

**T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI
MİMARLIK PROGRAMI**

**DEPREMDE HASAR GÖREN BETONARME YAPILARIN
GÜÇLENDİRİLMESİ VE MİMARİYE OLAN ETKİSİ**

**Hazırlayan
MİMAR ÖZLEM GÜLMEZ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. ONUR ALTAN**

İSTANBUL-OCAK 2010

T.C.

**HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI
MİMARLIK PROGRAMI**

**DEPREMDE HASAR GÖREN BETONARME YAPILARIN
GÜÇLENDİRİLMESİ VE MİMARİYE OLAN ETKİSİ**

**Hazırlayan
MİMAR ÖZLEM GÜLMEZ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. ONUR ALTAN**

İSTANBUL-OCAK 2010

T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mimarlık Anabilim Dalı Mimarlık Programı Yüksek Lisans öğrencisi **Özlem GÜLMEZ** tarafından hazırlanan “**Betonarme Yapılarda Güçlendirme Teknikleri ve Mimariye Olan Etkisi**” adlı bu çalışma jürimizce Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Tarihi : 01.02.2010

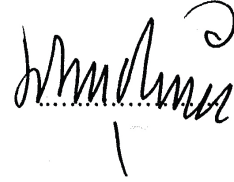
(Jüri Üyesinin Ünvanı , Adı , Soyadı ve Kurumu) :

İmzası :

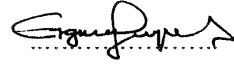
Jüri Üyesi: Prof.Dr.Onur ALTAN
Danışman-MSGÜ ABD Öğr.Üyesi



Jüri Üyesi : Prof.Dr.Vefa ÇETİN
HAL.Üniv.Mimarlık ABD Öğr.Üyesi



Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Ergün GÜRPINAR
HAL.Üniv.Mimarlık ABD



ÖNSÖZ

Türkiye aktif deprem kuşaklarının üzerinde bulunan bir ülkedir. Geçmişteki şiddetli depremler, ülkemize ekonomik kayıplar ve ölümler getirmiştir. Büyük kayıpların en büyük sebebi, binaların deprem şartnamelerine uyulmadan yapılması ve denetim eksiklikleri sebebi ile oluşan işçilik hatalarıdır. Beklenen şiddetli depremlere karşı acil önlemler alınması gerekmektedir. Bu önlemler, hali hazırdaki binaların güçlendirilmesi-yeniden inşası, yeni yapılacak binaların sıkı denetimi ve yerleşim planlarının oluşturulmasıdır.

Günümüzün en büyük kent sorunlarından biri de birçok yapının şiddetli depremlere karşı yeterince dayanıklı olmamasıdır. Deprem güçlendirmelerinin ülkeye ekonomik bir yük getireceği bilinmektedir. Ülke çapındaki güçlendirme faaliyetlerine girilmeden önce bu işlemlerin maliyetleri hesaplanıp planlamasının yapılması gerekmektedir.

Çalışmamın her aşamasında benden yardımını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Onur Altan 'a, maddi ve manevi desteklerini daima hissettiğim hocalarıma sevgi ve saygılarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLolar LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
ÇİZELGELER LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM DEPREM YAPI ETKİLEŞİMİ

1.1. Deprem Nedir	3
1.1.1. Fay Nedir, Oluşumu Ve Türleri Nelerdir	5
1.2. Deprem Sırasında Yapı Davranışı	6
1.3. Yapı Hasarlarının Nedenleri	11
1.3.1. Dolgu Duvarsız Giriş Katı	11
1.3.2. Zemin Sıvılaşması	12
1.3.3. Donatı Yerleştirme Hataları	13
1.3.4. Konsol Sorunları	18
1.3.5. Yapının Yatay veya Düşey Düzlemde Düzensiz Olma Durumu ...	20
1.4. Yapı Hasar Sınıfının Belirlenmesi	22
1.4.1. Güçlendirme Çalışmaları	23
1.5. Yapı Hasar Sınıfının Belirlenmesi	24
1.5.1. Onarım ve Güçlendirme	24
1.6. Güçlendirme İşlemlerindeki Hatalar	29
1.7. Yapılarda Deprem Sonrası Hasar Belirlenmesi Onarım Ve Güçlendirme Yöntemleri	31
1.7.1. Hasar Belirlenmesi Ve Değerlendirilmesi	32
1.8. Deprem Hasarlarının Türleri	33
1.8.1. Hasar İle İlgili Bilgi Toplama	34
1.8.2. Toplanan Bilgilerin Değerlendirilmesi	35
1.9. Hasar Belirleme Raporu	35

İKİNCİ BÖLÜM GÜÇLENDİRME SAFHALARI

2.1. İnceleme Safhası	39
2.1.1. Geoteknik Etüt Yapılması	39
2.1.2. Röleve Çıkarılması	39
2.1.3. Malzeme Kalitesinin Tanımlanması	39
2.2. Projelendirme Safhası	40
2.2.1. Mevcut Yapının Analizi	40
2.2.2. Takviyeli Durum Hesapları	40
2.3. Güçlendirme Sınıflandırılması	42
2.4. Kolonların Güçlendirilmesi	50
2.4.1. Kirişlerin Güçlendirilmesi	53
2.4.2. Kiriş-Kolon Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi	54
2.4.4. Perdelerle Güçlendirme	56
2.4.3. Çelik Elemanlarla Güçlendirme	59
2.4.4. Lif Takviyeli Kompozitlerle Güçlendirme	60
2.4.5. Sismik İzolasyon	61

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM ONARIM YÖNTEMLERİ

3.1. Çatlakların Onarımı.....	63
3.1.1. Epoksi Reçineleri	64
3.1.1.1. Epoksi İle Onarım Yöntemleri	65
3.1.1.1.1. Epoksi ile Onarımda Taşma Gücü Artışı	66
3.1.1.1.2. Çimento Şerbeti.....	66
3.1.1.1.3. Çimento Enjeksiyonu	67
3.1.1.1.4. Mekanik Bağlayıcılar	68
3.2. Eski Ve Yeni Betonun Kaynaştırma Yöntemleri	68
3.2.1. Basınç Kuvvetlerinin Aktarımı	69
3.2.2. Kesme Kuvvetleri Etkisi Altında Kaynaşma	69
3.2.3. Kama Donatısı ile Kaynaştırma	71
3.2.4. Epoksi Reçineleri İle Kaynaştırma.....	71
3.3. Betonarme Kolonlarda Güçlendirme Yöntemleri Güçlendirme Yöntemleri	71
3.3.1. Mantolama.....	72
3.3.2. Eski ve Yeni Betonun Kaynaştırma	73
3.3.3. Kolonun Güçlendirilmesi (Mantolama)	73
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	
BETONARME YAPI ELEMANLARINDA KULLANILAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	
4.1. Hasarlı Kirişlerin Onarımı.....	77
4.2. Kirişe Alt Tarafından U Şeklinde Etriye ve 2φ12 Donatı İlave Edilerek Yapılan Betonarme Onarım.....	79
4.3. Hasarlı Kolonların Onarımı.....	80
4.3.1. Hasarlı Kolonların Betonarme Mantolama Yöntemi İle Onarımı..	80
4.4. Güçlendirme Tekniklerinin Ekonomik Açısından Karşılaştırılması	84
4.4.1. Karbon Fiber Donatılı Polimer (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP).....	85
4.4.2. Kolon Giydirmesi.....	85
4.5. İnceleyeceğim Proje Aşamasındaki Teknik.....	86
4.5.1. Dıştan Giydirmeli Perde Duvar.....	86
SONUÇ	88
KAYNAKÇA	89
ÖZGEÇMİŞ	91
ŞEKİL KAYNAKÇASI.....	93

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Güçlendirme Sınıfları	42
Tablo 2.2. Güçlendirme Yöntemleri	47
Tablo 2.3. LTK Malzeme özellikleri.....	60
Tablo 3.1. Epoksi Ve Harcının Mekanik Özellikleri	64
Tablo 3.2. Adhezyon Ve Sürtünmeye Etkiyen Faktörler	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. a)Doğrultu atımlı fay b)Eğim atımlı ters fay c)Eğim atımlı normal atımlı fay d)Verev atımlı fay	5
Şekil 1.2. Farklı zeminde yayılan gerilme dalgalarının yüzeye farklı çıkışı.....	6
Şekil 1.3. Yatay hareket eden zemin üzerindeki kütle hareketi.	6
Şekil 1.4. İki katlı kompozit bir yapı.....	7
Şekil 1.5. Yapının deprem sırasındaki davranışı.....	7
Şekil 1.6. Betonun yük-deformasyon eğrisi.	8
Şekil 1.7. P dalgasının yapı üzerindeki etkisi.	9
Şekil 1.8. S dalgasının yapı üzerindeki etkisi.	10
Şekil 1.9. Kayma dalgasının yapı üzerindeki etkisi.	10
Şekil 1.10. Yapıda burulma hareketi.....	11
Şekil 1.11. Dolgu duvar davranışı.....	11
Şekil 1.12.Giriş katı dolgu duvarsız bir yapı.....	12
Şekil 1.13. Zemin sıvılaşması.	13
Şekil 1.14. a) Deprem açısından uygun donatı bindirme şekli (donatı momentin sıfır olduğu yerde ekleniyor). b) Deprem açısından uygun olmayan donatı bindirme şekli (donatı o tinen büyük olduğu yerde ekleniyor)	14
Şekil 1.15. Çekme kuvveti altında betona aktarılan kuvvetler.....	15
Şekil 1.16. Kolon donatılarının ucunda kanca yapılması sonucu betonun patlamasına yol açar.	15
Şekil 1.17. Kiriş donatı düzeni.....	16
Şekil 1.18. Kalın kolon ince kiriş birleşimi donatı düzeni.	17
Şekil 1.19. Köşe, kenar ve iç, kolon-kiriş birleşim bölgesi için ideal çözüm örnekleri.	18
Şekil 1.20. Konsola etki eden kuvvetler.....	19
Şekil 1.21. :a) Kesitte kısa konsol ve iç kiriş birleşimi, b) Kısa konsol ve iç kirişinin birleştiği düğüm noktasında iç kuvvetler (C; basınç ve Z; çekme), c) Düğüm noktasında dengenin sağlanması için guse yapılması.	19
Şekil 1.22. Konsolda donatı yerleştirme hataları (a.b.c) ve doğru yerleşim (d).	20
Şekil 1.20. Konsola etki eden kuvvetler.....	19
Şekil 1.21. :a) Kesitte kısa konsol ve iç kiriş birleşimi, b) Kısa konsol ve iç kirişinin birleştiği düğüm noktasında iç kuvvetler (C; basınç ve Z; çekme), c) Düğüm noktasında dengenin sağlanması için guse yapılması.	19
Şekil 1.22. Konsolda donatı yerleştirme hataları (a.b.c) ve doğru yerleşim (d).	20
Şekil 1.23. Çeşitli süreksiz yapı kesitleri.	20
Şekil 1.25. Onarım ve Güçlendirme İşlemi Sırası	22
Şekil 1.26. Kolonlarda meydana gelebilecek hasar çeşitleri.....	26
Şekil 1.27. Güçlendirilmiş kolon enkesiti ve uygulamadaki görünüşü.....	26
Şekil 1.28. Kolonların çelik mantolama ile güçlendirilmesi.....	27
Şekil 1.29. Güçlendirilmiş kiriş enkesiti	28
Şekil 1.30. Çelik çaprazlarla güçlendirme detayı.....	28
Şekil 1.31. Ağır hasarı gözle tespit edilen bina.....	29
Şekil 1.32. Ağır hasarı gözle tespit edilemeyen bina.....	29
Şekil 1.33. Yanlış güçlendirme yapılan kolonlar ve binanın genel görünüşü.....	31
Şekil 2.1. Basitleştirilmiş güçlendirme(a) ve kapsamlı güçlendirme(b) karşılaştırılması.	43
Şekil 2.2. Kolonlarda meydana gelen hasarlar.....	50
Şekil 2.3. Kolon mantolaması.	52

Şekil 2.4. Bazı mantolama örnekleri.....	51
Şekil 2.5. Kolonun perde içinde kalması.	52
Şekil 2.6. Çelik takviyeli mantolama	52
Şekil 2.7. Güçlendirmenin kolon üzerindeki etkileri.	53
Şekil 2.8. Kiriş mantolaması	54
Şekil 2.9. Birleşim bölgesi çatlakları.	55
Şekil 2.10. Çelik lamalarla güçlendirilmiş bir birleşim bölgesi.....	56
Şekil 2.11. Dış perdenin mevcut kirişlere bağlanması.....	59
Şekil 2.12. Çıkmalı bir yapıda dış perde.	59
Şekil 2.13. Çeşitli çelik çapraz kullanım şekilleri.....	59
Şekil 2.13. Çelik çaprazlarla güçlendirilmiş bir bina.....	60
Şekil 2.14. Liflerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	61
Şekil 2.14. Liflerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	61
Şekil 2.15. Sismik izolasyonlu ve izolasyonsuz yapılar arasındaki salınım farkı.....	62
Şekil 2.16. Kauçuk izolatör detayı.	62
Şekil 4.1. Deney numunesi detayı.....	78
Şekil 4.2. Alttan U şeklinde etriye ve 2φ12 donatı ilave edilerek mantolanmış kirişlerin yük – yer değiştirme eğrileri.....	80
Şekil 4.3. RKMk1, RKMk2, RKMk3 (100*160) rijitlik –yer değiştirme eğrileri.....	81
RKM (16*26) REFERANS KİRİŞ SERİSİ.....	81
Şekil 4.4. Betonarme kolon numuneleri.....	81
Şekil 4.5. Bir, iki, üç ve dört yüzden Onarılmış kolon numuneleri	82
Şekil 4.6. Çelik profillerle güçlendirilmiş/onarılmış kolonlar	83
Şekil 4.7. Çelik profillerle güçlendirilmiş/onarılmış kolonların yük-yer değiştirme eğrileri	83

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 4.1. Deney Elemanları	78
Çizelge 4.2. Üretilen kirişlerin malzeme ve geometrik özellikleri	78
4.2. Kiriş Alt Tarafından U Şeklinde Etriye ve 2φ12 Donatı İlave Edilerek Yapılan Betonarme Onarım	79

GENEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Özlem GÜLMEZ
Anabilim Dalı : Mimarlık
Programı : Mimarlık
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Onur Altan
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Şubat 2010

DEPREMDE HASAR GÖREN BETONARME YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİ VE MİMARİYE OLAN ETKİSİ

ÖZET

Yapıların depremde kabul edilebilir davranış göstermeleri için uyulması gereken kurallar bulunmaktadır. Ancak iyi projelendirilmemiş veya uygulamasında özen gösterilmemiş mevcut binalarda öngörülenden fazla hasar oluşma olasılığı, deprem siddetine bağlı olarak artabilir. Bunun yanında, projelendirilmesine ve uygulamasına gerekli özen gösterilmiş binalarda da siddetli depremler altında kabul edilebilir seviyeden fazla hasar meydana gelebilir. Bu nedenle, mevcut binaların deprem hareketi altındaki davranışlarının ve oluşacak hasarların tahmin edilebilmesi ve gerekirse doğru güçlendirme yönteminin yapılması gerekmektedir. Deprem veya düşey yükler nedeniyle hasar gören veya yetersiz olduğu saptanan betonarme yapı elemanları çeşitli yöntemlerle onarılmakta ve güçlendirilmektedir. Bir yapının güçlendirilmesi söz konusu olduğunda, çeşitli yaklaşımlar, çeşitli yöntem ve teknikler, hatta bunların kombinasyonları arasından en etkin, en verimli, en elverişli olan güçlendirme yönteminin ortaya konulması büyük bir önem taşır. Bu durum, bir tek yapı için geçerli olduğu kadar, benzer özellikler taşıyan belli bir yapı grubu için de, hatta bir kentte ya da bir ülkede bulunan yapıların tümü için de geçerlidir. Bu tür bir güçlendirme stratejisi, görülen yaygın sorunlar ve zayıflıklar, amaçlanan güvenlik düzeyi veya düzeyleri ile elde bulunan güçlendirme teknolojileri ve olanakları göz önüne alınarak geliştirilebilir. Türkiye’de var olan yapı stoğunun depreme karşı güçlendirilmesinde izlenmesi uygun olan yöntemler irdelenmektedir. Bugün Türkiye’de pek de bilinçli olmadan uygulanmakta olan bu yöntemlerin dayandığı temel ilkeler gerekçeleriyle birlikte tanımlanmakta, uygulamada önem taşıyan bazı kavramlar vurgulanmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Deprem, Güçlendirme, Yapılaşma, Yöntem, Gecekondu

GENERAL KNOWLEDGE

Name and Surname : Özlem GÜLMEZ
Field : Architecture
Program : Architecture
Supervisor : Prof. Dr. Önur ALTAN
Degree Awarded and Date : Master – February 2010

STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES THAT GET HARM FROM EARTHQUAKES AND ITS EFFECT ON ARCHITECTURE

ABSTRACT

There were rules which have to be obeyed to show the buildings' acceptable form in earthquake. But in existing buildings not well designed or not taken care of its application, the possibility of causing a damage which is much more than estimated could increase dependent on intensity of earthquake. On the other hand, in buildings well designed and taken care of its application, damage more than acceptable could happen under the intense earthquakes, too. For this reason, it is necessary to be forecasting of forms of existing buildings under the earthquake and of possible damages will happen and it is also necessary to be applied suitable reinforcement methods if it is necessary. Elements of reinforced concrete constructions which suffer damage because of vertical loads and earthquakes or are detected as inadequate are repaired and reinforced with various methods. When reinforcement of a building is discussed, various approaches, various methods and techniques and the display of the most active, efficient and convenient reinforcement method from the combinations between them are critically important. This situation is valid not only in only one building but also in set of buildings having similar characteristics even in all the buildings existing in a city or a country. This kind of reinforcement strategy could be developed considering common problems and inherit weakness seen, technologies and possibilities of reinforcement with security level or levels aimed. Reinforcement of building stock in Turkey against earthquake, methods suitable to be followed is examined. These methods based on the basic principles which are applied unconsciously still in Turkey are described with their reasons, some concepts important in application are stressed.

KEY WORDS: Earthquake, Reinforcement, Settlement, Method, Shanty.

GİRİŞ

On dokuzuncu yüzyılın sonlarında ve yirminci yüzyılın başlarında betonarme yapılar çoğaldıkça onarım ve güçlendirmeye gereksinim artmıştır. Deprem sonrası hasar görmüş yapıların onarılması ve hasarsız kusurlu binaların güçlendirilmesi ile ilgili tekniklerin geliştirilmesi yirminci yüzyılın ikinci yarısında ivme kazanmıştır. Teknik geliştirmenin gereği olarakta deneysel araştırmalar aynı dönemde hız kazanmıştır. Ülkemiz altmışlı yıllarda onarım ve güçlendirme konusunda deneysel araştırma yapan birkaç ülkeden biri olmuştur.(Ersoy ve Uzsoy 1971)

Yapının deprem etkisi altındaki davranışında; yapı ağırlığı, taşıyıcı elemanların konumu, boyutları, zemin özellikleri, yapı-zemin etkileşimi gibi etkilerin yanı sıra mimari tasarımın da önemli etkileri olmaktadır. Betonarme taşıyıcı elemanlarda, bu nedenlere bağlı olarak ve yatay kuvvet etkisiyle hafif, orta veya ağır hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarların giderilmesi ve yapı güvenliğinin yeniden sağlanması için bu elemanların onarım ve/veya güçlendirilmesi gerekli olmaktadır. Deprem yükleri etkisi altında betonarme karkas yapıların taşıyıcı elemanlarında çeşitli şekillerde yapısal hasarlar meydana gelmektedir. Yapı güvenliğini yeniden sağlamak için, tüm sistemin ve hasar görmüş elemanların onarılması ve güçlendirilmesi gerekebilmektedir. Depreme karşı güçlendirilmesine karar verilmiş bir yapıda diğer bir önemli özellikte, güçlendirme düzeyinin tespit edilmesidir.

Özellikle yeni deprem yönetmeliğine uygun olmayan yapılarda hasar görmemiş sistemlerin de güçlendirilmesi, 1999 Marmara Depreminde sonra bu bölgede güncel bir konu olup zorunlu olarak uygulama alanı bulmuştur. Bunun temel nedeni ise, seçilmiş olan taşıyıcı sistemin düzenli akslara sahip olmayan çerçeveli sistem olması ve genelde yerinde ölçümler ile elde edilen beton dayanımlarının, proje dayanımının çok altında olmasıdır. Hasarların ve oluşum nedenlerinin belirlenmesi ilk adım olarak verilmiştir. Yapılan araştırmalarda, dikkat edilmesi gereken konular açıklanmış, projeye uygunluk, beton kalitesinin tayini ve donatı miktarının belirlenmesi, deprem yükleri etkisi altında yapı davranışına etki eden yerel zemin koşullarının, yerinde yapılacak çalışmalarla belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tüm sistemin güvenilirliğini sağlamak için, yetersiz elemanları da kapsayan güçlendirme sisteminin belirlenmesi, mimari özellikleri ve güçlendirme sisteminin yapılabilirliği ön plana çıkartılarak verilmesi gerekmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

DEPREM YAPI ETKİLEŞİMİ

1.1. Deprem Nedir

Yerkabuğu içindeki kırılmalar sebebiyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına 'Deprem' denir. Üzerinde yaşadığımız dünya 6370 km yarıçapına sahip geoid şekilden oluşan bir küredir. Yeryüzeyinden dünyanın merkezine kadar olan kısımlar dıştan içe doğru;

- 1.Litosfer (katı)
- 2.Astenosfer (viskoz,akıcı)
- 3.Manto (yarı viskoz,yarı katı)
- 4.Çekirdek (katı)

Katmanlarından oluşmaktadır. Yaşamımızı devam ettirdiğimiz kalınlığı 70-80 km olan Litosfer; sıcaklığı 1500-2000 C olan ve erimiş sakız kıvamındaki Astenosferin üzerinde bulunmaktadır.Litosfer bu sıcak ve viskoz olan katmanın üzerinde hareket halindedir. Bu hareket sırasında oluşan tektonik kuvvetlerin etkisiyle fay denilen yırtıklar boyunca belirli periyotlarla ani hareketler oluşur¹.

Bu ani hareketler sonucu meydana gelen titreşimler Litosfer boyunca hareket ederek hasar verici depremleri meydana getirir. Depremler yeryüzünün tüm bölgelerinde eş büyüklüklerde, şiddetle ve sıklıkla oluşmazlar. Deprem; yağmurun yağması, rüzgarın esmesi kadar devamlı olan ve ileride de devam edecek olan tabiat olayıdır. Günümüz teknolojisi ile depremin tam zamanlı tahmin edilmesi ya da ertelenmesi mümkün değildir. Depremi daha iyi anlayabilmek için aşağıdaki kavramları iyi bilmek gerekir.

¹ Allen, D.E. , 1999, Seismic Evaluation And Upgrading Of Buildings, National Research Council Of Canada, Construction Technology Update No.26

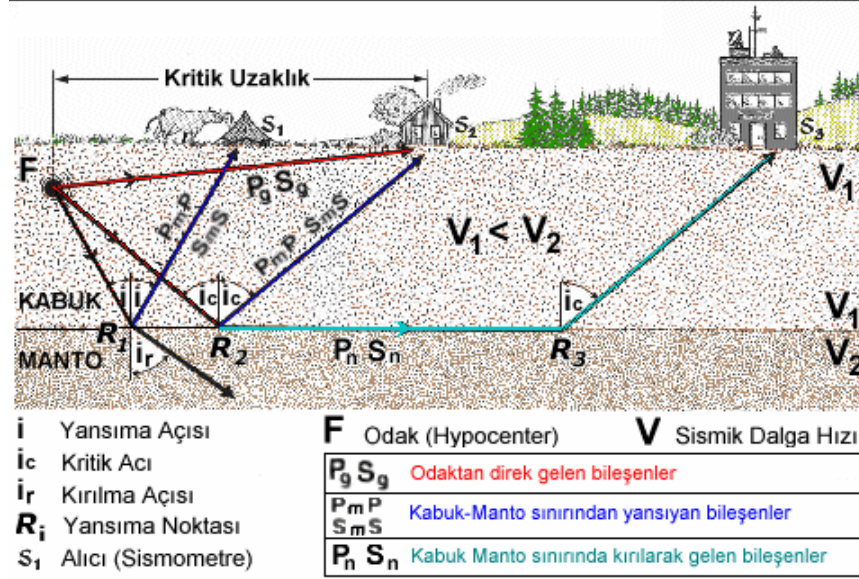
Öncü Deprem : Daha büyük bir depremden ya da ana şoktan birkaç saniye ya da birkaç hafta önce gelen ve büyük depremin kırılma alanının içinde ya da yakınında ortaya çıkan küçük titremdir.

Yırtılma Zonu: Bir deprem sırasında faylanmanın meydana geldiği yeryüzü alanına yırtılma zonu denir. Toplu iğne başından, yüzlerce kilometrelik bir alana kadar değişebilir.

'P' dalgası: Kayıtlara ilk ulaşan deprem dalgasıdır. Hızı kabuğun yapısına göre 1,5 ile 8 km/sn arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusundadır (boyuna dalga).Yıkım etkisi düşüktür.

'S' dalgası: Kayıtlara ikincil olarak ulaşan deprem dalgasıdır. Hızı 'P' dalgasının hızının yüzde 60'ı ile yüzde 70'i arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna dik ya da çaprazdır (enine dalga). Yıkım etkisi yüksektir.

Merkezüssü: Depremin yerkabuğu içinde bulunan odak noktasının, yeryüzündeki iz düşümüdür.²

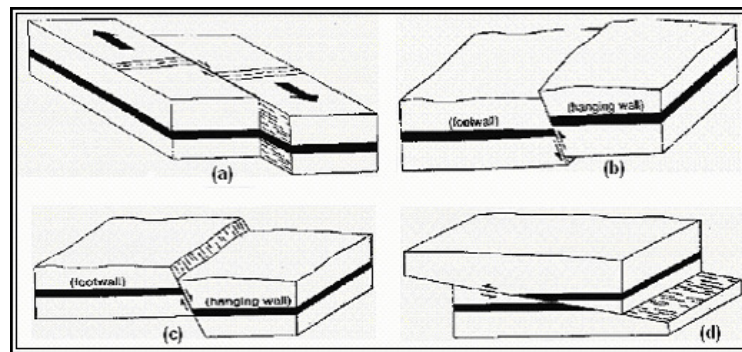


² Allen, D.E. , 1999, Seismic Evaluation And Upgrading Of Buildings, National Research Council Of Canada, Construction Technology Update No.26

1.1.1. Fay Nedir, Oluşumu Ve Türleri Nelerdir

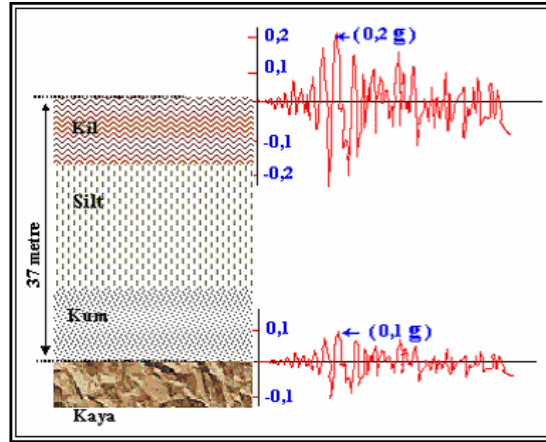
Yerkabuğu ve üst mantoda, kaya tabakalarının, koptuğu ve kaydığı yerdeki zayıf noktaya fay denir. Başka bir deyişle fay, yerkabuğundaki deformasyon enerjisinin artması sonucu, kayaç kütlelerinin, bir kırılma düzlemi boyunca yerlerinden kaymasıyla ortaya çıkan kırıktır. Faylar, depremler sonucunda ortaya çıkar. Ülkemizdeki Kuzey Anadolu Fayı doğrultu atımlı faydır. Mekanizması gereği hareket büyük bir bölgede gerçekleşeceğinden enerji boşalımı daha büyük olur. Bu yüzden doğrultu atımlı faylar şiddeti(tahribati) büyük olan deprem üretme potansiyeline sahiptir.

Bir kayaç kütlesi karşı yönde sıkıştırıldığında, kütle iki bölümü kendisini etkileyen kuvvet yönünde ve birbirine ters yönlerde kayar ve kütle şekil değiştirir. İleri aşamada kütle iki bölümü birbirinden ayrı iki kütleye dönüşür ve Elastik Geri-Tepme Kuramı'na göre bu iki kütle arasında bir fay çizgisi oluşur. Bu tipik yanal atımlı faydır, kütle iki parçasının birbirlerine göre yatay sıyrma hareketinin sonucudur ve deprem bu fay çizgisi üzerinde, kütle en zayıf olduğu noktada ve/veya da iki bloğun birbirine yapışık olduğu ve yer değiştirmeyi engelleyen bölümde gelişir. Yanal faylanma sağ veya sol atımlı türde olabilir. Kütle iki bölümü düşey yönde de olabilir. Bu koşulda ise, yerkabuğundaki çekilme (normal fay), veya basınç (ters fay) kuvvetleri egemendir. Atım şekline göre fay çeşitlerini ele alırsak



Şekil 1.1. a)Doğrultu atımlı fay b)Eğim atımlı ters fay c)Eğim atımlı normal atımlı fay d)Verev atımlı fay

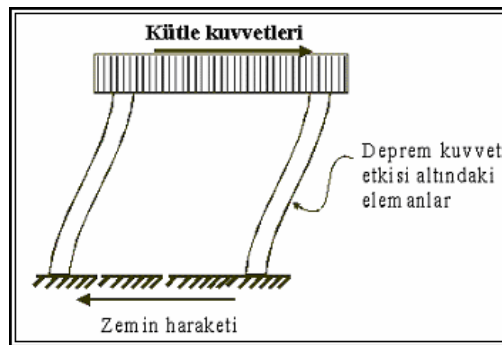
Yapının oturduğu zemin tabakalarının öz maddesi ve kalınlıkları da titreşim periyodunu ve enerji kabiliyetini etkiler.



Şekil 1.2. Farklı zeminde yayılan gerilme dalgalarının yüzeye farklı çıkışı

1.2. Deprem Sırasında Yapı Davranışı

Deprem sırasında hasar görmüş bir yapının güçlendirilme projelerinin iyi hazırlanabilmesi için yapıların depremde davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Genellikle deprem hesaplarında³ yer hareketinin yatay bileşeni ön planda tutularak depreme karşı hesap esasları geliştirilmiştir. Yer hareket edince, Yerçekimi etkisindeki kütle yapıyı bulunduğu yerde tutmak ister. Şekil 3 de görüldüğü gibi yatay deplasman durumu meydana gelir ve oluşan kuvvetler yapıyı etkiler.⁴

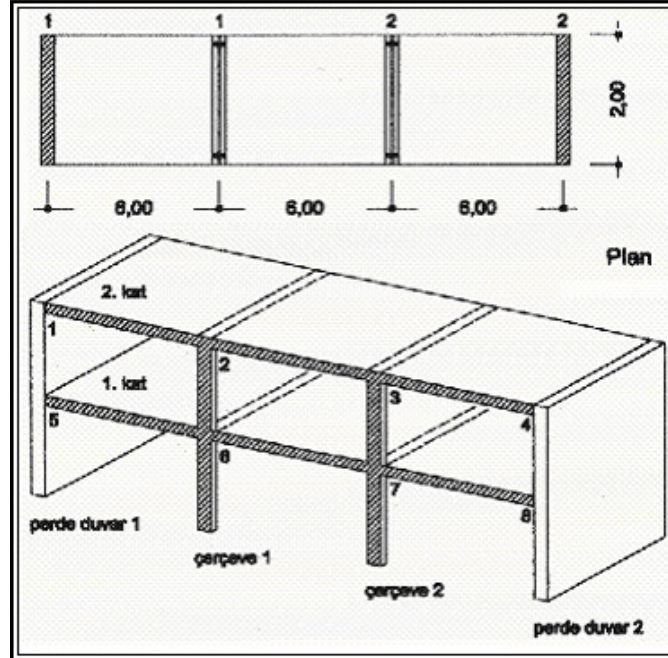


Şekil 1.3. Yatay hareket eden zemin üzerindeki kütle hareketi.

³ Başyigit, Celalettin Ve Gençer, Özlem Ve Terzi, Serdal, 2000, Depremde Hasar Gören Betonarme Yapıların Onarımı Ve Güçlendirilmesi, Deprem Araştırma Bülteni, 83

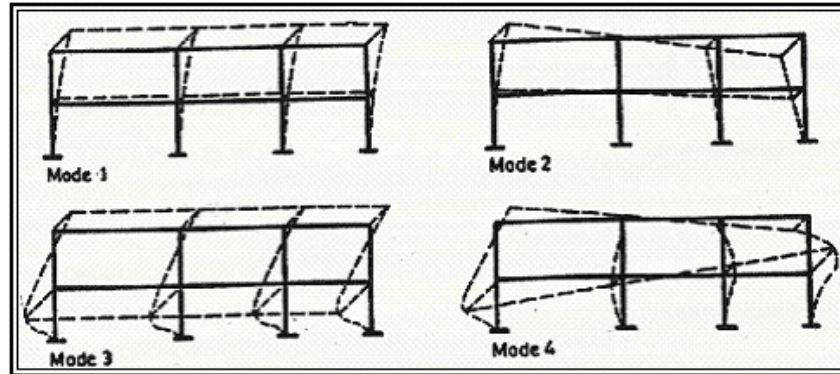
⁴ Celep, Zekai, Mevcut Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi Ve Güçlendirilmesi, [Http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm](http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm)

Yapının davranışına bakılarak statik ve betonarme hesaplarda o an dikkate almayı düşünemediğimiz bazı konulara çözüm getirebilir ve çok basit yerlere ilave donatılar konularak bir çok sorun çözülebilir. İki katlı betonarme ve çelik kompozit bir yapıyı ele alırsak;



Şekil 1.4. İki katlı kompozit bir yapı.

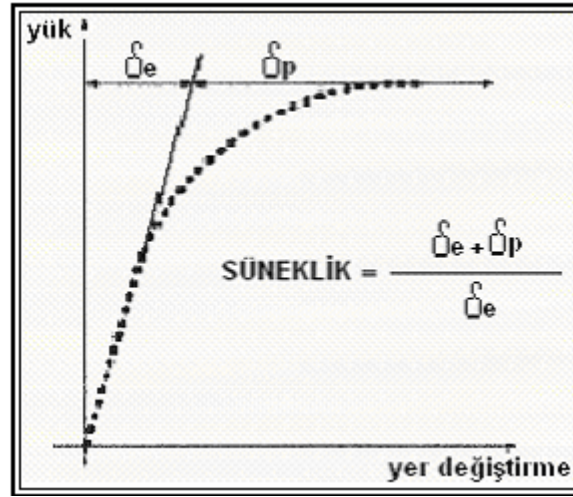
Bu yapının deprem sırasındaki davranışı ise Şekil 6 da görülmektedir.



Şekil 1.5. Yapının deprem sırasındaki davranışı.

Deprem kuvvetlerinin etkisi altında, yapı sanki dans etmektedir. Şekilde gösterilmemesine karşın eğer yapıda çıkmaların olduğu düşünülürse, çıkmaların ne kadar fazla salınım yapacağı da açıktır. Yapının bu davranışına bakılarak, burulmanın çok önemli bir sorun olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Taşıyıcı

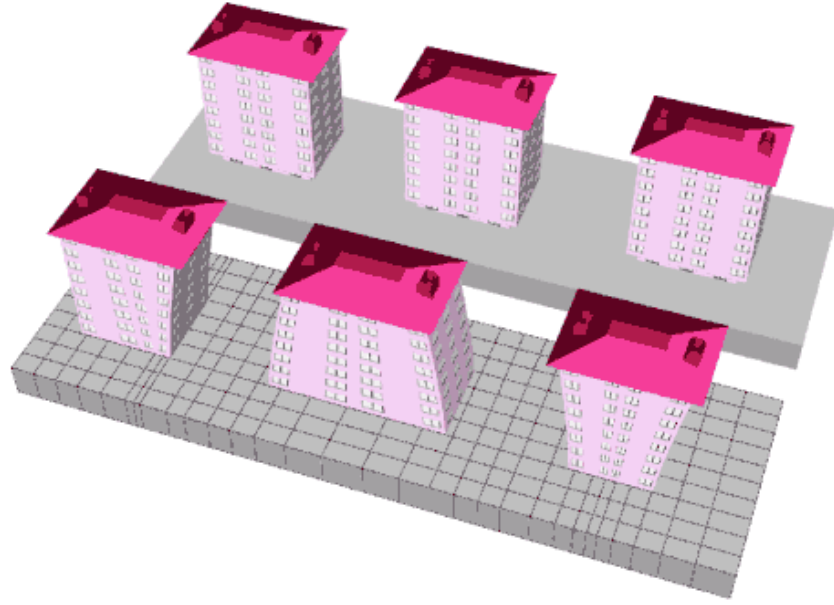
sistemde ve donatı detaylarında gerekli önlemler alınmadığı takdirde kolonların burulmanın etkisiyle kesileceği ve yapının göçeceği açıktır. Deprem bölgelerinde görülen hasarların bir kısmı böyle gelişmiştir. Yapının Şekil 6 daki davranışına bakılarak, deprem sırasında yapının burulması sonucu mimari mekanların kolayca yer değiştirebileceği anlaşılır. Kurtarma çalışmaları sırasında bu durumla çok sık karşılaşmıştır. Yapının Şekilde gösterilen davranışı yapabilmesi için belli bir “süneklik” göstermesi gerekir. Deprem sonrası çok sık konuşulmaya başlayan “süneklik” tanımını çok basit bir şekilde yapılmasında yarar var. Yapı deprem kuvvetlerinin belli bir değerine kadar doğrusal elastik yer ve şekil değiştirme gösterir Şekil 1.6.



Şekil 1.6. Betonun yük-deformasyon eğrisi.

Doğrusal elastik yer değiştirme δ_e olarak belirlensin. Deprem kuvvetlerinin belli bir değerinden sonra betonda çatlama, donatıda akma başlar ve yapı doğrusal olmayan bir davranış gösterir. Buna plastik yer-şekil değiştirme denir. Yük-yer değiştirme grafiği artık eğridir. Bu doğrusal olmayan yer değiştirmeye de plastik yer değiştirme δ_p denir.(Şekil 1.6.). Diğer bir anlatımla yapıların kendilerine etkiyen dış yükler altındaki davranışları elasto-plastiktir. “Süneklik” yapının gösterdiği doğrusal olan elastik yer değiştirme ile doğrusal olmayan plastik yer değiştirmelerinin toplamının, yapının doğrusal elastik yer değiştirmesine oranıdır. Bunun en az 2 civarında olması gereklidir. Bu oranı arttırmak ve daha yukarılara çıkartılarak süneklik düzeyi yüksek yapılar elde etmek mümkündür. 1997 deprem yönetmeliğindeki katlar arası göreceli yer değiştirme sınırlamalarına uymak ve hesaplarda yer değiştirmelerin de göz önüne alındığı doğrusal olmayan (non-linear)

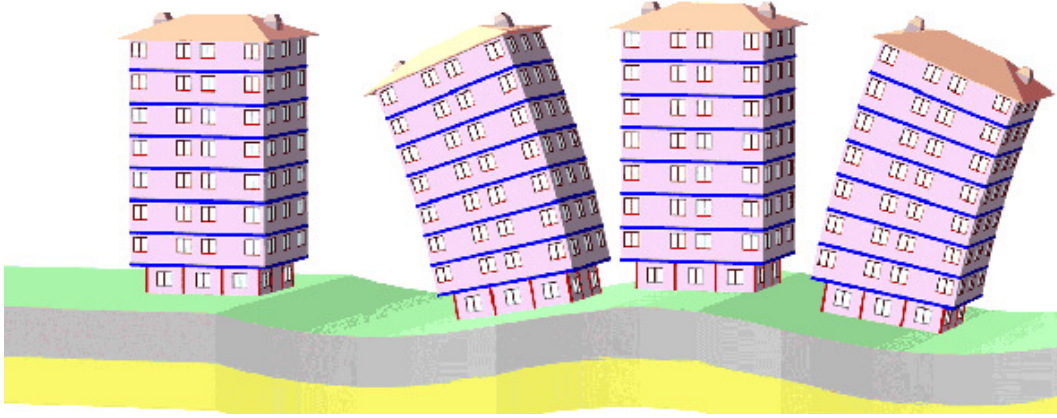
hesap yapılması gerektiği açıktır. Süneklik oranı arttıkça yapıda taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının da hasar görebileceğini unutmamak gerekir. Yapıda sünekliği arttıran veya azaltan etmenlere çok dikkat etmek gerekir. Etriyelerin kapalı olması ve sarılma bölgelerinde etriye sıklaştırılması, kirişlerde basınç donatısı konulması “sünekliği attırırken”, gereğinden fazla çekme donatısı kullanılması “sünekliği azaltan” en büyük etmenler olarak göz önünde tutulmalıdır. Depremi yapı üzerindeki etkilerini daha rahat görebilmek için deprem dalgalarının çok katlı betonarme bir binaya ayrı ayrı etkilerine bakarsak; Depremde oluşan P dalgasının yarattığı etki Şekil 1.7. de görülmektedir.⁵



Şekil 1.7. P dalgasının yapı üzerindeki etkisi.

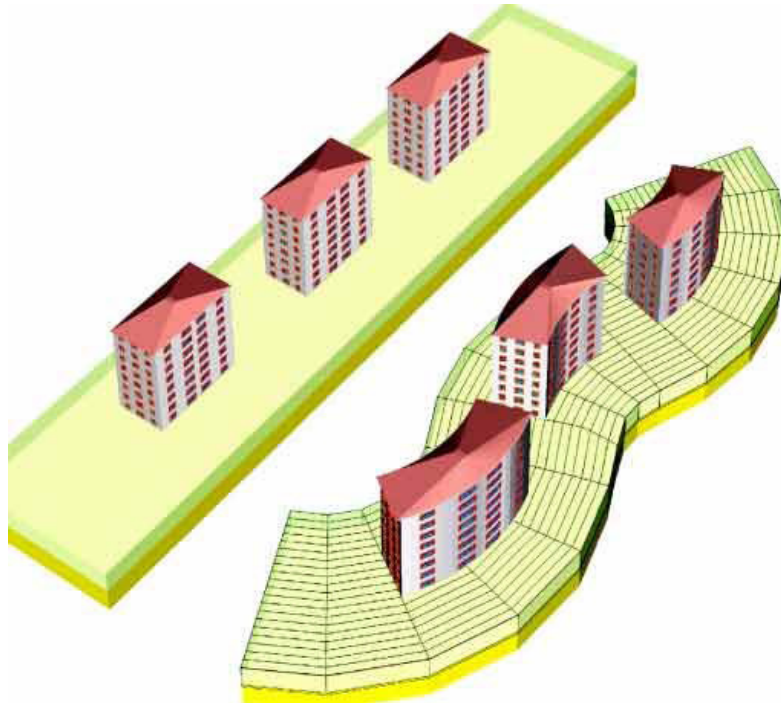
Görüldüğü gibi P dalgası yapı temeline genişleme ve sıkışma hareketi yaptırmaktadır. Yapıya eğilme silkelene hareketi yaptıran S dalgasının yarattığı etki ise şekil 1.8. da gösterilmiştir.

⁵ Altun, Fatih Ve Kara, H.Bekir Ve Uncuoğlu, Erdal Ve Karahan, Okan, 2003, Betonarme Yapılarda Deprem Hasarları Ve Altı Katlı Bir Yapının Güçlendirme Çalışmaları, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16(2) 309-318



Şekil 1.8. S dalgasının yapı üzerindeki etkisi.

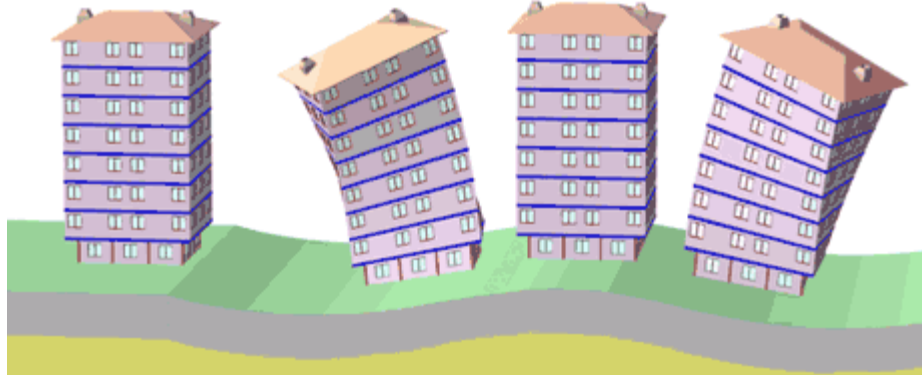
Diğer bir etki dalgası depremin oluşturduğu kayma dalgalarıdır. Şekil 1.9 da kayma dalgalarının binaya yaptırdığı hareket görülmektedir.



Şekil 1.9. Kayma dalgasının yapı üzerindeki etkisi.

Ağırlık ve Rijitlik merkezlerinin çakışmaması halinde diğer etkilere ilave burulma etkisi oluşur. Burulma etkisi şekil 1.10 de görülmektedir.⁶

⁶ Coşkun, Erdal, Betonarme Yapıların Geleneksel Yöntemlerle Depreme Karşı Güçlendirilmesi,

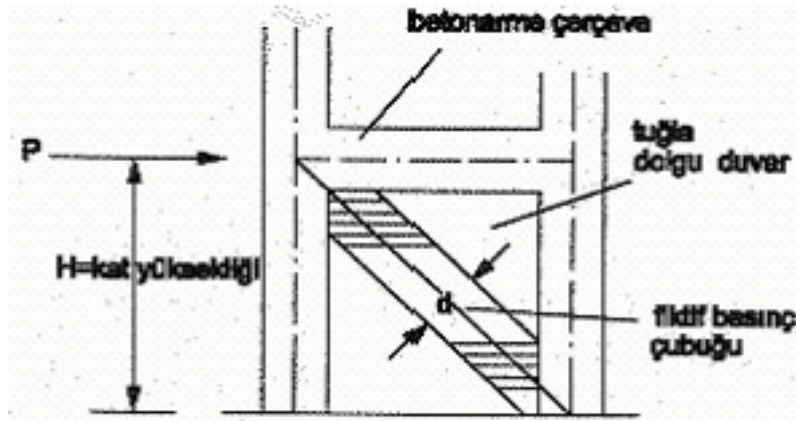


Şekil 1.10. Yapıda burulma hareketi.

1.3. Yapı Hasarlarının Nedenleri

1.3.1 Dolgu Duvarsız Giriş Katı

Kocaeli depreminde bina hasarlarının ana nedeni, giriş katlarında dükkan ve ticarethane amacı ile dolgu duvarlarının örülmemiş olmasıdır. Bu gibi dolgu duvarsız giriş katları adeta, tüm binanın bir bomba gelmiş gibi göçmesine ve en azından giriş katının ortadan kaybolmasına neden olmaktadır. Dolgu duvarların deprem kuvvetleri altında nasıl davrandığı Şekil 1.11 de gösterilmiştir.

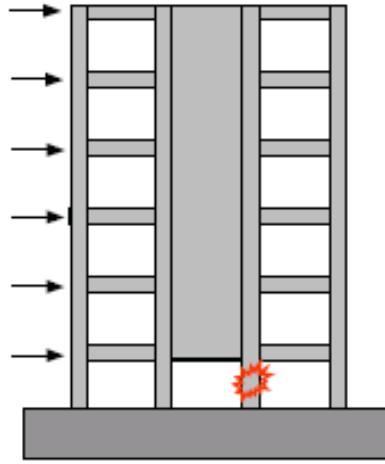


Şekil 1.11. Dolgu duvar davranışı.

Dolgu duvarlar deprem kuvvetleri altında bir “fiktif basınç çubuğu” oluşturmaktadır. Yapıda yük dağılımını etkileyerek yapıyı rahatlatmaktadır. Bu “fiktif basınç çubuğu” nu genişliği yaklaşık olarak $0.35 \cdot (\text{kat yüksekliği})$, kullanılan tuğlaya bağlı olarak elastisite modülü 35000 kgf/cm^2 ve basınç dayanımında $60-70$

kgf/cm² alınarak hesaplarda göz önüne alınabilir. Ayrıca, duvarların kolonlara düşeyde her üç sıra tuğlada bir 16 mm lik donatılarla kamalanması ise yapının rijitliğini oldukça arttırmakta ve ayrıca duvarların deprem sırasında aniden yıkılarak can kaybına neden olması önlenmektedir.

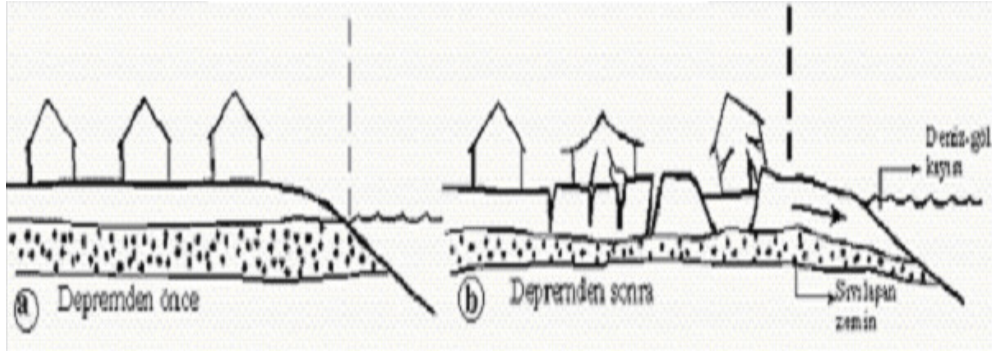
Aksi halde giriş katı binanın tamamına ait olan enerjiyi yutmak ve gene tamamına ait deplasmanı yapmak zorunda olduğu için, meselâ sekiz katlı bir binanın tüm yatay deplasmanı giriş katında oluşacağı için, bu sekiz katın deplasmanını yapmaya gücü yetmeyen giriş katı aniden göçmektedir. Deprem yönetmeliğinde dolgu duvarsız giriş katı oluşturulmasından kaçınılması önerilmiştir.



Şekil 1.12. Giriş katı dolgu duvarsız bir yapı.

1.3.2. Zemin Sıvılaşması

Depremi oluşturduğu titreşimlerin etkisiyle gevşek, suya doymun durumdaki taneli eminlerin taşıma kapasitelerini kaybederek “sıvı” gibi davranış göstermesine “zemin sıvılaşması” denilmektedir. Özellikle, Adapazarı'nda birçok bina, temel altındaki ince daneli ve suya doymun zeminin 0.40 g'yi aşan yatay ivme nedeniyle sıvılaşması sonucu ağır hasara uğramıştır.



Şekil 1.13. Zemin sıvılaşması.

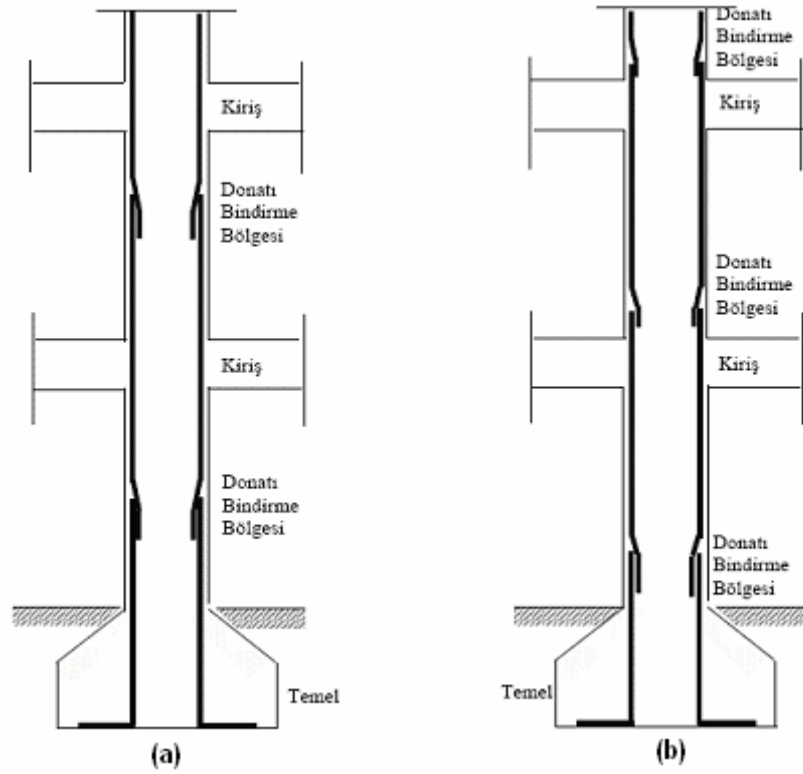
Zemin sıvılaşması sonucu zemin taşıma kapasitesinde önemli ölçüde kayıp olur. Sıvılaşan katmanlar üzerinde bulunan binalarda ciddi boyutlarda düşey oturmalar-farklı oturmalar- ötelemeler-devrilmeler oluşur. Yanal yayılmalar ise sıvılaşmadan kaynaklanan kayma dayanımı kaybının neden olduğu bir yüzey hareketidir. Yüzeyde gözlenen bu hareket sonucunda binalar özellikle rijit binalarda çekme gerilmelerinden kaynaklanan ciddi çatlaklar, farklı oturmalar oluşur. Zemin sıvılaşmasından oluşan bir diğer hareket de akma hareketidir.

Akma hareketi prensip olarak yanal hareketin daha geniş bir bölgeye yayılmış biçimi olup, genellikle % 5 eğimden daha büyük arazide oluşur. Binalarda yanal yer değiştirmeler, farklı oturmalarından dolayı ciddi yapısal hasarlar söz konusudur. Binaların maruz kalacağı “farklı oturma” değerleri “yapısal hasarlar”ın düzeyini belirler. Gerek yanal yayılmada gerekse akma hareketinde gözlenen maksimum çökme değerleri binalarda izin verilebilir çökme değerlerinden (50-60 mm) daha büyüktür.⁷

1.3.3. Donatı Yerleştirme Hataları

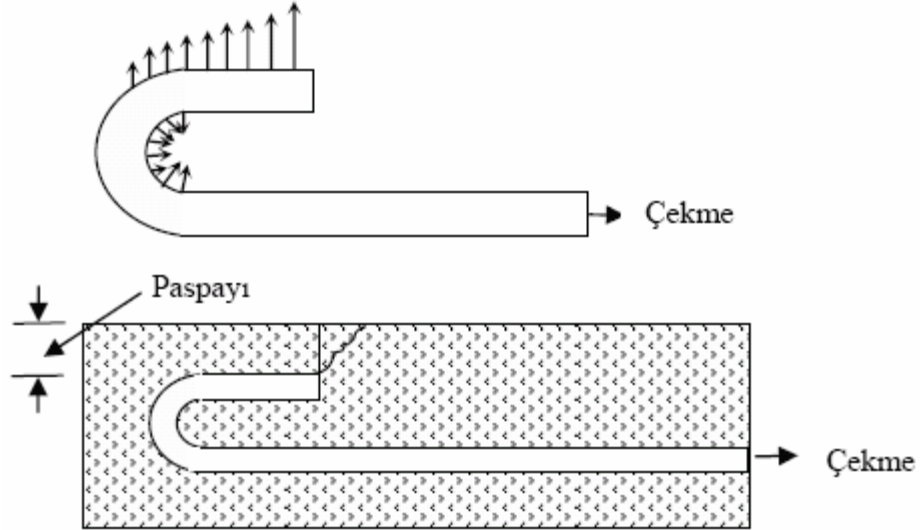
Depremlerde hasar gören veya yıkılan binalarda göze çarpan önemli bir konu kolon **boyuna donatılarının** bindirmeli eklerinin kolon giriş birleşim bölgelerinde yapılmış olmasıdır.

⁷ Coşkun, Erdal, Yapıların Depreme Karşı Korunmasında Etkin Bir Çözüm Sismik İzolasyon

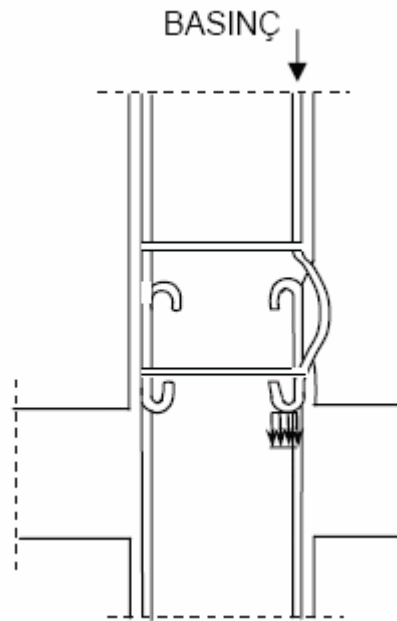


Şekil 1.14. a) Deprem açısından uygun donatı bindirme şekli (donatı momentin sıfır olduğu yerde ekleniyor). **b)** Deprem açısından uygun olmayan donatı bindirme şekli (donatı o tinen büyük olduğu yerde ekleniyor)

Depremden sonra yapılan araştırmalarda pek çok yapıda bırakılan betonarme donatı filizlerinin yetersiz veya rasgele uzunluklarda bırakıldığı tespit edilmiştir. Filiz boyları TDY 7.3.3.2 ve TS500 9.1.2 e göre düzenlenmelidir. Bir üst kat kolonu için bırakılan bu filizler gerekli önlemler alınmadığı takdirde korozyona uğramaktadır. Paslanmış donatı, aderansı önemli ölçüde olumsuz etkilemekte ve donatının betondan sıyrılıp çıkması kolaylaşmaktadır. Kolonda basınca çalışan boyuna çubukta kanca yapılması kabuk betonunda büyük zararlara yol açmaktadır. Kolona kanca yapılarak yerleştirilmiş donatı, kabuk betonunu ezerek çatlamasına neden olur.



Şekil 1.15. Çekme kuvveti altında betona aktarılan kuvvetler



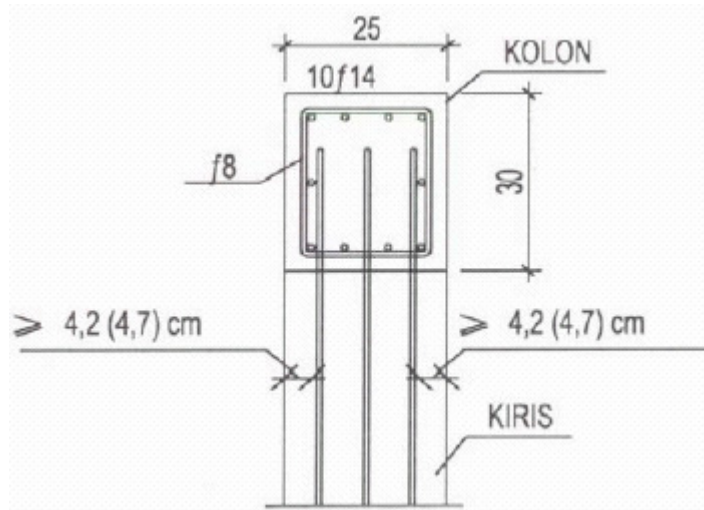
Şekil 1.16. Kolon donatılarının ucunda kanca yapılması sonucu betonun patlamasına yol açar.

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde donatı detaylarının yeterliliği ve uygunluğu, deprem yükü etkisi altındaki yapının davranışı için oldukça önemlidir. Ülkemizde görülen depremlerin ardından, genellikle kolon-kiriş birleşim noktalarında ciddi hasarlar meydana geldiği söylenebilir. Beton dökümünden önce yapılması gereken kontrollerde, donatı yetersizliklerinin ve yanlış uygulamaların fark edilmemesi veya gerekli dikkatin gösterilmemesi, kolon-kiriş birleşim noktalarına yeterli özenin

gösterilmediğinin işaretidir. Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarların en önemli nedenlerinden biri olarak etriye yetersizliği sayılabilir. Etriyelerin deprem kuvvetlerine karşı üç önemli etkisi vardır;

- 1) Kesme kuvvetine karşı kolonun dayanımını arttırmak.
- 2) Sargı donatısı olarak betonun sünekliğini arttırmak.
- 3) Boyuna donatının bindirmeli eklerinde aderansı arttırmak.

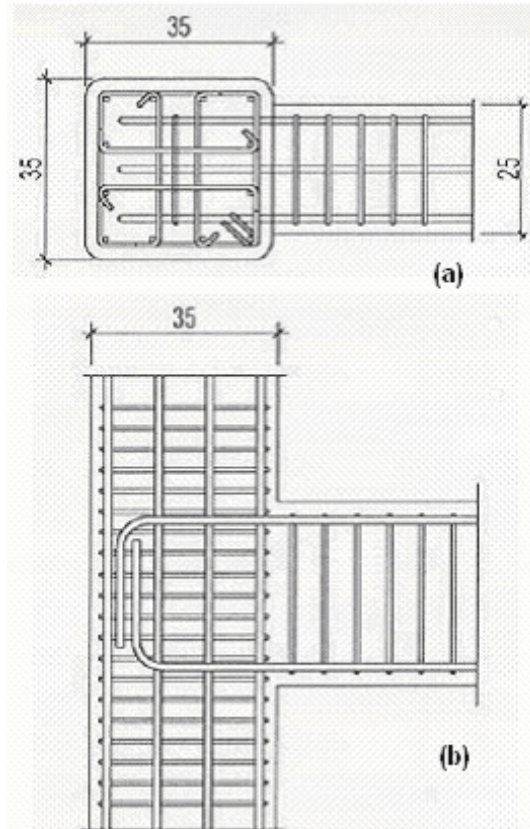
Kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye yerleştirme güçlüğü ve yıllardır süregelen alışkanlıklar nedeniyle ülkemizde kiriş yüksekliğince kolon etriyelerinin yerleştirilmemesi veya düzensiz yerleştirilmesi büyük ölçüde devam etmektedir. Bunun bir nedeni de, kolon boyutlarının küçük olması ya da kolon ve perdelerin kirişle aynı genişlikte olmasıdır. Birleşim bölgesinde kolon boyutların küçük olması, aynı zamanda kiriş boyuna donatılarının düğüm noktasına uygun şekilde ankrajına da engel olmakta, dolayısıyla düğüm noktasının kolayca önemli hasar görmesine neden olmaktadır. Minimum boyutlu köşe kolona birleşen minimum genişlikli bir kirişin plandaki donatıları Şekil 1.17. de verilmiştir.



Şekil 1.17. Kiriş donatı düzeni.

Görüldüğü gibi, kolon 25cm x30cm boyutlu, kiriş 25cm genişliktir. Dıştaki ve içteki elemanlarda beton örtüsü sırasıyla 2.5cm ve 2.0cm olması durumunda, kiriş boyuna donatısı ile kiriş dış yüzü arasındaki uzaklık 4.7cm ve 4.2cm dir. Kiriş için hesaplanan donatının kirişe yerleştirilmesi, proje aşamasında bu hususlar dikkate

alınmadan yapılmaktadır. Dolayısıyla kiriş eğilme donatısının tek sıra olarak yerleştirilmesinde sıkıntılar meydana gelebilecek, uygulamada çoğunlukla iki sıra donatı gerekebileceği açıktır. Ülkemizde yapı denetimindeki aksaklıkların hala giderilemediği ve kontrol dışı yapı inşası gözönüne alındığında, bu hususa meydan vermeyecek düzenlemelerin olabildiğince giderilmesi gerektiği belirtilebilir. Bu nedenle, kolon boyutlarının kendisine mesnetlenen kirişlerden en az 5cm~10cm daha büyük olması, burada değinilen olumsuzluğu önlemek bakımından uygun bir düzenleme olacaktır. Kolonun kirişten daha geniş olduğu bir birleşime ait donatıların yerleştirilmesi plan ve kesit üzerinde Şekil 1.18 da verilmiştir.⁸

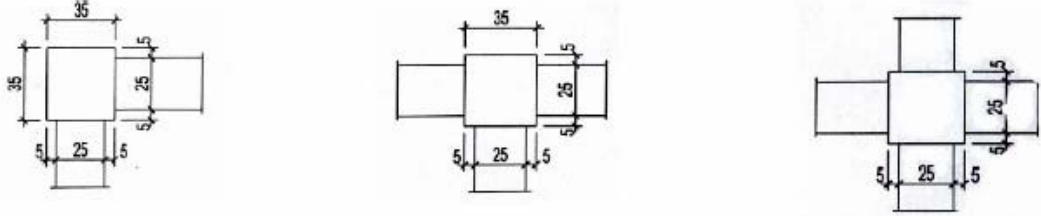


Şekil 1.18. Kalın kolon ince kiriş birleşimi donatı düzeni.

Görüldüğü gibi, kiriş donatıları bakımından bir problem olmadığı, tasarım ile yerindeki uygulamanın uyumlu olacağı kolayca ifade edilebilir. Bir diğer sorun ise,

⁸ Güler, Kadir Ve Altan, Melike, Betonarme Yapılarda Perde Ve Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinde Yaşanan Sorunlar Üzerine Bir İrdeleme, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, At-090

kirişlerin kolonlara merkezinden simetrik olarak birleştirilmemesidir. Köşe, kenar ve iç kolona simetrik olarak birleşen ve kolonların daha geniş olduğu bir düzenleme Şekil de verilmiştir.

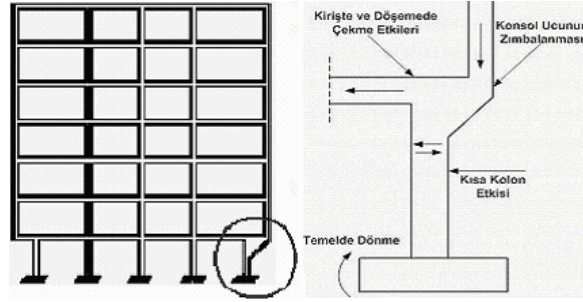


Şekil 1.19. Köşe, kenar ve iç, kolon-kiriş birleşim bölgesi için ideal çözüm örnekleri.

Bu tür bir düzenleme hem birleşim bölgesinde donatıların uygun ankrajı ve hem de beton örtüsünün kirişin iki yüzünde de dengeli olarak teşkili bakımından gereklidir. Buna göre betonarme çerçeve ve perde-çerçeve taşıyıcı sistem tasarımlarında bu hususa dikkat edilmesi, yapılardan deprem sırasında beklenen davranışın gözlenebilmesi bakımından gerekli görülmektedir.

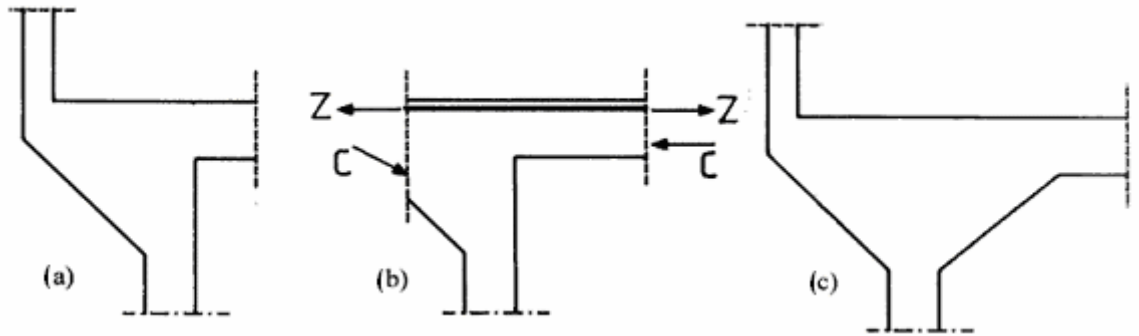
1.3.4. Konsol Sorunları

Yürürlükte bulunan İmar Yönetmelikleri'nde, bina taban alanlarındaki kısıtlar nedeniyle, zemin katlarda oturma alanları oldukça sınırlanmaktadır. Bu durum, çoğunlukla normal katlarda 1.50 m ye varan çıkmalarla kullanım alanlarının arttırılmasına neden olmaktadır. Buna göre ya zemin kat tavanından itibaren cephelerde konsol kirişler ve uçlarında alın kirişleri teşkil edilerek, ya da kenar kolonlar kısa konsol ucuna oturtularak normal katlarda bu kolonların dış cephe duvarları içersinde kalması yoluyla kullanım alanının arttırılması yoluna gidilmektedir. Her iki durumda da kenar akslar boyunca düzenli çerçeve oluşturulamamakta, ikinci durumda ayrıca taşıyıcı sistemin düşeyde sürekliliği bozulmuş olmakta, kenar kolonlarda eksenel yükün zemin kat kolonlarına dolaylı olarak aktarılması söz konusu olmaktadır. Kenarda bulunan kolonların bina çevresince çerçeve teşkili önlenmektedir.



Şekil 1.20. Konsola etki eden kuvvetler.

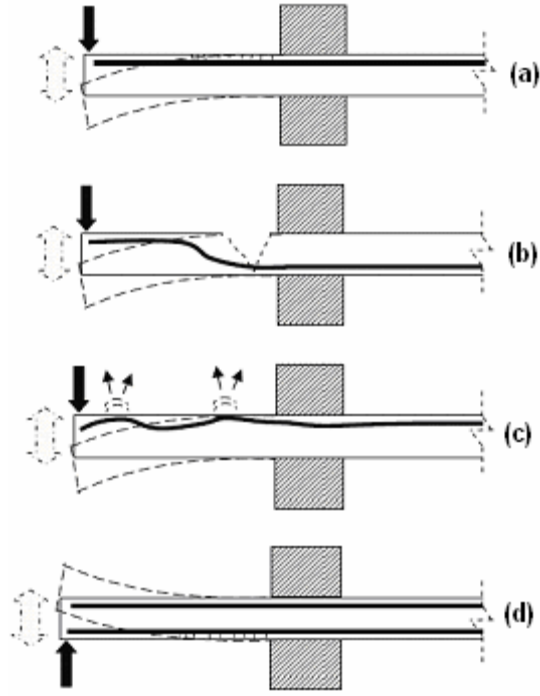
Bu durumda birleşim noktasındaki düzensizlik nedeniyle kesit etkileri hesaplananın üzerinde büyük değerlere çıkacaktır. Geometrik süreksizlik nedeniyle düğüm noktasında iç kuvvetler dengelenemeyecek ve donatı düzeni uygun olmayacaktır. Bu durumda düğüm noktasında dengenin sağlanması gereklidir.⁹



Şekil 1.21. :a) Kesitte kısa konsol ve iç kiriş birleşimi, b) Kısa konsol ve iç kirişinin birleştiği düğüm noktasında iç kuvvetler (C; basınç ve Z; çekme), c) Düğüm noktasında dengenin sağlanması için guse yapılması.

Donatılar, projeye uygun olarak yerleştirilmediği takdirde öngörülen mukavemetleri gösteremeyeceklerdir. Örneğin konsolda çekme donatısı gerektiği gibi üste düzgün olarak yerleştirilmeyip rasgele düzensiz yerleştirilirse çekmeye karşı mukavemeti düşük olan beton, çekme donatısının görevini yapmaya çalışacak ve konsolda çatlaklar oluşacaktır. Deprem etkisinden dolayı konsollarda tersinmeler meydana gelebileceği ve bundan dolayı da konsolun alt yüzeyinde çekme gerilmeleri oluşabileceği unutulmamalı ve yeterli alt donatı da bulundurulmalıdır. (şekil 23)

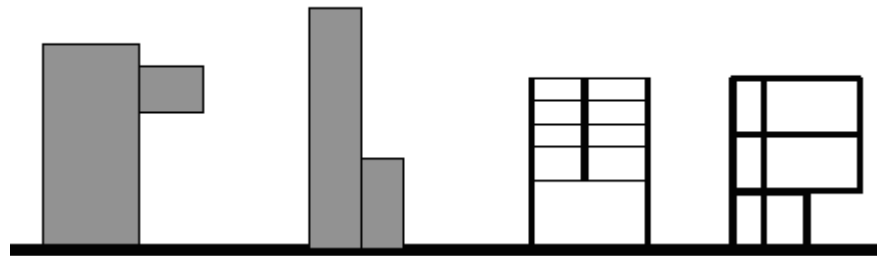
⁹ Kaplan, Seyit Ali, Mevcut Yapıların Deprem Yüklerine Karşı Güçlendirilmesi, Çıkmalı Binaların Depreme Karşı Güvensizliği Ve Mevzuatta Düzeltilmesi Gereken Hususlar, [Http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm](http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm)



Şekil 1.22. Konsolda donatı yerleştirme hataları (a.b.c) ve doğru yerleşim (d).

1.3.5. Yapının Yatay veya Düşey Düzlemde Düzensiz Olma Durumu

Yapının her kesitinde süreklilik göstermesi beklenir. Zemin katında garaj, dükkan v.s. bulunan veya bitişik nizam yapılarda bu kural genellikle ihmal edilmiş ve yapı risk altına girmiştir. Aşağıda bazı yanlış uygulamalar gösterilmiştir.



Şekil 1.23. Çeşitli süreksiz yapı kesitleri.

Yapıda hasara neden olan bir diğer süreksizlik durumu da yarım bırakılmış dolgu duvarlardır. Bu şekildeki sistemlerde kolonların duvarın bittiği yerden kırıldığı deprem sonrası incelemelerde tespit edilmiştir.

3. Deprem, ülkemizde en çok can ve mal kaybına sebep olan doğal afettir. Dolayısıyla depremler olmadan önce, can ve mal kaybını en aza indirmek için gerekli tedbirler alınmalıdır. Yapılması gerekenler bunlarla da sınırlı değildir.

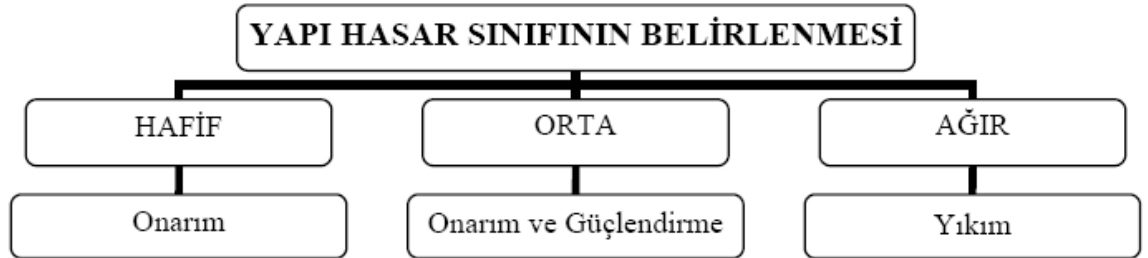
Depremlerden sonra hasar tespiti yapılarak, hasar düzeyi uygun olan yapıların güçlendirilmesi gerekir. En önemli sorunlardan biride güçlendirme işlemleridir. Bu çalışma da güçlendirme işlemlerinin önemi ve bu çalışmalar sırasında yapılan hatalar incelenmiştir¹⁰.

Depremlerden sonra binalarda ilk önce hasar tespiti yapılmalıdır. Çünkü binalarda hasar sınıfı (hafif-orta-ağır) belirlenmeden onarım ve güçlendirmenin şeklinin belirlenmesi mümkün değildir. Binaların hasar düzeyinin tespiti için çok sayıda akademik çalışmanın olduğu bilinmektedir. Mühendis tecrübesiyle birlikte bu çalışmalarda metotlardan birini kullanarak, binanın hasar sınıfını tespit etmelidir. Binanın hasar sınıfının tespiti kolay bir iş değil, aksine birçok parametreye bağlı oldukça karışık bir çalışmadır. Onarım ve güçlendirme işleminin bu temel basamağını yanlış veya eksik yapmak, istenmeyen sonuçlara yol açar. Eğer ağır hasarlı bir binaya hafif hasarlı denilirse, olası ikinci bir depremde daha çok can ve mal kayıpları olacaktır. Hafif hasarlı bir binaya ağır hasarlı denilirse, maliyet istenmeyen değerlere ulaşacak ve maddi yük artacaktır. Görüldüğü gibi hasar tespiti, onarım ve güçlendirme işleminin temel basamağıdır.

Hasar tespiti eldeki imkanlar nispetinde en iyi şekilde yapıldıktan sonra sıra onarım ve güçlendirme işlemlerine gelmektedir. Bu işlemler için birden fazla öneri varsa, her bir öneri için güçlendirme projesi hazırlanmalıdır. Bu projeler üzerinden metraj ve keşif hazırlanarak, ekonomi göz önünde bulundurulmalıdır. Ekonomik olan proje belirlendikten sonra proje uygulanabilirlik açısından tekrar gözden geçirilmelidir (Şekil 26). Proje ne kadar iyi hazırlansa da uygulanamadıktan sonra bir anlamı olmayacaktır. Hasar sınıfının tespitinden, uygulanabilir proje aşamasına kadar tüm işlemler uzman ve deneyimli mühendisler tarafından gerçekleştirilmelidir. Elde

¹⁰ Önen, Yusuf Hatay, Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışı Ve Güçlendirilmesi, [Http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm](http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm)

edilmiş iyi bir projenin yerinde doğru olarak uygulanması da uzman ve deneyimli ekipler tarafından yapılmalıdır. Bu işlemlerin tamamı veya bir kısmı ehliyet sahibi olmayan kişilerce yapıldığında, güçlendirme işlemlerinden tam sonuç alınamayacaktır.



Şekil 1.24.Yapı Hasar Sınıfı Belirleme ve Değerlendirme



Şekil 1.25. Onarım ve Güçlendirme İşlemi Sırası

1.4. Yapı Hasar Sınıfının Belirlenmesi

Depremden sonra yapı hasara uğramışsa, bu hasar seviyesinin tespiti onarım ve güçlendirme işlemlerinin içeriği açısından gereklidir. Ağır hasarlı bir bina genellikle hiçbir çalışma yapılmadan sadece bakılarak tespit edilebilir. Fakat hafif ve orta hasara sahip yapıların gözle tespitten ziyade tahribatlı ve tahribatsız deneylerle

belirlenmesi gerekir. Yapının beton basınç dayanımı karot alınarak, ultrasonik test cihazıyla ve beton test çekici ile tespit edilmelidir. Bu yöntemlerin bir veya birkaçı birlikte kullanılarak, gerçekçi sonuçlar elde etmek mümkündür. Yapının beton basınç dayanımı tespit edildikten sonra yapıda projede öngörülen donatının kullanılıp kullanılmadığı tespit edilmelidir. Eleman içerisindeki donatıların yerini ve çapını belirleyen cihazlar mevcuttur. Son olarak binada hasar gören elemanlar (kolon, perde, kiriş, döşeme) varsa bunlar belirlenir.

İncelenen yapıda sadece onarıma ihtiyaç duyuluyorsa bina hafif hasarlı, onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duyuluyorsa orta hasarlı, güçlendirmenin yapılamayacağı kadar hasar görmüş veya güçlendirme maliyeti bina yapım maliyetinin %50'sini aşıyorsa bina ağır hasarlı olarak nitelendirilebilir. Yapı hasar sınıfları bu şekilde belirlenirse can güvenliği ve ekonomi açısından da uygun çözümler elde edilmiş olur.¹¹

1.4.1. Güçlendirme Çalışmaları

Depremlerden sonra hafif ve orta hatta bazen ağır şiddette hasar gören yapıların tekrar kullanılma isteği, güçlendirme konusunu gündeme getirmiştir. Ülkemizde güçlendirme çalışmaları 1968 de ODTÜ de başlamıştır. Uygulamada karşılaşılan sorunlar, deneyler ve gözlemlerle çözülmeye çalışılmıştır. Dünden bugüne yapılan önemli çalışmalar ve gelişen teknoloji sayesinde bugün uygun güçlendirme çalışmaları yapılabilmektedir (Ersoy U., 2002).

Güçlendirme projesi hazırlayacak olan mühendis, konu hakkında yapılan çalışmalara hakim olmalıdır. Bunun yanında teknolojik gelişmeleri de takip etmeli, projelerini bu bilgiler doğrultusunda hazırlamalıdır.

¹¹ Antonucci, R. Ve Medeot, R. Seismic Protection Of Buildings Through Energy Dissipation And The Base Isolation System: The Italian Experience, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, At-055

1.5. Yapı Hasar Sınıfının Belirlenmesi

HAFİF ORTA AĞIR

Onarım Onarım ve Güçlendirme Yıkım

1.5.1. Onarım ve Güçlendirme

Projeler Hazırlanması

Ekonomik Projenin Belirlenmesi

Projede Uygulanabilirliğin Kontrolü

Proje Uygulama Kontrol görmemiş veya eksik görmüş güçlendirme çalışmaları, yapıyı güçlendirmenin aksine belki deprem karşısında daha zayıf hale getirecektir (Bayülke N., 2001). Onarım ve güçlendirme işlemlerinde iki önemli konu vardır. Birincisi bu işlemler sırasında kullanılacak olan malzemelerdir, ikincisi ise sistemde güçlendirilmesi gereken elemanların güçlendirilme şeklidir. Onarım ve güçlendirme malzemelerini kısaca şöyle açıklamak mümkündür. Eleman veya sistem güçlendirmesi, çeşitli onarım ve güçlendirme malzemeleri kullanılarak yapılır. Kullanılacak olan malzemelerin özelliklerinin ve nerede kullanılacağına çok iyi bilinmesi gerekir. Ayrıca uygulama sırasında imalat hatalarını en aza indirmek amacıyla, mümkün olduğunca kullanımı basit malzemeler seçilmelidir. Malzeme ileri teknoloji ürünü olsa da önemli olan imalatta doğru ve kolay uygulanmasıdır(Celep Z.,2002).

Tamir Harçları: Tamir harçları sistem elemanlarında meydana gelmiş çatlak, beton kabuk dökülmesi, donatının görünmesi gibi durumlarda kullanılır. Perde, kolon, kiriş, döşeme gibi taşıyıcı elemanlarda kullanılabilirler. Tamir harçları hava etkilerine açık olduğundan bu koşullara dayanıklı olmalıdırlar. Yapıda hasar tespiti yapılırken alınan karotlardan dolayı oluşan boşlukların bu tamir harçlarıyla doldurulmaları uygun olur. Tamir harcını uygulamadan önce harç uygulanacak yüzey iyice temizlenmeli toz, kir, harç parçaları gibi nesnelere arındırılarak, yüzey ıslatılmalıdır. Harç donatı ile temas edecekse donatı üzerindeki pas temizlenmelidir. Tamir harçları mala ile sürülerek yüzeye uygulanabileceği gibi, püskürtülerek uygulanabilir. *Püskürtme Beton:* Püskürtme betonun, özellikle kalıp yapmanın zor

olduğu veya ekonomik olmadığı yerlerde, betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasının zor olduğu yerlerde veya betonun ince tabakalar halinde olması gereken yerlerde kullanılırlar. Püskürtme beton kullanımında küçük çaplı donatılar tercih edilmeli, püskürtme sırasında donatı yerinden oynamayacak şekilde yerleştirilmelidir.

Epoksi Reçine: Epoksi ve benzeri reçineler, betonarme perdeler, kolonlar, kirişler ve döşemelerdeki beton çatlaklarının doldurulmasında ve ince çelik elemanları betona yapıştırmak için kullanılır. Uygulamada epoksi, bu türden olan sıvı reçineler (epoksi, poliester, poliüretan gibi) için genel anlamda kullanılır. Epoksi enjeksiyonu uygulamada 0,5-5 mm boyutundaki çatlakları doldurmada başarılı olur. Bu nedenle kullanılan çeşidine göre üreticinin tavsiye ettiği sınır değerlerde kalınması uygun olur. Epoksi işlemi genellikle tek başına güçlendirme aracı değildir. Güçlendirme sisteminin içerisinde yer alır. Özellikle kolon güçlendirmelerinde bileşik kolonun basınç dayanımının epoksi kullanılmadığında gerçek dayanımının %25-50'lere indiği görülmüştür. Eski-yeni kolon ara yüzeyinde genellikle 2 mm kalınlıklı kullanılması uygun sonuçlar vermiştir.

Çelik Şeritlerle Onarım ve Güçlendirme: Betonarme elemanlar enine ve boyuna doğrultusunda çelik şeritler

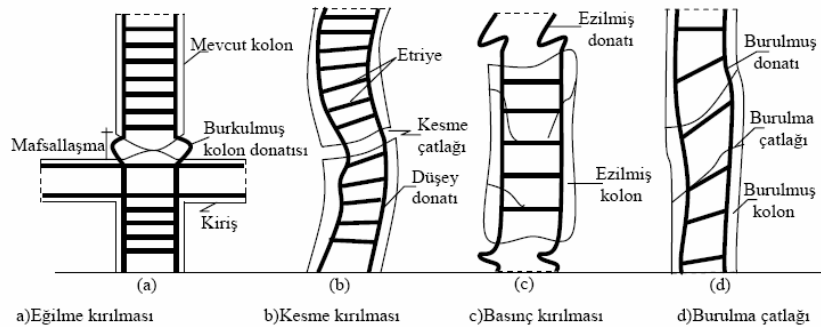
kullanılarak onarılıp, güçlendirilebilir. Dayanımı yüksek ve kalınlığı 1,0-1,5 mm olan çelik şeritler, kiriş ve kolon yüzeylerine epoksi reçinesi ile yapıştırılırlar. Bu güçlendirmede eleman rijitliklerin de bir değişiklik olmadığı sadece eğilme momenti ve kesme kuvveti kapasitelerini artırdığı kabul edilmektedir.

Lifler: Lifler cam, karbon, grafit, kevlar ya da aramide denilen malzemeden yapılırlar. Bu lifler arasında en ucuzu cam liflerdir. Liflerin önemli bir özelliği kopuncaya kadar doğrusal elastik davranmalarındır. Sentetik reçineli ve epoksi ya da bir başka deyişle polimerli ortamın işlevi yalnızca lifleri bir arada tutmaktır.

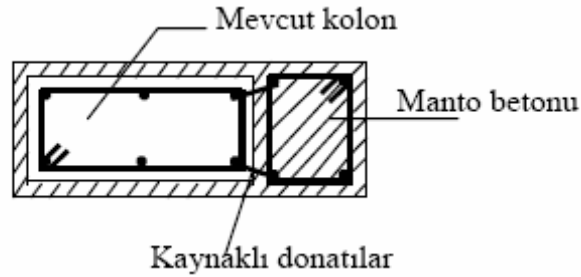
Lif takviyeli plastik levhalarda güçlendirme işlemlerinde kullanılırlar. Bunların kullanımında çelik levhalarinkine benzer. Güç tükenmesi durumunda büyük şekil değiştirmeler yapabilirler çünkü elastisite modülleri oldukça küçüktür.

Yapıda güçlendirme işlemini, hasar gören elemanın güçlendirilmesi veya sistemin güçlendirilmesi olmak üzere iki şekilde düşünmek gerekir. Doğru olan sistemin analiz edilerek, gerekli elemanların güçlendirilmesidir.

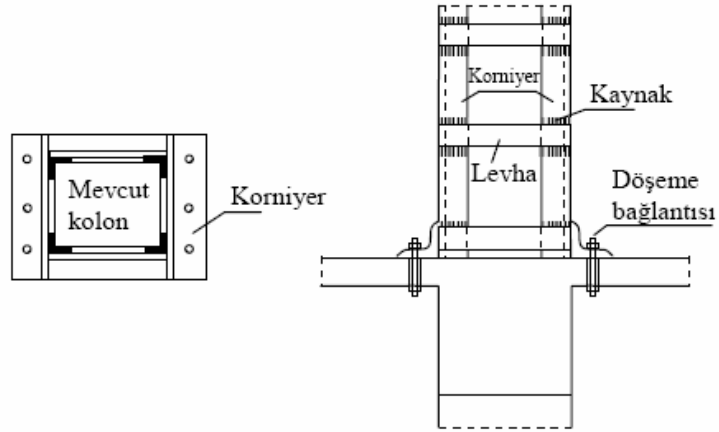
Kolonların güçlendirilmesi: Yük taşıma kapasitesi yetersiz bir kolonun kapasitesi kesit alanının büyütülmesi ve yeni boyuna donatılar ilave edilerek sağlanmaktadır. Kesme kuvveti dayanımı ve sünekliği enine donatıları sıklaştırılarak gerçekleştirilir. Kolonu çelik profillerle de güçlendirmek mümkündür ama genelde tercih edilen bir durum değildir.



Şekil 1.26. Kolonlarda meydana gelebilecek hasar çeşitleri



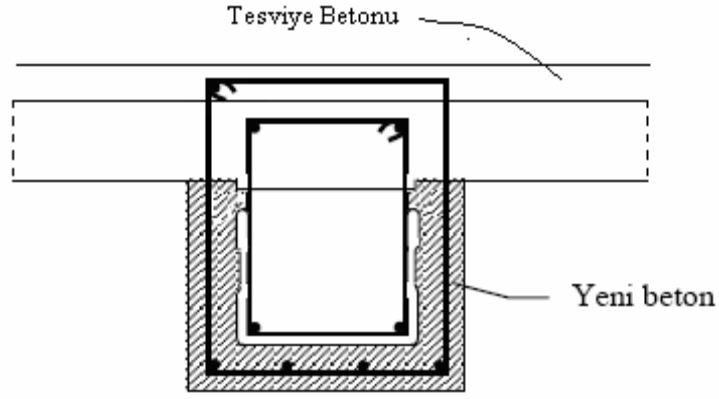
Şekil 1.27. Güçlendirilmiş kolon enkesiti ve uygulamadaki görünüşü



Şekil 1.28. Kolonların çelik mantolama ile güçlendirilmesi

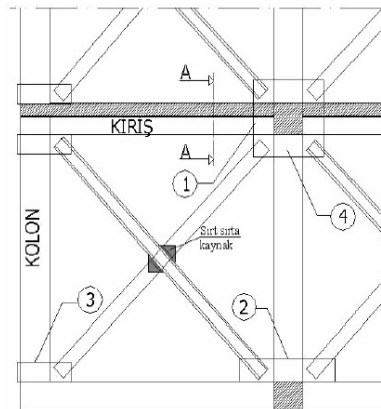
Betonarme perdelerle güçlendirme: Betonarme perdelerle güçlendirmede, mevcut sistemin kapasite bakımından deprem güvenliği artırılırken, taşıyıcı sistemdeki yanal yer değiştirmelerde sınırlandırılır. Güçlendirme perdeleri bina içinde uygun şekilde dağıtılmalıdır. Uygun şekilde dağıtılmayan perdeler deprem kuvvetleri karşısında yapıda burulmalara sebep olacaktır. Uygulamada kapı ve pencereden dolayı boşluklu perde oluşturulduğu takdirde donatı hesabı ve detaylar ayrıntılı şekilde hesaplanmalıdır. Güçlendirme esnasında iki perde yan yana gelmişse, bu perdeleri bağlayan kirişinde gerekli hesapları ayrıntılı bir şekilde yapılmalı gerekirse, kiriş güçlendirilmelidir.

Kirişlerin güçlendirilmesi: Dayanım yönünden güçsüz olan kirişler güçlendirilmelidir. Kirişler güçlendirilirken komşu kolonlarda dikkate alınmalı, kuvvetli kiriş, zayıf kolon oluşumu önlenmelidir. Kirişler gerektiği durumlarda bir veya iki taraftan genişletilebilirler. Güçlendirme kesitinin eski kiriş ve döşeme ile bağlantılarının yapılması gerekir. Şekil 30 da üç tarafından güçlendirilmiş bir kiriş enkesiti verilmiştir.



Şekil 1.29. Güçlendirilmiş kiriş enkesiti

Çelik çaprazlarla güçlendirme: Taşıyıcı sistem betonarme perdeler yerine çelik çaprazlar kullanılarak da güçlendirilebilir. Kiriş ve kolondan oluşan çerçeve içi boşluğuna uygun olarak hazırlanan diyagoneller ile takviyeli çelik konstrüksiyon bu boşluğa yerleştirilir. Kendi içinde bir çerçeve sistem oluşturan bu detayda, diyagonalde oluşan aksel kuvvetler diyagonelleri saran çelik çerçevede yayılarak kolon ve kirişlerin yüzeyi boyunca dağıtılır, böylece betonun ezilmesi önlenir. Bu tür uygulamada öne çıkan sorun çelik çerçevenin betonarme sistemle tam olarak birlikte çalışmasını sağlamaktır. Genellikle tercih edilen bu detayda döşemeler delinerek kolon-kiriş düğüm noktaları çepeçevre levhalar ile sarılarak çelik diyagonaller ile betonarme sistemin birlikte çalışması sağlanmaktadır. Hem çekme hem de basınç kuvvetleri sağlıklı şekilde aktarılır, böylece düğüm noktalarında oluşacak aşırı gerilme yığılmaları dağıtılmış olur.



Şekil 1.30. Çelik çaprazlarla güçlendirme detayı

1.6. Güçlendirme İşlemlerindeki Hatalar

Yapı Hasar Sınıfının Belirlenmesi: Yapı hasar sınıfını, elemanlar üzerinde tahribatlı ve tahribatsız deneylerden sonra belirlemek mümkündür. Ancak projesi dahi bulunmayan yapıların sadece gözlem sonucu hasar seviyesini belirlemek eksik ve yanlış bir tutum olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 1.31. Ağır hasarı gözle tespit edilen bina



Şekil 1.32. Ağır hasarı gözle tespit edilemeyen bina

Şekil 1.31. ve Şekil 1.32 de iki ayrı bina görülmektedir. Şekil 8'deki binanın birinci katı göçmüş durumdadır. Bu binanın ağır hasarlı olduğu ilk bakışta anlaşılmaktadır. Şekil 9 da görülen binada ise duvar ayrılmaları ve sağdaki kolonda kabuk döküntüsü görülmektedir. Bina için görünüşte orta hasarlı olarak belirlenebilir.

Fakat binanın tamamında yapılan incelemelerde binadaki kolon ve kirişlerde plastik mafsalların oluştuğu, binanın x ve y doğrultusunda kalıcı deformasyon yaptığı, donatıların yapıldığı tarihteki standart ve yönetmeliklere göre eksik ve yanlış yerleştirildiği, beton dayanımının gerekli olduğundan az olduğu tespit edilmiştir. Bina güçlendirilerek eski haline getirilecek bir seviyede değildir, yani ağır hasarlıdır. Bu nedenle bina hasar seviyesini belirleyecek, kişilerin veya kurumların gerekli teçhizat ve uzman personele ihtiyacı vardır. Hasar seviyesi ancak yapı üzerindeki ayrıntılı çalışmalar sonucu ortaya konulabilir. Güçlendirme Projesinin Hazırlanması: Proje, güçlendirme tekniklerini bilen daha önce bu işle uğraşmış mühendisler tarafından hazırlanmalıdır.

Ancak bazı hasar gören birçok binada, proje hazırlanmaksızın yani sistem göz önüne alınmadan, sadece elemanlar güçlendirilmektedir. Şekil 8a ve 8b de güçlendirme adına yapılmış bir iş görülmektedir. Şekildeki kalıcı deformasyonlara sahip bina, şekilde görüldüğü gibi anlamsız bir çalışmaya maruz kalmıştır. Bu da hiçbir mühendislik hizmeti almayan, adına güçlendirme denilen çalışmalardan biridir. Uygulama: Bingöl Depremi'nde birçok binada güçlendirme projesinin olmadığını ifade edildi.

Uygulamada mühendislik hizmeti almayan veya çok az alan güçlendirme işlemleri tahmin edilemeyecek kadar fazladır. Sistem için herhangi bir çalışma yapılmadan sadece elemana güçlendirme adı verilen çalışmalar yapılmaktadır. Onarımdan farksız bu çalışmalar binaları güçlendirmek yerine sadece hasarı örtmektedir. Özellikle bazı kolonlarda çatlaklara harç doldurularak güçlendirme adına bir şeyler yapılması olayın önemini anlatmaktadır.



Şekil 1.33. Yanlış güçlendirme yapılan kolonlar ve binanın genel görünüşü

Güçlendirme adına yapılan çalışmalar için sözlerden çok Şekilde her şeyi çok daha iyi ifade etmektedir. Buradaki sorun mühendislik hizmeti almadan yapılan güçlendirmelerdir. Diğer bir sorunda projesi itina ile hazırlanmış imalatın yerinde işçilik ve kontrol eksiklikleri ile istenilen nitelikte yapılamamasıdır. Kontrol: Projeden yoksun olan birçok çalışmanın haliyle kontrol mekanizması da olmamaktadır. Projesi olan işlerde de en önemli sorun genelde hazırlanan projenin uygulamada kontrolünün yapılmamasıdır. Şu andaki teknolojik ve akademik çalışmaların ışığında hasar sınıfı tespit edilmiş ve ayrıntılı bir şekilde güçlendirme projesi hazırlanmış bir yapının, onarım ve güçlendirme işlemlerinin en az kusurla tamamlanabilmesi için kaliteli işçilik ve uzman kontrol kaçınılmazdır.

1.7. Yapılarda Deprem Sonrası Hasar Belirlenmesi Onarım Ve Güçlendirme Yöntemleri

Deprem ile ilgili yönetmelikler genellikle yeni yapılacak yapıların depremde kabul edilebilir davranış göstermeleri için uyulması gerekli kuralları içerir. Bunun gibi deprem tehlikesini gösteren haritalar, zemin şartlarının daha ayrıntılı ve küçük ölçekte belirlenmesi ve deprem hareketinin ölçümü genellikle hep yeni yapılacak yapılara dönüktür. Ancak, depremden sonra binalardaki hasarın tespit edilmesi ve hasar derecesine göre onarım (tamir) ve güçlendirme (takviye) ye veya yıkıma karar

verilmesi de önemlidir. İyi projelendirilmiş veya uygulamasında özen gösterilmemiş binalarda hasar meydana gelme ihtimali, depremin şiddetine bağlı olarak büyüktür. Bunun yanında, projelendirilmesi ve uygulamasına gerekli özen gösterilen binalarda da şiddetli depremlerde hasar meydana gelebilir. Bu sebeple hasarın belirlenmesi ve devamında gerekli güçlendirmenin, yapılması deprem mühendisliği ile inşaat mühendisliğinin önemli dallarından biridir.

1.7.1. Hasar Belirlenmesi Ve Değerlendirilmesi

Hasar belirlenmesinin en önemli zorluğu depremden sonra hemen yapılması gereğidir. Belirlemenin yapıldığı ortam bir afet bölgesi olduğundan çalışma imkanları sınırlıdır. Kısa zamanda yapılması gerektiğinden, özellikle hasarın büyük olduğu durumlarda konu ile ilgili yeterli eleman bulmak zordur. Bu yüzden hasar belirlenmesinin mümkün olduğu kadar uyumlu ve çabuk ortaya çıkması kolay olmayabilir. Bilgi toplama formları, kolay kullanma ve sistematik olmaları yönünden çoğu zaman bu gayeye uygun düşer. Elde edilen bilgilerin onarım ve güçlendirme açısından değerlendirilmesi ise genellikle daha rahat bir ortamda yapılır.

Hasar belirlenmesi ve değerlendirilmesinin gayeleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

a) Deprem sonucu göçmeye yaklaşan veya göçen binalar belirlenip; buralarda oturanları başka yerlere taşıyarak can kaybı önenebilir. Genellikle yıkıcı ana depremi, birkaç ay bile geciken daha az şiddetli izler ve dayanım zayıflayan binalar göçme durumuna getirilebilir.

b) Toplanan bilgilerin değerlendirilmesi ile depremin şiddeti, çeşitli derecelerde hasar görmüş ve kullanılabilir binaların sayısı belirlenebilir. Bunun sonucu olarak insanların esas faaliyetleri düzenlenebilir.

c) Elde edilen bilgilerin sistematik sınıflandırılmasıyla; yardım, onarım ve güçlendirme işleri organize edilebilir.

d) Deprem tehlikesi olan bölgeler gerçekçi anlamda belirlenebilir. Görülen eksiklerin belirlenmesiyle gelecekte bu tür faaliyetlerin daha az eksikli olması sağlanabilir.

e) Hasarların belirlenmesi ve sınıflandırılmasıyla, bunun sonucu olarak yapılacak onarım ve güçlendirme sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilir.

f) Hasar gören binaların ve bunların elemanlarının özellikle belirlenerek, yeni yapılacak binaların plan ve projelendirilmesinde bu bilgilerin kullanılmasıyla deprem tehlikesinin azaltılması sağlanabilir.

g) Mevcut deprem, projelendirme ve inşaat yönetmelikleri geliştirebilir. Hasar belirlenmesi ve değerlendirilmesinde önemli noktalar özetle aşağıdaki gibi sıralanabilir.

a) Binalarda hasar belirlenmesi, bunların sınıflandırılması ve kullanım için karar verme,

b) Hasar belirlenmesi yapılabilmesi için gerekli işlemler,

c) Yapıların belirlenmenin sistematik bir şekilde değerlendirilmesi ve bunun sonucu olarak oluşan zarar ve can kayıplarının belirlenmesi,

d) Elde edilen bilgilerin genel anlamda deprem tehlikesinin azaltılması için kullanılması.

1.8. Deprem Hasarlarının Türleri

Deprem sırasında yapılarda hasar çeşitli sebeplerle ortaya çıkar. Bunlardan en önemlisi, yer hareketi sonucunda taşıyıcı sistemin dayanımının sona ererek, kısmi veya toptan göçmenin meydana gelmesidir. Bunun yanında, sistemin elemanlarından büyük dayanım azalmalarının oluşması da, taşıyıcı sistemi zayıflattığı ve benzer depreme karşı koyamaz duruma getirdiği için önemlidir. Ayrıca yer hareketi; temel altı zemini etkileyerek, zeminin taşıyıcılığının azalmasına veya temelde farklı çökmelerin oluşmasına, dolayısıyla taşıyıcı sistemde hasara sebep olabilir. Deprem sırasında akarsu havzalarında ve kıyı bölgede sık rastlanan bir olayda zeminin sıvılaşmasıdır. Yer hareketi sonucu yükselen yer altı su seviyesi, titreşim etkisi ile, ince taneli zemin ve kumu suya dolgun duruma getirir. Deprem hareketi süresince zeminde meydana gelen yön değiştiren kayma gerilmeleriyle zemin sıvı gibi akıcı duruma gelir. Özellikle, suya doygun kumun bulunduğu ovalık yerlerde, hemen

hemen her önemli depremde zemin sıvılaşması meydana gelir. Bu tür hasarın önlenmesi oldukça zordur. Fay haritalarının yeterli hassaslıkta yapılması ve buralardan uzak durulması alınabilecek tek tedbir olarak söylenebilir.

1.8.1. Hasar İle İlgili Bilgi Toplama

Depremden hemen sonra hasarın belirlenmesi ve değerlendirilmesi en önemli nokta, bunlarla ilgili olan grupların birbiri ile uyumlu olarak çalışmalarıdır. Bu uyum, baştan kabul edilecek bir yöntemin uygulanmasıyla, misal olarak hazırlanan bir formun doldurulup değerlendirilmesiyle sağlanabilir. Tablo 1.de UNDP/UNIDO tarafından hazırlanan hasar belirleme tablosu değiştirilerek verilmiştir. Burada Madde 18’de verilen hasra dereceleri değerlendirilirken aşağıdaki sınıflandırma öngörülmüştür.

1. Yok: Taşıyıcı elemanda görünür çatlak yok. Duvar ve duvar ile çerçevenin birleşim çizgilerinde çatlak var.

2. Hafif: Duvar ve tavanda çatlaklar. Sıva dökülmesi. Taşıyıcı elemanlarda deprem dayanımını etkilemeyen küçük çatlaklar.

3. Orta: Taşıyıcı duvarlarda köşegen veya diğer çatlaklar. Kolon, kiriş ve perdelerde büyük çatlaklar.

4. Ağır: Duvarlarda ezilmeli büyük çatlaklar. Kolon, kiriş ve perdelerde küçük ayrılmalar.

5. Çok Ağır: Taşıyıcı elemanlar ve birleşim bölgelerinde çok fazla hasar ve ayrılmalar. Binanın tümünde çarpılma. Kısmen veya tamamen göçme. Veri toplamada en zor iş, deprem sonrası şartlar içinde çalışma güçlüğüdür. İşe başlamadan her gruba bir günlük kısa bilgi vermek ve onlarla ilk değerlendirmeyi yapmak önemlidir. Veri toplamanın başarılı olması, genellikle bu hazırlığa önemli ölçüde bağlıdır. Böyle bir işlemin genellikle depremden sonraki bir veya iki ay içinde yapılması uygundur. Genellikle bir belirleme ve veri toplama grubu iki inşaat mühendisi ve elemandan oluşur. İnşaat mühendislerinden biri mimar fa olabilir. Yanlarına; belirleme formu ve bölgenin haritasını, fotoğraf makinesi, şerit metre çekiç ve not defteri almaları uygundur.

1.8.2. Toplanan Bilgilerin Değerlendirilmesi

Bilgi formunun bilgisayarla değerlendirilebilecek şekilde hazırlanması önemlidir. Böylece kısa zamanda sonuç alınabilir ve hasar sınıflarına bağlı olarak binanın kullanılabilirlik durumuna ve yerleşim bölgelerine göre bilgiler değerlendirilip grafikler şeklinde sonuçlar bulunabilir. Ayrıca, depremde en önemli husus olan can kaybı ile binalardaki hasar derecesi, taşıyıcı sistem türü arasındaki ilişkiler elde edilebilir.

1.9. Hasar Belirleme Raporu

1. İl / İlçe / Köy
2. Binanın Tanımı
 - 2.1. Yerleşim no
 - 2.2. Tespit grup no
 - 2.3. Bina no
 - 2.4. Binanın mülkiyeti
 1. Mal sahibi 2. Kiracı 3. Hisseli
3. Binanın asal eksen doğrultusu
 - 1 .KG 2. DB 3. K45D 4. K45
4. Binanın bloktaki konumu
 1. Köşe 2. Orta 3. Serbest
5. Kat sayısı
 - 5.1. Zemin üstü 5.2. Bodrum
6. Plandaki bina alanı
7. Kullanım maksadı
 1. Konut 2. İşyeri 3. Kamu
 - 7.1. Zemin üstü katlar
 - 7.2. Zemin kat
8. Bağımsız konut sayısı
9. Binanın yaşı
10. Taşıyıcı sistemin türü (üç rakamlı sayı)

Binanın bu yönetmeliğinin eski ve daha gevşek kayıtlarına göre ve bazen hiç dikkate alınmadan inşa edildiği unutulmamalıdır. Yapıldığı zamanda deprem yönetmeliğine uygun boyutlandırılmış olan bina, yeni yönetmeliğe göre güvensiz olabilir. Açıklanan teknik işlemler yürütülürken, konu ile ilgili mal sahibi ve kamu yöneticilerine; hasarın onarımı ve yapının güçlendirilmesinin maliyetleri konusunda bilgi vermek de gerekir.

1.10. Mevcut Yapının Değerlendirilmesi

Yapının güçlendirilmesi işlemini en zor problemi, mevcut yapının değerlendirilmesidir. Çoğu zaman mühendis, statik ve betonarme hesap ve çizimleri olmayan bina ile karşı karşıya gelir. Bu belgelerin bir kısmının veya hepsinin tam olması, imalatta bunlara ne kadar uyulduğunun bilinmesi sebebiyle problemi tamamen çözmez. Eldeki proje ile mevcut yapı arasında önemli farklar olabilir veya daha sonra ilaveler yapılmış olabilir. Bu sebeple değerlendirmede deneyim önemli yer tutar. Değerlendirme aşağıdaki adımların izlenmesiyle yapılabilir. Bu bölümde verilen ilkeler mevcut binaların deprem öncesi depreme dayanıklılıklarını tahmin etmek gayesiyle kullanılabilir.

Taşıyıcı Sistem Düzeyi Depremde dayanıklı olan bir taşıyıcı sistemde yatay yükleri her iki doğrultuda karşılayacak çerçeveler oluşturulması ve kolon ve perde gibi düşey taşıyıcılar temelden çatıya kadar sürekli olarak devam etmesi en önemli iki husustur.

Kiriş – Kolon Birleşim Bölgeleri Kiriş – kolon birleşim noktalarında eksenler en fazla % 20'lik bir dış merkezlikle kesişirler. Bu suretle önemli ek etkilerin meydana gelmesi önlenmiş olur. Bir birleşim bölgesine bir düşey düzlemdeki kirişlerin moment kapasiteleri, kolonların moment kapasitelerinden küçüktür. Böylece yapının toptan göçme tehlikesinden uzak kalır.

Burulma etkileri Yatay yük taşıyan eleman (çerçeve ve perdeler) yapının planında dengeli biçimde dağıtılmıştır. Rujitlik merkezi ile kütle merkezi arasında uzaklık, karşı gelen doğrultudaki bina boyutunun %20'sinden azdır. Daha fazla olması, önemli ek burulma etkilerini ortaya çıkarır.

Dayanım, Kütle ve Rujitlik SüreliğiDüşey elemanlarının yatay dayanımları, kütle rutijlik düşey doğrultuda ani değişiklik göstermeden, sürekli olarak değişir. Bu tür değişiklikler % 25 civarında kalır. Yumuşak zemin kat üzerinde rujit katlar bulunması, deprem hasarının sistemde düzgün yayılmayıp, zemin katta yoğunlaşmasına ve binanın göçmesine sebep olur.

Yatay Yük Dayanım KatsayısıBir yapının en alt katının yatay yük taşıma kapasitesi ile taşınması gerekli yatay yükün oranı yapının depreme dayanımının bir ölçüsü olarak alınabilir. Konsol türünden olan bir yapıda en alt kattaki kolonların toplam kesme kuvveti, toplam deprem kuvvetine eşittir. Bu kesme kuvvetinin normal kuvvetle orantılı olduğu kabul edilirse;

$$R_0 = V \text{ kapasiteli} / V \text{ gerekli} = C \text{ kapasiteli} / C \text{ gerekli}$$

şeklinde bir yatay yük dayanım katsayısı tarif edilebilir. Burada C kapasite kolonunun taşıma gücünden bulunan yatay yük katsayısına ve C gerekli ise yönetmeliğin öngördüğü deprem katsayısına karşı gelmektedir. Esas olarak $R_0 \geq 1.0$ olması beklenmekle birlikte yapının depreme dayanımı açısından, yukarıda açıklanan süreklilik, düzenlik ve yapı kalitesi bakımından uygun olması, daha küçük R_0 değerlerinin de yeterli kabul edilmesini sağlar. Örneğin sözü edilen özellikler açısından iyi bir yapı için $0.5 < R_0 < 0.8$ kabul edilebilir bir aralık iken, kötü olan bir yapı için $0.8 < R_0 < 1.0$ aralığı bile yetersiz olabilir.

Alt kat kolonların yatay yük dayanım katsayısı C kapasite bazı basitleştirici kabuller yapılarak yaklaşık olarak elde edilebilir. Kolondaki $V = C N$ kesme kuvvetinin kolon ucunda meydana getirdiği moment $M = C N x y H$ olarak yazılabilir. Burada moment sıfır noktası yüksekliği Y_h kabul edilmiştir (Şekil 1).

Buna göre kolondaki dışmerkezklik oranı

$$e = M / N = C N y H / N = C y H$$

$$h / N h = N h / h$$

olarak bulunabilir. Boyutsuz eğilme momenti ve boyutsuz normal kuvvet

$$m = M / N h = N h / N h$$

büyüklerinin oranı

$$m/n = M / (Nh) = e/h$$

şeklinde belirir. Boyutsuz moment ve normal kuvveti esas alan deki karşılıklı etki diyagramında her $m/ n =$ sabit değeri başlangıçtan geçen bir doğruya karşı gelir. Hesap için önce kolonda düşey yüklerden oluşan normal kuvvet esas alınarak (3) den boyutsuz normal kuvvet bulunur. Kesitin karşılıklı etki diyagramına bulunan değer taşınarak karşı gelen e / h oranı belirlenir. Moment sıfır noktası katsayısı için uygun bir değer alınarak (2) den C katsayısı bulunur. Kolon taşıma gücü esas alınarak bulunan değer C kapasite kapasite olur. Sonuç olarak yatay yük dayanım katsayısı ise (1) den hesap edilir. Kolonların yaklaşık olarak aynı h değerine ve donatına oranın sahip olduğu kabul edilirse bu işlem tüm yapı ağırlığını kolon kesitlerini toplamına bölerek bulunan ortalama değer

$$N = \sum N = W$$

$$0.85 f_{cd} S_{bh} \leq N \leq 0.85 f_{cd} S_{Ac}$$

yardımı ile bir kerede yapılabilir. Böylece yapının en çok zorlanan bölümün alt katında (gerekirse üst katlarda da) var olan yatay yük taşıma kapasitesinin gerekli olan değere oranı, R_0 belirlendikten sonra yapının özelliklerine de bağlı olarak güçlendirme gerekip gerekmediğine veya ne düzeyde güçlendirme gerektiğine karar verilebilir .bu karar verimli aşamasında kullanılmak üzere yapı, depreme dayanım açısından, düzenlilik, süreklilik, malzeme kalitesi, yapım da gösterilen özen gibi özelliklere göre 1) iyi 2) orta 3) belirsiz veya kötü olmak üzere üç ana gruba ayrılabilir. Bu üç grup için R_0 yatay dayanım katsayısı da göz önüne alınarak yapı değerlendirilir.

İKİNCİ BÖLÜM

GÜÇLENDİRME SAFHALARI

2.1. İnceleme Safhası

2.1.1. Geoteknik Etüt Yapılması

Onarım ve güçlendirme projesi yapılacak olan bir yapıda öncelikle kapsamlı geoteknik etüdlerin yapılması gerekmektedir. Geoteknik etüdlere, projenin tasarım ve hesaplarında kullanılmak üzere en az zemin sınıfı, zeminin emniyetli taşıma gücü, zemin yataklanma katsayısı, zemin hakim titreşim periyodu parametreleri ve bu parametrelerin bulunmasında kullanılan laboratuvar deney sonuçları bulunmalı ve bu etüdlere konusunda uzman bir inşaat mühendisi tarafından tetkik edilmelidir.¹²

2.1.2. Röleve Çıkarılması

Mevcut yapının varsa projeleri temin edilmeli, projeleri bulunmayan yapıların taşıyıcı sistem rölemleri ve mimari rölemleri çıkarılmalıdır. Bu rölemler üzerinde yapının hasar gören taşıyıcı elemanlarının hasar durumları işlenmeli ve proje üzerinde gösterilmelidir.

2.1.3. Malzeme Kalitesinin Tanımlanması

Onarım ve güçlendirme projesi yapılacak olan yapının mutlaka mevcut malzeme kalitesinin tanımlanması gerekmektedir. Yapının mevcut **beton kalitesinin** doğru olarak tanımlanması, yapıdan karot numunesi alınması ile mümkündür. Yapıdan karot numuneleri alınırken ve test edilmesinde TS-10465'in bütün kaidelerine uyulmalı, ayrıca karot alınırken taşıyıcı elemanlara hasar vermemek amacıyla kolonlardan moment sıfır noktasından, perdelerde gövde bölgesinden, kirişlerde çekme bölgelerinden numune alınmalıdır.

Karot numuneleri laboratuvar ortamında serbest basınç deneyine tabi tutulduktan sonra projeci tarafından TS-10465'e göre değerlendirilerek mevcut beton basınç dayanımı bulunmalı, deney sonuçları ve değerlendirme raporu proje ekinde

¹² Başyigit, Celalettin Ve Gençer, Özlem Ve Terzi, Serdal, 2000, Depremde Hasar Gören Betonarme Yapıların Onarımı Ve Güçlendirilmesi, Deprem Araştırma Bülteni, 83

verilmelidir. Beton kalitesinin yanında **donatı kalitesinin** de belirlenmesi gerekir. Onarım ve güçlendirme projesi yapılacak olan yapının mevcut betonarme projeleri bulunmuyorsa yapının düşey taşıyıcı elemanlarının donatı adet ve çapları profometre ile tespit edilmeli veya düşey ve yatay taşıyıcı elemanların belirli bölgelerinde pas payları kaldırılarak mevcut yapının donatı rölevesi çıkarılmalı ve mevcut röleve planlarına işlenmelidir.

2.2. Projelendirme Safhası

2.2.1. Mevcut Yapının Analizi

Mevcut yapı, doğruluğu kanıtlanmış statik veya statik-betonarme hesap programları ile 3 boyutlu olarak modellenmeli, modellemede geoteknik etüd sonucunda bulunan zemin parametreleri ve mevcut beton kalitesi, elastisite modülü, donatı kalitesi, donatı adet ve çapları tanımlanmalıdır. Proje tarafından yürürlükteki A.B.Y.Y.H.Y-1998 ve ilgili Türk Standartlarına göre yapılan statik hesaplar proje hesap raporlarında verilmelidir. Mevcut yapının statik hesap raporlarında düşey taşıyıcı elemanların mevcut beton, donatı kalitesi, donatı adet ve çaplarına göre eksenel yük ve eğilme momenti taşıma gücünün aşılma oranları tablolar halinde verilmelidir. Proje hesap raporlarında yapının mevcut durumdaki varsa hasar sebepleri “İnceleme Safhası”nda yapılan çalışmalar ve mevcut yapının analizi sonucunda belirtilmelidir. Bu çalışmanın sonucunda yapının mevcut haliyle korunması veya takviye edilmesi veya yıkılması alternatifleri değerlendirilerek gerekçeleri ile birlikte hesap raporlarında belirtilmelidir.¹³

2.2.2. Takviyeli Durum Hesapları

Analiz edilmesi sonucunda takviye edilmesi gerektiği kanaatine varılan yapıda takviye metodunun seçilmesi gerekmektedir. Örnek olarak en sık kullanılan yöntemlerden betonarme perdelerle güçlendirme yöntemi ele alınırsa;

- Yapıya konacak takviye perdeleri yapının mimari fonksiyonlarına en az müdahale içerecek şekilde düzenlenmelidir.

¹³ Arıoğlu, Ergin Ve Arıoğlu, Nihal Ve Yılmaz, Ali Osman, Zemin Sıvılaşması, [Http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm](http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm)

- Betonarme takviye perdeleri TDY-98 Tablo 6.1’de tarif edilen A1 burulma düzensizliğini oluşturmayacak şekilde ve planda simetriye dikkat edilerek yerleştirilmelidir.
- Takviye projesi statik hesaplarında kullanılan bilgisayar programları mevcut yapıdaki beton ve donatı kalitesi ile takviye elemanlarının beton ve donatı kalitelerinin ayrı olarak tanımlanabilmesine olanak vermeli; bu tanımlamanın yapıldığı statik hesap raporlarında gösterilmelidir.
- Yapıya konan takviye perdeleri yapı yüksekliği boyunca sürekli olmalıdır.
 - Statik hesaplarda TDY-98’de belirtilen düzensizliklerin oluşmamasına dikkat edilmeli ve 6.10.1.2’de belirtilen göreceli kat ötelenmeleri sınır değerlerin altında kalmalıdır.
 - Yapıya konulan takviye perdeleri T.D.Y 98 7.6.1.2’de verilen koşullarını sağlamalıdır.

Yapıya konan takviye perdelerinin yapıyı yeterli deprem güvenliğine ulaştırdığı kanaatine varıldığı takdirde aşağıda belirtilen kontroller yapılmalıdır.

- Takviye perdelerinin her bir katta x/y yönü taban kesme kuvvelerinin %70’ini aldığı hesap raporlarında gösterilmelidir.
- Her bir takviye perdesinde ankraj hesapları yapılmalı, kontroller tasarım kesme kuvvetinin tümünün ankraj çubukları tarafından aktarıldığı kabulüne göre yapılmalıdır.¹⁴

¹⁴ Celep, Zekai, Mevcut Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi Ve Güçlendirilmesi, [Http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm](http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm)

2.3. Güçlendirme Sınıflandırılması

Yapıların güçlendirilmesinde esas alınan sınıflandırma iki çeşittir. Bunlar yapının önemine, kat sayısına ve diğer özelliklerine göre kapsamlı güçlendirme ve basitleştirilmiş güçlendirmedir.

Tablo 2.1. Güçlendirme Sınıfları

	Yüksek olmayan betonarme ve yığma bina (7 ve daha az katlı)		Yüksek betonarme bina (8 ve daha çok katlı)	Çelik Yapı
	Az katlı (Betonarme 1-3, yığma 1-3)	Çok katlı (Betonarme 4-7, yığma 4-7)		
Konut	Basitleştirilmiş Güçlendirme	Basitleştirilmiş ya da kapsamlı güçlendirme	Kapsamlı Güçlendirme	Kapsamlı Güçlendirme
Önemli Yapı	Kapsamlı Güçlendirme			

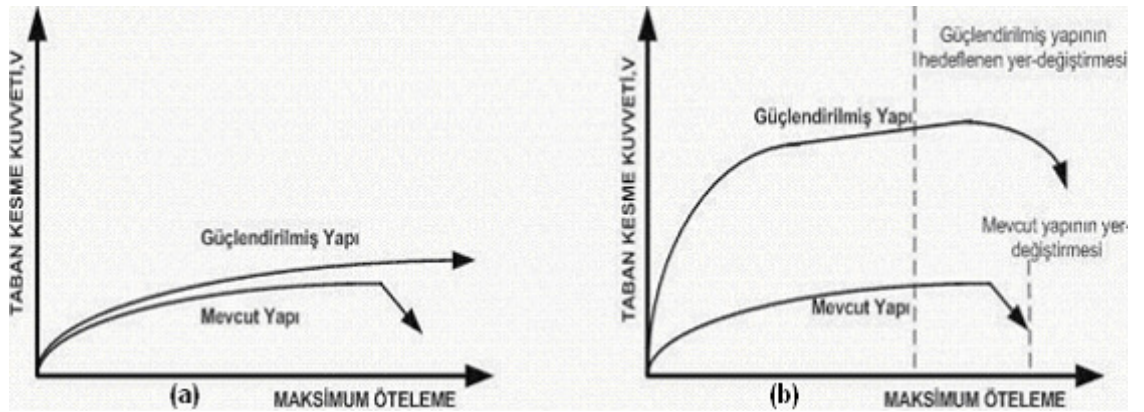
Basitleştirilmiş güçlendirme çerçevesinde yapılacak işlemler;

- Taşıyıcı Duvarların arttırılması,
- Bölme duvarlarının klasik yöntemlerle taşıyıcı hale dönüştürülmesi,
- Öndöküm betonarme panellerle taşıyıcı sistem oluşturulması,
- Bodrumda çevre perdesi yapılması,
- Kat azaltılması,
- Ağır balkonların ve parapetlerin kaldırılması,
- Binada mevcut düzensizliklerin kaldırılması,
- Bölme duvarların lif takviyeli kompozitlerle taşıyıcı hale dönüştürülmesi, olarak sıralanabilir.

Kapsamlı güçlendirme kapsamında ise;

- Yapı taşıyıcı sisteminin dayanımını ve rijitliğini arttırmak,
- * betonarme perde eklemek,
- * diyagonalli çelik çerçeveler eklemek,
- Sistemin sünekliliğini arttırmak,
- * kolonlarda kuşatma yapılması (çelik levhalarla mantolama)
- * yerel rijitlik azaltılması (kısa kolonların etrafının açılması, duvar azaltılması v.b.)
- Deprem etkilerini azaltmak,
- * sismik izolasyon yapılması,
- * kat adedinin azaltılması, sıralanabilir.

Şekilde kapsamlı ve basitleştirilmiş güçlendirmeler arasında bir karşılaştırma yapmak mümkündür.



Şekil 2.1. Basitleştirilmiş güçlendirme(a) ve kapsamlı güçlendirme(b) karşılaştırılması.

Betonarme Yapılarda Çatlak Tipleri Tablosu

A) Yapısal Çatlaklar

Bu tip çatlaklar, yapının işlevi gereği taşıması zorunlu gerilmelerden kaynaklanır. Bunlar, projesi olmayan, zemin problemi çözülmemiş yapılarda meydana gelirler ve çok tehlikelidirler; beton dökümü ve döküm koşulları ile ilgileri yoktur. Bu durumlarda mutlaka yetkili mercilere (mühendislik bürosu, üniversite vb) başvurulmalıdır. Yapı doğru projelendirildiği ve aşırı yüklem olmadığı durumlarda böyle bir sorun yaşanmaz. Bu tip çatlaklar, betonarme eleman içinde çekme gerilmelerine dik yönde oluşur. Basit bir kirişin açıklık ortasında oluşan veya bir konsol mesnetin üstünde görülebilen çatlaklar bu tiptendir.

B) Uygulama Kökenli Çatlaklar

Bu tip çatlaklar taze veya yaşlanmış betonlarda görülür.

1-Taze Beton Çatlakları

Taze beton çatlakları, betonun kalıba yerleştirilmesini izleyen ilk 30 dakika ile 5 saat arasında, genelde döşeme gibi geniş yüzeye uygulanan betonlarda görülür. Bu çatlaklar, 10 cm 'ye erişen derinlikte ve birkaç cm 'den başlayarak, 2 m'ye varan uzunluklar olabilir. Derin ve uzun çatlaklar betonun mukavemeti ve dayanıklılığı açısından son derece zararlı olabilir. Taze beton çatlaklarının en önemli iki nedeni olarak oturma farklılıkları ve plastik rötre (büzülme) sayılabilir.

a.Oturma Çatlakları

Bu çatlaklar, yeni dökülmüş, pas payı bırakılmamış, kürü uygulanmamış, gereğinden fazla su ile karılmış betonlarda, boşluklu betonarme elemanlarda, donatının fazla olduğu bölgelerde ve betonun uygun yerleştirilmediği durumlarda, üst yüzeye yakın donatıların hemen üzerinde oluşurlar. Taze betonda iri agrega taneleri dibe doğru çökerken, çimento partiküllerini içeren su yüzeye çıkar. Yüzeye yakın kiriş ve döşeme donatıları bu yer değişimine karşı koyar ve taze beton bu bölgelerde tam olarak oturamaz.

Oturmasını yapamayan beton demir boyunca çatlar. Döşemeler ince olduğu için oturma azdır, pek çatlama görülmez. Kirişler daha derin olduğu için oturma çok olabilir ve demirlerin haritası beton yüzeyine çıkar, çatlaklar donatıların yerini belli eder. Betonun suyu arttıkça oturma artar. Beton iyi yerleştirilmez, sıkılanmaz, vibrasyon uygulanmazsa oturma yine artar. Dolayısıyla çatlama da. Bu çatlakları

önlemenin yolu normal kıvamda (-12 cm çökme) beton kullanıp, yüksek kıvamlı aşırı sulu betonlardan kaçınmak ve betona iyi vibrasyon uygulamaktır.

b.Plastik Rötme (Büzülme) Çatlakları

Bu tip çatlaklar, özellikle sıcak, kuru, rüzgarlı günlerde dökümü yapılan betonlarda (döşeme, yer, yol, pist,... betonları) görülen; rastgele dağılmış, çeşitli boylarda ve genişliklerdeki çatlaklardır. Genelde çatlak genişliği 1 mm' den azdır ve yüzeyseldir, derine gitmez, yapı güvenliği açısından tehlikesi yoktur. Döşeme betonu dökülünce üst yüzeyindeki su buharlaşmaya başlar, betonu terk ederek havaya karışır, bu suyun yerine betonun bünyesindeki su yukarı, üst yüze doğru gelir (kusulan su). Buharlaşma hızı, su kuma hızından yüksekse betonun yüzeyi kurumaya, dolayısıyla büzülme ve çatlamaya başlar. Aynı çatlaklar, yeni dökülen betonun altındaki eski, ıslatılmamış betonun veya asmolen tabliyelerindeki briket gibi diğer malzemelerin beton suyunu emmesi sonucu da oluşabilir.

Buharlaşma hızını artıran faktörler bellidir :

Hava Sıcaklığı: Hava sıcaklığı arttıkça buharlaşma artar. Sıcaklığın 10 °C artması buharlaşmayı yaklaşık 2 kat artırır. Beton havadan daha sıcaksa buharlaşma daha da hızlanır.

Havanın Rutubeti: Havadaki rutubet azaldıkça (hava kurudukça) buharlaşma kolaylaşır ve hızlanır. Nispi rutubet %90'dan %5' e indiğinde buharlaşma beş kat artar.

Rüzgarın Hızı: Rüzgar arttıkça buharlaşma hızı artar. Rüzgarın hızı sıfırdan saatte 20 km 'ye çıktığında buharlaşma 4 kat artar.

Güneş Işınları: Beton yüzeyi güneş ışınlarına açıksa betonun yüzey sıcaklığı artar ve buharlaşma hızlanır.

Betonun su kuma hızını etkileyen iki temel faktör, Betonun Doluluğu ve Agreganın Granülometrisi'dir. Agreganın granülometrisi ne kadar az boşluklu ise betonun mukavemeti o kadar yüksek olur, ama boşluk olmadığından kuma suyunun yukarı çıkması zorlaşır, gecikir; su kuma hızı azalır. Buharlaşma suyunun yerine kuma

suyu gelemeyince betonun yüzeyi kurur ve çatlaklar. Hazır betonda granülometri iyi ayarlandığından su kasma zorlaşır, plastik rotre çatlakları artar.

Plastik rötreyi ve buna bağlı çatlakları azaltmak için alınacak önlemler şunlardır:

- Beton döküleceği kalıbı ve donatı demirlerini nemlendirerek, kalıp elemanlarının, betonun suyunu emerek kurummasını hızlandırmalarına engel olun.
- Betonu güneşten (gölgelik yaparak veya akşam dökerek), sıcaktan (akşam dökerek) ve rüzgardan (rüzgarlık yaparak) koruyun.
- Suyun buharlaşmasını önleyin (ıslak çuval, naylon örtü örterek veya kür maddesi sürerek veya püskürterek)
- Yeterli sayıda ve beceride işçi kullanarak betonu hızlı dökün, masterlayın ve hemen küre başlayın, en az 3 gün boyunca kürü sürdürün.

Plastik rötre çatlakları yarım saat - kırk beş dakika içinde, yani daha betonlama işi tamamlanmadan çok önce başlayabilir. O nedenle betonlama işi devam ederken bitirilen bölümlerde koruma önlemlerinin alınması gerekebilir. Masterlanılan bölgelere naylon örtülerek, nemli örtü örtülerek, kür maddesi sürülerek bu önlemler peyderpey alınmış olur. Önlem alınmadığı takdirde, beton sıcaklık, rutubet ve rüzgar durumuna göre az veya çok çatlaklar. Bu çatlakları azaltarak asgariye indirmek sizin elinizdedir.

2. Yaşlanmış Beton Çatlakları

Bu tip çatlaklar, değişik yaş gruplarındaki (birkaç haftadan 30 yıla kadar) betonlarda görülebilir. Çatlaklar, fiziksel veya kimyasal kökenlidir. Bunlar, önce kılcal görünümde, ardından büyüyen ve birleşen çatlaklardır. Çatlakları takiben beton yüzeyinde soyulma, dökülme ve patlamalar görülür. Önlem alınmadığı takdirde, betonarme elemanlar zamanla tamamen tahrip olabilir. Bu çatlakların nedenleri arasında donma - çözülme, alkali - aktif silis reaksiyonu, karbonatlaşma, donatının korozyonu/paslanması, sülfat - asit -tuz gibi beton için zararlı maddelerin yol açtığı reaksiyonlar sayılabilir.

Tablo 2.1. Güçlendirme Yöntemleri

BETONARME BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

Bu bölümde verilen eleman ve sistem güçlendirme yöntemleri uygulamada sıkça kullanılan teknikleri kapsamaktadır. Ancak burada kapsanmayan güçlendirme türleri, bu bölümün genel yaklaşımına ve ilkelerine uymak koşuluyla uygulanabilir.

1. Kolonların Sarılması

Kolonların sünekliğini arttırmaya yönelik olarak kesme ve basınç dayanımlarının artırılması, bindirmeli eklerin zayıflıklarının giderilmesi için aşağıda verilen yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler ile kolonların eğilme kapasitesi arttırılmaz.

1.1- Betonarme Sargı:

Mevcut kolonun pas payı sıyrılarak veya yüzeyleri örselenerek uygulanacaktır. Betonarme sargı gerek yatay, gerekse düşey donatının yerleştirilmesi, beton dökülmesi ve minimum pas payının sağlanması için yeterli kalınlıkta olmalıdır. En az sargı kalınlığı 100 mm'dir. Betonarme sargı alt kat döşemesinin üstünde başlar ve üst kat döşemesinin altında sona erer.

1.2- Çelik Sargı:

Çelik sargı dikdörtgen betonarme kolonların köşelerine dört adet boyuna köşebent yerleştirilmesi ve köşebentlerin belirli aralıklarla düzenlenen yatay plakalarla kaynaklanması ile oluşturulur. Köşebentler ile betonarme yüzeyler arasında boşluk kalmamalıdır. Yatay plakalar dört yüzeyde sürekli olmalıdır. Çelik sargının kolon eksenel yük kapasitesini arttırması için korniyerlerin alt ve üst döşemeler arasında sürekli olması (boşlukların alınması) ve döşemelere başlık plakaları ile basınç aktarması aktarımının sağlandığı hesapla gösterilmelidir. Gerekirse köşebentlere ön yükleme yapılarak mevcut betonarme kolon kesitinin düşey yüklerden kaynaklanan eksenel basınç yükü azaltılabilir.

1.3 - Lifli Polimer (LP) Sargı:

LP tabakasının kolonların çevresine, lifler enine donatılara paralel olacak şekilde, sarılması ve yapıştırılması ile sargılama sağlanır. LP sargısı ile betonarme kolonların süneklik kapasitesi, kesme ve basınç dayanımları ile boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda donatı kenetlenme dayanımı artırılır. LP sargılama ile yapılan güçlendirmelerde tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalı ve sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır. LP sargısı dikdörtgen kolonlarda kolon köşelerinin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanır. LP uygulaması üretici firma tarafından önerilen yönteme uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

2. Kirişlerin Sarılması

Betonarme kirişlerin sarılmasının amacı, kirişlerin kesme dayanımlarının ve bazı durumlarda süneklik kapasitelerinin artırılmasıdır. Aşağıda verilen yöntemler ile kirişlerin eğilme kapasitesi artırılamaz.

2.1 - Dıştan Etriye Ekleme:

Kesme dayanımı yetersiz olan kiriş mesnet bölgelerinde gerekli sayıda etriye çubuğu kirişin iki yüzüne dıştan eklenecektir. Kiriş altına yerleştirilen bir çelik profile bulonla bağlanan çubuklar, üstteki döşemede açılan deliklerden geçirilerek döşeme üst yüzeyinde açılan yuvanın içine bükülerek yerleştirilecektir. Daha sonra betonda açılan boşluklar beton ile doldurulacaktır. Bu yöntem aynı esaslarla farklı detaylar kullanılarak da uygulanabilir.

2.2 - Lifli Polimer (LP) ile Sarma:

LP sargılama ile kiriş sünekliğinin ve kesme dayanımının artırılmasında tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalıdır.. LP sargısı kirişlerde köşelerin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanacaktır. LP ile yapılan sargılamalarda sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır. LP uygulaması üretici firma tarafından önerilen yönteme uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

3. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmesi

Yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler, yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilebilir. Betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olarak düzenlenebilir.

4 - Çerçeve Düzlemi İçinde Betonarme Perde Eklenmesi:

Betonarme sisteme eklenecek perdeler çerçeve aksının içinde düzenlenecek, temelden başlayarak perde üst kotuna kadar sürekli olacaktır. Bu amaçla, perde uç bölgesindeki boyuna donatıların ve gereği durumunda perde gövdesindeki boyuna donatıların perde yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanacaktır. Perdeler, içinde buldukları çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacaktır. Ankraj çubukları, mevcut çerçeve elemanları ile eklenen betonarme perde elemanı arasındaki arayüzlerde deprem kuvvetleri altında oluşan kayma gerilmelerini karşılamak için yeterli dayanıma sahip olacaklardır.

5 - Çerçeve Düzlemine Bitişik Betonarme Perde Eklenmesi:

Betonarme sisteme eklenecek perdeler dış çerçeve aksının dışında, çerçeveye bitişik olarak düzenlenecek, temelden başlayarak perde üst kotuna kadar sürekli olacaktır. Perdeler bitişik oldukları çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacaktır.

6. Betonarme Sisteme Yeni Çerçeveler Eklenmesi

Betonarme sistemin dışına yeni çerçeveler eklenerek yatay kuvvetlerin paylaşımı sağlanabilir. Sisteme eklenecek çerçevelerin temelleri mevcut binanın temelleri ile birlikte düzenlenecektir. Yeni çerçevelerin mevcut binanın taşıyıcı sistemi ile birlikte çalışması için bu çerçeveler mevcut binanın döşemelerine gerekli yük aktarımını sağlayacak şekilde bağlanacaktır.

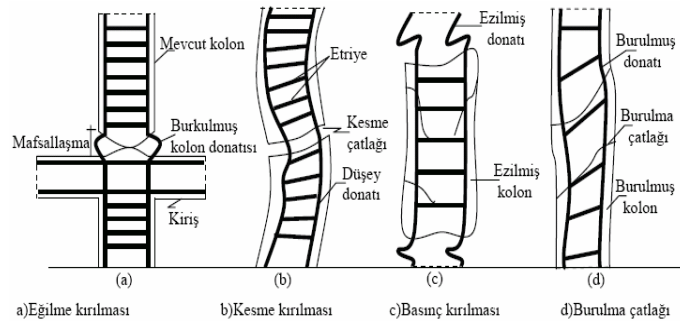
7. Betonarme Sistemin Kütlesinin Azaltılması

Kütle azaltılması bir yapı güçlendirme yöntemi değildir. Ancak yapıya etki eden düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin azalan kütle ile orantılı olarak azalacak olması yapı güvenliğini arttıracaktır. Azaltılacak veya kaldırılacak kütle ne kadar yapı üst kotlarına yakın ise, deprem güvenliğini arttırmadaki etkinliği de o kadar fazla olacaktır. En etkili kütle azaltılması türleri binanın üst katının veya katlarının

iptal edilerek kaldırılması, mevcut çatının hafif bir çatı ile değiştirilmesi, çatıda bulunan su deposu vb tesisat ağırlıklarının zemine indirilmesi, ağır balkonların, parapetlerin, bölme duvarların, cephe kaplamalarının daha hafif elemanlar ile değiştirilmesidir.

2.4.Kolonların Güçlendirilmesi

Genel hatlarıyla betonarme kolonlarda 4 çeşit hasar meydana gelmektedir. Bunlardan eğilme kırılması, deprem etkileri ile kolona gelen eğilme momentinin artması sonucu kolon uçlarında mafsallaşma meydana gelmesi ile oluşur. Kesme kırılması, ise kolonun üzerine gelen kesme kuvvetini taşıyamaması sonucu oluşur. Kolon kesitinin en dış lifindeki beton ezilmeye başladığında, henüz akma birim uzamasına ulaşmamış ise kolonda basınç kırılmaları ortaya çıkmaktadır. Yapının kütle ve rijitlik merkezleri çakışık değilse kolonlarda oluşan burulma kırılmaları da belirlenmelidir.¹⁵

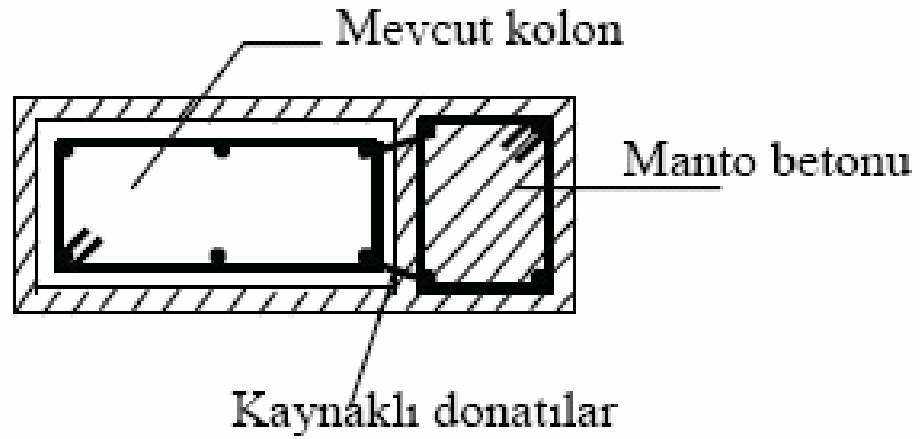


Şekil 2.2. Kolonlarda meydana gelen hasarlar

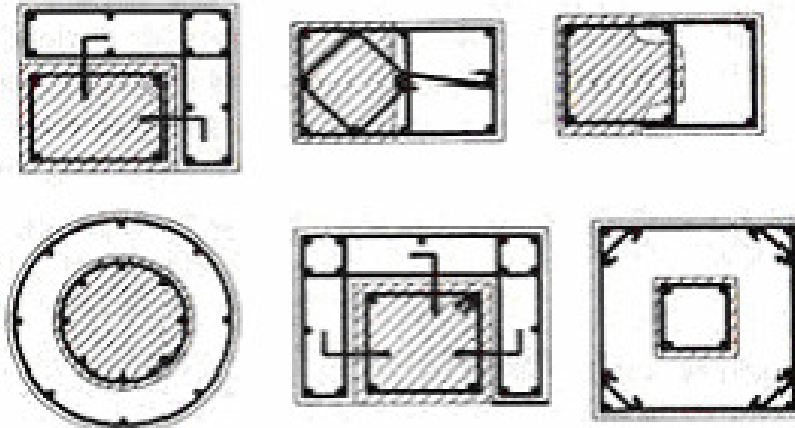
Çatlamış betonarme kolonlarda reçineler veya çimento şerbeti kullanılabilir. Az hasarlı, donatıları burkulmamış, betonu gevşemiş kolonlarda yerel olarak gevşek beton kısmı kaldırılarak yeni beton dökülmesi suretiyle onarım yapılabilir. Kolonlarda oluşan hasar derecesine göre bir, iki, üç ya da dört taraftan mantolama yapılabilir. Mantolama, mevcut kolon etrafına boyuna takviye donatısının yerleştirilmesi ve etrafının normal veya helozonik etriye donatısı ile sarılması ve mevcut betonun etrafının beton dökülerek kapatılması işlemlerine denir. Kolonun

¹⁵ İlki, Alper, Betonarme Yapılarda Riskler Ve Risklerin Azaltılması

mantolanması ile, kolon enkesit alanı artırılırken donatı yüzdesi de bir miktar artırılmış olur.¹⁶



Şekil 2.3. Kolon mantolaması.

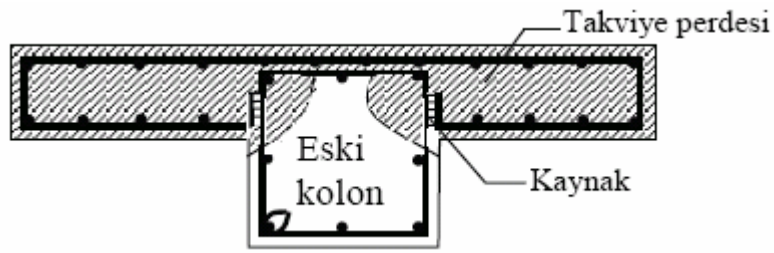


Şekil 2.4. Bazı mantolama örnekleri.

Kolon çevresinde mantolama yapılırken eski kolonda donatı ile çevrilmiş betonun dışında kalan kabuk betonunun tümünün sökülüp, daha sonra koyulacak takviye donatısı ile birlikte yeni kolonun betonlanması yerine, eski kolonun kabuk betonunda küçük kesme kamaları açılarak eski ve yeni betonun kaynaşması ve dış

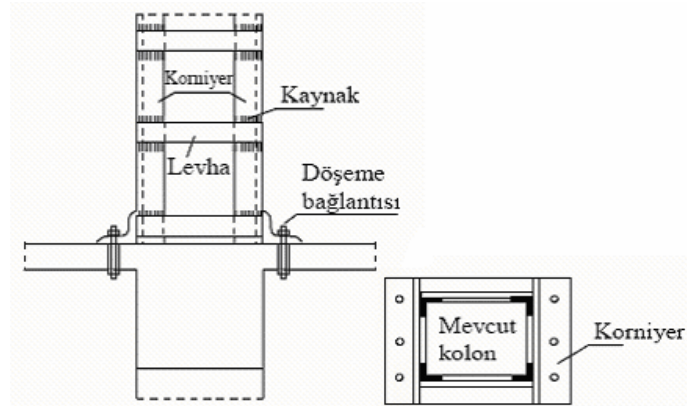
¹⁶ İlki, Alper, Betonarme Yapılarda Riskler Ve Risklerin Azaltılması

yük etkileri altında birlikte çalışmalarını sağlayabilir. Uygulanabilecek bir başka yöntem de, kolonun iki yanına kanat biçiminde perde duvar eklenmesidir. Bu durumda perdenin yatay donatısı, kolonun yatay donatısına kaynakla bağlanmaktadır. Daha sonra betonlama yapılarak eski betonun yeni perde içinde yer alması sağlanmaktadır. Böylece mevcut kolon betonarme perde arasına alınarak kesiti büyütülmüş ve yük taşıma kapasitesi artırılmış olur. Bu şekilde yapılan bir uygulamada perde uçları boşta bırakılmamalı, düzenlenmelidir.



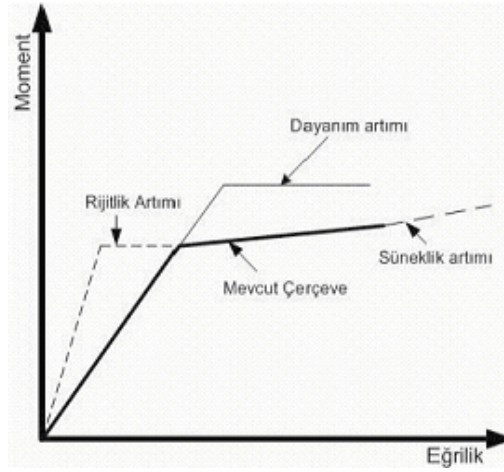
Şekil 2.5. Kolonun perde içinde kalması.

Kolonların takviyesini hızlandırmak için çelik profiller de kullanılabilir. Bu şekilde bir takviye ile kolonun moment ve aksel yük taşıma kapasitesinde büyük artışlar sağlanabilir. Ancak mevcut kolon ile profiller birlikte çalışmadığından yüklerin askıya alınması olarak kabul edilmelidir.



Şekil 2.6. Çelik takviyeli mantolama

Güçlendirmenin kolon özellikleri üzerindeki etkileri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.

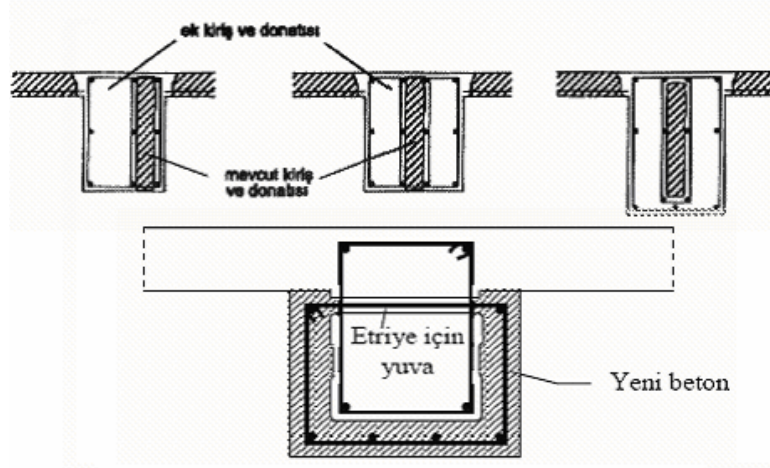


Şekil 2.7. Güçlendirmenin kolon üzerindeki etkileri.

2.4.1.1. Kirişlerin Güçlendirilmesi

Hasar gören veya dayanım ve rijitliği yeterli olmayan kirişler değişik şekilde onarılır ve güçlendirilir. Bu işlem sırasında komşu kolonları da gözönüne alarak kuvvetli kirişzayıf kolon türünden birleşim bölgesinin meydana getirilmemesine özen gösterilmelidir. Güçlendirme türü hasarın seviyesine (çatlama, beton ezilmesi, donatının sıyrılmaya ve kopması) bağlı olarak değişir. Hafif çatlaklı kirişler, epoksi veya çimento şerbeti enjeksiyonu ile onarılabilir. Betonun ezilmesi veya donatının kopması gibi hasarın ağır olduğu durumlarda, kirişin geçici olarak askıya alınması uygundur.

Hasarlı yerel kısımlar, basınçlı su veya hava ile temizlenip, kopan veya burkulan donatıları kesilerek kaynakla eklendikten sonra betonlanması yoluyla onarılabilir. Yeterli açıklık donatısına sahip olmayan kirişlerde alttan çelik şeritler veya lif takviyeli karbon levha yapıştırılarak ilgili çatlaklar onarılıp kiriş güçlendirilebilir. Lif takviyeli karbon levha uygulaması yan yüzlere de yapılarak, kayma donatısı eksikliği giderilebilir ve ilgili çatlaklar onarılabilir. Bu amaçla sıva tabakasının kaldırılması, alt ve yan yüzün pürüzlendirilmesi gerekir. Kirişlerde çatlak onarımında epoksi enjeksiyonu da kullanılabilir. Bu işlemin başarılı olması için, betonun yeterli dayanıma sahip olması gerekir. Dağılan düşük dayanımlı beton durumunda yerel bir onarım olan epoksi enjeksiyonunun uygulanması tavsiye edilmez. Kirişler, gerekli durumda dört veya üç tarafından beton manto giydirilerek güçlendirilebilir.



Şekil 2.8. Kiriş mantolaması

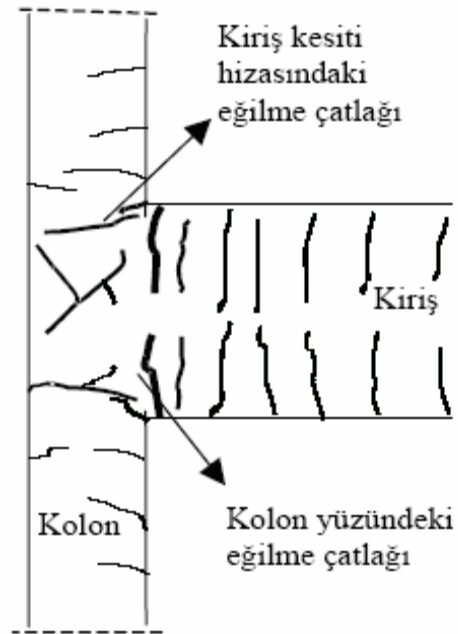
Mevcut ve yeni betonun bütünleşmesini sağlamak amacıyla, mevcut betondaki beton örtü tabakasının kaldırılması ve yüzeyin temizlenmesi gerekir. Donatı düzeninde uygun kenetlenme, bırakılan uygun boylarla, kaynaklama ile veya kenetleme plakaları kullanılmasıyla sağlanmalıdır. Yeni donatılar döşemedeki deliklerden geçerek kirişi çevreleyen etriyelerle sarılmalıdır. Döşeme delikleri güçlendirme kirişine beton dökmek için de kullanılabilir. Güçlendirme için konulan donatılar, köşegen yönündeki çubuklarla veya çelik plakalarla mevcut donatılara bağlanmalıdır¹⁷.

Kirişin yalnız mesnet bölgelerinin güçlendirilmesi ile yetinilmesi sözkonusu ise, mesnette döşeme kırılarak açılır, mesnet bölgesi için gerekli ek donatı yerleştirilerek etriyelerle sarılır. Kiriş kesitinin genişletilmesi tek veya çift taraflı olabilir ve kiriş yüksekliği de arttırılabilir. Kirişlerde mesnet kesitinin güçlendirilmesi, döşeme kalınlığının arttırılıp üst donatı eklenmesiyle veya alttan kolonu geçen bir donatı konulmasıyla yapılabilirse de, uygulaması zordur.

2.4.2. Kiriş-Kolon Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi

Depremde en fazla hasar gören kiriş-kolon birleşim bölgeleri, taşıyıcı sistemin en çok zorlanan ve güçlendirilmesi en zor olan kısımlarını oluşturur.

¹⁷ Koçak, Ali, 17 Ağustos 1999 Körfez Ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Sonrası Marmara Bölgesi'nde Betonarme Binaların Onarım Ve Güçlendirmelerinde Yapılan Hatalar, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, At-077



Şekil 2.9. Birleşim bölgesi çatlakları.

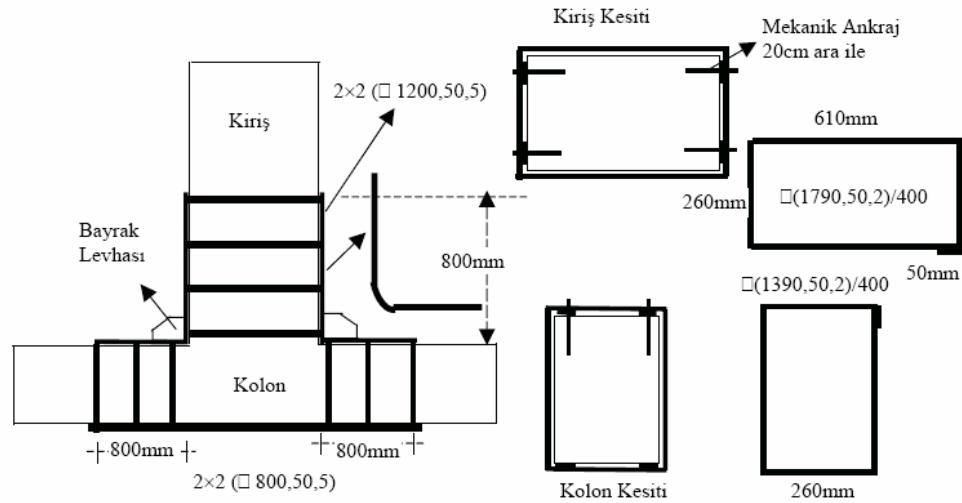
Birleşim bölgesinde farklı doğrultudaki elemanlar birleşerek, kesit etkileri birbirleriyle dengelenir. Deprem yükleri altında bu bölgede kesme kuvveti dayanımının ve donatı kenetlenmelerinin yeterli olmaması en çok rastlanan hasar türlerini oluşturur. Ayrıca, büyük şiddetteki depremlerde birleşim bölgesine birleşen kesitlerde meydana gelen plastik mafsallar sonucu büyük dönmeler, donatıda aderans çözülmesi sonucu kaymalar ve geniş çatlaklar oluşabilir. Deprem etkisinde birleşim bölgesinin iki tarafındaki eğilme momentinin farklı işarette olması, kiriş kesitinde zıt gerilme durumları doğmasına ve bunun sonucu donatının birleşim bölgesinden çekilip çıkarılmak istenmesine yol açar.¹⁸

Bu nedenle donatı kenetlenmelerine ve eklerine özen göstermek gerekir. Hasarın yerel olması ve çatlaklar şeklinde görülmesi durumunda, epoksi reçinesi enjekte edilmesi onarım ve güçlendirme için yeterli olabilir. Aderanslı çözülmüş donatının aderansının tekrar oluşturulması için de epoksi enjeksiyonu önerilir. Çimento şerbetinin aderansın kazandırılmasında yeterli olmadığı bildirilmiştir. Birleşim bölgesinin lif takviyeli polimer levhalarla sarılması hem dağılmanın önlenmesi ve hem de kuvvet iletimini sağlamak için uygun olabilir.

¹⁸ Önen, Yusuf Hatay, Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışı Ve Güçlendirilmesi, [Http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm](http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm)

Hasarın daha da yaygın olması durumunda, kiriş-kolon birleşim bölgesi, çelik şeritler yapıştırılarak ve sarılarak güçlendirilebilir. Bu suretle, kesitlerin eğilme momenti kapasiteleri arttırılırken; sarılan şeritler, bu bölgede oluşturulan enine basınçla, betonun dolayısıyla elemanın sünekliği arttırılır. İhtiyaç olduğunda süneklik artırımı için etriyeleri eksik olan kolon ve kiriş kesitlerinde sadece sargı şeritleri kullanılabilir.

Uygulama için bölgedeki ezilen beton temizlenir, yüzeyler düzeltilir ve özel yapıştırıcılar kullanılarak boyuna çelik şeritler yapıştırılır. Yapışmanın tam olması için şeritlerin betona işkence aletleriyle bağlanması gerekebilir. Daha sonra sargı şeritleri sarılarak uçları birbirinin üzerine yeterli boyda gelecek şekilde yapıştırılır. Bu sırada kiriş sargı şeritlerinin, o bölgedeki döşeme kaplamasının kaldırılmasından ve döşemede delikler açıldıktan sonra uygulanabileceği unutulmamalıdır. Betonda enine basıncın yeterli şekilde oluşması için şeritlerin geniş (~50mm uygun genişlik) olması ve birbirlerine yakın (~0.20m uygun aralık) yerleştirilmesi gerekir. Bu tür uygulama özel özene ihtiyaç gösterir. Ayrıca uygulanan güçlendirme şeklinin basit bile olsa, deneyle kontrolü önemlidir. Bütün bu işlemlerden sonra, bölgenin sıvanması ve şeritlerin kapatılması gerekir.



Şekil 2.10. Çelik lamalarla güçlendirilmiş bir birleşim bölgesi.

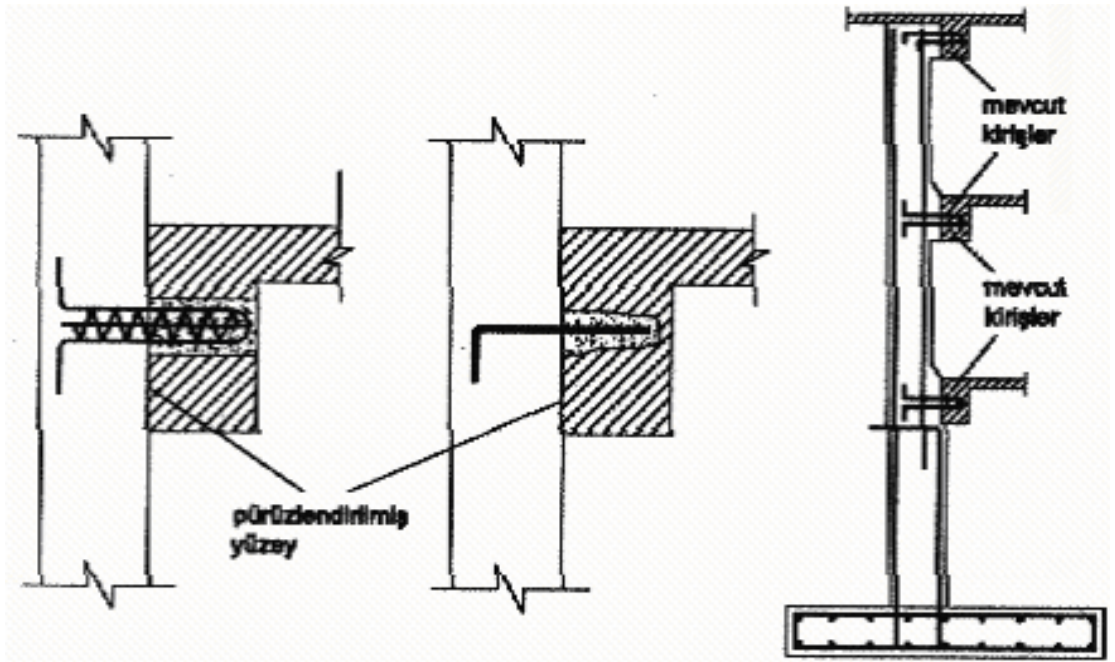
2.4.4. Perdelerle Güçlendirme

Siitem güçlendirmesinde perdelerle güçlendirme halen en yaygın ve geleneksel uygulama şeklidir. Perde ilave edilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus,

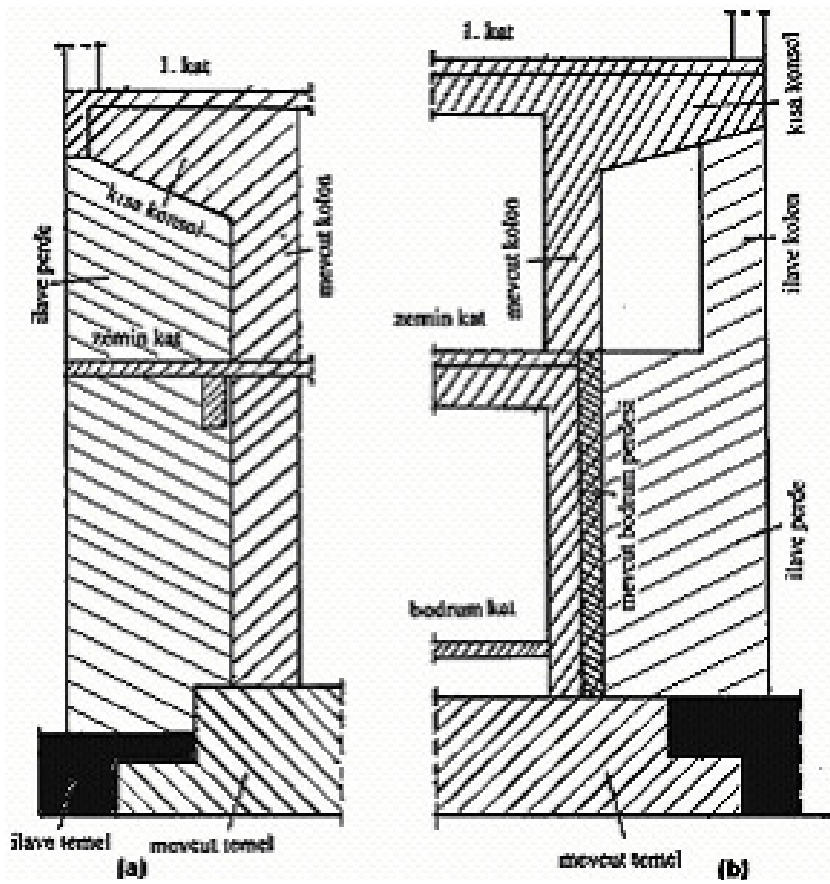
yeni durumun yapıda burulma etkileri yaratmamasıdır. Yapının kütle ve rijitlik merkezi mümkün olduğunca yakın kalmalıdır. Ayrıca yeni elemanların betonu dökülmeden önce bu elemanlara yük aktarması sözkonusu olan döşemeler askıya alınmalıdır. Güçlendirme perdeleri her iki doğrultuda en az ikişer tane olmalıdır. Yapının kat adedinin ve plandaki alanının az olması halinde toplam perde sayısı üçe de indirilebilir. Perdenin iki kolon arasında kalması tercih edilmelidir. Bazı hallerde bir taraftan bir kolona birleşmesi düşünülebilir. Bu durumda diğer tarafta perde ucu düzenlenmelidir.

İki uçtan da kolona bitişik olmayan döşemeyi delip geçen perde ile döşeme arasında çok büyük gerilme yığılmaları meydana geleceğinden bu tür perdeler yapılmamalıdır. Perdelerin temellerinin oluşturulması da çok önemlidir. Komşu kolonları da kapsayacak şekilde sürekli veya plak temel düzenlemesi yapmak gerekir. Bu şekilde kolonların normal kuvvetlerinden faydalanarak perdeye komşu tekil temeller birleştirilerek büyük bir perde temeli yapılması gerekir. Bu durum perdenin mevcut sistemle bütünleşmesini sağlayacağı gibi, perdenin uçlarında meydana gelecek çekme kuvvetinin kolon basınç kuvvetini gözönüne alarak azaltılmasını da sağlar.

Bunun yanında perde temelini düzenlenmesinde kolon basınç kuvvetinin olumlu katkısı hesaba katılmış olur. Kapı ve pencere boşluğunun bulunması durumunda perde bir uçtan komşu kolona bağlanırken, diğer taraftan perde için bir uç bölgesi oluşturulur. Her iki durumda da perde kat seviyelerinde döşemeyi başlık bölgelerinde deler, bu suretle başlık donatılarının sürekliliği sağlanır. Bunun yanında perde gövdesinde döşemede yer yer boşluklar açılarak, hem beton dökümü için kolaylık sağlanırken, bu boşluklara yerleştirilecek çapraz donatılarla perdenin katlar arası bütünleşmesi daha da rahatlatılmış olur.



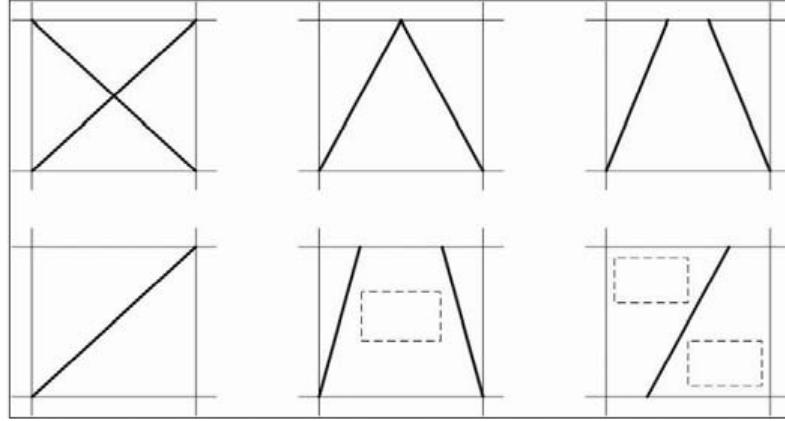
Şekil 2.11. Dış perdenin mevcut kirişlere bağlanması.



Şekil 2.12. Çıkmalı bir yapıda dış perde.

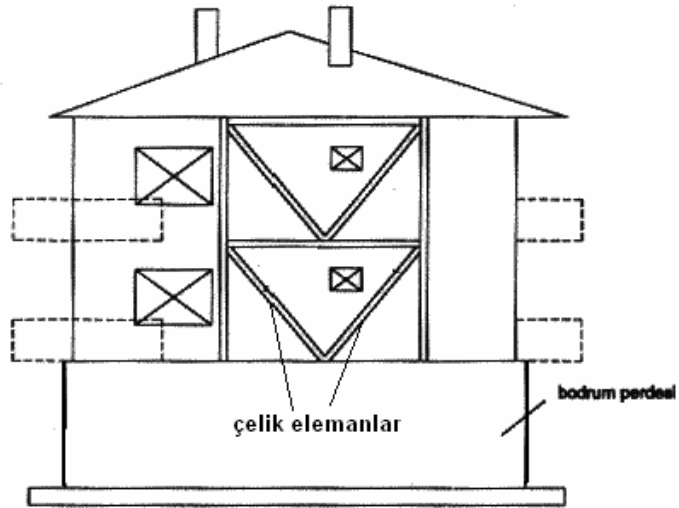
2.4.3. Çelik Elemanlarla Güçlendirme

Taşıyıcı sistem betonarme perdeler yerine çelik çaprazlar kullanılarak da güçlendirilebilir.¹⁹



Şekil 2.13. Çeşitli çelik çapraz kullanım şekilleri.

Bu durumda en basit uygulama kiriş-kolon düzlemine yerleştirilecek çaprazlar yanında kolon ve kirişe bitişik konulacak çelik elemanlarla yapılabilir. Eksenel çelik çaprazlar yanında dış merkez çaprazlar da kullanılabilir.



Şekil 2.14. Çelik çaprazlarla güçlendirilmiş bir bina.

¹⁹ Önen, Yusuf Hatay, Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışı Ve Güçlendirilmesi, [Http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm](http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm)

Ancak, bu durumda dışmerkezlik nedeniyle kuvvetlerin alınması yeni güçlükler doğurabilir. Çaprazlar betonarme çerçevenin içinde oluşturabildiği gibi, dışında da oluşturulup ona bağlanabilir. Kolona ve kirişe bitişik olan çelik elemanlarla kuvvetin olabildiğince düzgün yayılı iletilmesi sağlanır. Ancak, çaprazlar nedeniyle köşelerde büyük yoğun çekme ve basınç kuvvetlerinin betonarme ve çelik taşıyıcı sistem arasında iletilmesi gerekir. Özellikle, beton kalitesinin çok düşük olması durumunda büyük köşe levhalarına ihtiyaç duyulur.

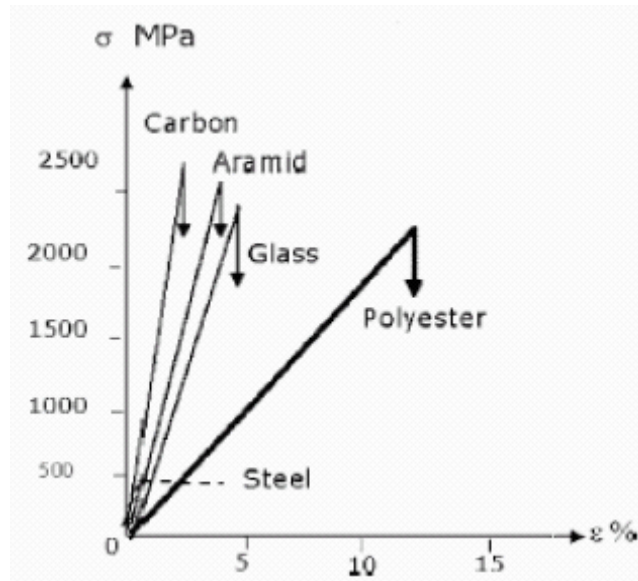
Çaprazlı çelik kafes sistemde kuvvetlerin kattan kata geçmesinin sağlanmasına özen gösterilmelidir. Bunun için kolona bitişik düşey çelik elemanların katlar arası sürekliliğinin sağlanması gereklidir. Çelik elemanların rijitliklerinin betonarmeye göre düşük olması nedeniyle, yatay deprem yüklerinin önemli bir bölümünün taşınması ancak çok büyük çelik kesitleriyle mümkün olur. Bunun yanında mevcut betonarme sistemle çelik sistemin bütünleşmesini sağlamak ve betonarme sistemde oluşan deprem kuvvetlerinin önemli bir kısmını çelik taşıyıcılara iletmek ayrıntılı çalışma gerektiren bir husustur.

2.4.4. Lif Takviyeli Kompozitlerle Güçlendirme

Lif takviyeli kompozitler(LTK) son yıllarda yapıların onarım ve güçlendirmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

Tablo 2.2. LTK Malzeme özellikleri.

Lifler	Dayanım (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Özgül Ağırlığı (kg/m ³)
Cam Lifleri	1700-2100	50	2500
Karbon Lifleri	1700-2500	150-190	1900
Aramid Lifleri	1700-2100	65-120	1400



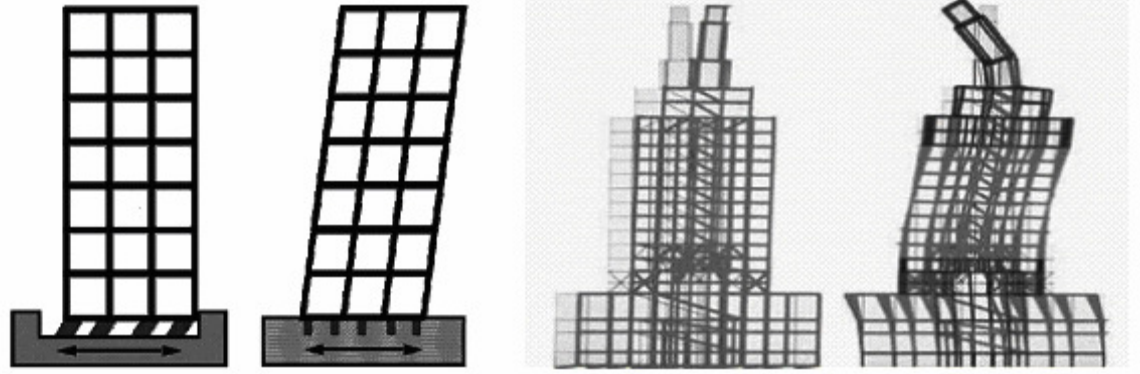
Şekil 2.14.Liflerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

Yapıların dolgu duvarlarının LTK'lerle güçlendirilmesi ve perde gibi çalışabilen elemanlar haline getirilmesi yani sisteme yönelik iyileştirmelerin yapılabilmesi çalışmaları henüz yenidir. Bu konuda deneysel çalışmalar sürdürülmektedir. LTK, binaların boşaltılmadan güçlendirilmesini sağlayabilecek bir yöntem olması itibariyle giderek önem kazanmaktadır. Duvar güçlendirmesini hedefleyen LTK tasarımı süneklik artırmadan ziyade dayanım artırma amacıyla yapılmalıdır. Daha çok beton kalitesinin iyi olduğu anacak enine ve boyuna donatının yetersiz olduğu durumlarda kullanılabilir.

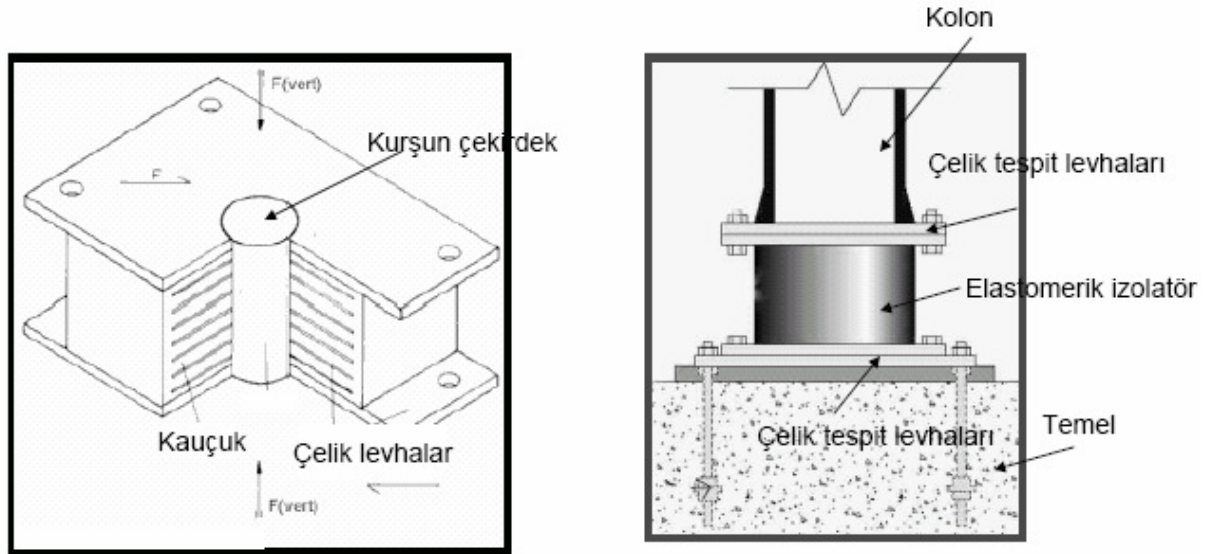
2.4.5. Sismik İzolasyon

Sismik izolasyon yapının ve deprem ivmesinin özellikleri dikkate alınarak; yapının rijitliğini azaltmak, periyodunu ve sönümünü artırarak yapıya daha küçük deprem kuvvetlerinin gelmesini sağlamak ve yapının küçük veya orta şiddetli depremlerdeki hasarının önlenmesi ve şiddetli depremlerdeki hasarının da en aza indirgenmesini sağlamaktır. Bu yöntem mevcut yapılara uygulanabileceği gibi, yeni yapılacak yapılarda daha avantajlı biçimde kullanılabilir. Sismik izolasyondaki amaç bütün deplasmanların temel ile üst yapı arasında olmasını sağlamak ve sönümleyici elemanın mümkün olduğu kadar deprem enerjisini yutmasını ve sönümlemesini temin etmektir. Bu amaçla yapının dinamik özellikleri değiştirilerek depremde yapıya gelecek yatay yükün azaltılması hedeflenir. Yapının sönümü artırılırsa yapıya

gelen hem ivme hem de ötelenme azalacaktır. Yapının rijitliği azaltılır, periyodu uzatılırsa yapıya daha küçük bir deprem kuvveti gelecektir. Yapının periyodu 2-2.5 sn kadar uzatılırsa, deprem kuvvetlerinde önemli bir azalma olmaktadır. İzolasyonlu sistemde yapının yer hareketini büyütme oranı 0.9-1.0 civarındadır. İzolasyonlu yapı rijit kütle hareketi yapmaktadır. Bu rakam izolasyonsuz yapıda 3-6 kat arasındadır.



Şekil 2.15. Sismik izolasyonlu ve izolasyonsuz yapılar arasındaki salınım farkı.



Şekil 2.16. Kauçuk izalatör detayı.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ONARIM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde betonarme, yığma ve kırsal konutlardaki hasarın onarımı ve yapının güçlendirilmesinde kullanılacak yöntemler ile ilgili ayrıntılar ele alınacaktır. Önce genel olarak çatlak onarımı verilecek daha sonra betonarme yapı onarımında eski ve yeni betonun kaynaştırılması, yeni donatının mevcut donatı ile bağlanması ile yeni donatının ankraji konuları incelenecektir. Betonarme kiriş ve kolonların en kesit genişletme yöntemi ile onarımı ve güçlendirilmesi ile betonarme çerçevelerin dolgu elemanları ile doldurulup güçlendirilmesi yöntemi de bunları izleyecektir. Betonarme yapı temellerinin güçlendirilmesi ile ilgili ayrıntılar da verilecektir. Daha sonra yığma ve kırsal konutların onarım ve güçlendirme yöntemleri verilecektir.²⁰

3.1. Çatlakların Onarımı

Çatlaklar durmuş ise onarılabilir. Çatlak onarımı, kendi başına bir olay değildir. Çatlak etkiyen bir kuvvetin ya da bir dayanım yetersizliğinin ifadesidir. Çatlağa yol açan etki ortadan kaldırıldıktan sonra çatlak onarımı yapılmalıdır. Çatlak onarımı bir bakıma bir "makyaj" görünüş düzeltilmesi olarak düşünülmelidir. Öte yandan genellikle durmuş çatlak yoktur. Bütün çatlaklar açılır ve kapanır. Çatlakların genleşebilen stropor gibi esnek malzeme ile doldurulması oynamayı önleyebilir. Ancak bu malzemenin üzerine konulan sıva bu harekete uymayabilir. Dolgu ve örtü için çekomastik gibi daha elastik malzeme daha uygun olacaktır. Ancak çatlakların "dikilmesi" başka yerlerde yeni çatlakların oluşmasına engel olamayabilir.

Çatlakların onarımında genişliklerine göre değişen yöntemler kullanılabilir. Kılcal çatlaklar gözle ancak ayırt edilen çatlak ile 1-2 mm'ye kadar olan çatlaklardır. Bunların örtülmesinin nedeni zamanla bu çatlaklardan sızan nemin betonarme donatısında paslanmaya yol açabilmesi ve çatlaklı kesitli betonarme elemanların rijitliklerinin azalması ve dolayısı ile yapının dinamik özelliklerinin değişmesini önlemektir. Çatlaklar, özellikle dış hava koşullarına açık taşıyıcı elemanların kısa zamanda güçlerini yitirmelerine yol açmaktadırlar. Çatlakların doldurulmasında çimento şerbeti, epoksi reçineleri, çok ince kumlu yüksek çimento oranlı harçlar ve

²⁰ Çetinceli, S., Cost-Benefit Analysis For Various Rehabilitation Strategies, Master Thesis, 2005

başka özel katkı maddeli harçlar kullanılabilir. Çimento şerbeti ve epoksi reçinelerinin çok derinlere giden ince çatlaklara tam olarak içirilmeleri için basınç altında uygulanmaları gerekir. Genellikle uygulanması zor, zaman alıcı ve masraflı işlemlerdir. Gereken özen gösterilmezse istenilen amaç sağlanmayabilir. Kılcal çatlakların içine bağlayıcı maddelerin içirilmesi oldukça güçtür.

3.1.1. Epoksi Reçineleri

Epoksi reçineleri yapıştırma özellikleri çok iyi olan sentetik reçinelerdir. Bunların çekme gerilmeleri 50-110 kg/cm² arasında değişir. Kopma birim uzamaları % 15-50 arasında olabilmektedir. Suya, aside ve alkaliye dirençleri çok iyidir. Zamanla özellikleri yitirmezler. Çatlağa doldurulmuş epoksi yapıştırıcısı, çatlağın yarattığı süreksizlik ortamını sürekli duruma dönüştürür. Çatlağın her iki yüzünü çatlak boyunca sürekli olarak birbirlerine bağlar ve gerilme birikimlerini önler. Sentetik reçineler kimyasal moleküler yapıya sahiptirler. Kimyasal moleküler yapıya yüzeylerin pürüzlülüğü ile artar, çünkü kuvvet aktarmada daha büyük bir alan çalışmaktadır. Genellikle ince bir tabaka yapıştırıcı madde daha güçlü yapışma sağlamaktadır. Epoksi reçinelerine polisülfid eklenmesi ile daha elastik bir yapıştırıcı oluşmaktadır. Polisülfitli epoksi reçinelerinin çekme dayanımları 200 kg/cm²'ye kadar çıkabilmektedir. Epoksi reçinelerinin yüksek ısılara dayanım gücü azdır. Epoksinin basınç dayanımı 700-800 kg/cm²'ye kadar ulaşabilmektedir. Çekme dayanımı da 300 kg/cm² kadar olabilmektedir. Epoksilerin basınç dayanımı 15x15x40 mm boyutundaki küpler yapılarak ölçülmektedir²¹

Tablo 3.1. Epoksi Ve Harcının Mekanik Özellikleri

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

²¹ Çetinceli, S., Cost-Benefit Analysis For Various Rehabilitation Strategies, Master Thesis, 2005

Kullanılan epoksi harcı ya da reçinesinin basınç dayanımı istenilen biçimde değiştirilebilir. Beton basınç dayanımına daha yakın dayanımlarda, düşük dayanımlı, epoksi reçinesi ya da harcı kullanılması daha uygundur. Epoksi reçinesi ve harcının elastik modülünün betona göre daha düşük olması daha elastik bir malzeme olduğunu göstermektedir. Epoksinin elastisite modülü de katkı maddeleri ile azaltılıp çoğaltılmaktadır. Piyasada çeşitli ticari markalar altında satılan sentetik yapıştırma maddeleri bulunmaktadır. Bunların kullanım yerleri eski ve yeni beton arasında bağlantı sağlama, yeni betonda delik, çatlak ve köşelerin onarımıdır. Bu arada bazı katkı maddeleri ince kumlu harca katılarak çekme dayanımı yüksek harç yapılmaktadır. Genellikle 5 mm'ye kadar olan çatlaklara yalnız epoksi, daha geniş çatlaklarda ise dolgu maddesi katılmış epoksi harcı kullanılmaktadır.

3.1.1.1. Epoksi İle Onarım Yöntemleri

Epoksi onarım iki biçimde kullanılmaktadır.

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

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

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

3.1.1.1.1. Epoksi ile Onarımda Taşıma Gücü Artışı

Epoksi doldurulmuş çatlak ara yüzeyinde oldukça yüksek bir çekme dayanımı sağlanmaktadır. Ancak onarılmış elemanın tekrar yüklenmesi ile, eski çatlakların hemen yanında yada onarılmış iki çatlak arasında bir yerde yeniden çatlak olduğu ve elemanın dayanımının hasar öncesi dayanım düzeyinde kaldığı görülmektedir (Penzien ve Çelebi 1973 ve Tasai ve Akino 1991). Bunun nedeni epoksi doldurulmuş iki çatlak arasındaki betonun dayanımının onarım öncesi dayanımının düzeyinde kalması ve en düşük dayanımlı kesit olduğu için yeniden yüklemeye kırılmanın burada olmasıdır. Ayrıca epoksi ile kiriş onarımı ile dayanım artışı olmamaktadır. Çünkü onarım öncesinde çatlak yakınındaki donatılarda akma gerilmesi aşılmıştır. İki çatlak arasında ise donatıda gerilme akma gerilmesinin altındadır. Onarımdan sonraki yüklemeye ise taşıma gücünün artması için daha önce akmış donatının pekleşme bölgesine daha çok girmesi gerekmektedir. Ya da donatıdaki pekleşmenin ilk yüklemeye elastik kalan bölgede de olması gerekir. Ancak bu bölge epoksi ile onarılmadığı için yine aynı dayanımdadır. Bu nedenle de burada dayanım artışı olamaz.

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

3.1.1.1.2. Çimento Şerbeti

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

kullanımı, onarımın hızlı yapılmasını sağlar. Genleşen çimento ise çatlakların içine giren harcın ya da şerbetin genişleyip bütün boşlukları doldurmasını sağlar. Genleşen çimento içine sülfoalüminat konulmuş bir çimentodur. Normal portland çimentosuna da çok ince öğütülmüş alüminyum tozu katılması ile genleşen çimento elde edilmektedir.

3.1.1.1.3. Çimento Enjeksiyonu

Çimento enjeksiyonu özellikle taşıma gücü zayıf olan moloz taş duvarlarda düşük basınçlar altında uygulanır. Bunun için duvarın içine kadar uzanan borular yerleştirilir. Duvarın iç ve dış yüzeyi 2-3 cm, kalınlığında sıva ile kaplanır. Daha sonra altlardaki deliklerden başlayarak düşük basınç altında çimento şerbeti enjeksiyonu yapılır. Herhangi bir borudan çimento pompalama, yandaki borulardan çimento şerbeti taşmaya başlayınca kadar sürdürülür. Çimento içirimi yapılmış delik kapatılır. Bu işlem herbir sıradaki delikler doluncaya kadar sürdürülür. Daha sonra aynı işlemler bir üst sıradaki enjeksiyon deliklerine uygulanır. Delikler arasında 30-40 cm kadar aralık olabilir. Bu deliklerin duvardaki taş ya da tuğla ve benzeri malzeme arasındaki derz durumlarına göre yerleştirilmesi gerekir. Deliklere takılacak borular kullanılacak pompanın hortum ucu boyutuna göre seçilir.²²

Çimento enjeksiyonu yöntemi ile çok zayıf ve düşük dirençli moloz taş duvarların direncinin yükseltildiği ve daha sağlam bir duvar oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Sağlam ve normal dayanımlı olan çimento ve kireç harçlı duvarlarda ise çimento içiriminin duvar dayanımında göze çarpıcı bir artış yapmadığı da bilinmektedir. Çimento içirimi kötü ve zayıf duvarları iyi duvar düzeyine çıkarmaktadır. Yöntem yavaş, zaman alıcı ve çimento pompalama donanımı gerektirmektedir. Kullanılan çimento genleşen ve ilk direnci yüksek çimento olmalıdır. Bu yöntemin çok eski yıllarda yapılmış tarihsel ve kültürel değeri olan kırsal alan yapılarının moloz taş duvarlı çamur harçlı duvarlarında kullanılmasının etkili olacağı sanılmaktadır. Taşları arasındaki çamur harcın zamanla dökülmüş olduğun bu tip yapılarda taşlar arasındaki boşluklara içinde az miktarda ince kum da bulunan çimentolu şerbetin içirimi ile güçlendirme çok etkili olacaktır.

²² Önen, Yusuf Hatay, Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışı Ve Güçlendirilmesi, [Http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm](http://Deprem.Fikirgonul.Com/Makaleler.Htm)

3.1.1.1.4. Mekanik Bağlayıcılar

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

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

3.2. Eski Ve Yeni Betonun Kaynaştırma Yöntemleri

Betonarme yapı elemanlarının onarım ya da 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.

3.2.1. 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 betona hafif bir basınç (10 kg/cm²) uygulanması ya da özel bağlayıcı maddelerin kullanılması önerilmektedir (Chronopoulos-1989). Püskürtme beton ya da özel beton kullanılması ile hemen hemen tam süreklilik sağlanabilmektedir. Basınç kuvvetleri altında eski ve yeni betonun kaynaşmasının, özellikle şantiye koşulları altında tam olamayacağı ileri sürülmektedir. Betonun basınç dayanımının biraz daha küçük olacağı, elastisite modülünün daha küçük, en az % 50 kadar daha az ve birim kısalmanın da % 25 kadar daha fazla olabileceği ileri sürülmektedir (Chronopoulos-1989). Basınç etkisi altında eski ve yeni betonun kaynaşmasının verimlilik oranının % 90 gibi alınabileceği sanılmaktadır, basınç dayanımı % 10 kadar daha düşük gibi.

3.2.2. Kesme Kuvvetleri 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 kuvvet 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 bir önceki bölümde anlatıldığı gibi çatlakları bağlamada kullanılan mekanik bağlayıcılar da bu amaçla kullanılabilirler. Eski beton ile yeni betonun ara yüzeyleri, tıpkı betondaki çatlaklar gibi betonda bir süreksizliktir. Bu nedenle eski ve yeni betonda uzanan filiz donatısı kama etkisi ile kesme kuvveti aktarma işlevi görebilir.

Betondan betona kesme kuvveti aktarılmasında etkili olan faktörler ve etkinlikleri aşağıda Tabloda verilmektedir. Eski ve yeni betonu kaynaştırmada yüzey pürüzlülüğünün artırılması yüzeyde en az ≥ 3 mm'lik pürüzlerin olması ile gerçekleşir. Bir diğer kaynaştırma yöntemi ise betonda kesme kamaları oluşturacak yuvalar ve dişler yapılmasıdır. Eski ve yeni beton arasındaki sürtünme katsayıları yüzeyin düzgün, pürüzlü ve dişli olmasına göre önerilen adhezyon ve sürtünme değerleri aşağıdaki gibidir (Chronopoulos-1989):

	Adhezyon	Sürtünme Katsayısı
Düzgün	0.0- 0.25 ft	0.66
Pürüzlü	0.75- 1.00 ft	1.00
Dişli	0.75 - 1.00 ft	1.50

Burada ft betonun çekme dayanımıdır. Eski ve yeni beton arasında kaynaştırma yeni yapılan inşaatlarda da bir 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 oluşabilmektedir.

Tablo 3.2. Adhezyon Ve Sürtünmeye Etkiyen Faktörler

	Adhezyon	Sürtünme	Not
Yüzey Pürüzlülüğü	+	+	
Agregaların Biçim ve Boyutları	0	+	Köşeli ve küçük boyutlu agrega sürtünmeyi artırır
Yüzeyin İşlenmesi	+	+	Yüzeyin önceden cilalanması ve temizlenmiş olmasının katkısı olumludur
Özel Yapıştırma Maddeleri	+	+	
Sıkıştırma	+	+	Ara yüzeye dik yönde az miktarda basınç olumludur
Dıştan Dik Yönde Yük	0	?	
Eski ve Yeni Betonun Yaş Farkı	0	0	Betonlama arasında geçen sürenin 7 günden az olması iyi olur
Beton Basınç Dayanımı	0	0	
Tersinir ve Devresel Yükler	0	0	Adhezyonu ve sürtünmeyi azaltır ve yok edebilir

3.2.3. Kama Donatısı ile 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-9] 'da 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.

Kama etkisinden yararlanılacak filiz demirlerinin eski betonda ankraj için açılacak yuvalara yüksek dayanımlı ve geniş çimentolu harç ile yerleştirilmesi gerekir Ankraj boylarının yeterli olması gerekmektedir. Donatıların betona ankrajı bir sonraki bölümde incelenecektir.

3.2.4. Epoksi Reçineleri İle Kaynaştırma

Basınç altında eski ve yeni beton arasındaki yüzeyde kaynaşma hemen hemen yüzde yüz etkilidir. Eğer uygulanan basınç kuvveti ile ara yüzey arasındaki açı 90 dereceden küçük ise ulaşılabilen basınç dayanımı, beton basınç dayanımının % 25-50'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 kırılıma betonda olmaktadır. Ara yüzeye konulan epoksi tabakasının 2 mm'den ince olmasının dayanımı artırdığı gözlenmiştir. Ara yüzeye kesme kuvveti geldiği zaman dayanım beton çekme dayanımı olarak alınabilir. Sürtünme katsayısı olarak da kuru ve pürüzsüz yüzeyler için önerilen katsayı alınabilir. Bu sürtünme değeri, küçük kaymalar, 0.02 mm'den az, için geçerlidir.²³

3.3. Betonarme Kolonlarda Güçlendirme Yöntemleri Güçlendirme Yöntemleri

Betonarme kolonların güçlendirilmesi onların aksenal yük, moment ve kesme kuvveti taşıma güçlerinin artırılmasıdır. Bu işlem genellikle ya betonarme kesitin artırılması, kolona yeni donatılı en kesit eklenmesi yada kolonun çelik bir kafes içine

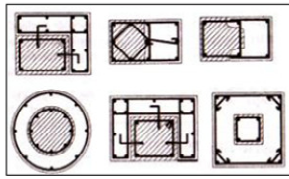
²³ Özkul, H., Yıldırım, H. 1998. Strengthening Of Steel Reinforced Concrete With Frp Materials, Second Japon-Turkey Workshop On Earthquake Engineering, Feb 1998, İstanbul

alınarak betona yandan destek verilerek taşıma gücünün artırılmasıdır. Konulan çelik çerçeve de düşey yük taşıma gücünü artıracaktır. Betonarme kesitin artırılması ya kolonun bütün çevresinde olur buna "mantolama" yada "gömlek geçirme" denir; ya da kolonun yalnızca iki kenarına yeni kesitler eklenir. Bu yöntem de "kanat ekleme" olarak nitelenir. Çelik kafes içine alarak güçlendirmede birbirinden farklı iki malzemenin birlikte çalışması için çelik kafes ile beton arasında tam bir yapışma ve çelik kafesin kolonun eksenel yükünden payı alacak biçimde kirişlere de bağlanmasıdır.

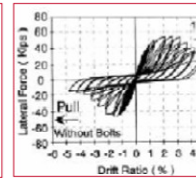
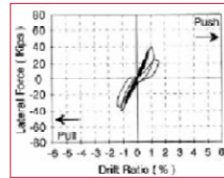
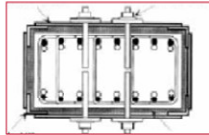
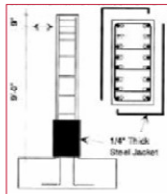
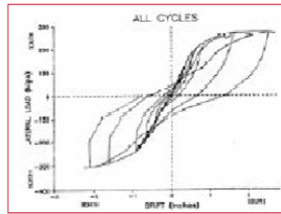
3.3.1. Mantolama

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

Mantolama Örnekleri



Betonarme Mantolama



Çelik Ceketleme

3.3.2. Eski ve Yeni Betonun Kaynaştırma

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

3.3.3. Kolonun Güçlendirilmesi (Mantolama)

Yapım hataları, detaylandırma hataları, eksik malzeme ve deprem gibi zorlamalar sonucunda hasar gören betonarme kolon, perde ve kirişlerin onarımı amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklere, genellikle kalıcı deformasyon yapmamış olan elemanların rijitliğinin ve sünekliğinin artırılması amacıyla başvurulmaktadır. Hasarlı elemanların onarımı çeşitli yöntemler ile gerçekleştirilebilir. Bu yöntemler içerisinde en sıkça kullanılanlar:

Çelik Manto: Bu yöntem ile kolon ve kiriş içinde olması gereken sargı donatısı, bantlar kullanılarak elemanın dışında sağlanıyor. Bu şekilde kolonun hem aksel yük kapasitesi artırılıyor hem de daha yüksek süneklik elde ediliyor. Çelik manto, katlar arası süreklilik sağlamadığı için kolonun eğilme kapasitesine bir katkı sağlamamaktadır.

Betonarme Manto: Bu yöntem genellikle kolonlarda uygulanır. Bu yöntem ile kolonun hem aksel yük kapasitesi hem de sünekliği artırılabilir. Manto içerisine yerleştirilen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanırsa, kolonun eğilme kapasitesi de artıyor.²⁴ **Epoksi Enjeksiyonu:** Kolon, perde ve kiriş elemanlarında oluşmuş olan çatlakların belli bir genişliği aşmadığı yapılarda betonun aderansının artırılması amacıyla epoksi enjeksiyonu kullanılabilir. Ayrıca, sargı etkisini arttırmak amacıyla çelik veya karbon fiberli levhalar yapıştırılabilir. Ekonomik

²⁴ Yılmaz, K., 1998, "Betonarme Yapılarda Depremler Sonucunda Oluşan Hasarlar Ve Onarım Yöntemleri" Yüksek Lisans Tezi, İtü, Fen Bilimleri Enstitüsü

sınırlar içerisinde kalması kaydıyla her yapının onarılması ve güçlendirilmesi mümkündür. Bilinçli yapılan onarım ve güçlendirme, binaların gerçek anlamda depreme dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır ve güvenle kullanılabilirler. Hiçbir binanın şiddetli bir depremi hasarsız atlama garantisi edilemez, ancak en önemli mühendislik hedefi göçmenin önlenmesidir

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

2- Mantolama ile kolon güçlendirmesi için gereken en kesit ve donatı miktarının hesabı yapılabilir. Bu hesap yaklaşımı ile gereken en kesit hesabı ve seçilen et kalınlığı ve donatının taşıyabileceği yük hesaplanmalıdır. Yeni eklenen bölüm ile eski bölüm arasında tam bir kaynaşma, kuvvet aktarımı, olmasını beklemek gerçekçi değildir. Bu nedenle güçlendirme için eklenen bölümün yük taşıma kapasitesinin teorik olarak hesaplanan miktarının en çok % 70'inin pratik olarak kullanılabilmesi düşünülerek gereken en kesit 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 kolonlarında onarımı yapılabilir. Önce bütün paralanmış beton temizlenir. Bu arada kolonun askıya alınmış olması gerekir. Kolon askıya alındığı zaman üzerindeki yük kalkmış olan boyuna donatılar kendiliğinden düzelebilir ya da burkulmuş boyuna donatılar ısıtılarak ya da başka yöntemlerle düzeltilir. Isıtma ile donatı düzeltilmesinde demire uygulanan ısı 500°C den fazla olmamalıdır.

Düzeltilen boyuna donatılara yeni donatı parçaları kaynakla eklenir. Bu eklenen yeni donatıların çapları eski düzeltilmiş donatıların aynısı olabileceği gibi daha büyük çaplı donatı da kullanılabilir. Daha sonra bu bölüme yeniden sık aralıklarla ve çift etriye yerleştirilir. Son olarak bu bölüme yüksek dayanımlı beton doldurulur. Betondaki agrega boyutlarının büyük olmaması betonun bütün donatıları sarabilmesi için gereklidir. Kolondaki mafsallaşmanın derecesine göre bu onarım biçiminin çeşitli aşamaları vardır. Eğer boyuna donatı burkulup üzerindeki beton dökülmemiş ise yalnızca parçalanmış beton temizlenip bir miktar daha yeni etriye eklenmesi ve

yeniden betonlama ile yetinilebilir. Bu onarım yönteminin etkinliğini belirlemek için yapılan deneylerde kolonların hasar öncesi dayanımlarının yeniden sağlanabildiği laboratuvar koşullarında gözlenmiştir.

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

5- onarım ile kolonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi artarken moment ve eksenel yük taşıma gücünde bir artış olmaz. Buna karşılık 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.²⁵

6- (1989)da 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 yükünün askıya alınarak yapılan mantolamanın % 80 etkili olduğu, kolonun askıya alınmadan yük altında mantolamanın yapıldığı durumlarda ise etkinliğin ancak % 50 kadar olduğu gözlenmiştir. Bu açıdan hasarlı kolon onarımının kesinlikle kolonun yükü askıya alınarak yapılması önerilmektedir.

²⁵ Aykaç, S., 2000, "Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı" Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BETONARME YAPI ELEMANLARINDA KULLANILAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Betonarme yapı elemanlarının lokal olarak onarımına son yıllarda sıkça karşılaşılmaktadır. Yakın dönemde ülkemizde yaşanan depremler sonrasında çok sayıda betonarme bina hasar görmüştür. Özellikle 1999 Gölcük Depremi sonrasında, deprem bölgesine uzak olmasına rağmen İstanbul’ da çok sayıda bina depremden etkilenmiştir. Deprem sonrası hasar gören ve depremden bir şekilde etkilenen yapıların onarım ve güçlendirilmeleri gündeme gelmiştir. Ayrıca ülkemizdeki mevcut yapı stoğu incelendiğinde yapı kalitemizin yeterli dayanıma sahip olmadığı, olası bir depremde çok büyük riskler taşıdığı ve birçok binada da mevcut haliyle hasar olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle dayanımı yetersiz olan mevcut yapıların güçlendirilmesi, hasarlı yapı elemanlarının da onarımı gerekmektedir. Bununla birlikte Türkiye Deprem Bölge Haritası’ nın 1996 yılında değişimi ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik’ inde 1998 yılında değişmesi nedeniyle de birçok binanın tetkiki, yetersiz yapı elemanlarının da güçlendirilmesi gerekmektedir.²⁶

Betonarme yapı elemanlarının yerel olarak onarımı son yıllarda birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Hasarlı kolon, kiriş ve tuğla duvarlar üzerinde çok sayıda araştırma yapılmış ve çalışmalar halen devam etmektedir. Sharma, 1986 , Can, 1994, Yılmaz, 1998, Basunbul ve diğ., 1990, Aykaç, 2000, yaptıkları çalışmalarda güçlendirme ve güçlendirme farklılıklarının kiriş davranışına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmalarda çoğunlukla ele alınan yeni boyuna donatı, sargı donatısı ve beton ilavesi ile yeni bir beton katmanı (mantolama) oluşturulması yöntemidir. Ayrıca yöntemin kullanılması ile eski ve yeni beton arasındaki kaynaşma, yeni donatıların bağlantı şekilleri, yeni sargı donatılarının işlevi, güçlendirilmiş kirişlerin dayanımı, rijitliği ve süneklik farklılıkları değişik mantolama ve donatı konfigürasyonları ile incelenmiştir. Kiriş onarımlarında kullanılan diğer bir yöntem çelik plakalarla yapılan güçlendirmedir. Bu yöntem

²⁶ Kumbasar, N., İlki, A., 2001 “Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapı Elemanlarının Onarım Ve Güçlendirilmesinde Kullanılması”, Tübitak İnşaat Ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı, S105.

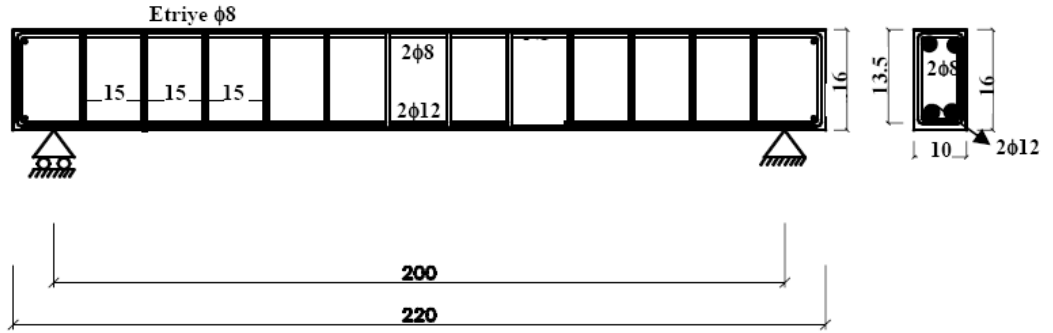
değişik şekillerde incelenmiş, plakaların güçlendirmeye etkisi araştırılmıştır. Son yıllarda hızla gelişen karbon lifi yöntemiyle (FRP) kiriş onarımı sisteme rijitlik vermesiyle birlikte uygulamada da kullanım alanı

bulmuştur. Shaway ve Beitelman, 1996, Kumbasar ve İlki, bu konuda araştırmalar yaparak hasar gören kirişleri FRP ile güçlendirmiş ve test etmişlerdir. Kolon onarımı ile ilgili yapılan çalışmalarda betonarme mantolama yöntemi ile onarımlar yapılmış ve ele alınan numuneler test edilmiştir. Testler sonucunda onarılan ve güçlendirilen kolonların düktilitesi ve dayanımları incelenmiştir . Diğer yandan Ramires, 1996 betonarme kolon tamir yönteminin karakteristiğini ve tesirliliğini incelemek amacıyla hasarlı kolonlar çelik profillerle güçlendirmiş ve test etmiştir. Bu çalışma kapsamında eleman güçlendirilmesinde kullanılan teknikler irdelenmiş, onarılmış ve güçlendirilmiş betonarme elemanların davranış ve dayanımları araştırılmıştır. Güçlendirme teknikleri olarak ele alınan yöntemler, taşıyıcı elamanın bir, iki, üç ve dört yüzünden mantolanması ve çelik korniyerle güçlendirme yöntemleridir.

4.1. Hasarlı Kirişlerin Onarımı

Hasarlı kirişlerin onarımının etkinliğini, onarılmış kirişlerin yük taşıma kapasitelerinin, eleman davranışlarının saptanması amacıyla bir dizi deney yapılmıştır. Deneysel çalışmada, Çizelgede verildiği gibi beş seri halinde 21 adet kiriş numunesi kullanılmıştır. Numuneler 100*160*2200 mm. ebadında, C16 betonu ve S420 yapı çeliği kullanılarak üretilmiştir (Şekil). Üretilen kirişlerin esas donatısı

2 ϕ 12, montaj donatısı 2 ϕ 8 ve etriyeleri ise 150 mm. ara ile ϕ 8' dir.



Şekil 4.1. Deney numunesi detayı

Çizelge 4.1. Deney Elemanları

Sıra No	Numune Seri No	Kiriş Seri No	Eleman Kesiti (mm)	Açıklama
1 2 3 4 5 6	1	KM 11 KM 12 KM 13 KM 21 KM 22 KM 23	Önce, 100*160 onarıldıktan sonra 160*260	Mantolama: Kirişe alt tarafından U şeklinde etriye ve 2 ϕ 12 donatı ilave edilmiştir.
7 8 9	2	KM 31 KM 32 KM 33	100*160	Kirişin alt ve iki yan yüzeyine epoksi ile saç levha yapıştırılmıştır.
10 11 12 13 14 15	3	KM 41 KM 42 KM 43 KM 51 KM 52 KM 53	Önce, 100*160 onarım sonrası 160*260	Mantolama: hasarlı kiriş alt yüzeyine 2 ϕ 12 ek donatı ve ϕ 8/15 etriye ilavesi şeklindedir.

Çizelge 4.2. Üretilen kirişlerin malzeme ve geometrik özellikleri

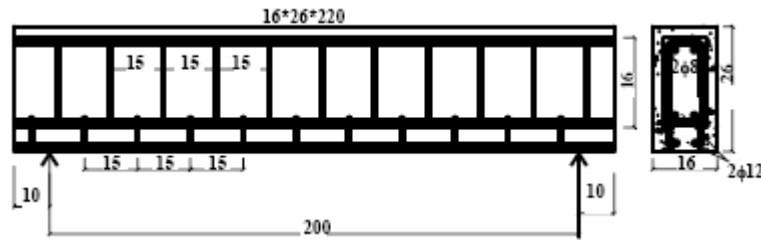
Sıra no	Numune no	Boyutlar (mm)	Donatı miktarı	Donatı alanı (mm ²)	Donatı oranı	Ölçülen d (mm)	f _{tk} (MPa)	f _{yk} (MPa)	f _{cu} (MPa)
1	KM 11	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	130	22.204	529.74	804.42
2	KM 12	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
3	KM 13	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	137	22.204	529.74	804.42
4	KM 21	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
5	KM 22	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
6	KM 23	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
7	KM 31	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
8	KM 32	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	130	22.204	529.74	804.42
9	KM 33	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	130	22.204	529.74	804.42
10	KM 41	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
11	KM 42	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
12	KM 43	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	136	22.204	529.74	804.42
13	KM 51	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
14	KM 52	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	130	22.204	529.74	804.42
15	KM 53	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	130	22.204	529.74	804.42
16	RKMk1	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	130	22.204	529.74	804.42
17	RKMk2	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
18	RKMk3	100x160x2200	2 ϕ 12	226	0.014	135	22.204	529.74	804.42
19	RKMb1	160x260x2200	4 ϕ 12	452	0.01	240	33.27	529.74	804.42
20	RKMb2	160x260x2200	4 ϕ 12	452	0.01	245	33.27	529.74	804.42
21	RKMb3	160x260x2200	4 ϕ 12	452	0.01	245	33.27	529.74	804.42

Deney numunelerinin üç adedi (RKMk1, RKMk2, RKMk3) referans kiriş olarak üretilmiştir. Üç kiriş de (RKMb1, RKMb2, RKMb3) mantolama sonucunda ulaşılan kesitte elde edilen değerlerle karşılaştırmak amacıyla 160*260 mm. Ebadında üretilmiştir. Çizelge de ise üretilen kirişlerin özellikleri verilmiştir.

Beş seri halinde hazırlanan numunelerin ilk üç serisi onarım amacıyla, diğer serileri ise karşılaştırma amacıyla referans kiriş olarak üretilmiştir. Kiriş onarımları üç değişik şekilde yapılmıştır:

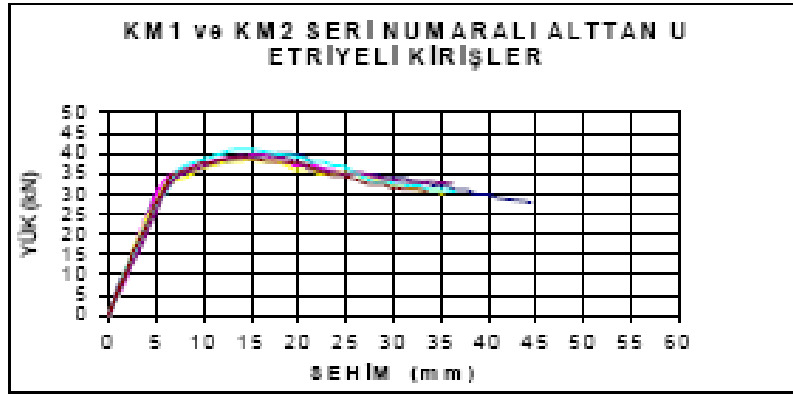
4.2. Kirişe Alt Tarafından U Şeklinde Etriye ve 2φ12 Donatı İlave Edilerek Yapılan Betonarme Onarım

Normal hava şartlarında elde edilerek hasar verilen kirişlerden altısı üzerinde (birinci seri) kiriş alt tarafından U şeklinde etriye ve 2φ12 donatı ilave edilerek betonarme mantolama yapılmıştır (Şekil). Onarım esnasında yapılan mantolamada C30 ve S420 malzemeleri kullanılmıştır. Eski beton C16 ile yeni beton C30' un kaynaşması için kiriş yüzeyleri pürüzlendirilmiştir.²⁷



Şekilde U şeklinde etriye ankrajı ile onarımın donatı detayı Onarılan kirişler bir ucu sabit diğer ucu hareketli basit mesnetli deney setinde orta dereceli hasar verilene kadar yüklenerek kırılmıştır. Her yük aşamasında kirişin ½ ve ¼ açıklıklarında oluşan yer değiştirme değerleri komparatörlerden okunarak kaydedilmiştir. Deney sonunda KM1 ve KM2 seri numaralı kirişlere ait yük-yer değiştirme eğrileri Şekil de verildiği gibi elde edilmiştir. Onarılmış kirişlerde karşılaştırma yapmak amacıyla üretilen referans kirişlere ait yük-yer değiştirme eğrileri ise şekil de verilmiştir.

²⁷ Önal, M., Tokgöz, H., 2005, "Betonarme Kirişlerin Onarımı Üzerine Deneysel Bir Çalışma", Ytü Sigma



Şekil 4.2. Alttan U şeklinde etriye ve 2φ12 donatı ilave edilerek mantolanmış kirişlerin yük – yer değiştirme eğrileri

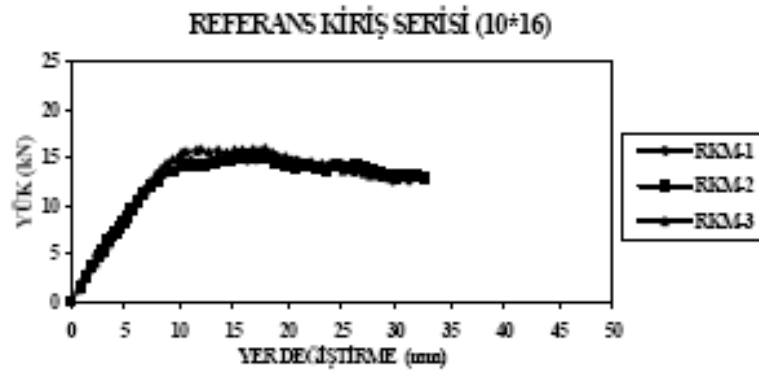
4.3. Hasarlı Kolonların Onarımı

Hasarlı betonarme kolon elemanların onarımındaki davranış ve dayanım artışlarının hasarlı betonarme kiriş elemanlarına göre nasıl bir artış gösterdiğinin karşılaştırılması amacıyla yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu konuda yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle karşılaştırma kolaylığı açısından Can, 1994, 1995, 1996 ve 1997 yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Bu çalışmalarda hasarlı betonarme kolonlar, betonarme mantolama yöntemiyle ve çelik korniyelerle güçlendirilmiş, güçlendirme sonrası aksenal basınç uygulanarak yük taşıma, süneklik, rijitlik ve enerji tüketme kapasiteleri incelenmiştir.

4.3.1. Hasarlı Kolonların Betonarme Mantolama Yöntemi İle Onarımı

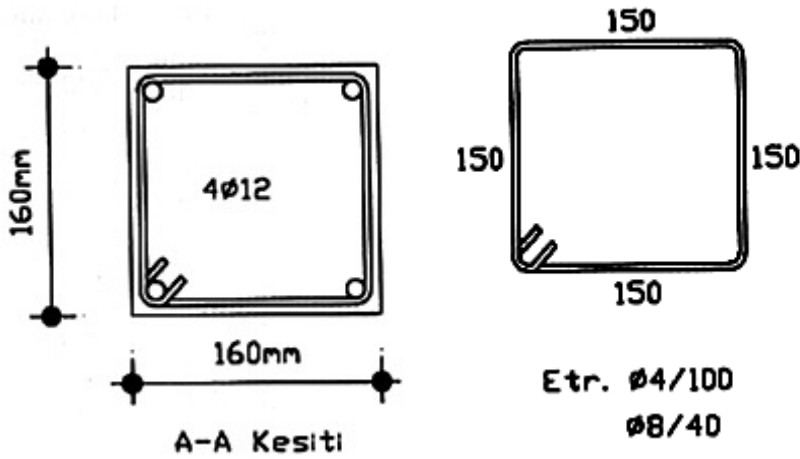
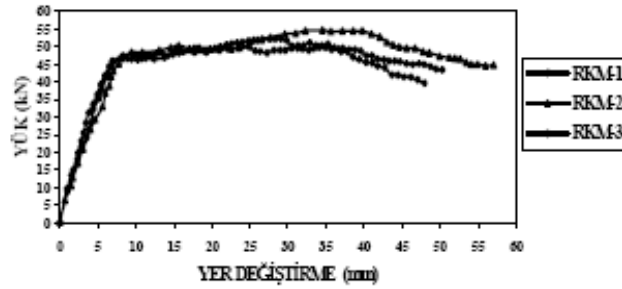
Can tarafından yapılan çalışmalarda 160*160 mm kesitinde 900 mm boyunda ve 4φ12 boyuna donatı kullanılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Kolon uç bölgesinde 40 mm ara ile φ8, kolon ölçüm bölgesinde 100 mm ara ile φ14 etriye kullanılmıştır (Şekil)²⁸

²⁸ Can, H., 1996, “Komşu İki Yüzünden Mantolanmış Betonarme Kolonların Deprem Davranışı”, İmo Teknik Dergi, 1091-1110.



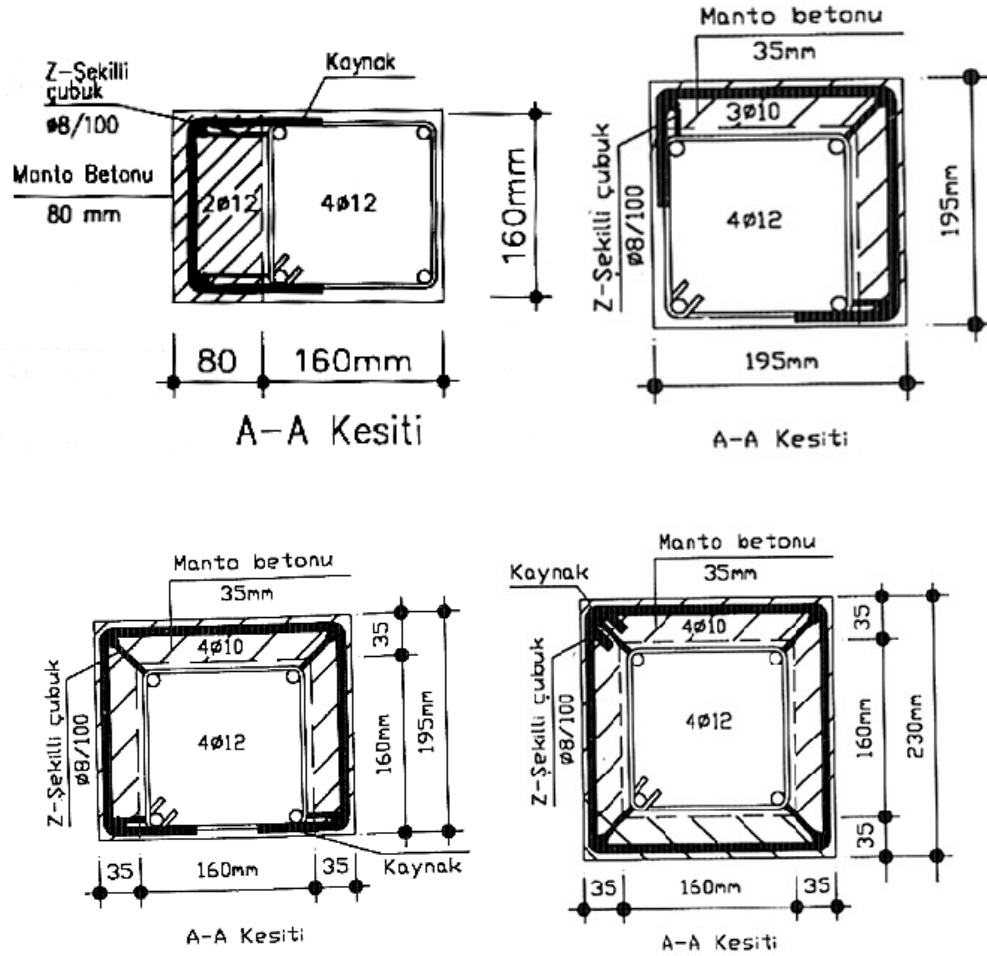
Şekil 4.3. RKMk1, RKMk2, RKMk3 (100*160) rijitlik –yer değiştirme eğrileri

RKM (16*26) REFERANS KİRİŞ SERİSİ



Şekil .4.4. Betonarme kolon numuneleri

Hazırlanan numunelere aksenal yük uygulanmış ve orta dereceli hasar verilene kadar yük arttırılmıştır. Hasara uğrayan numuneler kenarlarından 35 mm ilave betonla bir, iki, üç ve dört yüzeyinden yüksüz halde mantolanarak onarılmıştır



Şekil 4.5. Bir, iki, üç ve dört yüzden Onarılmış kolon numuneleri

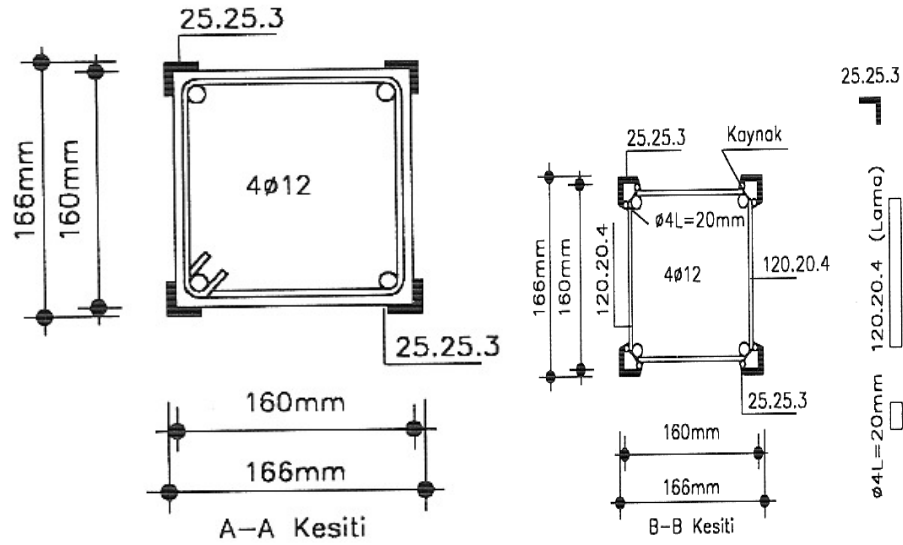
Onarılmış elemanların yanı sıra onarım sonrası ebatlara uygun monolitik (kolon ve anto birlikte dökülmüş) elemanlar da üretilmiştir. Ayrıca bir dizi kolon numunesi de hasarsız bir şekilde yüksüz onarılmış kolon boyutlarına uygun halde güçlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bir yüzden onarılmış/güçlendirilmiş kolon elemanlarda yük-yer değiştirme eğrisi Şekildeki gibi elde edilmiştir. İki, üç ve dört yüzden mantolanmış kolonlara ait yük-yer değiştirme eğrileri de sırasıyla Şekillerdeki gibi belirlenmiştir.²⁹

4.3.2. Hasarlı Kolonların Çelik Korniyerlerle Onarımı

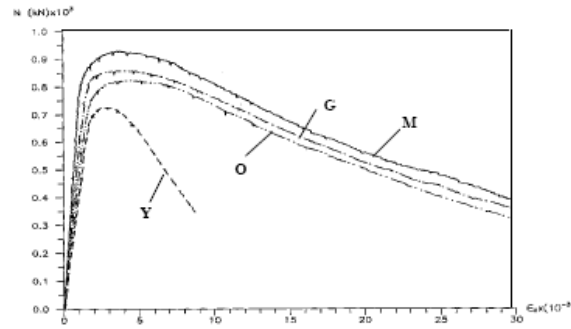
Can'ın yaptığı bu deneysel çalışmada, betonarme kolonlarda yapılan araştırmalardaki deney düzeneğinin aynısı çelik korniyerlerle yapılan güçlendirmeler

²⁹ Önal, M., Tokgöz, H., 2005, "Betonarme Kirişlerin Onarımı Üzerine Deneysel Bir Çalışma", Ytü Sigma

için de kullanılmıştır. Deney elemanları betonarme kolon mantolama deneylerinde kullanılan kolonların benzeri olup, 160*160 mm kesitinde, 900 mm boyutunda ve 4 ϕ 12 boyuna donatı ile ölçüm bölgesinde ϕ 4/100 mm'lik sargı donatısından oluşmuştur. Hasar verilerek onarılan veya hasarsız haldeki kolonlar dört köşesinden 25.25.3 ebadındaki L profillerle, kolon boyunca da 120.120.4 çelik lamalarla güçlendirilmiştir (Şekil). Güçlendirilmiş/onarılmış elemanlara ait yük-yer değiştirme eğrileri aşağıda Şekilde verilmiştir.



Şekil 4.6. Çelik profillerle güçlendirilmiş/onarılmış kolonlar



Şekil 4.7. Çelik profillerle güçlendirilmiş/onarılmış kolonların yük-yer değiştirme eğrileri

Çelik korniyerlerle dört köşesinden yüksüz olarak güçlendirilmiş/onarılmış betonarme kolonlar aksenal yük altında dayanımlar yönünden başarılı olmuştur.

Onarılmış ve güçlendirilmiş eleman, yalın elemana kıyasla % 18 ve % 14 oranında dayanım ortaya koymuşlardır.

4.4. Güçlendirme Tekniklerinin Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması

Türkiye aktif deprem kuşaklarının üzerinde bulunan bir ülkedir. Geçmişteki büyük şiddetli depremler, ülkemize büyük ekonomik kayıplar ve ölümler getirmiştir. Büyük kayıpların en büyük sebebi, binaların deprem şartnamelerine uyulmadan yapılması ve denetim eksiklikleri sebebi ile oluşan işçilik hatalarıdır. Beklenen büyük şiddetli depremlere karşı acil önlemler alınması gerekmektedir. Bu önlemler, hali hazırdaki binaların güçlendirilmesi-yeniden inşası, yeni yapılacak binaların sıkı denetimi ve yerleşim planlarının oluşturulmasıdır.³⁰

Ülkemizdeki birçok yapı depreme dayanıklı olarak yapılmamıştır. Özellikle stratejik ve sosyal öneme sahip resmi binalar, (okullar, hastaneler, kamu binaları, vs.) önceki kötü deneyimlerden de bilindiği gibi depremlere karşı yeterince dayanıklı değildir ve bunların güçlendirilmeleri gereklidir. Ülkemizin ekonomik şartları göz önüne alındığında bu güçlendirmeler ve iyileştirmeler büyük bir ekonomik yük oluşturmaktadır. Bu sebepten ülke çapındaki bina güçlendirmelerine girişilmeden önce iyi bir planlama ve maliyet hesabı yapılması zorunludur. Bu çalışmada, geliştirilmekte olan binalara dışarıdan perde giydirilmesi tekniğini, teknik avantaj, maliyet ve sosyal fayda açılarından incelenecektir.

Daha deney aşaması tamamlanmamış olsa da bu tekniğin umut verdiği görülebilir. Kağıt üzerindeki hesapları, mukavemet açısından bir sorun olmadığını, ayrıca temel kazısı ve temel inşasında kolaylıklar getirdiğini göstermektedir. Ekonomik olarak baktığımızda ise daha ucuza çıkacağını tahmin etmekle beraber, ayrıntılı fiyat analizi gerektirmektedir. Sosyal açıdan bakıldığında ise; inşaat süresince bina kullanımına izin vermesi, okullardaki eğitim sürekliliğini ve hastanelerdeki insanların sağlığını düşündüğümüzde sosyal fayda açısından değer biçilemeyecek kadar büyük bir yarar sağlamaktadır. Binanın bazı tuğla duvarlarının yıkılıp yerine demir donatılı beton perde duvar eklenmesidir. Bu perde duvar temelden başlayıp binanın en üst katına kadar uygulanmalıdır. Perde duvar uygulanacak duvarlar seçilirken simetrik olması göz önüne alınmalıdır. Yatay

³⁰ Can, H., 1997, "Bir Yüzünden Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altındaki Davranışı", İmo Teknik Dergi, 1517-1524.

yüklere karşı çok büyük dayanım sağlar. Bu teknik bilinen en iyi güçlendirme tekniğidir. Binaya sağladığı deprem dayanımı en fazla olan tekniktir. Yapım süresi uzundur ve inşaat süresince bina kullanılamaz. Bir diğer zayıf yanı ise perde duvarın inşaatı için gerekli olan temelde bazı sorunların baş göstermesidir. Hali hazırdaki binanın içinde kazı yapılması oldukça zordur ve her zaman yeteri kadar temel kazısı yapılamamaktadır, dolayısıyla perde duvar temelinde yetersizlikler görülebilmektedir. Mukavemet analizlerindeki rijit temel varsayımına aykırı durumlar gözlemlenebilir. Ayrıca hali hazırdaki giriş ve kolonlara bağlantısı iyi sağlanmalıdır. Bu sebeplerden ötürü yapısal dayanım hesaplarında %25 lik bir güvenlik faktörü uygulanır.

4.4.1. Karbon Fiber Donatılı Polimer (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP)

Bu teknik karbon fiber donatılı polimer tabakaların kiremit iç duvarlar üzerine uygulanmasıdır. Bir nevi perde duvar gibi çalışır. Bina içinde inşaat yapılacağı için yine inşaat süresince bina kullanılamaz. Araştırmalar sonucunda perde duvar uygulamasına göre maliyetinin fazla olduğu ve sağladığı dayanımın daha az olduğu tespit edilmiştir. Yalnız bu teknik üzerindeki ODTÜ ve TÜBİTAK'ın yaptığı araştırmalar arasındaki sonuçların çok farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Bu tekniğin daha fazla incelenmesi gerekmektedir. İnşaat süreleri ve diğer faktörlerinde göz önüne alınması gerekmektedir.³¹

4.4.2. Kolon Giydirmesi

Yetersiz boyutlardaki kolonların boyutlarının büyütülmesidir. Genel olarak dikey yükler için uygulanır. Bu teknik, perde duvar güçlendirmesiyle ve CFRP'yle beraber uygulanabilir. Yine bina inşaat süresince kullanılamaz ve kolona bitişik duvarların belli ölçüde yıkılmasını gerektirir. Bu teknik tek başına çok fazla fayda sağlamaz.

³¹ Ramirez, J.L., 1996, "Ten Concrete Column Repair Methods", Construction And Building Materials, V. 10, No.3, 195-202.

4.5. İnceleyeceğim Proje Aşamasındaki Teknik

4.5.1. Dıştan Giydirmeli Perde Duvar

Binanın dışına, kolonların dış yüzeylerine bağlanacak şekilde perde duvarlar yapılmasını içeren bir tekniktir. Normal perde duvarlar gibi temelden başlayıp en üst kata kadar çıkılır. Duvar binanın dışında olduğundan temel kazısı kolaylıkla istenen ölçülerde yapılabilir. Perde duvarın bütünlük arzemesi sonucunda kalıp yapımında ve beton sıkıştırmasında kolaylıklar sağlar. Bina içine yapılacak perde duvarlarda kalıp hazırlama, beton dökme ve sıkıştırmada sorunlar görülür. Ayrıca binanın içine girilmediğinden, inşaat süresince binanın kullanımını belli ölçülerde kısıtlamaz. Bu yöntemde perde duvarın kolonlara ve kirişlere dış yüzeylerinden bağlanması bazı bağlantı sorunları doğurabilir. Bu durum yöntemin bir eksisi olarak görülebilir, fakat detaylı incelemeler yapılmalıdır. Bu teknik daha hala proje aşamasında olduğundan, artı ve eksileri detaylı analizlerle incelenecektir. Kağıt üstünde herşey olağan görülmekle beraber deneyleri tamamlanmış değildir. Yapım süresi, maliyet ve yapı süresince binanın kullanılabilirliği en büyük artıları olarak ön görülmektedir.

4.6. Maliyet-Fayda Analizi

Maliyet-fayda analizi değişik stratejiler arasında en ekonomik ve en fazla yarar sağlayacak olana karar vermede çok gerekli bir incelemedir. Karar vericiler maliyet-fayda analiziyle uygun ve verimli olmayan projeleri eleyerek zamandan ve kaynaktan tasarruf ederler.

İlk olarak yeni tekniğin detaylı maliyet hesabı yapılacaktır. Bu maliyet tahmini bütün harcama kalemlerini ve bunların maliyetlerini içerir. Maliyet içine, dizayn ve mühendislik maliyeti, malzeme maliyeti, işçi maliyeti, ekipman-makine maliyeti ve genel giderler dahil edilecektir. Her bir kalem için birim maliyetler hesaplanıp, herbir değişik proje için maliyet hesabını mümkün kılıp yurt çapındaki bütün güçlendirilecek kamu binalarının toplam maliyeti kolaylıkla hesaplanabilecektir. Maliyet hesabı yapılırken, binanın çeşidi, kapladığı alan, binanın bulunduğu sismik bölge ve zemin tipi göz önüne alınacaktır. Bu faktörler uygun katsayılara dönüştürülerek, uygun kalemlerin birim maliyetleriyle çarpılması ile modifiye edilecek ve en son birim maliyetler bu faktörleri de içerecek şekilde hesaplanmış

olacaktır. Böylece yurt çapındaki her çeşit bina, bulunduğu sismik bölge, kapladığı alan ve zemin çeşidi ne olursa olsun, deprem güçlendirme maliyeti birim fiyatlar üzerinden kolaylıkla hesaplanabilecektir.

Fayda tahmini, maliyet-fayda analizinin en zor kısmıdır. Kurtarılacak hayatlar, acil durumlarda kamu binalarının hizmet verememesinin sebep olacağı sosyal sorunlar ekonomik olarak hesaplaması oldukça zordur. Bu yüzden bu çalışmada değişik güçlendirilme teknikleri sonrası beklenen deprem hasarının tesbiti ile ekonomik fayda belirlenecektir. Ayrıca yapım aşamasındaki binanın kullanılabilirliği de sosyal fayda açısından düşünülecektir. Tabiki yapım süresi de bu sosyal fayda hesabının faktörlerinden biri olacaktır.

SONUÇ

Doğal felaketlerin en korkuncu olan deprem, mühendislik yapıları üzerinde hasarlara yol açmaktadır. Bu hasarların, yapı güvenliğini etkilemeyecek şekilde onarılması, gerekli durumlarda tüm sistemin güçlendirilmesi kaçınılmazdır. Bu yapıların projelendirilmesinin ve uygulanmasının yürürlükte olan yönetmeliklere uygun olarak yapılması gerekmektedir. Yapılacak proje çalışmalarında, mühendislik deneyimi ve malzeme bilgisi son derece önemlidir. Proje çalışmasının sağlıklı olması, yerinde detay imalatlarının özelliklerine de bağlıdır. Onarım çalışmaları, yönetmeliklere uygun ve kontrollüğün bilgisi dahilinde yapılmalıdır.

Bir yapıda güçlendirmeye karar verilebilmesi için, önce binanın zeminin incelenmesinden işe başlanmalı ve zemin koşullarının uygun olduğunu gördükten sonra, yapının ayrıntılı olarak incelenmesine geçilmelidir. Zemin koşulları uygun değilse Geoteknik uzmanı mühendis ile işbirliği yapılarak, zemininiyleştirme yolları aranmalıdır. Güçlendirme için taşıyıcı sistem elemanlarında veya sistemin tümünde yetersizlikler bulunduğu ve uygulanacak iyileştirme teknikleri ile yapıya yeterli taşıma gücü sağlanmasının mümkün olduğunun saptanması gerekmektedir. Taşıyıcı sistem bütünüyle güçlendirilirken bazı elemanlarda kapasite eksikliği görülebilir ve bunların ayrıca güçlendirilmesi yoluna gidilmelidir. Sonuçta eleman kesit etkileri kapasiteye uygun hale getirilmelidirler

Yapılacak güçlendirme çalışmalarında, yapıların tekrar depreme maruz kalacağı düşüncesi ile mevcut çerçeve sistemi ile uyumlu betonarme perdeler önerilmelidir. Yapılacak proje çalışmalarında ise, perdeler mimari kullanımı fazla etkilemeyecek şekilde ve yapıda burulma kuvvetleri meydana getirmeyecek yerlerde olmalıdır. Güçlendirme konusunun hayli karmaşık ve farklı alternatifleri olan bir süreç olduğu da akıldan çıkarılmamalıdır. Onarım ve güçlendirme bir bilim olduğu kadar sanattır. Bu işle uğrasan mühendis veya mimarın çok iyi bir davranış bilgisine sahip olması gerekir. Hiçbir onarım / güçlendirme yöntemi bir şablon olarak uygulanamaz. Yöntem binanın özelliklerine göre şekillendirilmelidir. Bilinçsiz yapılan onarım / güçlendirme yararlı olamayacağı gibi binayı dahada zayıflatabilir.

KAYNAKÇA

ALLEN, D.E., “Seismic Evaluation and Upgrading of Buildings”, National Research Council of Canada, Construction Technology Update No.26,1999.

ALLEN, D.E., “Seismic Evaluation and Upgrading of Buildings”, National,1999.

Research Council of Canada, Construction Technology Update No.26

BAŞYİĞİT, CELALETTİN ve GENÇER, ÖZLEM ve TERZİ, SERDAL, “Depremde Hasar Gören Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi”, Deprem Araştırma Bülteni, 83,2000

CELEP, ZEKAİ, “Mevcut Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi”, <http://deprem.fikirgonul.com/makaleler.htm>

ALTUN, FATİH ve KARA, H.BEKİR ve UNCUOĞLU, ERDAL ve KARAHAN, OKAN, Betonarme Yapılarda Deprem Hasarları ve Altı Katlı Bir Yapının Güçlendirme Çalışmaları, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16(2) 309-318,2003.

COŞKUN, ERDAL, Betonarme Yapıların Geleneksel Yöntemlerle Depreme Karşı Güçlendirilmesi.

GÜLER, KADİR ve ALTAN, MELİKE, Betonarme Yapılarda Perde ve Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinde Yaşanan Sorunlar Üzerine Bir İrdeleme, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, AT-090

KAPLAN, SEYİT ALİ, Mevcut Yapıların Deprem Yüklerine Karşı Güçlendirilmesi, Çıkmalı Binaların Depreme Karşı Güvensizliği ve Mevzuatta Düzeltmesi Gereken Hususlar, <http://deprem.fikirgonul.com/makaleler.htm>

ÖNEN, YUSUF HATAY, Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışı ve Güçlendirilmesi, <http://deprem.fikirgonul.com/makaleler.htm>

ANTONUCCI, R. ve MEDEOT, R. Seismic Protection of Buildings Through Energy Dissipation and The Base Isolation System: The Italian Experience, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, AT-055

BAŞYİĞİT, CELALETTİN ve GENÇER, ÖZLEM ve TERZİ, SERDAL, 2000, Depremde Hasar Gören Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi, Deprem Araştırma Bülteni, 83

ARIOĞLU, ERGİN ve ARIOĞLU, NİHAL ve YILMAZ, ALİ OSMAN, Zemin Sıvılaşması, <http://deprem.fikirgonul.com/makaleler.htm>

CELEP, ZEKAİ, Mevcut Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi, <http://deprem.fikirgonul.com/makaleler.htm>

ILKI, ALPER, Betonarme Yapılarda Riskler ve Risklerin Azaltılması

KOÇAK, ALİ, 17 Ağustos 1999 Körfez ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Sonrası Marmara Bölgesi’ nde Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirmelerinde Yapılan

Hatalar, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, AT-077

ÖNEN, YUSUF HATAY, Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışı ve Güçlendirilmesi, <http://deprem.fikirgonul.com/makaleler.htm>

Çetinceli, S., Cost-Benefit Analysis for Various Rehabilitation Strategies, Master Thesis, 2005.

ÖNEN, YUSUF HATAY, Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışı ve Güçlendirilmesi, <http://deprem.fikirgonul.com/makaleler.htm>

Özkul, H., Yıldırım, H. 1998. Strengthening of Steel Reinforced Concrete With FRP Materials, Second Japon-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, Feb 1998, İstanbul

YILMAZ, K., “Betonarme Yapılarda Depremler Sonucunda Oluşan Hasarlar, ve Onarım Yöntemleri” Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü,1998.

AYKAÇ, S.,“Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,2000.

KUMBASAR, N., İLKİ, A.,“Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapı Elemanlarının Onarım ve Güçlendirilmesinde Kullanılması”, Tübitak İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu, Yapı Mekaniği laboratuvarları Toplantısı, s105,2001.

ÖNAL, M., TOKGÖZ, H., “Betonarme kirişlerin onarımı üzerine deneysel bir çalışma”, YTÜ Sigma,2005.

CAN, H.,“Komşu iki yüzünden mantolanmış betonarme kolonların deprem davranışı”, İMO Teknik Dergi, 1091-1110,1996.

ÖNAL, M., TOKGÖZ, H.,“Betonarme kirişlerin onarımı üzerine deneysel bir çalışma”, YTÜ Sigma,2005.

RAMÍREZ, J.L.,“Ten Concrete Column Repair Methods”, Construction and

Building Materials, V. 10, No.3, 195-202,1996.

TONYALI, H. "Betonarme Yapılarda Duvar Etkisi ve Güçlendirilmesi "

Bitirme Tezi, İÜ,Fen Bilimleri Enstitüsü,2005

Kocaeli Deprem Konferansı ,2005

ÖZGEÇMİŞ

Özlem Gülmez 1987 de Uşak'ta doğmuştur. Orta ve lise öğrenimini Denizli 'de Emine Özcan Anadolu Lisesinde bitirmiş , 2008 yılında Haliç Üniversitesi Mimarlık Fakültesinden mezun olmuştur. 2008 yılında Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başlamıştır.

ŞEKİL KAYNAKÇASI

Şekil 1.1. Tonyalı s.5	5
Şekil 1.2. Tonyalı s.6	6
Şekil 1.3 Tonyalı s.9..	6
Şekil 1.4. Tonyalı s.10.....	7
Şekil 1.5. Tonyalı s. 11.	7
Şekil 1.6. Tonyalı s. 11.	8
Şekil 1.7. Tonyalı s.12.	9
Şekil 1.8. Tonyalı s. 13	10
Şekil 1.9. Tonyalı s. 13.	10
Şekil 1.10. Tonyalı s. 14.	11
Şekil 1.11. Tonyalı s. 14	11
Şekil 1.12. Tonyalı s. 15.	12
Şekil 1.13. Tonyalı s. 16.	13
Şekil 1.14. Tonyalı s. 17	14
Şekil 1.15. Tonyalı s. 18	15
Şekil 1.16. Tonyalı s. 19	15
Şekil 1.17. Tonyalı s.19.	16
Şekil 1.18. Tonyalı s.20.	17
Şekil 1.19. Tonyalı s.21.	18
Şekil 1.20. Tonyalı s.22.	19
Şekil 1.21. Tonyalı s. 23	19
Şekil 1.22. Tonyalı s. 23.	20
Şekil 1.20. Tonyalı s.20.	19
Şekil 1.21. Tonyalı s.23.	19
Şekil 1.22. Tonyalı s.23.	20
Şekil 1.23. Tonyalı s. 24	20
Şekil 1.25. Deprem Sempozyumu 2005 s. 2	22
Şekil 1.26. Tonyalı s.30	26
Şekil 1.27. Tonyalı s.30	26
Şekil 1.28. Tonyalı s.32	27
Şekil 1.29. Deprem Sempozyumu 2005 s.993	28
Şekil 1.30. Deprem Sempozyumu 2005 s. 993	28
Şekil 1.31. Deprem Sempozyumu 2005 s. 994	29
Şekil 1.32. Deprem Sempozyumu 2005 s. 994	29
Şekil 1.33. Deprem Sempozyumu 2005 s. 995	31
Şekil 2.1. Coşkun s.19.....	43
Şekil 2.2. Deprem Sempozyumu s.992	50
Şekil 2.3. Deprem Sempozyumu s.992.	52
Şekil 2.4. Coşkun s. 27.....	51
Şekil 2.5. Tonyalı s.31.	52
Şekil 2.6. Deprem Sempozyumu s.992	52
Şekil 2.7. Coşkun s.26.....	53
Şekil 2.8. Tonyalı s.34	54
Şekil 2.9. Tonyalı s.35.	55
Şekil 2.10.Tonyalı s.36.	56
Şekil 2.11. Tonyalı s.38.	59
Şekil 2.12. Tonyalı s.38.	59
Şekil 2.13. Tonyalı s.38.	59

Şekil 2.13. Tonyalı s.39.	60
Şekil 2.14. Tonyalı s.41.	61
Şekil 2.14. Tonyalı s.41.	61
Şekil 2.15. Tonyalı s.42.	62
Şekil 2.16. Tonyalı s.42.	62
Şekil 4.1. Koçak.Önal s.3.....	78
Şekil 4.2. Koçak.Önal s.5.....	80
Şekil 4.3. Koçak.Önal s.6.....	81
Şekil 4.4. Koçak. Önal s.9.....	81
Şekil 4.5. Koçak.Önal s.9.....	82
Şekil 4.6. Koçak.Önal s.11.....	83
Şekil 4.7. Koçak.Önal s.11.....	83