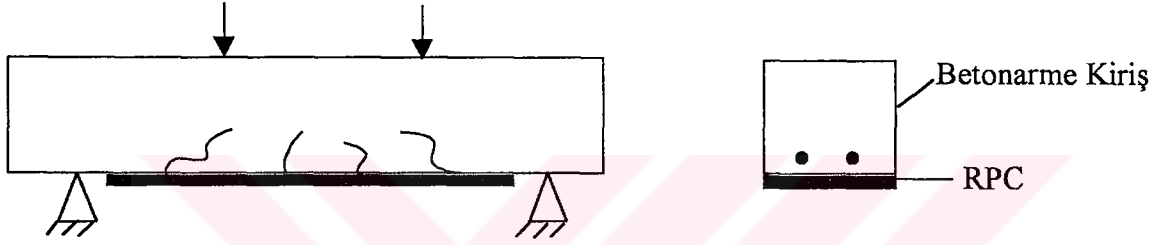
Şekil 2.11. Bingham Modeli ile Newton Sıvı’sının davranışları

Kendiliğinden yerleşen betonlar depreme karşı güçlendirme projelerinde kullanıldığı gibi sık donatılı yerlerde, şehir merkezlerinde, gece beton dökümlerinde, vibratör kullanımının mümkün olmadığı durumlarda, zor ve ulaşılmaz kalıplarda, ve estetik gerektiren yapı elemanlarının üretiminde de kullanılmaktadır[20].

2.2 Bazı onarım ve güçlendirme örnekleri

2.2.1 Reaktif Pudra Betonu kullanarak yapılan onarım ve güçlendirme

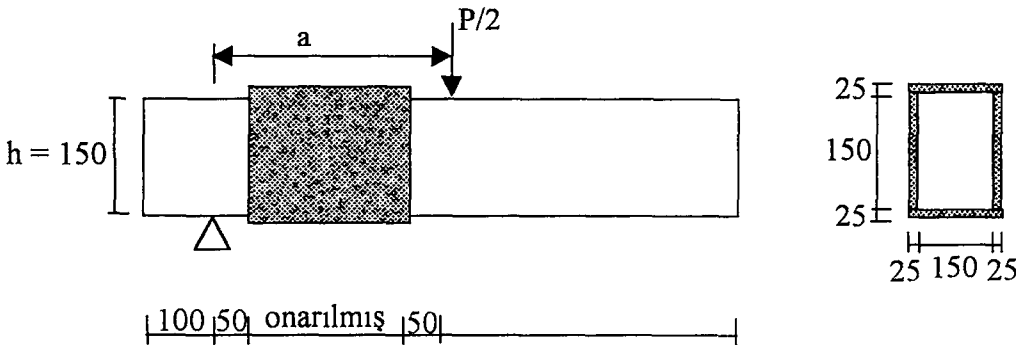
Şekil 2.12’de görüldüğü gibi eğilme etkisinde çatlatılmış bir betonarme kirişin çekme bölgesin klasik çelik plaka yerine Reaktif Pudra Betonundan yapılmış bir levha ile güçlendirilmektedir. Kullanılan reaktif pudra betonunun hacmen %6’ya varan oranda kısa kesilmiş 0.15 mm çapında 6 mm ve 13 mm boyunda çelik teller kullanılmaktadır. Levhalar çatlamış kirişe adesivlerle yapıştırılmaktadır. Kiriş tekrar yüklendiğinde çok yüksek dayanımlara erişilmektedir[21-22]. Bu tür güçlendirmenin kayma bölgesinde de yapılması olasıdır.



Şekil 2.12 Çatlamış betonarme kirişin Reaktif Pudra Betonuyla güçlendirilmesi

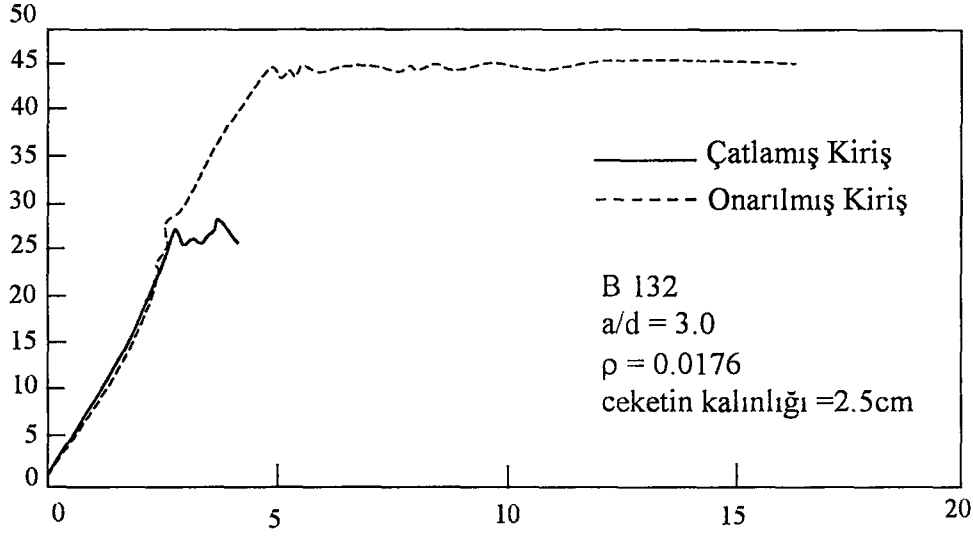
2.2.2 SIFCON ile onarım ve güçlendirme

Hacmen %8 kancalı uçlu çelik tel (çap:0.50 mm,boy :30 mm) içeren ve 1:3:2,6:0.55 (çimento : kırmataş : kırmakum : su) karışımına sahip SIFCON ile kayma kapasitesinin güçlendirilmesine ait bir örnek Şekil 2.13’de gösterilmektedir. Şekil 2.14’de kayma bölgesinde yapılan güçlendirmenin yük-sehim ve moment –eğrilik davranışındaki etkisi belirgindir.

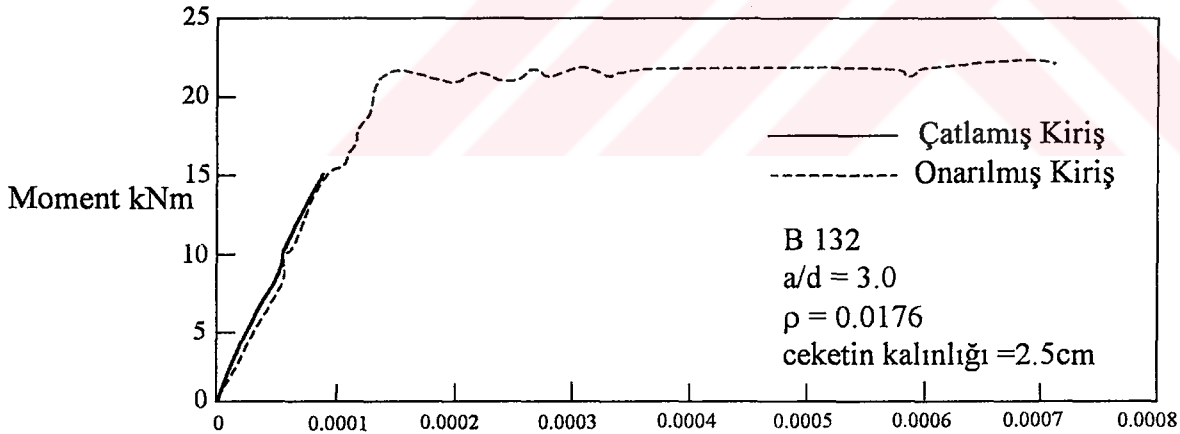


Şekil 2.13 Kirişin kayma kapasitesinin artırılması için SIFCON ceket uygulanması (boyutlar :mm)

Yük , kN

Sehim, mm
(a)

Şekil 2.14 Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kirişlerin tipik davranışı ($a/d = 3.0$ Betonarme kiriş donatısı $\rho = 0.0176$) Yük- sehim eğrisi

Eğrilik, 1/cm
(b)

Şekil 2.14 Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kirişlerin tipik davranışı ($a/d = 3.0$ Betonarme kiriş donatısı $\rho = 0.0176$) moment –eğrilik eğrisi [23]

Shannag ve diğerleri [23] tarafından yapılan bu çalışmada a/d oranı 1.2-3.0 ve esas çelik çubuk donatısı ise $\rho = 0.0129$ -0.0228 arasında değiştirilmiş olup güçlendirme ile kayma kapasitesinde %25-%55 arasında değişen oranlarda artış sağlanmıştır.

2.3 Polimer ile modifiye edilmiş çimento esaslı malzemeler

Geleneksel çimento harçları yada betonun içine belli oranlarda polimer lateksi veya dispersiyonu, suda çözünen polimerler, sıvı reçineler ve monomerler katılarak oluşturulurlar. Burada iki farklı matriks, çimento jeli ile polimer matriksi homojen bir monolitik yapı oluştururlar. Lateks, dispersiyon ve suda çözünen polimerler, sistemdeki suyun çekilmesi sonucu bir polimerik film veya membran oluştururlar. Sıvı reçine ve monomerin katıldığı sistemlerde ise polimerizasyon gerçekleşir. Polimer ile modifiye edilmiş harç ve betonlardaki çimento ve agregalar geleneksel betonlardaki ile aynı özellikleri taşıyabilir.

Polimer modifiye harç ve betonların A.B.D.'de yıllık 60000 m³ civarında, İngiltere'de ise 500 milyar sterlin tutarında onarım amaçlı olarak kullanıldığı belirtilmektedir. Hasarlı elemanların onarılmasında, eski beton ile taze betonun iyi aderans yapması amacı ile korozyona uğramış elemanların onarımında, çatlakların doldurulmasında bu malzemelerden yaygın olarak yararlanılmaktadır. Kullanım amacına ve yerine bağlı olarak çimento hamuru, grout, harç ve beton şeklinde uygulanabilir.

Betonarme yapılarda yama amaçlı kullanılan polimer modifiye harç veya beton karışımı için ACI 548 nolu Komitenin önerisi şu şekildedir:

<u>Malzeme</u>	<u>Ağırlık(kg)</u>
Portland çimentosu	94
Agrega (kum ve iri agreg)	300
Polimer	
Kuru (katı)	14-19
Sıvı (%50)	29-38
Toplam su	4-25

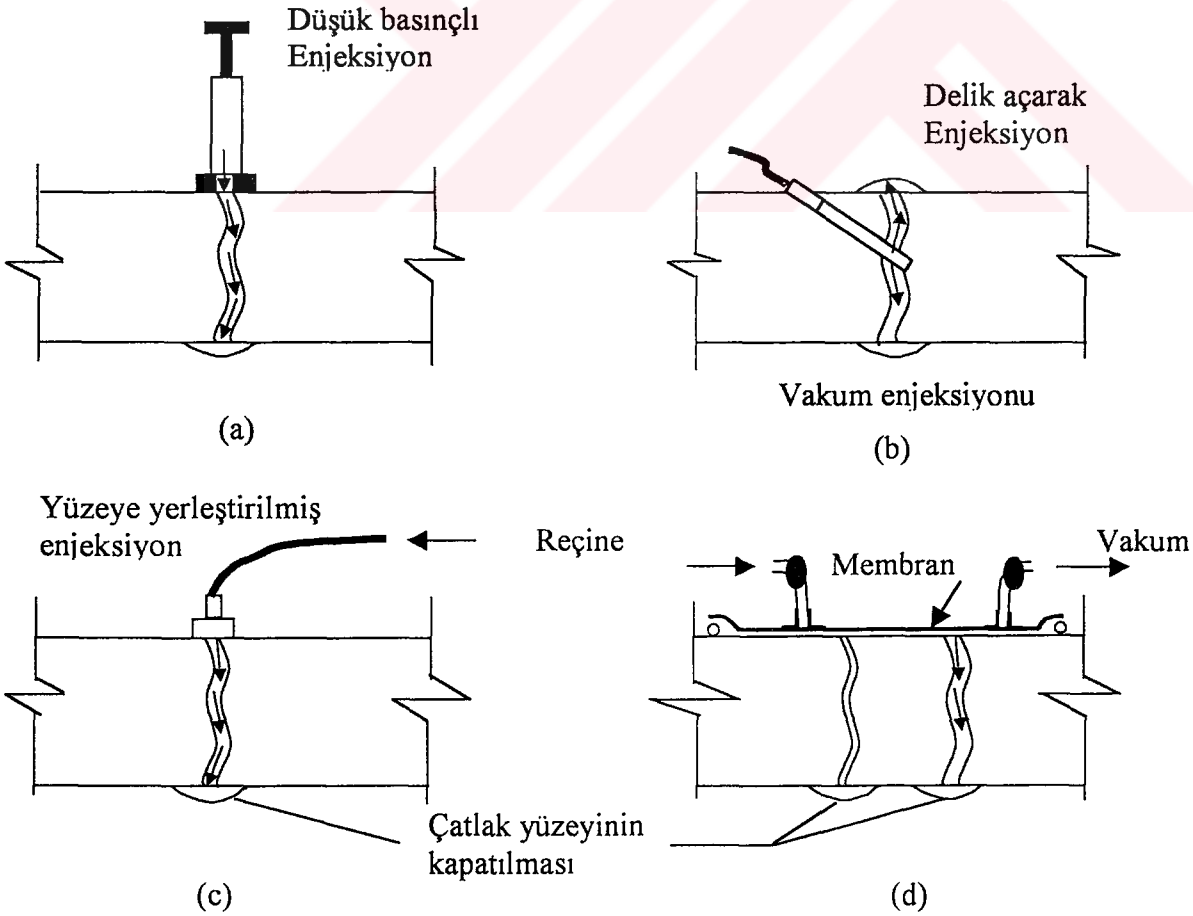
Onarım amaçlı kullanımda, tüm zayıflayan elemanlar kaldırılıp temizlendikten (kumlama veya tel fırça ile) ve yüzeyde bulunabilecek yağ benzeri kimyasallar uzaklaştırıldıktan sonra yüzey ısıtılmalı ve daha sonra bir kompresörle hava uygulanmalıdır. Genel olarak 30mm'den küçük kalınlıktaki onarımlarda harç, daha kalın onarımlarda ise beton seçilmelidir. 5 °C'den düşük ve 30 °C'den yüksek sıcaklıklarda uygulama yapmaktan kaçınılmalıdır. Kür olarak

kuru ve ıslak rejimlerin karması bir sistem uygulanmalı,örneğin önce 1-3 gün ıslak kür, sonra normal sıcaklıkta kuru kür uygulanabilir.

2.4 Polimer malzemeler, polimer harçları ve betonları

Bu amaç için genellikle termoset polimerler kullanılır. Bu sistemle bir reçine ve polimerizasyonu gerçekleştirmek için sertleştiriciden yararlanılır. Polimerizasyon işlemi katalizörlerin yardımı ile oda sıcaklığında gerçekleşebildiği gibi, bazı uygulamalarda yüksek sıcaklık da gerekebilir.

Polimerin yaygın kullanım alanı çatlakların onarılmasıdır [24]. Epoksi reçineleri bu amaçla en çok kullanılan polimerlerdir. Reçineler 0.05 mm kalınlıktaki çatlakları bile doldurabilir. Bunun için basınç altında enjeksiyon uygulamak gerekir. Enjeksiyon için çatlak yüzeye açık bölümleri uygun bir macun ile (aynı reçine ile hazırlanabilir) kapatıldıktan sonra, çatlak boyunca meme uçları (nipple) yerleştirilir ve reçine + sertleştirici karışımı enjekte edilir. (Şekil 2.15) İnce çatlakların da dolabilmesi için basıncın uzun bir süre uygulanması gerekebilir.



Şekil 2.15 Çatlaklara epoksi enjeksiyonu

Aşağıdaki etkenler onarımın başarısını etkiler:

- Reçinenin ve betonun sıcaklığı
- Ortam sıcaklığı
- Çatlağın ıslak yada kuru oluşu
- Reçinenin viskozitesi
- Reçinenin ıslatma özellikleri
- Raf ömrü
- Enjeksiyon basıncı
- Çatlak boyutu

Çatlak onarımı yapıldıktan sonra, onarımın başarı düzeyi bir ultrases aygıtı yardımı ile belirlenebilir. Bu amaçla aletin problemleri çatlağın iki yanına konarak ölçüm yapılır. Çatlak onarımı yapılan kesitten karot alınarak da çatlağın doldurulma oranı belirlenebilir.

Polimerlerin onarımdaki bir diğer kullanım şekli polimer betonu ve harçlarıdır. Bu malzemelerde, geleneksel beton ve harçlardaki karışımlar kullanılır, ancak bağlayıcı olarak çimento (ve su) yerine polimer geçmiştir. Bu amaçla kullanılan polimerler aşağıda verilmiştir [25].

1- Termoset reçineler

- 1.1. Doymamış poliester
- 1.2. Epoksi
- 1.3. Furan
- 1.4. Vinilester
- 1.5. Poliüretan
- 1.6. Fenol

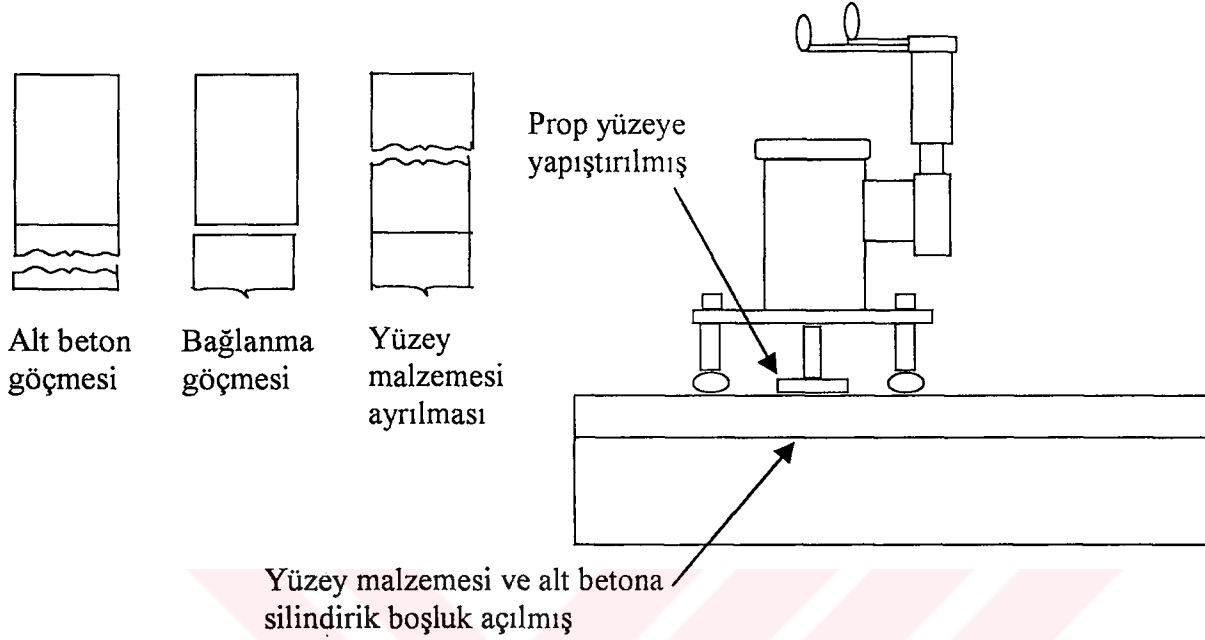
2- Tar ile modifiye edilmiş reçineler

- 2.1. Tar-epoksi
- 2.2. Tar-üretan

3- Vinil monomer

- 3.1. Metil metakrilat
- 3.2. Gliserol metil metakrilat-stiren

Polimerlerin ve polimer beton ve harçların geleneksel betona ve metallere yapışma kapasiteleri yüksektir. Ancak yapılan bir onarımda, aderans dayanımı doğrudan yerinde ölçülebilir(Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Onarım malzemesinin alt betona aderansını ölçüm şekli ve kırılma türleri

Polimer betonlarının aderansları dışında kimyasallara karşı (asitler ve bazlar) dayanıklılıkları da yüksektir. Sıvı ve gazların geçişini engellerler. Bu nedenle korozyona karşı yapılan onarımlarda, nem, O_2 ve CO_2 gibi gazların geçişine izin vermeyecekleri için başarılı olurlar.

Polimer betonlarında geleneksel agregaların yanında %9-25 oranında polimer kullanılır. Karışma gerekirse kalsiyum karbonat, silis tozu, uçucu kül gibi filler malzemelerde eklenebilir [26]. Özellikle filler türü malzemeler reolojik özellikleri etkiler. Polimer harçlarında polimer:filler:kum oranları 1:(0-1.5): (3-7) ve polimer betonlarında polimer:filler:ince ve iri agrega oranları olarak 1: (1-1.5): (8-8.5) değerleri önerilmektedir.

Polimer reçinelerinin bir diğer kullanım alanı ankraj çubuklarının eski betona tutturulmasıdır [27]. Bu amaçla beton içinde açılan deliklere reçine (genellikle epoksi) polimer harcı veya döküm harcı konulduktan sonra ankraj çubuğu yerleştirilir. Kimyasal dübel adı verilen ve reçine, sertleştirici ve filleri içinde bulunduran cam tüpler de bu amaçla kullanılmaktadır. Ankraj çubuklarının aderans dayanımı üzerine, aderans boyu, donatı çapı, delik genişliği, reçine/harç cinsi, beton dayanımı gibi faktörler etki etmektedir.

2.5 Lif Takviyeli Polimer Kompozitler

Son yıllarda yapılan onarım ve güçlendirme için LTFC yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin geleneksel olarak kullanılan çelik lama – plak takviyesine karşı başta gelen üstünlükleri korozyona dayanıklı olmalarıdır. Bunun dışında birçok dış etkene metallere göre daha çok dayanıklıdır. Ayrıca bu malzemeler çok hafif olduklarından uygulama kolaylığı taşırlar. Klasik mantolama yöntemine göre bir diğer üstünlükleride yapı elemanının rijitliğini artırmadan, dolayısı ile yük-moment dağılımını bozmadan elemanları güçlendirmesidir.

2.5.1 Malzeme Özellikleri

2.5.1.1 Lifler

Burada asıl yük taşıyıcı bileşen liflerdir. En çok kullanılan lif cinsleri cam, karbon ve aramid esaslı olanlardır. Lif halindeki bu malzemeler büyük hacimli (bulk) durumlarına göre yüksek dayanıma sahiptirler. Cam lifleri, büyük hacimli durumdaki gibi yüzey kusurları içermediklerinden dayanımları yüksektir. Karbon liflerinde tüm bağlar kovalen türündedir ve büyük hacimli durumdaki tabaklanma söz konusu değildir. Aramid liflerinde ise moleküllerin yönlenmesi ve kristalleşme nedeni ile mekanik özellikler artmıştır.

Cam lifleri: Cam lifleri dayanımlarına göre 2 gruba ayrılabilir

- **Düşük Dayanımlılar :** Bunların çekme dayanımları 1000-2000 MPa ve elastisite modülleri 70Gpa civarındadır. E,A,C,E-CR gibi tipleri vardır ve göreceli olarak daha ucuzdurlar (en ucuzu E- camı).
- **Yüksek Dayanımlılar :** Dayanımları 2000-3000 MPa arasında ve elastisite modülleri 85Gpa civarında olup R,S ve AR tipleri vardır.

Camlar genel olarak alkali ortamlara dayanıksızdır, ancak AR tipi bu ortamlara dayanıklı hale getirilmiştir. Camların özgül ağırlıkları 2500 kg/m^3 'dür ve çelikten oldukça küçüktür. (7800 kg/m^3).

Karbon Lifleri : Karbon liflerinin dayanımı (3000-5000 MPa) ve elastisite modülleri (230-300 Gpa) çok yüksektir. Özgül ağırlıkları ise 1900 kg/m³'dür. Bu lifler genellikle poliakrilonitril (PAN) polimerinin önce lif haline getirilmesi, sonra çekme gerilmeleri altında oksitlenme ve karbürasyon işlemlerinin uygulanması sonucu elde edilirler. Karbürasyon sıcaklığı 1000- 3000 C arasında değişir, yüksek sıcaklıkta üretilenlerin elastisite modülleri daha yüksektir. Ancak çekme dayanımı 1500 °C civarında bir maksimum değerden geçerek düşer. Yüksek elastisite modülüne sahip karbon lifleri grafit olarak da adlandırılırlar.

Aramid Lifleri : Polimer esaslı bu liflerde çekme dayanımı 3000 Mpa'a kadar çıkabilir. Elastisite modülleri diğer liflere göre daha düşüktür (60-120 Gpa). En çok bilinen tipleri Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur (Kevlar 29'un elastisite modülü Kevlar 49'dan daha düşüktür). Bu liflerin özgül ağırlıkları düşük (1400 kg/m³) olduğu için kompozit malzemelerde önemli birer parametre olan özgül dayanım (dayanım/özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülleri (elastisite modülü/özgül ağırlık) diğer kompozitlere göre yüksektir. Buna karşılık basınç dayanımları düşüktür. Aramid lifleri solventlere, yağlara ve yangına karşı daha dirençlidir. Karbon ve cam lifleri gibi gevrek olmayıp sünek davranış gösterirler.

2.5.1.2 Matriks (Sürekli Faz)

Liflerin etrafını saran ve lifleri bir arada tutan malzemelerdir. Matriksin ana görevi gerilmeleri liflere aktarmaktır. Bunun dışında liflerin dış etkenlerden (nem, kimyasallar ve oksitlenme gibi) korur, lif yüzeylerinin birbirine çarparak veya dış etkilerle hasar görmesini engeller, çünkü cam ve karbon lifleri yüzey çentiklerine karşı duyarlı malzemelerdir. Genel olarak termoset polimerler matriks olarak kullanılır. Örneğin epoksi, poliester, vinilester, fenolik gibi.

2.5.1.3 Kompozit

Matriks gibi liflerin bir araya gelmesi ile kompozit malzeme oluşur. Lifler sürekli yada kesikli olabilir. Sürekli lifler tek yöne yönlendikleri gibi iki dik yönde de bulunabilirler. Betonarme yapıların takviyesi amacı ile kullanılan kompozitlerde kalınlık küçüktür ve lifler bir düzleme paralel olarak yer alırlar. Süreksiz liflerde yönlenme düzlemde rastgele olabilir. Kompozitin bir yöndeki elastisite modülü bilşenleri cinsinden şu şekilde yazılabilir:

$$E_k = \eta_1 \eta_2 E_\lambda v_\lambda + E_m (1 - v_\lambda)$$

Burada E_k , E_λ ve E_m sırası ile kompozitin, lifin ve matriksin elastisite modüllerini gösterir. V_λ ise liflerin kompozit içindeki hacimsel oranlarıdır. η_1 süreksiz liflerde etkinlik katsayısını gösterir ve sürekli lifler için 1'e eşittir. η_2 ise liflerin yönlenme etkisini simgeler ve sadece kompozit eksenine paralel liflerin bulunması durumunda 1'dir. yönlenmiş lifler için ise 0-1 arasında değerler alır. Bazı kompozitlerde tüm lifler ana eksene paralel olacak şekilde yönlenmiştir, bu kompozitlerin bu yöndeki verimlilikleri maksimum değerlerdir. Ancak liflere dik doğrultuda sadece matriks çalışmaktadır; bu nedenle mekanik özellikler büyük oranda düşer. Bazı kompozitlerde ise birbirine dik iki yönde ($0^\circ/90^\circ$) lifler bulunabilir.

E-tipi cam lifleri ile takviye edilmiş bir kompozitin % 65 oranında tek doğrultuda yönlenmiş lifler içermesi durumunda, liflere paralel dayanımı 1300MPa ve elastisite modülü 45Gpa olabilir. Aynı kompozitin liflere dik doğrultudaki dayanımı ise 50-100 MPa ve elastisite modülü 4 Gpa değerine düşer.

Epoksi veya vinilester matriksli ve karbon lifli kompozitlerin dayanımları (çekme) 2500-3000 MPa ve elastisite modülleri 155-165 Gpa değerlerine kadar çıkabilir. Buna karşılık maksimum şekil değiştirme oranları % 1.5'un altındadır.

Aramid lifli kompozitlerin mekanik özellikleri cam lifli olanlar ile karbon liflerin arasında yer alır. Örneğin çekme dayanımları 1200-1400 MPa ve elastisite modülleri 75Gpa mertebesindedir (lif doğrultusunda). Ancak bu kompozitlerin basınç ve eğilme dayanımları düşüktür.

2.5.2 LTPK'nın Üretim Ve Uygulaması

LTP kompozitler fabrikasyon olarak pülrüsyon yöntemi ile levha yada şeritler şeklinde üretilir. Daha sonra bu kompozitlerin bir yapıştırıcı yardımı ile yapı elemanlarının yüzeylerine uygulanması gerekir. En çok kullanılan yapıştırıcılar epoksi, poliester, poliüretan ve akriliklerdir. Bu yöntem prefabrikasyon bir üretimi içerdiği için ürün kalitesi yüksek ve üretim kontrollüdür. Ancak yapıştırma işlemi şantiyede gerçekleşmektedir. Yapıştırma sırasında özen gösterilerek, yapı elemanının yüzeyi ve kompozit yüzeyi yabancı maddeler nem içermeyecek şekilde hazırlanmalı ve çevreden etkilenmeyecek şekilde yapıştırılmalıdır. Burada yapıştırıcı- kompozit –yapı elemanı uyumuna özen gösterilmelidir.

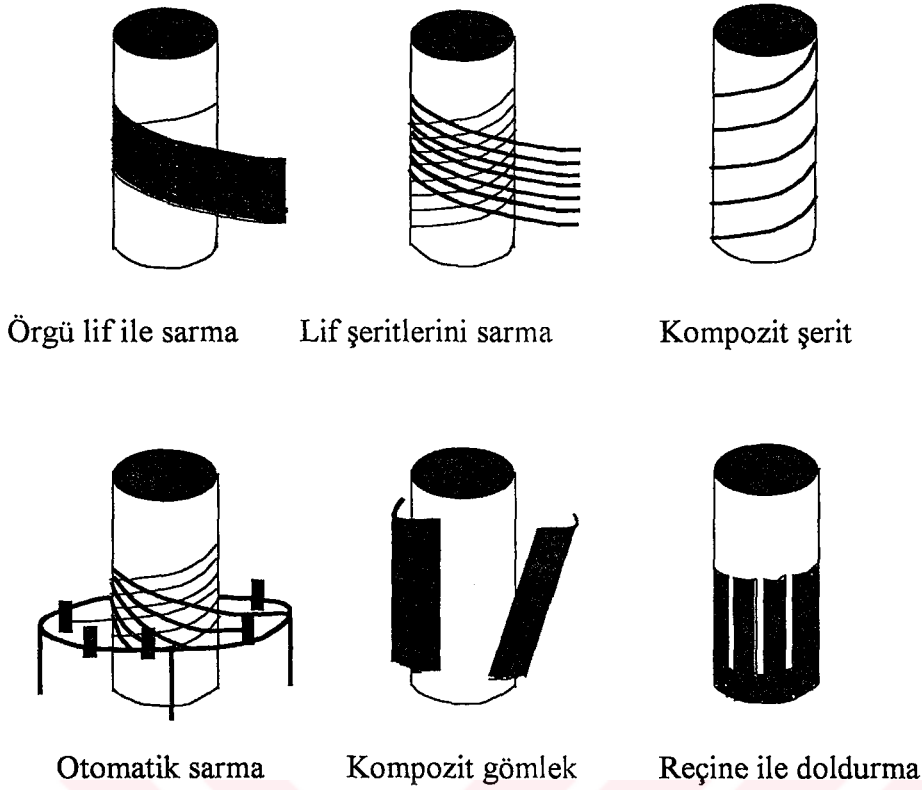
Diğer bir yöntemde kompozitler vakum altında üretilmektedir. Bu yöntem prefabrikasyon olarak uygulanabileceği gibi, doğrudan eleman üzerinde de uygulanabilmektedir. Uygulama sırasında lifler ya doğrudan yapı elemanına yada mandrel etrafına sarılmakta, sonra üzeri bir vakum torbası ile örtülmekte ve vakum uygulanarak havası alındıktan sonra reçine gönderilmektedir. Bu yöntemle de üstün nitelikli kompozit üretimine olanak doğmaktadır. Yöntemin yerinde (şantiyede) doğrudan eleman üzerinde uygulanmasının matriks ve yapıştırıcının aynı malzemeden oluşmasını sağlaması nedeni ile uyumsuzluk sorununu azalttığı bilinmektedir.

Vakum yöntemine benzer diğer bir uygulamada ise, lif kanaviçe (örgü) doğrudan yapı elemanına sarılmakta ve lifler ile yapı elemanı ve liflerin kendi aralarındaki boşluklar bir reçine ile doldurulmaktadır. Bu amaçla reçine önce elemana sürülür, sonra eleman etrafına lif örgü sarılır, en son lifler arasını da reçine (matriks) ile dolduracak şekilde uygulama yapılır (örneğin bir rulo yardımı ile). Bu yöntemde de kompozitin matriks bileşeni ve yapıştırıcı aynı malzemeden yapılmakta ve aynı anda uygulanmaktadır. Ancak kompozitin üretimi de dahil olmak üzere tüm işlemler şantiyede gerçekleştirildiği için belirsizlikler fazladır ve kontrolü zordur.

Özellikle kolon tipi elemanların takviyesinde önceden prefabrike olarak hazırlanmış ve elemanın boyutlarına uygun kompozitler iki yada tek parçalı olarak elemanın üzerine yerleştirilmekte veya yapıştırma işlemi uygulanmakta, yada kompozit ile yapı arası bir döküm harcı (grout) ile doldurulmaktadır. Bu işleme gömlek yada ceket giydirmeye adı verilmektedir.

2.5.2.1 Kolonların Güçlendirilmesi

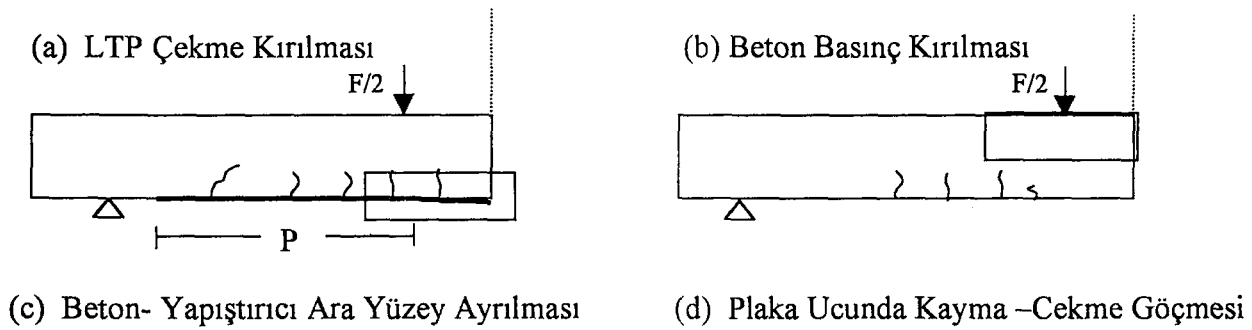
Kolonların güçlendirilmesinde daha önce ayrıntılı olarak ele aldığımız yöntemler kullanılabilir [28] (Şekil 2.17). Kolonların kompozit malzeme ile sarılması sonucu basınç kuvvetleri altındaki elemanda bir tür kuşaklama (fretaj) etkisi oluşmaktadır. Ayrıca çekme bölgesinde kayma çatlaklarının önlenmesinde de etkili olmaktadır. Kolonlarda dairesel kesitlerin liflerin sarılması sonucu güçlendirilmesi en başarılı şekildir. Dikdörtgen kesitli kolonlarda köşelerde gerilme yığılmasını önlemek amacı ile yuvarlatılma yoluna gidilebilir. Ayrıca uzun kenarın, kısa kenara oranı büyük olan kolonlarda, karşılıklı yüzlerdeki kompozit levhaların birbirine bulonlanması (kolonlardaki çiroz bağlantıları gibi) gerekebilir.

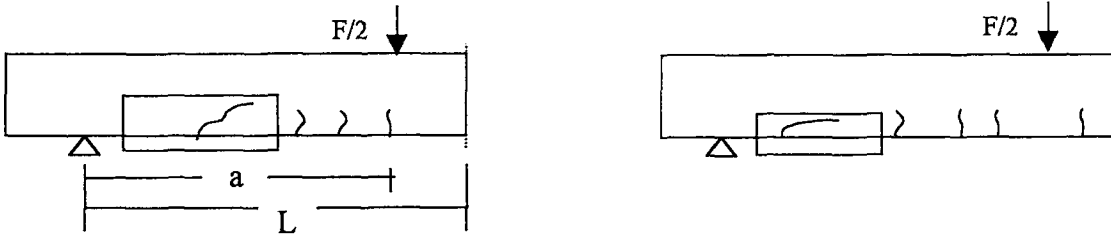


Şekil 2.17 Kolonlarda kompozitlerle yapılan güçlendirme şekilleri[28]

2.5.2.2 Kiriş ve Döşemelerin Güçlendirilmesi

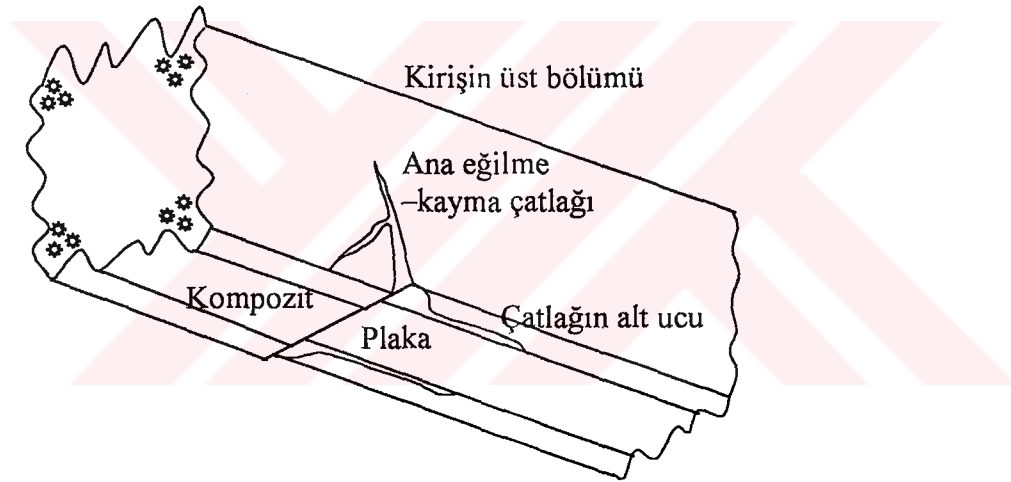
En yaygın güçlendirme şekli kompozit plak yada şeritlerin elemanın çekme bölgesine yapıştırılmasıdır [29]. Burada malzeme özelliklerine bağlı olarak farklı kırılma modları oluşabilir [30](Şekil 2.18). en ideal kırılma şekli kompozitin çekme gerilmeleri altında momentin maksimum olduğu bölgeden kırılmasıdır. Bu durumun gerçekleşmesi, kompozitin verimli olarak kullanıldığını gösterir. Diğer bir kırılma şeklinde kiriş elemanı basınç bölgesinde kırılabilir. Bu kırılma kompozitin büyük olduğu durumlarda ortaya çıkabilir.





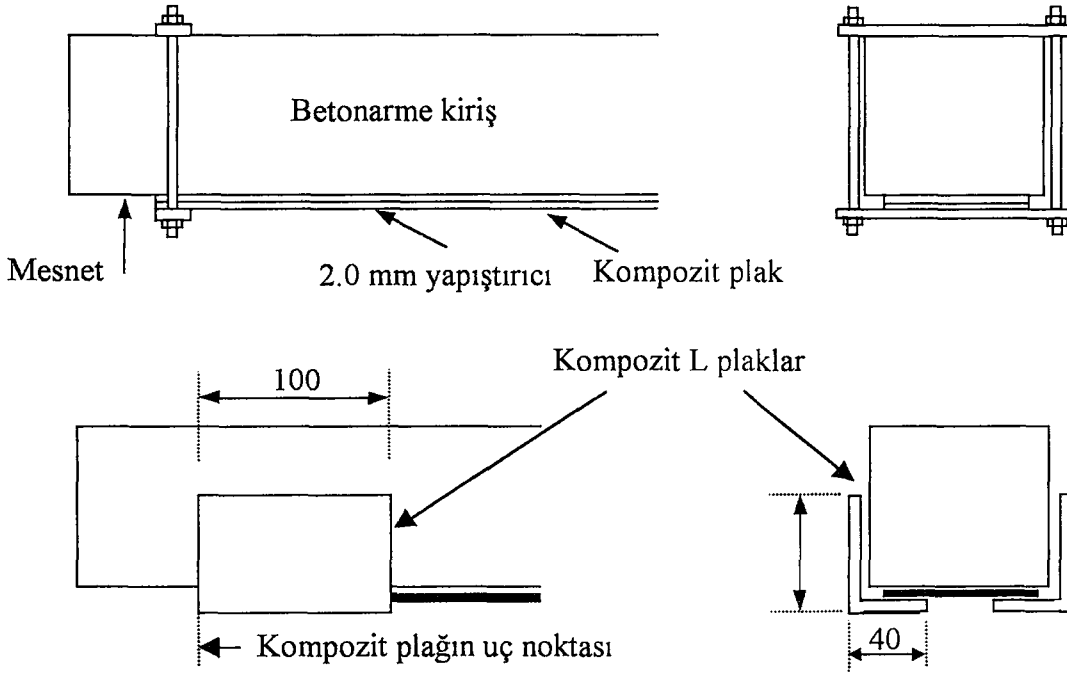
Şekil 2.18 LTP kompozitlerle onarılmış betonarme kirişlerde göçme mekanizmaları

Güçlendirilmiş kiriş ve döşemelerde daha sık rastlanan kırılma modunda beton-yapıştırıcı ara yüzeyinde ayrılma oluşabilir. Burada eğilme çatlaklarının yayılarak kompozitin ucunun betondan ayrılması söz konusudur [31](Şekil 2.19). Bunun dışında çekme- kayma gerilmeleri altında çelik donatıların bulunduğu düzlemde başlayan bir çatlak yayılarak kompozitin ucuna ulaşabilir ve betondan ayrılmasına yol açabilir.



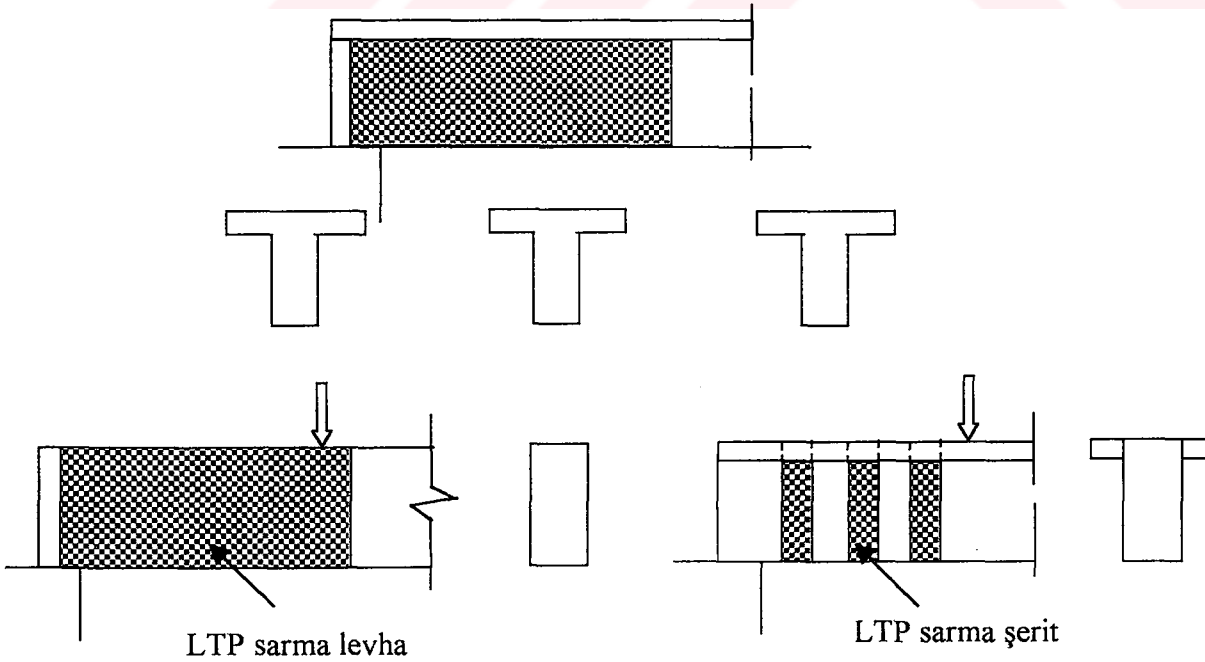
Şekil 2.19 Kirişte oluşan eğilme- kayma çatlağının gelişerek plak -beton arakesitine ulaşması [31]

Kirişlerde özellikle kalın kompozit plaklarda gözlenen ve uçlarda betondan ayrılmalar şeklinde oluşan kırılma şeklinin önüne geçebilmek için kompozit uçlardan kirişe bulonlanmıştır[32]. Ancak bu durumda kiriş gövdesinde diagonal çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. Bu nedenle bulonlamak yerine U veya L şeklindeki kompozitler yardımı ile uçların kalkmasının önüne geçilebilir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Kirişlerde uygulanan kompozit plakların uçlarının ayrılmasının önlenmesine yönelik örnekler

Kompozitlerin bir diğer uygulama alanı kirişlerde etriye olarak kullanılmasıdır [33](Şekil 2.21). Burada yan yüzlere kiriş ana eksenine dik olarak kompozit şeritleri yapıştırılabilir. Diğer uygulama şekilleri L veya U şeklindeki şeritlerin kiriş altında çevreleyecek şekilde yapıştırılmasıdır. Bu kompozitlerin uçlarının döşeme içine gömülmesi önerilmektedir. Kompozit şeritler kayma çatlaklarına dik yönde de kiriş yan yüzlerine yapıştırılabilir.



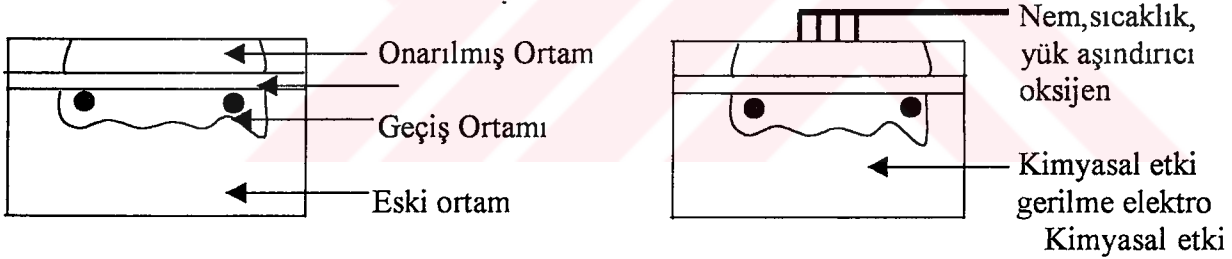
Şekil 2.21 LTP levha ve örgülerin kirişlerin kaymaya karşı güçlendirilmesinde uygulama şekilleri [33].

3. ONARIM YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

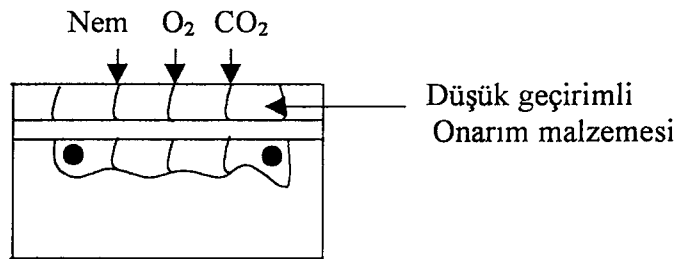
3.1 Eski Ve Yeni Betonun Kaynaştırılması

Betonarme yapılarda çok karşılaşılan bir durum çeşitli nedenlerle bozulmuş betonun yerine yenisinin konulmasıdır. Bu tür onarımın değişik boyutları vardır (Şekil 3.1). Bu beton örtü onarımı genellikle donatının paslanması sonucu ortaya çıktığı betonun yüzeysel dış etkiler nedeni ile bozulması sonucu da olabilir. Bozulmuş betonun yerine konulan yeni beton ile eski beton arasında iyi yapışma sağlanması yeni betonun donatıyı eski betondan daha iyi koruyabilmesi için çatlamaması gerekir. Onarım için kullanılan betonun mevcut betondan daha yüksek dayanımlı olması istenir.

Yüksek dayanımlı betonun kuruyunca rötresi çoktur, elastisite modülü yüksek, sünmesi azdır. Daha yüksek ısı üretip daha çok çatlayabilirler. Çatlak ise donatıda ki paslanmayı hızlandıracaktır. Bu nedenle yapı elemanının dayanımını artırmayı hedeflemeyen donatıyı paslan "koruyucu" tür onarımlarda düşük dayanımlı, büzülme miktarı az, sünme miktarı ve elastisite modülü yüksek betonlar kullanmak daha doğrudur.



Onarım Bölgesindeki Değişik Ortamlar



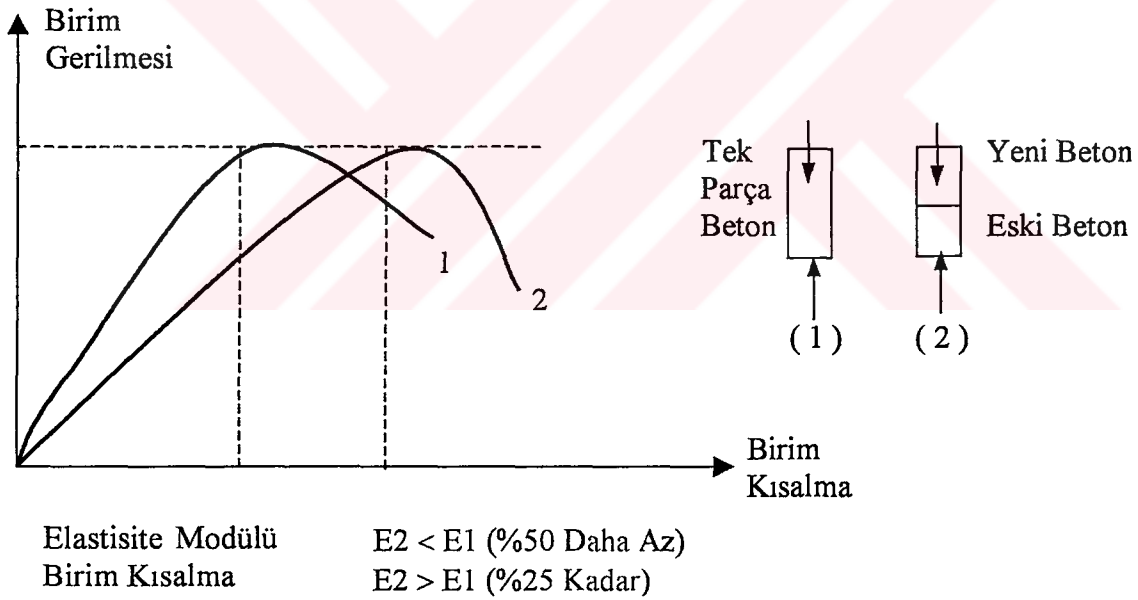
Yüksek Geçirimli Onarım Malzemesi

Şekil 3.1 Bozulmuş beton onarımının boyutları (Emmos ve Vaysburd -1995)

Betonarme yapı elemanının onarım yada güçlendirilmesinde eğer beton en kesidinin büyütülmesi gerekiyorsa daha önce dökülmüş beton ile yeni dökülen betonun birlikte, monolitik, tek parça, olarak çalışması gerekir. Bu bir anlamda eski ve yeni beton arasında süreklilik, kuvvet aktarımı sağlanması demektir. Eski ve yeni beton arasında kesme, basınç ve çekme kuvvetlerinin aktarılmasının gerektiği durumlar vardır.

3.1.1 Basınç Kuvvetlerinin Aktarımı

Bu aktarımın tam olarak sağlanması için eski betonun yüzünün pürüzlü bir duruma getirilmesi, yeni dökülen betonun eski betona iyi yapışması için taze beton hafif bir basınç (10kg/cm^2) uygulanması yada özel bağlayıcı maddelerin kullanılması önerilmektedir. Püskürtme beton yada özel beton kullanılması ile hemen hemen tam süreklilik sağlanabilmektedir. Şekil 3.2’de çeşitli yöntemlerle kaynaştırılmış eski ve yeni betonun basınç altında şematik yük deformasyon eğrisi verilmektedir.

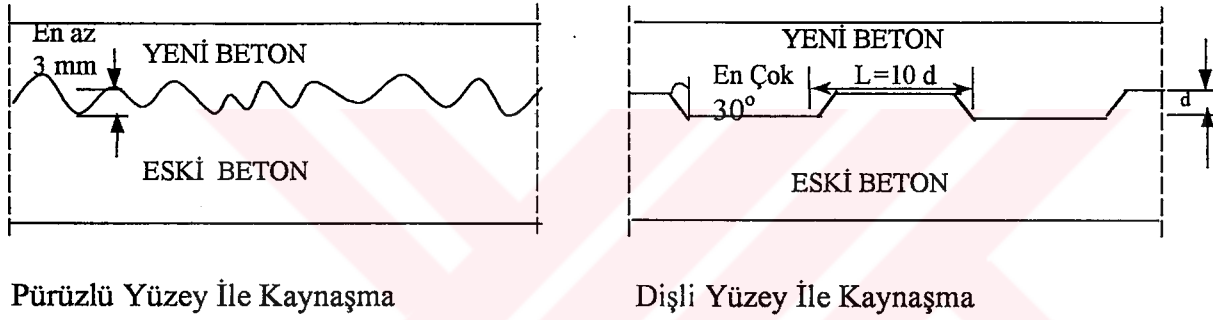


Şekil 3.2 Eski ve yeni betonun kaynaşmasının basınç etkisi altında şematik etkinliği (Chronopoulos, 1989)

Basınç kuvvetleri altında eski ve yeni betonun kaynaşmasının, özellikle şantiye koşulları altında tam olmayacağı ileri sürülmektedir. Betonun basınç dayanımının biraz daha küçük olacağı, elastisite modülünün daha küçük, en az %50 kadar daha az, ve birim kısılmanın da %25 kadar daha fazla olabileceği ileri sürülmektedir (Chronopoulos 1989). Basınç etkisi altında eski ve yeni betonun kaynaşmasının verimlilik oranının %90 gibi alınabileceği sanılmaktadır.

3.1.2 Kesme Kuvveti Etkisi Altında Kaynaşma

Eski ve yeni betonun kesme kuvvetleri etkisi altında kaynaşması çok daha önemlidir. Farklı zamanlarda dökülmüş iki betonun ara yüzeyinin kesme etkisi altında aktarımı betonların birbirine yapışması (adhezyon) ve sürtünme ile gerçekleşmektedir. Uygulanan kaynaştırma yöntemleri bu iki işlevi sağlayacak özelliklerde olmalıdır. Eski betona yeni beton yapışmalı, ve eski betonla yeni beton arasında sürtünme olabildiğince yüksek olmalıdır. Öte yandan çatlakları bağlamada kullanılan mekanik bağlayıcılarda bu amaçla kullanılabilirler. Bu nedenle eski ve yeni betonda uzanan filiz donatısı kama etkisi ile kesme kuvveti aktarma işlevi görebilir. Eski ve yeni betonu kaynaştırmada yüzey pürüzlülüğünün artırılması yüzeyde en az 0.3mm'lik pürüzlerin olması ile gerçekleştirilir



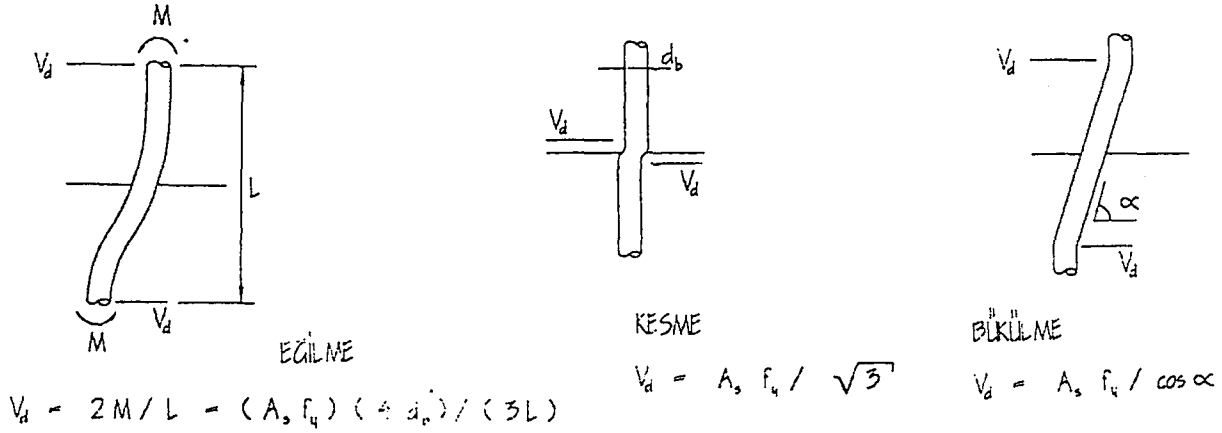
Şekil 3.3 Eski ve yeni betonların kaynaştırma yöntemleri

Diğer bir kaynaştırma yöntemi ise betonda kesme kamaları oluşturacak yuvalar ve dişler yapılmasıdır. Eski ve yeni beton arasında kaynaştırma yeni yapılan inşaatlarda da sorundur. Birçok betonarme yapıda özellikle kolonlarda döküm derzleri kolon uç momentlerinin en büyük olduğu yerlerde yapılmaktadır. En çok birkaç hafta gibi farklı zamanlarda dökülmüş betonların tam kaynaşmamış olması nedeni ile bu ara yüzeylerde en hafif depremlerde bile kolayca çatlak ve açılma oluşmakta ve bu noktalar “mafsallı” gibi davranmaktadır.

3.1.3 Kama Donatısı İle Kaynaştırma

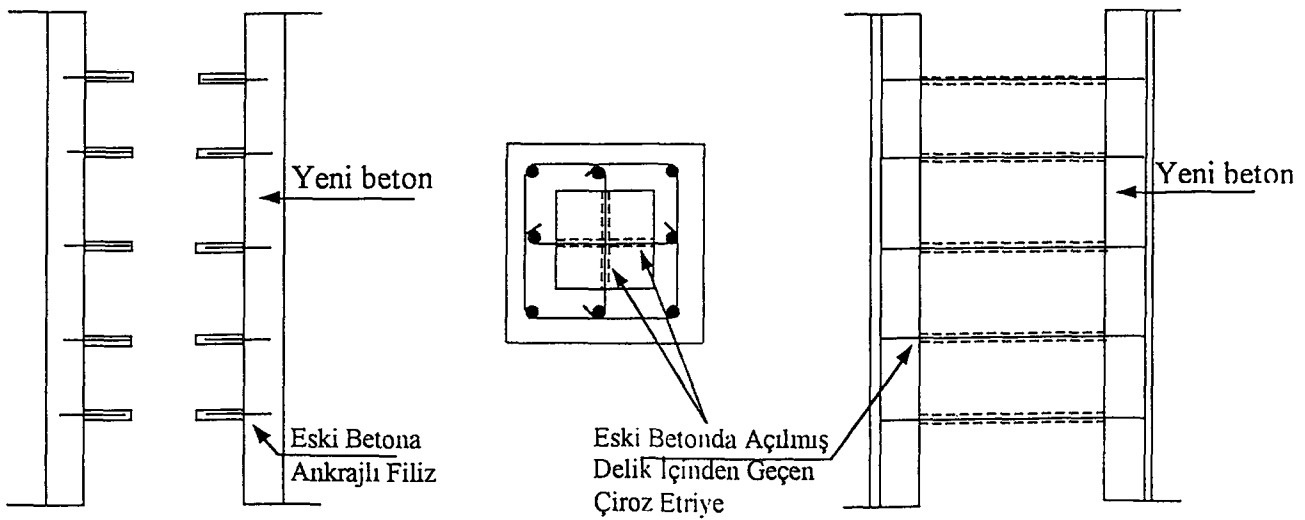
Eski ve yeni betonun ara yüzeyine dik yönde yerleştirilmiş filiz demirlerinin kama etkisi ile kesme kuvvetleri aktarabileceği bilinmektedir. Park ve Paulay (1975)'e göre donatının kama etkisi ile kesme kuvveti aktarması Şekil 3.4' de gösterilen mekanizma ile oluşmaktadır. Yalnız bu işlem için eski ve yeni beton arasında ötelenme oluşması ve kama donatısının

deformasyonu gerekmektedir. Bu ise istenilen bir durum değildir. Ancak çok yüksek yükler altında oluşması ve enerji tüketimi ile birlikte oluşması durumunda olumlu görülebilir.



Şekil 3.4 Eski ve yeni beton arasındaki kama donatısının yatay kuvvet aktarma biçimleri

Kama etkisinden yararlanılacak filiz demirlerinin eski betonda ankraj için açılacak yuvalara yüksek dayanımlı ve genleşen çimentolu harç ile yerleştirilmesi gerekir. Ankraj boylarının yeterli olması da gerekmektedir. Şekil 3.4'de gösterilen eski beton ile yeni beton arasında kama donatıları ile kesme kuvveti aktarma yöntemi çerçeve açıklıklarına perde duvar yerleştirme ile güçlendirme yönteminde kullanılabilir. Kolonların mantolanmasında ise kolonda açılacak yuvalara kanca donatısı yerleştirilerek kama donatısından kesme kuvveti aktarma işleminde yararlanılabilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Eski ve yeni betonu kaynaştırmak için kama donatısının kullanılması

3.1.4 Epoksi Reçineleri İle Kaynaştırma

Basınç altında eski ve yeni beton arasındaki yüzeyde kaynaşma hemen hemen %100 etkilidir. Eğer uygulanan basınç kuvveti ile ara yüzey arasındaki açı 90°C den küçük ise ulaşılabilen basınç dayanımı, beton basınç dayanımının %50'si kadar daha düşük olabilmektedir. Eğer epoksi ile yapıştırılmış ara yüzeye dik yönde çekme kuvveti uygulanırsa, epoksi reçinelerinin çekme dayanımı her zaman betonun çekme dayanımından yüksek olduğu için kırılma betonda olmaktadır. Ara yüzeye konulan epoksi tabakasının 2mm den ince olmasının dayanımı artırdığı gözlenmiştir. Ara yüzeye kesme kuvveti geldiği zaman dayanım beton çekme dayanımı olarak alınabilir. Bu sürtünme değeri, küçük kaymalar 0.02 mm den az için geçerlidir.

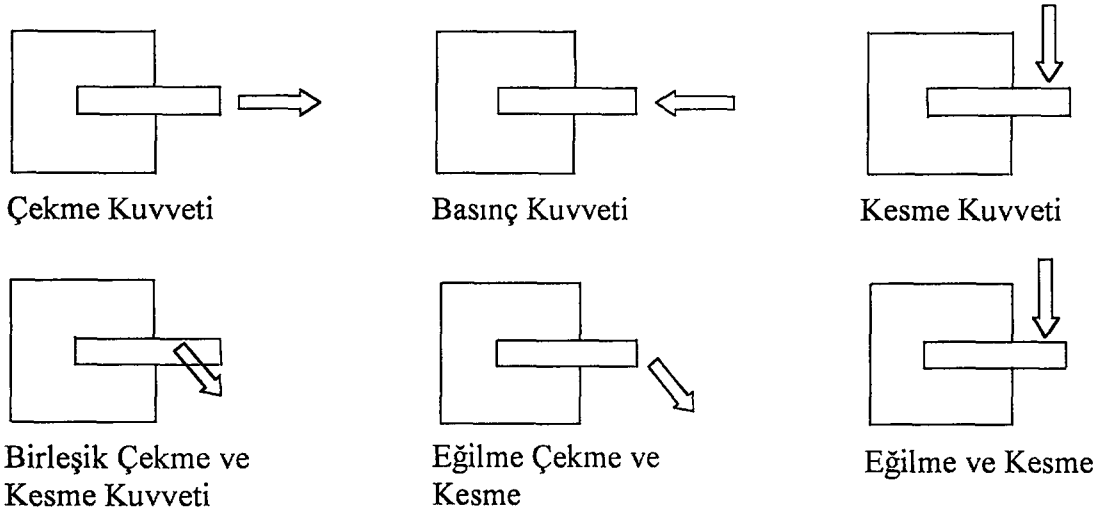
3.2 Donatının Betona Ankraşı

Betonarme yapılarda beton ve donatının birlikte çalışması için betonun donatıya tam olarak yapışmalıdır. 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, yani ankrajlama olarak tanımlanır. Onarım ve güçlendirme sırasında betonarme elemana konulacak ek donatıların eski yada yeni beton içinde ankraşı gerekmektedir.

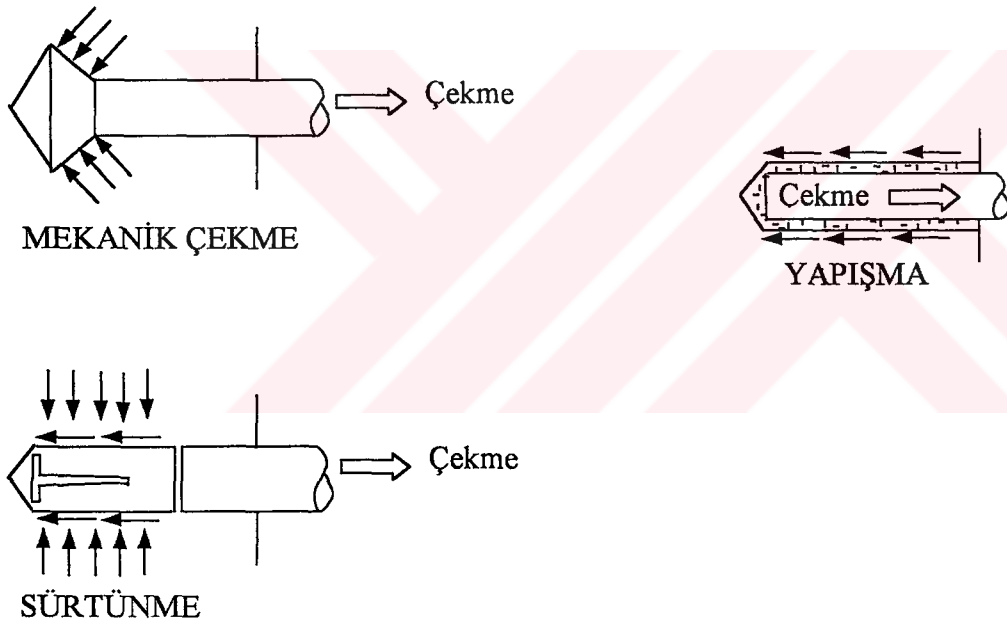
Güçlendirme sırasında eklenen yeni bir taşıyıcı elemanın var olan elemanlarla birlikte çalışması için aralarında tam bir kuvvet aktarması olmalıdır. Örnek olarak çerçeve ortasına konulan perde duvarın çerçeve ile birlikte çalışması için kolon ve kirişlerde açılan yuvalara donatılar ankrajlanır (Şekil 3.5). Ankraj donatıları çerçeve açıklığına konulan betonarme perde duvar ile çerçevenin kolon ve kirişleri arasında kuvvet aktarımını sağlamak için gereklidir.

3.2.1 Ankrajların Özellikleri

Ankrajlara değişik biçimlerde kuvvetler gelebilir(Şekil 3.6). Bu kuvvetlerin ankrajın yerleştirildiği çoğunlukla beton bazen de taş yada dolu yada delikli tuğla duvar elemanlara kuvvet aktarımı Şekil 3.7'de gösterilen biçimlerde olur. Kuvvet mekanik kavrama, sürtünme yada yapışma ile ankrajın konulduğu ortama aktarılır

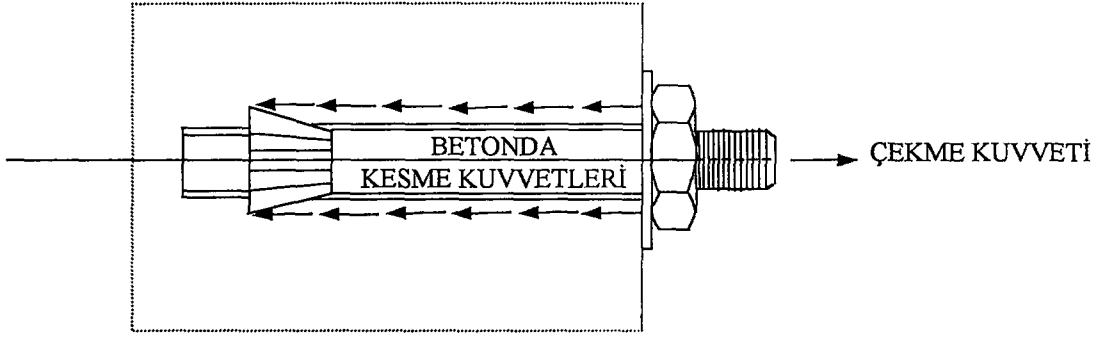


Şekil 3.6 Ankrajların yüklenme biçimleri



Şekil 3.7 Ankrajların yük aktarma mekanizmaları

Birinci ankrajlama yönteminde özel ticari adlar altında anılan ankraj sistemleri vardır (Fischer, Hilti 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. Şekil 3.8’de böyle bir ankraj bulonu gösterilmektedir. Burada uygulanan çekme kuvveti bulon ile delik arasında sürtünme ve oluşan kesme takozu çevresindeki betonun kesme dayanımı ile taşınmaktadır.

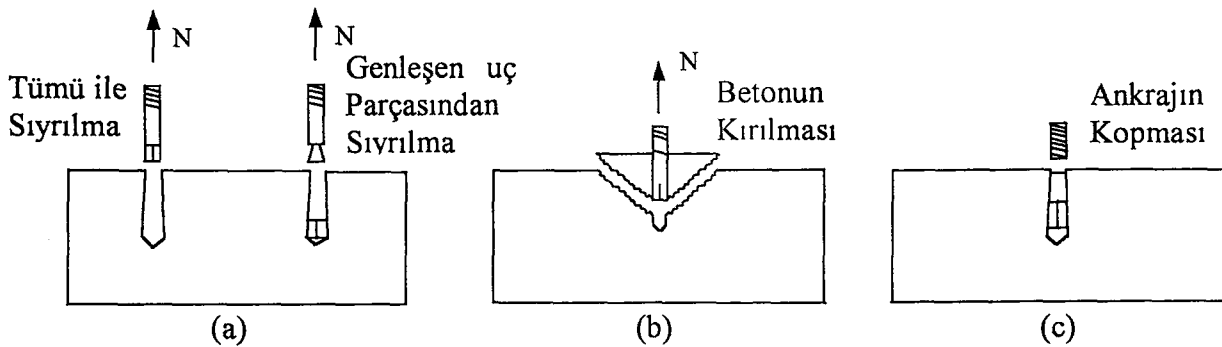


Şekil 3.8 Ankraj bulonunun kuvvet aktarma şeması

İkinci yöntemde ise ankrajlanan bulonun çevresine özel sentetik yapıştırıcılar sürülmektedir yada cam tüpler içindeki kimyasallar betonda açılan deliğe yerleştirilip ankrajlanacak inşaat demiri deliğin içine çakılmaktadır. Kırılan cam tüpten çıkan kimyasal madde betonla donatı arasında yapışmayı sağlamaktadır. Kimyasal maddenin sertleşmesi hava sıcaklığına bağlıdır. 0° - 10°C hava sıcaklığında sertleşme bir saat sürerken, 10° - 20°C sıcaklıklarda yarım saat sürmektedir. Hava sıcaklığı sıfırın altında ise sertleşme zamanı beş saat olabilmektedir. Bu tür bazı sentetik yapıştırıcıların 100° - 150°C yandığı bilinmektedir. Eğer yangın tehlikesi varsa deliklerin daha derin yapılması önerilmektedir.

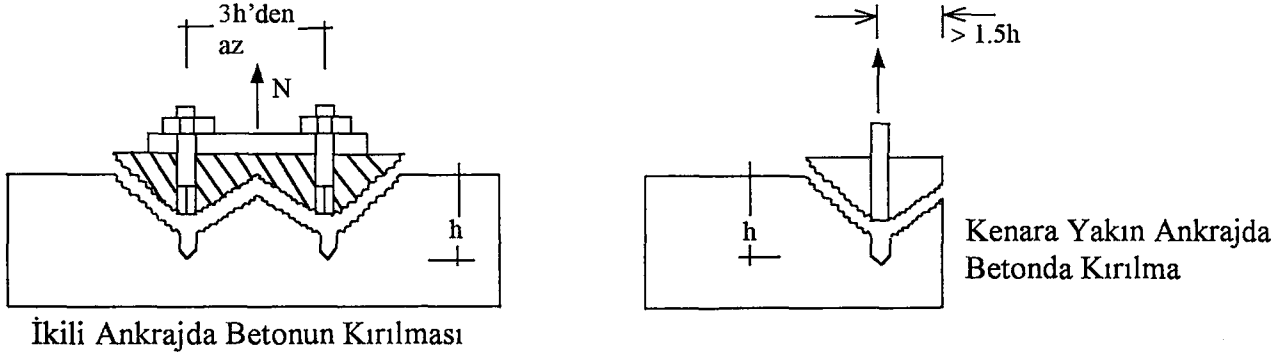
3.2.1.1 Kırılma Biçimleri

Eğer ankraj betonun içine yeterli derinlikte konulmamış ise ya ankraj betondan tümü ile sıyrılır yada genişleme parçasından ayrılarak sıyrılır (Şekil 3.9a). Eğer ankraj çok derin yapılmışsa ankraj kopması ile kırılma olur (Şekil 3.9c). Bir diğer kırılma biçimi ise betonun konik biçiminde çatlayarak kırılmasıdır (Şekil 3.9b).



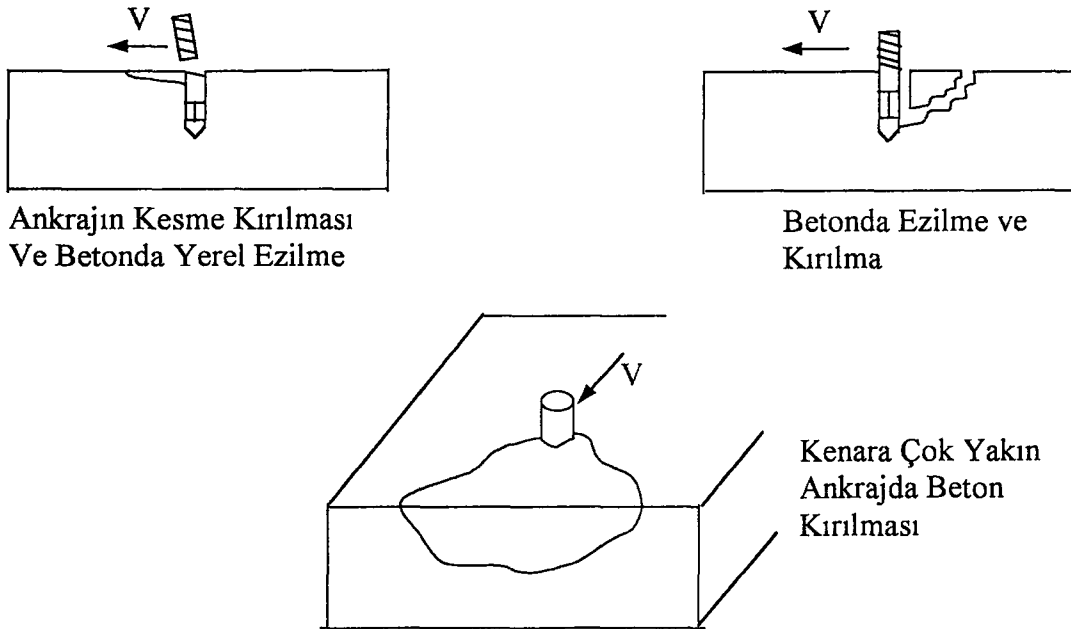
Şekil 3.9 Ankrajların aksenal çekme yükü altında kırılma biçimleri

Eğer yanyana iki ankraj varsa ve bunların arasındaki aralık $3h$ dan az ise ankraj konileri kesişeceği kırılma yüzeyinin biçimi Şekil 3.10'daki gibi olacaktır. Bu durumda N kuvveti her iki ankrajın tek başına taşıyabileceği kuvvetin iki katından daha az olacaktır. Eğer ankraj, elemanın kenarına çok yakın konulmuşsa yine betonda oluşan konik ara yüzeyin daha küçük olmasından dolayı N kuvveti Şekil 3.9b' deki N kuvvetinden daha az olacaktır.



Şekil 3.10 Ankrajların aksel çekme yükü altında kırılma biçimleri

Ankrajların V kesme kuvvetleri altında kırılma biçimleri Şekil 3.11'de verilmektedir. Kırılma ya donatının kırılması ya da betonun kırılması biçiminde olmaktadır. Eğer donatı betonun kenarına çok yakın ise kenar kırılması biçiminde kırılma olmaktadır. Şekil 3.10'daki türde bir kırılma olmaması için ankrajın elemanın kenarından en az $1.5h$ kadar uzakta olması gerekmektedir.



Şekil 3.11 Ankrajların kesme yükü altında kırılma biçimleri

3.2.1.2 Ankraj Derinliği

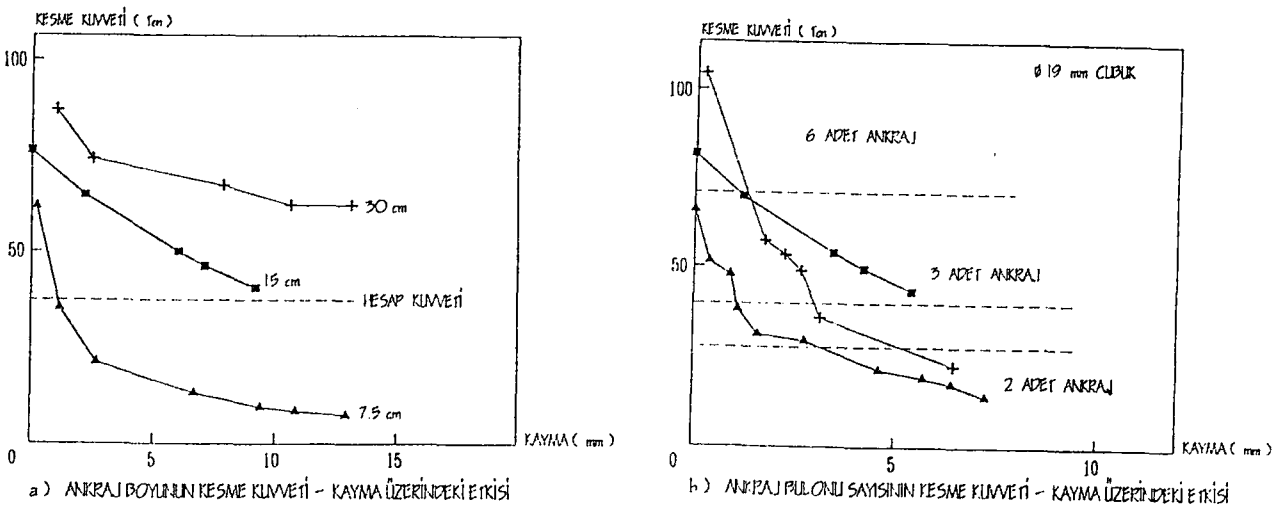
Genleşmeli ankrajlarda ankraj derinliği büyük ise genleşme kuvveti betonu çatlatmaya yetmez. Ya donatı kopar yada kayarak çıkar. Eğer ankraj yukarı kayarken betonu genleşme ile çatlatacak bir derinliğe ulaşırsa beton yine koni biçiminde çatlar. Deneyler h den daha derin gömülmüş ankrajlarda çekme kuvveti altında taşıma gücünde önemli bir artış olmadığını göstermektedir.

Ankraj derinliği ankrajın cinsine göre değişir; genleşmeli ankrajlarda genleşen parçanın ucuna kadar, plastik dübelli ankrajlarda dübelin bittiği yere kadar ve kimyasal ankrajlarda ankraj çubuğunun ucuna kadardır.

3.2.1.3 Delik derinliği

Delik derinliği kullanılan patentli malzemenin üreticilerine ankrajın cinsine göre verilmektedir. Genellikle delik derinliği ankraj derinliğinden 1-2 cm daha büyük olmaktadır. Kimyasal ankrajlarda delik derinliği ankraj derinliği kadar olmaktadır.

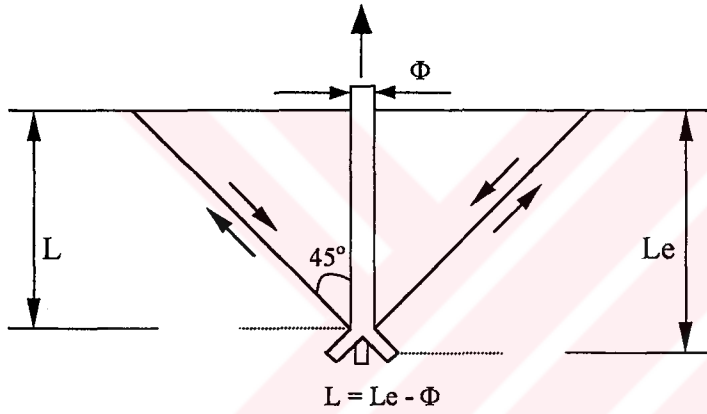
Betona ankraılanmış bulonların dayanımında deliğin temizlenmiş olması çok önemlidir. Deneylerde iyi temizlenmemiş deliklerde çekme dayanımının en düşük olduğu gözlenmiştir. Deliğin yan duvarlarında hiç toz kalmamalıdır. Ankraj boyu uzun ise ankrajda daha yüksek kesme dayanımına ulaşılabilmektedir (Şekil 3.12a). Öte yandan ankraj bulonu sayısının etkisi ise farklı (Şekil 3.12b) olmaktadır.



Şekil 3.12 Ankrajların boy ve sayısının dayanım üzerinde etkisi

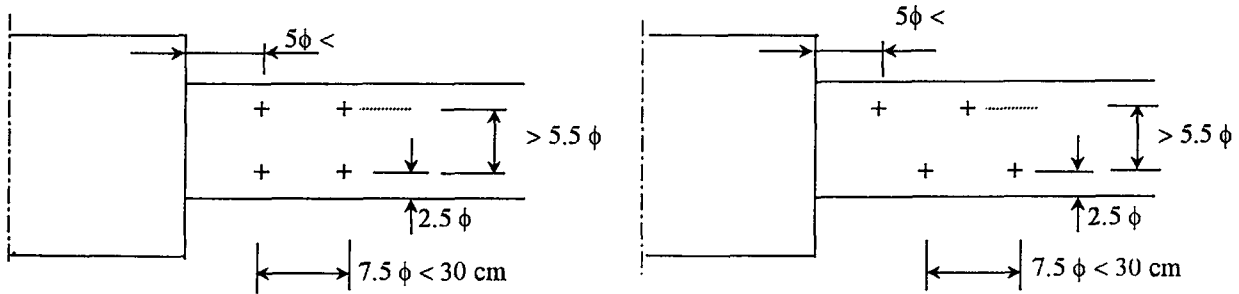
YAPILAN deneylerde donatının ankrajlandığı betonda spiral donatı varsa kesme dayanımının daha yüksek olabildiği gözlenmiştir. Eski ve yeni betonun ara yüzeyinde çentik ve pürüzler varsa kesme kuvveti taşıma gücü artmaktadır. Epoksi reçinesi doldurulan ankrajlarda yüksek dayanımlı epoksi donatının tam ankrajını sağlamakta, çekme kuvveti altında kırılma betonun bir koni biçiminde ayrışması biçiminde olmaktadır (Şekil 3.9b).

Endo ve Shimazu(1985) tarafından yapılan deneylerde de donatı beton içinde yeterli ankraj boyunda uzanıyorsa koni biçiminde kırılmanın derinliği Le kadar olmaktadır. Şekil 3.13a'daki gibi olduğu gözlenmiştir. Eğer ankraj derinliği çok ise kırılma donatının çekme etkisi altında kopması biçiminde olmaktadır. Donatının epoksi ile ankrajlandığı deneylerde donatının ankrajlandığı betonun donatılı yada donatısız olmasının beton dayanımını az miktarda artırdığı gözlenmiştir.



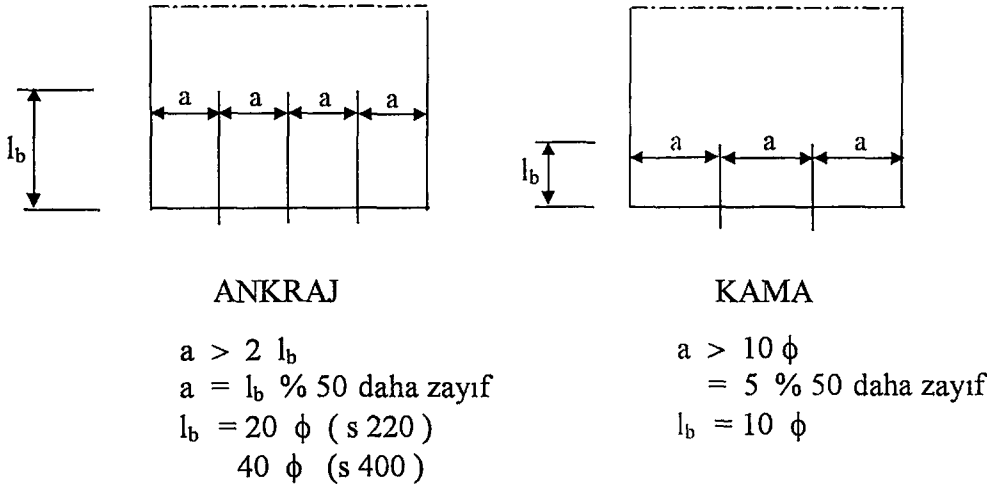
a) Ankrajlarda Çekme Etkisi Altında Betonda Kayma Yüzeyi

Ankraj aralıkları için ise Şekil 3.13b ve Şekil 3.14'de verilen ilişkiler kullanılabilir.



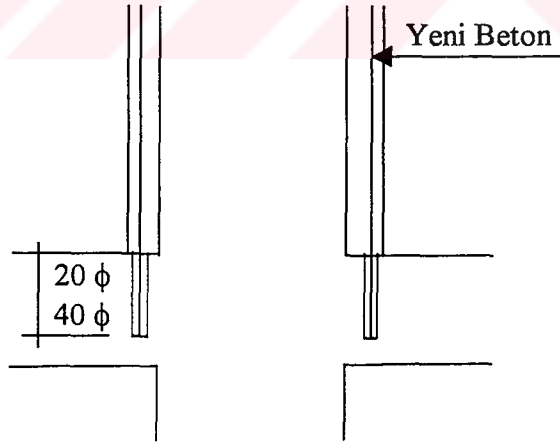
b) Kirişlerde açılacak ankraj deliklerinin en küçük aralıkları

Şekil 3.13 Ankrajların kırılma biçimi ve bulon aralıkları



Şekil 3.14 Gruplu ankraj ve kama için boyut koşulları

Bir başka donatı ankarajlama yöntemi özel yüksek dayanımlı ve genişleyen harçların ankraj deliklerine yerleştirilmesidir. Şekil 3.15’de gösterildiği gibi kolonlarda mantolama ile eklenecek yeni boyuna donatılara daha derin ankraj boyunda konulması gerekir. Bu deliklerin çapı donatı çapından 5’er mm daha geniş olmalıdır. Ankraj boyu ise donatı çapının, yumuşak çelikte (BÇ 220), en az 20 katı, yüksek dayanımlı çelikte (BÇ 420) ise en az 40 katı olmalıdır. Kesme kuvveti aktarma amaçlı ankrajların boyu daha kısa olabilir. Kesme kuvveti taşıma durumunda delik derinliği en az $10f$ kadar olmalıdır.



Şekil 3.15 Kolon boyuna donatı ankrajı

3.2.1.4 Çatlaklı Betonda Ankraj

Betonarme elamanlarda kendi ağırlıkları altında 0.3-0.4 mm’yi aşmayan çatlaklar oluşur. Tasarım yüklerinin etkiği durumlarda %95 olasılıkla 0.5-0.6 mm’yi aşmayan çatlaklar

oluşur. Depremde hasar görmüş ve güçlendirilecek yapı elemanlarında çatlaklar daha büyük, birkaç mm boyutunda olabilir. Daha geniş çatlakları olan elemanlara donatı ankrajı yapılacaksa bu çatlakların epoksi ile doldurulmuş olmaları gerekmektedir.

Normal kullanım koşullarında oluşmuş çatlakları olan yapı elemanlarında kimyasal ankraj yapılması durumunda çatlamamış betonda yapılan ankraja göre aksinel çekme kuvveti taşıma gücünde çatlağın boyutuna göre (0.4 mm) %40 kadar azalma olabilir, bu azalma %80'e kadar yükselebilir. Çatlaklı ortamlardaki mekanik ankrajlarda çekme kuvveti taşıma gücündeki azalma %40 ile %60 arasında olabilir.

Çatlaklı betonda kesme etkisi altında ankrajın taşıma gücünde azalma, eğer ankraj elemanın kenarına çok yakın değilse, %10 kadar olur. Ankraj eleman kenarına yukarıda sözü edilen 1.5h den daha yakın ise kesme kuvveti taşıma gücü çatlaksız betona göre %60-%70 kadar daha azdır.

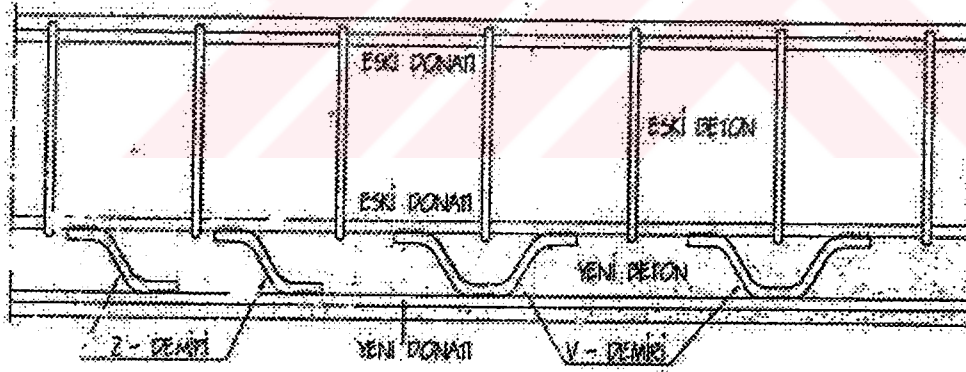


4. BETONARME KİRİŞLERİN GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1 Eğilme Momenti Artıran Güçlendirme

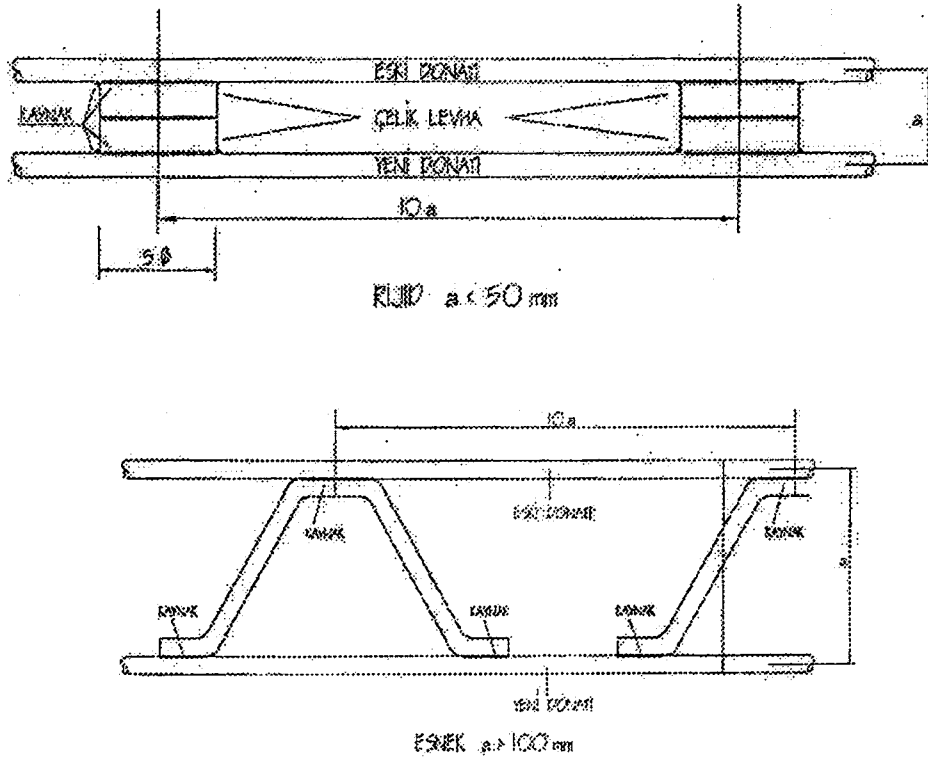
Betonarme bir kiriş kesitinin eğilme momenti kapasitesi, çekme donatısı ve moment kolunun artırılması ile sağlanır. Bunun için beton enkesit alanının yeniden eklenecek beton alanı ile derinleştirilmesi ve bu eklenen alana yeni çekme donatıları konulması gerekir. Burada problem yeni ve eski betonların kaynaştırılması ve yeni konulan çekme donatılarının betona ankrajıdır.

Yeni konulan çekme donatısı ile eski donatının bağlanması V yada Z bağlantısı denilen bir donatının eski ve yeni donatılara kaynaklanması ile yapılmaktadır. Şekil 4.1’de bu tür bağlantı ayrıntısı gösterilmektedir. Bu tür bağlantı kiriş beton enkesitinin de genişletilmesi yapıldığı zaman gereklidir. Çünkü yeniden eklenecek donatıların, eklenen yeni beton enkesitinin en alt düzeyine yakın bir yerde olması ile moment kolu büyüyeceğinden eğilme momenti kapasitesi artar.



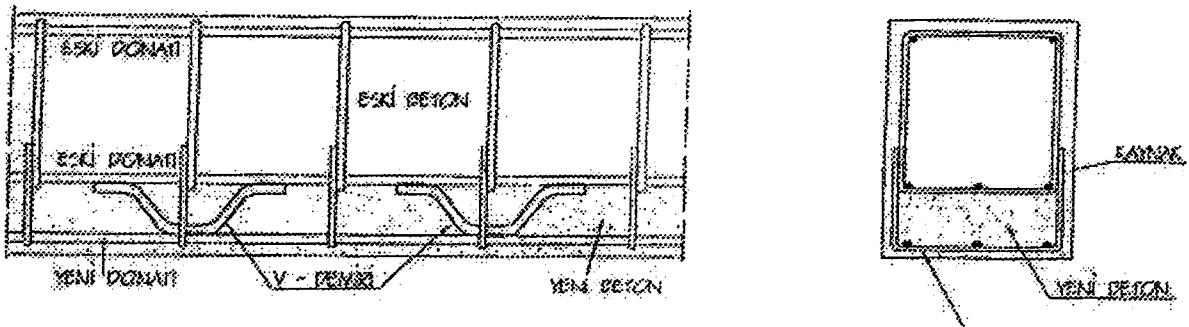
Şekil 4.1 Kiriş güçlendirmesinde eski ve yeni donatının V ve Z demirleri ile birbirine bağlanması

Eğer enkesit genişletilmesine gerek duyulmayan yalnız çekme donatısı eklenmesi ile yetinilecek ise eski boyuna donatıya, yeni donatı araya yer yer levha konularak kaynaklanabilir. Şekil 4.2’de bu iki ayrı yöntem gösterilmektedir. Chronopoulos’a (1989) göre bu iki tür bağlantıdan V ve Z bağlantısı esnek, diğer tür bağlantı ise rijittir. Eğer eski ve yeni donatılar arasındaki aralık fazla ise bağlantı esnek olmaktadır.



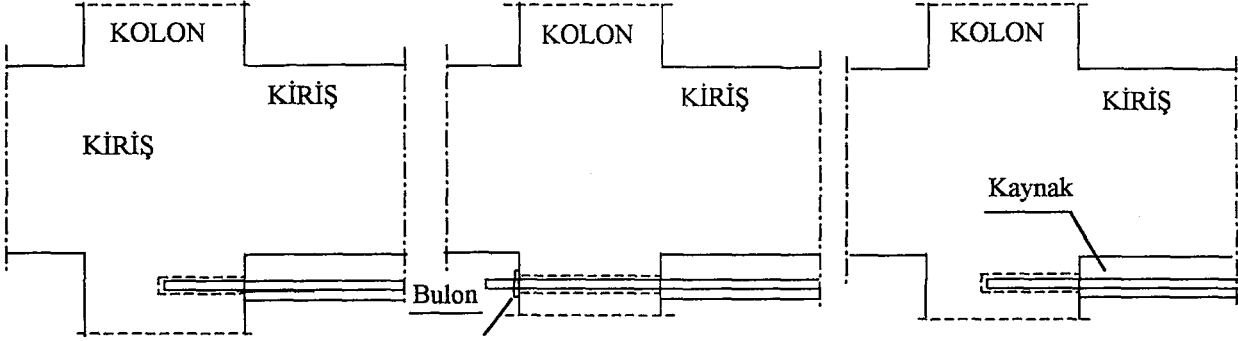
Şekil 4.2 Eski ve yeni donatıların birbirine rijit ve esnek olarak bağlanması

Kiriş enkesitinin genişletilmesi ile eski ve yeni donatıların birbirine bağlanması yanında kiriş enine donatısının da uzatılması gerekir. Etriyelerin eski ve yeni boyuna donatıların birlikte çalışmasına olumlu katkısı olduğu bilinmektedir. Şekil 4.3'de enkesiti güçlendirilmiş bir kirişin görünüşü ve kesiti verilmektedir. Burada verilen güçlendirme ayrıntısı ile kirişin açıklıktaki (+) eğilme momenti taşıma gücü artırılmaktadır. Eklenen etriyelerin eski etriyelere kaynaklanması ve eski ve yeni boyuna donatıların birlikte çalışması için de V demirleri ile birbirlerine kaynaklanmaları gerekir.



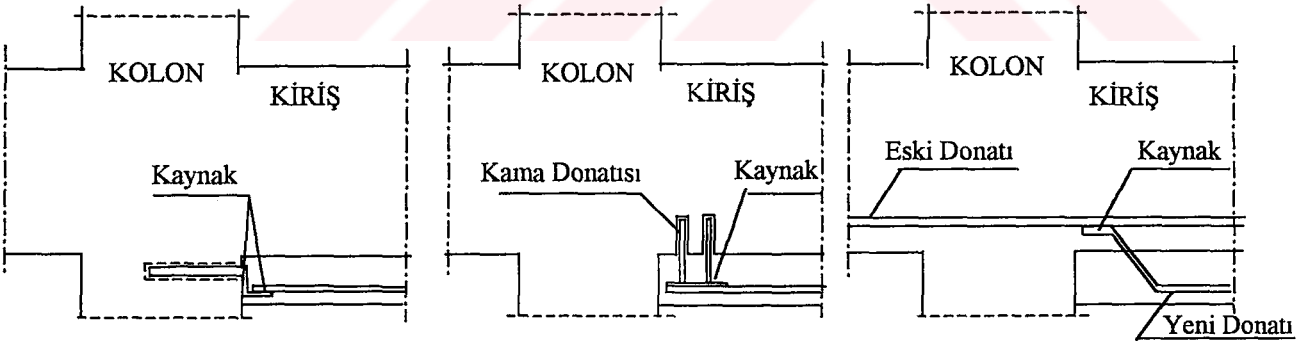
Şekil 4.3 V Demirleri ile en kesit güçlendirmesinde ek etriyelerin kaynakla bağlanması

Kiriş güçlendirme yönteminde ek olarak konulan boyuna donatıların ankrajı bir diğer önemli ayrıntıdır. Şekil 4.4’de kiriş alt yüzüne ek olarak konulan boyuna donatıların ankrajı için değişik uygulamalar gösterilmektedir. Kiriş uçlarındaki negatif moment bölgelerinin de güçlendirilmesi gerekebilir. Şekil 4.5’de kirişin üst yüzünde mesnetlerdeki eğilme momenti kapasitesinin artırılması için güçlendirme ayrıntıları verilmektedir.



Boyuna Donatı Kolonda Açılan Delik İçinde Ankraj Boyu Kadar Uzanır. Delik Özel Bir Harçla Doldurulur

Boyuna Donatı Kolonda Açılan Kirişe Ek Olarak Konulmuş Delikten Geçirilir Ucuna Dış Çekme Donatısı, Kolonda Açılır Ve Kolonun Öteki Usulüne Uygun Ankrajlanmış Yüzünde Bulonla Sıkıştırılır. Filiz Donatısına Kaynaklanır.

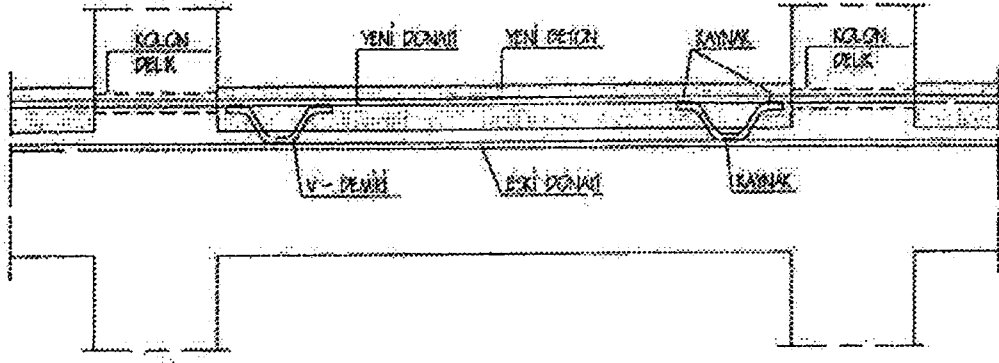


Kolonda Ankrajlanmış Filiz Donatısı İle Kiriş Çekme Donatısının Farklı Düzeylerde Olduğu Durumlarda Ara Profil İle Kaynaklı Bağlantı

Kiriş Donatısının Yine Kirişte Ankrajlanmış Kama Donatılarına Kaynaklanarak Bağlanması İle Ankrajı

Kirişe Ek Olarak Konulan Kirişin Eski Boyuna Donatısına Kaynaklanarak Ankrajı

Şekil 4.4 Kiriş güçlendirilmesinde boyuna donatıların ankraj biçimleri

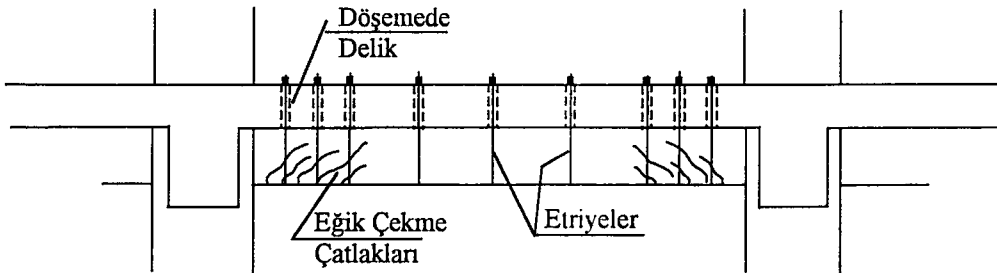


Şekil 4.5 Kiriş mesnetlerinde negatif eğilme momenti kapasitesini artırmak için güçlendirme

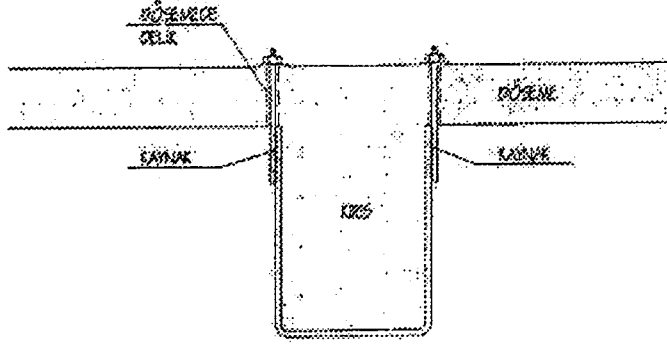
Kiriş üst donatılarının kolonda açılacak yuvalardan geçirilmesi ve mevcut donatı ile birlikte çalışması için V demirleri ile eski donatıya kaynaklanması uygundur. Onarım ve güçlendirme sırasında kiriş donatı eklenirken kirişin eski ve yeni donatılarının toplam yüzdesinin dengeli kırılma için gereken en büyük donatı yüzdesini aşmaması gerekir. Bu yüzde, kullanılan beton ve donatı cinsine göre değişir. B 160 ve BÇ-I için % 3.4, B225ve BÇ-I için % 4.7, B300ve BÇ-I için % 5.8, B225ve BÇ-III için % 2.1 ve B300ve BÇ-III için % 2.6 kadardır. Kirişlerde gevrek ve basınç kırılmalarına yol açabilecek boyutta donatısı olan takviyeli kirişler yapının sünekliği ve deprem dayanımı açısından olumsuzdur.

4.2 Kirişlerde Kesme Kuvveti Taşıma Gücünün Artırılması

Kirişlerde kesme kuvveti taşıma gücünün artırılması için beton alanının ve enine donatıların artırılması gerekir. Kirişlerde kesme kuvvetlerini taşıma kapasitesi yetersizliği sonucu olan eğik çekme çatlakları mesnet yakınlarında olmaktadır. Bu gibi çatlakların büyümesinin önlenmesi ve mesnede doğru en yüksek değerlere ulaşan kesme kuvvetlerinin taşınması için Şekil 4.6'da gösterilen biçimde enine donatı, etriyeler yerleştirilmelidir. Bu etriyeler kiriş üstlerinden uçlarından bulonlar ile sıkıştırılmalıdır. Etriyeler Şekil 4.7'de görüldüğü gibi alttan U şeklinde bir parça ile döşemeden geçen bulonlara sıkıca kaynaklanabilir.



Şekil 4.6 Kirişlerin etriyelerle güçlendirilmesi



Şekil 4.7 Kirişlerin etriyelerle güçlendirilmesi

4.3 Çelik Levha Yapıştırma İle Güçlendirme

Çelik levha yapıştırma ile güçlendirme yöntemi ile kirişin alt yüzüne, eğilme momenti taşıma kapasitesini artırmak için, yada yan yüzlerine kesme taşıma kapasitesini artırmak için çelik levhalar yapıştırılmaktadır. Bazen hem kesme hem de eğilme etkilerine karşı güçlendirme için hem alt hem de yan yüzlere çelik levha birlikte yapıştırılabilmektedir (Şekil 4.8). Aynı kirişte hem eğilme hem de kesme için levha yapıştırılmış ise bunlar köşede kaynaklanmaktadır.

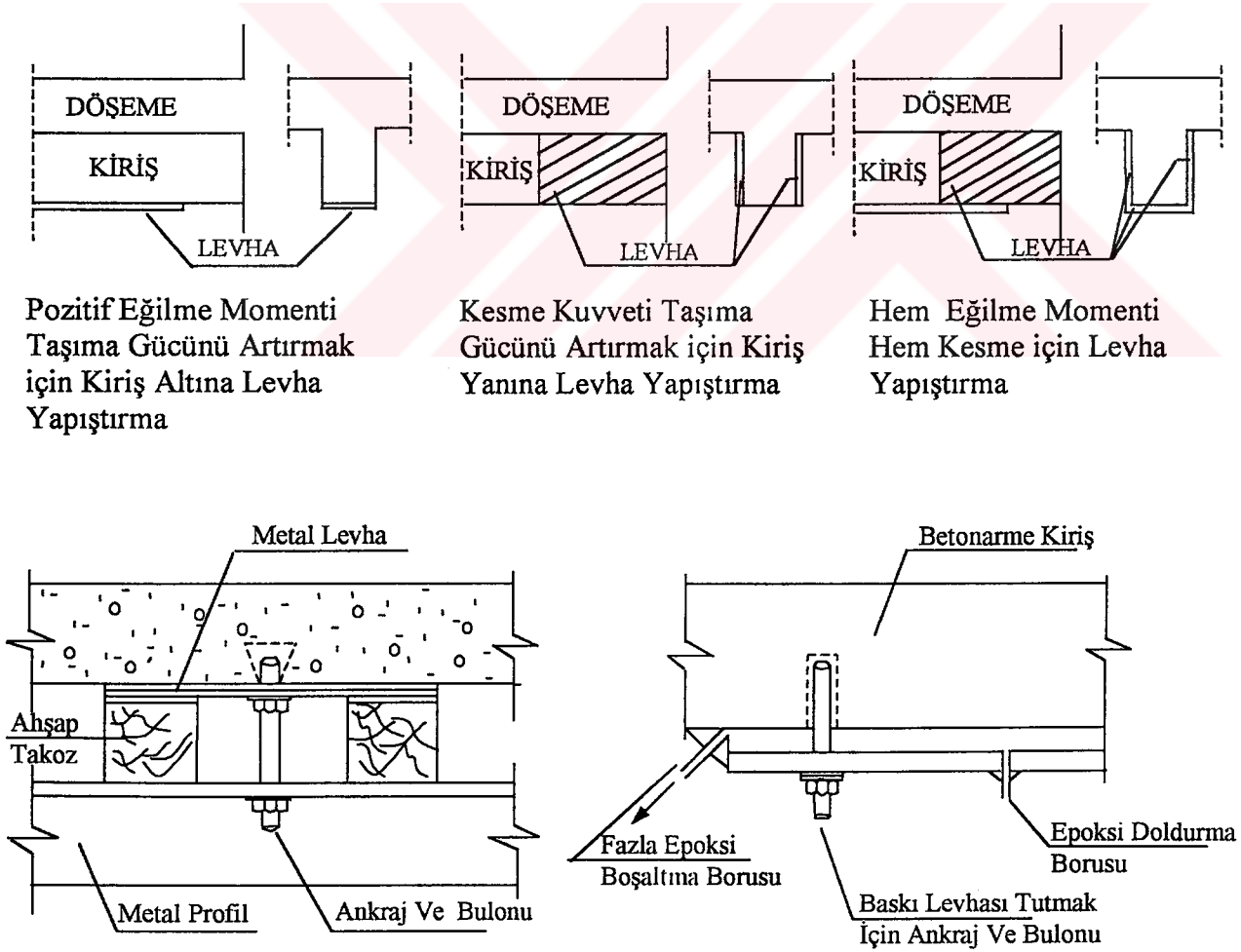
Bu yöntemle yapıştırılan levhaların enkesit alanı güçlendirme için gereken eğilmeden çekme yada kesme donatısının alanına eşdeğer miktarda alınmaktadır. Daha sonra levhalar değişik yöntemlerle betona yapıştırılmaktadır. Bu güçlendirme yöntemi paslanmadan korunmasını gerektirir.

Betona yapıştırma işleminde hem levhanın hem de betonun yüzeylerinin hazırlanması gerekir:

1. Öncelikle levhanın yüzeyi perdahlanarak pürüzlerden arındırılmalıdır.
2. Beton yüzeyindeki pürüzler jet taşı gibi aletlerle tümü ile giderilmeli, çukurluklar epoksi harcı ile doldurulup harç sertleşince perdahlanır.
3. Kirişte yada döşemede ankraj bulonları için açılmış deliklere bulonlar yerleştirilir.
4. Döşeme yada kirişte ankraj bulonlarına karşılık olan noktalarda levhada delikler açılmalı ve bu delikler ankraj bulonlarının kolayca girebilmesi için alıştırılmalıdır.

Ayrıca eğer enjeksiyon yöntemi uygulanacaksa levhada enjeksiyon borularının geçeceği delikler de açılmış olmalıdır.

5. Eğer enjeksiyon yöntemi uygulanacaksa çelik levhaların yüzeyi tinerle silinir. Enjeksiyon ve taşıma boruları levhaya yerleştirilir. Levhanın, enjeksiyon ve taşıma borularının çevresi özel epoksi harcı ile sıvanarak kapatılır.
6. Daha sonra enjeksiyon borularından epoksi harcı sıkılır.
7. Eğer basınçla yapıştırma yöntemi uygulanacaksa Şekil 4.8’de görüldüğü gibi özel düzeni ile altına epoksi reçinesi sürülmüş levha yine epoksi reçinesi sürülmüş yüzeye yapıştırılır ve baskı düzeninin vidaları sıkıştırılarak epoksi sertleşinceye kadar baskı uygulanır. Daha sonra baskı düzeni sökülür.



Şekil 4.8 Çelik levha yapıştırma ile güçlendirme

4.4 Betonarme Kirişlerin Epoksi İle Güçlendirilmesi

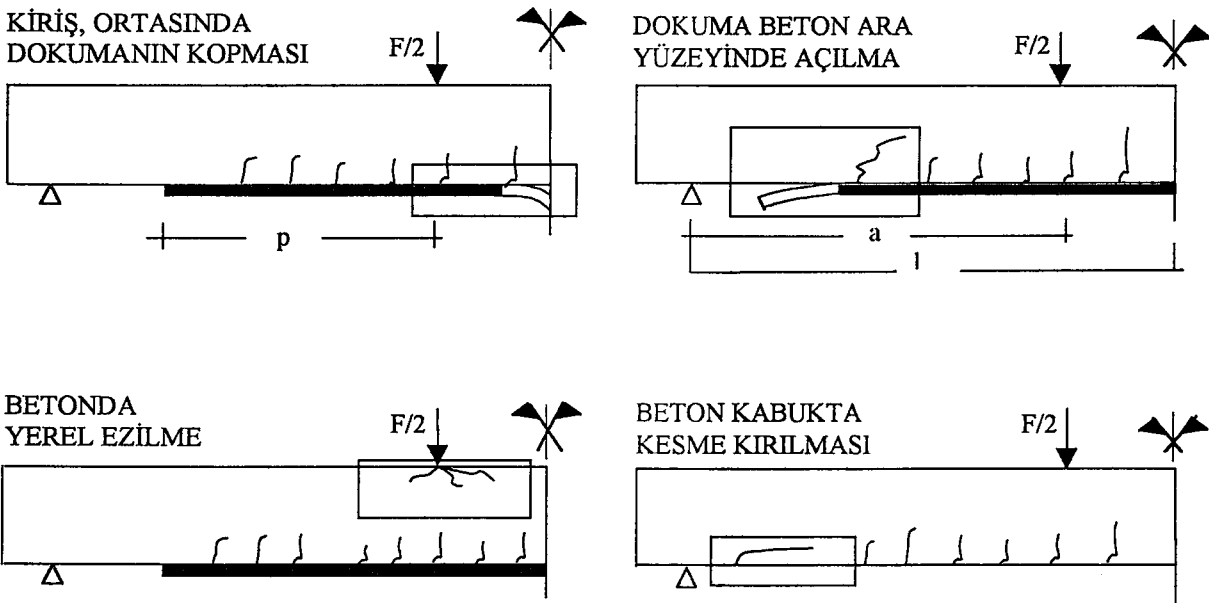
Kirişlere lif katkılı plastik kumaş uygulanmasının değişik amaçları vardır:

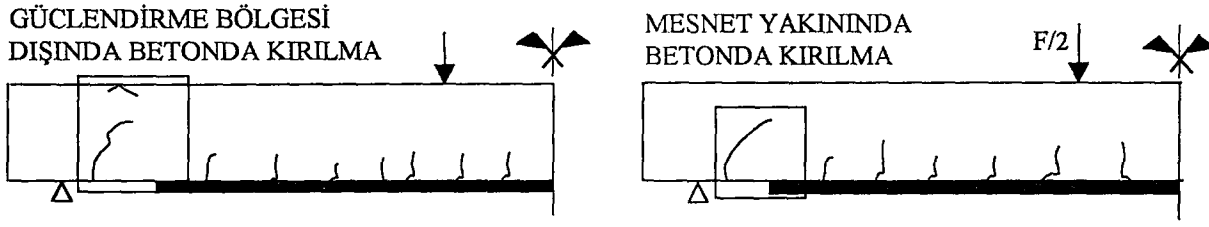
- Sehimin azaltılması
- Çatlakların genişlemesinin önlenmesi
- Yük taşıma gücünün artırılması
- Kırılma yükünün artırılması

Bu amaçlarla kullanılacak dokuma malzemenin dayanım özellikleri, kalınlığı katman sayısı ve başka parametreler değişebilir. Sehimi azaltmak için uygulanacak değişik yöntemler sonucunda taşıma gücü ve kırılma mekanizması farklı olabilir

4.5 Eğilme Dayanımını Artıran Güçlendirme

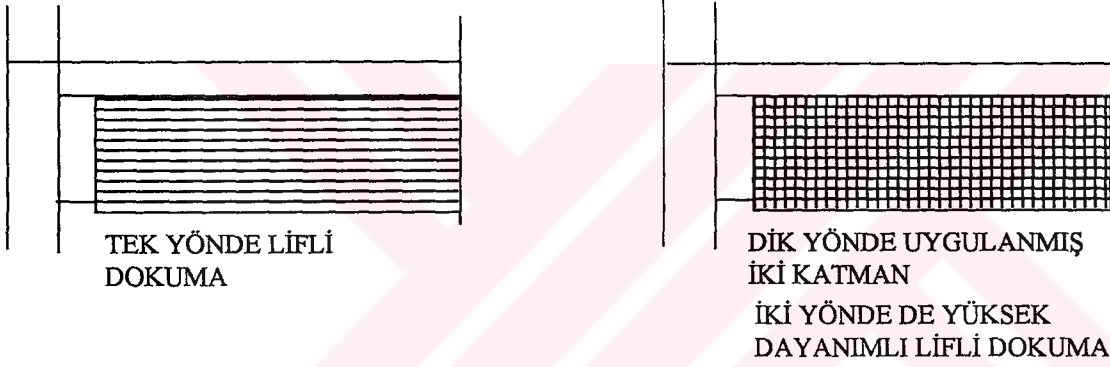
Şekil 4.9’da epoksi emdirilmiş dokuma ile güçlendirilmiş kirişlerdeki kırılma mekanizmaları verilmektedir. Kırılma, dokumanın kopması, yerel olarak yük altındaki betonun ezilmesi, dokuma uygulama bölgesinin dışındaki betonda kırılma, dokuma ile beton arasındaki yapışmanın yitilmesi, kirişin beton kabuğunda kesme kırılması ve kiriş mesnetine yakın yerde betonda kırılma biçimlerinde olduğu deneylerde gözlenmiştir.





Şekil 4.9 Epoksili dokuma ile güçlendirilmiş kirişlerin kırılma biçimleri

Epoksi emdirilmiş dokumaların lif doğrultusundaki yüksek dayanımları yanında liflere dik doğrultuda daha zayıf davranışını gidermek için, birbirine dik iki tabaka biçiminde dokuma uygulaması yada her iki yönde aynı dayanımda liflerden dokunmuş kumaş uygulanmaktadır. Şekil 4.10'da epoksi dokuma ile değişik biçimlerde güçlendirilmiş üç tür kiriş denenmiştir.



Şekil 4.10 Epoksili dokumanın kirişlere uygulanma biçimleri

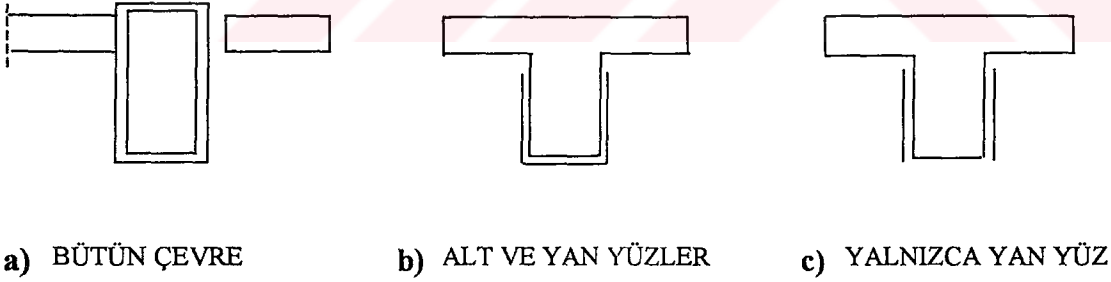
1. Birinci deneyde kirişin alt yüzüne tek kat epoksili dokuma yapıştırılmış, en büyük kiriş yükü 14.18 ton ve kırılma epoksili dokuma tabakasının betondan sıyrılması biçiminde olmuştur.
2. İkinci deneyde 3 kat epoksili dokuma yapıştırılmış, kırılma 19.14 ton yük düzeyinde betonda kesme kırılması biçiminde olmuştur.
3. Üçüncü deneyde kirişin alt yüzüne bir kat boylamasına epoksili dokuma yapıştırılmış. Kirişin her iki yan yüzüne ve altına da kiriş boyuna dik yönde ikinci bir kat epoksili dokuma uygulanmıştır. Bu kirişte kırılma epoksili dokuma tabakasının kopması biçiminde ve 19.46 ton yük altında olmuştur. Kesme kırılması ve dokumanın betondan sıyrılması ve kesme kırılması gibi gevrek kırılmanın oluşmaması için dokuma olabildiğince uzun bir bölgeye

yapıştırılmalı ve uçları ankrajlanmalıdır. Bir başka deyişle boylamasına dokumanın uçlarında dik yönde bir dokuma boylamasına dokumaya kirişin altında ve yanlarında da yapıştırılmalıdır (Şekil 4.11).

Kiriş ortasındaki sehimleri azaltmak için çok sayıda dokuma katmanı yapıştırılması gerekmektedir. Bu durumda da kırılma; kesme kırılması ve dokuma katmanlarının betondan sıyrılması gibi gevrek kırılma biçiminde olmaktadır. Lif katkılı polimerin uzun süreli yük altında sünme nedeni ile kırılma ve kopma tehlikesi vardır. Bu nedenle malzemeye gelen gerilmelerin sınırlandırılması gerekmektedir. Cam liflerdeki gerilme kopma gerilmesinin %30'unu karbon liflerdeki gerilmenin de kopma gerilmesinin %80'ini aşmaması istenmektedir. [31]

4.6 Kesme Dayanımını Artıran Güçlendirme

Kesme dayanımını artırmak için kirişin Şekil 4.11a' da gösterilen bir biçimde epoksili dokuma ile sarılması gerekir. Betonarme döşeme nedeni ile kiriş üstünün sarılması pratik değildir. Pratik olan T-kirişin yan ve alt yüzlerinin (Şekil 4.11b) yada yalnızca yan yüzlerinin sarılmasıdır. Yalnızca kiriş yan yüzlerinin sarılması (Şekil 4.11c) dokumanın yetersiz bir biçimde ankrajına neden olduğu için başarılı olmamaktadır.



Şekil 4.11 Kesme dayanımını artırmak için dokuma uygulama biçimleri

Kiriş alt ve yan yüzlerinin, U biçiminde sarılmasının pozitif eğilme momenti bölgelerinde kiriş ortalarında çok etkili olduğu ancak kirişin negatif moment bölgelerinde etkinliği daha az olmaktadır. Kirişlerin negatif moment bölgelerinde çatlak döşemenin hemen altından başlamakta ve dokuma bu çatlağın başlamasına engel olmamakta ve çatlak başladıktan sonra kesit içinde yayılmakta ve sargı dokuması buna engel olamamaktadır.

Bazı durumlarda kirişin yalnızca bir yüzüne sargı konulabilir. Bu durumda da kesme dayanımına katkı olmakla birlikte sınırlıdır. Dokumanın anisotropik oluşu nedeni ile lifleri farklı doğrultuda uzanan iki kat dokuma uygulamasının kesme dayanımı bakımından daha etkili olduğu deneylerden gözlenmiştir. Ana doğrultudaki dokuma katı güçlendirmeyi ve kesme donatısı işlevini sağlarken dik yada ikinci doğrultudaki katman ana doğrultudaki dokuma katmanına ankraj görevi yapmakta ve kesme çatlaklarının açılmasını önlemektedir.

Kesme dayanımı için kullanılan dokumadan tam taşıma gücü elde edilememektedir. Kırılma ya gerilme birikimleri nedeni ile limit gerilmelerin çok altındaki gerilmelerde dokumanın yırtılması, dokuma ile beton arasındaki yapışmanın yitirilmesi yada çatlamış betonda agregalar arasındaki sürtünme ve dokumanın yitirilmesi ile çatlama sonrasındaki betonun kesme dayanımındaki büyük azalma sonucu olmaktadır. Bir diğer deyişle dokuma kirişin içinde oluşan çatlakları kesen etriyeler gibi betonda olan çatlakların genişlemesine engel olamamaktadır.

4.7 Uygulama

Bu güçlendirme yönteminde en önemli görev çekme dayanımı yüksek malzemenin betonarme kirişin alt yüzüne yapıştırılması ve bu yapıştırmayı en iyi yapacak epoksinin seçimidir.

Betonarme kirişlerin alt yüzündeki betonun uç liflerdeki çekme çatlakları olur. Bu çatlaklar nedeni ile olan birim uzamalar malzemeyi betona bağlayan yada yapıştıran epoksi tarafından uygun şekil-değiştirme ile karşılanabilmelidir. Bu olurken kirişin betonu ile arasında oluşan kesme gerilmesini taşıyabilmelidir. Uygun yapıştırıcıyı bulmak için yapılan deneyde (Ehsani ve diğerleri 1990) iki önemli sonuç çıkarılmıştır.

Birincisi eğilme momenti taşıma gücü artırılan kirişin kesme kuvveti taşıma gücünde artırılmalıdır. Diğeri ise dokumayı betona uygulamak için kullanılan yapıştırıcı epoksinin orta bir esneklikte olmasıdır. Birim uzaması çok yüksek olan epoksi kirişin üzerinden kaymakta, çok rijit epoksiler ise ani ve gevrek bir biçimde kırılmaktadır.

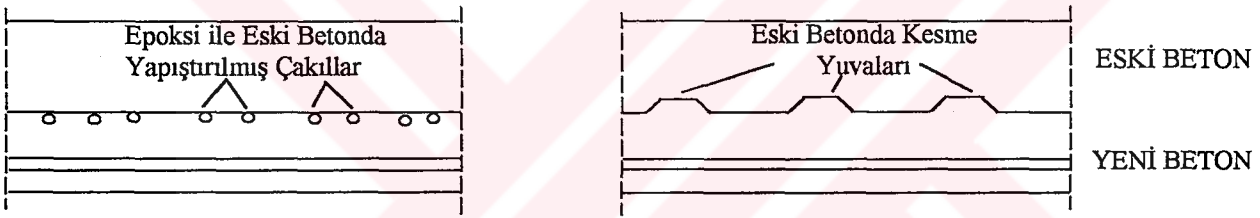
4.8 Kirişlerin Güçlendirilmesi İle İlgili Ayrıntılar

Kirişlerin güçlendirilmesinde mevcut bölümün kriko ile kaldırılarak üzerindeki yükün alınması, onarılan bölümdeki beton tam dayanıma ulaştıktan sonra krikolar yada destekler

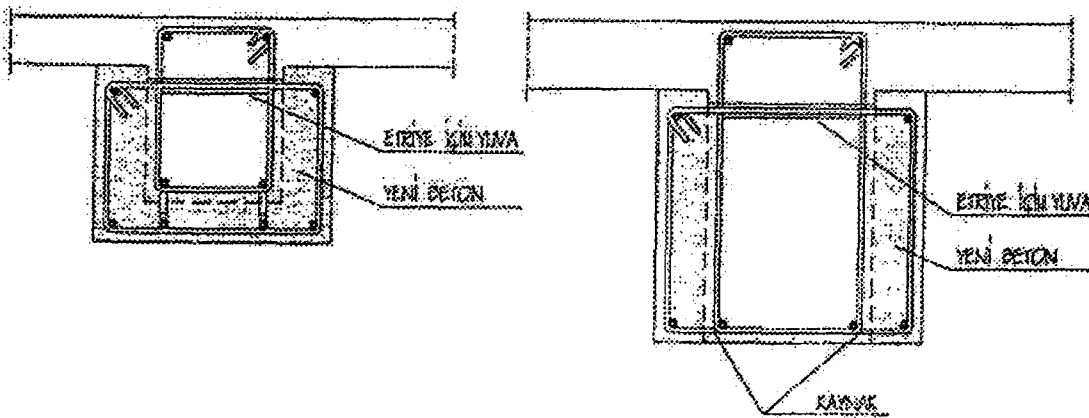
kaldırılarak yükün hem eski hem de yeni bölümlere aktarılması sağlanır. Yapılmış deneylerde kirişin askıya alınarak yükünün boşatılmış durumda yapılan onarım ve güçlendirmenin daha yüksek dayanım sağladığı ve yük altında deformasyonların daha küçük olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle kiriş onarımında kirişin yükünün boşaltılmasında yarar vardır.

Kirişlerin güçlendirilmesinde eski ile yeni betonun kaynaşması için her ikisi arasında tam bir yapışma yada diğer bir deyişle kesme kuvveti aktarması olmalıdır. Bunu sağlamanın bir yolu eski beton yüzeye epoksi reçinesi ile çakıllar yapıştırılmasıdır. Bir başka yöntem ise betonda kesme takozları yapmaktır(Şekil 4.13).

Kirişin en kesiti genişletilirken hem genişlik hem de yükseklik büyütülebileceği gibi yalnızca kirişin genişliği de büyütülebilir. Kirişin yüksekliğinin artırılması ile eğilme momenti kapasitesinde daha büyük bir artış sağlanabilir(Şekil 4.14).



Şekil 4.12 Eski ve yeni betonu kaynaştırma yöntemleri



Şekil 4.13 Kirişin enkesit ve donatı alanının artırılması

5. BETONARME KOLONLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

5.1 Güçlendirme Yöntemleri

Betonarme kolonların güçlendirilmesi onların eksenel yük, eğilme momenti 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. Betonarme kesitin artırılması ya kolonun bütün çevresinde olur buna “mantolama” yada “gömlek geçirme” denir; yada kolonun yalnızca iki kenarına yeni kesitler eklenir. Bu yöntemde “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 eksenel yükünden pay alacak biçimde kirişlere de bağlanmasıdır. [Bayülge, 1999]

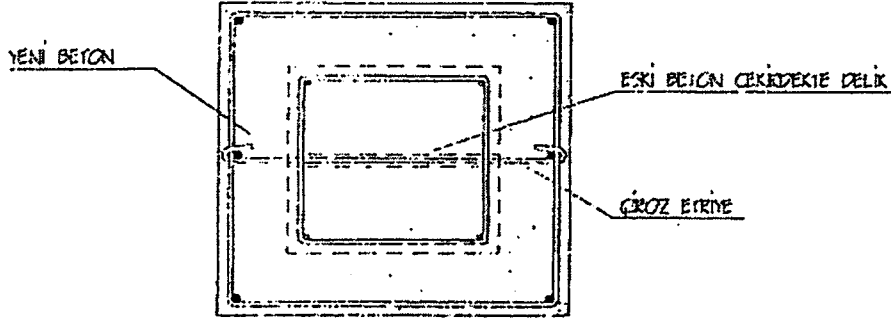
5.2 Mantolama

Betonarme kolonun betonarme elemanlarla onarımı yada güçlendirilmesi kolonun beton enkesitinin ve boyuna donatısının artırılmasıdır. Donatı miktar olarak artırılır ancak yüzde olarak aynı kalabilir yada artırılabilir. Mantolamada üzerinde durulacak ayrıntılar eski ve yeni betonun kaynaştırılması, yeni boyuna donatı ile eski boyuna donatının ankrajı 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. [Bayülge, 1999]

5.2.1 Eski Ve Yeni Betonu Kaynaştırma

Kolon güçlendirilmesinde kolonun üzerindeki hasarlı bölümler etriyeler ve boyuna donatı ile belirlenen kolon “çekirdek” bölümüne kadar kazınmalıdır. Eski beton varsa basınçlı su ile yıkanarak toz ve gevşek malzemeden temizlenmelidir. Mantolama sırasında eklenen yeni bölümlerin kalınlığı 5 yada 10 cm olacaktır. 5 cm kalınlığında gömlek geçirme ile küçük kolonlarda (25x25 cm) % 96, büyük kolonlarda (40x40 cm) % 56 kadar enkesit artışı olmaktadır. Buna karşılık 10 cm’lik gömlek geçirme ile küçük kolonlarda % 224, büyük kolonlarda ise % 125 enkesit artışı sağlanmaktadır. Bu açıdan pek çok durumda 5 cm’lik gömlek geçirme ile önemli miktarda düşey yük taşıma kapasitesi artışı sağlanabilecektir.

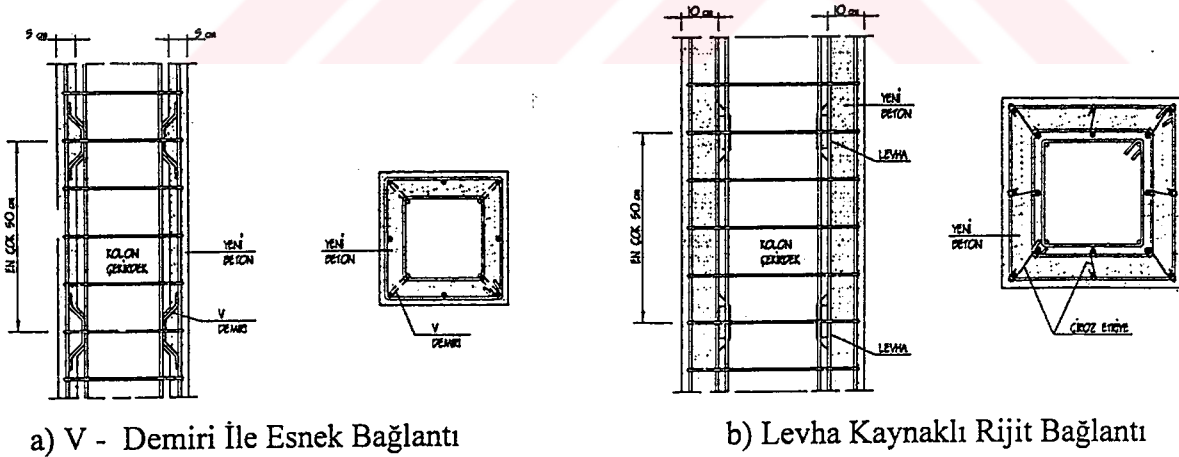
Eski ve yeni betonu kaynaştırmak için daha önce Bölüm 3’de anlatılan eski ve yeni betonu kaynaştırma yöntemleri kullanılabilir. Var olan kolonun betonunda açılacak dişlerin kuvvet aktarmaya olumlu katkısı vardır. Eski ve yeni betonu kaynaştırmak için betonda diş açılması yanında Şekil 5.1’de gösterilen biçimde eski kolonun çekirdeğinin içinden geçen çiroz etriyelerde yararlı olur.



Şekil 5.1 Çiroz etriyelerle kolonda eski ve yeni betonu kaynaştırma

5.2.2 Donatıların Bağlanması Ve Ankrajı

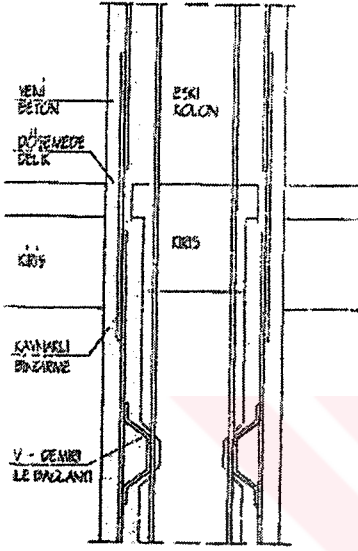
Kolonun eski ve yeni mantolanan bölümdeki donatıları arasındaki bağlantı Şekil 5.2’de verilen yöntemlerle yapılabilir. Şekil 5.2’ den görülebileceği gibi donatıların birbirine bağlantısı (Şekil 4.2’deki gibi) esnek yada rijit bağlantıdan biri olacaktır. Rijit bağlantı 5 cm kalınlığında, esnek bağlantı ise 10 cm kalınlığında gömlek geçirmede uygulanmalıdır.



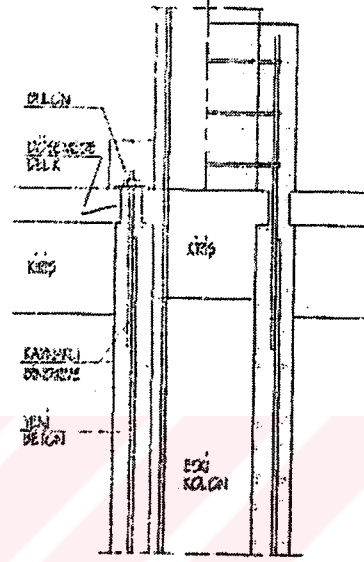
Şekil 5.2 Kolonun eski ve yeni donatılarının birbirine rijit ve esnek olarak bağlanması

Kolon güçlendirmesinin bir başka ayrıntısı da kolon boyuna donatılarının ankrajıdır. Bodrum katta mantolanan bölümün boyuna donatıları temel pabucunda açılacak yuvalara özel harçlı olarak yerleştirilebilir. Şekil 5.3’de mantolama işleminin üst katlarda da yapılması durumunda kat düzeyini geçerken boyuna donatıların bindirme ayrıntısı verilmektedir.

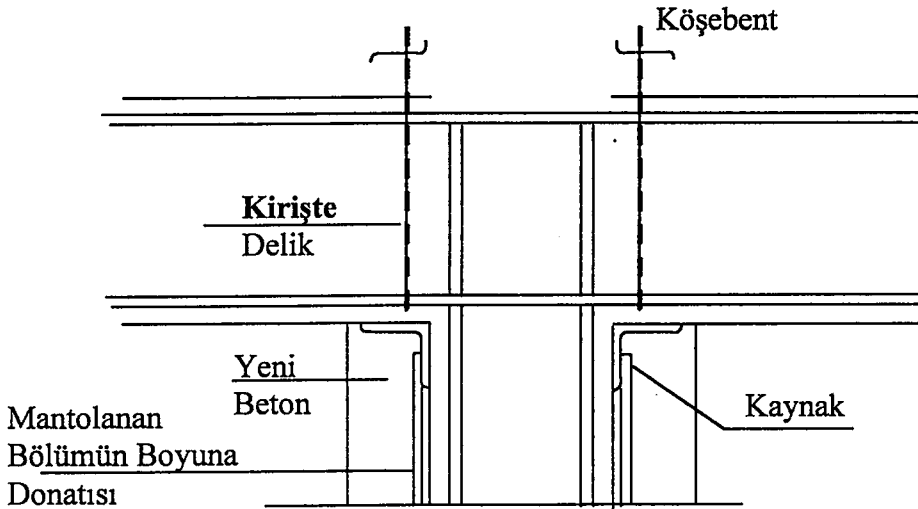
Mantolama işlemi üst katta devam etmiyorsa kolon boyuna donatılarının üst uçlarının ankrajlanmasında Şekil 5.4' de gösterilen yöntemler uygulanabilir. Şekil 5.4' de sol tarafta görülen yöntem mekanik ankraj olarak nitelenebilir. Burada da boyuna donatının bindirildiği yerlerde kaynaklanması gerekir. Şekil 5.5'de ise köşebentlerle kaynaklı olarak yapılan başka bir kolon boyuna donatısının ucunun mekanik ankraj biçimi verilmektedir.



Şekil 5.3 Yeni Eklenen Kolon Boyuna Donatılarının Kat Düzeyinde Eklenmesi



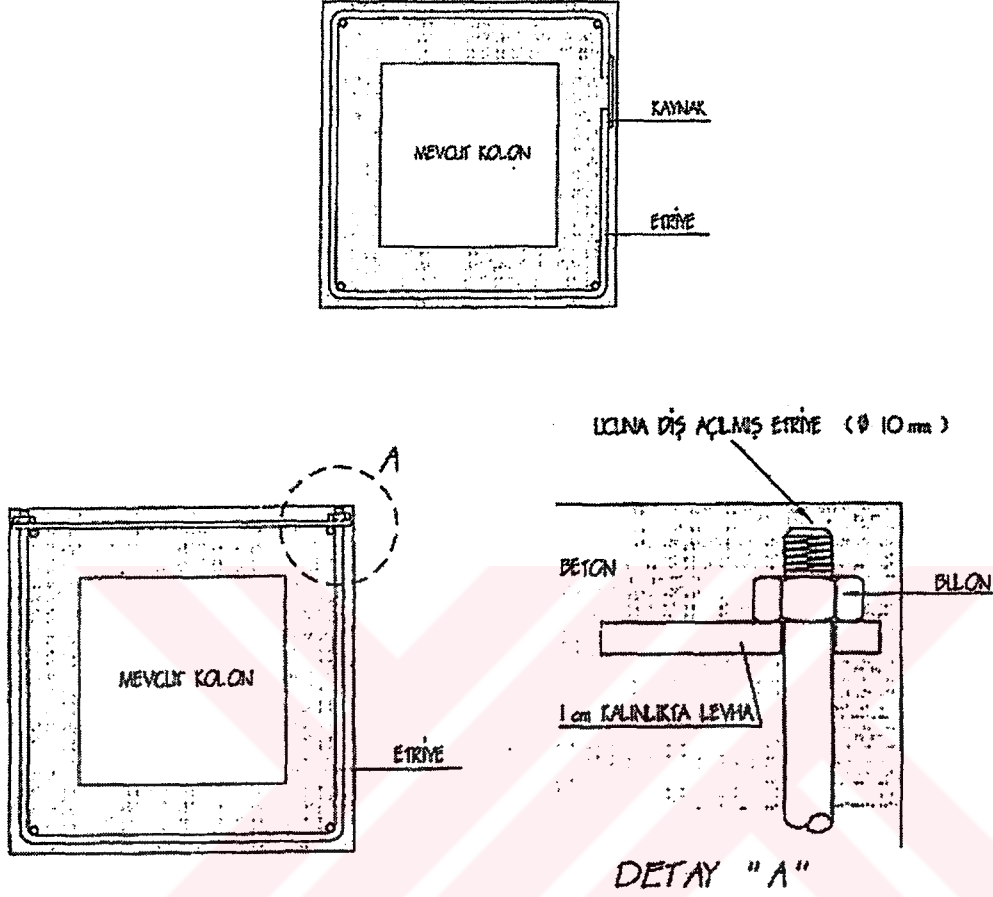
Şekil 5.4 Yeni Eklenen Donatılarının Kolon Üst Başında Ankrajı



Şekil 5.5 Eklenen boyuna donatıların mekanik akrajı (Tankut, Ersoy ve Aksan 1989)

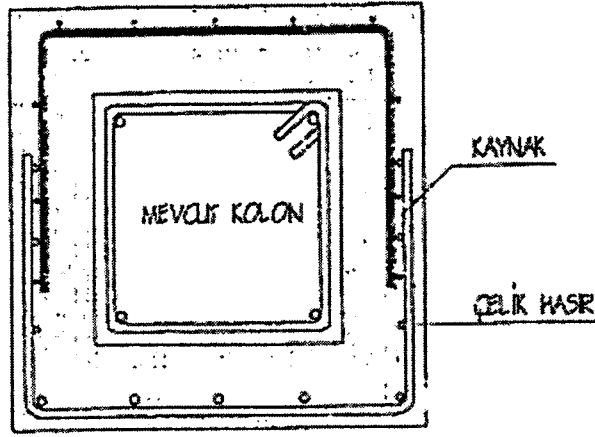
Güçlendirme için yeniden eklenen bölümlerde enine donatıların bağlanması ve betonu ve boyuna donatıları sıkı sarması gerekir. Bilindiği gibi etriyeleri, boyuna donatıların burkulmalarını önlemek, kesme gerilmelerini taşımak, betonu sararak yanal destek sağlayarak

basınç dayanımını artırmak gibi görevleri vardır. Bunun için yeniden sarılan etriyelerde bir bolluk olmaması gerekir. Bu amaçla konulacak etriyelerin uçlarında bindirmeli kanca yerine kaynak yada bulonla sıkıştırmalı bağlantı yapmak çok daha etkili olacaktır. Bu ayrıntılar Şekil 5.6' da verilmektedir. Bu arada enine donatının dairesel fret biçiminde olması daha etkilidir.



Şekil 5.6 Yeni eklenmiş bölümdeki etriyelerin betonu ve boyuna donatıyı sıkı sarması için ayrıntılar

Kolona eklenecek yeni mantoda etriye ve boyuna donatı olarak hasır çelik de kullanılabilir. Şekil 5.7'de eklenen yeni beton kesitte hasır çelik kullanılmış enkesit görünüşü verilmektedir. Bu biçimde mantolama Şekil 5.9a'da gösterilen kolonun kesme kuvveti taşıma gücünü artırmayı öngören bir onarım için uygundur.

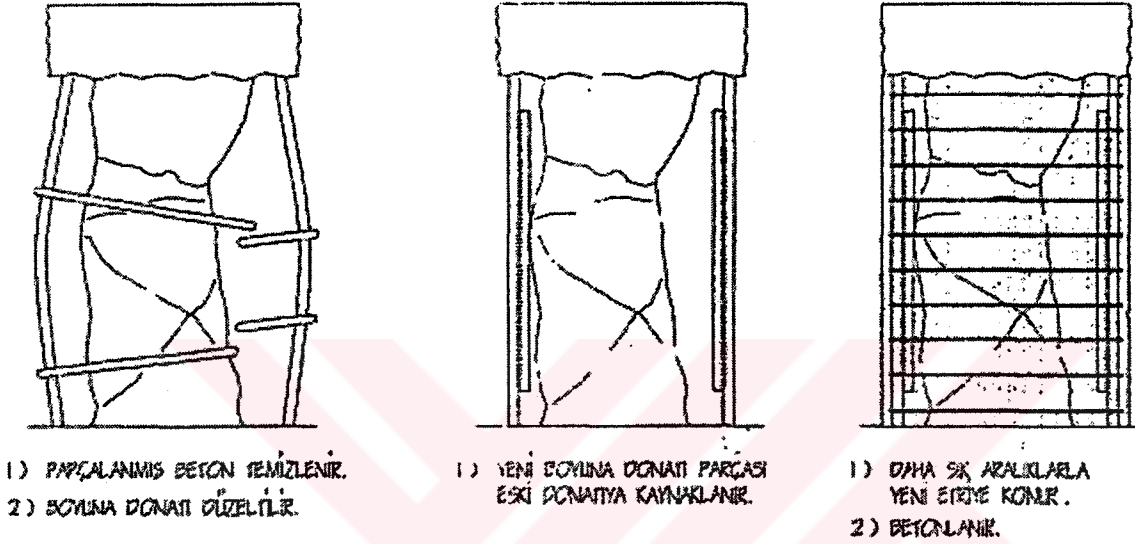


Şekil 5.7 Kolon mantolanmasında çelik hasır kullanılması

5.2.3 Mantolama İle Kolon Güçlendirme Üzerine Öneriler

1. Kolonların betonarme mantolama ile güçlendirilmesinde boyuna donatı yüzdesi %1'den az olmayacağı gibi, %1 'in çok üzerine de çıkılmamalıdır. Çünkü donatı yüzdesi %1 olan kolonların sünek davranan en ekonomik donatı yüzdeli kolonlar olduğu deneysel olarak çıkarılmıştır.
2. Yeni eklenen bölüm ile eski bölüm arasında tam bir kaynaşma, kuvvet aktarımı, olmasını beklemek gerçekçi olmaz. Bu nedenle güçlendirme için eklenen bölümün yük taşıma kapasitesinin teorik olarak hesaplanan miktarının en çok %70'inin pratik olarak kullanılabileceği düşünülerek gereken enkesit ve donatı miktarı seçimi yapılmalıdır.
3. Beton kabuğu tümü ile dökülmüş, boyuna donatıları burkularak eğilmiş, bazı etriyeleri açılmış kolonların, bir diğer deyişle mafsallaşmanın son aşamasında ki (Şekil 5.8) kolonlarında onarımı yapılabilir. Önce bütün parçalanmış beton temizlenir. Bu arada kolonun askıya alınmış olması gerekir. Kolon askıya alındığı zaman üzerindeki yük kalkmış olan boyuna donatılar kendiliğinden düzelebilir yada burkulmuş boyuna donatılar ısıtılarak yada başka yöntemlerle düzeltilir. Isıtma ile donatı düzeltilmesinde demire uygulanan ısı 500°C 'den fazla olmamalıdır. Düzeltilecek boyuna donatılara yeni donatı parçaları Şekil 5.8'de gösterildiği gibi kaynakla eklenir. Bu eklenen yeni donatıların çapları eski düzeltilmiş donatıların aynısı olabileceği gibi daha büyük çaplı donatıda kullanılabilir. Daha sonra bu bölüme yeniden sık aralıklarla ve çift etriye

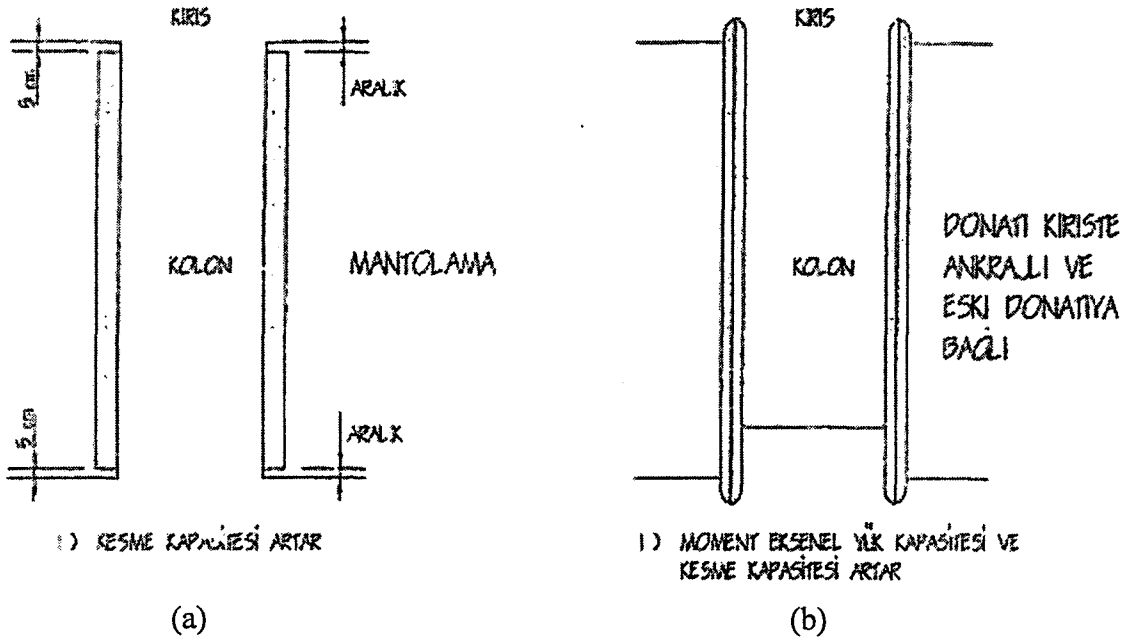
yerleştirilir. Son olarak bu bölüme yüksek dayanımlı beton doldurulur. Betondaki agreganın büyük olmaması betonun bütün donatıları sarabilmesi için gereklidir. Kolondaki mafsallaşmanın düzeyine göre bu onarım biçiminin çeşitli aşamaları vardır. Eğer boyuna donatı burkulup üzerindeki beton dökülmemiş ise yalnızca zımparalanmış beton temizlenip bir miktar daha yeni etriye eklenmesi ve yeniden betonlama ile yetinilebilir. Bu onarım yönteminin etkinliği belirlemek için yapılan deneylerde kolonların hasar öncesi dayanımlarının yeniden sağlanabildiği laboratuvar koşullarında gözlenmiştir.



Şekil 5.8 Mafsallaşmış kolon uçlarının onarımı

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

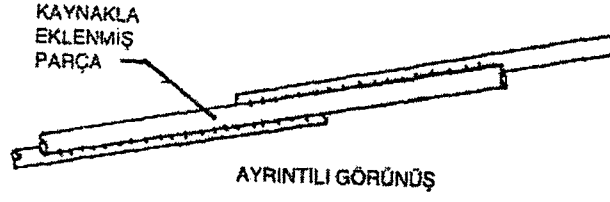
Şekil 5.9a'da gösterilen biçimde onarım ile kolonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi artarken moment ve eksenel yük taşıma gücünde bir artış olmaz. Buna karşılık Şekil 5.9b' deki gibi bir onarım ile mantolanmış bölüm boyuna donatılarının mevcut kolon boyuna donatıları ile bağlantısı sağlanmış ise kesme kuvveti taşıma gücünün artışı yanında moment ve eksenel 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.



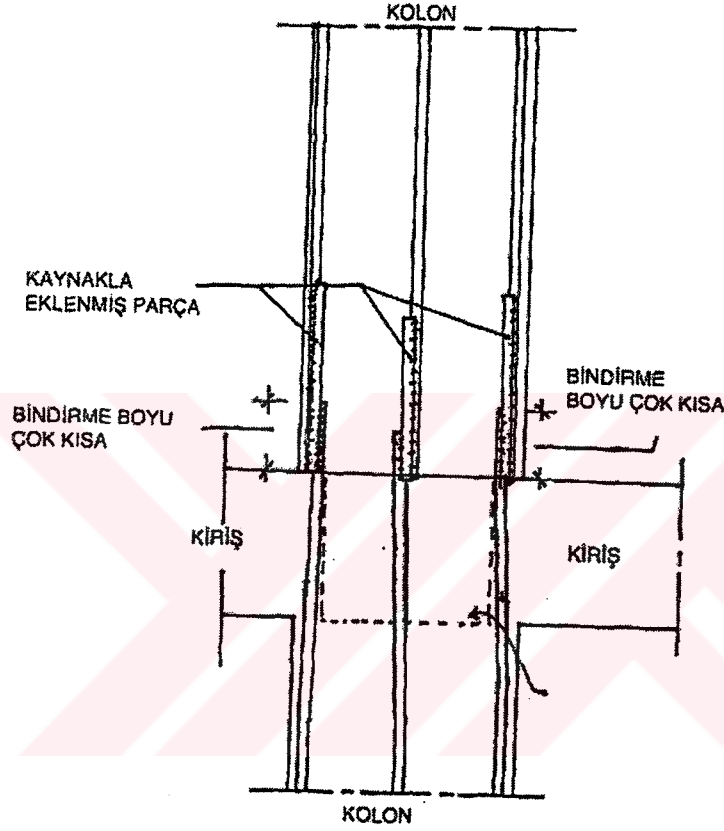
Şekil 5.9 Moment ve kesme kapasitesi için mantolama yöntemleri

Yapılan 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 askıya alınmadan yük altında mantolamanın yapıldığı durumlarda ise etkinliğin ancak % 50 kadar olduğu gözlenmiştir. Bu açıdan hasarlı kolon onarımının mümkün olduğu kadar kolonun yükü askıya alınarak yapılması önerilmektedir.

Betonarme çerçeve açıklıklarındaki taşıyıcı olmayan duvarların yerine perde duvar konularak yapıların güçlendirilmesinde önemli bir sorun perde uç elemanı gibi yatay deprem yükü taşıyacak olan mevcut kolonların düşük dayanımlı olmasıdır. Bu zayıflığın önemli bir nedeni kolon enine donatılarının yetersiz oluşudur. Etriye aralıkları çok büyüktür ve kolon uçlarında etriye sıklaştırılması yoktur. Bir diğer yetersizlik ise kolon boyuna donatılarının kolon ucundaki bindirme boylarının çok az olmasıdır. Bu durumda kolonun güçlendirilmesi için boyuna donatılarına bindirme bölgesinde ek donatılar kaynaklanarak boyuna donatıdaki kenetleme sorunu giderilebilir (Şekil 5.10). Daha sonra mevcut kolon eklenecek perde ile birlikte dökülerek mevcut kolonun depremde perde duvar uç elemanı gibi davranması sağlanabilir.



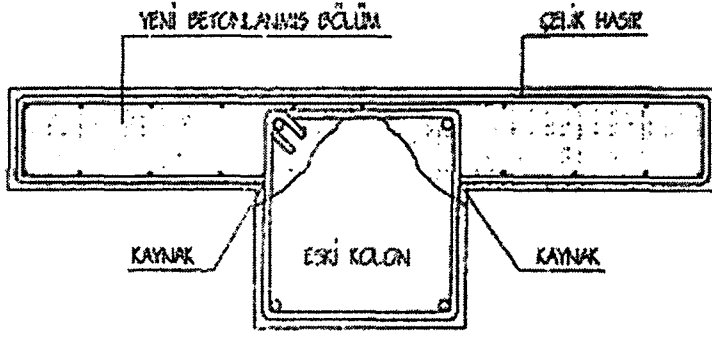
DIŞ AKS VE KÖŞE
KOLONLARINDA
YAPILABİLİR



Şekil 5.10 Kat düzeyinde bindirme boyları yetersiz olan kolon boyuna donatılarının kaynakla eklenen donatılarla sürekli duruma getirilmesi

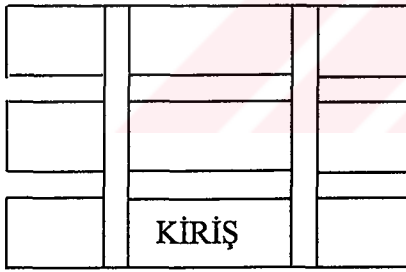
5.2.4 Betonarme Kolonların “Kanat” Eklerek Güçlendirilmesi

Kolonlarda uygulanan bir başka güçlendirme biçimi kolonun iki yanına kanat biçiminde perde duvar eklenmesidir (Şekil 5.11). Bu yöntem ile perdenin yatay donatısı kolonun yatay donatılarına kaynaklanmaktadır. Daha sonra betonlama ile eski betonunun yeni perde betonu ile tek parça olarak birlikte çalışması sağlanmaktadır.

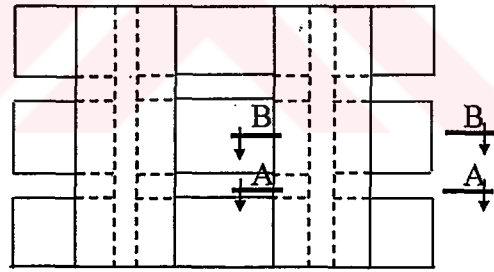


Şekil 5.11 Betonarme kolonun perde duvara dönüştürülerek güçlendirilmesi

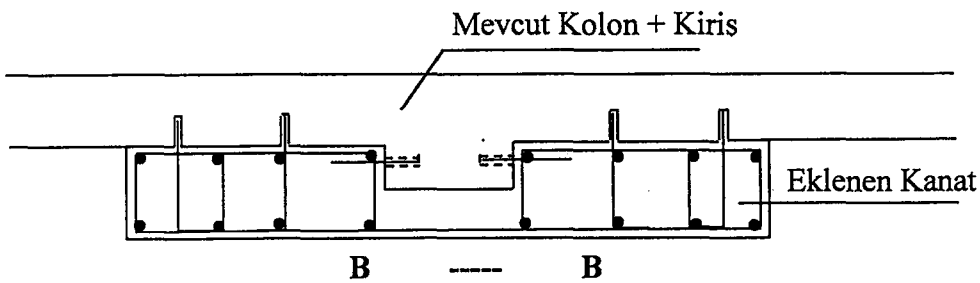
Kanat eklenerek takviye edilmiş kolonlar üzerinde Ohkuba (1991) tarafından yapılan deneylerde kanatsız ve kanatlı kolonun yatay yükler altında davranışı incelenmiştir. Kanat eklenmiş kolonlar ya eğilme etkisinden yada kesme etkisinden kırılmaktadır. Kolonlara kanat eklenmesi ile hem moment hem de kesme kuvveti taşıma gücü artmaktadır. İnce olan kanatlardaki basınç bölgesi betonunun etriyelerle kısıtlanması oldukça güç olduğu için genellikle süneklik artışı az olmaktadır.

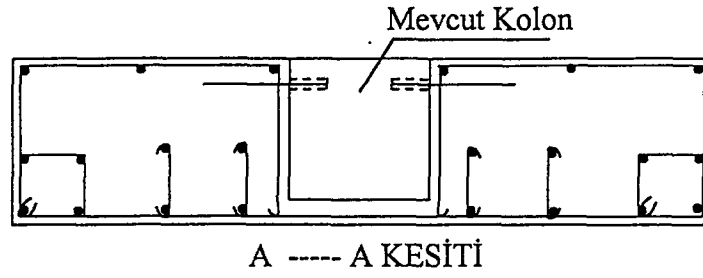


a) Orjinal Çerçeve



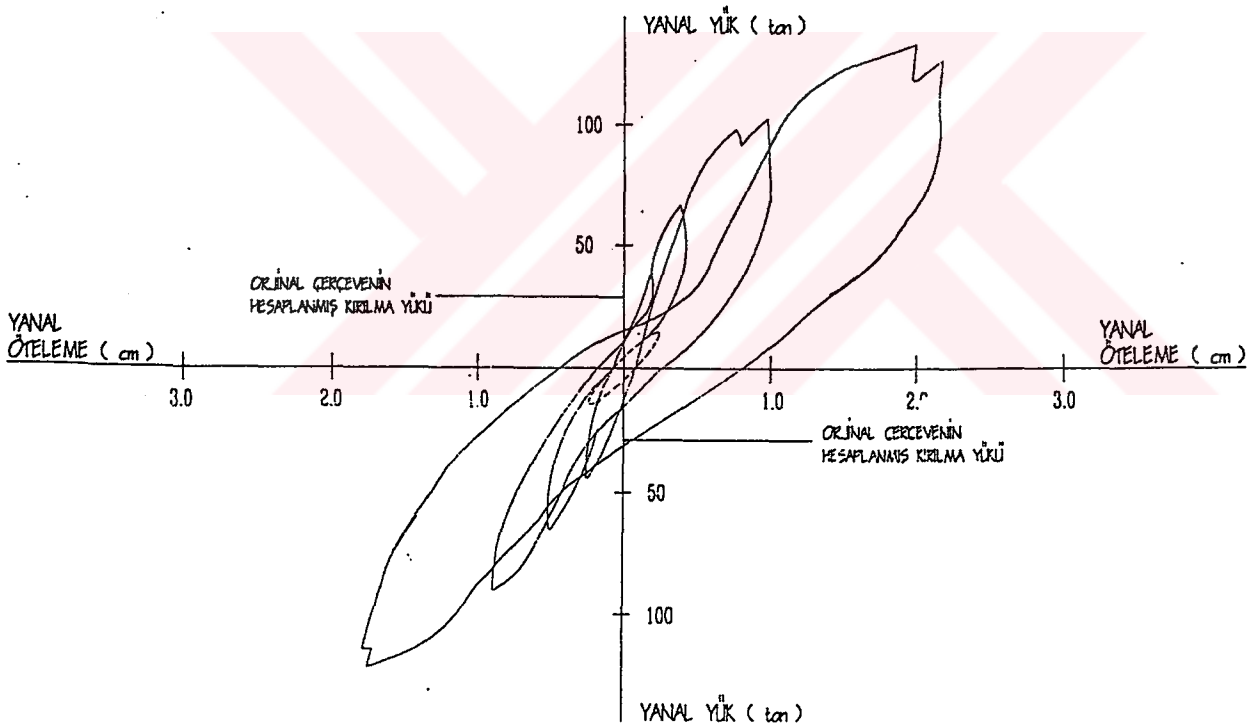
a) Güçlendirilmiş Çerçeve





Şekil 5.12 Kolonların kanat eklenerek güçlendirilmesi (Bush,1986)

Ancak Bush ve Diğerleri (1986) yaptıkları deneylerde kolona ekledikleri kanatlar kolon kalınlığında olduğu (Şekil 5.12) ve çekirdek betonu etriyeler ve boyuna donatı ile sarıldığı vede eklenen bölüm ile eski bölümler arasında tam bir yapışma sağladıkları için yüksek süneklik gerçekleşmiştir (Şekil 5.13).



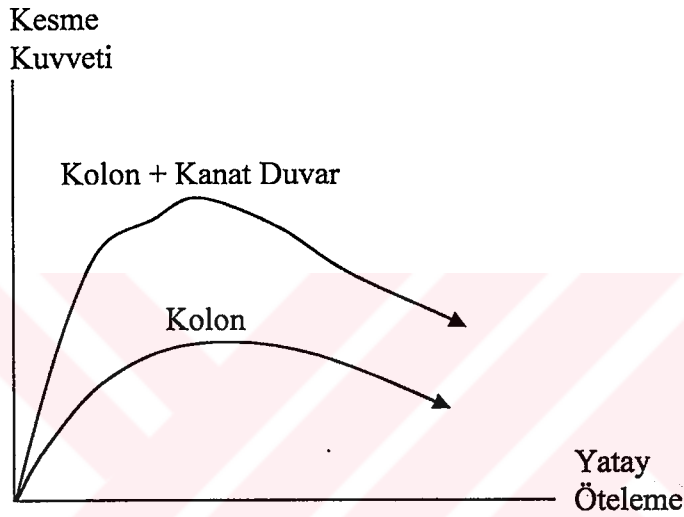
Şekil 5.13 Kanat ekleme ile güçlendirmenin etkinliği

Bu nedenle kolonlara kanat eklenerek dayanım ve sünekliğin artırılması için:

- Eklenen kanatlarla kolon bir perdeye dönüştürülmeli
- Kanatların uçlarında özel olarak kısıtlanmış uç elemanları olmalı

- Kanatların kalınlığı uçlardaki beton çekirdek alanının etriyelerle kısıtlayabilecek kadar olmalı
- Kanat çekirdek beton alanı toplam kanat alanına yakın olmalıdır.

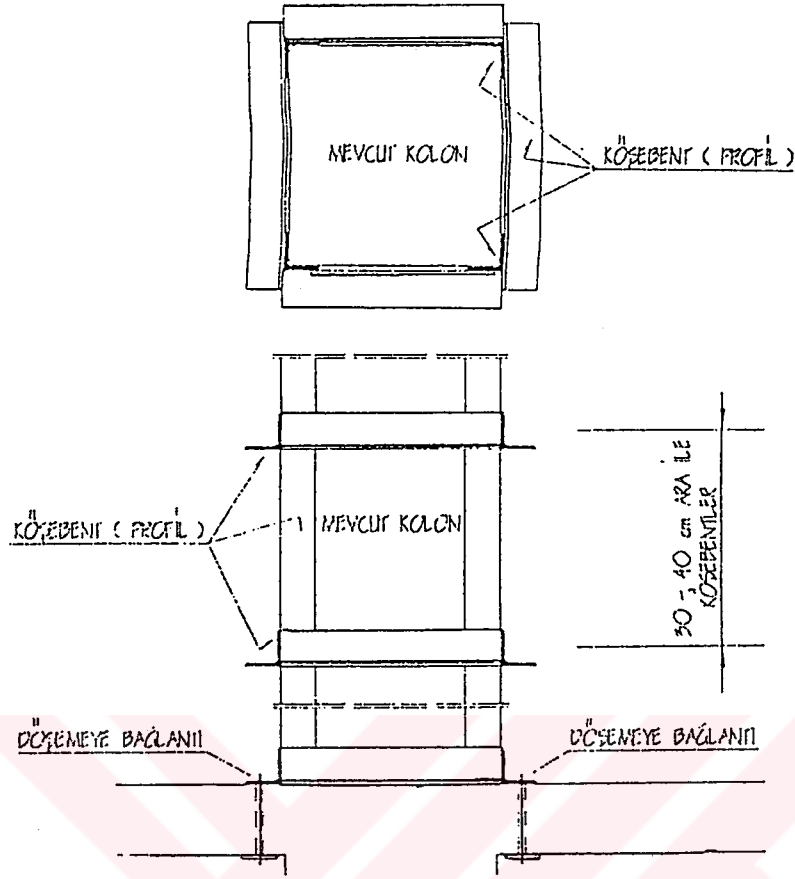
Kanat eklenmiş kolonların davranışı başlangıçta perde duvar davranışına yaklaşmakta daha sonra kanatların hasarının gelişmesinden sonra kanatsız kolonun davranışına yaklaşmaktadır (Şekil 5.14).



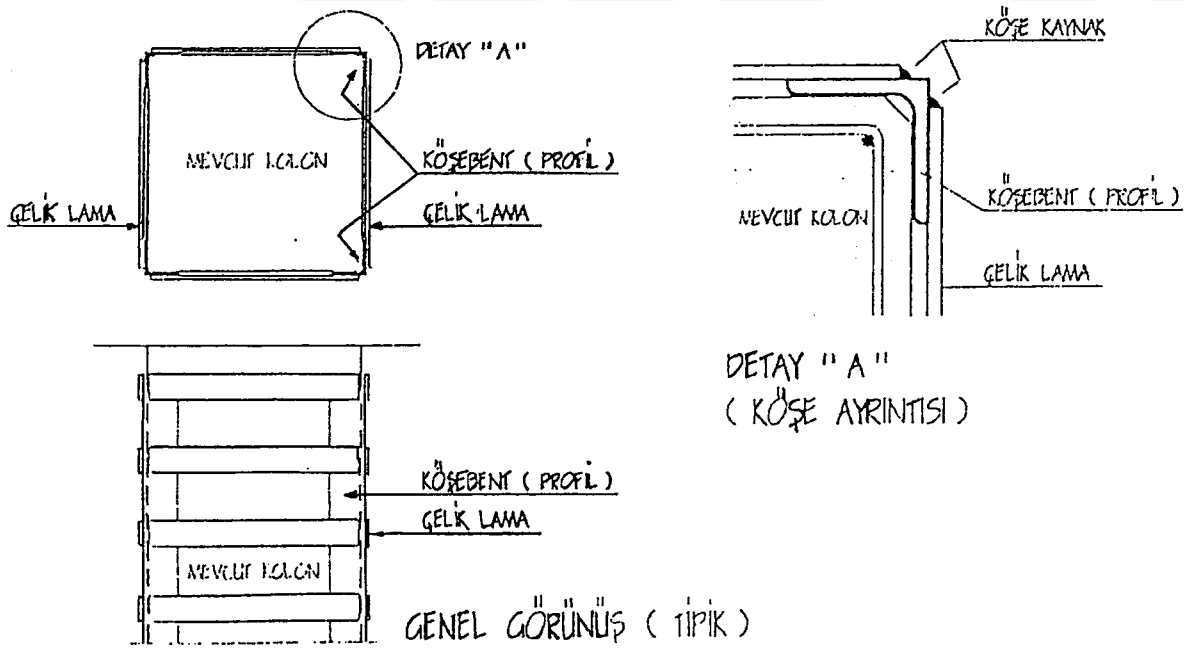
Şekil 5.14 Kanatla güçlendirmenin yatay yük altında davranışa etkisi

5.3 Çelik Kafes İçine Alınarak Güçlendirme

Betonarme kolonların güçlendirilmesi kolonu profil demirlerle bir kafese alma yöntemi ile de yapılabilir (Şekil 5.15). Bu yöntem ile kolonun moment ve eksenel yük taşıma kapasitesinde önemli bir artış olmamaktadır. Ancak çabuk yapılabilen ve hasarlı kolonun artçı depremlerde daha çok hasar görmesini önleyen ve kolonun paralanıp dağılmasını engelleyen ve kolon betonuna yanıl destek vererek dayanımını artıran bir onarım askıya alma yöntemi olarak uygulanabilir. Kolonun çevresine yapılacak çelik kafeste köşebent yada lama kullanılabilir (Şekil 5.16). Çelik kafes ile betonun birbirine çok sıkı dokunması gerekir.



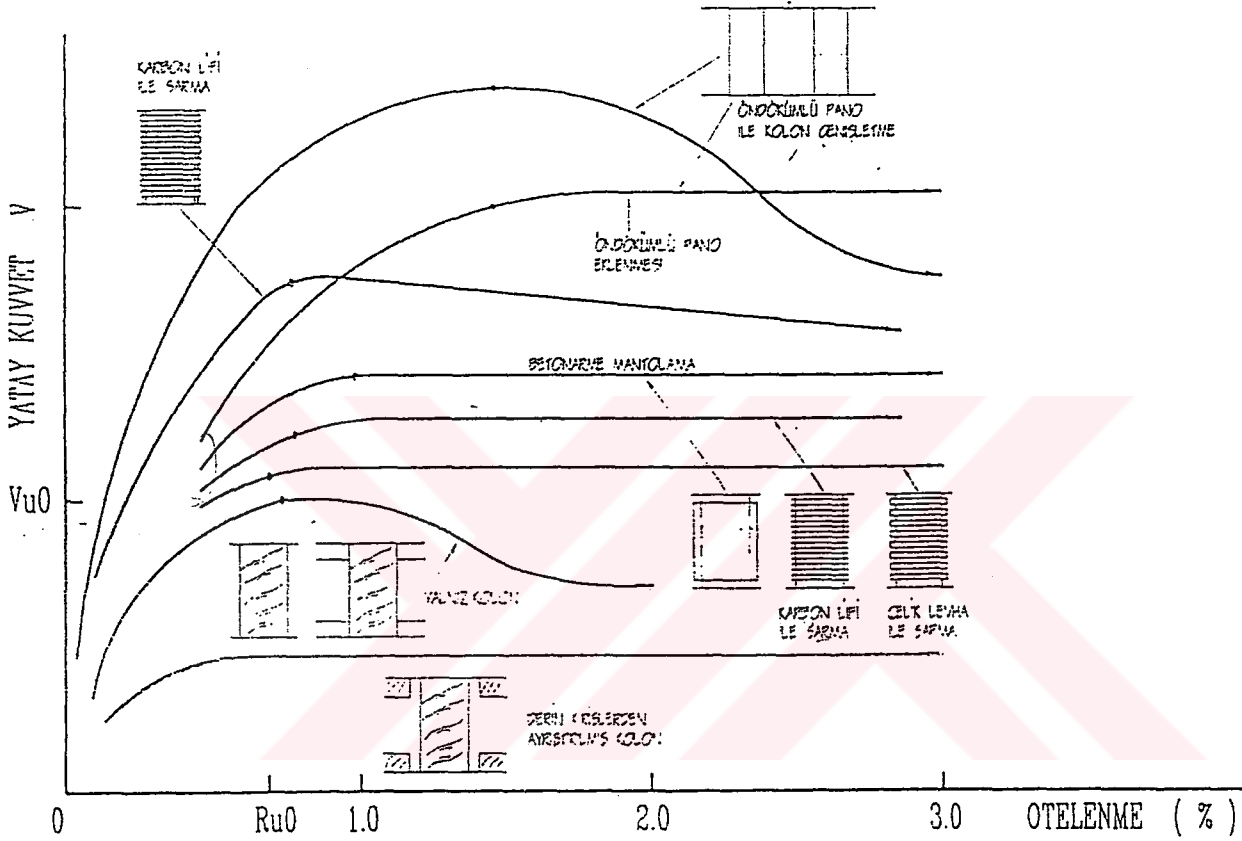
Şekil 5.15 Betonarme kolonun çelik kafesle güçlendirilmesi



Şekil 5.16 Betonarme kolonun çelik lama kafesle güçlendirilmesi

5.4 Kolonların Güçlendirme Yöntemlerinin Etkinliği

Şekil 5.17’de değişik kolon güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırmalı etkinliği verilmektedir. Öndökümlü pano eklenmesi, çelik kafes içine alma betonarme mantolamadan daha etkin görünmektedir. Çelik lama yada karbon lifi ile sarma önemli bir kesme kuvveti taşıma gücü artışı sağlamadığı görülmektedir.



Sekil 5.17 Değişik kolon güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırmalı etkinliği

Süleyman ve Diğerleri (1991) yaptıkları tersinir moment ve eksenel yükler altındaki deneylerde onarılmış kolon deney örneklerinin rijitliğinin monolitik olarak aynı boyutta ve donatıda yapılmış olan deney örneklerine göre %75 kadar daha az olduğunu gözlemişlerdir. Güçlendirilmiş, daha önceden hasar görmemişse, kolonlarda ise güçlendirmenin etkinliği monolitik olarak yapılmış kolonlardan farklı olmadığı gözlenmiştir. Bu deneylerde kolonlardaki güçlendirilen enkesitin boyuna donatıları Şekil 5.2’de görüldüğü gibi ankrajlanmıştır.

Tassios (1989) kolonların mantolanmasında, değişik parametrelerin etkinliğini inceleyen çalışmalarda et kalınlığı 5 cm olan mantolamada, et kalınlığı 10 cm olan mantolamaya göre

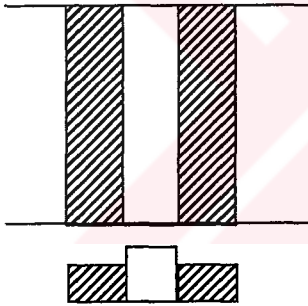
V demirleri nin kuvvet aktarımına daha çok katkısı olduğunu, buna karşılık 10 cm et kalınlıklı mantolamada ise 5 cm et kalınlıklı mantolamaya göre eski ve yeni beton arasındaki sürtünmenin kuvvet aktarımına daha çok katkısı olduğunu görmüştür. Ancak kuvvet aktarımında V demirlerinin katkısı her zaman daha çoktur. Eski ve yeni beton arasında, diğer bir deyişle manto ile eski bölüm arasında relatif bir kayma oluşunca, milimetre düzeyinde bile olsa, V demirlerinin katkısı ile daha çok kuvvet aktarılmaktadır.



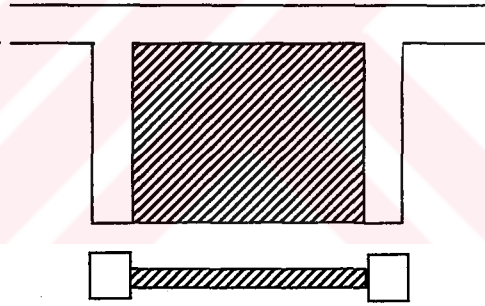
6. PERDE DUVARLA GÜÇLENDİRME

Betonarme elemanların yatay yüklere karşı dayanımını artırmak için değişik güçlendirme yöntemleri vardır, en uygun çözüm yapıya perde duvar yerleştirilmesidir. Amaç yapıya daha çok yatay yük taşıyabilecek elemanlar konulmasıdır. [Bayülge, 1999] Şekil 6.1’de bu amaç için kullanılabilecek yöntemler verilmektedir. Bu yöntemler:

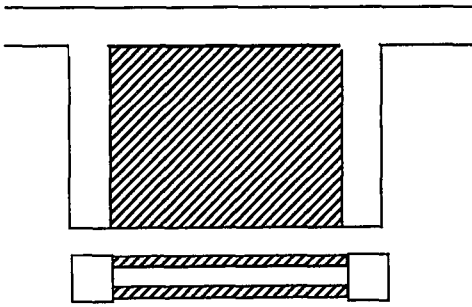
- Kolonların her iki yanına kanat eklenmesi (Şekil 6.1a),
- Çerçeve açıklığına duvar konulması (Şekil 6.1b),
- Varolan perde duvarların kalınlaştırılarak güçlendirilmesi (Şekil 6.1c),
- Kolonların yalnızca kesme kuvveti yada hem kesme kuvveti hem de moment taşıma gücünü artıran mantolama (Şekil 6.1d ve e),
- Yapıdaki çerçeve akslarının hemen yanına perde duvar konulması Şekil 6.1f olarak sıralanmaktadır.



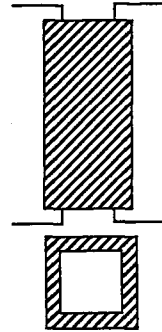
a) Kolonun iki yanına kanat eklenmesi



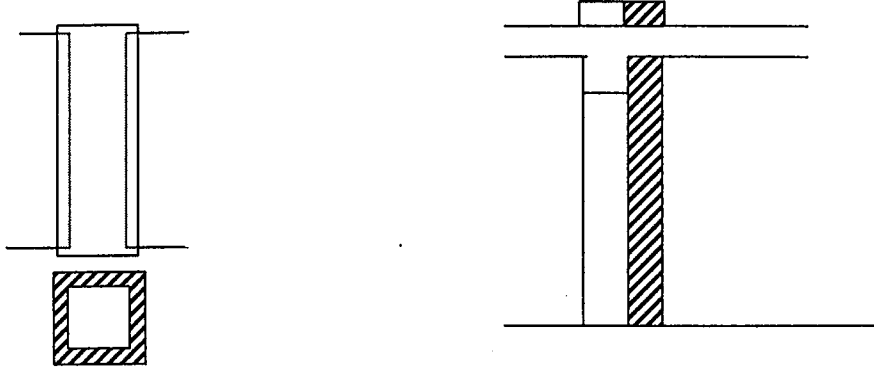
b) Çerçeve –a açıklığına betonarme duvar eklenmesi



c) Çerçeve açıklığındaki perde duvarın kalınlaştırılması



d) Kolonun yalnızca kesme dayanımını artıran mantolama



b) Kolonun hem kesme hemde moment dayanımını artıran mantolama

c) Çerçeve açıklığının yanına perde duvar eklenmesi

Şekil 6.1 Betonarme kolon ve çerçevelerin yatay yüklere karşı güçlendirme yöntemleri

Kolonların mantolanması ile kolon düşey yük taşıma gücü artırılırken sağlanacak yatay yük taşıma gücü artışı ve güvenilirliği sınırlıdır. En etkili yatay yüklere karşı güçlendirme; çerçeve boşluklarına rijit ve yüksek taşıma güçlü elemanlar konulmasıdır. Böyle bir güçlendirme ile;

1. Yapının yatay yüklere karşı rijitliği artırılarak hafif depremlerde mimari hasar önenebilir. Özellikle bölme duvarları olmayan yada hafif bölme duvarlı büro tipi yapılarda hafif şiddetli depremlerde olan mimari zarar azaltılır. Çok şiddetli depremlerde ise yıkım önlenir.
2. planda yada düşeyde düzensizlikleri olan ve bu nedenle de burulma etkisi sonucu hasar görmüş yada görebilecek yapılarda bu tür düzensizlikleri gidermek için çerçeve aralıklarına dolgu duvar konulabilir.
3. yatay yük taşıma gücü artırılabilir.

Oldukça genel bir yaklaşımla kolonlara manto geçirmek aslında yapının yatay yük taşıma gücünü artırmayan bir “onarım” biçimi olarak, perde eklemesi yatay yüklere karşı bir “güçlendirme” biçimi olarak değerlendirilebilir.

Yapaya depremde gelecek yatay yükleri taşıyacak betonarme perde duvarların eklenmesi ile yapıdaki kolonların depremde gelen kat kuvvetlerinden aldıkları pay önemli miktarda azalacaktır. Kolon momentlerinin azalması ise bu kolonlara bağlı kiriş uç momentlerinin de azalmasına neden olacaktır. Bu durum kiriş uçlarında beklenen mafsallaşmanın daha düşük

bir düzeyde olmasına, kiriş ucundaki çatlaklar daha kılcal boyutta ve daha küçük bir bölgede olacaktır. Ancak daha büyük yatay kuvvet alacak perdelerin eğilme momenti daha büyük ve bu perdelerle bağlı kirişlerin momentleri artacağından daha çok zorlanacak ve kolonlara bağlı kiriş uçlarında mafsallaşma olmazken perdelerle bağlı kiriş uçlarında daha ileri düzeylerde mafsallaşma olacaktır. Bu nedenle eklenen perdelerle bağlı kirişlerin uçlarındaki moment taşıma güçlerinin artırılması yada kiriş uçlarının sık etriye ile dıştan sarılması yada çelik levha ve epoksili cam yada karbon lifli dokumalarla sarılması düşünülebilir.

Güçlendirme için konulmuş betonarme perdelerle bağlı kirişlerin uçlarında şiddetli depremde olacak mafsallaşma yapının genel olarak yıkılmasına yol açacak bir mekanizma olmadığı için çok önemli değildir. Perdeye bağlı kiriş uçlarında olacak mafsallaşma depremden sonra onarılabilir.

6.1 Çerçeveleri Doldurma Yöntemleri

Betonarme çerçevelerin dolgu duvarlarla güçlendirilmesi çeşitli biçimlerde olabilir:

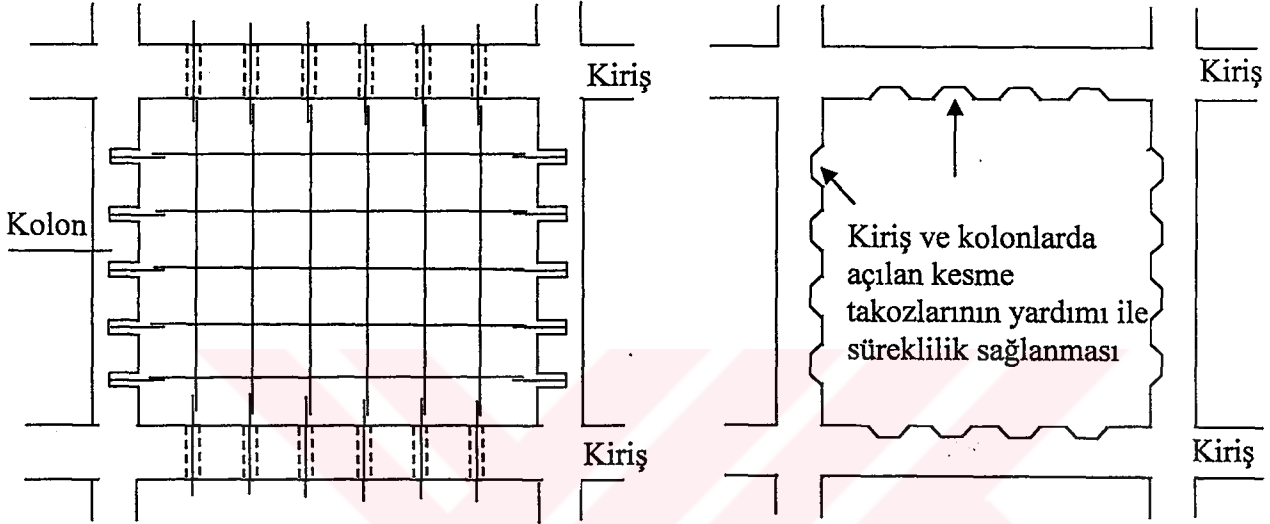
1. Donatısız yığma duvarlarla doldurma
2. Donatılı yığma duvarlarla doldurma
3. Yerinde dökme betonarme perde duvarlarla doldurma
4. Perde duvarın kalınlaştırılması
5. Hazır dökülmüş panolarla dolgu
6. Çelik diyagonal elemanlarla güçlendirme

6.1.1 Donatısız Yığma Duvarlarla Doldurma

Çerçeve açıklığına taşıyıcı tuğla ile duvar örerek doldurma aslında çok zayıf bir güçlendirme yöntemidir. Çok sınırlı bir taşıma gücü artışı sağlanırken, düktilite artışı sağlanmaz. Bir anlamda çerçeve açıklıklarındaki kirişlerin altına mesnet yapılması, kirişlerin yükünün askıya alınması gibi bir çözümdür. Ve bir sonraki güçlendirme yöntemi olarak donatılı yığma duvarla dolgu yöntemine hazırlık aşaması olarak nitelemek daha doğru olacaktır.

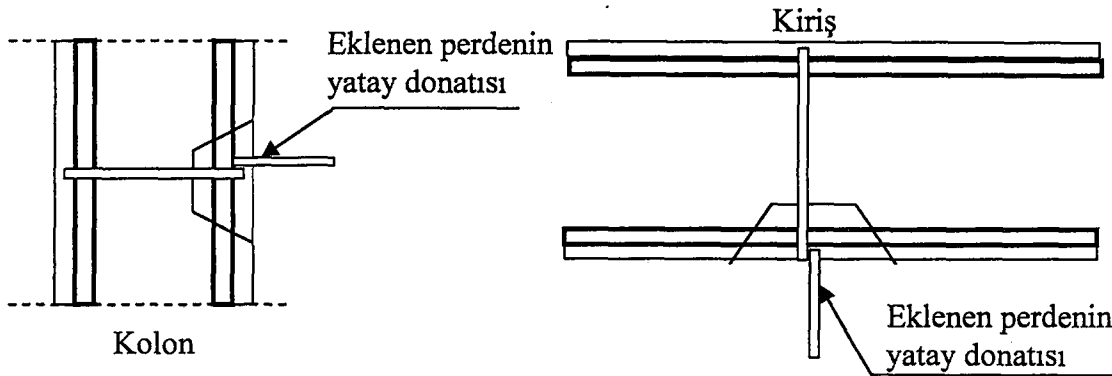
6.1.2 Donatılı Yığma Duvarlarla Doldurma

Bu yöntemde çerçeve boşluğuna örülen tuğla, beton briket vb. malzemeden yapılmış duvarın her iki yüzüne hem yatay hemde düşey yönde donatıların yerleştirilmesi ile yapılır. Yatay donatıların Şekil 6.2’de gösterildiği gibi kolonlarda, düşey donatılarında kirişlerde açılan deliklerden geçirilerek yapı yüksekliği boyunca sürekliliğin sağlanması gerekir.[1]



Şekil 6.2 Perdelerin çerçeveler ile birlikte çalışması için uygun ayrıntılar

Bu arada eklenen yatay ve düşey donatılar kolon ve kirişlerdeki donatılara Şekil 6.3’deki gibi kancalı bir biçimde bağlanabilir. Bu ayrıntı yerinde dökme betonarme perde duvarlarla güçlendirmede de kullanılabilir. Enine donatılar kolonlarda ankrajlanmalıdır.

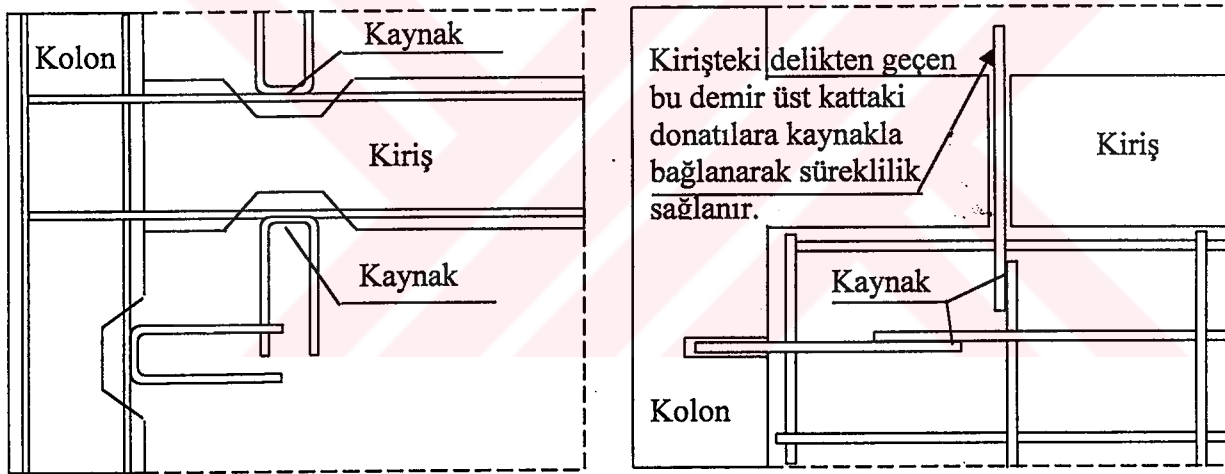


Şekil 6.3 Eklenen perdenin donatısının mevcut kolon ve kirişe bağlanması

Bu güçlendirme yöntemi çerçeve açıklıkları tuğla duvar ile örülmüş yapılarda da uygulanabilir. Donatıların yardımı ile hem moment taşıma gücü hemde kesme kuvveti taşıma gücü artırılabacaktır. Var olan tuğla duvarların güçlendirilmesi için hasır çelik de kullanılabilir. Hasır çeliğin duvarın iç ve dış yüzüne konulması ve yer yer birbirlerine çiroz etriyelerle bağlanması gerekir. Donatılı duvarın perde duvar olarak davranması için donatılarının yapı yüksekliği boyunca sürekli olması sağlanmalıdır.

6.1.3 Yerinde Dökme Perde Duvarla Dolgu

Bu yöntem en çok önerilen yöntemdir. Çünkü betonun basınç ve kesmeye karşı dayanımı tuğla yada beton briket duvardan çok daha büyüktür. Ayrıca yapıya tuğla duvara göre çok daha büyük rijitlik sağlar. Yeniden dökülen betonarme perde duvarların kiriş ve kolonlara bağlantısını sağlamak için Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de gösterilen yöntemler uygulanabilir.



Şekil 6.4 Perde duvarların kolon ve kirişlere bağlantıları

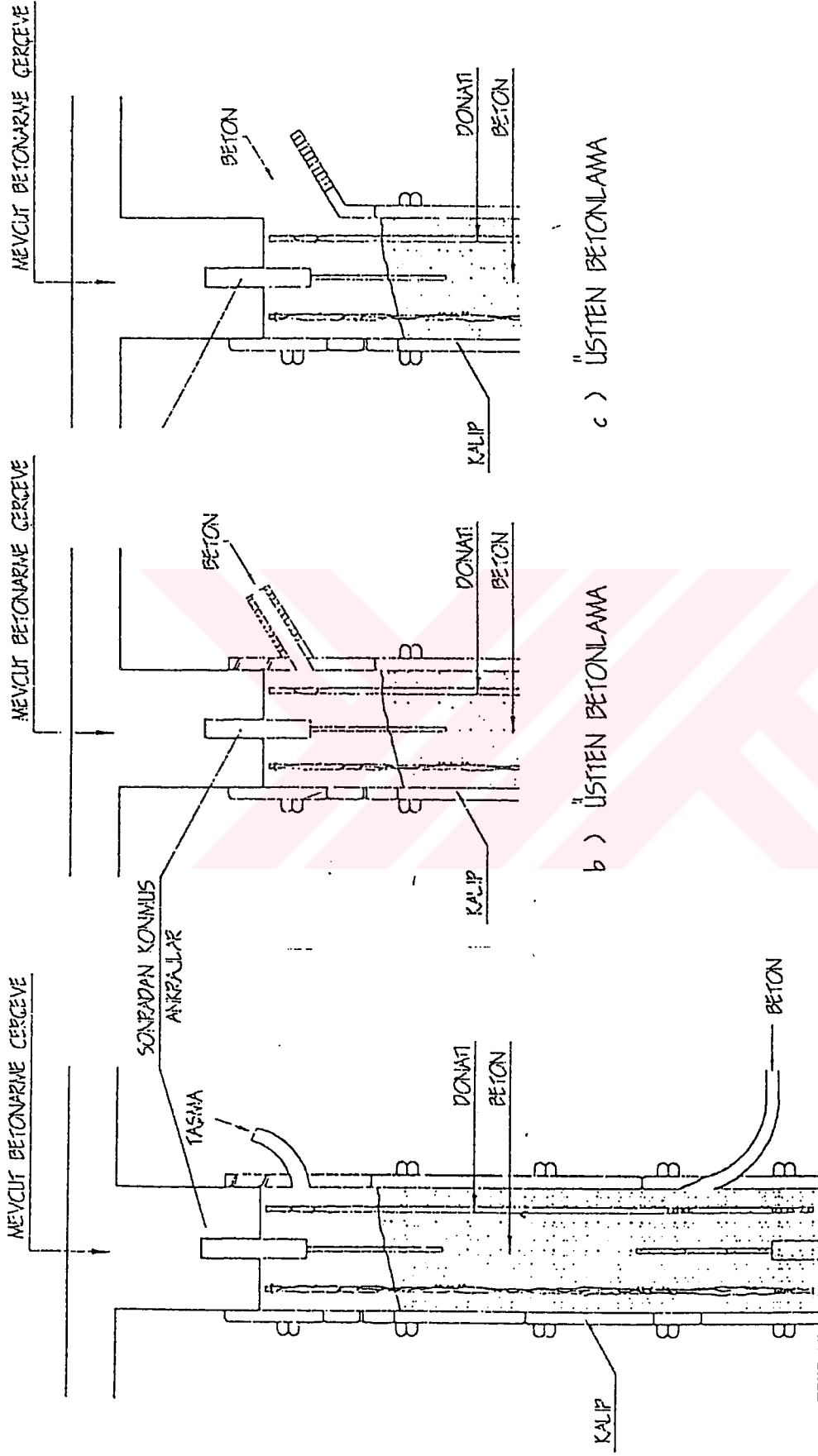
Yatay donatılar kolon içinde ankre edilmiş filiz demirlerine kaynakla bağlanırken, düşey donatılar kirişlerde açılan deliklerden geçirilerek betonarme perdenin yapı yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanmalıdır. Her bir katın perde düşey donatısı olan kirişlerde açılmış yuvalarda yer alan bağlantı filiz demirlerine kaynaklanmalıdır. Çerçevelerin arasına perde yapımında mevcut kolon ve kiriş betonu ile birlikte çalışma için betonda kesme takozları kullanılmalıdır. (Şekil 6.2). Çerçevelerin arasına perde duvar yapımı yapı temelinden başlayarak en üst kata kadar sürekli olmalıdır. Perde duvarın herhangi bir katta kesilmesi yapıda o katta gerilme birikimi ve deprem davranışının ani olarak değişmesine neden olduğu için kritik olmaktadır.

Perde duvarların sürekliliğini sağlamak için donatılarını var olan kolon ve kirişlerde ankrajı gerekir. Perde duvarın donatısı hem yatay hemde düşey yönde % 0.25'den az olmamalıdır. Ayrıca yapının yatay yük hesabından bulunan miktarda yatay yük taşıyabilmesi için gerekli perde en kesitine göre donatılması gerekir. Yerinde dökme perde duvarlarla güçlendirmede çerçevelerin uçlarındaki kolonlarında mantolanarak güçlendirilmesi gerekmektedir. Perde uçlarındaki kolonlarda depremde perdeye gelecek eğilme momentinden dolayı büyük basınç ve çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Eğer kolon boyuna donatıları yeterli bir biçimde etriyelerle sarılmamış ise burkulmakta ve perde duvarın sağlaması gereken moment taşıma gücüne ulaşılmamaktadır.

Yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirme uygulamasında önemli bir sorun çerçeve içine konulan perdenin betonunun dökülmesidir. Özellikle kiriş altına gelen yere beton doldurmak güçtür. Şekil 6.5'de gösterildiği gibi aşağıdan basınçla beton pompalama yada duvarın üst tarafından yandan beton dökme yöntemleri uygulanabilir. Özellikle kirişlerin hemen altındaki bölgeye genleşen bir çimento ile yapışmış harç doldurulması uygun olacaktır.

Betonarme perde duvarlarla güçlendirmede duvarların çerçeve içine konulması yerine perdelerin çerçevenin hemen yanına yapılması 1992 Erzincan depreminden sonra güçlendirilen bazı konut yapılarında uygulanmıştır (İTÜ-1992). Bu uygulamada Şekil 6.6'da gösterildiği gibi perde duvar kolon açıklığının hemen yanında yer almaktadır. Çerçeve kolon perde ile birlikte bir manto içine alınmıştır. Perdenin yapının çerçeveleri ile birlikte çalışması için perde kirişe çok sayıda ankraj bulonu ile bağlanmıştır.

Yerinde dökme perde duvarların donatıları hem kirişlerde hemde kolonda ankraj edilebileceği gibi yalnızca kirişlere bağlantılı yapıp perde duvar ile kolon arasında derz bırakılabilir. Kolonlara monolitik olmuş perde duvarlarda, yatay yükler altında, perdeler uçlarında flanş olan I kesitli elemanlar gibi davranırlar ve uçlarındaki kolonlarda büyük basınç kuvvetleri oluşur. Eğer bu kolonlarda boyuna donatılar etriyeler ile yeterli olarak kısaltılmamış ise var olan kolonlar hasar görür. Bu tür perde uç kolonlarında hasar olmasını önlemek için eklenen perdelerin kolonlarla aralarında derzli yapılması daha uygundur. Bu durumda da perde ile kolon arasındaki çok kısa kirişlerde yatay yüklerden dolayı kesme kırılması beklenir. Bu bölümler bağ kirişleri gibi davranacaktır. Ancak bu tür kırılmaların yapı güvenliği açısından fazla sakıncası yoktur.

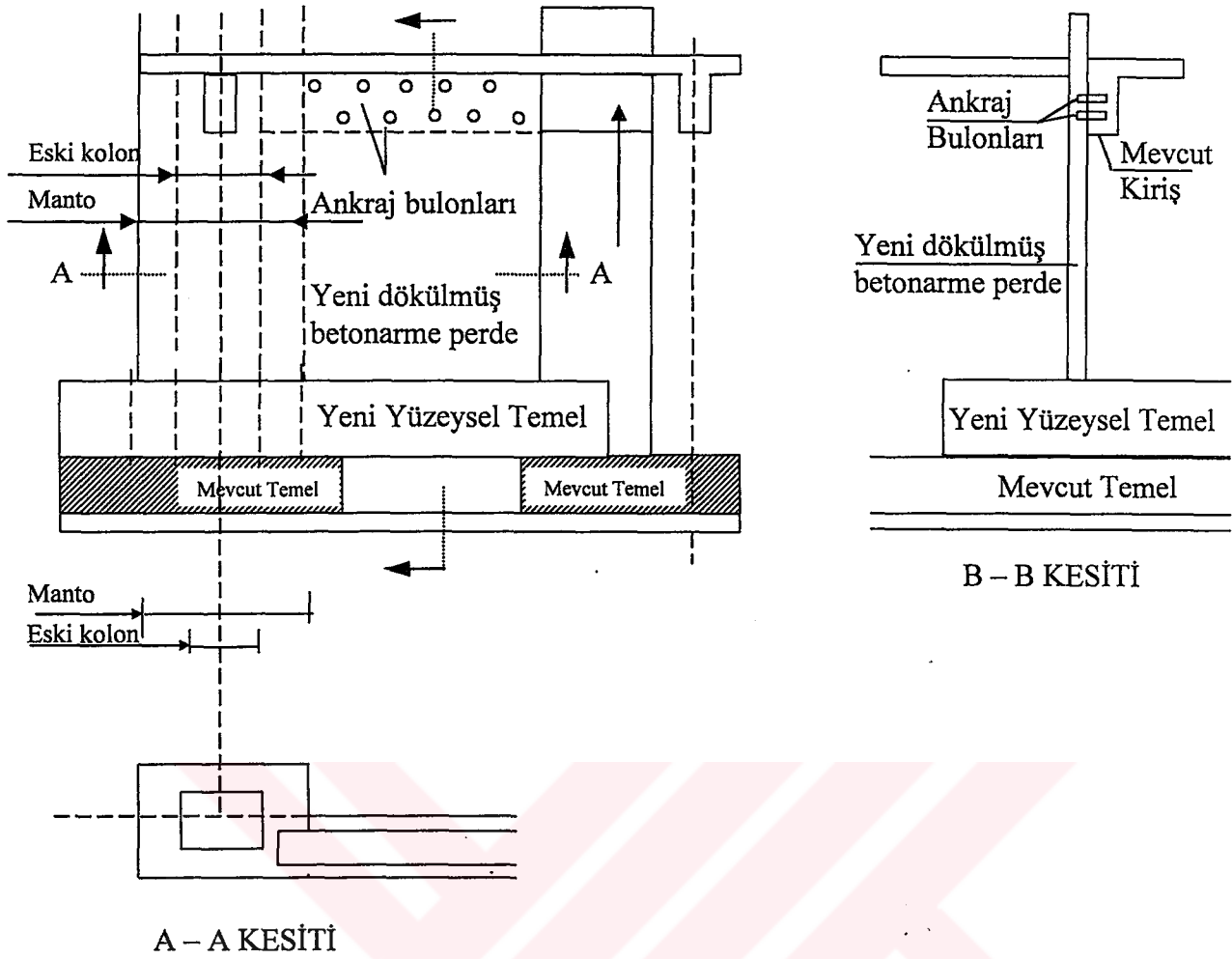


a) ALTIN BASINÇLA BETONLAMA

b) ÜSTTEN BETONLAMA

c) ÜSTTEN BETONLAMA

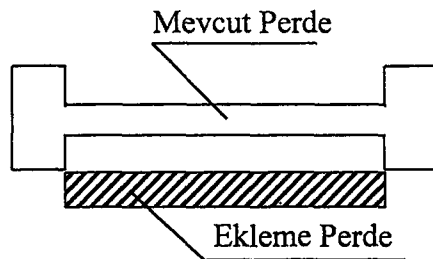
Şekil-6.5 Perde Duvarı BETONLAMA YÖNTEMLERİ

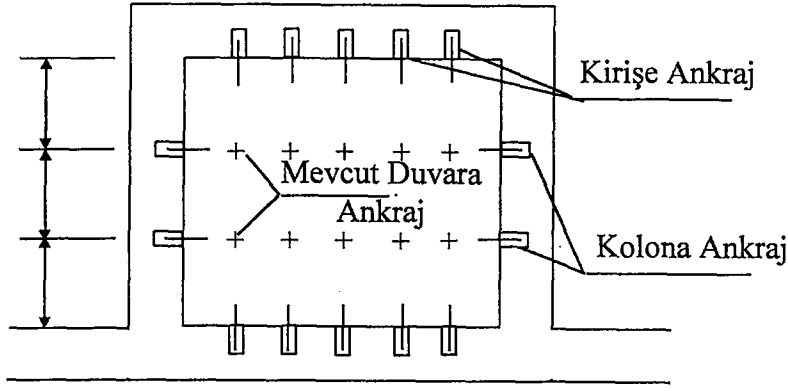


Şekil 6.6 Çerçevenin yanına perde duvar eklenmesi

6.1.4 Perde Duvarın Kalınlaştırılması

Betonarme perdelerle güçlendirmenin bir başka biçimi mevcut perde duvarın kalınlaştırılmasıdır (Şekil 6.8). Bu uygulamada da mevcut ince perde duvar yanına bir yeni duvar eklenerek daha kaim perde yapılmaktadır. Burada eski ve yeni duvarın birlikte yük taşıması için gereken ayrıntıların uygulanması gerekir.

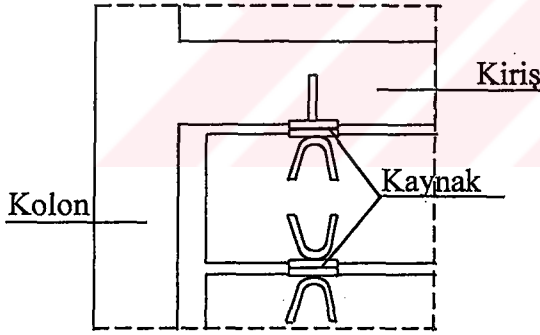




Şekil 6.8 Perde duvarın kalınlaştırılarak güçlendirilmesi

6.1.5 Hazır Dökülmüş Panolarla Dolgu

Yerinde dökme betonarme duvar yapımı yerine hazır dökülmüş duvar elemanları da kullanılabilir (Şekil 6.9). Hazır elemanlar standart açıklıklar varsa daha kullanışlı olabilir. Öte yandan yapıda onarılması gereken çok sayıda aynı boyutta çerçeve açıklığı varsa, okul hastane ve büro tipi yapılar bu bakımdan uygundur, hazır dökülmüş pano ile dolgu yapılabilir. Ancak bunların yapı içinde insan gücü ile taşınabilir boyut ve ağırlıklarda olması gerekir.



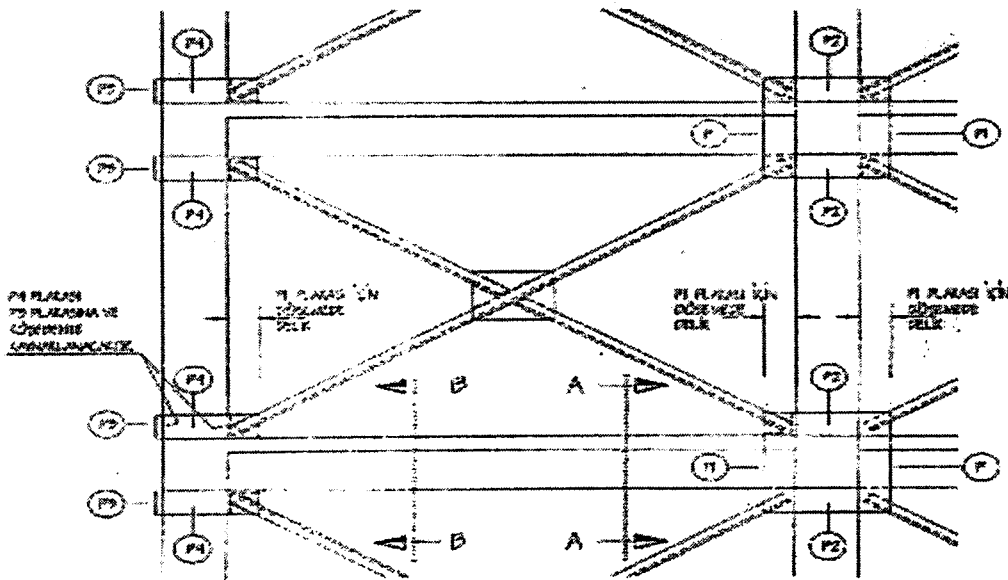
Şekil 6.9 Hazır panoların kolon ve kirişe bağlantısı

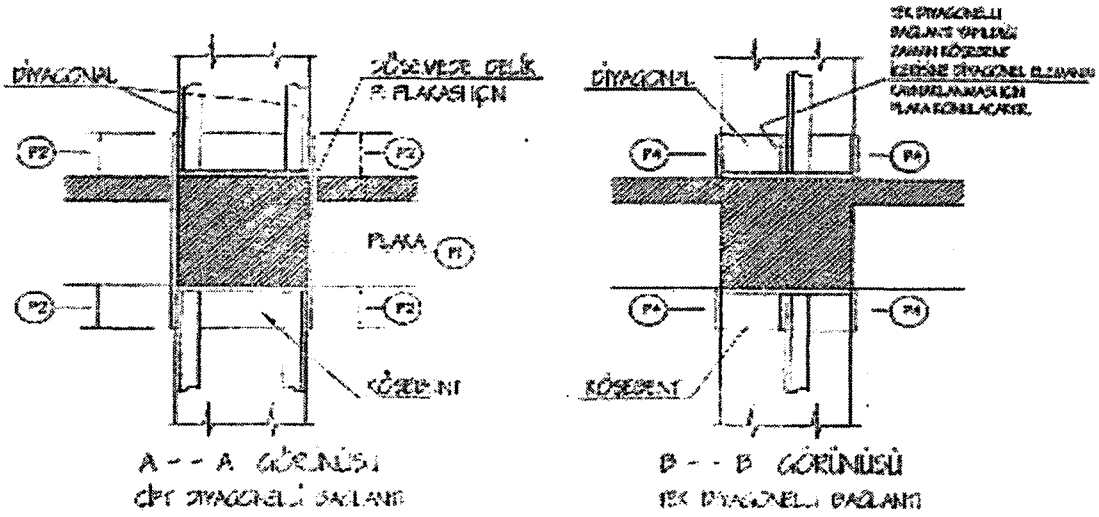
Hazır dökülmüş panolarla dolgu yaparak güçlendirme yerinde dökme betonarme perde duvarlarla güçlendirmeye göre daha az yatay taşıma gücü sağlar. Ancak hazır dökülmüş panolarla yapılan güçlendirmenin daha sünek olduğu görülmektedir. Hazır betonarme panolarla yapılan güçlendirmede panoları birbirlerine, kolon ve kirişlere kaynaklı olarak bağlanmalıdır (Şekil 6.9). Hazır panoların kolon yada kirişlere bağlantısı, yerinde dökme var olan elemanlarda kiriş yada kolonda kesme takoz yuvaları açmak ve buralardaki kiriş ve kolon donatısına hazır elemanlardan gelen donatıları kaynaklamak biçiminde olabilir. Kesme

takozu yuvası epoksi harcı yada yüksek dayanımlı ve genleşen çimentolu beton ile doldurulmalıdır.

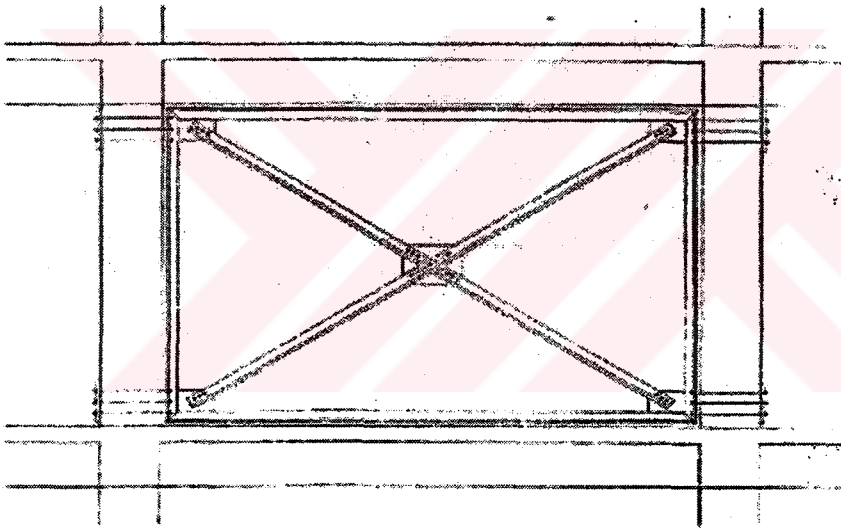
6.1.6 Çelik Diyagonal Elemanlarla Güçlendirme

Betonarme perde duvarların konulması yapının ağırlığını ve dolayısıyla yapıya gelen deprem yüklerini de artırabilir. Bu artıştan kaçınmak yada yapının ağırlığını artırmadan rijitliğini yada daha önemlisi olan sünekliğini artırmak için çerçeve boşlukları arasına çelik çerçeveler yada diyagonal elemanlar konularak güçlendirme yapılabilir (Şekil 6.10 ve Şekil 6.11). Bu tip güçlendirme diğer yöntemlere göre çok daha kısa bir süre içinde gerçekleştirilebilir. Çerçevenin betonarme kolonlara özel bir biçimde bağlanması gerekir. Şekil 6.11'de gösterildiği gibi bulonlu bağlantı olabileceği gibi, Şekil 6.10'da gösterildiği gibi kaynaklı bir bağlantıda yapılabilir. Kaynaklı bağlantı yerine bulonlu bağlantının daha iyi sıkıştırılma kullanılabilme olanağı vardır. Bulonlu bağlantı kolonun dış yüzünde olabileceği gibi, betonarme kolon delinerek bulonlar betonarme kolonun içinden geçirilerek yapılabilir. Çelik çerçeveler yatay kuvvet taşıma gücü bakımından betonarme perde duvarlara göre hem daha güçsüzdürler hemde bedelleri daha yüksektir. Ancak daha kısa sürede yapılabilmeleri ve bir deprem sonrasında acil olarak yapıların hasarlı bölümlerinin desteğe alınmasında kullanılabilme gibi üstünlükleri vardır. Çelik çerçeve ile güçlendirme diyagonal pencere boşluklarına uygun biçimlerde de konulabilir (Şekil 6.12). Diyagonal çelik çerçevenin önemli bir üstünlüğü diyagonallerin açıklıkta pencere yada kapı boşluğu kapatılmadan yerleştirilebilmesidir.



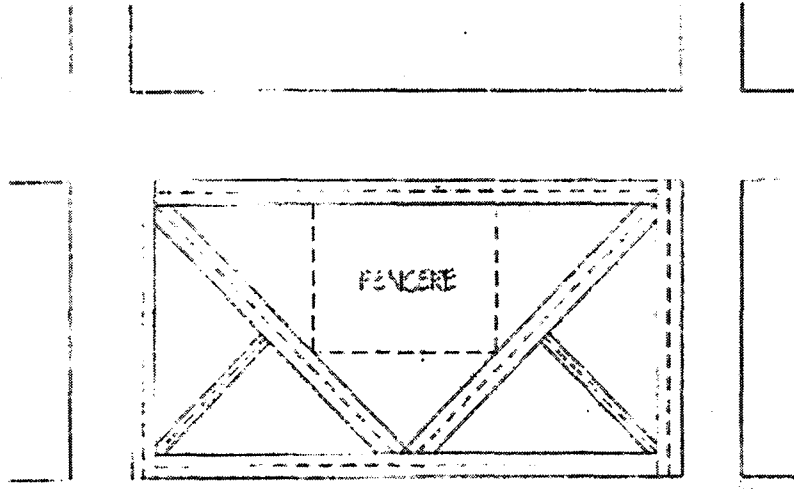


Şekil 6.10 Çevre açıklığına kaynaklı diyagonal çelik elemanlar konulması

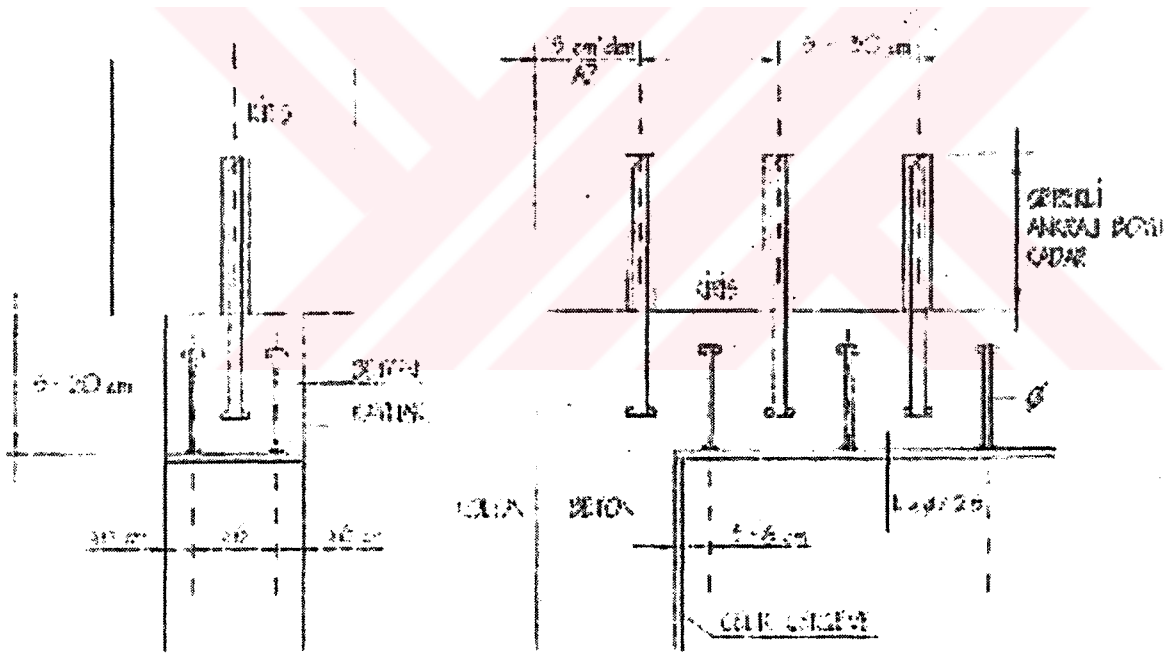


Şekil 6.11 Çerçeve açıklığı bulonlu çelik diyagonal elemanlar yerleştirilmesi

Çelik çerçeve ile güçlendirmenin önemli bir sorunu çelik ve betonarme çerçeve arasında kuvvet aktarımıdır. Japonya'da bu sorunun çözümü için Şekil 6.13'de gösterilen ayrıntılar uygulanmaktadır. Çelik çerçevenin dış çevresine kaynakla bağlanan dişler ve yine betonarme çerçeveye ankrajlanan dişlerin arasına yaklaşık 15-20 cm kalınlığında beton dökülmektedir. Bu betonun basınç dayanımını artırmak için bu bölüme spiral donatı konulmaktadır. Spiral donatı yerleştirmek oldukça güç bir işçiliktir. Japonya'da çelik diyagonal çerçeve ile güçlendirme geniş açıklıklı betonarme çerçeveli, geçmiş yıllarda yapılmış okul yapılarının güçlendirilmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 6.12 Çelik diyagonal elemanla güçlendirme penceresi kapanmayan diyagonal yerleştirme



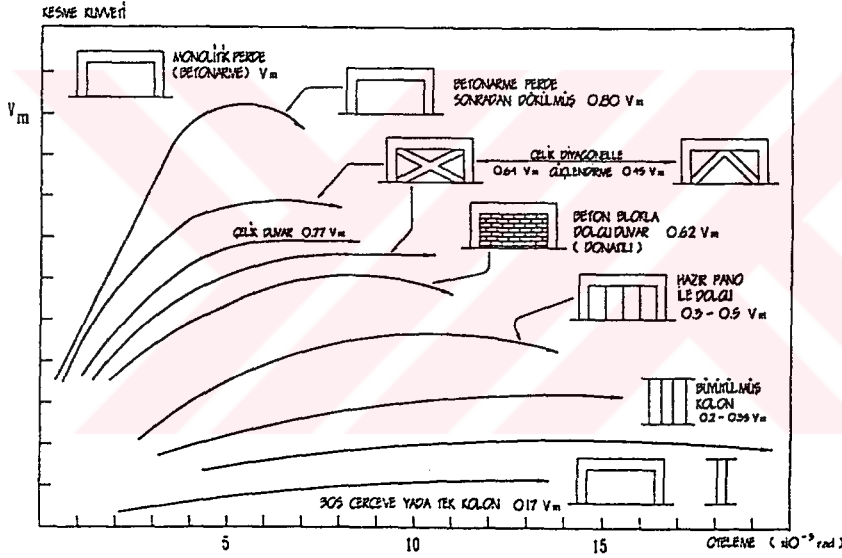
Şekil 6.13 Çelik çerçeveden betonarme elemanlara kuvvet aktarma ayrıntıları

6.2 Dolgu Duvarlarla Güçlendirmenin Etkinliği

Dolgu duvarla çerçevelerin güçlendirilmesi yöntemi ile elde edilecek ek taşıma gücü, rijitlik artışı süneklik ve kesme kuvveti taşıma gücü açısından bir karşılaştırma yapılması uygulanacak yöntemin seçiminde yol gösterici olabilir. Çerçevelerin dolgu duvarları ile

güçlendirilmesinin etkinliği çeşitli araştırmacılarca incelenmiştir(Sugano 1981, Ersoy 1989, Vintzeleou 1989).

Sugano (1981) değişik biçimde güçlendirilmiş çerçevelerin yatay yük altındaki davranışlarını deneysel olarak karşılaştıran çalışmasında Şekil 6.14'de görülen yük-deformasyon eğrilerini vermektedir. Buradan görüleceği gibi çerçeve boşluğu içine perde duvar yapılması ile boş çerçeveye göre yaklaşık 4-5 kata varan kesme kuvveti taşıma gücü artışlarına ulaşılabilmektedir. Ancak sonradan perde duvar yapımı perde ile kolonun birlikte dökülmesi ile elde edilen dayanıma ulaşamamaktadır. Çerçeve açıklığının içine donatılı beton blok ile dolgu duvar yapılması bile çerçevenin kesme kuvveti taşıma gücünde 3 kata varabilen artışlar oluşturabilmektedir.



Şekil 6.14 Çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon gücü üzerindeki etkileri (Sugano, 1981)

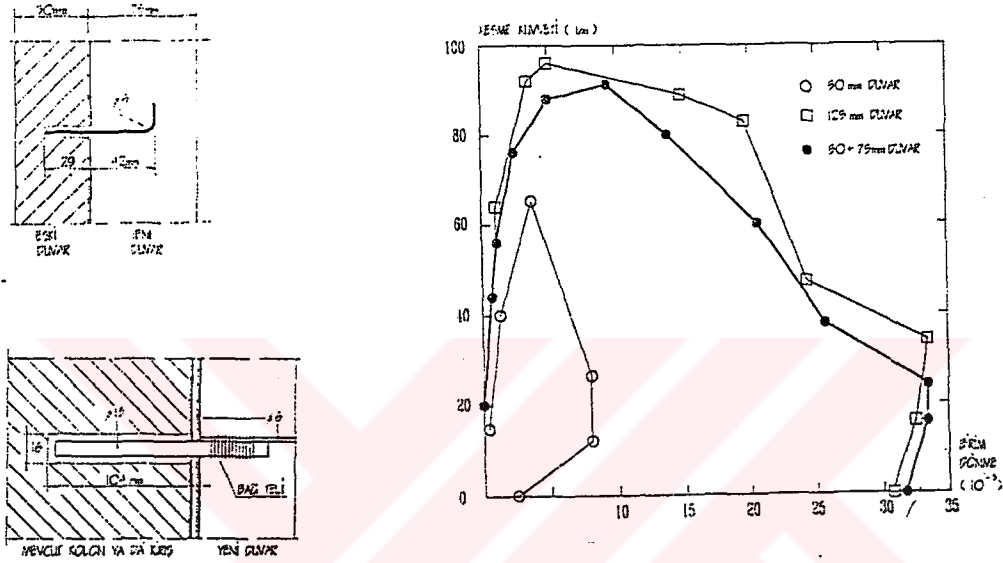
Ersoy ve diğerleri (1989) yaptıkları deneylerde çerçeve sisteminin içine konulan betonarme perdenin eğer çerçeve ile bağlanmamış ise tersinir ve devresel yüklemeler altında etkili olmadığını gözlemişlerdir. Buna karşılık betonarme perdenin donatıları çerçeve donatıları ilke kaynaklı olarak bağlanırlarsa iyi bir davranış sağladığını, perde duvarın donatısının çerçevenin kolon ve kirişlerine yerleştirilmiş kamalarla bindirmeli olarak yapılması ile çok üstün bir davranış edildiğini görmüşlerdir. Öte yandan çerçeve açıklığına betonarme perde konulmadan önce çerçevenin kolonlarının güçlendirilmesi de önerilmektedir.

Vintzeleou (1989) şimdiye kadar çerçevelerin dolgu duvarla doldurularak yatay yükler altında denendiği bütün deneylerin sonuçlarını inceleyerek aşağıdaki bulguları çıkarmıştır:

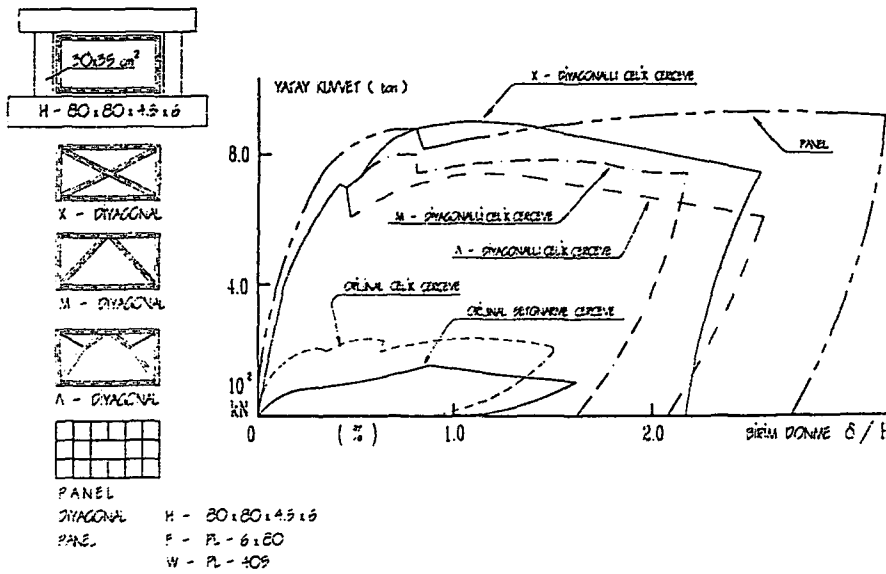
1. Donatısız yığma dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yüklere karşı dayanımı çıplak çerçevelerin dayanımının en az 2 katı kadar olmaktadır. Eğer dolgu duvar malzemesi olarak kullanılan tuğla, beton briket vb. malzeme düşük dayanımlı ise çıplak çerçeveye göre dayanım artışı % 40 kadar olmaktadır.
2. Yığma dolgu duvarların donatılı olarak yapılması ile donatı yüzdesi % 0.15-0.6 arasında, dolgulu çerçevenin dayanımı çıplak çerçevenin 5 katı kadar olabilmektedir.ancak bunun için dolgu duvardaki donatılar çerçevedeki donatılara kaynaklı olarak bağlanmış olmalıdır.
3. Yığma dolgu duvar yerine yerinde dökme betonarme duvar yapılırsa dayanım artışı 6 kat olabilmektedir.
4. Öndökümlü (prefabrike) betonarme panolar ile dolgu duvar yapılması ile duvarsız boş çerçeveye göre dayanımda 3-5 kat artış olmaktadır. Panoların çerçeveye bağlantı ayrıntısına göre dayanım artışları değişik miktarlarda olmaktadır.
5. Öte yandan birlikte dökülmüş perde ve kolonlu betonarme sistemlerin dayanımı çıplak kolon dayanımının 15-50 katı olabilmektedir. Sonradan betonarme perde duvar ile çerçevenin doldurulmasının çerçeve ile perdenin birlikte döküldüğü durumlar kadar etkin olmaması normaldir.
6. Tersinir yüklemeler altında dayanımdaki azalma miktarı hemen bütün değişik güçlendirme sistemleri için aynı orandadır. Eğer çerçeve kolon donatıları yetersiz miktar ve biçimde yerleştirilmiş ise tersinir yükleme ile kolonların dayanımında olan azalım hem oran olarak çok fazla hemde çok hızlı bir biçimde gerçekleşmektedir. Bu açıdan belki de eğer kolonlar çok zayıf ise bu açıklığın içine betonarme perde duvar konulursa perde ile kolonun bağlantısını zayıf yapmak daha yararlı olacaktır. Yada kolonlar mantolanarak güçlendirilecektir.
7. Kalınlaştırılmış perde duvarların etkinliğini belirlemek için yapılmış deneylerde (Goto ve Adachi 1991) sonradan kalınlaştırılmış perde duvar ile döküm yapılmış duvarın

arasında önemli bir davranış farkı gözlenmemektedir. Ara da yaklaşık % 10 kadar bir fark vardır. Bu deneylerde kullanılan eski-yeni duvar bağlantı yöntemi Şekil 6.15' de verilmektedir.

8. Değişik diyagonalle güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırması yapılmıştır. (Ohkubo-1991). Şekil 6.16'da çelik çerçeve ile takviyede değişik diyagonal biçimlerinin deneysel olarak bulunmuş etkinliği karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6.15 Eski ve yeni duvar kaynaştırma yöntemleri (Goto ve Adachi, 1991)



Şekil 6.16 Betonarme çerçevenin değişik çelik diyagonal çerçeve ile güçlendirilmesinin etkinliği (Ohkubo, 1991)

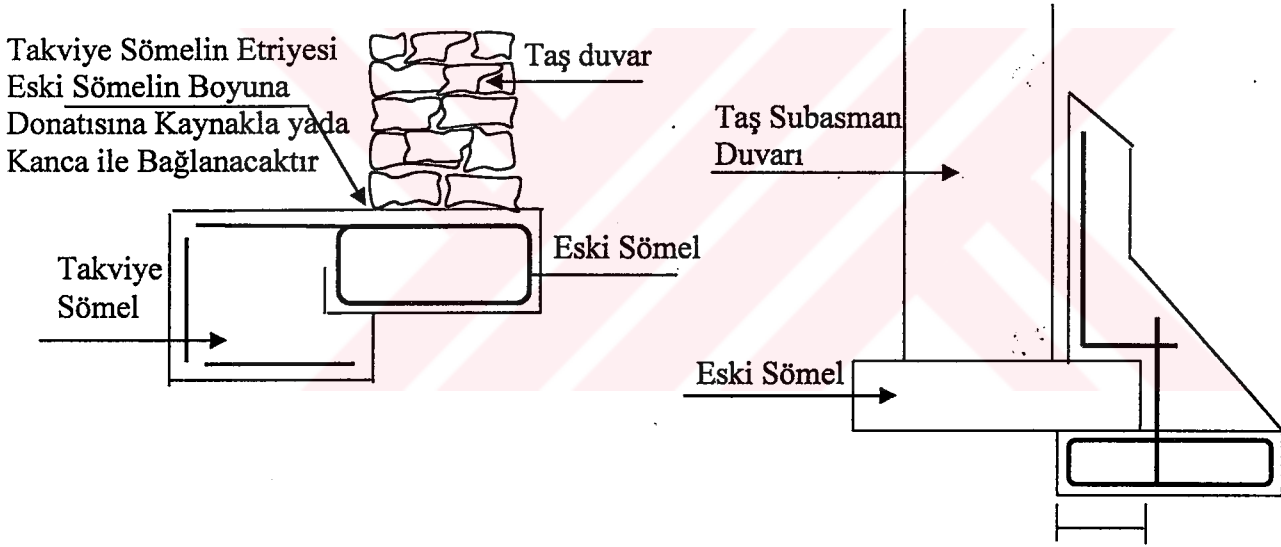
6.3 Çerçevelerin Perde Duvara Dönüşmesinin Yaratacağı Sorunlar.

Çerçevelerin perde duvara çevrilmesi ile yapıya rijit elemanlar yerleştirilmektedir. Yeni bir depremde yapıya gelen kuvvetlerin artık tamamına yakın bir bölümü bu perde tarafından taşınacaktır. Bu ise perdenin temelinde büyük dönme momentinin oluşmasına yol açacak ve bunu taşıyacak boyutta temel olması gerekecektir. Bu nedenle yapıya perde eklenmesi ile birlikte bu perdelerin yeterli temelinin de bulunması gerekmektedir.

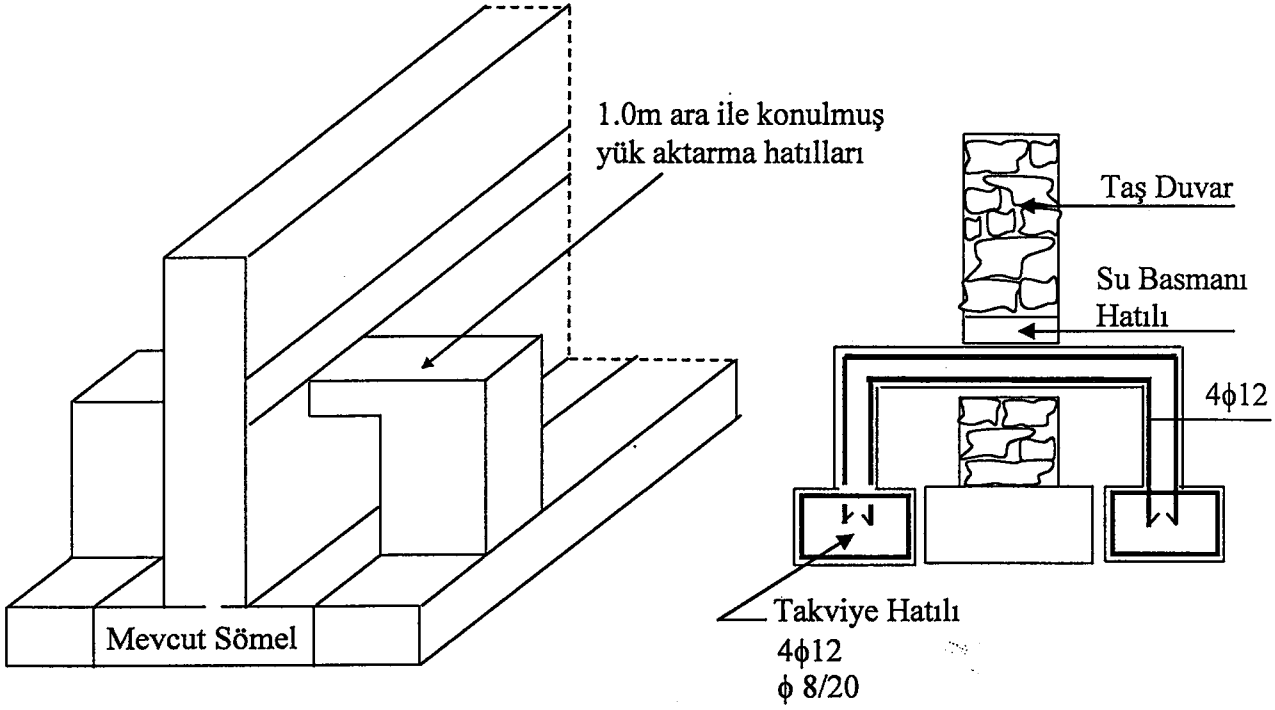
Perdelerin genellikle aksenal yükleri azdır. Sonradan eklenen perdelerin ise kendi ağırlıklarından başka aksenal yükleri yoktur. Yalnızca moment etkisi altında olan bir temelin, üstelik depremde gelen yatay yüklerin tümünü alan bir perdenin temelini, boyutları son derece büyük olacaktır. Bu sorunla 1992 Erzincan Depreminde hasar gören konut yapılarının perde duvarlar eklenerek takviyesi sırasında karşılaşılmış ve perdelerin temelleri yapının diğer kolonlarının temelleri ile bütünleştirilerek çözülmüştür (ITU-1992). Büyük yatay rijitliği nedeni ile depremde gelen yatay yüklerin büyük bir bölümünü taşıyacak olan perde duvarın tabanında büyük eğilme momentleri oluşacaktır. Bu momentin taşınabilmesi için çok büyük boyutlu temeller gerekebilir. Yapının diğer kolonları ile birleştirilmiş perdenin temeli deprem sırasında gelen eğilme momentleri altında döndüğü zaman, yapının düşey yüklerini taşıyan diğer kolonların temeli ile bağlantılı olduğu için, bu kolonların düşey yükleri perde temelini dönmesini azaltacak ve temelin altındaki zeminde büyük gerilmelerin oluşması önlenecektir.

7. TEMEL GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

Temellerdeki güçlendirme gereği iki ayrı biçimde ortaya çıkmaktadır. Birincisi temel boyutlarının gelen yükleri taşımada yetersiz olması, diğeri ise yapının güçlendirilmesi için eklenen yeni elemanlar için yeni temel yapılması yada 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 7.1’de verilmektedir. Bu ayrıntılar tuğla yığma yapıların betonarme temellerinde de kullanılabilir. Şekil 7.2’de tuğla yığma yapı temel duvarlarında duvarın yükünü eklenecek yeni temellere aktarabileceği sanılan bir başka ayrıntı verilmektedir. Su basman duvarı hatılının hemen altında 1.0 m ara ile konulacak duvara dik yöndeki hatıllarla duvarın yükü eski temelin her iki yanına yapılmış yeni sömellere de aktarılmaktadır.

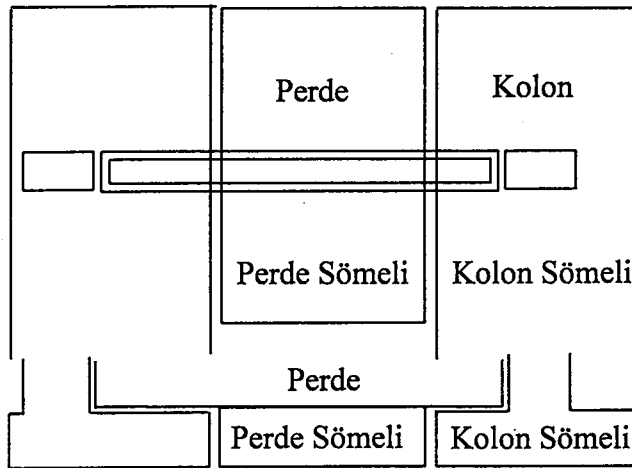


Şekil 7.1 Temel güçlendirme ayrıntıları



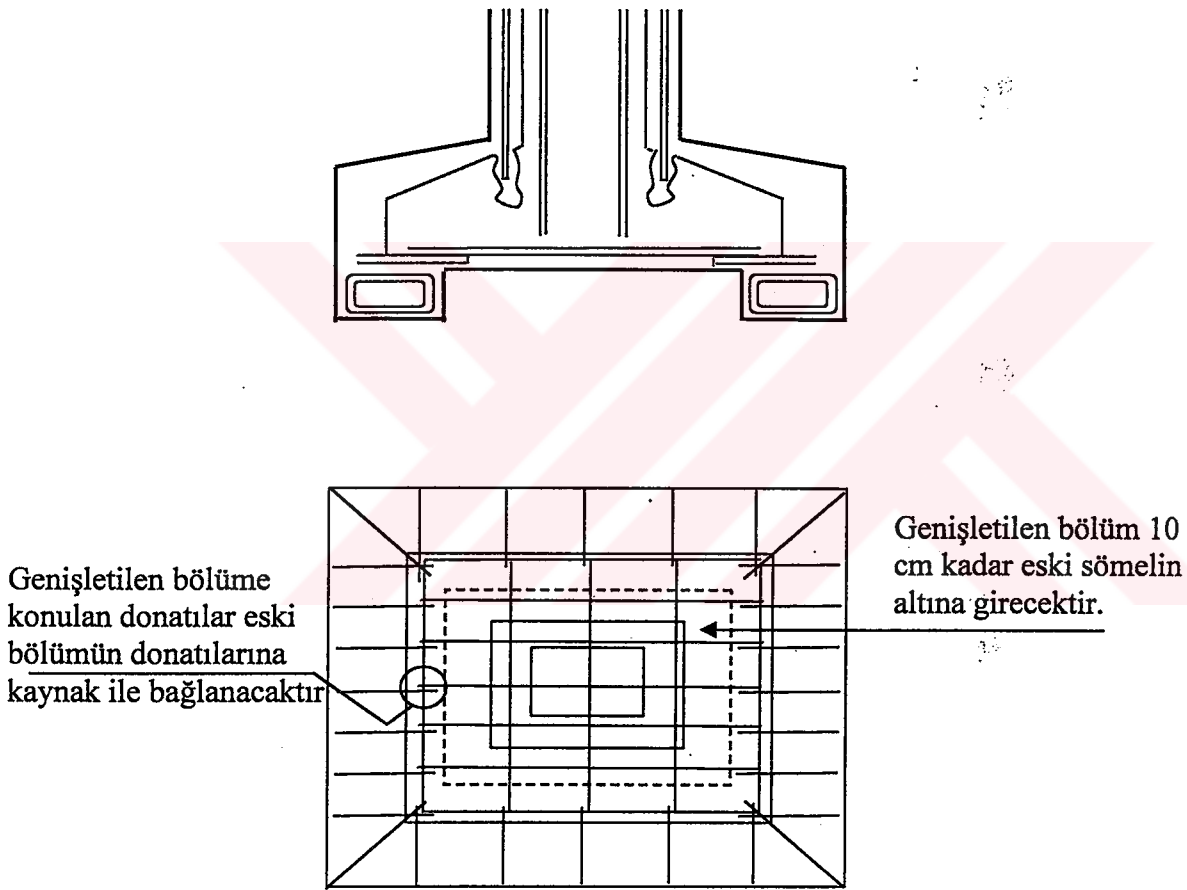
Şekil 7.2 Duvarların yükünün yeni takviye sömellere aktarılması

Şekil 7.3’de betonarme yapılarda çerçeveler arasına konulmuş ve kolonlarla bağlantısı olmayan bir perde duvarın temel ayrıntısı verilmektedir. Burada perdenin temeli mevcut kolonların temeli ile bağlantısız yapılmaktadır. Perde duvarın temelinin boyutları perdenin bir deprem sırasında taşıyabileceği en büyük eğilme momentini güvenle taşıyabilecek güçte seçilmelidir.



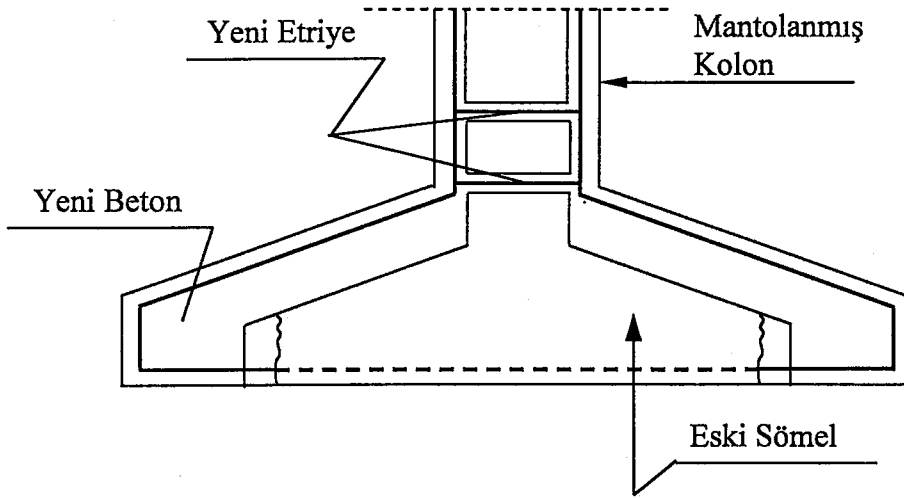
Şekil 7.3 Takviye perde duvar temel ayrıntıları

Şekil 7.4’de mantolanmış bir kolonun temel takviyesi görülmektedir. Mantolanarak enkesiti genişletilmiş bir kolonun temeli yeterli olabilir, diğer bir deyişle temel kolonun aksine projesine göre yapılmıştır. Bu durumda temeli büyötmeye gerek olmayabilir. Mantolanarak genişletilen kolonun yeni donatıları eski temelde ankrajlanabilir.yada sömel biraz genişletilerek yeni eklenen donatılar genişletilen bölgede ankrajlanabilir. Sömelin genişletilen bölümüne konulan donatılar eski bölümün donatılarına kaynakla bağlanmalıdır. Bu arada genişletilen bölümün Şekil 7.1’de gösterildiği gibi 10 cm kadar eski sömelin altına girmesi uygun olacaktır.



Şekil 7.4 Münferit kolon sömelin genişletilerek takviyesi

Şekil 7.5’ de mantolanarak enkesiti artırılmış kolonun temelinin güçlendirilmesi ayrıntıları verilmektedir. Burada genişletilen sömel tabanına konulan, kolonun uzatılmış boyuna donatıları mevcut sömelin kenarları kırılarak ortaya çıkarılmış donatılara kaynakla bağlanmalıdır.



Şekil 7.5 Sömel takviyesi

Şekil 7.6'da perde duvarlarla güçlendirilen bir yapıya eklenen temeller gösterilmektedir. Eklenen perdelere gelen depremde gelecek yatay kuvvetlerin temelde yapacağı dönme ve temele aktarılacak gerilmelerin, kolonlarda gelen düşey yüklerin karşı yöndeki baskı etkisi ile azalacağı sanılmaktadır. Kolonlarda gelen düşey yük momentin yaratacağı dönmeye karşı koyacaktır.

8. DEPREMDE HASAR GÖREN BETONARME BİNALARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRME ÇALIŞMASI

8.1 Zemin Çalışmaları

İncelenen bina ve bina gruplarının yer aldığı bölgelerde 7 adet zemin sondajı yapılmıştır. Alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları kullanılarak,

- Yer yer bolklı kum - çakıl
- Kumlu siltli kil/kumlu killi silt

birimlerinin zemin fiziği parametrelerine ve sınıf sembollerine ulaşılmıştır. Zemin raporu sonuçlarına bakılarak her bina bölgesi için tasarımda kullanılacak parametreler seçilmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda ,toplam tasmanlardan ,tasman farklarından ve zemin –temel ikilisinin ortak davranışından kaynaklanan herhangi bir hasara rastlanılmamıştır.

İmkan bulunan yerlerde binaların mevcut temelleri gözlenmiş, bu mevcut temellerde de herhangi bir deprem deformasyonuna ve hasarına rastlanılmamıştır. Bu nedenle mevcut temellerin güçlendirilmesine gerek görülmemiş, yapılacak düşey güçlendirme elemanları için gerekli temeller ile mevcut temellerin birlikte projelendirilmesi yeterli olmuştur.

8.2 Malzeme Tespit Çalışmaları

Onarım ve/veya güçlendirme yapılacak binalarda mevcut beton dayanımının tespiti ve donatı miktarları ile dayanımının belirlenmesi amacıyla binaların taşıyıcı sistem elemanlarında tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerle araştırmaları yapılmıştır.

Yapılardaki mevcut beton dayanımının belirlenmesi amacıyla her binadan 2 - 3 adet karot alınmıştır. Ayrıca her yapıda kapsamlı olarak beton test çekici okumaları ve ultrason ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra karot örnekleri üzerinde de tahribatsız ölçümler yapılarak okuma sonuçları karot deneyleri ile kalibre edilmiştir.

Karot deneylerinden projeli ve denetimli yapılarda beton dayanımının proje betonuna yakın dayanımda olduğu gözlenmiştir. Ancak 3 ve 4 katlı denetimsiz ve projesiz yapılarda beton dayanımları oldukça değişim göstermiştir.

Yapıların kolonlarındaki mevcut donatılar her binada rasgele seçilen bir veya iki hasarsız kolonun pas payları soyularak incelenmiştir. Buna ek olarak depremde hasar görmüş ve donatıları açığa çıkmış kolonlar üzerinde de donatı incelemesi yapılmıştır. Ayrıca bu kolonların her birisi için profometre ile donatı sayımı yapılmıştır. Donatı detaylarının yönetmeliklerin öngördüğü şekilde yapılıp yapılmadığı incelenmiştir. Özellikle donatı detay eksikliklerinin en belirgin olduğu noktalar, etriyelerin gerekli sarma bölgesi özelliğinde ve sıklığında yapılmaması özellikle kolon-kiriş bölgelerinde etriye sıklaştırması görülmemesi etriyelere kanca yapılmaması ve kolon donatılarının gerekli ankraj boyunu sağlamaması, genellikle kolon boyuna donatı çubuklarının kolon uç bölgesinde kanca yapılarak kolon içine kıvrılmasıdır. Bu tür donatı detay eksiklikleri yapıların Hasar görmesine de neden olmuşlardır.

Malzeme ile ilgili sonuçlar ve detaylı değerlendirmeler sonucunda Malzeme Raporu hazırlanmıştır.

8.3 Mimari Ve Statik Röleve Hazırlanması

Projesi mevcut olmayan veya eksik olan binalar ile projesi olan binaların yerinde yapılmış yapım sonrası durumlarını tespit etmek amacıyla her binada mimari ve statik röleve çalışmaları yapılmıştır.

Mimari ve statik röleveler binalarda yapılan hassas ölçümler sonucu hazırlanmıştır. Gerek hasar değerlendirme çalışmaları gerekse onarım ve güçlendirme projelerinin hazırlanmasında her kat için yapılan mimari ve statik röleveler esas alınmıştır.

8.4 Hasar Değerlendirme Yöntemi

Yapıların deprem hasarı ve hasar nedenleri üç aşamalı bir çalışma sonucunda belirlenir.

- Mevcut yapıların hasar rölevelerinin hazırlanması
- Hasarların “Hasar Tesbit Formu” ile ölçülmesi (Şekil 8.1)
- Hasar nedenlerinin üç boyutlu deprem analizi ile belirlenmesi

Binaların hasar durumları, her yapı için hazırlanmış olan statik rölelevelere belirli notasyon kullanılarak işlenir (Şekil 8.2). Hasar tesbitleri binaların her katı için ayrı ayrı yapılmıştır.

Binaların en çok hasarlı bir katında Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından verilen “Hasar Tesbit Formları” doldurularak binaların hasar puanları ve hasar dereceleri sayısal olarak tesbit edilmiştir.. Yüz tam puan üzerinden yapılan değerlendirmeye göre 0-10 puan Hasarsız, 11-20 puan Az Hasarlı, 21-50 puan Orta Hasarlı ve 51’den yüksek puan hasarlı durumu yansıtmaktadır.

İncelenen yapıların Yapı Hasar Durumu Ve Onarım Sonuç Listesi Çizelge 8.1’de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere binaların çoğunluğu orta hasarlı olarak tesbit edilmiştir.

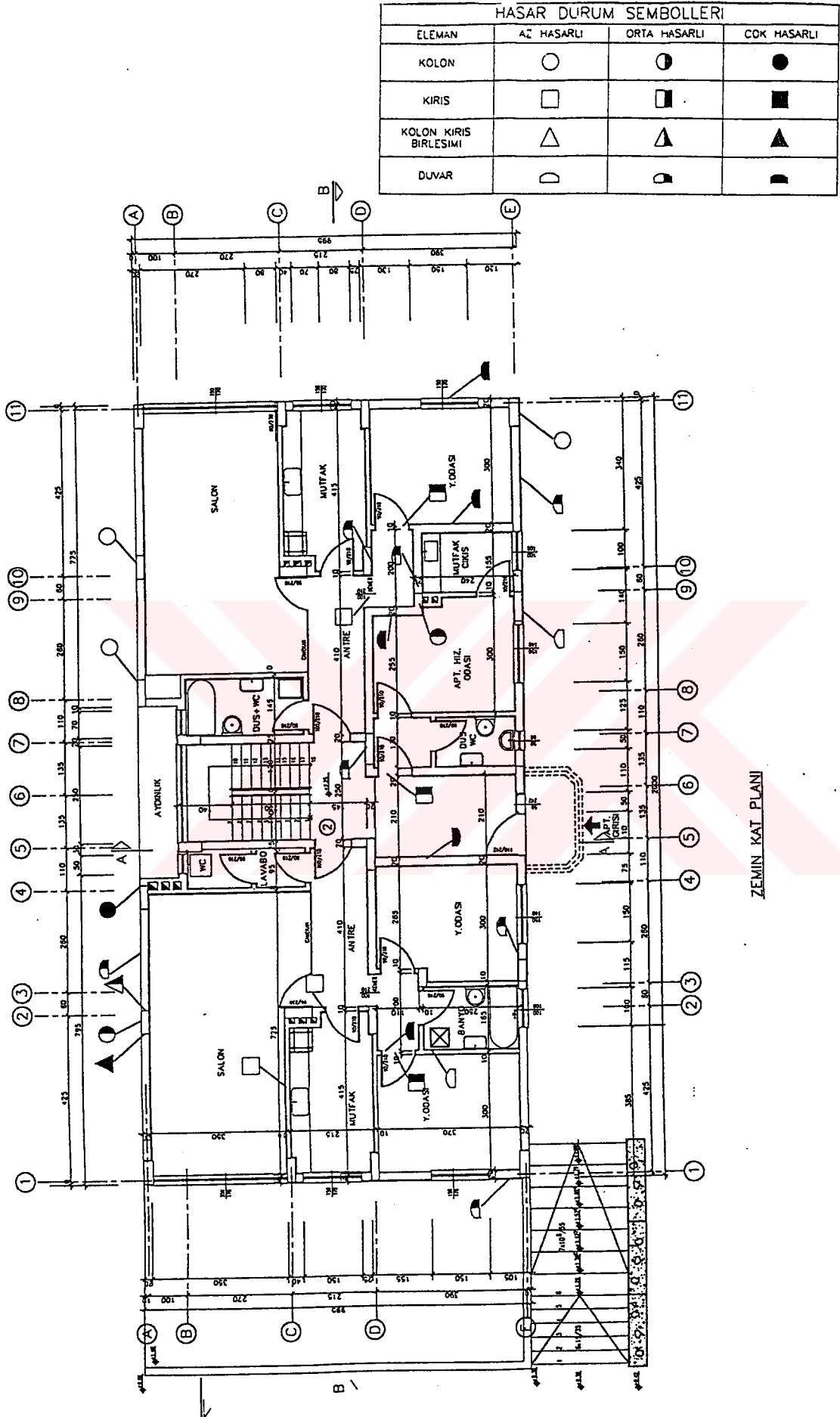


PROJE MÜŞAVİRİ PROTA- PROMER ORTAK GİRİŞİMİ

BİNA NO :00
HASAR TESBİT RAPORU

Adres: Yeşil evler Mah. 56. Sokak No:15- Adana				Bina no: 00		
Yapı Türü	Betonarme karkas +yığma karışık	Kat sayısı	Bodrum	Zemin	Normal	Toplam
				1	2	3
En Ağır Hasarlı Kat	Zemin kat	En Ağır Hasarlı Katın Plan Alanı (m ²)		75.00		
ELEMAN HASAR PUANI (EN AĞIR HASARLI KAT)						
Eleman Türü	Önem Katsayısı W ₁	Toplam Sayı N _i	Ağır Hasarlı A _i	Orta Hasarlı B _i	Hafif Hasarlı C _i	Eleman Türü Hasar Puanı P _i
Kolon	2	19		2	2	0.63
Perde	10	0				
Kiriş	1	18	1	1		0.33
Duvar	0.5	18		16	2	0.94
Eleman türü hasar puanı toplamı (HP)						23.06
EK HASAR PUANI						
Hasar/Kusur Türü	Değerlendirme					Ek hasar Puanı
Çatı hasarı	Yok					0
Merdiven Hasarı	Zemin katta var					2
İşçilik kalitesi	Kötü					4
Malzeme kalitesi	Kötü					4
Ek Hasar Puanı Toplamı (EP)						10
TOPLAM HASAR PUANI			YAPI HASAR DERECEŚİ			
33.06			ORTA			

Şekil 8.1 Örnek hasar tespit formu



Şekil 8.2 Hasar röleve notasyonu

8.5 Güçlendirme İlkeleri Ve Projeleri

8.5.1 Temel Güçlendirme İlkeleri

Yapılarda güçlendirme amaçlı yapılan çalışmalarda uyulan temel ilkeler:

- A1 burulma düzensizliğine bir ölçüye kadar müsadde edilebilir,
- Göreli kat ötelenmelerinin mutlaka şartname hükümleri doğrultusunda düzenlenmelidir,
- Düşey yük altında yeterli olmayan kolonların çok büyük bir sorun olmaması durumunda takviye edilmemesi gerekir,
- Eğilme altında yeterli olmayan kolon varsa mutlaka mantolanması gerekir,

Güçlendirme sisteminin esası, tüm bina yüksekliğince betonarme perde oluşturulmasından meydana gelmektedir. Şekil 8.3’de örnek bir takviye kalıp planı verilmiştir. Perdeler, açıklığı çevreleyen kiriş ve kolonlara epoksi ankrajlı filiz çubukları ekilerek çerçeve sistemine bağlanmıştır. Tipik bir perde detay çizimi Şekil 8.4 görülmektedir.

Perde ucunda kalan orta veya ağır hasarlı kolonlar ile ağır derecede hasarlı kolonlar mantolanacaktır. Mantolamada ana ilke kolonu düşey yükler altında güvenli hale getirmektir. Tipik bir betonarme manto detay çizimi Şekil 8.5 görülmektedir. Tipik bir perde altı temel güçlendirmesi detay çizimi Şekil 8.4 görülmektedir.

Betonarme perdelerin ve kolon mantolarının hesabında ve detaylandırılmasında göz önüne alınan ilkeler aşağıda sıralanmıştır.

8.5.1.1 Güçlendirme Perdeleri

Yapıların deprem yüklerinin hemen hemen tamamına yakını (yaklaşık %80-90) mevcut ve ilave edilen perdeler tarafından alınması ilke düzeyinde benimsenmiştir. Az hasarlı veya hasarsız kolonlara bağlanan perdelerin uç kısımlarında kolon mantolaması yapılmamış, ancak perde içlerindeki kolon dip bölgelerinde ilave bir sargı bölgesi oluşturulmuştur. Perde ucunda kolon yoksa ilave elemanlar oluşturulmuştur. Mevcutlar dahil kat başına yaklaşık her bir yönde en az % 0.2 oranında perde alanı uygulanmıştır.

İlave deprem perdelerinin oluşumunda Kiriş ve temel bloklarına ekilecek (Epoksi ile) düşey ankraj çubuklarının kesme dayanımı BÇ III çubukları için 1.5 ton/ cm² alınmıştır. Ankraj çubuklarının çapı en az 22 mm olarak planlanmıştır. Kolonlara ekilecek (Epoksi ile) yatay ankraj çubukları filizlerinin toplam çekme dayanımları kolon yüzünde sonlanan duvar yatay donatılarının toplam çekme dayanımından az olmayacaktır.

8.5.1.2 Kolonların Mantolaması

Betonarme kolonların güçlendirilmesinde temel ilke olarak hasarlı ve güçlendirilecek kolon etrafında ilave donatı içeren yeni bir beton katmanı oluşturulmuştur. Güçlendirilen kolonlarda mevcut kesit ile mantonun birlikte yük alması düşünülmüştür. Az ve orta hasarlı kolonlarda görülen çatlaklar tamir harcı ile doldurulmuştur.

Güçlendirilmiş sistemin düşey ve deprem yükü kombinasyonu altında ve 1997 Deprem Yönetmeliğine göre analizi; Yönetmeliğin vermiş olduğu sınır perde yüzdesi ve katlar arası yatay ötelenme sınır değerleri sağlanıncaya kadar perde konfigürasyonları kullanılarak tekrar edilmiş ve en uygun perde düzeni saptanmıştır. Proje kapsamında özellikle yüksek katlı ve bitişik nizamlı bazı yapılarda, alt katlarda çıkmalar ve işyeri üst katlar konut olması dolayısıyla perdelerin simetrik yerleştirilmesinde bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Smetrik perde düzeni sağlanamadığı için katlarda burulma etkisinin oluşmasına izin verilmiştir. Bu etkileri karşılamak için ise perde miktarları bazı binalarda güçlendirme ilkelerinde belirlenen minimum perde koşulunun üzerine çekilmiştir.

8.5.1.3 Temel Takviyesi

Yapının güçlendirilmesi amacıyla yapılan statik çözümlerde temel çalışmaları ayrı bir yer tutmuştur. Bu çalışmalara esas olarak tüm binalarda temel kontrol çukurları açılmış ve yapının temel sistemi ve ebatları hakkında fikir sahibi olunmuştur. Mevcut projesi bulunan binalarda ise temel projesinin uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilmiştir. Güçlendirme perdesinin altında sürekli veya radye temel varsa temel ilave edilmemiştir. Mevcut temel sistemi tekil temellerden oluşuyor ve yeni perdenin iki ucunda kolon varsa güçlendirme perdesinin altına yeni sürekli temel dizayn edilmiştir.

8.6 Metraj, Birim Fiyat Ve Keşifler

8.6.1 Metraj

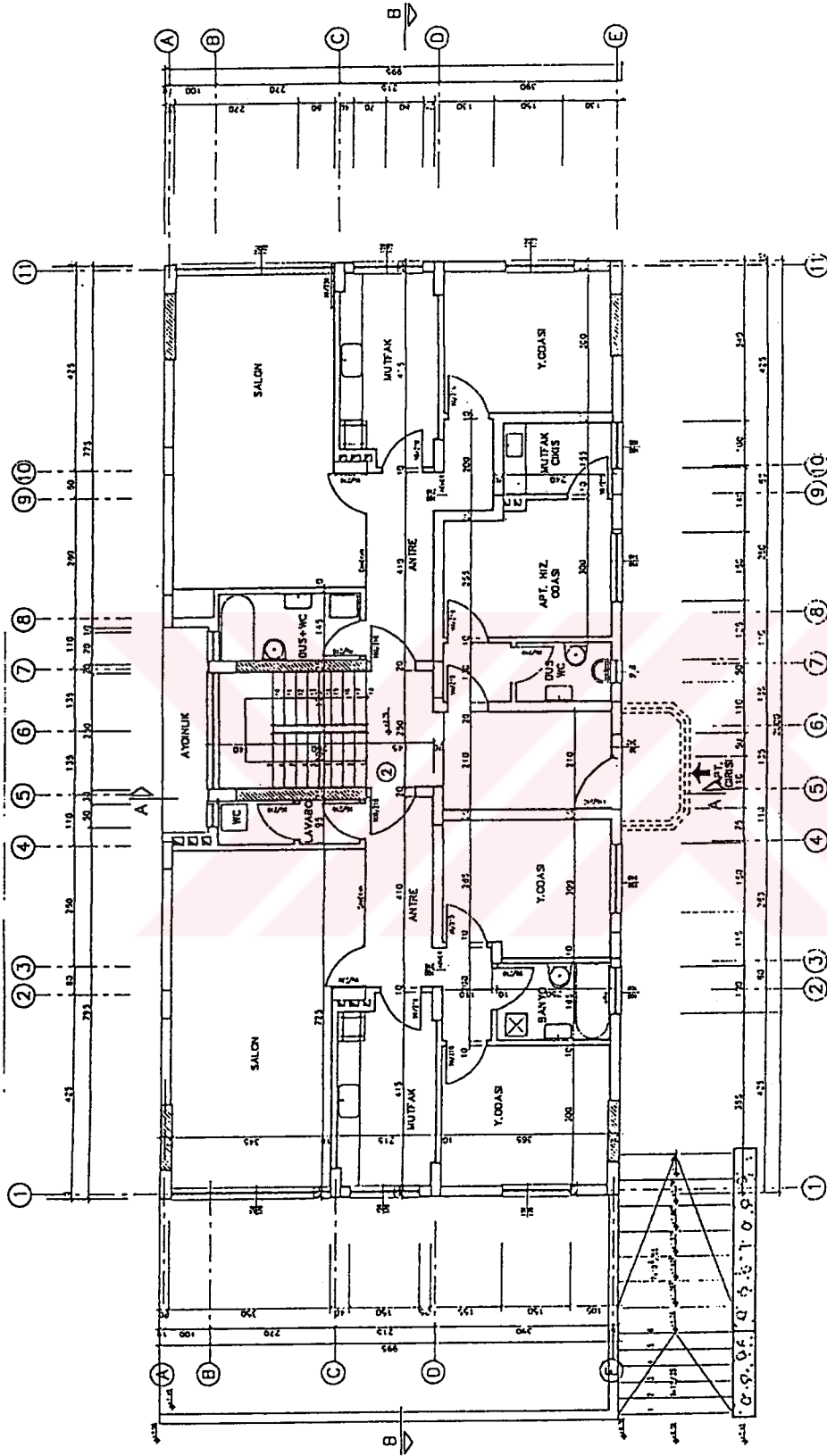
Her bina için yapılacak güçlendirme ile ilgili her türlü imalata esas metrajlar hesaplanmıştır..

8.6.2 Bina Keşifleri

Onarım ve güçlendirme maliyet bedeli çıkarılacak binaların keşif özetleri her poz kalemi için bir tablo halinde hazırlanmış, birim fiyatlar ile çarpılıp her binanın toplam onarım/güçlendirme keşfi elde edilmiştir.

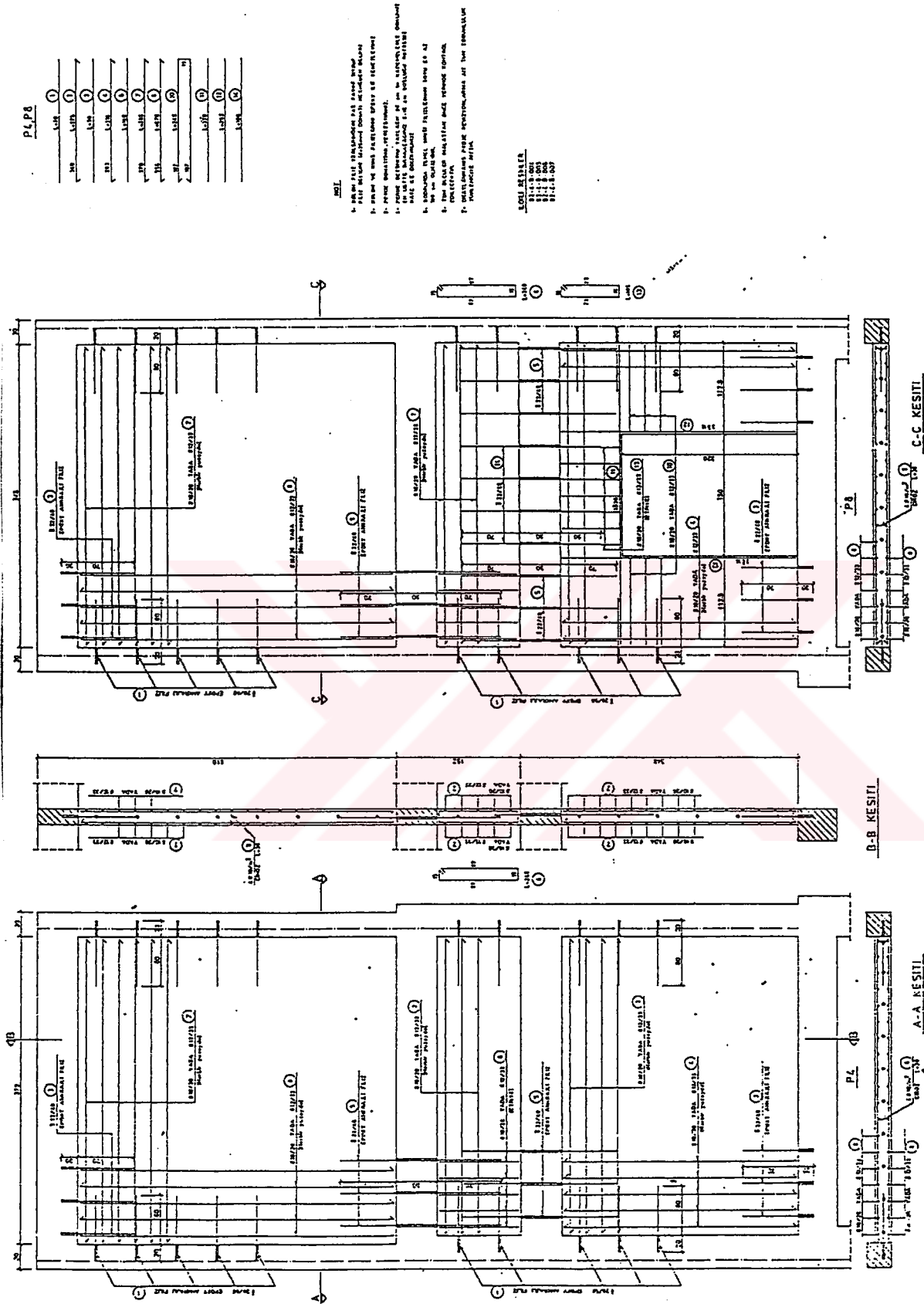
Binaların mevcut inşaat alanları ile ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yapı İşleri Birim Fiyatları göze alınarak yapının toplam maliyeti hesaplanmıştır.

Onarım/güçlendirme bedelinin binanın mevcut değerine oranı hesaplanmış ve bu orana göre yapının onarımının yapıp yapılmayacağına karar verilmiştir. Bu oran %40'ı geçtiği takdirde binanın onarım/güçlendirmesinin ekonomik olmayacağı ve yıkılıp yeniden yapılmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir. Çizelge 8.2 nin son kolonundada her bina ile ilgili önerilen karar ortaya çıkmaktadır. Ancak bu kararlar bir öneridir ve son karar Bakanlık tarafından verilmektedir.

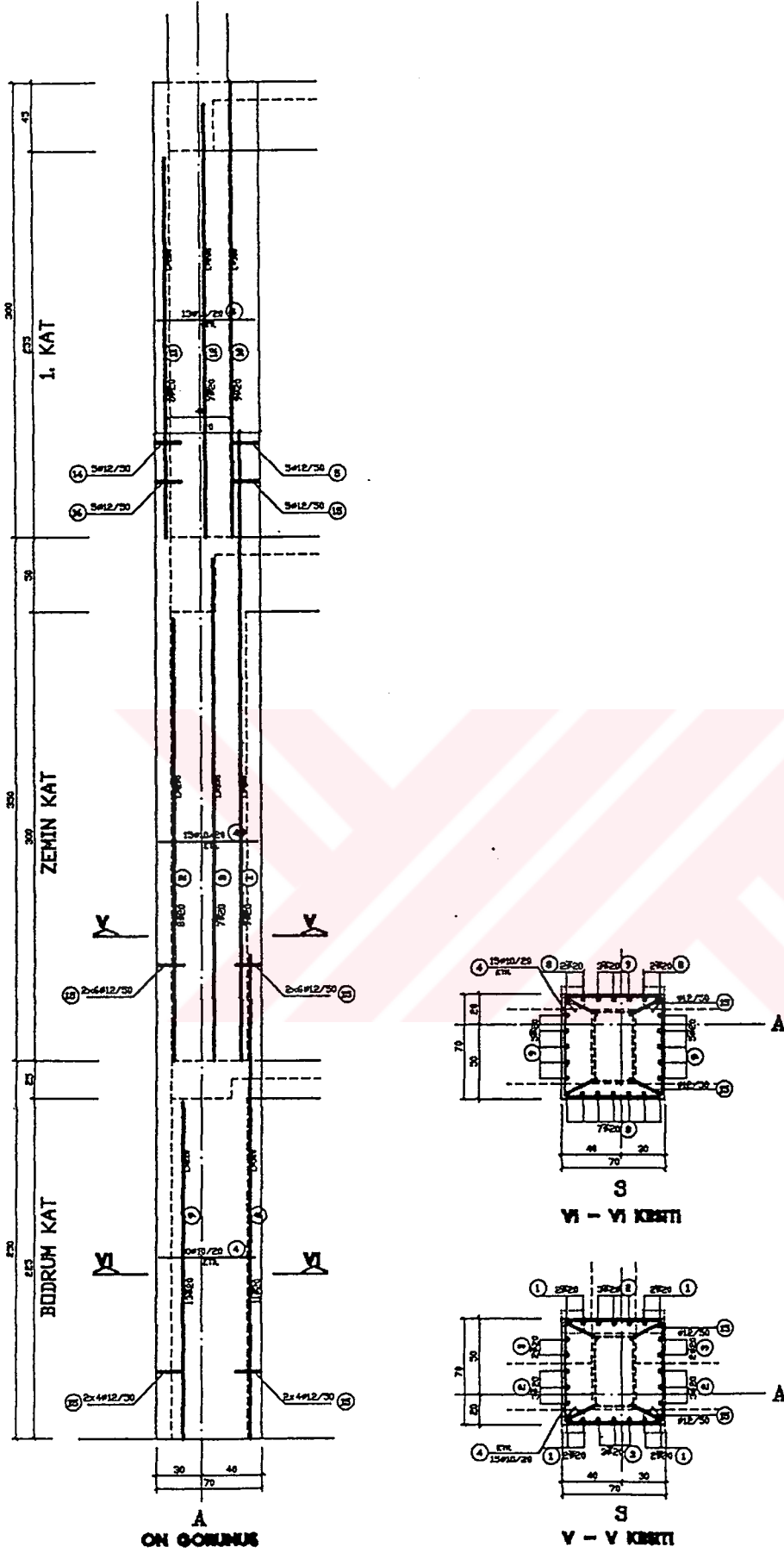


ZEMİN KAT PLANI

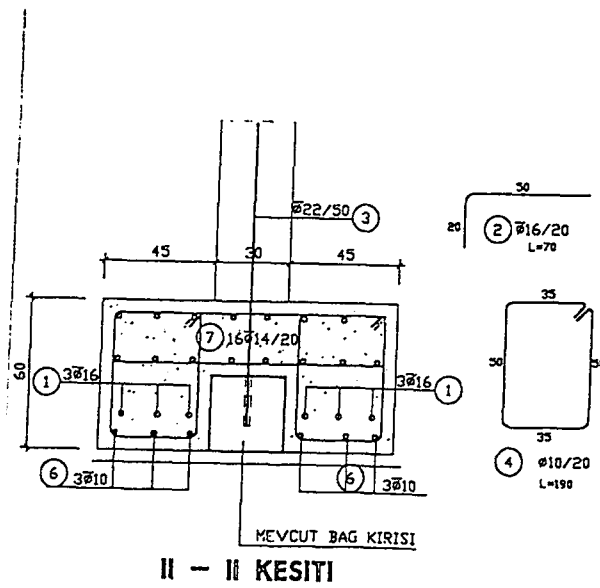
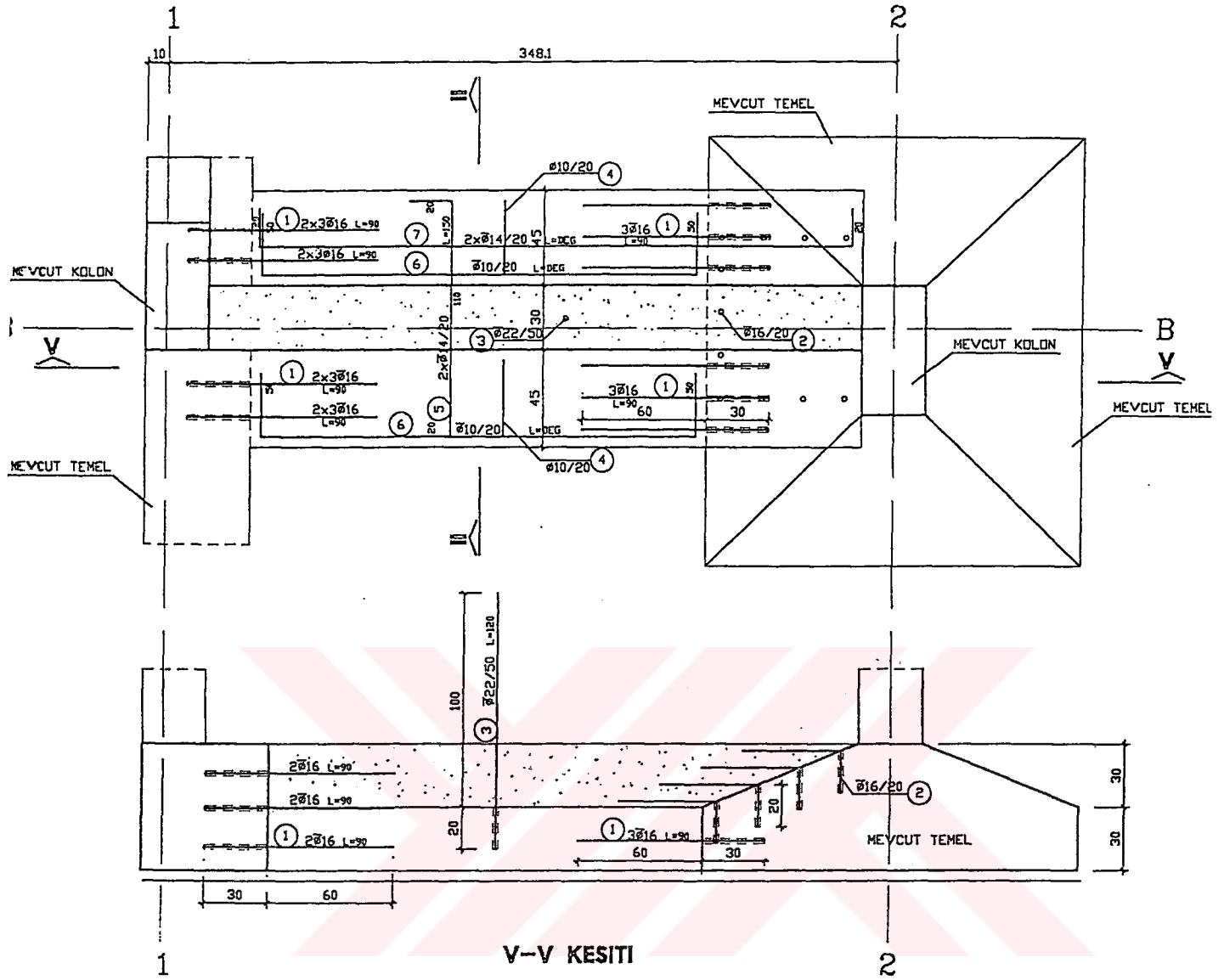
Şekil 8.3 Örnek takviye kalıp planı



Şekil 8.4 Örnek tipik betonarme perde detay çizimi



Şekil 8.5 Örnek tipik kolon mantolama detay çizimi



Şekil 8.6 Örnek tipik temel detay çizimi

Çizelge 8.1 Yapı hasar durumu ve onarım sonuç listesi

SIRA NO.	BİNA NO.	ALAN (m2)	HASAR DURUMU	HASAR PUANI	KARAR
1	1	4523	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
2	2	1015	AZ	11 - 20	Onarım + Güçlendirme
3	3	3263	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
4	5	2282	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
5	6	2064	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
6	7	3240	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
7	8	3700	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
8	9	2344	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
9	10	3200	AZ	11 - 20	Onarım + Güçlendirme
10	11	2428	AZ	11 - 20	Onarım + Güçlendirme
11	12	3530	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
12	13	1430	AZ	11 - 20	Onarım + Güçlendirme
13	14	159	AĞIR	51 -	Yıkım
14	15	310	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
15	16	221	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
16	17	828	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
17	18	816	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
18	19	411	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
19	20	283	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
20	21	742	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
21	22	320	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
22	24	650	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
23	25	339	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
24	26	310	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
25	27	397	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
26	28	346	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
27	29	657	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
28	30	381	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
29	31	385	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
30	32	412	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
31	33	554	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
32	34	526	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
33	35	395	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
34	36	330	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
35	37	297	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
36	38	911	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
37	40	274	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
38	41	346	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
39	43	275	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
40	44	287	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
41	45	343	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
42	46	816	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
43	47	548	AĞIR	51 -	Yıkım
44	49	491	AĞIR	51 -	Yıkım
45	50	218	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
46	51	477	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
47	53	358	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme
48	54	340	ORTA	21 -50	Onarım + Güçlendirme

Çizelge 8.2 Depremde Hasar Görmüş Yapıların Takviye ve Güçlendirme İşİ Maliyeti

PROJE MÜŞAVİRİ PROTA PROMER ORTAK GİRİŞİMİ

KAMU BİNALARI TAKVİYE VE GÜÇLENDİRME İŞİ BİRİM MAALİYETLERİ

BİNA CİNSİ	TOPLAM ALANI(m ²)	ONARIM MALİYETİ (TL)	ONARIM BİRİM MALİYETİ (TL/m ²)	YENİDEN YAPIM BİRİM MALİYETİ (TL / m ²)*	YIKIM BİRİM MALİYETİ (TL / m ²)**	TOPLAM YAPIM BİRİM MALİYETİ (TL/m ²)	GÜÇLENDİRME/YENİDEN YAPIM ORANI
1	4523	253.606.360.401	56.070.387				%25
2	1015	68.385.344.860	67.374.724				%30
3	3263	96.778.707.038	29.659.426				%13
5	2282	106.389.425.506	46.621.133				%21
6	2064	136.614.762.672	66.189.323				%30
7	3240	140.967.118.800	43.508.370				%20
8	3700	124.760.758.800	33.719.124				%15
9	2344	127.697.707.136	54.478.544				%25
10	3200	214.486.243.200	67.026.951				%30
11	2428	141.097.769.140	58.112.755				%26
12	3530	189.396.261.960	53.653.332				%24
13	1430	96.618.866.630	67.565.641				%31
15	310	20.720.832.140	66.841.394				%30
16	221	23.919.405.484	108.232.604				%49
17	828	33.697.004.220	40.696.865				%18
18	816	31.386.642.768	38.464.023				%17
19	411	32.348.159.835	78.705.985				%36
20	283	20.568.760.922	72.681.134				%33
				213.000.000	8.003.038	221.003.038	

22	320	28.766.391.040	89.894.972	213.000.000	8.003.038	221.003.038	%41
24	650	40.590.785.950	62.447.363				%28
27	397	21.145.142.231	53.262.323				%24
28	346	22.833.481.812	65.992.722				%30
29	657	52.482.042.351	79.881.343				%23
30	381	20.217.640.413	53.064.673				%24
31	385	19.447.954.680	50.514.168				%23
32	412	31.648.063.044	76.815.687				%35
34	526	41.405.187.762	78.717.087				%36
35	395	27.891.965.150	70.612.570				%32
36	330	26.827.316.670	81.294.899	213.000.000	8.003.038	221.003.038	%37
37	297	22.516.017.876	75.811.508				%34
40	274	29.806.687.768	108.783.532				%49
41	346	18.788.862.566	54.303.071				%25
45	343	25.866.619.555	75.412.885				%34
46	818	29.080.112.680	35.550.260				%16
47	548	38.878.930.244	70.946.953				%32
49	491	35.459.429.818	72.218.798				%33
50	218	21.685.780.208	99.476.056				%45
51	477	27.422.468.127	57.489.451				%26
54	340	19.188.570.140	56.436.971				%25

* Bayındırlık Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Yapı Yaklaşık Birim Maliyeti listesi 3. Sınıf B grubu yapı için verilen 2002 yılı yapı birim maliyetidir.

** 2002 yılı birim fiyatlarında 18.185 pozu fiyatı ve İnşaat Mühendisleri Odası yapı yaklaşık maliyeti hesabı tablosundan betonarme karkas yapı için betonarme beton miktarı kullanılarak hesaplanan yıkım maliyetidir.

8.7 Maliyet Analizlerinde İnce İşlerin Maliyete Etkisi

Depremde hasar görmüş veya görmemiş betonarme yapılar için yapılan onarım ve güçlendirme işleminin maliyeti ile onarım ve güçlendirme esnasında yapıya verilen hasarın düzeltilmesi (parke, fayans, boya vb. maliyetler) dahil toplam maliyetle yapının tekrar yapılması halindeki analizleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Bazı binaların mevcut taşıyıcı sistemleri, her ne kadar, kendi inşa edildiği zamanın şartlarına uygun ve betonları kaliteli olsa da, 1997 tarihli yeni deprem yönetmeliği açısından yetersiz kalmaktadır. Bahsedilen zaafları nedeniyle, olası bir deprem durumunda bu yapılar risklidir ve güçlendirilmeleri gereklidir. Bu duruma örnek olarak bir hastane binası incelediğimizde;

Bina, 4 normal, bir zemin, bir bodrum, bir de kısmi bodrum (2.bodrum kat), ayrıca, bir de, kısmi teras katı olmak üzere, toplam sekiz katlıdır. Binanın oturduğu alanda zemin 3. sınıf zemin sayılabilir. Ayrıca mevcut zeminin depremde sıvılaşma ihtimali olmadığıda gözlenmiştir. Binanın , 1967 tarihinde onaylanmış ve uygulanmış bulunan betonarme projelerinde, 1975 yönetmeliğindeki şartlara bile uyulmamış olduğu gözlenmiştir. Taşıyıcı sistem , d=37 cm asmolen tabliye ve düşey taşıyıcı olarak da kolonlardan meydana gelmekte olan sistemde herhangi bir perde elemanı bulunmamaktadır. Ayrıca tüm kolonlar y-y yönünde güçlü düzenlenmiş olup, x-x yönünde rijitlik zaafı vardır.

Binada hali hazırda çatlak, sehim ve oturma v.s gibi herhangi bir hasar, bozukluk gözlenmemiştir. Binanın mevcut taşıyıcı sistemi herne kadar kendi inşa edildiği zamanın şartlarına uygun ve betonları kalitelide olsa 1997 Deprem Yönetmeliği açısından yetersizdir ve olası şiddetli bir deprem durumunda risklidir ve güçlendirilmesi gerekmiştir.

Bu yapının onarım ve güçlendirme projesinde izlenen yöntem, mimari projenin ve hastane işletmesinin izin verdiği sınırlar dikkate alınarak, binaya temelden çatıya kadar betonarme perde eklenmesidir.Yeni düzenlenen perdelerin ve perde altı temellerinin kesit tahkik ve donatı hesapları yapılmıştır. Yapılan onarım ve güçlendirme işlemini maliyet açısından incelediğimizde ise:

1998 yılı Birim Fiyatlarına göre ince işler dahil çıkarılan keşif özeti sonucu yapının Güçlendirme/Yeniden Yapım Oranı %60 olmasına rağmen sadece onarım ve güçlendirme

maliyeti analiz edildiğinde bu oranın %10 a kadar düştüğü görülmüştür. Çizelge 8.3 de bu değerler verilmiştir.

Çizelge 8.3 SSK hastane binası güçlendirme/yeniden yapım oranı

Bina Adı		Toplam Alanı	Onarım Maliyeti (TL)	Onarım Birim Maliyeti (TL/m ²)	Yeniden Yapım Maliyeti	Yıkım Birim Maliyeti	Toplam Yapım Birim Maliyeti	Oran
SSK	*	21799	560.000.000.000	25.689.252	40.961.530	1.538.461	42.499.991	60%
	**	21799	60.000.000.000	2.752.420				10%

* 1998 yılı Birim Fiyatlarına göre ince işler dahil keşfi

** 1998 yılı Birim Fiyatlarına göre ince işler hariç keşfi

2) Depremde hasar görmeyen ancak zeminde farklı oturmalar nedeni ile yapıda önemli deformasyonlar görülen betonarme bir binayı incelediğimizde ise ;

Kullanılmakta olan yapı bodrum, zemin ve dört normal kat olmak üzere toplam altı kattan oluşmaktadır. Yapı lojman olarak kullanılmaktadır. Yapının bodrum, zemin ve normal kat yükseklikleri 3.05 m'dir. Yapının zemin sınıfının Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te tanımlanan Z3 sınıfı zemin özelliklerini taşıdığı söylemek mümkündür. Ancak yapıda kanalizasyon sızıntısından ve yer altı su seviyesinin yüksek olmasından dolayı gözle görülür bir oturma söz konusudur. Bu durum binanın zemin sınıfının çeşitlilik içinde olduğunun bir göstergesidir. Bu yüzden yapının mevcut ve takviyeli sistem statik çözümlerinde ABYYHY'de tanımlanan Z4 zemin sınıfı özelliklerinin kullanılması uygun görülmüştür.

Yapının taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveden oluşturulmuştur. Seçilen çerçeve sisteminin mimari projeye uyum sağlama içinde zorlandığı izlenimi vermektedir. Kurulan çerçevelerin süreksiz çerçeve olduğu, birbirine dik çok sayıdaki kirişin birbiri üzerine bindirildiği görülmüştür. Yapının hemen tüm kolonlarının yapı uzun yönünde büyük rijitlik verecek biçimde yerleştirilmiş olduğu yapı kısa doğrultusunda yapı yanal rijitliğinin zayıf kaldığı kolonların üst katlara doğru kesitlerinin küçüldüğü yapı yüksekliği boyunca rijitliğin değişim gösterdiği görülmektedir. Yatayda ve düşeyde düzensiz olan bu yapıda bodrum katı çevreleyen perdeler hariç betonarme perde bulunmamaktadır.

Yapılan incelemeler sonucunda ayrıca mevcut yapının 1997 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik hükümlerinde sağlamadığı görülmüştür. Yapılan incelemeler ışığında binanın onarım ve güçlendirme projesi hazırlanmıştır.

Yapının onarım ve güçlendirme projesinde izlenen yöntem tek tek eleman güçlendirilmesinden öte sistem iyileştirilmesi dayanım ve rijitliğinin artırılması yönündedir. Bu da mevcut çerçeve sistemlerin betonarme perdelerle rijitliklerinin artırılması ile sağlanmıştır. Bazı kolonların eksenel yük kapasitesini aştığı belirlenmiş bu kolonlarada çelik manto yapılarak kapasitelerinin artırılması sağlanmıştır.

Yapılan onarım ve güçlendirme işlemini maliyet açısından incelediğimizde ise:

2002 yılı Birim Fiyatlarına göre ince işler dahil çıkarılan keşif özeti sonucu yapının Güçlendirme/Yeniden Yapım Oranı %54 olmasına rağmen sadece onarım ve güçlendirme maliyeti analiz edildiğinde bu oranın %32 ye kadar düştüğü görülmüştür. Çizelge 8.4 de bu değerler verilmiştir

Çizelge 8.4 Güven Apt. güçlendirme/yeniden yapım oranı

Bina Adı		Toplam Alanı	Onarım Maliyeti (Tl)	Onarım Birim Maliyeti (Tl/m ²)	Yeniden Yapım Maliyeti	Yıkım Birim Maliyeti	Toplam Yapım Birim Maliyeti	Oran
Güven Apt	*	1115	131.950.000.000	118.362.038	213.000.000	8.003.038	221.003.038	%54
	**	1115	79.963.891.690	71.716.495				%32

* 2002 yılı Birim Fiyatlarına göre ince işler dahil keşifi

** 2002 yılı Birim Fiyatlarına ince işler hariç keşfi

3) 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri sonucunda hasar görmüş bir okul binasının onarım ve güçlendirme projesinde izlenen yol mevcut çerçeve sistemlerin betonarme perdelerle rijitliklerinin artırılması yönündedir. Yapılan onarım ve güçlendirme işlemini maliyet açısından incelediğimizde ise ince işlerin yapı maliyetine olan etkisini açık bir şekilde görmekteyiz.

Yapılan onarım ve güçlendirme işlemini maliyet açısından incelediğimizde ise:

2002 yılı Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyatları ile ince işler dahil çıkarılan keşif özeti sonucu yapının Güçlendirme/Yeniden Yapım Oranının %40 lık oranı aştığı dolayısı ile ekonomik

açından güçlendirilmesinin uygun olmayacağı görülmektedir. İnce işler hariç sadece onarım ve güçlendirme maliyeti analiz edildiğinde bu oranın %25 lerde kaldığı gözlenmektedir.

Çizelge 8.5 Okul güçlendirme/yeniden yapım oranı

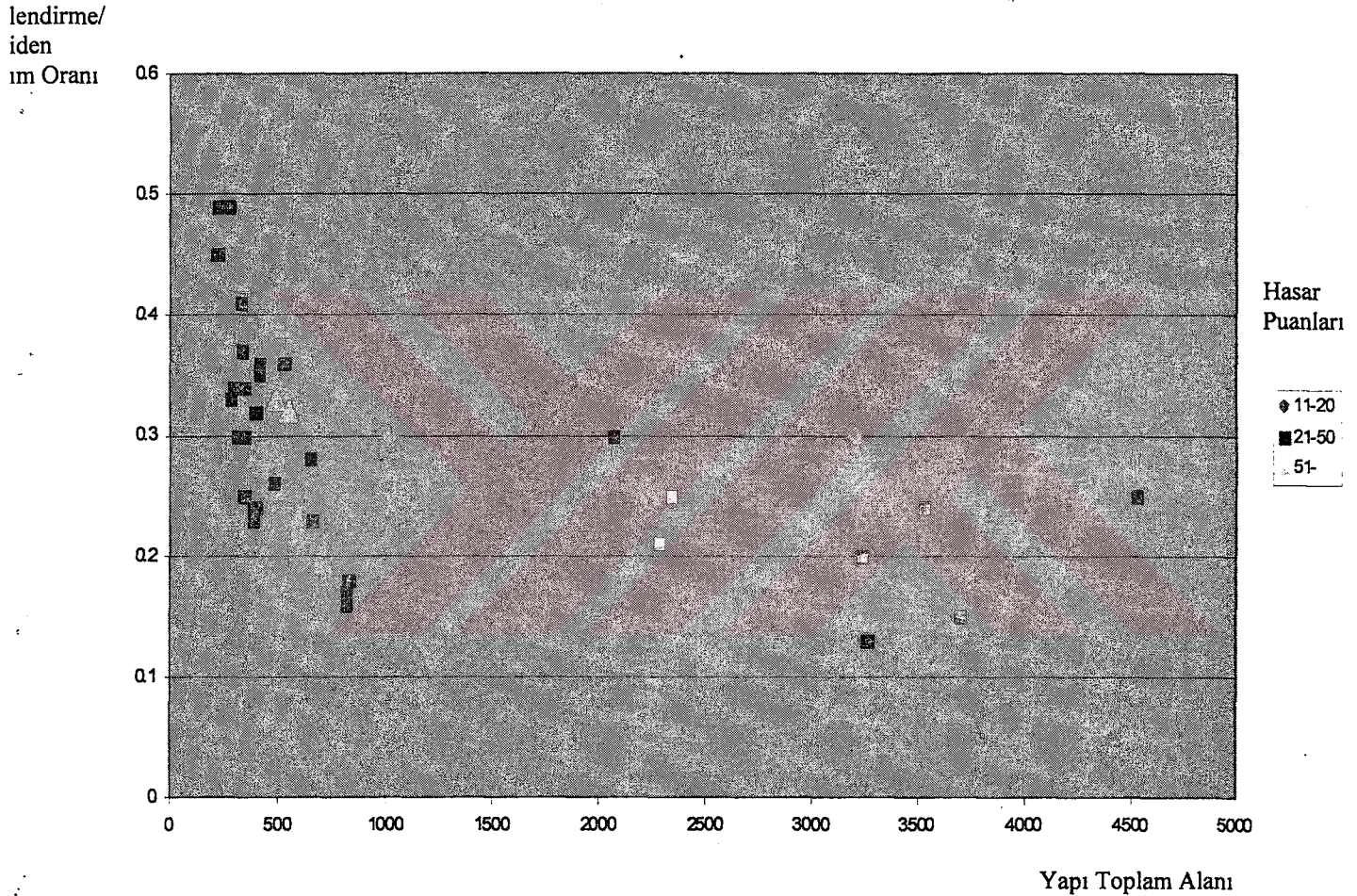
Bina Adı		Toplam Alanı	Onarım Maliyeti (Tl)	Onarım Birim Maliyeti (Tl/m2)	Yeniden Yapım Maliyeti	Yıkım Birim Maliyeti	Toplam Yapım Birim Maliyeti	Oran
Okul	*	3313,83	403,631,971,093	121.820.362	213.000.000	8.003.038	221.003.038	%55
	**	3313,83	144,572,731,545	54.209.335				%25

* 2002 yılı Birim Fiyatlarına göre ince işler dahil keşfi

** 2002 yılı Birim Fiyatlarına göre İnce işler hariç keşfi

8.8 Sonuçlar

- Çizelge 8.1’de depremde hasar görmüş 48 bina üzerinde yapılmış çalışmalar sonucunda yapı hasar ve onarım sonuç listesi çıkarılmıştır. Bunların sonucunda 48 binadan 3 adetinin yıkılması, 45 adetinin ise takviye yapılmasına karar verilmiştir.
- Yapıların Yapı Toplam Alanı - Hasar Puanı – Güçlendirme/ Yeniden Yapım Oranı arasındaki ilişki incelenmiş ve aşağıdaki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 8.9 Yapı Alanı – Güçlendirme/Yeniden Yapım Oranı

- Grafikte de görüldüğü üzere 4 bina % 40’lık oranı geçmiştir. Bu binaların onarım/güçlendirilmesi ekonomik açıdan doğru olmayacağı için yıkılıp yeniden yapılması daha uygundur.
- Aynı alana sahip ve aynı hasar puanına sahip yapılar ele alındığında ise;

- I. Aynı alana sahip yapılarda hasar puanı yüksek olan yapının güçlendirme/yeniden yapım oranı
- II. Aynı hasar puanına sahip yapılarda ise küçük alana sahip olan yapının güçlendirme/yeniden yapım oranı daha yüksek çıkmaktadır. Çizelge 8.6

Çizelge 8.6 Yapı Alanı –Hasar Puanı – Güç./Yeniden Yapım Oranı Karşılaştırması

Yapı Alanı	Hasar Puanı	Güçlendirme/Yeniden Yapım Oranı
272,62	38	%40,10
272,62	11	%21,73
426,62	13	%22,41
540,03	13	%18,45
600	9,3	%25,28
759,12	9,3	%22,20

- %40'lık oran içinde ince işler hariç sadece yapının onarım ve güçlendirme maliyetleri söz konusudur. Ancak ince işlerin yapı maliyetine olan etkisi ele alındığında (Bölüm 8.7) bu maliyet 2 katına çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

Bayülge N., "Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi" İMO İzmir Şubesi

Celep Z., Kumbasar N., "Deprem Mühendisliği Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Beta Dağıtım İstanbul 2000

II. Ulusal Deprem Konferansı

IV. Ulusal Deprem Konferansı

Taşdemir M.Ali, Özkul M.Hulusi "Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Malzemeleri"

CEB, Durable Concrete Structures, Thomas Telford, London 1992, 112p

Bache, H.H "Densified Cement Ultra Fine Particle Based Materials"Report 40 Aalborg Portland, Denmark, 35p

Richard, P And Cheyrezy, M "Composition of Reactive Powder Concrete" Cement And Concrete Research Vol.25, No.7, 1995, pp 1501 –1511

Karihaloo, B.L., Fracture Mechanics and Structural Concrete Longman Group Ltd Essex, England, 1995

Birchall. J.D., Howard A.J and Kendall, K., "Flexural Strength And Porosity Of Cements", Nature, Vol 289, 1981 Pp 388 –390

Alexander, M.G., "From Nanometres To Gigapascals Cementing Future", A University of Cape Town Publication, Inaugural Lecture, March 17 1993.23

Betterman, L.R., Oyang. C and Shah, S.P., "Fiber-Matrix Interaction in Microfiber Reinforced Mortar" Advanced Cement Based Materials, Vol 2, pp 53-61

Walraven, J., "Evolution of Concrete" Structural Concrete, Journal of Fib, Vol P1 No.1 March 1999. pp 3-11

Bonneau, O., Lachemi, M., Dallaire, E., Dugat, J., and Aitcin P-C "Mechanical Properties and Durability of Two Industrial Reactive Powder Concretes", ACI Materials Journal, Vol 94, No 4 July-August 1997, pp 286-290

Dugat j roux, n., and bernier, g "mechanical properties of reactive powder concretes" materials and structures", vol 29 may 1996, pp 233-240

Feylessoufi, a villiears, f., michot, l.j., de donato, p., cases j.m., and richard, p., "water environment and nonostructural network in a reactive powder concrete", cement and concrete composites, vol 21, 199, pp 1-9.

Richard, p and cheyrezy, m.h., "reactive powder concretes with high ductility and 200-800 Mpa compressive strength" bouygues, internal repot, 1994.15p

Fritz, C., Tensile Testing of SIFCON, (unpublished work)

9. Skarendahl, A., and Peterson, O (eds) Self-Compacting Concrete, State Of-The Art Report of RILEM TC 174-SCC, RILEM publications, cachan cedex, report 23 200. 154p

10. Karihaloo, B.L., "Retrofitting Damaged Rcbеams With High Performance Fiber-Reinforced Concrete" Proceedings Concrete Communications Conference, British Cement Association, April 2000, Pp 153-164.

11. Alaei, F.J., Benson, S.D.P., and Karihaloo, B.L "High- Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites for Retrofitting", Proceedings 3rd int Conference on Technology Convergence in Composites Application, Sydney February 2001 pp 110

12. Shannag, M.J Barakat, S., and Jaber, F., "Structural Repair Of Shear-Deficient Reinforced Concrete Beams Using Sifcon" Magazine Of Concrete Resear December, 2001, Vol 53 No 6 Pp 391-403 Özkul, M.H ve Çolka , A. "Depremden Hasar Gören Yapıların Onarımında Polimer Kullanımı", 2. Ulusal Deprem Müh. Konferansı, 1993.101-108.

13. Chandra, S and Ohama, Y Polymers in Concrete, Crs perss, 1994

14. Özkul, M.H "Effect Of Aggregate On The Properties Of Epoxy Concrete", Int Congress On Polymers In Concrete (Icpic), Proceedings, oestende, 1995. 19193-198

15. Özkul, M H Mutlu , M ve Sağlam A.R "Beton Ankrajları "Sika Bülteni, 2001/4.3-13

16. Karbhari, V.M and Sieble, F., "Fiber Reinforced Composites- Advanced Materials For The Renewal Of Civil Infrastructure", Applied Composite Materials, v.7, 2000, 95-124.

17. Özkul, M.H And Yıldırım, H "Strengthening Of Steel Reinforced Concrete Beams With Carbon Fiber Reinforced Plastics", 2 nd Japan -Turkey Workshop on Eartquake Engineering, Istanbul, 1998, 551-557.

18. Arduni, M and Nanni, A. "Parametric Study of Beams with Externallay Bonded FRP Reinforcement". ACI structural j. V. No 5, 1997.493-501.

19. Hoolaway, L.C and Leeming, M,B Strengt ehening of Reinforced Concrete Structures, Woodhead Publishing Limited, 2000

20. Sharif, a al-Sulaimani, G j., Basunbul, I.A., Baluch, M.H and Ghaleb, B.N., "Strengthening Of Initially Loaded Reinforced Beams Using FRP Plates, aci structural j.v.91, no.2 1994, 160-168.

21. Triantafillou, T.C., "Shear Strengthening Of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded Frp Composites", aci structural j. V 95, no.2 1998, 107-115.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 10.07.1977

Doğum yeri Kayseri

Lise 1991-1995 N.M.K Anadolu Lisesi

Lisans 1995-1999 Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2000-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurumlar

1999-2000 Birlik İnşaat

2000-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi

