YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

106212

HASARLI ELEMANLARIN DIŞARIDAN EPOKSİ İLE DONATI EKLENEREK GÜÇLENDİRİLMESİ

İnş. Müh. İbrahim ALTETMEK

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

106212

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. İbrahim EKİZ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Mustafa ZORKOZAN

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Namık K. ÖZTORUN

İSTANBUL, 2001

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ iv

ÇİZELGE LİSTESİ v

RESİM LİSTESİ v

ÖNSÖZ viii

ÖZET ix

ABSTRACT x

1 GİRİŞ 1

1.1 Genel Bilgiler 1
1.2 Tarihçe 6
1.2.1 Deprem yönetmelikleri 6
1.2.2 1983 Erzincan depremi sonrası yapılan çalışmalar 7
1.2.3 1999 Marmara depremi sonrası durum 11

2 ONARIM VE GÜÇLENDİRMENİN PROJELENDİRME ESASLARI VE AŞAMALARI 13

2.1 Deprem Sonrası Hasar Tespiti 13
2.1.1 Hasar saptama çalışmaları için EPEDA sistemi 14
2.1.1.1 Hasar düzeyi belirleme yöntemi 16
2.1.1.2 EPEDA ile bir uygulama 20
2.1.2 Hasar saptama çalışmaları için UN-BALKAN sistemi 23
2.1.3 Hasar saptama çalışmaları için JAPON sistemi 34
2.1.3.1 Yapının hasar durumu ile ilgili incelemelerin yapılması 34
2.1.3.2 Yapının hasar durumunun kabul edilen sınıflandırmadaki yerinin tespiti 34
2.2 Onarım ve Güçlendirme Düzeyinin seçilmesi 39

3 ONARIM VE GÜÇLENDİRMEDE KULLANILAN MALZEMELER 41

3.1 Yerinde Döküm Normal Beton 41
3.2 Büzülmesi (Rötresi) Telafi Edilen veya Genleşen Çimento 42
3.3 Polimerli Betonlar 42
3.4 Reçineli Betonlar 43
3.5 Püskürtme Beton 43

4 BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN ELEMANLARININ ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ 44

4.1 Kolon Kiriş ve Düğüm Noktalarının Onarım ve Güçlendirilmesi 44

4.1.1 Yerel onarımlar 45
4.1.2 Betonarme mantolama 51
4.1.3 Çelik levha kılıf geçirme 53
4.1.4 Çelik profil iskelet geçirme 54
4.2 Kirişlerin Betonarme Mantolama ile Onarımı ve Güçlendirilmesi 54
4.3 Düğüm Noktalarının Betonarme Mantolama ile Onarımı ve Güçlendirilmesi 56
4.4 Döşemelerin Betonarme Mantolama ile Onarımı ve Güçlendirilmesi 57
4.5 Sistemin Perde İlavesi ile Güçlendirilmesi 58
4.6 Temelin Güçlendirilmesi 59

5 EPOKSİ İLE ÇELİK PROFİL İLAVESİYLE ONARIM VE GÜÇLENDİRME 60

5.1 Tarihçe 61
5.2 Epoksi Kullanılarak Yapılan Onarım ve Güçlendirmeler 63
5.2.1 Betonarme mantolama 63
5.2.2 Sistemin ayrıntıları 64
5.2.3 Sistemin avantaj ve üstünlükleri 67
5.2.4 Epoksi ile donatı ilavesi sistemi ile yapılan uygulamalar 71
5.3 Brisa: Deprem Hasarı Onarım ve Güçlendirme Çalışmaları 72
5.4 Çöken Kısmın Kaldırılması İşine Ait Yönerge 75

6 DENEYSEL ÇALIŞMA 83

6.1 Epoksi İle Donatı Donatı Ekleyerek Kolonların Güçlendirilmesi Detayı 83
6.1.1 Deneysel Program 83
6.2 Deneyde Kullanılan Malzemeler 84
6.2.1 Beton özellikleri 84
6.2.2 Çelik özellikleri 86
6.2.3 Epoksi tamir harcı ve yapıştırıcılar 86
6.3 Deney Düzeni 86
6.3.1 Deney Platformu 86
6.3.2 Yükleme Düzeni 88
6.4 Kolon Deneyleri 90
6.4.1 Birinci seri kolon deneyleri 91
6.4.2 İkinci seri kolon deneyleri 97
6.4.3 Üçüncü seri kolon deneyleri 104
6.5 Deney Sonuçları 108
6.5.1 Yükleme 108
6.5.2 Yük - deplasman ilişkisi 108

7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER 109

7.1 Sonuçlar 109
7.2 Öneriler 110

KAYNAKLAR 112

ÖZGEÇMİŞ 113

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Hiyerarşik organizasyon 15
Şekil 2.2 EPEDA'nın akış mekanizması 15
Şekil 4.1 Hafif hasarlı kolonda reçine enjeksiyonu 45
Şekil 4.2 Hafif hasarlı kolonda hasarlı kısmın çıkarılıp yeniden yapılması 46
Şekil 4.3 Betonu ezilmiş, boyuna donatısı burkulmuş ve etriyeleri kopmuş kolonda onarım 46
Şekil 4.4 Betonarme kolonun bir, iki, üç veya dört yandan mantolanması 51
Şekil 4.5 b/a kolonu a) yalnız kat içinde, b) döşemede açılan delikler sayesinde tüm sistemde güçlendirme 51
Şekil 4.6 Bir taraftan ve dört taraftan mantolama detayı 52
Şekil 4.7 Çelik kılıf ile yapılan güçlendirme 53
Şekil 4.8 Çelik profil iskelet ile güçlendirme 54
Şekil 4.9 Kirişin bir yanından (alt yüzden) mantolanarak güçlendirilmesi 55
Şekil 4.10 Kirişin üç yandan mantolanarak güçlendirilmesi 55
Şekil 4.11 Kesme mukavemetinin arttırılması 55
Şekil 4.12 Kolon – kiriş birleşiminin (düğüm noktası) mantolanarak güçlendirilmesi 56
Şekil 4.13 Döşemede bölgesel onarım 57
Şekil 4.14 Döşemede güçlendirme detayları 57
Şekil 4.15 Perdelerin bina içine yerleştirilmesi 58
Şekil 4.16 Ankraj detayı 58
Şekil 4.17 Mantolanmış kolon altındaki temelin oturma alanının arttırılması 59
Şekil 4.18 Perde ilave edilmiş sistemde temel takviyesi 59
Şekil 5.1 Mikser kısmı kolon yerleşim planı 74
Şekil 5.2 Mikser kısmı 1. kat destek yerleşim planı 75
Şekil 5.3 Mikser kısmı 2. kat destek yerleşim planı 76
Şekil 5.4 Hidrolik kriko destek elemanları 77
Şekil 5.5 Kiriş destek elemanları 78
Şekil 6.1 Deney numunesi detayı 85
Şekil 6.2 Deney düzeneği 87
Şekil 6.3 Deney düzeneği detayı 88
Şekil 6.4 Deney kolon detayları ve yapıştırma detayı 90
Şekil 6.5 Birinci seri kolonları Yük – Deplasman eğrileri 96
Şekil 6.6 Birinci seri kolonları x – y eksenleri deplasman eğrileri 96
Şekil 6.7 İkinci seri kolonları Yük – Deplasman eğrileri 103
Şekil 6.8 İkinci seri kolonları x – y eksenleri deplasman eğrileri 103
Şekil 6.9 Üçüncü seri kolonları Yük – Deplasman eğrileri 107
Şekil 6.10 Üçüncü seri kolonları x – y eksenleri deplasman eğrileri 107
Şekil 6.11 Tüm serilere ait verilerin kıyaslamalı yük – deplasman ilişkisi 108

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Olası depremlerde yapılardan beklenen davranış biçimleri 3
Çizelge 1.2 Bazı binaların peryod ölçümleri 7
Çizelge 1.3 13.03.1992 Erzincan depremi kesin hasar tespitleri 9
Çizelge 1.4 Erzincan depreminde Kamu binalarının hasar durum özeti 10
Çizelge 2.1 Global hasar düzeyleri 17
Çizelge 2.2 Eleman hasar puanları 18
Çizelge 2.3 Örnek bina için hasar istatistikleri 21
Çizelge 6.1 Birinci seri kolonları ortalama deplasman sonuçları 95
Çizelge 6.2 İkinci seri kolonları ortalama deplasman sonuçları 102
Çizelge 6.3 Üçüncü seri kolonları ortalama deplasman sonuçları 106

RESİM LİSTESİ

Resim 2.1 13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrası oluşan hasara örnek 36
Resim 2.2 ANITKABİR' de oluşan korozyon hasarı 36
Resim 2.3 Tügsaş Samsun iskelesi korozyon hasarı 37
Resim 2.4 17 Ağustos 1999 Marmara depremi sonrası Petkim iskelesinde oluşan hasar. 37
Resim 2.5 Petkim Derince iskelesi ağır hasarlı kolon 38
Resim 2.6 Kolonda kesme çatlağı ve enjeksiyon hazırlıkları 47
Resim 2.7 Arıtma tesisi havuzunda epoksi enjeksiyon uygulaması 48
Resim 2.8 Epoksi enjeksiyon 48
Resim 2.9 Korozyon onarımı 49
Resim 2.10 Polimer modifiyeli rötresiz tamir harcı ile onarım 49
Resim 2.11 Epoksi tamir harcı ile korozyon ve deprem hasarı onarımı 50
Resim 2.12 Epoksi tamir harcı ile korozyon ve deprem hasarı onarımı 50
Resim 5.1 Çelik donatı ilavesiyle düğüm noktası güçlendirmesi 60
Resim 5.2 Düğüm noktası ve kirişte güçlendirme 61
Resim 5.3 Epoksi ile donatı eklenmesi yönteminde bölgesel uygulama 62
Resim 5.4 Uygulama detayları 63
Resim 5.5 Epoksi enjeksiyon ve epoksi tamir harcı ile onarım yapılması 64
Resim 5.5 Çelik güçlendirme elemanlarının hazırlanması 65
Resim 5.6 Güçlendirme öncesi yapılan hazırlıklar 66
Resim 5.7 Kolonlarda ve prefabrik kolon kiriş bağlantısında yapılan güçlendirme 66
Resim 5.8 Kolon güçlendirme detayı 67
Resim 5.9 Epoksi ile yapılan güçlendirme deneyi 68
Resim 5.10 Döşemenin delinerek sürekliliğin sağlanması 69
Resim 5.11 Kolon alt bölgesi güçlendirme detayı 70
Resim 5.12 Düğüm noktalarında güçlendirme genel görünüm 70
Resim 5.13 Mikser kısmında incelenen hasarlı kolon 72
Resim 5.14 Mikser kısmında incelenen hasarlı kolon 73
Resim 5.15 Kaldırma işlemi için yapılan hazırlıklar 73
Resim 5.16 Kolon donatılarının kesilmesi 74
Resim 5.17 Kriko desteklerinin montajı 76
Resim 5.18 Destek ve denge elemanları 77
Resim 5.19 Kesilen kolon donatılarının yeniden montajı 79
Resim 5.20 Kesilen kolon donatılarının yeniden montajı 80
Resim 5.21 Epoksi tamir harcı uygulaması 80
Resim 5.22 İzo-PST donatılarının yerine montajı 81
Resim 5.23 Desteklerin alınmasından önceki ve sonraki hal 82
Resim 5.24 Desteklerin alınmasından sonraki hal 82
Resim 6.1 Deney düzeneği genel görünümü 89
Resim 6.2 Hidrolik krikolar ve yükün uygulandığı kriko kolu 89
Resim 6.3 Birinci seri kolonları yükleme öncesi ve sonrası 91
Resim 6.4 Birinci serinin ilk kolonunda yapılan deneyde oluşan hasar aşamaları 92
Resim 6.5 Birinci serinin ikinci kolonunda yapılan deneyde oluşan hasar aşamaları 93
Resim 6.6 Birinci serinin üçüncü kolonunda yapılan deneyde oluşan hasar aşamaları 94
Resim 6.7 İkinci seri kolon deneyleri 97
Resim 6.8 İkinci seri kolon yükleme başlangıcı 98
Resim 6.9 İkinci seri kolon yükleme başlangıcı 98
Resim 6.10 İkinci seri kolonda hasar başlangıcı 99
Resim 6.11 İkinci seri kolonda hasar başlangıcı 99
Resim 6.12 İkinci seri kolonda oluşan hasar 100
Resim 6.13 İkinci seri kolonda oluşan hasar 100

Resim 6.14 İkinci seri kolonda oluşan hasar 101
Resim 6.15 İkinci seri kolonda oluşan hasar 101
Resim 6.16 Çelik korniyer ilavesi öncesi kolona epoksi astar uygulaması 104
Resim 6.17 Üçüncü seri kolonlarındaki hasar aşamaları 105

ÖNSÖZ

Ülkemizin büyük bir bölümü etkin deprem kuşağında yer almaktadır. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999'da Marmara bölgesini etkileyen depremler ülkemizdeki deprem gerçeğini yeniden ve acı bir şekilde gündeme getirmiştir. Depremin yol açtığı ağır hasar ve yıkımlar ilk olarak "binaların güçlendirilmesi" kavramını ortaya çıkarmıştır. Bu çalışma kapsamında hasarlar, nedenleri, onarım ve güçlendirme esasları anlatılmış ve bu yöntemlerden biri olan epoksi ile çelik levha yapıştırarak güçlendirme yöntemi deneysel olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. İbrahim EKİZ'e, deneysel çalışmalarımda fikir veren ve hazırlanması ve yürütülmesinde yardımcı olan sayın Prof. Zekeriya POLAT'a, Yard. Doç. Dr. H. Orhun KÖKSAL'a ve Öğr. Gör. Dr. Ali KOÇAK'a,
deneylere yardımcı olan Arş. Gör. Nihan DOĞRAMACI ve Teknisyen Şemsettin TOKUŞ'a,
deneyde kullanılan malzemeleri (kolonlar, epoksi, çelik elemanlar, deney düzeneği, hidrolik krikolar ve iş gücü) temininde İZOMAS A.Ş.'ye,
tezin yayına hazırlanmasında sayın Arş. Gör. Nihan DOĞRAMACI ve tez çalışmaları sırasında bana sabır gösteren eşime katkı ve yardımlarından ötürü teşekkür ederim.

İnş. Müh. İbrahim ALTETMEK
İstanbul, Haziran 2001

ÖZET

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

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

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

Bu çalışmada güçlendirme yöntemlerden biri olan epoksi adhezivle dışarıdan donatı (çelik lama, korniyer vs...) eklenmesi konusu incelenmiştir. Bu konu işlenirken yapılan uygulamalara da yer verilmiştir. Çalışma kolonların eksenel yük etkisi altındaki davranışını inceleyen deneylerle desteklenmiştir. Bu amaçla donatı ve beton kalitesi yönünden özdeş kolonlar hazırlanmıştır. Kolonların dizaynında 1998 deprem yönetmeliği öncesi yapılan yapıları ifade edebilecek şekilde minimum donatı ve 28 günlük basınç dayanımı 16,28 N/mm² olan beton seçilmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçların grafik ve çizelgeleri hazırlanmış ve yapılan onarım ve güçlendirme işleminin kolonlara katkısı değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: onarım, güçlendirme, hasar, epoksi, çelik lama, korniyer

ABSTRACT

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

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

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

In this study, one of the repairing & strengthening method investigated which called adhesively bonded steel plates of. The study is supported by tests that made on axially loaded columns. For the test, columns are prepared to show the same characteristic like concrete quality and reinforcement design. During the design phase, to express the structures that made before last code dated 1998, minimum reinforcement ratio and concrete quality (16,28 N/mm^2 for 28 days) was chosen. After the test all results are presented by graphs and photographs. Finally, the affect of repairing & strengthening work was evaluated for the column.

Keywords: repair, strength, damage, epoxy, steel plate

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

En yaygın inşaat malzemeleri arasında yer alan betonarme yapılar, çok farklı ekonomik ve teknik gereksinimlere uymaları nedeniyle, özellikle İkinci Dünya Savaşından sanra çok değişik yapı türlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Bu denli yaygın olarak kullanılan bir malzemenin, değişik kullanım teknikleri, kullanım şekilleri, olağan veya olağan dışı kullanımlar, çevre ve doğa koşullarına karşı bazı yetersizliklerinin ortaya çıkması da doğal bir gelişimdir [İZOMAS,1995].

Taşıyıcı sistemler öz ağırlık, ilave ağırlıklar, hareketli yükler, deprem ve rüzgar etkileri, sıcaklık değişmeleri, rötre ve sünme, mesnet çökmeleri, çarpma, patlama, dış ortamın etkileri ve yaşlanma, yangın, yorulma gibi etkilere maruz kalabilirler. Bu etkilerin altında yapıda bazı kusur, kalite ve özellik kayıpları (çatlamalar, ezilmeler hatta göçmeler) oluşabilir. Bu kusurlar müsamaha edilebilecek sınırlar içinde olabilir veya almayabilir. Müsamaha edilebilecek sınırların dışına çıkılmış olması halinde yapının hasar gördüğünden veya hasarlı duruma girdiğinden bahsedilebilir. Bu durumda betonarme yapıların bir kısmını veya tümünü takviye etmek gereği ortaya çıkar [Demir,1991]. Bu gereksinimi doğuran nedenler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

– Yapının kullanım şeklinin değişmesi ile ortaya çıkan dahili kuvvetler, mevcut enkesitsel mukavemetlerinin çok üstünde oluşabilir. Ortaya çıkan bu ek dahili kuvvetler, mevcut yapının yeni bir ek yüklemesi ile olabildiği gibi, aynı yükün uygun almayan yeni dağılımları sonucunda da oluşmuş olabilir.

– Yapısal elemanlar, harici etkenlerin etkileri nedeniyle veya enkesitsel mukavemetlerinin azalması veya bozulması nedeniyle statik takviyeye gerek duyabilirler. Bu durumda, yapılacak takviyenin amacı yapının eski mukavemetini sağlamaktır.

– Yapı kısmen veya tümüyle yanlış tasarlanmış olabilir. Tasarım aşamasında yapılan yanlışlıklar veya yanlış varsayımlar nedeniyle, yapının bazı veya tüm taşıyıcı elemanları, mevcut ve/veya olası yükleri taşıyamayacak veya mevcut yasa ve yönetmeliklere karşılık veremeyecek durumda olabilirler. Bu durumda, yapının taşıyıcı sisteminin ıslahı ve kapsamlı olarak gözden geçirilmesi gerekecektir.

– Yanlış işçilik ve/veya malzeme kullanımı nedeniyle, tasarım aşamasında hesaplanan mukavemet değerlerine ulaşılamadığı durumlarda da statik takviye gündeme gelir. Donatıların çaplarında yapılacak yanlışlıklar, ihmaller, bazı donatıların plandaki yerlerinden farklı yerlere yerleştirilmesi, yer değiştirmesi, veya tamamen unutulması gibi nedenlerden kaynaklanan mukavemet zaafiyetleri de bu sınıfta yer alır.

– Doğadan kaynaklanan (deprem gibi) güçlü bir harici kuvvet nedeniyle, bölgesel olarak hasar görmüş, zayıflamış ve ilerisi için yapısal tehlike arzeden yapıların, ilk mukavemetlerinden daha yüksek mukavemetlere ulaştırılması için de statik takviyeye gerek duyulur.

Doğal olarak, yapısal güçlendirmenin değişik yöntemleri vardır. Herhangi bir yapı için hangi yöntemin daha pratik ve/veya ekonomik olacağı her durum için ayrı ayrı incelenip karara bağlanmalıdır. Bu seçimde yalnızca yapının teknik gereksinimleri değil, aynı zamanda uygulama kolaylığı, istenilen amaca uygunluk, yapının olası kullanım şekillerinin ve mimarisinin etkileri, onarım süresi, onarım sırasında yapının kullanımına getirilen kısıtlar, parasal kıstaslar vb. de dikkatle incelenerek göz önüne alınırlar [Demir,1991].

Yapı mühendisliği, iki ana değişkenin, yani yapı dayanımı ve yapı ekonomisinin, sürekli rekabet halinde olduğu bir bilimdir. Binaların ve diğer mühendislik yapılarının orjinal yapım aşamalarında en az harcamayla insan hayatını en az riske atan en sağlam sistemlerin oluşturulması bir ilkedir [Özturan, T. ve Çeçen, Ş., 1995].

Yapılar söz konusu olduğunda bunların inşa edilişlerinden kullanım, bakım aşamalarına kadar her ülkede bunlarla ilgili yönetmelikler ve standartlar yürürlüktedir. Ancak bunlara rağmen yapıların hasara uğradıklarına çok rastlanır. Esasen deprem için projelendirmede hiç hasar olmaması şart koşulmaz, bir derece hasara razı olunur. Deprem için projelendirmenin felsefesinde şu ilkeler kabul edilir:

Çizelge 1.1. Olası Depremlerde Yapılardan Beklenen Davranış Biçimleri.

Deprem Türü	**Taşıyıcı Kısımlar**	**Taşıyıcı Olmayan Kısımlar**
Küçük	Hasar olmamalı	Hasar olmamalı
Orta	Hasar olmamalı	Hasar görebilir
Büyük	Hasar görebilir fakat yıkılmamalıdır	Hasar görebilir

Görüldüğü üzere çok kuvvetli depremde yapının taşıyıcı olan ve olmayan kısımlarında önemli kabul edilebilecek hasarlara peşinen razı olunmaktadır. Bu koşullarda bu tür hasarlara razı olunması ekonomik sebeplerden ileri gelir [Demir,1991]. Zira betonarme bir yapının nadir oluşan büyük depremlerde bile elastik sınırlar içinde kalacak şekilde boyutlandırılması –çok özel mühendislik yapıları dışında– ekonomik olmaması oysa insanoğlunun depreme dayanıklı yapılardan başka daha bir çok önemli ihtiyacının da bulunması nedeniyle, rasyonel olmamaktadır [Pul, S. ve Durmuş,A., 1995]. Hasarlı binaların yeniden ekonomiye kazandırılması sırasında da "en az harcamayla insan hayatını en az riske atan en sağlam sistemlerin oluşturulması" ilkesine uyulmalıdır. Hasarlı binaların yıkılıp yeniden yapılması bazı durumlarda orjinal yapım maliyetinin yaklaşık 1.20 ile 1.60 katına ulaşabilmektedir. Buna karşın, eğer yeterli bir onarım ve gerekirse güçlendirme sonucu yapı emniyeti sağlanabiliyorsa, birçok mühendisinde mutabık olduğu gibi orjinal yapım masrafının 0.60 hatta 0.75'i seviyesine kadar yapılan masraf oldukça ekonomik gözükmektedir [Özturan, T. ve Çeçen, Ş., 1995].

Yukarıda söylendiği üzere yapılar hasarlı duruma girdiğinde bunların üzerinde bazı çalışma yapmak ve müsamaha edilemeyecek sakıncalı durumları gidermek gerekir. İşte bu durumda söz konusu yapının veya bazı elemanlarının onarım ve/veya güçlendirilmesi söz konusu olur. Onarım hasar görmüş bir yapıda yapılmasına karşın güçlendirme için yapının hasar görmüş olması gerekmez. Hasar görmemiş bir yapınında takviyesi söz konusu olabilir. Burada onarım ve güçlendirme terimleri ve aralarındaki farkı açıklamak uygun olacaktır;

Onarım: Görünüş veya kullanım bakımından hasar görmüş bir yapıda veya onun bir veya birkaç elemanında önceki haline getirmek için yapılan çalışma ve değişikliktir. Bu önceki haline getiriş onun görünüşü ve kullanımı (yük taşıma kapasitesi, rijitliği, düktilitesi ve dayanıklılığı dahil) bakımlarından olabilir.

Taşıyıcı sistemlerin onarımı onlara önceki mukavemetlerinin yeniden kazandırılmasıdır. Taşıyıcı olmayan elemanların onarımı ise bu elemanlara önceki fonksiyonlarının yeniden teminidir.

Güçlendirme: Bir yapının yük taşıma kapasitesi, rijitliği, düktilitesini, stabilitesini veya bunlardan bazılarını önceki veya mevcut durumun üstüne çıkarmak amacı ile yapılan değişikliktir.

Güçlendirme taşıyıcı sistemin ilerde olabilecek depremlerde daha iyi bir davranış göstermesi için elemanların mukavemetinin, düktilitesinin ve rijitliğinin veya bunlardan bazısının / bazılarının uygun şekilde yararlı yönde değiştirilmesi olabileceği gibi bunlara ilave olarak veya bunlar yapılmadan, sistemin yük mukavemetinin yeni ilave elemanlarla arttırılması da olabilir. Deprem için güçlendirmede, özellikle yatay yükler için, mukavemetin arttırılması söz konusu olur. Bazen güçlendirme sırasında bazı elemanların, sistemde taşıyıcı elemanların etkileşimini iyileştirmek ve civardaki bir elemanın erken kırılmasını önlemek için zayıflatılması dahi söz konusu olabilir.

Onarım ve/veya güçlendirmenin planlaması değişik kriterleri içereri bir iştir;

- **Teknik;** teknik bakımdan yapılabilirliğini içerir,
- **Ekonomik;** bazen bir yapının onarım ve güçlendirilmesi değil yıkımı tümde daha ekonomik olabilir. Örneğin arsanın kıymetlenmiş olması ve imar durumunda bir iyileşmenin yani artmanın olması hali. Bu durumda yapı hasarlı olmasa bile yıkıp yeniden yapma oldukça sık karşılaşılan bir durumdur. Bazende bazı katların kaldırılıp yüklerin azaltılması daha ekonomik olabilir (arsanın çok kıymetli olmadığı hallerde).
- Sosyal, kültürel ve politik; bu etkenler bazı durumlarda ekonomik etkenlerin önüne geçebilir. Örneğin prestij, tarihi ve kültürel değerlerle ilgili etkenlerin birinin veya birkaçının söz konusu olması hali.

Her yapı kendine özgü bir sistemdir ve depremde gördüğü hasar diğer yapılardan farklıdır. Bu sebepten özel bir onarım ve/veya güçlendirme çözümü ve kendine mahsus detaylar gerektirir. Belirli bir onarım ve/veya güçlendirme işinde neyin nasıl yapılacağı, içinde bulunulan şartlara göre değişik olabilir. Bu şartlar şöyle sayılabilir;

- Yapı yeri ve ilgili şartlar
- Yapının tipi ve yaşı
- Hasarın tipi ve derecesi
- İşin çabuk bitirilmesinin ekonomik önemi (örneğin bir hidroelektrik santral)
- İşin çabuk bitirilmesinin sosyal ve politik yönü
- Temin edilebilecek proje personeli
- Temin edilebilecek işgücü
- Temin edilebilecek malzeme ve teminindeki kolaylık ve süre
- Mimari gerek ve istekler
- İşin hacmi
- Parasal kaynak akışı ve besleyişi
- İhtiyacın aceleliği ve şiddeti
- Mevsim ve hava şartları

Onarım ve/veya güçlendirme işlerinin tasarlanması planlanması, projelendirilmesi aşağıdaki çalışmaları kapsar;

- Yapının şimdiki halinin belirlenmesi
- Onarım ve/veya güçlendirme gereklerinin belirtilmesi
- Bir onarım ve/veya güçlendirme programının hazırlanması
- Onarım ve takviyeden sonra yapıda temin edilmesi istenen hedef ve şartların belirlenmesi
- Hatıra gelen ve önerilen onarım ve/veya güçlendirme sistemlerinin uygunluğunun ve uygunluk derecesinin belirtilmesi
- Kalitenin tutturulabilmesi için iş mahallinde gözetim ve kontrolde bulunulması
- Yapıların bir daha gözden geçirilmesi ve kontrolü

Hasarlı bir yapının rehabilitasyonu çalışmalarında karar- verme işi sorumluluğun en yüksek olduğu işlerden biridir;

- Bir depremden sonra acil hasar tespit işleri yapılır ve hangi binalarda güvenlikle oturulamayacağı saptanır
- Tehlikeli veya şüpheli görülen binalar daha sonra tekrar incelenecektir
- Ön incelemede geçici koruma için uygun acil önlemler belirlenir

- Daha sonraki ve tamamlayıcı incelemeler bir takım kriterler gözönünde tutularak, bir onarım ve/veya güçlendirme şeması ortaya çıkarılır. Tabi bunun için onarım ve güçlendirme malzemelerinin ve tekniklerinin bilinmesi ve tanınması gerekir. Özelliklede piyasadan temin edilebilecek malzemenin ve bu iş için gerekli, nitelikli personelin sağlanma imkanlarının gözönünde tutulması söz konusu olacaktır.

1.2. Tarihçe

1.2.1. Deprem yönetmelikleri

Türkiye'de ilk deprem yönetmeliği 1944'de yürürlüğe konmuştur. Bu tarihten önce, meydana gelen depremlerde devlet özel kanunlar çıkararak yıkılan yada hasar gören evleri olabildiğince yeniden inşa etmek yoluna gitmiştir. Ancak doğal afet zararlarının azaltılmasında kanuni yaptırımların kaçınılmazlığı anlaşılınca 22 Temmuz 1944'de **"Yer Sarsıntılarından Önce ve Sonra Alınacak Tedbirler"** isimli kanun TBMM tarafından kabul edilmiştir.

Kanunun amacı deprem nedeniyle meydana gelen can ve mal kayıplarını ve mülk, servet kayıplarını en aza indirmek, etkili bir kurtarma, yardım ve geçici iskan sağlamak olmuştur. Devlet vatandaşlarca yürütülemeyen hizmetleri üstlenmiştir.

Kanun gereğince merkezi idare ilk kez resmi binalar, hastaneler okullar, toplantı binaları ve otel binalarının kapasitelerinin tahkik edilmesi ve zayıf bulunanların takviye edilmesi yükümülüğünü almıştır. Bu yetki Bayındırlık Bakanlığına verilmiştir. Türkiye'de deprem zararlarının azaltılması yönünde çabalar ilk kez bu 1944 kanunu ile başlatılmıştır.

1945'de İçişleri Bakanlığı ve üniversitelerin işbirliği ile ilk deprem bölgeleri haritası hazırlanmış ve ilk zorunlu yapım yönetmeliği yayınlanmıştır. Haritada daha önce depremden etkilenmiş bölgeler ile ilerde etkilenmesi olası bölgeler belirtilmiştir. Bölgelendirmede temel unsur geçmişte meydana gelen deprem hasarları olmuştur. [Gülkan, P., 1992]

1.2.2. 1983 Erzincan depremi sonrası yapılan çalışmalar

18 Kasım 1983'de Erzincan'da meydana gelen hafif şiddetteki depremin sonuçları üzerine Afet İşleri Genel Müdürlüğünce hazırlanan değerlendirme raporu çok ilginç sonuçlar ortaya çıkarmaktadır.

Richter ölçeğine göre 5.6 büyüklüğündeki bu depremin iki dik yatay yönde maksimum 0.072g ve 0.04 g genliğinde maksimum yer ivmelerine neden olmuştur. Depremde can kaybı olmamış, ancak birçok binada –deprem hafif şiddette olmasına rağmen– önemli yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Bu deprem adeta 1992 depreminin uyarıcısı olmuştur. Ne kadar acıdır ki 1983'deki hafif depremde hasar gören ve hiçbir ciddi güçlendirme işlemine tabi tutulmayan tüm yapılar 1992'de çökmüştür.

1976 yılında Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi tarafından seçilen bazı binalarda titreşim deneyleri yapılmış ve doğal titreşim peryodları hesaplanmıştır. 1983 depreminden sonra ise bu binalarda peryod ölçümleri tekrarlanmıştır ve bugün için çok değerli sayılacak bazı sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 1.2'de yapıların özellikleri ve ölçüm sonuçları özetlenmektedir.

Çizelge 1.2. Bazı Binaların Peryod Ölçümleri

Yapı	Plan Boyutları (m)		Kat	Yükseklik	Uzun Yön Peryodu (s)		Kısa Yön Peryodu (s)	
	Uzunluk	Genişlik	Sayısı	(m)	1976	1983	1976	1983
Urartu Oteli	60	18,75	4	16	0,15	0,59	0,32	0,43
Vakıf İş Hanı	22,5	22,5	4	14	0,3	0,39	0,3	0,4
Belediye Ek Binası	80	15	5	16	0,5	0,69	-	0,45
Şeker Fabrikası Kireç Bacası	-	-	-	35	1	1,06	-	-

Yapı peryodunun iki katına çıkması, yapı rijitliğinin dörtte birine inmesi şeklinde yorumlanabilir. Tablodaki peryod değişimleri 1983'deki hafif şiddetteki depremde tüm bu yapıların çok yumuşadığını göstermektedir. 1992'de tablodaki tüm yapılar çökmüştür ve ilk ikisinde önemli can kayıpları meydana gelmiştir. 1983 Raporu'nu hazırlayan bakanlık ekibinin rapordan alınan şu değerlendirmesi dikkat çekicidir;

"Bu boyuttaki bir depremin Erzincan'da yaklaşık her 10 yılda bir kere olması ihtimali çok yüksektir. Taşıyıcı sistemi sadece çerçeveden oluşan binalarda gözlenen hasarlar bu boyuttaki depremlerde her zaman olacaktır. İleride bu hasarın olmaması isteniyorsa binaların yatay deformasyonlarını kısıtlayıcı perde duvarlı yapılar yapılması

zorunludur. Erzincan'da özellikle içinde çok insan bulunan hastanelerin, enerji tesislerinin ve PTT merkezinin çerçeveden oluşan taşıyıcı sistemlerinin ek perde duvarlar ile güçlendirilmesi gerekir."

Otogar dışında güçlendirme önerisi uygulanmamıştır. Devlete ait bu binaların, devletin kendi görevlileri tarafından **"tehlikeli"** olarak nitelenmesine karşın hiçbir **"önleme"** tabi tutulmaması kaçınılmaz olan sonucu hazırlamıştır [Gülkan, P., 1992].

Çizelge 1.3. 113.03.1992 Erzincan Depremi Kesin Hasar Tesbitleri

Merkez İlçe	Gen. Hane	Yıkık-Ağır		Orta Hasarlı		Az Hasarlı		Notlar
Mahallesi		Konut	İşyeri	Konut	İşyeri	Konut	İşyeri	
Akşemsettin	1200	88		261		47	3	
Yenimahalle	1000	27	13	68	20	118	8	
Fatih	1415	353		456		97		
Kazımkarabekir	2033			144		385	1	
Yunus Emre	1500	12		94		568		
Cumhuriyet	3500	3	1	25		142	2	
Mimar Sinan	650	14		7		77		
Taksim	350	14	142	73	177	146	8	
Kızılay	893	55		144		294		
Atatürk	2100	53	44	78	45	175	22	
Barbaros	813	33		25		5		
90 Evler	1650	8		17		227		
Halit Paşa	1050	47	1	66	123	4		
Aslanlı	473	12		350		251		
Gülalibey	403	2	5	21	1	20		
Karaağaç	600	24	195	15	69	27	7	
İnönü	3200	158	413	107	95	142	37	
Bahçelievler	1500			52		12	1	cami
Hocabey	965	30	5	228	1	399	136	
Çarşı	1200	16		80		827		
Yavuz Selim	1512	396		570	1	250		
TOPLAM	**28007**	**1345**	**819**	**2881**	**532**	**4213**	**225**	

Not: Kapalı olduğu için hasar tespitleri yapılamayaı binalarla, askeriye lojmanları ve resmi binalar bu rakamların dışındadır.

Çizelge 1.4. Erzincan Depreminde Kamu Binalarının Hasar Durumu Özeti

Yapımcı Kuruluş	Ağır Hasarlı veya Yıkık		Orta Hasarlı (Büyük Onarım)	Az Hasarlı (Girilebilir)	Toplam Bina	Yıkım Yüzdesi
	Yıkık veya Yıkılacak	Takviye Edilecek				
Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü	8	30	9	93	140	6%
Kendi İnşaat Daireleri Tarafından	11	15	8	60	94	12%
Satın Alınmış Binalar	7	4	2		13	54%
Kiralanan Binalar	3	5	1		9	33%
T O P L A M	**29**	**54**	**20**	**153**	**256**	**11%**

1.2.3. 1999 Marmara Depremi Sonrası Durum

17 Ağustos Körfez Depremi ve 12 Kasım Düzce Depremi sonrası onarım ve güçlendirme işleri çok geniş bir ticari pazar olması sebebi ile yaygınlaşmış, her müteahhit, proje firması onarım ve güçlendirme işine girmiş hatta nalburlar bile epoksi enjeksiyon gibi basit onarımlar yapmaya başlamıştır. Kısacası inşaat ile bir şekilde ilgili olan herkes bu işe girişmiştir. Sorun da bu noktada başlamaktadır. Yani deprem onarımlarının bir ticari pazar olarak görülmesi felakete dönüşebilecek hataların yapılmasına davetiye çıkarmıştır.

Erzincan yada Dinar depremlerinde daha küçük bir alan olduğundan tamir ve takviye işi oldukça kolay olmuştur. Ancak başta Sakarya, Yalova, Düzce olmak üzere, İstanbul, Kocaeli, Bursa, Bolu ve Eskişehir' de yaklaşık 42.000 çöken ve ağır hasarlı, 44.000 orta hasarlı, 48.000 az hasarlı bina karşısında hazırlıksız olan devlet, hemen depremin ardından yayımladığı KHK ile (10.02.1999 tarih ve 21432 sayılı resmi gazetede) Proje Kontrol Müşavirliği' ni oluşturmuştur.

Böyle bir kaos ortamında neyin doğru neyin yanlış olduğu bilinmediği için proje hataları, büyük burulmalara neden olabilecek şekilde betonarme perde ilaveleri, yapıyı ağırlaştıracak gereksiz kolon mantolamaları, eleman bazında alınması gereken beton dayanımlarının ortalama bir değerle alınması şeklindedir. Detaylardaki eksiklik ve yanlışlık da ciddi proje hataları olarak geçmekte, uygulamada yapılamayacak tarzdaki önerilerde projelerde yer almaktadır. Onarım ve takviye çalışmaları da deprem öncesi yapılan bina inşaatlarını aratmayacak tarzda yapılmaktadır. Projeye uymama ve proje dışı imalatlar, donatı yerleşimindeki hatalar, beton dökümündeki hatalar en sık rastlanan yanlışlar ve kusurlardır. Kontrolsüzce kalfaya teslim edilen onarımlar, donatı ankrajlarının yeterince yapılmaması, hazır beton yerine şantiyede beton hazırlanması, beton sıkıştırma işlemlerinde vibrasyon uygulanmaması sıkça rastladığımız görüntüler olmuştur. Bununla birlikte projesiz yapılan "orijinal" onarım ve teknikler de sıkça karşımıza çıkmaktadır. Konsol altlarına konan betonarme ya da çelik kolonlar, bina dışında, yalnızca bina köşelerine konulan kolonlar, yine bina dışında ve bina çevresinde oluşturulan çerçeveler yapı içine müdahale olmadığından en çok tercih edilen ya da uygulanan takviye yöntemleri olmuştur.

Konsol ucu kolon yöntemi bilindiği gibi 1998 Deprem Yönetmeliği'nde yasaklanmış, bazı hallerde de kısıtlama yapılmıştır. Ancak onarımlarda konsol ucu kolonlarında mantolandığı ya da perde kolona çevrildiği de görülmüştür. Ancak mevcut imar nedeniyle süreksizliği giderilmeyen, üst kısmı onarılmış yada güçlendirilmiş, ancak zemin katı olduğu gibi bırakılmış yapılarda zaten yüklü olan konsollara daha fazla yük verilmesine neden olunmuştur. [Koçak, 2001]

2. ONARIM VE GÜÇLENDİRMENİN PROJELENDİRME ESASLARI VE AŞAMALARI

2.1. Deprem Sonrası Hasar Tespiti

Yerleşim birimlerinde yer alan binaların büyük bir kısmı deprem sonrasında çeşitli düzeylerde hasara maruz kalır, hatta bir kısmı tamamen çöker. Deprem sonrasında söz konusu bölgedeki hasarın hızlı ve gerçekçi bir biçimde belirlenmesi ve binaların kullanılabilirliğinin araştırılması, sorumlu ve yetkili kuruluşlar tarafından acilen yapılmak durumundadır. Bu nedenle, söz konusu kuruluşlar tarafından hasar tespit ekipleri görevlendirilir. "Deprem Sonrası Acil Hasar Tespiti" diye adlandırılan bu işlemde, depremden hemen sonra artçı sarsıntıların devam ettiği süre içinde binaların güvenilirliğinin araştırılması ve tehlikeli binaların boşaltılması yoluyla yöre insanının can güvenliğinin sağlanması amaçlanmaktır. Bu işlemin bir diğer amacıda, bölgedeki hasar görmüş yapıların hasar durumlarının incelenmesiyle, oturulabilir, kolayca onarılabilir ve onarılamaz biçimde değerlendirmelerin yapılmasıyla, yörenin deprem sanrası yapılaşma gereksinimi ve onarım faaliyetlerinin büyük ölçüde belirlenmesidir. Bu yolla, gereksiz biçimde ortaya çıkabilecek yeni yapılaşmanın önüne geçilmek suretiyle ülke ekonomisine de katkıda bulunulmuş olur. Ayrıca, yöre insanının gerek oturulabilir binalarda, gerekse onarılabılır binaların süratle onarılmasıyla elde ediebiecek binalarda ikamet edilmesiyle, deprem sonrası evsiz kalanların sayısı azaltılabilir.

Bu işlemin etkin bir biçimde yapılabilmesi için gerekli teknik eleman gücünün, görevlendirilebilen eleman sayısının çok üzerinde olduğu da bir gerçektir. Ayrıca sorumlu kuruluşların, zaman zaman deneyimsiz ya da bu konuda yeterli eğitime tabi tutulmamış teknik elemanlarla bu işlemi yürütmek zorunda kaldıklarında bilinmektedir. Dolayısıyla, dünyanın pek çok ülkesinde olduğu gibi Türkiye'de de bazı durumlarda yetersiz sayıda ve nitelikte elemanlarla yapılan hasar tespiti doğrultusunda depremzedeye tazminat ödenmektedir.

Lâboratuar ortamında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen bilgiler yardımıyla tekil yapısal elemanlarda veya basit yapısal alt sistemlerde meydana gelen hasarı nicesel bir tarzda ifade etmek mümkündür. Buna karşılık gerçek bir bina veya başka tür karmaşık yapı sisteminin uğradığı deprem etkileri sonrasında ne mertebede hasar gördüğünün aynı biçimde ortaya konulması çok daha zor bir iştir. Zorluğun tek sebebi daha çok sayıda taşıyıcı eleman olması

değildir. Lâboratuarda olduğu gibi alınmış olan ölçmeler ve gözlemlerin elde bulunmaması elemanların geçirdiği zorlamaların ne mertebede olduğunun dolaylı biçimde tahmin edilmesini zorunlu kılar. Üstelik hasarın göstergeleri farklı tür fonksiyon gören elemanlar için farklı olabilir, ya da elemanların uğradığı bozulmaların birikimi farklı sistemler için farklı manalara gelebilir. Başka bir deyişle hasarın belirlenmesi işlemi, eski bilgi ve gözlemlerin "en iyi" bir tahminde bulunmak üzere yeniden kullanılması diye adlandırılabilir.

Hasar tespiti, genellikle şu şekilde yapılmaktadır: Binayı inceleyen görevli tarafından binanın tipi, konumu ve hasar düzeyine ilişkin sorular içeren bir form doldurulmaktadır. Söz konusu formlar, bugüne kadar ağırlıklı olarak bilgi toplamaya yönelik olarak tasarlanmış ve kullanılmış olup, deprem sonrası hasar belirlenmesinde görevlilere yardımcı olabilecek bir nitelik taşımamaktadır.

Hasar düzeyinin belirlenebilmesi için, öncelikle nicel bir biçimde ifade edilmesi gerekmektedir. Ancak, çoğu zaman bu işte görevlendirilen istisnasız her elemanın teknik kapasitesi böyle bir değerlendirme yapabilmesi için yeterli değildir. Dolayısıyla, deneyimsiz mühendislere ve teknikerlere hasar tespiti işleminde yardımcı olacak ve yol gösterecek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuda deneyim ve uzmanlığın aktarılmasında kullanılan uzman sistemler sorunun giderilmesi için iyi bir çözüm olacaktır [Gülkan, P. ve Yakut, A., 1995].

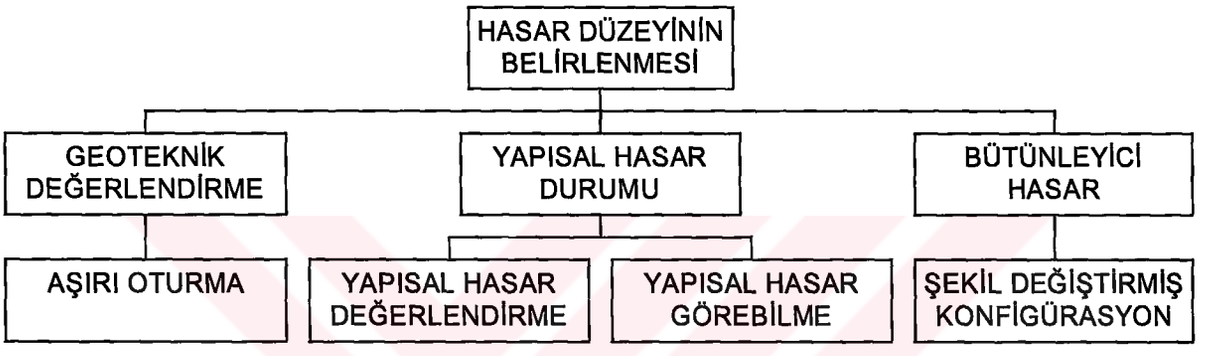
- EPEDA sistemi [Gülkan, P. ve Yakut, A., 1995]
- UN-BALKAN yöntemi [Demir,1991]
- JAPON yöntemi [Demir,1991]

Bu yöntemlerden kullanılan hasar tespit yöntemlerinden bazılarıdır.

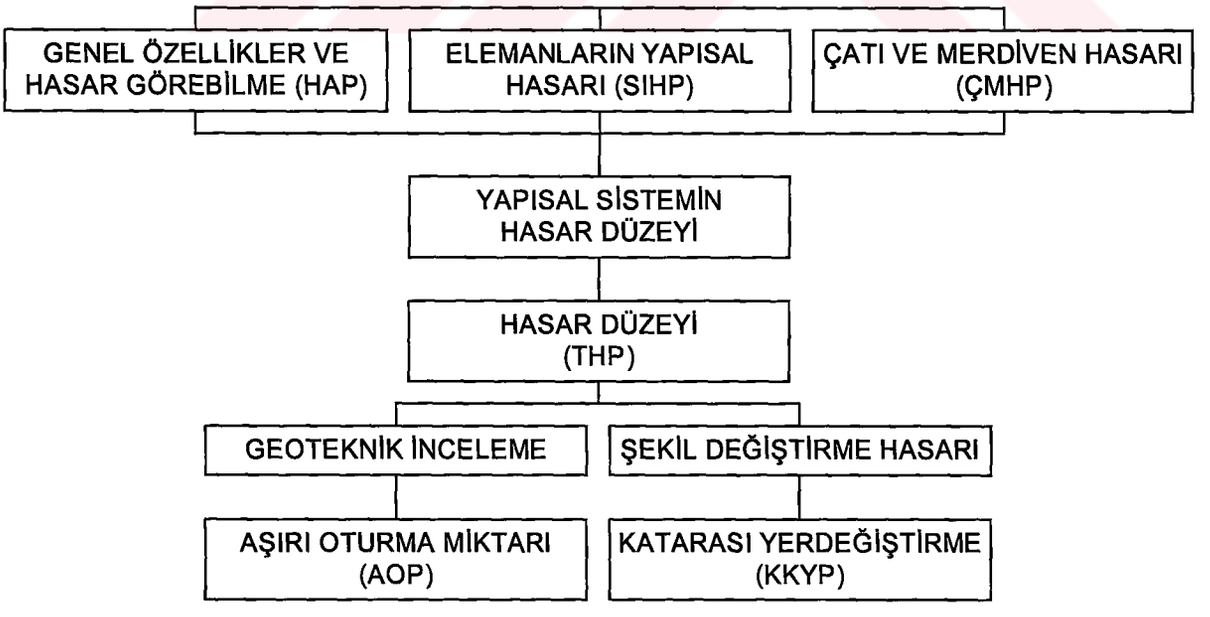
2.1.1. Hasar Saptama Çalışmaları İçin EPEDA Sistemi

EPEDA 64 kuraldan oluşan bir sistemdir. Bu kurallar Şekil 2.1. de gösterilen Hiyerarşik yapıya uygun olarak düzenlenmiştir. EPEDA içinde uygulanan yöntemin puanlama sistemine dayanması nedeniyle bu kuralların çoğu matematiksel ifadeler şeklindedir. Her bir elemanın hasar düzeyini tarif eden, Q-Basic dilinde yazılmış 20 adet ilave program sisteme entegre edilmiştir. Sistemin akış mekanizması Şekil 2.2. de gösterilmekte olup, ilerde açıklanacak

yöntemlere dayanmaktadır. Burada betonarme binaların hasar tespitine yönelik olarak hazırlanan yöntemlerden biri olan ve puanlama sistemine dayanan EPEDA olarak adlandırılmış bir uzman sistem tanıtılmaktadır. Elemanların lokal hasar düzeyleri hasarın şiddeti, elemanın nispi önemi ve hasar gören eleman sayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Hasara yol açabilecek faktörler ve sistemin hasar görebilme özelliğinden doğan hasar puanları bu puanla toplanmaktadır. Toplam hasar puanı 0 ile 100 arasında değişen rakamsal değerler cinsinden ifade edilmektedir.



Şekil 2.1. Hiyerarşik Organizasyon



Şekil 2.2. EPEDA'nın Akış Mekanizması

EPADA'nın ana amacı, düzenli ve istikrarlı bir yöntemle öncelikli betonarme binaların deprem sonrası hasarlarının tespitinde anketörlere yol göstermektir. EPEDA, tamamen anketörün işlevini görmek amacıyla tasarlanmış bir sistem olmayıp, binada meydana gelen hasarın şiddetine ve binanın kullanılabilirliğine yönelik kararlar verilmesine de yardımcı olmaktır.

Geliştirilen yöntemde sadece "en çok hasar görmüş kat seviyesi"nde (genellikle zemin kat) oluşan hasar baz alınmakta olup, binanın geri kalan kısmının hasar düzeyinin genel değerlendirmede bir rol oynamadığı kabul edilmektedir. Başka bir deyişle en çok hasar görmüş kat, binanın tamamının hasar düzeyini göstermektedir.

Tasarlanan formun mümkün olduğunca kısa olmasına ve gerekli tüm bilgileri içermesine dikkat edilmiştir. Formda yer alan sorular, kitapcıkta detaylı olarak belirtilen bazı açıklamalar, tanımlar ve ikonlar yardımıyla cevaplandırılmaktadır. Bu sorular dört ana başlık altında hazırlanmıştır. Bunlar;

1. İdari Bilgiler (binanın sahibi, adresi vb.)
2. Genel Bilgiler (geometrik / mimari özellikler, yapısal düzensizlikler, açıklıklar vb.)
3. Taşıyıcı Sistem Özellikleri (çerçeve, perde – çerçeve, kutu, döşeme sistemi, yerinde dökme veya prefabrike oluşu, malzeme mukavemeti, temel sistemi, malzeme ve işçilik kalitesi vb.)
4. Hasara Ait Bilgiler (kalıcı yer değiştirmeler, kolon, kiriş, duvar veya döşemedeki hasarın şiddeti ve yaygınlığı)

2.1.1.1. Hasar Düzeyi Belirleme Yöntemi

"Hasar Tespit Formu"nda kullanılan hasar düzeyi belirleme yöntemi, aşağıda ayrıntılı olarak açıklanacak olan bir puanlama sistemine dayanmaktadır. Söz konusu yöntemin uygulanması sonucunda yapılarda az hasarlı, orta hasarlı ve ağır hasarlı olmak üzere üç ayrı global hasar düzeyi belirlenmektedir. Hasar düzeyinin birlenmesinde etken olan üç ana unsur ise, yapı ve yakın çevresinin geoteknik durumu, yapının taşıyıcı sistem özelliği ve geometrisi ile yapıda mevcut olan deformasyonlardır.

Bu üç ana unsur, kendi içinde bir puanlama mantığı ile değerlendirildikten sonra, yapının toplam hasar puanı (THP) hesaplanmakta olup, bu puanın sayısal olarak belirlenmiş sınırlar

çerçevesinde değerlendirilmesiyle yapının global hasar düzeyi belirlenmektedir. Söz konusu sınırlar ile global hasar düzeyleri aşağıda verilen tabloda gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Global Hasar Düzeyleri

THP	**Hasar Düzeyi**
$0 < THP < 5$	Hasarsız
$b \leq THP \leq 14$	Az hasarlı
$15 \leq THP \leq 43$	Orta hasarlı
$THP > 43$	Ağır hasarlı

Yukarıdaki tabloda yer alan THP sınırları diğer ülkelerde yapılan benzer uygulamalar ile karşılaştırılıp kalibre edilmiştir. Öte yandan yukarıda da söz edildiği gibi buradaki hasar belirleme metodolojisi hasara etki edecek ve onun bir göstergesi olacak unsurların puanlanmasına dayanmaktadır.

Üç ana unsurun etkili olduğu THP beş farklı hasar puanından oluşmaktadır. Bunlar;

1. Hasar Arttırıcı Puan (HAP),
2. Sistem Hasar Puanı (SIHP),
3. Katarası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı (KKYP),
4. Çatı ve Merdiven Hasar Puanı (ÇMHP),
5. Aşırı oturma Puanı (AOP) dır.

Hasar Arttırıcı Puan (HAP) yapının hasar görebilirliğini etkileyebilecek genel bilgilere ve taşıyıcı sistem özelliklerine bağlıdır. HAP değerleri form üzerinde yeralan ilgili unsurların yanına parantez içinde yazılmış olup en gayrimüsait kombinasyonda alabileceği maksimum değer 5 dir.

Hasarın en önemli göstergesi olan yapı elemanlarının maruz kaldıkları hasar düzeyleri, Sistem Hasar Puanı (SIHP) olarak tanımlanınıştır. SHP taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak ifade edilmekte, ancak tüm sistemler için aynı mantıkta hesaplanmaktadır. Yapının Sistem Hasar Puanı (SHP) öncelikle yapıyı oluşturan elemanların hasar durumuna ve bu elemanların tümüyle yapının hasarına olan etkisine bağlıdır. Bu çerçevede, SIHP elemanların hasar durumlarını gösteren Eleman Hasar Puanı (EHP) ve elemanın o taşıyıcı sistem içersinde toplam hasara olan etkisini ifade eden Eleman Önem Katsayısı (EÖK) na bağlı olarak

hesaplanmaktadır. Elemanlar için de dört lokal hasar düzeyi belirlenmiştir: Hasarsız (H), Az Hasarlı (A), Orta Hasarlı (O) ve Ağır Hasarlı (AH). Ayrıca, söz konusu elemanların hasar düzeylerinin herbirine bir hasar puanı verilmiştir. Bunlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Eleman Hasar Puanları

Hasar Düzeyi	**Hasar Puanı**
Hasarsız (H)	0
Az Hasarlı (A)	1
Orta Hasarlı (O)	2
Ağır Hasarlı (AH)	4

Böylece, Eleman Hasar Puanı (EHP) aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$EHP = EÖK \times (A \times 1 + O \times 2 + AH \times 4)/TS \qquad (2.1)$$

Burada;

A : az hasarlı eleman sayısı

O : orta hasarlı eleman sayısı

AH : ağır hasarlı eleman sayısı

TS : toplam eleman sayısını

göstermektedır.

Eleman Önem Katsayıları (EÖK) taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak formda yeralan tablolarda gösterilmiştir.

EHP'larının toplanmasıyla Toplam Eleman Hasar Puanı (TEHP) bulunup, buradan SIHP hesaplanmaktadır. SIHP hesaplanmasında kullanılan bağıntılar taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak aşağıda verilmektedir.

- Yerinde Dökülmüş Betonarme Çerçeve veya Betonarme Çerçeve + Perde Sistemler:

$$SIHP = TEHP \times 100/(d_k \times 8 + d_{ki}; \times 4 + d_p \times 8 + d_b \times 4 + d_b \times 2) \qquad (2.2)$$

- Betonarme Kutu (Tünel kalıp veya Prefabrik):

  $SIHP = (A \times 1 + O \times 2 + AH \times 4) \times 100/(4 \times TS)$ (2.3)

- Prefabrik Betonarme Çerçeve:

  $SIHP = TEHP \times 100/(d_k \times 14 + d_{ki}; \times 8 + d_b \times 24)$ (2.4)

- Çelik Çerçeve:

  $SIHP = TEHP \times 100/(d_k \times 8 + d_{ki}; \times 4 + d_b \times 10 + d_d \times 1 + d_ç \times 3)$ (2.5)

- Ahşap:

  $SIHP = (A \times 1 + O \times 2 + AH \times 4) \times 100/(4 \times TS)$ (6)

SIHP'ların hesaplanmasında kullanılan alt indisli d katsayıları sadece 0 veya 1 değerini alabilirler. Alt indislerin her biri o taşıyıcı sistem türü içindeki bir elemana karşılık gelmektedir. Bu indislerin temsil ettikleri elemanların hiçbirinde hasar olmadığı durumda, yani EH=0 iken, sözkonusıı alt indisli d değeri 0 olarak alınmalı, diğer durumlarda 1 alınmalıdır.

Yapıda meydana gelmiş olan katarası kalıcı yerdeğiştirmenin büyüklüğüne bağlı olarak belirlenen hasar Katarası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı (KKYP) olarak ele alınmakta olup, hasar tespit formunda belirtilmektedir. KKYP 0 ile 100 arasında değişen değerler alabilmektedir,

Çatı ve Merdiven Hasar Puanı (ÇMHP) yapıda yeralan çatı ve merdivenlerde meydana gelmiş hasarın göstergesidir. Sözkonusu ÇMHP, formda belirtilmiş olan ve merdiven ile çatı için belirlenmiş puanların toplanmasıyla hesaplanmaktadır. ÇMHP 0 ile 3 arasında değişen değerler alabilmektedir. Öte yandan, AOP 0 ile 5 arasında değerler alabilmektedir.

Tüm bu unsurların ayrı ayrı değerlendirilmesi ve puanlandırılmasından sonra, global hasar düzeyini tayin etmekte kullanılan THP aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmaktadır;

$THP = SIHP \times 0.77 + ÇMHP + KKYP + HAP + AOP$ (2.7)

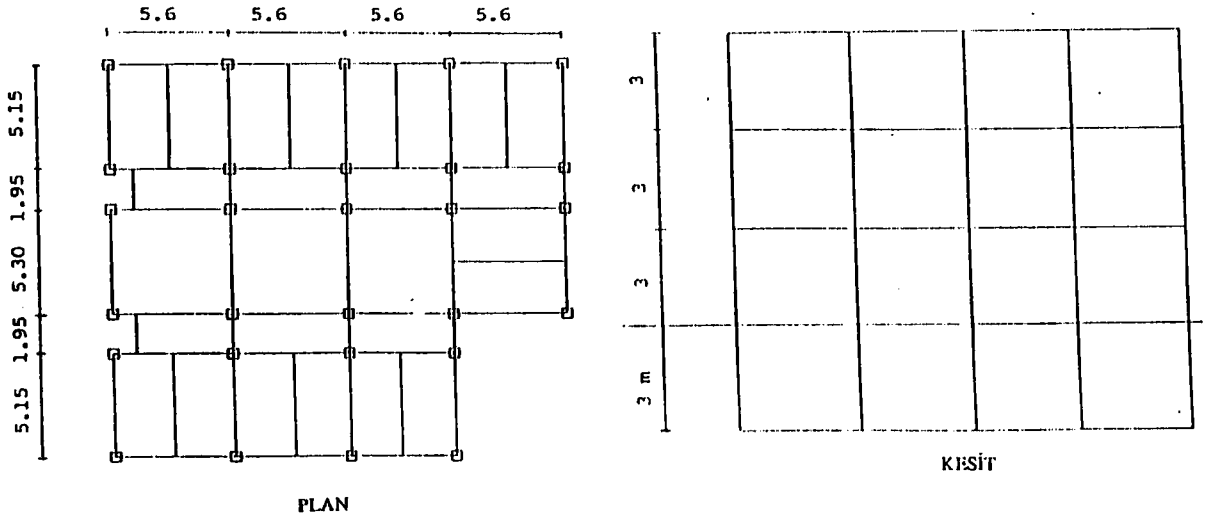
AOP, HAP, KKYP, ÇMHP'tan oluşan dört ana unsurun alabileceği maksimum değer 23 tür. Öte yandan, SIHP'nın alabileceği maksimum değer 100 dür. THP için 0 ile 100 arasındaki değerler öngörülmüştür. Dolayısıyla, SIHP'nın %77'si toplam hasar puanına katılmıştır, Bu araştırmada geliştirilen yöntem hasarı kusursuz olarak belirleyebilen çok kesin bir yol değildir. Çünkü daha gerçekçi ve kesin bir sonuç elde etmek için çok daha fazla, bilginin kullanılması ve bunların bilgi tabanına konulması gerekir. Bununla beraber, mevcut sistem deprem etkisi altında kalan binaların deprem sonrasında hasarlarının belirlenmesinde hasar düzeyini tahmin etmektedir.

Sonuç olarak, bu yöntem hasar tespiti işleminde teknik elemanlara yol göstermekte dolayısıyla kişisel yargıdan bağımsız etkili ve düzenli bir işlem sunmaktadır.

2.1.1.2. EPEDA ile bir uygulama

EPEDA'yı gerçek bir durum ile denemek amacıyla, Mart 1992'de meydana gelen Erzincan depremi sırasında hasar görmüş olan ve bu nedenle deprem sonrası hasar raporu hazırlanmış bir binaya uygulanmıştır. Oldukça düzenli bir çerçeve ve plan sistemine sahip olan bina biri bodrum olmak üzere toplam 4 katlıdır. Binanın kesit ve plan şemaları Şekil 2.1 de gösterilmektedir.

- **Binanın hasar durumu**



Şekil 2.1. Binanın Kesit ve Plan Şemaları

Binanın hasar durumuna ilişkin bilgiler, anketörler tarafından deprem sonrası inceleme sırasında doldurulmuş olan hasar tespit formundan elde edilmiştir. Sözkonusu bina için doldurulmuş olan formun, EPEDA'ya dayanak oluşturan formdan farklı olduğunu belirtmek gerekir. Binanın bu deprem altındaki dayanımı şartname gereklerini genel olarak karşılamıştır. Bir kaç kiriş ve kolon ağır hasar görmüş olup, uç noktalardan kırılmış, donatılar açıkta kalmış ve geniş çatlaklar oluşmuştur. Kolon ve kirişlerin büyük bir kısmı az ve orta hasarlı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, hemen hemen duvarların tümü ağır hasar görmüştür. En çok zorlanmaya maruz kalmış olan I. katta oluşan hasara ait bilgilere Çizelge 2.3. de yer verilmektedir.

Çizelge 2.3. Örnek Bina İçin Hasar İstatistikleri

	Toplam adet	**Hasarsız**	**Az hasarlı**	**Orta hasarlı**	**Ağır hasarlı**
Kolon	28	10	8	6	4
Kiriş	53	20	22	8	3
Perde duvarı	0	0	0	0	0
Birleşim	28	20	8	0	0
Dolgu duvarı	30	0	5	10	15

- **Uygulama**

EPEDA tarafından sorulan sorulara verilen cevaplara aşağıda yer verilmektedir.

İlk 25 soru Çizelge 2.3.'e göre yanıtlanmıştır.

- Merdiven hasarsızdır
- Çatı az hasarlıdır
- Katarası kalıcı yerdeğiştirme (d/H) = 0.0016
- İşçilik kalitesi iyi
- Malzeme kalitesi iyi
- Zemin tipi sıkı kil/sert kum
- Betonun gözle muayenesi mümkün
- Beton kalitesi iyi
- Beton mukavemeti biliniyor
- Beton mukaverneti 15 - 22 Mpa

- En büyük açıklık 4 - 6 m
- Dilatasyon yok
- Kat seviyeleri aynı
- Binanın konumu serbest
- Kesitte düzensizlik yok
- Planda düzensizlik var
- Çekme kat yok
- Kısa kolon var
- Temelde maksimum oturma 0.2 m'den az
- Zeminde aşırı oturma yok
- Kısmi veya tamamen göçme yok

Binanın hasar düzeyi ile ilgili uygulayıcılar tarafından varılan sonuç: **Orta hasarlı, onarıldıktan sonra kullanılabilir.**

EPEDA'nın vardığı sonuç ise aşağıda verilmektedir.

Hasar Arttırıcı Puan	: 1.75
Katarası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı	: 2.00
Sistem Hasar Puanı	: 28.98
Çatı ve Merdiven Hasar Puanı	: 0.00
Aşırı Oturma Puanı	: 0.00
Toplam Hasar Puanı	**: 26.07**

Orta Hasarlı, onarıldıktan sonra kullanılabilir:

Görüldüğü gibi EPEDA ve uygulayıcının vardığı sonuçlar aynıdır.

2.1.2. Hasar Saptama Çalışmaları İçin UN-BALKAN Sistemi

Bu yöntemde EPEDA sistemi gibi aynı gerekçelerle hazırlanmıştır. Yapı hakkında bilgi almak amacıyla bir form hazırlanmış ve elde edilen veriler kullanılarak yapının hasar derecesi belirlenmeye çalışılmıştır.

DEPREM HASARI İNCELEME VE TESBİT FORMU

BİNANIN KROKİSİ

PLAN KESİT

ADRES:

SAHİBİ

1. ŞEHİR, KASABA VEYA KÖYÜN ADI

2. BİNANIN TANIMI

   2.1. YERLEŞİM BÖLGESİNİN NO.SU
   2.2. EKİP NO.SU
   2.3. BİNA NO.SU

3. BİNANIN ESAS EKSENİNİN DOĞRULTUSU(X):1.NS, 2.EW, 3.N45E, 4.N45W

4. BİNANIN BLOK İÇİNDEKİ KONUMU
   1. KÖŞE, 2. ORTA, 3. SERBEST

5. KAT ADEDİ

   5.1. KATLAR
   5.2. EKLER
   5.3. ASMA KATLAR (ARA KATLAR)
   5.4. BODRUMLAR

6. BİNANIN BRÜT ALANI (m^2)

7. KULLANIMI (Açıklamaya bakınız)
   7.1. BİNA
   7.2. ZEMİN KAT
8. DAİRE SAYISI

9. İNŞAAT DÖNEMİ (Her ülke tarafından belirtilecek) ☐
   1. 2. 3.

---

10. YAPI TİPİ (Açıklamaya bakınız) ☐☐☐

11. DÖŞEMELER: 1.B.A., 2.ÇELİK, 3.AHŞAP, 4.DİĞER ☐
12. ÇATI: 1.B.A., 2.ÇELİK, 3.AHŞAP, 4.DİĞER ☐
13. ÇATI ÖRTÜSÜ: 1.KİREMİT, 2.METAL LEVHA ☐
    3. HAFİF ASBEST, 4. ASFALTLI KAĞIT
    5. KUVVETLİ TECRİT, 6. ZAYIF TECRİT, 7. DİĞER
14. İŞÇİLİK: 1. İYİ, 2. ORTA, 3. ZAYIF ☐

15. TAŞIYICI SİSTEM (Açıklamaya bkz):1.TAŞIYICI DUVARLAR ☐
    2. ÇERÇEVELER, 3. DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELER, 4. PERDELİ ÇERÇEVELER, 5. DOLGU DUVARLI İSKELET, 6. KARMA,
    7. DİĞER (AÇIKLAYINIZ)
16. DİĞERLERİNE GÖRE BİRİNCİ KATIN RİJİDLİĞİ ☐
    1. DAHA BÜYÜK, 2. YAKLAŞIK AYNİ, 3. DAHA KÜÇÜK
17. ÖNCEKİ DEPREMLERDEN ONARIMLAR ☐
    1. HAYIR, 2.EVET, 3. BİLİNMİYOR

---

18. HASARIN DERECESİ
    A) YAPISAL (TAŞIYICI) ELEMANLAR (Açıklamaya bkz)
    1. YOK, 2. HAFİF, 3. ORTA, 4. AĞIR, 5. CİDDİ

    18.1. TAŞIYICI DUVAR ☐
    18.2. KOLONLAR ☐
    18.3. KİRİŞLER ☐
    18.4. ÇERÇEVE DÜĞÜMLERİ ☐
    18.5. DEPREM PERDELERİ ☐
    18.6. MERDİVENLER ☐
    18.7. DÖŞEMELER ☐
    18.8. ÇATI ☐
    B) YAPISAL (TAŞIYICI) OLMAYAN ELEMANLAR VE TESİSAT
    1. YOK, 2. HAFİF, 3. ORTA, 4. AĞIR, 5. CİDDİ

    18.11. İÇ DUVARLAR ☐
    18.12. BÖLMELER ☐
    18.13. DIŞ DUVARLAR (CEPHE) ☐
    18.14. ELEKTRİK TESİSATI ☐
    18.15. SIHHİ TESİSAT ☐

---

19. YAPININ TÜMÜNE HASAR ☐☐
    1.1. HİÇ, 1.2.HAFİF
    2.1. ORTA, 2.2. AĞIR
    3.1. CİDDİ (ÇOK AĞIR), 3.2. TAMAMI
20. DOLAYLI HASAR (YANGIN, ÇARPMA, V.S.) ☐
    1.HAYIR, 2.EVET

21. GÖZLENEN ZEMİN İNSTABİLİTESİ VE JEOLOJİK PROBLEMLER ☐
    1. HİÇ, 2. HAFİF OTURMALAR, 3. ÇOK OTURMALAR,
    4. SIVILAŞMA, 5. ARAZİ KAYMASI, 6. KAYA DÜŞMELERİ,
    7. FAY OLUŞMASI, 8. DİĞER (AÇIKLAYINIZ)

---

22. KULLANİLABİLİRLİK SINIFLANDIRILMASI VE İLAN ASILMASI:
ASILMIŞ İLAN: 1. YEŞİL, 2. SARI, 3. KIRMIZI
İLAN YOKSA: 4. YEREL TEHLİKE GİDERİLDİKTEN SONRA "YEŞİL" İLAN ASILMALI, 5. ZEMİN VE JEOLOJİK PROBLEMLER: YENİDEN İNCELEME GEREKLİ, 6. SINIFLANDIRMA YAPILAMADI: YENİDEN İNCELEME ZORUNLU, 7. BİNAYA GİRİLEMİYOR ☐

YEŞİL:1.ÖNCEKİ SİSMİK KAPASİTESİNDE AZALMA YOK, KULLANIMDA KISITLAMA YOK. SARI :2.ÖNCEKİ SİSMİK KAPASİTESİNDE AZALMA VAR, KULLANIMI GEÇİCİ OLARAK DURDURULMUŞ OLUP GİRİŞE SINIRLAMA KIRMIZI:3.TEHLİKELİ: ANİ ÇÖKME OLABİLİR, GİRİŞ YASAK
BU TÜRLÜ SINIFLANDIRMANIZ VE İLANINIZ İÇİN BAŞLICA SEBEPLER

23. ACİL ÖNLEMLER İÇİN ÖNERİLER:
1.HİÇ, 2.YEREL HASAR GİDERİLMELİ, 3.BİNA ÇÖKMEYE KARŞI PROJELENDİRİLMELİ, 4.SOKAKLAR VEYA KOMŞU BİNALAR PROJELENDİRİLMELİ, 5.ACİLEN YIKILMALI ☐

24. EK VERİLER (FOTOGRAFLAR/KROKİLER VE AÇIKLMALAR):
1. YOK, 2. YALNIZ FOTOGRAFLAR, 3. YALNIZ KROKİ VE AÇIKLAMALAR, 4. FOTOGRAFLAR VE KROKİ VE AÇIKLMALAR ☐

---

25. BİNANIN TAHMİN EDİLEN ŞİMDİKİ DEĞERİ (1 000 000 TL OLARAK) ☐☐☐

26. TAHMİN EDİLEN DEĞER KAYBI (TAHMİN EDİLEN DEĞERİN % Sİ OLARAK) ☐☐

27. CAN KAYBI (ÖLENLER VE YARALANANLAR)
(1) YOK, (2) MUHTEMEL, (3) EVET,
(4) BİLGİ VARSA GÖSTERİNİZ
ÖLÜ SAYISI ☐☐
(İSTENİRSE) YARALI SAYISI ☐☐

---

28. İNCELEME TARİHİ: GÜN/AY/YIL ☐☐ ☐☐ ☐☐
İNCELEMEYİ YAPANLARIN ADLARI, UNVANLARI İMZALARI

1.
2.
3.

10.YAPI TİPİ:

1. Dijit	2. Dijit	3. Dijit
1= Kagir	1=Hatılsız,kuşaksız 2=Yatay kuşaklar 3=Yatay ve düşey kuşaklar 4=B/A döşemeler veya çatı	1=Kerpiç 2=Harçsız kagir 3=Harçlı kagir 4=Dolu tuğla 5=Boşluklu tuğla 6=Beton bloklar 7=Donatısız beton 8=..... 9=.....
2= Betonarme	1=Yerinde döküm çerçeve 2=Yerinde döküm taşıyıcı duvarlar 3=Prefabrike 4=Kagir ile karma 5=Çelik ile karma	1=Hafif bölmeler 2=Dolu tuğla dolgu duvarlı 3=Boşluklu tuğla dolgu duvarlı 4=Beton blok dolgu duvarlı
3= Çelik	1=Ağır çelik taşıyıcı 2=Hafif çelik taşıyıcı 3=Kagir veya beton ile karma	1=Hafif bölmeler 2=Dolu tuğla dolgu duvarlı 3=Boşluklu tuğla duvarlı
4= Ahşap	1=Ahşap çerçeve 2=Bağdadi 3=Diğer	1= ..... 2= .....

15.YAPISAL (TAŞIYICI) SİSTEMİN TİPİ:

1. Düşey ve yatay yüklerin taşıyıcı duvarlarla taşınması
2. Düşey ve yatay yüklerin çerçevelerle taşınması
3. Düşey ve yatay yüklerin çerçeveler ve dolgu duvarlarla taşınması
4. Düşey ve yatay yüklerin çerçeve-perde sistemle taşınması
5. Düşey ve yatay yüklerin kolonlar ve duvarlarla taşınması fakat belirgin ve düzenli çerçevelerin bulunmaması
6. Düşey ve yatay yüklerin duvarların, çerçevelerin, dolgu duvarlarının ve/veya deprem perdelerinin oluşturduğu sistemce taşınması
7. Diğer sistemler,tanımlanacak,ters sarkaç, şemsiye gibi

18.HASAR DERECESİ (HASAR SINIFI):

1. YOK: Taşıyıcı elemanlarda gözle görülür hasar yok. Duvarlarda ve tavan sıvasında ince çatlaklar olabilir. Zorlukla fark edilen taşıyıcı olmıyan ve olan eleman hasarı.

2. HAFİF: Duvarlar ve tavan sıvasında çatlaklar. Duvar ve tavan yüzeyinden büyük sıva parçalarının düşmesi. Önemli çatlaklar veya bacalar, atika ve çatı duvarlarının kısmen yıkılması. Çatı örtüsünün bozulması, kısmen kayması, kayması ve yere düşmesi. Taşıyıcı elemanlarda "yapının deprem mukavemetine etkisi olmıyacak derecede" diye değerlendirilen küçük çatlaklar.

3. ORTA: Taşıyıcı duvarlarda, pencereler arasındaki duvarlarda ve benzeri taşıyıcı elemanlarda köşegenel (eğik) veya başka türlü çatlaklar. Betonarme taşıyıcı elemanlarda büyük çatlaklar: Kolonlar, kirişler, betonarme duvarlar. Bacaların, atika ve çatı duvarlarının kısmen veya tamamen yıkılması. Çatı örtüsünün bozulması, kayması ve yere düşmesi.

4. AĞIR: Duvarlarda malzemenin ezilmesi ile duvarlarda ayrılma olarak veya olmadan büyük çatlaklar. Pencereler arasındaki duvarlarda ve taşıyıcı duvarların benzer elemanlarında malzemede kırılmalarla büyük çatlaklar. Betonarme taşıyıcı elemanlarda küçük yerinden oynamalar ve bozulmalarla büyük çatlaklar: Kolonlar, kirişler ve betonarme duvarlar. Taşıyıcı elemanlarda ve tüm binada belirli yerinden oynamalar.

5. CİDDİ (ÇOK AĞIR): Taşıyıcı elemanlarda ve birleşimlerinde büyük hasarlar ve bozulma ve yerinden oynamalar. Çok sayıda taşıyıcı eleman ezilmiş. Tüm binada hayli bozulma, yerinden çıkma ve ayrılmalar, çatının oturması. Binada kısmen veya tamamen harap olma.

22.KULLANILIRLIKLA İLGİLİ (İLAN İÇİN) DEĞERLENDİRME

YEŞİL: Yeşil olarak yaftalanmış binaların (1. ve 2. sınıf hasarlı) deprem mukavemetlerinde azalma yoktur ve can güvenliği bakımından tehlike arz etmezler. Hemen kullanıma geçilebilir. Girişe sınırlama yoktur.

SARI: Sarı olarak yaftalanmış binaların (3. ve 4. sınıf hasarlı) deprem mukavemetlerinde önemli azalma vardır. Sınırlı girişe izin vardır fakat onarım ve/veya güçlendirme yapılmadan sürekli kullanıma izin yoktur.

KIRMIZI: Kırmızı olarak yaftalanmış binalar (5. sınıf hasarlı) güvensizdiler ve ani olarak çökmeleri tehlikesi vardır. Giriş yasaktır. Cadde ve sokakların ve komşu binaların korumaya alınması veya yapının acilen yıktırılması gerekli olabilir. Tek ve özellik arz etmeyen binalar halinde yıkım için karar onarım ve güçlendirme ile ilgili ekonomik incelemeye dayanacaktır.

Yapının daha önceki depremlerde hasar görüp görmediği ve bunlar nedeniyle onarım yapılıp yapılmadığı 17. maddede cevaplandırılır. Yapı hakkında fikir belirtir ve kanaata varırken bütün bunlar da göz önünde tutulacak ve yararlı olacaktır. Bu bilgiler mühendislik deneyim, yargı, sezgi ve sağduyusu ve sonra da hesaplarla değerlendirilecektir.

Bundan sonra 18.-23. maddeler hasar durumuna ayrılmıştır.

18. maddede taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar ele alınmıştır. Hasar durumu beş sınıfa bölünmüş olup elemanların hasar durumu itibariyle hangi sınıfa girdikleri gösterilecektir. Burada taşıyıcı elemanlardaki hasara büyük dikkat göstermek gerektiği şüphesizdir. Ayni dikkatin taşıyıcı olmayan elemanlara da gösterilmesi gerekir.

19. maddede binanın bir bütün olarak hasar durumu belirtilecektir.

20. maddede ise yangın, çarpma gibi dolaylı hasar olup olmadığı cevaplandırılacaktır.

21. maddede yapı yerinin zemin ve jeolojisi ile ilgili problemler 8 şık ile yanıtlanacaktır.

22. mdde yapının kullanılabilirliğinin belirlenmesine ve bununla ilgili olarak yeşil, sarı, kırmızı ne cins bir yafta asılması gerektiğine ayrılmıştır. Burada varılan kanaatla ilgili kısa açıklama yapılacaktır.

23. maddede acil önlemler önerilip önerilmediği ve ne cins önlemler olduğu sorulmaktadır. Bunlar için gösterilen beş cevaptan uygun olan/olanlar işaretlenecektir.

24. maddede fotoğraf cinsi malzeme ve doküman verilip verilmediği yazılacaktır. Fotoğrafların arkalarında hangi binaya ait oldukları, bu binanın son derece açık ve belirtici şekilde yeri ve karışıklığı önlemek için her türlü gerekli bilgi verilecektir. Fotoğrafın çekildiği gün de yazılmalıdır. Şu daima hatırda tutulmalıdırki kolayca hatırlanır gibi gelen pek çok şey, hatta her şey zamanla ya tamamen, ya da güvenilirliğini yitirecek derecede unutulur. Özellikle de pek çok binanın acele ile görüldüğü ve esas itibariyle de hasarların bir birine benzediği durumlarda.

25.-27. maddeler kayıplara ayrılmıştır. Bunların cevaplandırılması hasar tesbit ekiplerinin esas görevlerinden değildir. Fakat bu bilgilerin bulunmasında fayda vardır. Yetkili makamlar bu görevleri bu ekiplere vermiyebilirler. Bunlardan 26. maddedeki değer kaybı oranları depremin sebep olduğu ekonomik kaybı belirlemekte faydalı olur. Ölüm ve yaralılarla ilgili sonuçlar başka ekipler tarafından belirlenmiştir. Bu bilgilerin bu formlarda bulunması ve arşivlere geçirilmesi, ne cins yapıların depremlerde nasıl can kaybına neden olduğunu saptamak ve bu konuda bilgi edinmek bakımından yararlı olur.

Buradaki bilgilerin sayısal olarak doldurulması bilgisayar kütüklerine aktarılmasına, emin şekilde saklanmasına ve her an ve çok büyük kolaylık, rahatlık ve süratle istenilen formatta kendilerine erişilebilmesine ve çıkış alınmasına olanak verecektir.

DEPREM HASARI TESBİT VE SINIFLANDIRMA FORMU
(BETONARME BİNALAR İÇİN)

İNCELEME EKİBİ:

İNCELEME ZAMAN VE TARİHİ:

ZAMAN: GÜN: AY: YIL:

1. İNCELENEN BİNANIN TANIMI:

BİNANIN KROKİSİ

PLAN KESİT

1.1. BİNANIN ADI:
1.2. YERİ VE ADRESİ:
1.3. SAHİBİ: TEL:
1.4. TEMAS EDİLECEK ŞAHIS: TEL:
1.5. İNCELEMENİN AMACI:
1.6. KULLANIMI:
[ ] ÖZEL : [ ] İKAMETGAH, [ ] DAİRE [ ] BÜRO
[ ] MAĞAZA, [ ] FABRİKA [ ] DİĞER

[ ] KAMU : [ ] OKUL, [ ] KREŞ, [ ] DEVLET D.
[ ] BELEDİYE, [ ] POLİS, [ ] İTFAİYE,
[ ] HASTANE, [ ] SPOR SALONU, [ ] TOPLANTI SALONU,
[ ] RADYO İST. [ ] DİĞER
EK BİLGİ:

1.7. KAT ADEDİ: ZEMİN KATI VE ÜSTÜ: [ ]
BODRUM: [ ], ÇATI KATI: [ ]
1.8. TAŞIYICI SİSTEMİ: [ ] YIĞMA YAPI,
[ ] BETONARME KİRİŞ VE KOLONLARLA TAKVİYELİ YIĞMA YAPI, [ ] DÜZENLİ B.A. ÇERÇEVE, [ ] DÜZENSİZ B.A. ÇERÇEVE, [ ] B.A. PERDE-ÇERÇEVE, [ ] DİĞER
EK BİLGİ:

1.9. TEMEL SİSTEMİ: [ ] DUVARALTI TEM., [ ] TEKİL TEM.
[ ] SÜREKLİ TEM., [ ] IZGARA TEM., [ ] RADYE TEM.
[ ] KAZIKLI TEM. [ ] DİĞER
EK BİLGİ:

1.10. YAPI YERİNİN DURUMU: [ ] DÜZ, [ ] EĞİMLİ,
[ ] TEPELİK, [ ] ÇUKUR, [ ] UÇURUM ÜSTÜ,
[ ] UÇURUM ALTI, [ ] DENİZ KIYISI,
[ ] GÖL KIYISI, [ ] DİĞER
EK BİLGİ:

1.11. CEPHE DURUMU: [ ] SIVA, [ ] FAYANS,
[ ] CEPHE ELEMANI, [ ] TUĞLA, [ ] METAL LEVHA,
[ ] ÇIPLAK, [ ] DİĞER
EK BİLGİ:

1.12. PROJE DURUMU: MİMARİ PROJE: [ ] VAR, [ ] YOK,
B.A. PROJE: [ ] VAR, [ ] YOK,
STATİK VE B.A. HESAPLAR: [ ] VAR, [ ] YOK
EK BİLGİ:

2. OTURMALALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ. S: MAKS. OTURMA (METRE)

[ ] OTURMA YOK (S=0), [ ] AZ (S ≤ 0.2),
[ ] ORTA (0.2 < S ≤ 1.0), [ ] CİDDİ (S > 1.0)
EK BİLGİ:

3. TÜM EĞİLMENİN DEĞERLENDİRİLMESİ, θ: MAX. EĞİM (RADYAN):

[ ] EĞİLME YOK (θ = 0), [ ] AZ (θ ≤ 1/100)
[ ] ORTA (1/100 < θ ≤ 3/100), [ ] CİDDİ (3/100 < θ ≤ 6/100)
[ ] DEVRİLMİŞ KABUL EDİLECEK HALDE (θ > 6/100)
EK BİLGİ:

4. YAPISAL (TAŞIYICI) HASARIN DEĞERLENDİRİLMESİ:
(En ciddi hasarın oluştuğu katta)

4.1. DEĞERLENDİRİLEN KAT: /
ÇERÇEVENİN DOĞRULTUSU [ ] X, [ ] Y
4.2. KOLONLARIN TOPLAM SAYISI: A_o : [ ]
DUVARLARIN TOPLAM BOYU : A_o : [ ]
4.3. İNCELENEN KOLONLARIN TOPLAM SAYISI: A: [ ]
İNCELENEN DUVARLARIN TOPLAM BOYU : A: [ ]
4.4. İNCELEME ORANI: A / A_o [ ]
4.5. HASARLI KOLONLARIN DERECELERİNE GÖRE SAYISI:

HASAR DERECESİ:	0	I	II	III	IV	V
KOLON SAYISI :	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
DUVAR BOYU :	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

4.6. YAPININ D_i HASAR ORANLARININ VE TOPLAMININ HESABI:

HASAR DERECESİ:I	D_1 = 10	B_1 /A=	(EN ÇOK 5)
HASAR DERECESİ:II	D_2 = 26	B_2 /A=	(EN ÇOK 13)
HASAR DERECESİ:III	D_3 = 60	B_3 /A=	(EN ÇOK 30)
HASAR DERECESİ:IV	D_4 = 100	B_4 /A=	(EN ÇOK 50)
HASAR DERECESİ:V	D_5 = 1000	B_5 /A=	(EN ÇOK 50)

D_i LERİN TOPLAMI $D = \sum D_i$ =

EK BİLGİ:

5. DÜĞÜM NOKTALARININ HASAR DERECESİ VE SAYISI:

HASAR DERECESİ:	YOK	ÖNEMSİZ	HAFİF	ORTA	CİDDİ
DÜĞÜM SAYISI :	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

EK BİLGİ:

6. TÜM BİNANIN HASAR DERECESİ:

YOK	ÖNEMSİZ	HAFİF	ORTA	CİDDİ
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

7. DİĞER YAPI KISIMLARININ HASARI:

	YOK	ÖNEMSİZ	HAFİF	ORTA	CİDDİ	YIKILMIŞ
ÇATI KATI	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
DIŞ MERDİVEN	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
BACA	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
DIŞ PASAJ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
GENLEŞME DERZ.	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
DİĞER( )	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

EK BİLGİ:

8. TEMELLERİN HASARI:

TEMELLER	[ ] HASARLI,	[ ] HASARSIZ,	[ ]	BELLİ DEĞİL
KAZIKLAR	[ ] HASARLI,	[ ] HASARSIZ,	[ ]	BELLİ DEĞİL
SIVILAŞMA	[ ] OLUŞTU,	[ ] OLUŞMADI,	[ ]	BELLİ DEĞİL

EK BİLGİ:

9. DEĞERLENDİRME SONUCU:

10. ÖNERİLER:

EKİP ELEMANLARININ

ADI VE SOYADI	UNVANI	İMZASI
1.		
2.		
3.		

DEPREM HASARI TESBİT VE SINIFLANDIRMA FORMUNUN EKİ (BETONARME BİNALAR İÇİN)

1. İnceleme ekiplerinin adlandırılması ve numaralandırılması önceden ilgililerce yapılacaktır.
2. İnceleme zamanı olarak başlangıç ve bitiş saatlerinin yazılması önerilir. Haftanın gününün de yazılması önerilir (P.E., Sa, Çrş, Prş, Cu, C.E., Pz gibi kısaltmalar kullanılabilir).
3. İncelenen binanın hem daha iyi tanımlanabilmesi ve hem de sonraki çalışmalar sırasında hatırlanabilmesi için kroki ve kesit çizilmesi uygun olacaktır.
4. Telefon numaraları kod numaralı yazılmalıdır.
5. Kat adedi verilirken zemin ve üstündeki katlar birlikte verilecektir. Çatı katı yapılmışsa ayrıca gösterilecektir.
6. Ek bilgi verilmesinin faydalı olacağının düşünüldüğü durumlarda ayrılan yerde bu bilgi verilecektir. Ayrılan yerin yetişmemesi durumunda Bkz ( ) diye not verilerek rapor sonuna göndermede bulunulacaktır.
7. Yapının hasar derecesinin üç bakımdan değerlendirilmesi söz konusu olacaktır:

   a) Oturmalar bakımından
   b) Eğilmeler bakımından
   c) Yapısal (taşıyıcı) sistem bakımından

Hasar bakımından şu dereceler söz konusudur:

a) Oturmalar bakımından

1. Oturma yok
2. Az
3. Orta
4. Ciddi

b) Eğilmeler bakımından

1. Eğilme yok
2. Az
3. Orta
4. Ciddi
5. Devrilmiş

c) Yapısal (taşıyıcı) sistem bakımından hasar derecesinin tesbitinde önce elemanlar (kolonlar, duvarlar, icabında kirişler) ele alınır. Bunların hasar dereceleri için

1. 0
2. I
3. II
4. III
5. IV
6. V

kademeleri söz konusu olur.

$B_1/A \leq 0.5$ hali için $D_1 = 10\ B_1/A$
> 0.5 hali için $D_1 = 5$
$B_2/A \leq 0.5$ hali için $D_2 = 26\ B_2/A$
> 0.5 hali için $D_2 = 13$
$B_3/A \leq 0.5$ hali için $D_3 = 60\ B_3/A$
> 0.5 hali için $D_3 = 30$
$B_4/A \leq 0.5$ hali için $D_4 = 100\ B_4/A$
> 0.5 hali için $D_4 = 50$
$B_5/A \leq 0.35$ hali için $D_5 = 1000\ B_5/7A$
> 0.35 hali için $D_5 = 50$

olmak üzere D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , D_5 değerleri ve bunların toplamı olarak da

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 \qquad (I)$$

hesap edilir ve yapının o kattaki hasar derecesi için

$D \leq 5$	ise	[Önemsiz]
$5 < D \leq 10$	ise	[Hafif]
$10 < D \leq 50$	ise	[Orta]
$50 \leq D$	ise	[Ciddi]
$D = 50$	ise	[Yıkılmış]

olduğuna hükmedilir.

Eğer bir çerçevede kirişlerin hasarı kolonlarınkinden fazla ise kolonların hasar dereceleri yerine kendilerine birleşen kirişlerin hasar dereceleri hesaba katılır.

D değerlerinin (I) den hesabı ve ona göre yapının hasar durumuna hükmedilmesi en fazla hasar görmüş kat için yapılır.

TAŞIYICI DUVARLAR HALİ:

Taşıyıcı duvarlar halinde kolon sayıları yerine duvar boyları alınarak ayni yöntem izlenir ve yapının o kattaki hasar derecesi için benzer şekilde hüküm verilir. Hesap X ve Y doğrultularının herbiri için ayrı ayrı yapılarak elde edilecek değerlerin büyüğüne göre değerlendirme yapılır.

4.3.2.3. ÇEŞİTLİ BAKIMLARDAN HASAR DERECELERİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bir yapının oturmalar, eğilme ve elemanlardaki hasarlara göre hasar derecesinin nasıl tesbit edileceği yukarıda anlatıldı. Her üç bakımdan da tesbit yapıldıktan sonra bu bulgulara göre yapının hasar durumu hakkında hüküm vermek gerekir. Bu aşamaya gelindiğinde bu üç bakımdan bulunan hasar derecelerinden en elverişsisiz olanı yapının hasar durumu olarak alınır.

2.1.2. Hasar Saptama Çalışmaları İçin JAPON Sistemi

Hasar sınıflandırılması ve restorasyon için değerlendirme sözkonusu olduğunda mühendislerin aşağıda gösterilen üç aşamalık çalışmayı yapması gerekir:

1. Söz konusu yapının hasar durumu ile ilgili incelemelerin yapılması
2. Yapının hasar durumunun kabul edilen sınıflandırmadaki yerinin tesbiti
3. Hasar durumunun sınıflandırmadaki yerine göre değerlendirme yapılarak yapının takviye veya yıkımına karar verilmesi.

Aşağıda bu maddelerle ilgili yardımcı bilgiler verilmiştir;

2.1.2.1. Yapının hasar durumu ile ilgili incelemelerin yapılması

Bununla ilgili olarak hasar görmüş yapı üzerinde;

a) Yapının tüm olarak maksimum oturmasını
b) Yapının tüm olarak maksimum eğilmesini
c) Yapısal (taşıyıcı) elemanların hasar derecesini belirtmek üzere incelemeler yapılır.

İnceleme yapının en çok hasar görmüş katında yapılmalıdır. Diğer katlarda da yapılmasında fayda olur, bazı durumlarda gerekli olabilir. Bununla beraber,

- çatıdaki bacalar
- çatı katları
- dış merdivenler
- dış duvarlar üzerindeki kaplamalar ve bitim malzemeleri ve işleri
- düşme ve devrilme tehlikesi olan şeyler önemli hasar olup olmaması bakımından incelenmelidir.

Gerekli durumlarda yapının taşıyıcı sistemi ile ilgili hesap ve çizimlerde kontrol edilmelidir.

2.1.2.2. Yapının hasar durumunun kabul edilen sınıflandırmadaki yerinin tesbiti

Sınıflandırma ve onun sonunda değerlendirme üç esas üzerinden yapılır:

a) Yapının ortaya çıkan oturmaları bakımından
b) Yapının ortaya çıkan eğilmesi bakımından
c) Yapısal (taşıyıcı) elemanlarda oluşan hasar bakımından

a) Yapının ortaya çıkan oturmaları bakımından hasar derecesinin tesbiti:

Maksimum oturma metre biriminden (S) olarak alınırsa;

[Az] : $S \leq 0{,}20$ (m)

[Orta] : $0{,}20 < S \leq 1{,}00$ (m)

[Ciddi] : $1{,}00 < S$ (m)

hasar anlamına gelmektedir. (ciddi, tehlikeli derecede ağır anlamındadır)

b) Yapının ortaya çıkan eğilmesi bakımından hasar derecesinin tesbiti:

Yapının maksimum eğilme açısı (θ) olarak alınırsa;

[Az] : $\theta \leq 1/100$ (radyan)

[Orta] : $1/100 < \theta \leq 3/100$ (radyan)

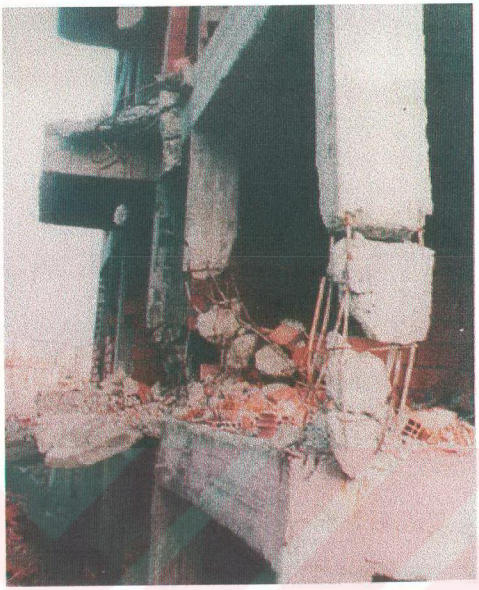
[Ciddi] : $3/100 < \theta \leq 6/100$ (radyan)

[Devrilmiş] : $6/100 < \theta$ (radyan)

hasar anlamına gelmektedir. Devrilmiş terimi yapının devrilmiş gibi kabul edileceğini ifade eder.

Birbirine dik iki doğrultuda eğilmiş bir yapı halinde maksimum eğim bu iki doğrultunun arasındaki bir doğrultudadır ve değeri;

$\theta = \sqrt{\theta_x^2 + \theta_y^2}$ formülüyle hesaplanır.



Resim 2.1 13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrası oluşan hasara örnekler



Resim 2.2 ANITKABİR' de oluşan Korozyon Hasarı



Resim 2.3 Tügsaş Samsun İskelesi Korozyon Hasarı



Resim 2.4 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Sonrası Petkim İskelesinde Oluşan Hasar



Resim 2.5 PETKİM Derince İskelesi Ağır Hasarlı Kolon

2.2. Onarım ve Güçlendirme Düzeyinin Seçimi

Depremde hasar gören bir yapı üzerinde çoğu zaman bir işlem yapmak gerekli görülür fakat bunun düzeyi hakkında farklılıklar olabilir. Yani birbirinin özdeşi iki bina aynı depremde birbirine özdeş hasar görmüş olsalar bile bunu ele alanlar (teknik personel veya değil) yapı ile ilgili farklı kanaat ve düşünce ile hareket edebilirler ve onarım ve güçlendirme ile ilgili farklı uygulama yapabilirler. Yahut hasarlı aynı bir yapı için bir çok kimse farklı onarım ve/veya güçlendirme düzeylerini gerekli veya yeterli görebilirler. Beş düzey sözkonusudur;

- Yapının düşey ağırlık yüklerine ve hareketli yüklere dayanacak ve onların etkisinde stabilitesini devam ettirecek kadar sağlam ve stabil olması hedef alınır. Bunun için eleman ve birleşimlerinin uygun görülen şekilde sıvanması ve yamanması veya benzeri müdahalenin yapılması yoluna gidilir. Yanal yükleme ve buna karşı mukavemet hatıra getirilmez.

- Yapının depremden hemen önceki haline getirilmesi. Buna gerekçe olarak yapının inşa edildiği tarihteki mukavemet durumuna getirilmesinin o zamanki yasal gerekleri yerine getirmek olacağı ve bundan öte kendini zora koşmanın gereksiz olduğu düşünülür. Halbuki yapının son depremde, en azından hasar gördüğü hususlarda, yetersiz olduğu ortaya çıkmıştır. Bu operasyonda onarımdır. Güçlendirme sözkonusu değildir.

- Yapının hasarlı büyük kısmı önceki düzeyine erişmek üzere, harap olan kısımlarıda. öncekinden daha yüksek bir düzeye kadar güçlendirilmesi. Bu bir güçlendirmedir, fakat dikkatle yapılması gereklidir. Çünkü bu durum rijitlik dağılımında düzensizliklere sebep olabilir. Buda yapının davranışında bozukluklara neden olur.

- Yapının halen geçerli olan yönetmelik ve standartlara göre yeniden projelendirilmesi. Bu yapının depremden hemen önce yapılmış ve projelendirilmiş yapılar düzeyinde bir mukavemet ve güvenlik kazanması demektir. Yasal bakımdan tatminkardır ve ideal çözüm olarak düşünülebilir fakat son depremden elde edilen en yeni bilgi, görgü ve deneyimi göz önünde tutmamaktadır.

- En ideal onarım ve güçlendirme düzeyi son bilgileri, özelliklede bu son depremden elde edilenleri göz önüne almakla gerçekleştirilecek olandır. Fakat bunun uygulanabilirliği çok sınırlıdır. Çünkü bu bilgilerin elde edilmesi, hasarların incelenmesi, nedenlerinin saptanması, değerlendirilmesi, sınıflandırılması, yönetmeliklere konulması ve mühendislerin istifadesine sunulması ve üniform şekilde kullanılmaya başlanması zaman ister. [Demir,1991]

3. ONARIM VE GÜÇLENDİRMEDE KULLANILAN MALZEMELER [Demir,1991]

- Yerinde döküm normal beton
- Büzülmesi (rötresi) telafi edilen veya genleşen çimento
- Polimerli (Polimerle özelliği iyileştirilmiş betonlar
- Reçineli betonlar
- Püskürtme beton (shotcrete, gunite)

3.1. Yerinde Döküm Normal Beton

Onarım ve güçlendirme işlerinde en çok kullanılan malzemedir, ancak birçok halde elde edilen sonuç tatminkar değildir. Bunun sebebi özellikle normal çimento betonunun hacim değişikliği ve büzülmesi(rötresi)dir. Hacim değişikliği temini son derece önemli olan eski elemanla yeni beton arasındaki aderansın kaybolmasına sebep olur. Bu sebeple beton yüzeyinde sağlıklı gerilme geçişi yitirilir veya azalır.

- Bu problemi ortadan kaldırmak için büzülmeyi minimuma indirmek (slampı düşük ve minimum su ihtiva eden yüksek mukavemetli beton kullanmak) gereklidir. Yeni betonun mukavemeti eski betonun mukavemetinden en az 5 Mpa daha büyük olmalıdır.
- Rötreyi azaltmak için süper akışkanlaştıncılar (slampı düşürür) kullanılır.

Yeni betonun eski malzeme ile aderansının iyi olması için düküm teknikleri çok önemlidir:

- Yeni dökülecek betonla temasta olacak eski yüzeyler tamamen pürüzlendirilmeli ve temizlenmelidir.
- Ankrajlar yerleştirildikten sonra istenilen yüzeylere göre hazırlanmış kalıplar yapılır.
- Betonun dökümünden hemen önce ahşap talaşı, kıymık ve benzeri aderansı azaltıcı şeyleri temizlemeli ve mevcut beton veya kagir yüzeyler iyice ıslatılmalıdır (yeni betonda su kaybı olmaması için).
- Dökülen beton kalıpları tamamen doldurulması ve boşlukların ve taşlar arasında ceplerin kalmasınının önlenmesi için vibrasyonla sıkıştırılmalıdır.
- Yüzeyin çabuk kurumasını önlemek için yeni dökülmüş betonun uygun şekilde kürü yapılmalıdır.

3.2. Büzülmesi (Rötresi) Telafi Edilen Veya Genleşen Çimento

Normal çimento yerine bu çimento ile yapılan betonlarda başlangıçta oldukça fazla bir hacim artışı gösterirler ve böylece daha sonra olacak büzülme hemen hemen telafi edilmiş olur.

Genleşen katkı maddeleri (örneğin pudra gibi ince demir veya aluminyum tozu) da su kum ve çakıl ile karıştırılarak bu tür beton yapılabilir. Fakat bu tür beton kullanılacağı zaman beton özellikleri dakik olarak bilinmeli veya betonun özelliklerinin belirlenmesi için kapsamlı labaratuar deneyleri yapılmalıdır. Uygulamayı yapacak proje mühendisi bu türlü çimentoları betonda mevcut malzemelerle uyum konusunda yeterli incelemeleri yaptıktan sonra bu tür malzemeleri kullanmalıdır.

3.3. Polimerli (Polimerle Özelliği İyileştirilmiş) Betonlar

Polimerle özelliği iyileştirilmiş beton normal çimentonun bir kısmının yerine bağlayıcı özellikte bazı polimerlerin konulması ile elde edilir. Piyasada suda dağılmış olarak bulunan polimerler çeşitli şekillerde davranırlar:

- Karma suyunu azaltmayı sağlayan akışkanlaştıncılar olarak fonksiyonları olur ve normal betonunkinden daha iyi işlenirlik özelliğinde, su/çimento oranı ve rötresi daha küçük olan betonlar yapılabilir.
- Polimerler eski ve yeni beton arasındaki aderansı iyileştirebilirler.
- Kürde yardımcı olurlar fakat kür ihtiyacını tamamen gidermezler.
- Betonun bağlayıcı sistemi içersinde, plastik halkalar veya bağlar katarak, sertleşmiş betonun mukavemetini yükseltirler. Betonun bazı kimyasal etkilere karşı dayanımlarınıda arttırabilirler.
- Bununla beraber polimerle özelliği iyileştirilmiş betonlar bu türlü kazanılmış özelliklerini yangında kaybetmeye müsaittirler. Alkalilik özellikleri normal betona göre çok daha azdır.
- Proje mühendisi polimerli betonları ancak mevcut malzemelerle uyum özelliklerini iyice inceledikten ve bundan emin olduktan sonra kullanmalıdır.

3.4. Reçineli Betonlar

Reçine esaslı beton karışımlarında çimento yerine iki bileşenli bir sistem vardır. Bu sistemde bir bileşen epoksi, polyester, poliüretan, akrilik, v. s. gibi sıvı reçine esaslıdır ve bu malzeme sertleştirici (hardener) denilen ikinci bileşen ile halkalanmak suretiyle reaksiyon gösterir.

Reçine betonları kırılmış küçük alanların yamanmasında kullanılabilirler fakat büyük miktarda beton olarak kullanılmazlar. Reçine betonları, istenilen özellikleri elde etmek için, yalnız özel ve uygun bir agrega karışıma değil, ayrıca özel çalışma şartları gerektirir. Çünkü her iki bileşende rutubet ve sıcaklığa karşı duyarlıdır. Bu malzemeleri kullanırken bazı hususlara dikkat etmek gereklidir. Bunlar;

- Reçinelerin bir donma süresi (pot life) vardır ve reçine donmadan iş bitirilmelidir.

- Reçineler 5° C'nin altında reaksiyona girmezler. Sıcak havalarda ise açığa çıkan ısı çok yüksek olabilir ve buda karışımın aşırı rötresine sebep alabilir.

- Reçine bileşiminin temiz ve kuru beton yüzeyinde aderansının fevkalade olmasına rağmen reçine betonunun aderansı zayıftır. Bunun sebebi reçine ile kaplı agrega ile eski beton yüzeyi arasında ancak bir noktadan bağlantı olmasıdır. İyi bir aderans için mevcut beton yüzeyine saf reçine örtüsü tatbik etmek zorunludur.

- Reçine betonları normal betona göre çok daha yüksek bir mukavemete sahiptirler fakat elastisite modülleri normal betonunkinden farklıdır. Bu farklılıktan ortaya çıkabilecek problemler gözönünde tutulmalıdır.

3.5. Püskürtme Beton (Shotcrete, Gunite)

Ekipman ve özel yetiştirilmiş işgücü olduğu zaman yapıların takviyesi için püskürtme beton kullanılabilir. Bu malzeme mantolamada ağırlıklı olarak kullanılır fakat burada üzerinde durulacak yöntemde kullanılmadığı için detaylı anlatılmamıştır.

4. BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN ELEMANLARININ ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1. Kolon, Kiriş ve Düğüm Noktalarının Onarım Ve Güçlendirilmesi

Rehabilitasyonda amaç binaların depreme karşı mukavemetini iyileştirmektir. Burada;

- kolonun eğilme ve kesme mukavemetinin arttırılması
- süneklilig̃in (düktilitenin) arttırılması

söz konusu olabilir ve bunlar uygun tekniklerle gerçekleştirilebilir.

Kolonun eğilme mukavemeti, beton kesit alanının büyütülmesi ve yeni boyuna donatılar ilave edilmesi suretiyle arttırılabilir. Kesme mukavemeti ve özelliklede süneklilik etriyeler ve çelik kuşak veya şeritlerle sarmak veya sınırlamak suretiyle iyileştirilir. Kolon rijitliklerini zorlanmaları ile orantılı duruma getirmek (bunun için mesela alın duvarlarından ayırmak), taşıyıcı sistemin bütün kolonlarının uyumlu davranışı bakımından iyileşme temin eder.

Taşıyıcı sistem yıkılmamakla beraber betonarme kolonlar hafiften ağıra kadar çeşitli şekillerde hasar görebilirler. Bu hasarların başlıcaları;

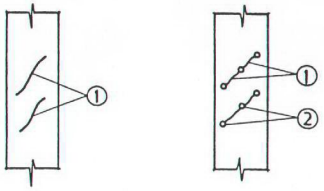
- Betonda kırılma veya donatıda hasar olmaksızın yatay veya düşey doğrultuda çatlak
- Betonun ezilmesi
- Donatının burkulması
- Etriyelerin kopması veya açılması

Hasar derecesine göre;

- Enjeksiyon
- Hasarlı kısmın kaldırılması ve yerine yenisinin konulması yada yeniden yapılması
- Mantolama (betonarme veya çelik ile) gibi onarım ve güçlendirme teknikleri kullanılabilir.

4.1.1. Yerel Onarımlar

Reçine (epoksi) enjeksiyonları betonu veya donatısı hasar görmemiş sadece hafif çatlaklı kolonların onarımında uygulanır. Enjeksiyon donanımının baş kısmında karıştırılarak hazırlanan reçine 0.1 -5 mm genişliğindeki çatlaklar için uygundur. Reçine 20-40 cm aralıklarla açılmış olan deliklere yerleştirilen ağızlardan enjekte edilir.



1) Çatlaklar 2) Enjeksiyon ağızları

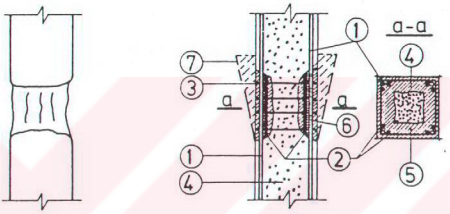
Şekil 4.1. Hafif Hasarlı Kolonda Reçine Enjeksiyonu

Enjeksiyona aşağıdaki ağızlardan başlanır ve sonrakine geldiği farkedilince o kapatılır diğerine geçilir. Çimento harcı enjeksiyonları ise daha geniş çatlaklara uygulanabilir [Demir,1991].

Enjeksiyon işinde çesitli güçlüklerle karşılaşılır. En önemli problem enjeksiyon yapılacak çatlakların tesbitidir. Maliyeti, bilinen onarım malzemelerinden oldukça yüksek olan enjeksiyon malzemesinin, amaca uygun kullanılması onarımın maliyeti bakımından büyük önem taşımaktadır. Özellikle döküm derzleri, segregasyon bölgeleri ve yüzeye yakın etriyelerden kaynaklanan çatlaklar yanılmalara sebep olabilmektedir. Bunu önlemek için anlamlı yani eğilme, kesme ve burulma çatlaklarının sağlıklı bir şekilde tesbit edilmeleri gerekmektedir [Özturan, T. ve Çeçen, Ş., 1995].

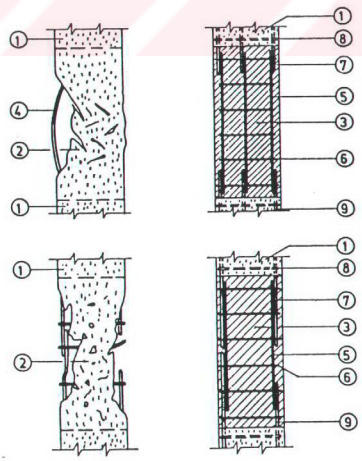
Betonu ezilmiş, donatısı burkulmuş veya etriyeleri kopmuş hasarlı kolon durumlarında hasarlı kısmın çıkarılıp yerine yenisinin yapılması yoluna gidilmelidir. Betonun hafifçe hasar gördüğü durumlarda gevşemiş beton kaldırılıp, yüzeyler pürüzlendirilir ve tozlar temizlenir.

- Kaldırılan betonun miktarına bağlı olarak bir miktar ek etriye ve boyuna donatı konulabilir.
- Betonlanmadan önce meveut kolon suyla ıslanır ve suya doyurulur.
- Kalıp ve yerleştirilen beton onarılacak seviyenin yeterince yukarısına kadar devam ettirilir. Bir gün sonra kalıp sökülebilir ve fazlalık teşkil eden henüz taze beton çentilebİlir.



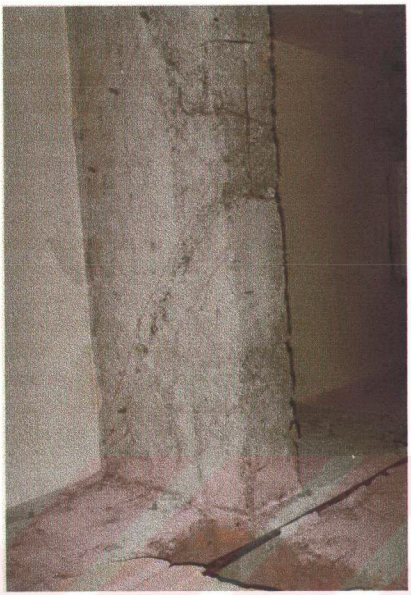
1) Mevcut donatı
2) İlave edilen yeni donatı
3) İlave edilen yeni etriyeler
4) Mevcut beton
5) Yeni beton
6) Kaynak
7) Geçici kalıp

Şekil 4.2. Hafif Hasarlı Kolonda Hasarlı Kısmın Çıkarılıp Yeniden Yapılması

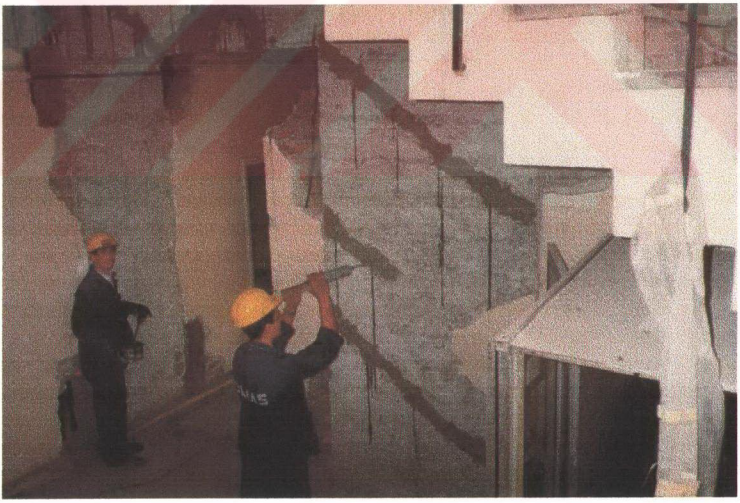


1) Mevcut hasarsız beton
2) Mevcut hasarlı beton
3) Yeni beton
4) Burkulmuş donatı
5) Yeni donatı
6) Kaynak
7) Mevcut etriyeler
8) Mevcut donatı

Şekil 4.3. Betonu Ezilmiş, Boyuna Donatısı Burkulmuş ve Etriyeleri Kopmuş Kolonda Onarım



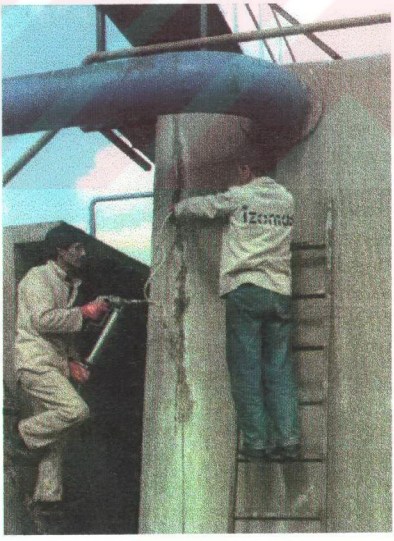
Resim 2.6 Kolonda kesme çatlağı ve enjeksiyon hazırlıkları



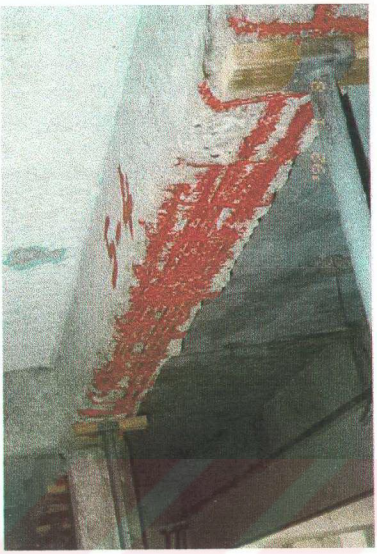
Resim 2.6 Epoksi enjeksiyon uygulaması : Enjeksiyon dübelleri uygun aralıkla yerleştirilmiş ve çatlağın üstü epoksi macun ile kapatılmış



Resim 2.7 Arıtma Tesisi Havuzunda Epoksi Enjeksiyon uygulaması



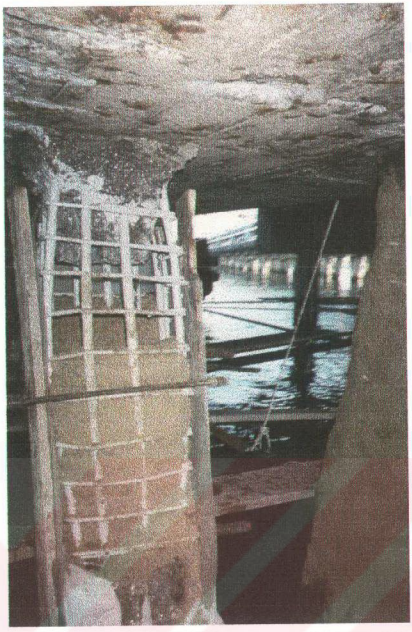
Resim 2.8 Epoksi enjeksiyon



Resim 2.9 Korozyon Onarımı: Donatıların özel epoksiler ile korozyona karşı kaplanması ve eski beton yüzeyinin polimer modifiyeli malzeme ile astarlanması



Resim 2.10 Polimer Modifiyeli Rötresiz Tamir Harcı ile Onarım



Resim 2.11 Epoksi Tamir Harcı ile Korozyon ve Deprem Hasarı Onarımı

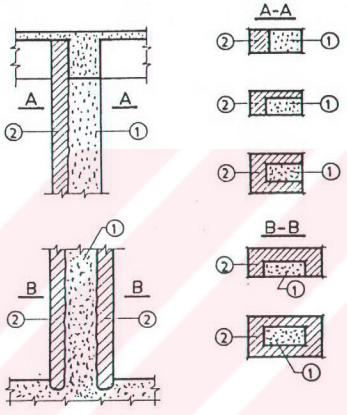


Resim 2.12 Epoksi Tamir Harcı ile Korozyon ve Deprem Hasarı Onarımı

4.1.2. Betonarme Mantolama

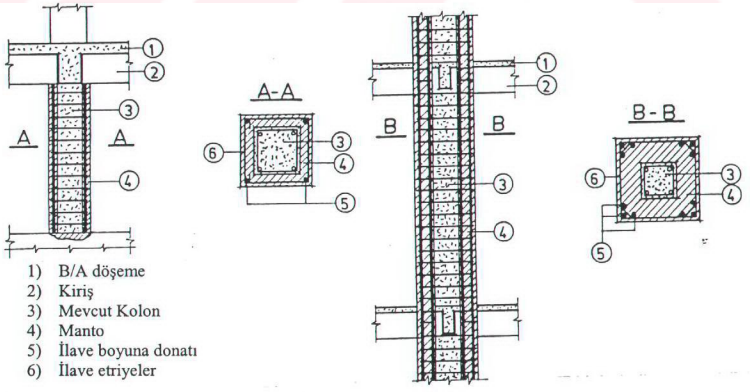
Mantolama büyük hasarlı kolonlarda veya kolon mukavemetinin yetersiz olduğu hallerde uygulanır. Hem bir güçlendirme görevi hemde hasarları gidermesi bakımından onarım görevi görür. Mantolama;

- Betonarme
- Çelik kılıf ilavesi
- Çelik profil iskelet geçirilmesi suretiyle yapılabilir.



1) Mevcut kolon 2) Beton manto

Şekil 4.4 Betonarme Kolonun Bir, İki, Üç veya Dört Yandan Mantolanması



1) B/A döşeme
2) Kiriş
3) Mevcut Kolon
4) Manto
5) İlave boyuna donatı
6) İlave etriyeler

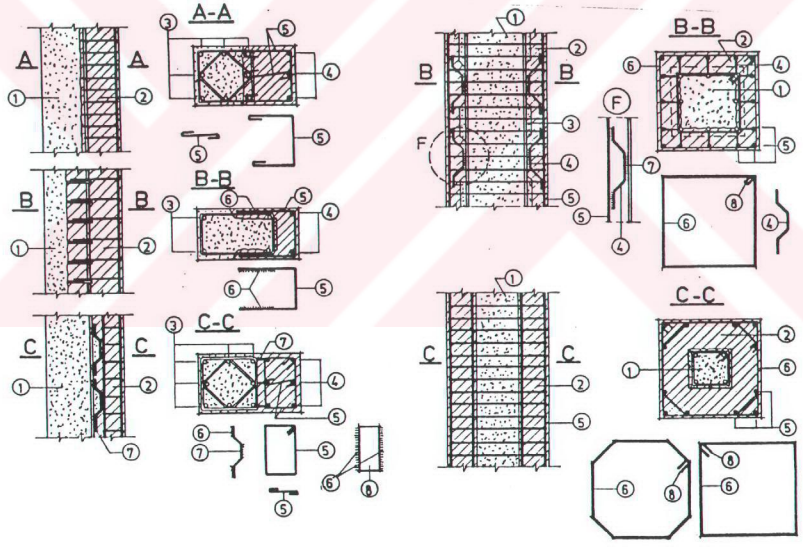
Şekil 4.5 B/A Kolonu a) Yalnız Kat İçinde, b) Döşemede Açılan Delikler Sayesinde Tüm Sistemde Güçlendirme

Sadece kat içinde kalacak bir mantolama depreme karşı eğilme mukavemetini arttırmaz. Bunun için yeni boyuna donatılar döşemede açılan deliklerden geçirilerek kolon – kiriş bölgesine yeni beton dökülür.

Aşağıdaki şekillerde çeşitli mantolama detayları görülmektedir.

Bir ve Dört Yüzden Mantolama:

Mevcut betonla yenisi arsında iyi bağlantı boyuna donatının iyi ankrajı ile sağlanır. Öncelikle ek etriyelerin kancalarının geçmesi için beton açılır. Daha sonra ek etriyeler mevcut etriyelere kaynaklanır. Sadece kaynak bölgesinde beton boyuna donatıya kadar çentilir, kayma dişleri oluşur. Bükük çubukları (7) eski ve yeni donatı arsında doğrudan kuvvet aktarımını sağlar. Bükük çubuklar yerine eski ve yani boyuna donatılar arasına konulan ve onlara kaynaklanan çelik levha da kullanılabilir. İki veya üç yanlı mantolamanın detaylarıda benzer şekildedir.



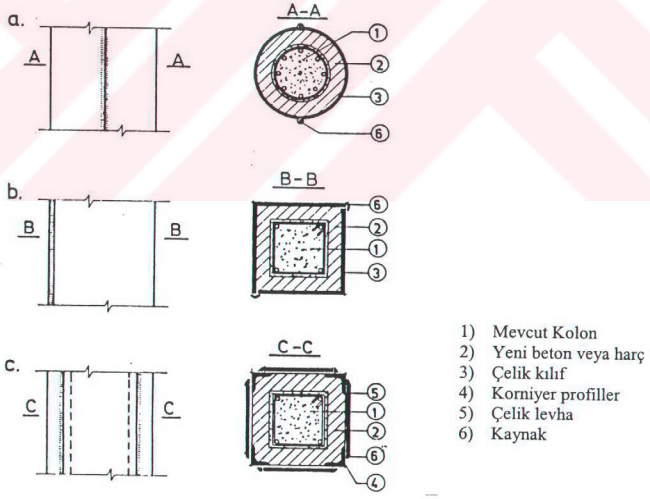
1) Mevcut Kolon
2) Manto
3) Mevcut Donatı
4) Ek boyuna donatı
5) Ek etriyeler
6) Kaynak
7) Bükülmüş çubuklar

Şekil 4.6 a) Bir taraftan mantolama detayı. b) Dört taraftan mantolama detayı

4.1.3. Çelik levha kılıf geçirme

Çelik levha kılıf geçirme mevcut kolonun ince çelik levha ile tamamen çevrilip örtülmesidir. Bu uygulamada kolon kesiti çok az artar. 4-6 mm kalınlığındaki levhalar bir bütün teşkil etmek üzere sürekli olarak kaynaklanmışlardır ve mevcut kolondan belirli bir uzaklıkta bulunurlar. Kılıf ve kolon arasındaki boşluk rötre yapmayan veya genleşen çimento harcı veya betonla doldurulur. Dairesel kılıf en etkinidir, çünkü bu halde çembersel kuvvetler sayesinde sarma ve kavrama temin edilir. Levhalarda eğilme etkisi oluşmaz. Dikdörtgen şekilde kılıf geçirme iki tana L şeklinde levhayı köşegenel alarak karşı köşelerden kaynaklayarak veya dört köşeye konacak dört korniyerlere levhaların kaynaklanması suretiyle gerçekleştirilebilir.

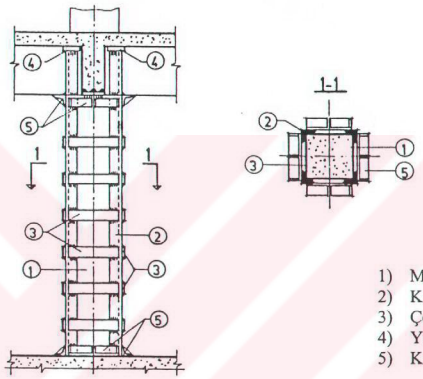
Süneklilik ve eksenel yük taşıma mukavemeti yerel olarak önemli derecede artırılabilir. Fakat bir çerçevenin eğilme mukavemeti bu yöntemle iyileştirilemez. Çünkü çelik kılıfı döşemenin içersinden geçirmek mümkün değildir.



Şekil 4.7 Çelik kılıf ile yapılan güçlendirme

4.1.4. Çelik profil iskelet geçirme

4 köşede çelik L50.50.5 lik korniyer profiller min. 12 mm lik çubuklarla veya 25/4 mm lik lamalarla kaynaklı enine bağlantılar ile yapılır. Doldurma rötresiz çimento harcı veya reçine harcı ile yapılır. Alt ve üst uçta korniyer yakalarla döşemeye veya tavana sıkıca dayanmalıdır. Korozyona ve yangına karşı kaynaklı hasır donatılı beton veya püskürtme beton etkilidir. Sünek davranışta iyileşme ve eksenel yük mukavemetinde artış gözlenir. Rijitlik hemen hemen hiç değişmez.

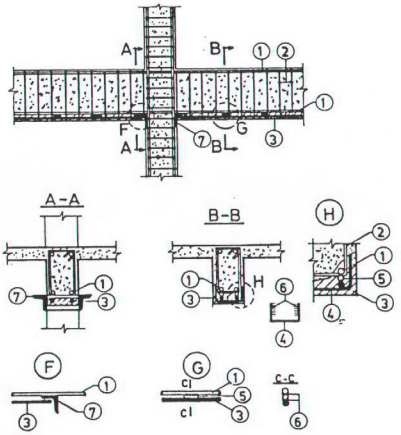


Şekil 4.8 Çelik profil iskelet ile güçlendirmedetayı

4.2. Kirişlerin Betonarme Mantolama ile Onarımı ve Güçlendirilmesi

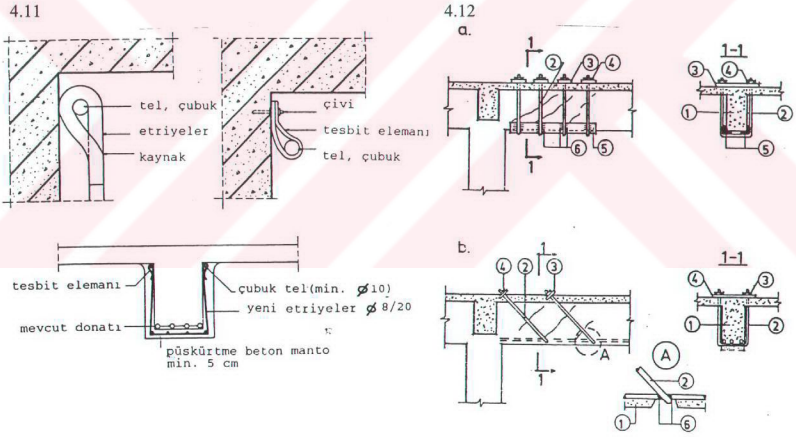
Beton boyuna donatıya, etriyelerde daha yukarı kadar çentilir. Mevcut ve ek boyuna çubuklar aralarındaki boyuna çubuk parçaları ile kaynaklanır. Mevcut etriyelere yenileri kaynaklanır. Kiriş ile yeni beton arasında birleşim sağlanır. Boyuna çubukların mesnet bölgesinde ankrajı kolon başı çevresişnde dört parça korniyerden oluşturulan yakaya kaynaklı sağlanır. Bu sistem açıklık momentine karşı güçlendirme sağlar.

Kirişin üç yanından mantolanması halinde etriyenin kirişin üst noktasına asılması problem yaratır. Güçlendirmenin başarısı ankrajın başarısı ile doğru orantılı hale gelir.
Şekil 4.9'da kirişin bir yüzünden (alt yüz) ve Şekil 4.10'da kirişin üç yüzden kirişin mantolanması detayları gözükmektedir.



1) Mevcut donatı
2) Mevcut etriyeler
3) Ek boyuna donatı
4) Ek etriyeler
5) Kaynaklı birleştirme çubuk parçaları
6) Kaynak
7) Korniyerlerden yaka

Şekil 4.9 Kirişin bir yanından (alt yüzden) mantolanarak güçlendirilmesi.



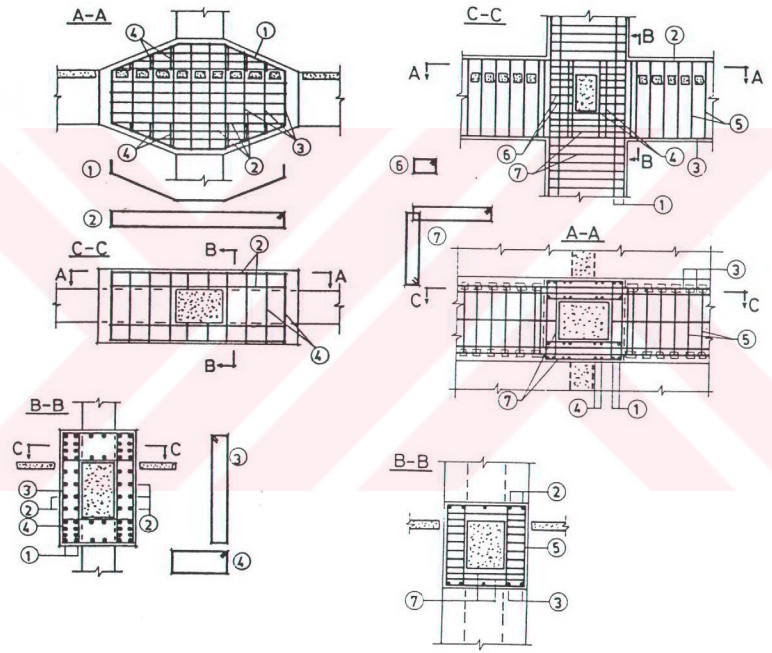
Şekil 4.10 Kirişin üç yandan mantolanarak güçlendirilmesi.

Şekil 4.11 Kesme mukavemetinin arttırılması: mengene elemanlar kirişin alt yüzünde köşelere konan korniyerleri dönerek döşemede açılan deliklerden geçerler ve sıkılırlar. Eğik mengene elemanlar kullanılırsa, yatay bileşen nedeniyle çentilip açığa çıkarılan boyuna donatıya kaynaklanırlar. Bu sistem hasarlı ve hasarsız kirişlere uygulanabilir.

1) Mevcut kiriş
2) Çelik mengene
3) Çelik levha
4) Somun
5) Korniyer
6) Kaynak

4.3. Düğüm Noktalarının Betonarme Mantolama ile Onarımı ve Güçlendirilmesi

Düğümün her iki yüzünü kavrayan mantonun donatı ve betonu döşemede açılan deliklerle üstede geçer. Montaj donatısı olarakta görev yapan (1) çubukları, deliklerden geçen düşey (3) etriyeleri, kirişlerin alt yüzünün altında ve üst yüzünün üstünde kalan (4) etriyeleri , en dıştaki çubukları dolanan ve düğüm noktasına kesme mukavemeti sağlayan (2) yatay etriyelerinden oluşur. Yapılan güçlendirme döşemenin üst yüzeyinden yukarı taştığı için mimari problem yaratır.



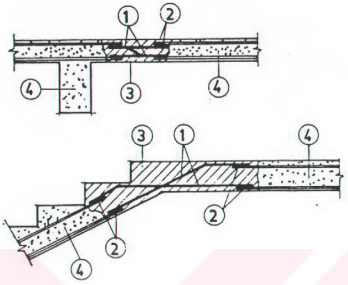
1) Boyuna çubuklar
2) Yatay etriyeler
3) Düşey etriyeler
4) Düşey etriyeler

1) Kolon donatısı
2) Kiriş üst donatısı
3) Kiriş alt donatısı
4) Düşey düğüm etriyeleri
5) Kiriş etriyeleri
6) Kolon etriyeleri
7) Düğümde kolon etriyeleri

Şekil 4.12 Kolon – kiriş birleşiminin (düğüm noktası) mantolanarak güçlendirilmesi:

4.4. Döşemelerin Betonarme Mantolama ile Onarımı ve Güçlendirilmesi

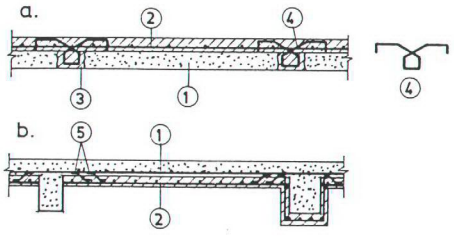
Aşağıdaki çizimlerde döşemelerde yapılan bölgesel onarım örnekleri görülmektedir. Hasara uğrayan kısım çıkarılır. Gerekiyorsa yeni donatı mevcuda kaynaklanır ve tamir harçları ile beton onarımı yapılır.



1) Ek donatı
2) Kaynak
3) İlave beton
4) Mevcut döşeme

Şekil 4.13 Döşemede Bölgesel Onarım

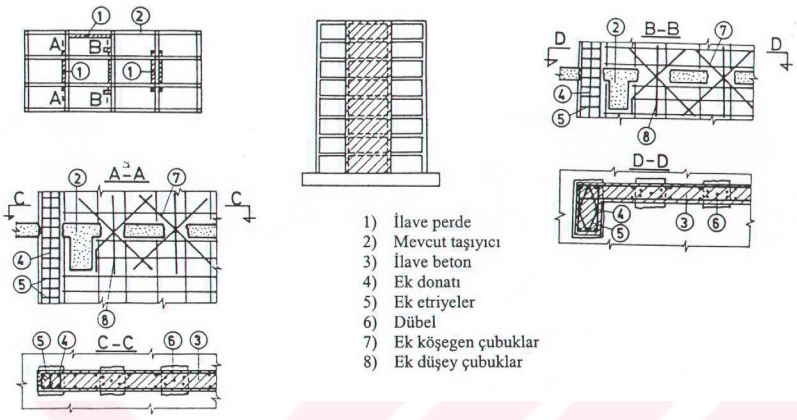
Eğer döşeme genelinde bir zaafiyet varsa mukavemet ve ya rijitliği artırmak için alt veya üstten ilave yapılabilir. İlavenin üstten yapılması halinde faydalı yükseklik artar, mesnet donatısı ilavesi ile de eğilme mukavemeti arttırılmış olunur. Püskürtme beton tercihen üstten uygulanmalıdır. Böylece daha fazla döşeme rijitliği sağlandığından diyafram etkisi bakımından da faydalıdır.



1) Mevcut döşeme
2) Ek donatı
3) Dübel
4) Bükük ankraj çubukları
5) Kaynaklı birleştirme çubukları

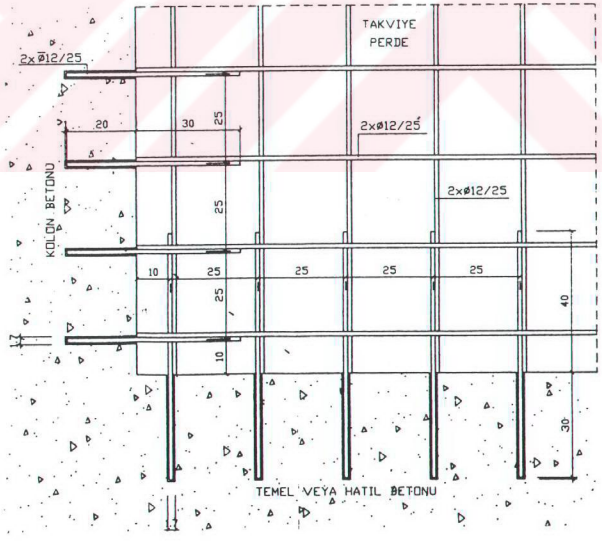
Şekil 4.14 Döşemede Güçlendirme Detayları

4.5. Sistemin Perde İlavesi ile Güçlendirilmesi



1) İlave perde
2) Mevcut taşıyıcı
3) İlave beton
4) Ek donatı
5) Ek etriyeler
6) Dübel
7) Ek köşegen çubuklar
8) Ek düşey çubuklar

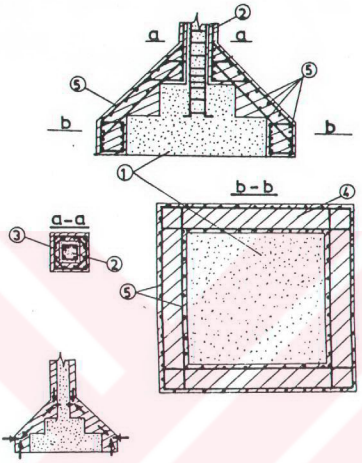
Şekil 4.15 Perdelerin bina içine yerleştirilmesi: döşeme içinde açılan deliklerden geçen düşey boyuna donatı, döşemede açılan deliklerde oluşturulan beton dübeller veya dübellere konulan köşegenel çubuklar.



Şekil 4.16 Perde ankraj detayı

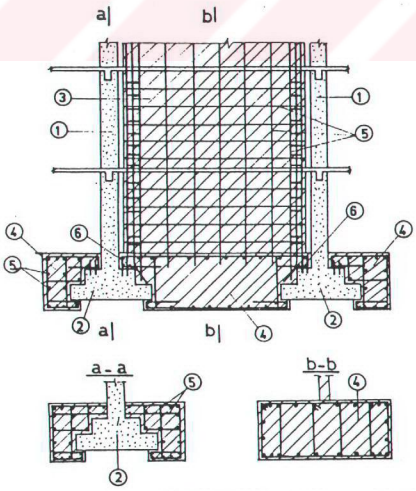
4.6. Temelin Güçlendirilmesi

Temelde zaafiyet olduğu durumlarda veya güçlendirilmiş kolon ve ilave perde gibi etkenlerden dolayı temelde güçlendirme gerekebilir. Bu durumda gelen ilave yükleri karşılayabilecek bir temel dizaynı gereklidir. Mevcut ve yeni temelin birlikte çalışması için ankrajlar çok önemlidir.



1) Mevcut temel
2) Mevcut kolon
3) B.A. manto
4) İlave beton
5) İlave donatı

Şekil 4.17 Mantolanmış kolon altındaki temelin oturma alanının arttırılması

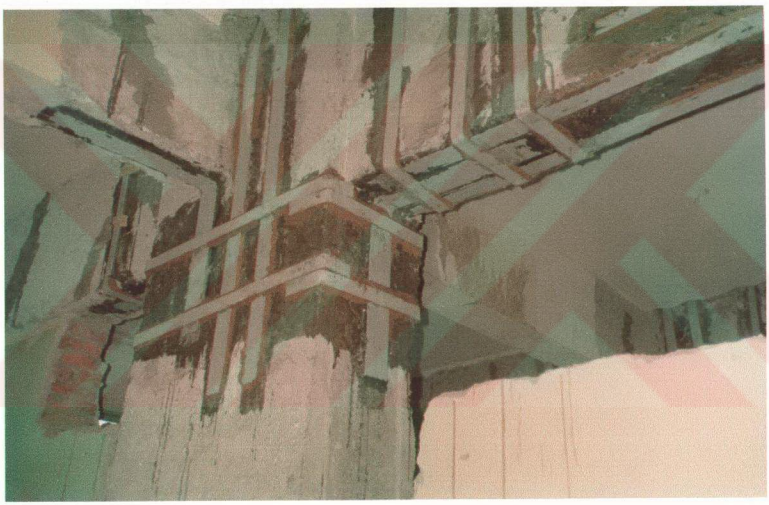


1) Mevcut kolonlar
2) Mevcut temel
3) Çerçeve içine ilave deprem perdesi
4) İlave beton kısım
5) İlave donatı
6) Kaynaklı çelik levhalar

Şekil 4.18 Perde ilave edilmiş sistemde temel takviyesi

5. EPOKSİ İLE ÇELİK PROFİL İLAVESİYLE ONARIM VE GÜÇLENDİRME

Yapısal güçlendirmenin (statik takviyenin) değişik yöntemleri vardır. Herhangi bir yapı için hangi yöntemin daha pratik ve/veya ekonomik olacağı her durum için ayrı ayrı incelenip karara bağlanmalıdır. Bu seçimde yalnızca yapının teknik gereksinimleri değil, aynı zamanda uygulama kolaylığı, istenilen amaca uygunluk, yapının olası kullanım şekillerinin ve mimarisinin etkileri, onarım süresi, onarım sırasında yapının kullanımına getirilen kısıtlar, parasal kıstaslar vb. de dikkatle incelenerek göz önüne alınırlar. Onarım ve Güçlendirme işlerinde kullanılan yöntemlerden biriside **"epoksi ile dışarıdan donatı eklenmesi"** dir. Bu sistem hem yapının teknik gereksinimlerine cevap vermekte, hem de mimariyi etkilemeden güçlendirme problemini çözmektedir.



Resim 5.1 Çelik donatı ilavesi ile düğüm noktası güçlendirmesi

Dördüncü bölümde diğer onarım ve güçlendirme yöntemlerine özellikle betonarme mantolamaya değinilmişti. İlgili şekillerdende görülebileceği gibi betonarme mantolama detayları uygulamada büyük problemler çıkarmaktadır. Problemler "kesitteki artış sebebiyle elemanların rijitleşmesi ve buna bağlı mimari sıkıntılar, katlar arası sürekliliğin sağlanması, mevcut elemanla ilave elemanın beraber çalışmasının sağlanması, donatı detaylarının uygulanabilirliği v.b. şeklinde sayılabilir." Özellikle düğüm noktası gibi kritik bölgelerde bu sistemin uygulanması, yük aktarımını sağlayacak donatı (Şekil 4.13) düzeninin karmaşıklığı sebebiyle neredeyse imkansızdır.

İşte bu noktada hem statik ihtiyaçları sağlayacak, hemde detay karmaşasını ortadan kaldıracak bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde epoksi ile dışarıdan donatı eklenmesi konusu incelenecektir.



Resim 5.2 Düğüm noktası ve kirişte güçlendirme

5.1. Tarihçe

[2] 1970 li yıllarda Fransa'da yapılan öncü çalışmaların olumlu etkilerinin görülmesi üzerine, dünyada yaygın ve özel bir kullanım alanı bulan **"Epoksi ile Harici Donatı Eklenmesi, Çatlak Onarımı ve Yapısal Onarımlar"** o tarihten bu zamana dek hem akademik düzeyde, hem de yapılan çeşitli uygulamalar ile mühendislik çevrelerinde gündemi giderek daha çok meşgul eder duruma gelmişlerdir.

Statik güçlendirme işlemlerinde mevcut betonarme yapıların harici donatılar eklenmesi ile takviye edilmesi yöntemi özel bir mühendislik uygulaması olarak yaklaşık 25 yıldır çeşitli ülkelerde kolon/kiriş takviyesinden deprem onarımlarına kadar çeşitli uygulamalarda başarı ile kullanılmaktadır. Tasarlandığı yük değerlerinin üzerinde yükler taşıması gereken uygulamalardan, yeni yük dağılımları veya yenileme çalışmaları nedeniyle kolon veya

duvarların yıkılması veya yerdeğiştirmesi gereken durumlara, deprem hasarı görmüş yapılardan çevre koşulları nedeniyle korozyona uğrayarak taşıma gücünü büyük ölçüde yitirmiş bina ve deniz yapılarına kadar değişik alanlarda pratik, çabuk ve boyutsal değişiklikleri en aza indirgeyen çözümler geliştirilmiştir.

Bu yöntemler, gerekli bilimsel ve akademik araştırmalara da konu olup, yapılan işlemlerin kısa ve uzun dönem performansları, statik ve dinamik yüklere karşı tepkileri, hızlı yaşlandırma ve gerçek yaşlanma koşullarında sistemin kararlılığının incelenmesi, sistemlerin bilgisayar simülasyonları altında testleri vb. konular çeşitli ülkelerde ve ülkemizde kapsamlı olarak incelenmekte ve test sonuçları yayınlanmaktadır.



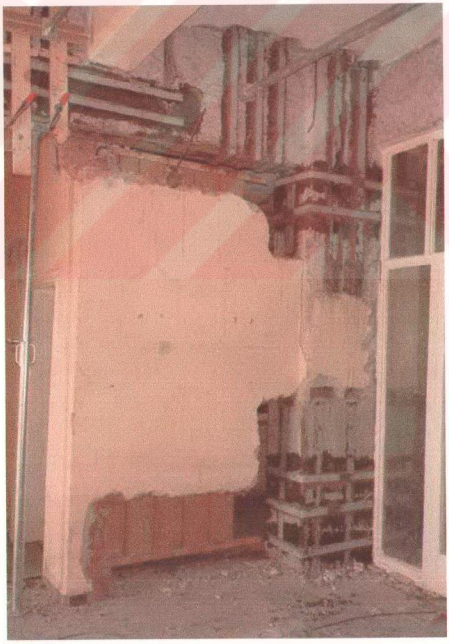
Resim 5.3 Epoksi ile donatı eklenmesinde elemanlar rijitleşmediği için bölgesel uygulama yapılabilir.

5.2. Epoksi Kullanarak Yapılan Onarım ve Güçlendirmeler

5.2.1. Malzemenin tanımı

Epoksiler, petrokimya türevlerinden elde edilen yapay (sentetik) reçine sınıfına ait, sıvı veya katı durumda bulunan, ve sertleştirici adı verilen kimyasallarla tepkimeye girmeleri sonucunda çok kuvvetli moleküler çapraz bağlar oluşturan kimyasal maddelere verilen genel addır. Sertleşme adı verilen işlemden sonra ortaya çok önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri olan atıl (inert) son-ürünler ortaya çıkar. Bu ürünlerin ortak özellikleri:

- Mükemmel yapışma (adhesion)
- Korozyona ve kimyasallara çok yüksek dayanım
- Çok iyi fiziksel ve mekanik özellikler
- Çok iyi elektriksel yalıtım özellikleri
- Sertleşme sırasında çok düşük daralma (rötre) ve büzülme göstermeleri sayılabilir.

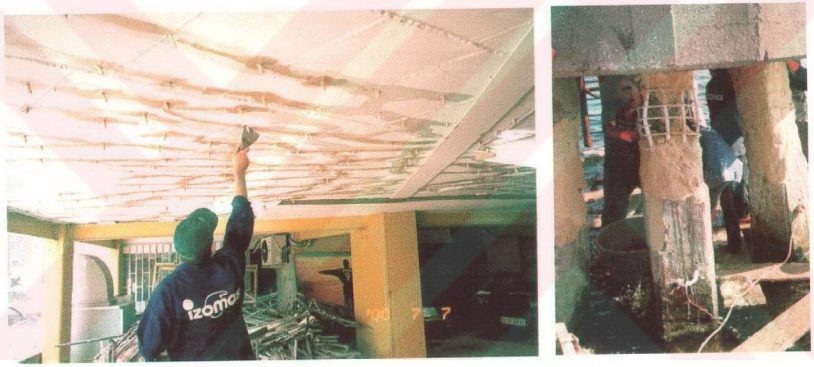


Resim 5.4 Uygulama detayları

Sanayinin çeşitli alanlarında kullanılan epoksi reçineler ile, kimyasal ve mekanik etkilere dayanımlı sanayi tipi zemin ve kaplamalardan, korozyona dayanımlı tank ve yüzey laminasyonlarına, betonarme yapılardaki yapısal çatlakların onarımından harici donatıların betonarme elemanlara yapıştırmaya, çelik ve betonarme yapıların korozyona karşı koruyucu boyalarından, sualtı epoksi onarımlarına kadar değişik alanlarda yoğunlaşmıştır.

5.2.2. Sistemin ayrıntıları

Epoksi ile statik takviye öncesi, öncelikle varsa mevcut hasarlar onarılır. Taşıyıcı betonarme elemanlarda oluşan çatlaklar, epoksi enjeksiyon yöntemi ile onarılır. Kırılan ve özelliğini yitiren betonlar, eski yüzeye mükemmel yapışma sağlayan epoksi veya polimer modifiyeli özel tamir harçları ile onarılır. Kısacası yapı hasara uğramadan önceki haline getirilir.



Resim 5.5 Epoksi enjeksiyon ve epoksi tamir harcı ile onarım yapılması

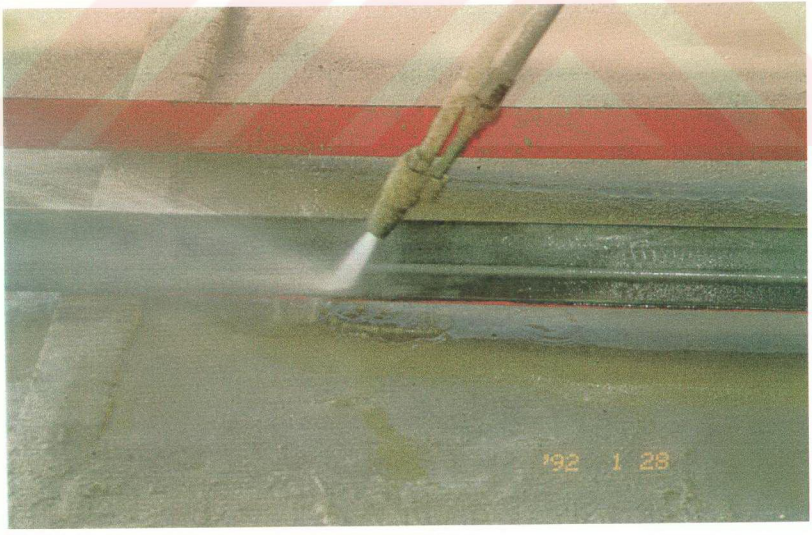
Bu noktadan sonra yapının ve elemanların hasara uğrama sebepleri araştırılır. Sonuçta elemandaki eksikliklerden veya yapısal sistemdeki bozukluklardan dolayı yapı gelen yükleri karşılayamamıştır. Statik takviyeyi gerektiren koşulların irdelenmesi ile oluşturulan yeni statik projelerin öngördüğü donatı takviyeleri, yine projenin önereceği boyut ve yerleşimde mevcut betonarme yapıya epoksi yapıştırıcılar ile ilave edilir. Haricen eklenen bu donatılar, betonarme yapının gerek duyduğu ek gücü ve mukavemeti sağlarlar.

Onarım ve güçlendirme işleri, konunun hassasiyeti sebebiyle, bu konuda gerekli eğitimi görmüş, malzeme ve uygulama bilgileri yeterli, statik proje müellifi ve yapının sahip ve kullanıcıları ile iyi bir iletişim içine girmiş uzman elemanlarca yapılmalıdır. Özel yapı

malzeme ve yöntemlerinin kullanıldığı bu süreçte, hiçbir ayrıntı önemsenmeyecek kadar küçük olamaz. Bu nedenle uzman uygulayıcılar işin başlangıç aşamasından kabul aşamasına kadar yoğun bir şantiye çalışmasında etken ve denetleyici bir rol üstlenirler.

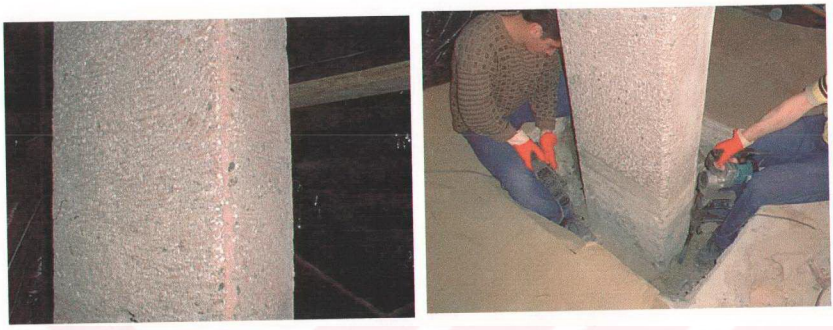
Onarım ve güçlendirme işleri, mevcut ve olası durumların incelenmesi ile başlar. Takviye gerektiren bölgeler, takviyenin niteliği ve niceliği, mevcut malzemelerin mukavemet ve estetik durumları, kullanım ve mimari durumlarla ilgili gözönüne alınması gereken hususlar, kullanım alanının fiziki, kimyasal ve çevresel koşulları, onarım sırasında yapının kullanım gereksinimleri, onarım için gerekli süre, mevsim koşulları vb. bu aşamada yapılacak kapsamlı incelemelerle belirlenirler. Bu verilerin ışığı altında, statik takviye için gereken projeler ve detaylar ortaya çıkar.

Harici donatılar için, genellikle çelik lamalar veya korniyerler kullanılır. Bu lamalar St37 kalitesinde çelikten olup, uygulama öncesi gerekli yüzey hazırlıkları bunlara da uygulanır. Tüm güçlendirme elemanları SA 2.5 (püskürtülen kum taneciklerinin çapı-mm-) standardına uygun olarak kumlandıktan sonra, yüzeylere korozyona karşı koruyucu epoksi astar ve boya uygulanır. Aderansı arttırmak amacıyla boya kurumadan çelik profil yüzeyine kurutulup elenmiş silis kumu serpilir.

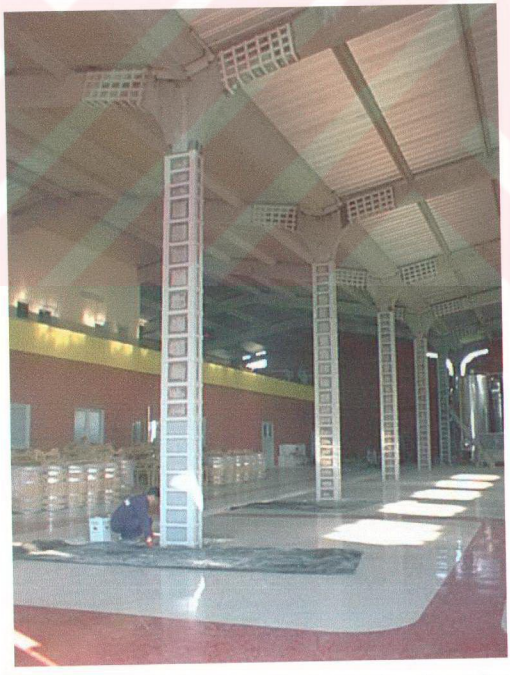


Resim 5.5 Çelik güçlendirme elemanlarının hazırlanması

Yüzey Hazırlığı: Statik takviye yapılacak yüzeyler her türlü kir, toz, yağ, su ve nemden arındırılır. Statik takviye kesinlikle mukavemetini kaybetmiş beton üzerinde yapılmaz, beton tamiratları bittikten sonra sağlam beton üzerinde uygulanır.



Resim 5.6 Güçlendirme öncesi yapılan hazırlıklar, elemanlarının yüzeyindeki boya, sıva vs... temizlenmesi ve temel kotuna inilmesi



Resim 5.7 Kolonlarda ve Prefabrik kolon – kiriş bağlantılarında yapılan güçlendirme

Primer: Yüzey hazırlığı bittikten sonra güçlendirme elemanlarının geleceği yüzeylerde özel epoxy astar uygulaması yapılır.

Epoxy Adhesive: Astar uygulaması yapılan yüzeye daha önceden hazırlanmış olan donatılar özel epoxy adhesivler ile yapıştırılır. Kullanılması gereken epoxy adhesive özel olarak statik takviye sistemleri için geliştirilmiş, solventsiz, yangın geciktirici ve kendinden söndürücü özelliklere sahip olmalıdır. Bu yapıştırma işlemi sırasında lamalar ve beton arasında hiç bir boşluk kalmamalıdır. Bunun sağlanması için malzeme sarfiyatı ve ziyanı göz önüne alınmamalı, donatıların üzerine konan epoxy adhesivlerin taşırma yöntemi ile hiçbir boşluk bırakmadan lamaların arkasını doldurması sağlanmalıdır.



Resim 5.8 Kolon güçlendirme detayı

5.2.3. Sistemin avantaj ve üstünlükleri

Epoksi ile donatı ekleme yöntemini kullanarak "ağır hasarlı kolon ve kirişlerin hasardan önceki ilk konumlarına getirilmesi, onarılmış yapıların statik olarak güçlendirilmesi, mevcut yapıların gerek duyulan ek/yeni yüklere dayanımlı duruma getirilmesi, mevcut yapıların, yapılacak tadilatlar/değişiklikler sonucu oluşacak yeni durumuna uygun duruma getirilmesi,

estetik/fonksiyonel değişiklikler sonucu gereken statik yapının sağlanması, yapım sırasında oluşan malzeme, mühendislik, uygulama vb. hataların giderilmesi kullanım sırasında ortaya çıkan hasarların ve eksikliklerin giderilmesi, korozyon nedeniyle statik gücünü kaybetmiş yapıların güçlendirilmesi ve iyileştirilmesi" mümkündür.

- Onarım ve güçlendirme işleri çok kısa zamanda gerçekleştirilebilir.
- Güçlendirme çalışmaları sonucu yapılarda herhangi bir hacim kaybı olmaz, yapılan işlemler 2-3 cm kalınlıkta ve sıva payının içinde kalır.
- Elemanlar rijitleşmediği için bölgesel güçlendirmeler yapılabilir.
- İşlemlerin yapımı sırasında, yapının kullanılması en az düzeyde etkilenir, yapının kullanımı engellemez.
- Yapının ve sistemin taşıma kapasitesi mevcut elemanların özellik ve durumlarına bağlı olarak ve statik projesi elverdiği durumlarda istenildiği kadar arttırılabilir.
- Onarım ve takviye işlerinde kullanılan malzemeler kimyasal olarak tepkime (kür) sürecini tamamladığı için ileriye dönük olarak herhangi bir reaksiyonda bulunmaz, dolayısıyla malzeme yorulması ve yapışma gücünden kayıp meydana gelmez.
- Yapışma tekniğinde kullanılan malzemeler, beton bileşimine yakın tasarlandığı ve yüzeye tam olarak yapıştığı için, genleşme katsayılarında hemen hemen bir fark oluşmaz; bu nedenle de yapışan yüzeyler ayrılmaz, eski ve yeni sistem birlikte çalışır.

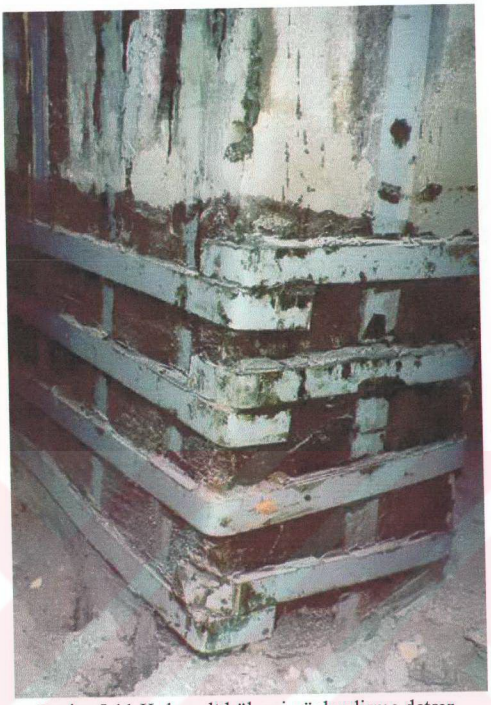


Resim 5.9 Epoksi ile yapılan güçlendirmelerde, yapılan deneyler göstermiştir ki ayrılma betonda gerçekleşir.

- Uygulanan malzemelerin yapıştığı zeminden bir daha çıkması sözkonusu olmadığı gibi hasar verecek durumlarla karşılaşıldığında beton ancak başka yerlerden hasara uğrar.
- Onarım malzemeleri yangına iştirak etmez. ("Flame retarding" özelliğinde)
- Klasik takviye sistemlerinin elverişli olmadığı çoğu uygulama için ekonomik ve pratik bir çözüm olanağı oluştururlar (özellikle düğüm noktaları).
- Yapıların yeniden inşa edilmesinden kaynaklanan yüksek maliyetleri önler,
- Onarım ve güçlendirme nedeniyle yapıya ek ağırlıklar ve yükler getirmez.,



Resim 5.10 Döşemenin delinerek sürekliliğin sağlanması.



Resim 5.11 Kolon alt bölgesi güçlendirme detayı.



Resim 5.12 Düğüm noktalarında güçlendirme genel görünüm

5.2.4. Epoksi ile donatı ilavesi sistemi ile yapılan uygulamalar

İZOMAS A.Ş. tarafından uygulanan ve İzo-PST® Peroses Sistemi olarak adlandırılan bu yöntem ile yapılan en büyük uygulama 1992 Erzincan depremi sonrası, Erzincan 3. Ordu'ya ait ağır hasarlı binalarda olmuştur. Özellikle 7,000m² alana sahip olan Orduevi için yıkıp yeniden yapma kararı alınmış iken, İzo-PST® Proses Sistemi ile onarım işi İzomas firması tarafından üstlenilmiş, 23.06.1992 tarihinde başlayan onarım ve takviye işleri yaklaşık 2 ay gibi kısa bir süre sonunda 30.08.1992 tarihinde tamamlanarak yapı kullanıma açılmıştır.

Erzincan Depremi Sonrası Yapılan Çalışmalar

- 3. Ordu Karagahı ve merkezi
- 3. Ordu Merkezi
- 3. Ordu ve 9. Kolordu Erat Pavyonları (5,000 kişilik) ve İdari Binaları
- 3. Ordu Lojmanları, 52 ve 42 Daireli
- İTÜ Uhdesinde Erzincan Sivil Kooperatifi Konutları

17 Ağustos Marmara Depremi Sonrası

- Petkim Yarımca Kompleksi İskelesi
- Aksa ve Akkim Tesisleri – Yalova
- Kordsa, Dusa, Brisa, Beksa, I-Bimsa
- Philips Aydınlatma
- Türk Kablo
- Parksa Hilton Oteli
- Yalova da 6 adet İlköğretim Okulu

Taşıyıcı Sistemi Güçlendirilen Yapılar

- Yapı ve Kredi Bankası Bayramoğlu Eğitim ve Dinlenme Tesisleri
- Tügsaş Gübre Fabrikası Samsun ve Gemlik İskeleleri
- İSKİ Zeytinburnu Tesisleri, (50 tonluk vinç için tasarlanan yapının 150 tonluk vinç için uygun duruma getirilmesi)
- İzmir Dericiler Sitesi Arıtma Tesisi Havuzları
- ANITKABİR Aslanlı Yol Alt Galerileri ve Mozole Korozyon Onarımları
- Türk Pirelli Genel Müdürlük Binası

5.3. BRİSA: DEPREM HASARI ONARIM VE GÜÇLENDİRME ÇALIŞMALARI

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi özellikle ekonominin can damarı olan ve sanayileşmenin oldukça yoğun olduğu Körfez bölgesini etkilemesi sebebiyle kolay kolay unutulamayacak yaralar açmıştır. Oluşan hasarlar sebebiyle üretim durmuş, ülke ekonomisi sekteye uğramıştır.



Resim 5.13 Mikser kısmındaki incelenen hasarlı kolon

Hasar gören fabrikalardan biride **SABANCI** ve **BRIDGESTONE** ortaklığında kurulan ve Alikahya/İZMİT'te bulunan **BRİSA** lastik fabrikasıydı. Fabrikanın çeşitli bölgelerinde ağır hasarlar oluşmuş, dolayısıyla üretim durmuştu. Bir an önce üretime başlanabilmesi için acilen ve kalıcı önlemlerin alınması gerekliydi. Bu sebepten depremden hemen sonra onarım ve güçlendirme proje ve uygulamaları başlamıştır.



Resim 5.14 Mikser kısmında incelenen hasarlı kolon

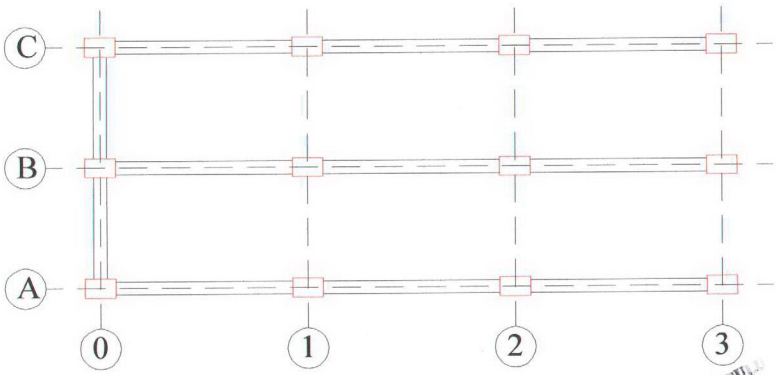


Resim 5.15 Kaldırma işlemi için yapılan hazırlıklar

Bu tez çalışmasında aktaracak olduğumuz kısım; diğer hasarların yanında çökmüş olarak kabul edilen fakat yeniden yapılması düşünülemeyen mikser kısmıdır. Bu kısım hammaddelerin ilk işlem görmeye başladığı yer ve fabrika bilgi işlem merkezinin yanında olmasından dolayı önemlidir. Yıkılması halinde üretim büyük zarara uğrayacağından mikser kısmının onarımı ve güçlendirilmesi seçilmiştir. Sökonusu onarım ve güçlendirme çalışmaları İZOMAS A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.16 Kolon donatılarının kesilmesi



Şekil 5.1 Mikser kısmı kolon yerleşim planı

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

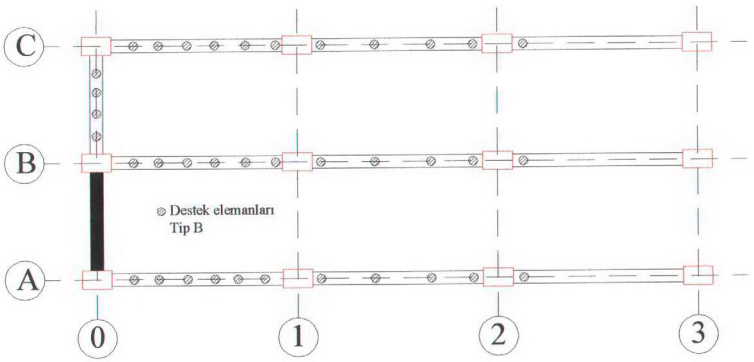
Mikser kısmı kısa yönde aralıklı üç (4 m açıklıklı), uzun yönde sekiz akstan (6 m açıklıklı) oluşan üç katlı bir yapıdır. Oldukça düzensiz tasarlanmış bu yapının orta katında perde bulunmamakta, alt katta ise sadece 0-AB aksları arasında perde bulunmaktadır. Üst katta 0 aksı ve A aksı boyunca 1,50 m yüksekliğinde perde bulunmaktadır. Katlar arasında ani rijitlik değişimi olsada, hasarın asıl sebebi, deprem hareketi sonucu perde uç kısımlarında meydana gelen normal kuvvet artışıdır. Özellikle A ve 0 akslarının birleştiği köşe kolonunda tasarım aşamasında öngörülen normal kuvvetlerin çok üzerinde zorlanmalar meydana geldiği için, kolon basınç kırılmasına uğrayarak Resim 5.13 deki hali almıştır. ayrıca B0 ve C0 kolonlarında da çökme meydana gelmiştir. Diğer kolon ve kirişlerinde de çatlaklar ve mafsallaşmalar oluşmuştur. Onarım ve güçlendirme çalışmalarının başlayabilmesi için öncelikle orta katta, kısa kenarda çökmenin gerçekleştiği üç kolonun eski haline getirilmesi gerekmiştir. Kolonlarda; 5 cm, 14 cm ve 28 cm'lik çökmeler vardı. Deprem sonucunda oluşan deplasmanlar hidrolik krikolar vasıtası ile giderilecektir.

Deprem sonrası askıya alınan yapının onarım ve güçlendirme işlemlerinin yapılabilmesi için aşağıdaki yönerge hazırlanmış ve işlem başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

5.4. ÇÖKEN KISMIN KALDIRILMASI İŞİNE AİT YÖNERGE

1. Kat Hazırlıkları

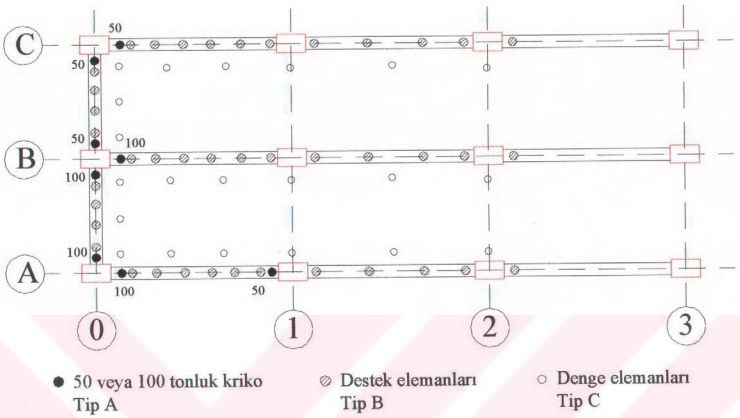
- Planda gösterilen yerlere şekil 5.2 deki detaylar doğrultusunda takviyeler yapılacaktır. Mevcut destek elemanları (gerekiyorsa sağlamlaştırılıp) korunacaktır. Kolonlarda bulunan çatlak ve hasarlar epoksi enjeksiyon ve epoksi tamir harcı ile gerekli onarımlar yapılacaktır.



Şekil 5.2 Mikser kısmı 1. kat destek yerleşim planı

2. Kat Hazırlıkları

- Planda gösterilen yerlere ilgili detaylara uygun olacak şekilde destekler yerleştirilecektir.

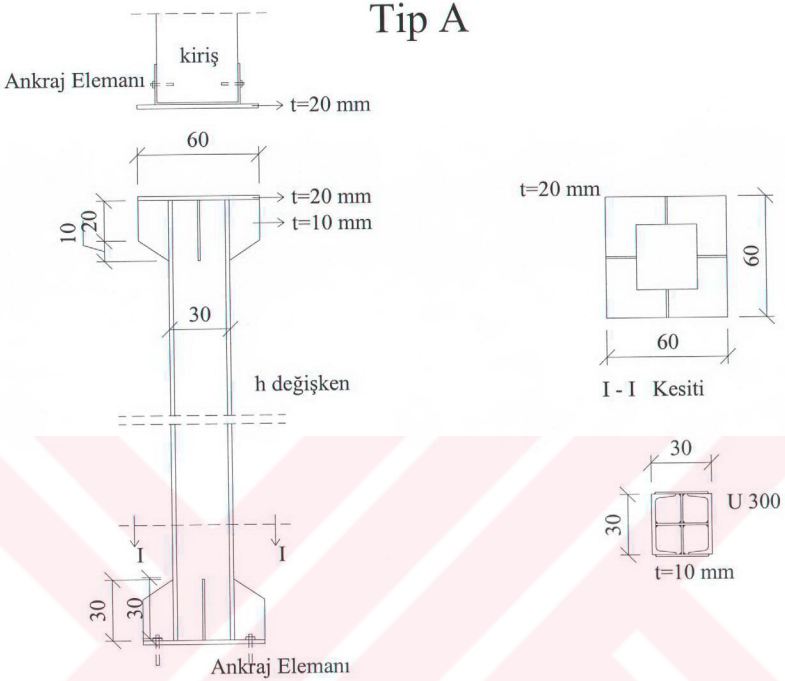


Şekil 5.3 Mikser kısmı 2. kat destek yerleşim planı

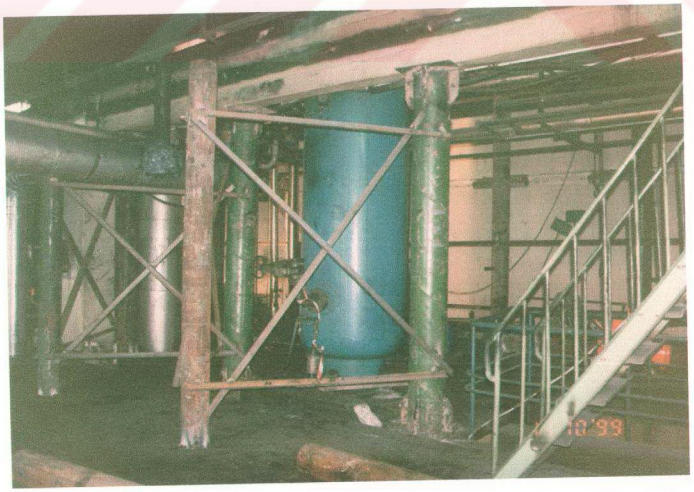
- Krikoların olduğu kiriş yüzeyine 2 cm kalınlıkta levha epoksi ile yapıştırılacak daha sonra detaya uygun olarak hazırlanmış kriko taşıyıcı elemanı yerleştirilecektir. Plaka ile destek elemanı arası 100 tonluk krikolar için 29 cm, 50 tonluk krikolar için ise 26 cm olacak şekilde ayarlanacaktır.



Resim 5.17 Kriko desteklerin montajı

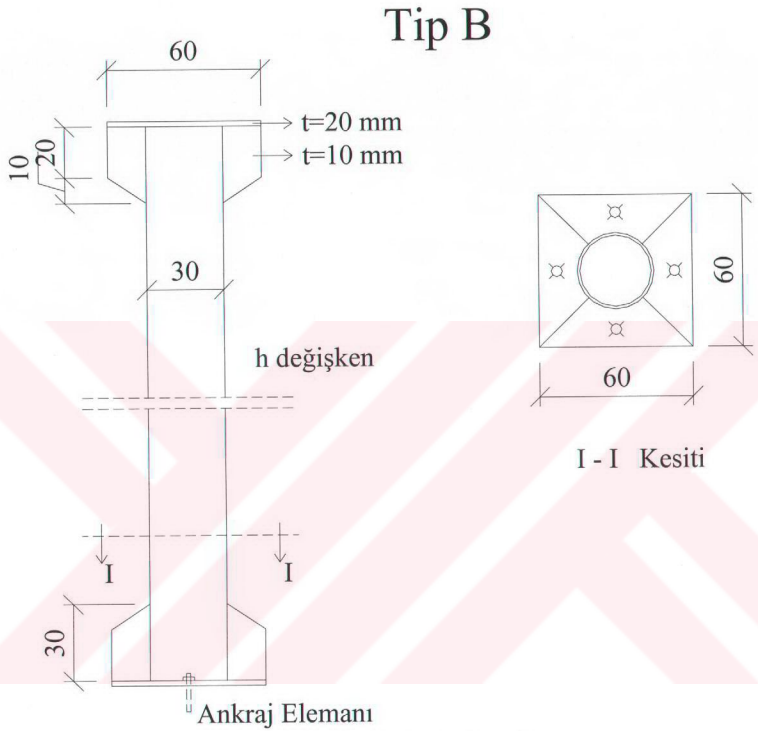


Şekil 5.4 Hidrolik kriko destek elemanları



Resim 5.18 Destek ve Denge elemanları

- Bu desteklerin hemen yanına krikolar alındığı zaman oluşan yükleri taşıyacak destekler yapılacaktır.



Şekil 5.5 Kiriş destek elemanları

- Taşıyıcı olmayan elemanların amacı (Tip C) destek sistemi arasındaki dengeyi sağlamak, olası bir deprem veya hidrolik krikolarda bozulma halinde halinde taşıyıcı desteklerin devrilmesini önlemek, yatay stabiliteyi sağlamaktır. Taşıyıcı destekler yatay ve diyagonal elemanlarla bağlanacaktır.
- Yatay ve düşey denge sağlanmadan kaldırma işlemine başlanmayacaktır.
- Tüm desteklerin sağlamlığı kontrol edildikten ve emniyet tedbirleri alındıktan sonra kaldırma işlemine geçilecektir.

Kaldırma işlemi

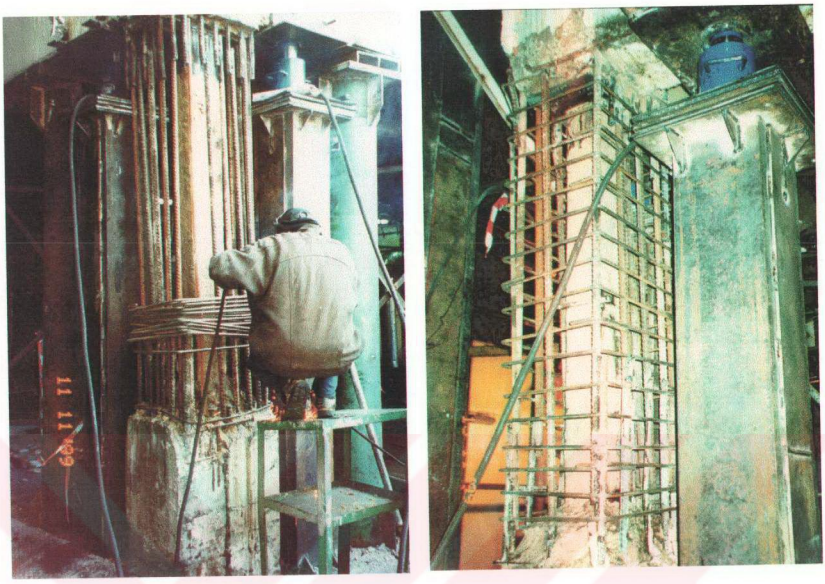
- Kaldırma işlemi suresince desteklerin üzerinde oluşacak boşluklar kontrol edilecek ve her 1 cm lik işlem sonrası önceden hazırlanan muhtelif kalınlıklardaki parçalar destek elemanları üzerine yerleştirilecek ve alttaki levhaya kaynaklanacaktır. Dolayısıyla herhangi bir arıza veya deprem anında hidrolik krikolar üstündeki yapının oturması maksimum 1 cm olacaktır.
- Krikoların pistonları 10 cm den fazla kaldırılmayacaktır. 10 cm seviyesine gelindiğinde, desteklerde oluşan boşluklar tekrar beslenecek ve krikolar alınacak, önceden hazırlanmış dolgu parçaları yerleştirilecek ve kriko yerine tekrar konularak kaldırma işleme devam edilecektir.
- İşlem kontrolörler tarafından izlenecek, kontrolün onayı alınana kadar veya 3. kat döşemesi eski konumuna gelene kadar devam edecektir.
- İşlemin tamamlanmasının hemen sonra İzo-PST® Proses Sistemi onarım ve güçlendirme çalışmalarına başlanacaktır.

Onarım ve Güçlendirme Çalışmaları

- İşin aciliyeti ve artçı depremlerin devam etmesi sebebiyle kesitin eski geometrisine getirilmesi işlemlerinde çabuk priz alan ve elastisite modülü betonunkine yakın olan İzomet-ERM® (epoksi tamir harcı) kullanılacaktır. Eski kolon donatıları epoksi tamir harcına kalıp görevi görmesi için tekrar monte edilecektir.



Resim 5.19 Kesilen kolon donatılarının tekrar montajı



Resim 5.20 Kesilen kolon donatılarının tekrar montajı

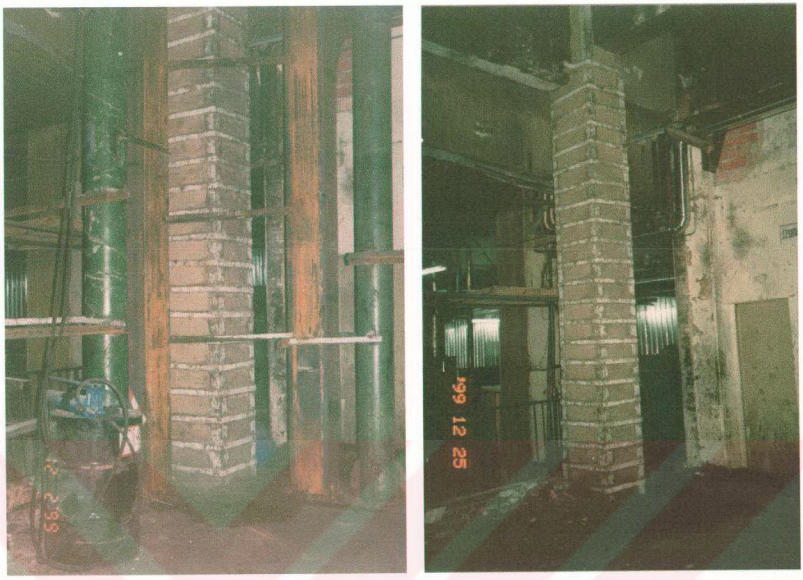


Resim 5.21 Epoksi Tamir harcı ile tabaka tabaka sıkıştırarak kolonun eski geometrisine getirilmesi

- Epoksi tamir harcı ile kesit tabaka tabaka sıkıştırılarak doldurulacak, en üst noktada (kirişle birleştiği) ise epoksi enjeksiyon yapılacaktır.
- Yapılan statik hesaplar sonucu ilave edilecek olan İzo-PST® donatıları yine projeye göre hazırlanacak ve birinci katta yapılan güçlendirmeye döşemede açılan delikler vasıtasıyla bağlanacaktır. İşlemler esnasında kaynak kullanılmasının gerektiği hallerde ilgili bölge alttan ve üstten min. 20 cm boş bırakılacak, epoksi ile yapıştırılmayacaktır. Bu bölgenin yapıştırma işi kaynak tammlandıktan ve çelik profil soğuduktan sonra yapılacaktır.



Resim 5.22 İzo-PST® donatılarının yerine montajı



Resim 5.23 Desteklerin alınmasından önceki ve sonraki hal

- Güçlendirmenin tamamlanmasından itibaren 15 gün sonra yapılan bütün destekler alınacaktır.



Resim 5.24 Desteklerin alınmasından sonraki durum

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Epoksi İle Donatı Ekleyerek Kolonların Güçlendirilmesi Deneyi

6.1.1. Deneysel program

Hasarlı elemanların onarım ve güçlendirme metodlarından biri olan epoksi ile çelik eleman ilave etme yöntemi onarım ve güçlendirme çalışmalarında günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik eleman yapıştırılarak yapılan güçlendirmenin elemanın davranış ve dayanımına etkisi çeşitli çalışmalarla incelenmiştir. Çalışmalar genelde kirişlerin eğilme taşıma kapasitesinin arttırılmasına yönelik yapılmış olup, kolonlar ile ilgili literatürde fazla çalışmaya rastlanılmamıştır.

Deney programında kolonların eksenel yük etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada epoksi yapıştırıcılar ile dışarıdan çelik eleman eklenmesi konusu incelenmiştir. Bu amaçla donatı ve beton kalitesi yönünden özdeş kolonlar hazırlanmıştır. Deneylerde elde edilen sonuçların grafik ve çizelgeleri hazırlanmış ve yapılan onarım ve güçlendirme işleminin kolonlara katkısı değerlendirilmiştir.

Bu yöntem erken yüklenebilme (ortam sıcaklığına –20°C– göre 7 günden sonra tam olarak yüklenebilir), düğüm noktası ve takviyenin katlar arası sürekliliği zor detayların kolay çözümlenebilmesi, elemanların kesitini değiştirmediği için rijitliğini arttırmaması dolayısı ile deprem yönetmeliğinin istemiş olduğu sünek davranışı gösterebilmesi, yapı mimarisinde herhangi bir değişime sebep olmaması (yapılan ilaveler sıva payı içinde kalır) ve uygulamasındaki sürat gibi özelliklere sahiptir.

Deneysel programda aşağıdaki maddelerin incelenmesi amaçlanmıştır;

a) üretilen kolonların kırılıp genel davranışının incelenmesi,

b) kırılan kolonların onarılmasından sonra çelik elemanlar yapıştırılarak güçlendirilmesi, dayanımının ve davranışının incelenmesi,

c) üretilen kolonların yükleme yapılmadan, ikinci serideki gibi güçlendirilmesi, dayanım ve davranışının incelenmesi.

Bu amaçla dört seri kolon üretilmiştir;

İlk seri kolonlarda hasar meydana gelene kadar yükleme yapılmış, daha sonra hasarlı bölgelerde epoksi tamir harçları ve epoksi enjeksiyon ile gerekli onarımlar yapılmış ve hasarlı bölgeyi kapsayacak şekilde çelik elemanlarla güçlendirilip tekrar yüklenmiştir.

İkinci seri kolonlarına, birinci seri kolonlarındaki güçlendirme detayı uygulanmış ve birinci serideki onarım ve güçlendirmenin başarı oranına bakılmıştır.

Üçüncü seri kolonlarda dört kenara epoksi ile korniyer yapıştırılmış ve yüklenmiştir.

Dördüncü seride ise korniyer ilavesi ile beraber kolonlar lamalar ile sarılıp yüklenerek, çıkan sonuçların üçüncü seri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Kolonlar tek seferde üretilmiş ve üç adet 15/30 silindir numune alınmış ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Beton kalitesi ve donatı dizaynında elemanların hem mevcut yapıları temsil edebilmesi hem de kolay kırılabilmesi için (deney düzeneği maksimum 150 t'luk düşey yük kapasitesine sahip) düşük kalite seçilmiştir.

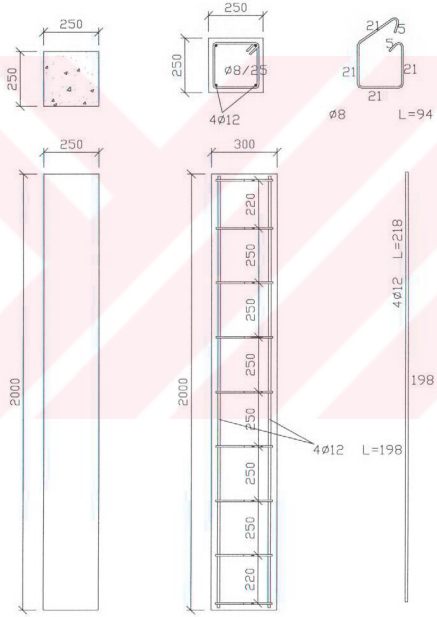
6.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Numunelerde; BS14 niteliğinde hazır beton, BÇ-I donatı, St 37 güçlendirme elemanları (lama ve korniyer), güçlendirme işlerinde ise SHELL CHEMICALS mamulü ve İZOMAS A.Ş. tarafından modifiye edilmiş özel tamir harçları ve adezivler kullanılmıştır.

6.2.1. Beton özellikleri

Deney elemanlarının beton dayanımlarında farklılığın olmaması için tüm deney elemanları eş zamanlı dökülmüşlerdir.
28 günlük basınç dayanımı 14 N/mm² olan beton elde etmek için karışımın W=su/çimento oranı %90, akışkanlaştırıcı oranı ~‰ 6 olacak şekilde hazırlanmış ve teorik birim ağırlık 2337 kg olarak hesaplanmıştır. Karışımdaki malzemelerin ağırlıkları aşağıdaki gibidir;

Çimento (PÇ 32.5)	226 kg
Su	203 kg
Akışkanlaştırıcı	1,355 kg
Doğal Kum	639 kg
Kırma Kum	305 kg
#1 Mıcır	480 kg
#2 Mıcır	482 kg



Şekil 6.1 Deney numunesi detayı

Kolon üretiminde kullanılan betondan üç adet 15x30 silindir numune alınmıştır. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp kirece doygun suda, laboratuar ortamında bekletilmiştir. 28 gün sonra sudan çıkarılan numuneler basınç dayanımının bulunması için test edilmiştir. Testlerin sonucunda 17.98 MPa, 14.17 MPa, 16.73 MPa' lık dayanımlar elde edilmiş ve bunların ortalaması alınmış ve $f_c = 16.28$ MPa olarak hesaplanmıştır.

6.2.2. Çelik özellikleri

Deney elemanlarında kullanılan boyuna ve enine donatılar BÇ-I olarak seçilmiştir. Kolonlarda boyuna donatı olarak her köşede bir adet olmak üzere 4ϕ12, sargı donatısı olarakta ϕ8/20 etriye kullanılmıştır.

6.2.3. Epoxy tamir harcı ve yapıştırıcılar

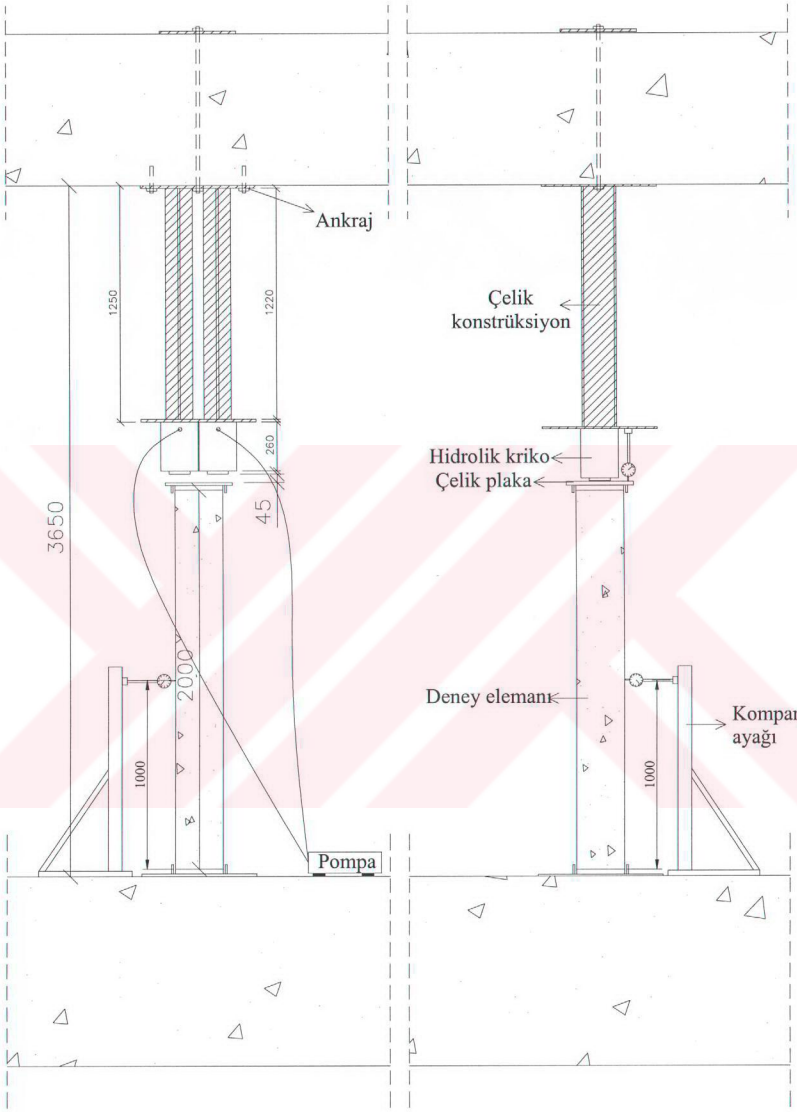
Kullanılan Epoksi tamir harçları ve yapıştırıcılar **İZOMAS** firmasının **İZOMET** markalı mamulleri olup, epoksi reçine olarak Hisphenol A ve Epichlorohydrin'den üretilmiş orta viskoziteli **EPIKOTE® 828,** sertleştirici olarak da düşük viskoziteli Modifiye Cycloaliphatic Amin **EPIKURE® F201** ve kurutulup elenmiş, granülometrisi ayarlanmış kuvars kumundan oluşan üç bileşenli malzemedir. Kullanılan epoksi yüksek mekanik ve kimyasal dirence sahip olup onarım ve güçlendirme işleri için özel modifiye edilmiştir.

6.3. Deney Düzeni

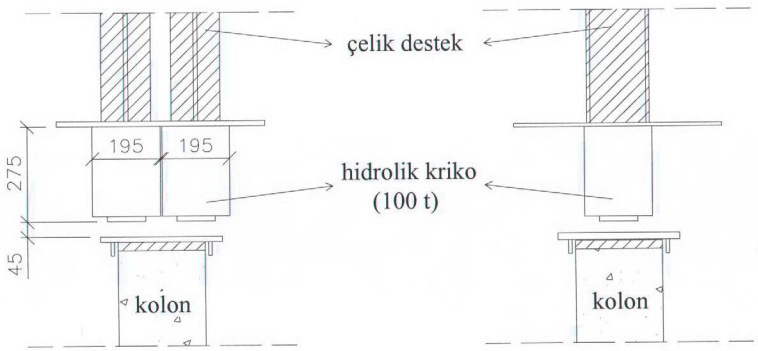
6.3.1. Deney platformu

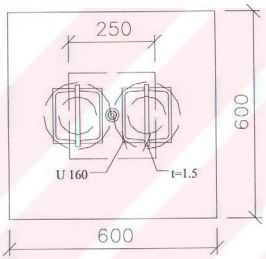
Kolonların yük taşıma kapasitesinden dolayı mevcut düzeneklerden faydalanılamamış, deney yapı laboratuarının alt katında hazırlanan özel düzenek yardımıyla yapılmıştır. Çerçeve deneylerine uygun olarak dizayn edilmiş bu katta 1.25 m aralıkla 150 tona kadar yükleme yapılabilmektedir.

Hazırlanan sistem 200 ton basınç uygulayabilme kapasitesine sahiptir. düzenekte iki adet 100 tonluk kriko yan yana kullanılmıştır. Kat yüksekliği 3.65 m ve kolonlarda 2.00 m olduğundan kalan boşluk için kriko eksenlerine denk gelecek ve yükü taşıyacak çelik konstrüksiyon yapılmıştır.



Şekil 6.2 Deney düzeneği





Şekil 6.3 Deney düzeneği detayı

6.3.2. Yükleme düzeni

Deneysel araştırmamızın tamamı laboratuarda bilgisayar destekli yükleme ve veri okuma sistemi olmadığı için manuel olarak yapılmıştır.

Yükleme, tavana asılı çelik konstrüksiyona monte edilmiş iki adet 100'er tonluk hidrolik kriko yardımıyla, kolonda eksantriklik yaratmayacak, dolayısıyla ilave momentler oluşturmayacak şekilde yapılmıştır. Şekil 6.3 de kolon kesiti ve kriko baskı alanı gözükmektedir. Yükleme, hidrolik kriko kolu üzerindeki 600 bar (212,100 ton)kapasiteli ve 20 bar (7,070 ton) aralıklarla okuma yapabilen gliserinli manuel manometre ile kontrol edilmiş ve 20 barlık artımlarla yapılmasına özen gösterilmiştir. Deneylerde bütün eksenel deformasyonlar (x, y, ve z düzlemlerindeki yer değiştirmeler) her 20 barlık artımdan eleman orta noktasına ve üst ucuna yerleştirilen (Şekil 6.2.) 0.01 mm hassasiyetli komparatörler ile okunmuş ve yük – deplasman ilişkisine incelenmiştir.

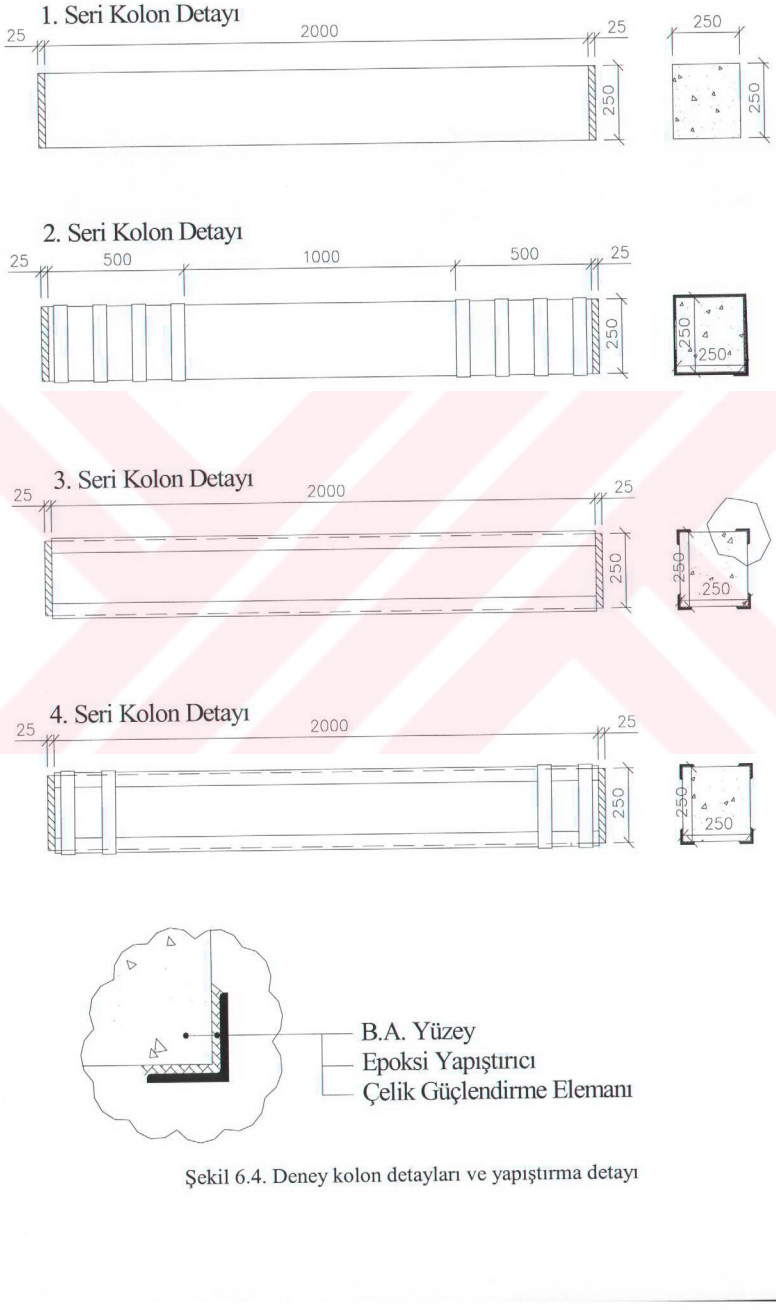


Resim 6.1 Deney düzeneği genel görünüm



Resim 6.2 Hidrolik krikolar ve yükün uygulandığı kriko kolu

6.4. Kolon Deneyleri



Şekil 6.4. Deney kolon detayları ve yapıştırma detayı

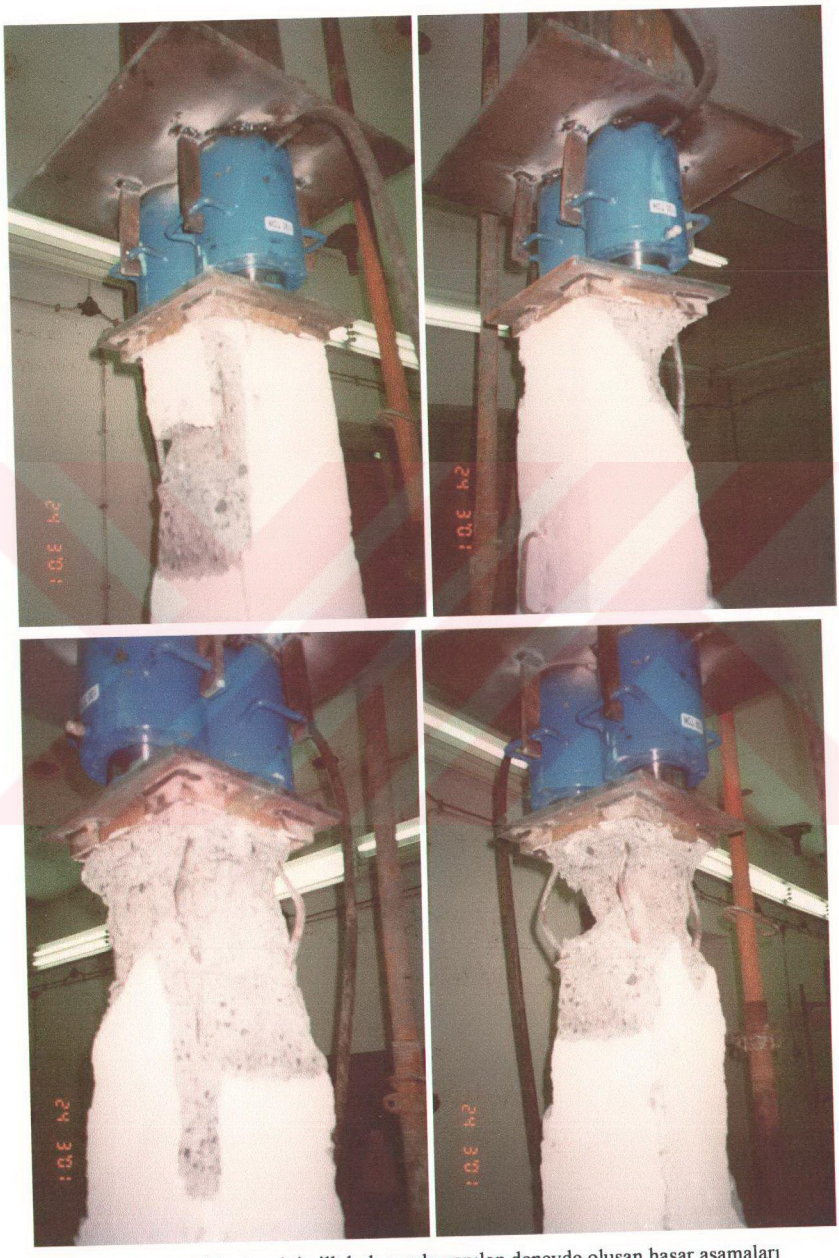
6.4.1. 1. seri kolon deneyleri

İlk seri deneyinde kullanılan kolonlar maksimum yük ile hasar meydana gelene kadar yüklenmiştir. Resim 6.3 de yükleme öncesi ve sonraki deney elemanı gözükmektedir. Eşdeğer üç kolonda yapılan yükleme sonrası oluşan hasarlar, üç durumda da sadece bir uçta meydana gelmiş olup, diğer uçta herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Bu hasarlar Resim 6.4 de S1-1 kolonunun üst ucunda, Resim 6.5 de S1-2 kolonunun alt ucunda ve Resim 6.6 da S1-3 kolonunun üst ucunda görüldüğü gibi meydana gelmiştir. Hasarlar 40-50 cm lik bir bölgede meydana gelmiştir. Deney elemanlarında ilk gözlenen iki etriye arasındaki donatının burkulmasından dolayı köşe noktasında, donatıya paralel oluşan çatlaktır. Daha sonra diğer köşelerde de donatıya paralel çatlaklar oluşmuş ve paspayı atmıştır. Maksimum yüke ulaşıldığında, beton basınç ezilmesine uğramış, donatılar burkulmuştur.

Daha sonra hasarlı bölgelerde epoksi tamir harçları ve epoksi enjeksiyon ile gerekli onarımlar yapılacak ve hasarlı bölgeyi kapsayacak şekilde çelik elemanlarla güçlendirilip tekrar yüklenecektir. Güçlendirme detayı 2. seri kolonlarında olduğu gibi yapılacaktır.



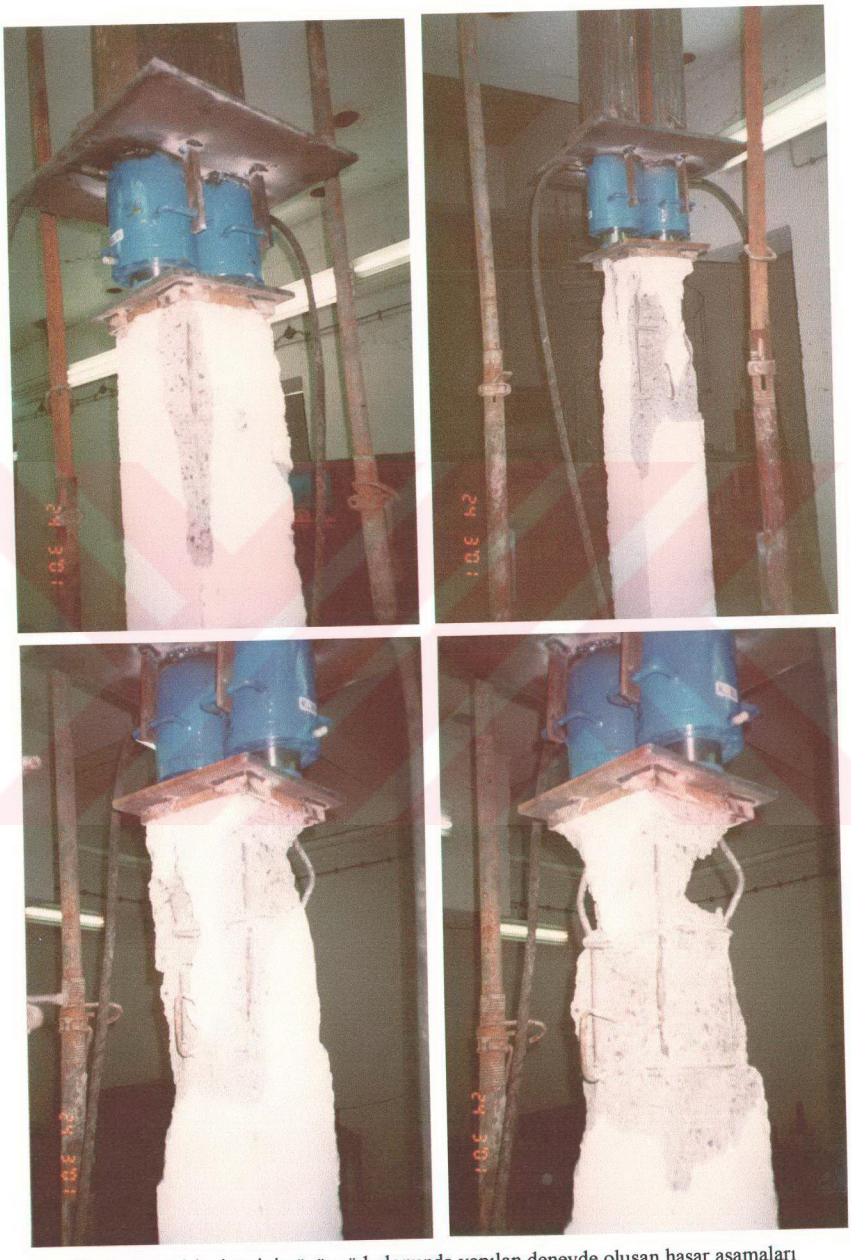
Resim 6.3. a) Yüklenmeden önce b) Maksimum yükleme sonrası



Resim 6.4 Birinci serinin ilk kolonunda yapılan deneyde oluşan hasar aşamaları



Resim 6.5 Birinci serinin ikinci kolonunda yapılan deneyde oluşan hasar aşamaları

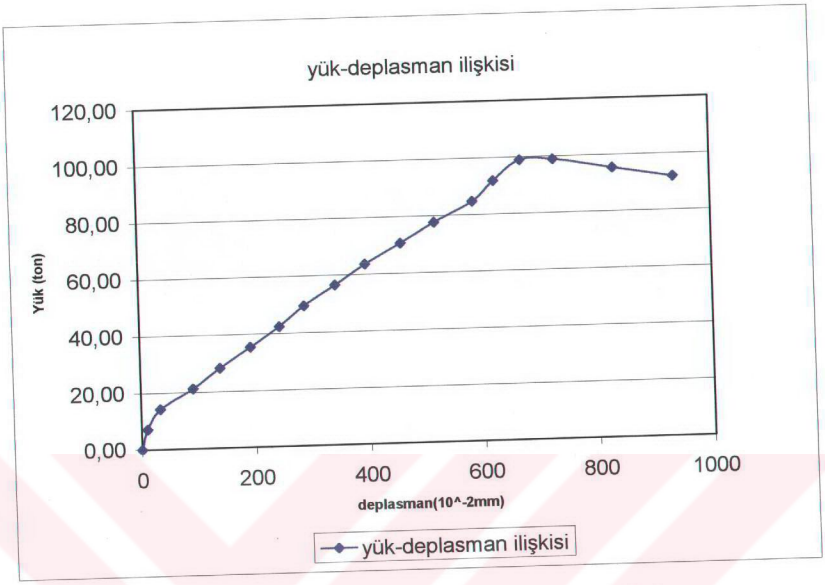


Resim 6.6 Birinci serinin üçüncü kolonunda yapılan deneyde oluşan hasar aşamaları

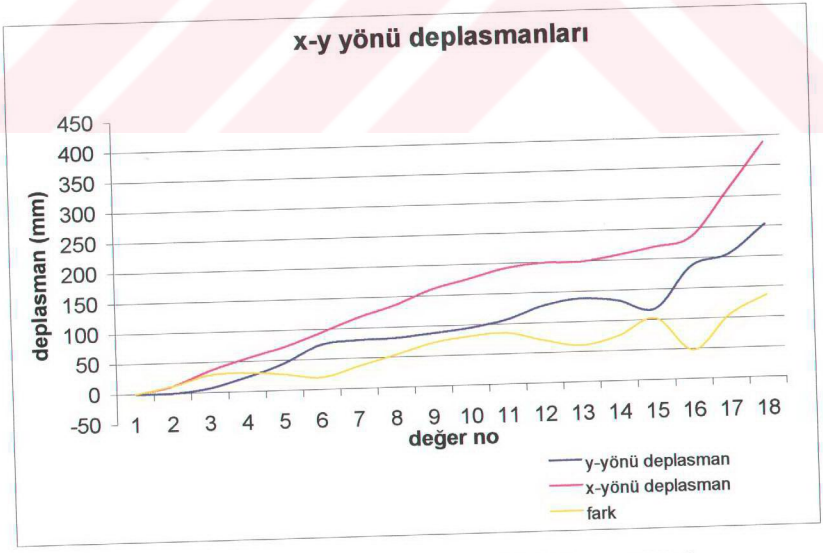
Çizelge 6.1 Birinci seri kolonları ortalama deplasman sonuçları

Kolon No :S1-kolonları **S.N. : 1**

Yük-deplasman ilişkisi					
S.N.	**YÜK (bar)**	**YÜK (ton)**	**Komparatör-1 x-yönü (x 0,01)**	**Komparatör-2 y-yönü (x 0,01)**	**Komparatör-3 z-yönü (x 0,01)**
1	0	0,00	0	0	0
2	20	7,07	0	12	10
3	40	14,13	7	36	33
4	60	21,20	24	55	91
5	80	28,26	45	72	139
6	100	35,33	74	94	193
7	120	42,39	80	117	244
8	140	49,46	82	136	288
9	160	56,52	88	160	343
10	180	63,59	95	176	396
11	200	70,65	107	192	459
12	220	77,72	128	199	518
13	240	84,78	138	199	586
14	260	91,85	133	208	623
15	280	98,91	118	220	670
16	280	98,91	187	235	728
17	270	95,38	205	310	832
18	260	91,85	253	389	936



Şekil 6.5 Birinci seri kolonları Yük – Deplasman eğrileri

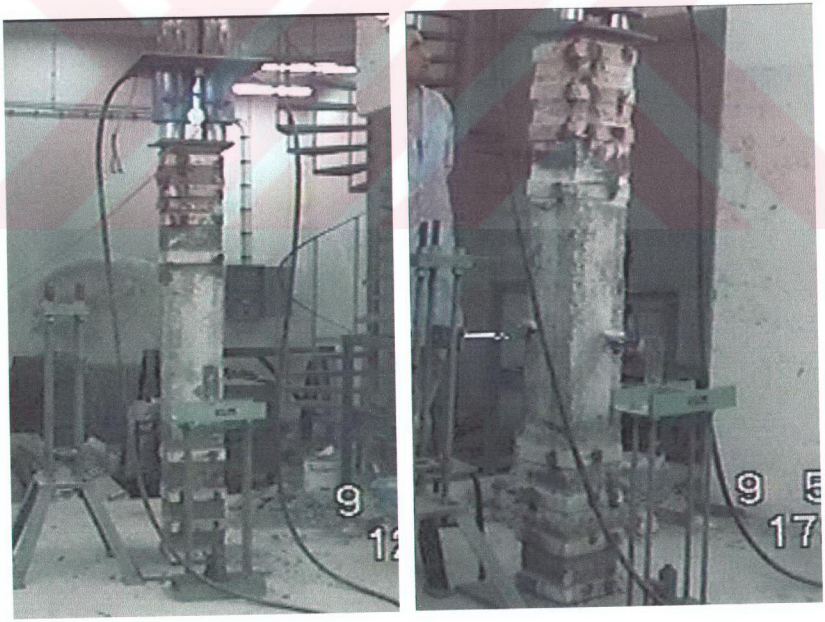


Şekil 6.6 Birinci seri kolonları x – y eksenleri deplasman eğrileri

6.4.2. 2. seri kolon deneyleri

İkinci seri kolonlarında yapılan deneylere referans olarak birinci seri kolonlarının davranışı baz alınmıştır. İlk seri kolonlarında hasar 40-50 cm lik (altta veya üstte) bir bölgede meydana gelmişti. Bu bölgede etriyeler arası donatı burkulmuş ve pas payı atmıştı. Bunu engellemek için hasara uğrayan 50 cm lik bölgenin (burkulma boyunu kısaltmak ve çembersel kuvvetler sayesinde basınç taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla) güçlendirilmesi uygun görülmüştür. Güçlendirme bölgesi, alttan ve üstten 10 cm aralıkla dört adet 50.5 mm lik lamalar kullanılarak sarılmıştır. Lamalar özel epoksi yapıştırıcılar ile kolona yapıştırılmıştır. Resim 6.7 de ikinci seri deney elemanlarının yükleme öncesi halleri verilmiştir.

Yükleme esnasında güçlendirilmiş kolon iç donatılarında burkulma gözlenmemiştir. İki lama arası beton basınç ezilmesine uğramıştır. Kare formunda olan güçlendirme elemanları, maksimum yüke yaklaşıldıkça dairesel form almıştır. Bu hasarlar Resim 6.8 ve Resim 6.15 arasında görülebilir.



Resim 6.7 İkinci seri kolon deneyleri



Resim 6.8 İkinci seri kolon yükleme başlangıcı



Resim 6.9 İkinci seri kolon yükleme başlangıcı



Resim 6.10 İkinci seri kolonda hasar başlangıcı



Resim 6.11 İkinci seri kolonda hasar başlangıcı



Resim 6.12 İkinci seri kolonda oluşan hasar



Resim 6.13 İkinci seri kolonda oluşan hasar



Resim 6.14 İkinci seri kolonda oluşan hasar

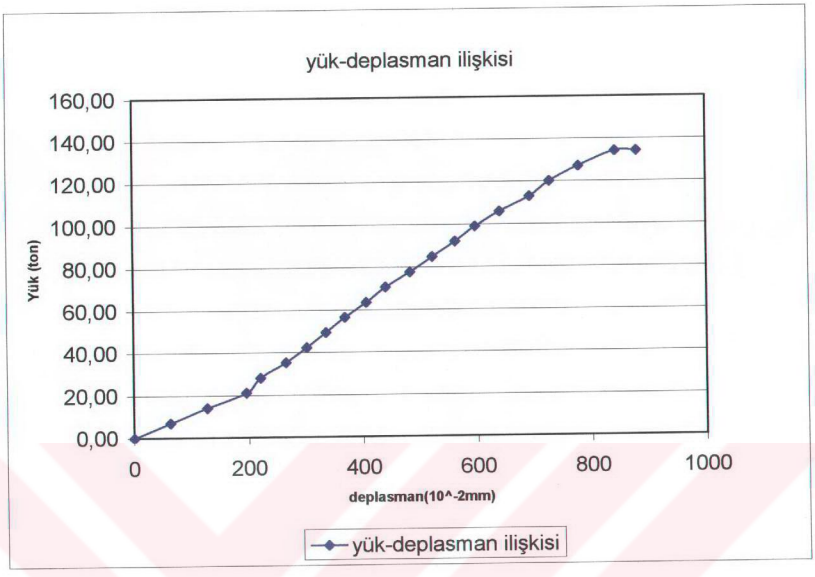


Resim 6.15 İkinci seri kolonda oluşan hasar

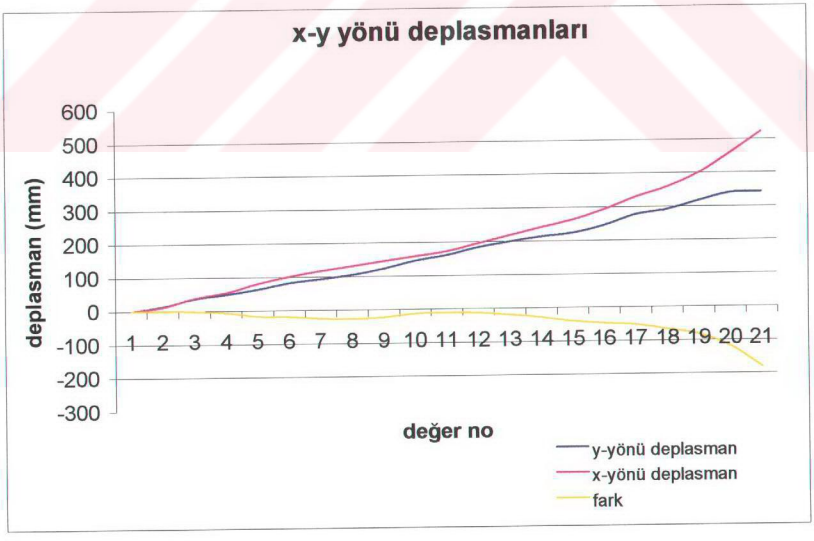
Çizelge 6.2 İkinci seri kolonları ortalama deplasman sonuçları

Kolon No :S2-kolonları **S.N. : 1**

Yük-deplasman ilişkisi					
S.N.	**YÜK (bar)**	**YÜK (ton)**	**Komparatör-1 x-yönü (x 0,01)**	**Komparatör-2 y-yönü (x 0,01)**	**Komparatör-3 z-yönü (x 0,01)**
1	0	0,00	0	0	0
2	20	7,07	13	14	63
3	40	14,13	38	37	127
4	60	21,20	55	49	195
5	80	28,26	81	64	220
6	100	35,33	101	82	265
7	120	42,39	118	93	301
8	140	49,46	132	105	335
9	160	56,52	146	123	368
10	180	63,59	159	146	406
11	200	70,65	173	162	440
12	220	77,72	196	184	483
13	240	84,78	219	200	522
14	260	91,85	242	214	562
15	280	98,91	264	224	597
16	300	105,98	293	246	640
17	320	113,04	329	277	692
18	340	120,11	359	292	727
19	360	127,17	400	317	778
20	380	134,24	459	340	842
21	380	134,24	522	342	880



Şekil 6.7 İkinci seri kolonları Yük – Deplasman eğrileri



Şekil 6.8 İkinci seri kolonları x – y eksenleri deplasman eğrileri

6.4.3. 3. seri kolon deneyleri

Üçüncü seri deneylerinde kolonların dört kenarına özel epoksi yapıştırıcılar ile korniyer yapıştırılmıştır. Resim 6.16 da yükleme öncesi ve sonrası deney elemanı gözükmektedir. Eşdeğer üç kolonda yapılan yükleme sonrası benzer hasarlar oluşmuştur. Tüm kolonlarda hasar epoksi ile yapıştırılan korniyerin paspayını sökerek meydana gelmiştir. Deney sonucunda kolonun taşıma kapasitesinde artış gözlenmiştir.

Çelik korniyer ilavesi yapılacak yüzeyler uygulama öncesi her türlü kir ve tozdan arındırılmıştır. Yüzey hazırlığı bittikten sonra kolon üzerinde takviye elemanlarının geleceği yüzeyler ve korniyerler özel epoksiler ile astarlanmıştır. Bu işlem Resim 6.16 da gösterilmiştir. Uygulanan astarın amacı; yüzeydeki tozu yatırmak ve epoksi yapıştırıcı ile olan aderansı arttırmaktır. Korniyerde astar uygulanan yüzeylere özel nitelikli (solventsiz, yangın geciktirici ve kendinden söndürücü) epoksi yapıştırıcılar kullanılır. Korniyerlerin kolona montajında epoksi donuncaya kadar gerekli olan (yaklaşık 24 saat) baskıyı sağlayacak işkenceler kullanılmıştır. İşkenceler 24 saat sonra açılmıştır. Yükleme ise minimum 7 gün sonra yapılabilir.



Resim 6.16 Çelik korniyer ilavesi öncesi kolona epoksi astar uygulaması

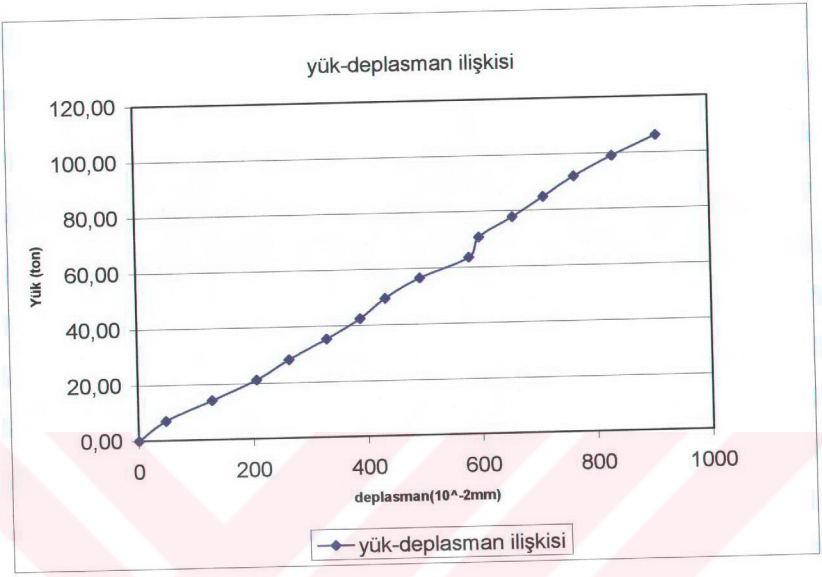


Resim 6.17 Üçüncü seri kolonlarındaki hasar aşamaları

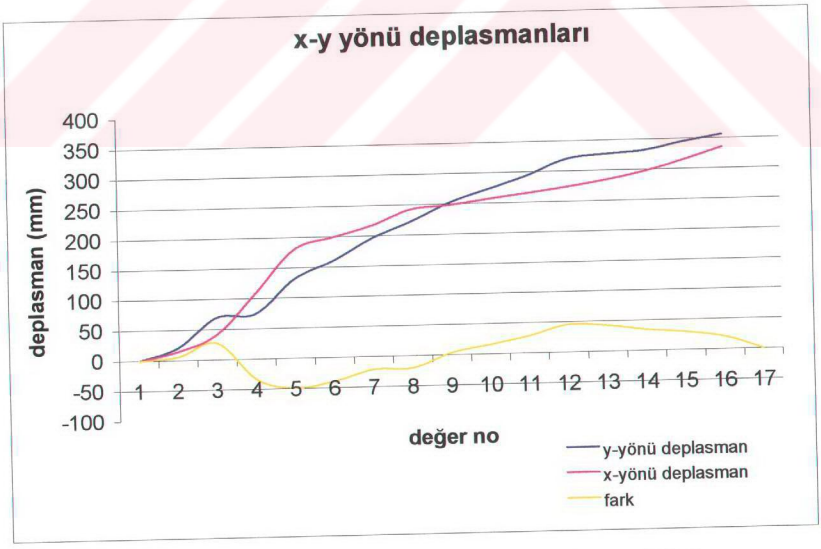
Çizelge 6.3 Üçüncü seri kolonları ortalama deplasman sonuçları

Kolon No **:S3-kolonları** **S.N. : 3**

Yük-deplasman ilişkisi					
S.N.	**YÜK (bar)**	**YÜK (ton)**	**Komparatör-1 x-yönü (x 0,01)**	**Komparatör-2 y-yönü (x 0,01)**	**Komparatör-3 z-yönü (x 0,01)**
1	0	0,00	0	0	0
2	20	7,07	15	21	47,5
3	40	14,13	42	70	128,5
4	60	21,20	109	75	206,5
5	80	28,26	180	131	263,5
6	100	35,33	199	160	330
7	120	42,39	217	196	388,5
8	140	49,46	242	222	432,5
9	160	56,52	248	252	494
10	180	63,59	257	273	580
11	200	70,65	265	294	598,5
12	220	77,72	274	320	657
13	240	84,78	284	327	711,5
14	260	91,85	297	332	765,5
15	280	98,91	315	345	832
16	300	105,98	335	356	909



Şekil 6.9 Üçüncü seri kolonları Yük – Deplasman eğrileri



Şekil 6.10 Üçüncü seri kolonları x – y eksenleri deplasman eğrileri

6.5. Deneyin Sonuçları

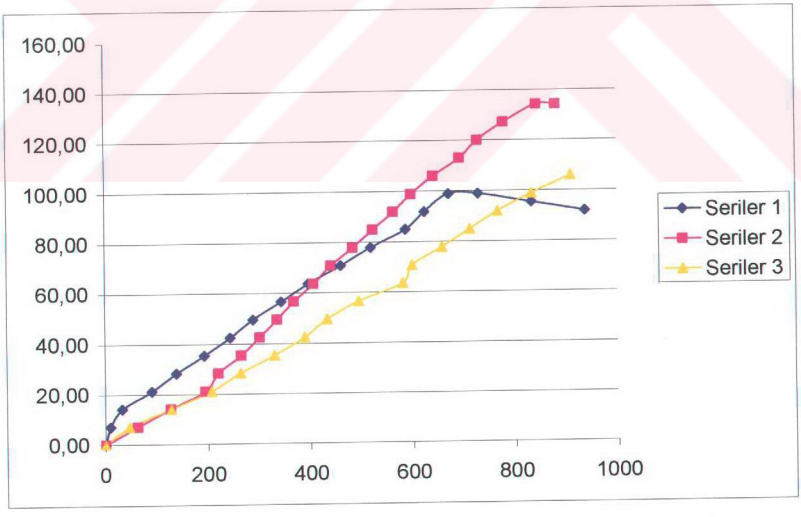
6.5.1. Yükleme

Her 20 bar (7,070 ton) yük artışından sonra x, y ve z yönündeki deplasmanlar okunmuş ve kaydedilmiştir.

6.5.2. Yük – deplasman ilişkisi

Deney elemanlarının yükleme programı çerçevesinde elde edilen (komparatörlerle yapılan gözle okuma sonucu) veriler kullanılarak yük – deplasman ilişkileri her numune için ayrı ayrı hazırlanmıştır (Çizelge 6.1 – 6.3. ve Şekil 6.5 – 6.10.).

Veriler kullanılarak iki tip ilişki incelenmiştir. 3 numaralı komparatörden elde edilen verilerden yük – deplasman eğrisi hazırlanmıştır (Şekil 6.11.). Aralarında mukayese yapabilmek için üç eğri aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Tüm seri kolonları benzer lineer davranışı göstermiştir.



Şekil 6.11 Tüm serilere ait verilerin kıyaslamalı yük – deplasman ilişkisi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Deneylerde referans, güçlendirilmiş ve dört kenarına epoksi ile çelik korniyer yapıştırılmış kolonlar kullanılmış ve elde edilen veriler ışığında eksenel yük altındaki davranış ve dayanımları test edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada eksenel kuvvet etkisindeki kolonların incelenmesi amaçlanmış, buna rağmen laboratuar koşullarında eksenel yükün elemanların geometrik merkezine uygulanmasında pek fazla başarılı olunamamıştır. Bilindiği gibi bu tür çalışmaların en büyük zorluklarından biri eleman enkesitinde eşit birim deformasyon (komparatör 1 ve 2 değerleri) oluşturacak eksenel yükün uygulanmasında yaşanmıştır. Bu farklılıkların giderilmesi amacıyla, elemanlar deneyin başlangıcında, küçük yükler altında yüklenip boşaltılarak yükün elemanın geometrik merkezine etkimesi için uğraşılmıştır. Bu işlem komparatörlerden alınan okumalar arasındaki farklar azalıncaya kadar devam etmiş, farklılıkların tamamen ortadan kaldırılması sağlanamasa da aradaki fark minimuma çekilmeye çalışılmıştır.

Yapılmış olan sınırlı sayıda deneyden elde edilen veriler ve gözlemlerden elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Elde edilen verilerin ışığında eksenel yüke maruz kolonlara, yüksüz koşullarda uygulanan lamalar ile yapılan güçlendirme tekniği sonucu (2. seri kolon deneyleri) tüm elemanlar güçlendirme öncesi ulaştıkları maksimum yükü aşmıştır.
- 2. seri kolonlarında yapılan güçlendirme çalışmaları betonda ilk çatlakların oluşumunu geciktirmiş, dolayısıyla ilk çatlak oluşması için gerekli olan yük artmıştır.
- İkinci seri kolonlarında uygulanan ve dayanım açısından etkili olduğu gözlenen bu sistem sayesinde, kare kesitli güçlendirilmiş kolonların dayanımı referans (birinci seri) kolon dayanımı ile kıyaslandığı % 36 kapasite artışı gözlenmiştir.
- Dayanım değerleri için az sayıda kolon üzerinde yapılan deneylerle güçlendirilmiş kolonların esas kesitten daha güçlü olduğu sonucuna varılmıştır. Buna rağmen kolonlardaki kesit artışı minimum düzeyde olmuştur.
- Güçlendirme işlemi kısa sürede bitirilmekte ve yapışma 24 saat gibi kısa bir sürede tamamlanmakta ve deney elemanları 7 gün içinde yüklenebilir hale gelmektedir.

7.2. Öneriler

Deney elemanlarına yapılan işlemler sırasında ortaya çıkan sonuçlar ve kolonların deney aşamasında sergiledikleri davranışlarda gözlenen bazı önemli noktalara uygulama açısından bakıldığında aşağıdaki öneriler yapılabilir.

- Eksenel yük etkisi altındaki betonarme kolonların alt ve üst bölgelerde yapılan lama sarma ile güçlendirilmesi uygulama açısından pratik ve faydalı gözükmektedir.
- Onarım ve güçlendirme yapılırken elemanlarımızın istenilen dayanım ve davranışı sergileyebilmesi için işçiliğin çok iyi olması gerekmektedir. Bu sebepten uygulamayı yapacak ekibin deneyimli elemanlardan oluşması zorunludur.
- Deneylerde kullanılan onarım ve güçlendirme malzemelerinin özellikleri değiştirilerek bu durumun sonuca etkisi gözlenebilir.
- Beton basınç dayanımı düşük seçilmiş olmasına rağmen çalışılan yükler çok büyük olduğu için deneyde hassasiyet yitirilmiş (7.070 ton aralıkla yükleme yapılması) bu da alınan verilerin sağlıklılığını etkilemiştir. Okumaların gözle yapılması da hassasiyeti etkilemiştir.
- Deney elemanlarının malzeme özellikleri her ne kadar düşük seçilse de eleman boyutları ve eksenel yükleme yapılması sebebiyle yüksek yüklerle çalışma zorunluluğu ortaya çıkarmıştır. Deney düzeneği her ne kadar 200 tonluk yükleme kapasitesine sahip olsa da, düzeneğin kurulduğu ortam maksimum 150 tona kadar yüklenebilmesi sınırlayıcı bir etken olmuştur. Kolon deneyleri üzerinde çalışılırken daha küçük boyutlarla modelleme yapılması daha uygun olacaktır.
- Deneyde kullanılan kolonlarda mevcut yapılardaki kolonlara uygunluk göstermesi açısından düşük beton kalitesi (28 günlük 16,28 N/mm²) ve minimum donatı çeliği seçilmiş ve sıklaştırma uygulanmamıştı. Bu durum kırılmanın orta bölgeye taşınmadan sadece uçlarda meydana gelmesine sebep olmuştur. Kırılmanın kontrol altında tutulması için imalat aşamasında üst ve alt kısımların güçlü ve arada kalan kısmın bilinçli olarak zayıf bırakılması düşünülebilir. Bu sayede oluşan hasarın istediğimiz bölgede meydana gelmesi sağlanabilir. Bu durum hem verilerin değerlendirilmesinde hem de onarım ve güçlendirme işlerinde kolaylık sağlayacaktır.

- Ayrıca sınırlı sayıda deney elemanı üzerinde laboratuar koşullarında yürütülen bu çalışmanın değişik güçlendirme modelleri üzerinde denenmesi optimum güçlendirme sisteminin (dizayn) bulunmasında yardımcı olacaktır.

Bu sonuçlar ve öneriler laboratuar şartlarında, sınırlı sayıda deney elemanından elde edilen sınırlı sayıda veriye dayanmaktadır.

KAYNAKLAR

Demir, H. (1991) "Repair and Strengthening of Structures" Ders Notları, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Gülkan, P.(1992) "Türk Deprem Yönetmeliklerinin Tarihçesi" 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu, s. 21, Ankara

Gülkan, P.(1992)" Yapısal Hasarların Genel Değerlendirmesi" 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu, s. 21, Ankara

Gülkan, P. ve Yakut, A., (1995) "Uzman Sistem ve Sinirsel Şebekelerin Deprem Hasrının Belirlenmesinde Kullanılması"", Üçüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

İZOMAS, (1995) Korozyon Kontrol Mühendislik San. ve Tic. A.Ş. teknik dökümanları

Koçak, A. (2001) "Deprem Sonrası Bina Onarım ve Takviyeleri", MİMOD Makale.

Özturan, T. ve Çeçen, Ş., (1995) "Hasar Görmüş Betonarme Kirişlerin Mantolama Yöntemiyle Onarım ve Güçlendirilmesi", T.İ.M. XIII. Teknik Kongresi, Milli Kütüphane

Pul, S. ve Durmuş,A. (1995) "Karşılıklı ve Komşu İki Yüzünden Mantolama Tekniğiyle Güçlendirilen Hafif Betonarme Kolonların Merkezi Yük Altındaki Davranışları" T.İ.M. XIII. Teknik Kongresi, Milli Kütüphane

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	10.03.1977	
Doğum Yeri	Ordu	
Lise	1987-1994	Mustafa Kaya Anadolu Lisesi, Kastamonu
Lisans	1994-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisi
Yüksek Lisans	1998-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı Kurumlar

1998-2001	İZOMAS Şirketler Grubu

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ