

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPI HASARLARI VE HASARLARIN  
İYİLEŞTİRİLMESİ  
ÜZERİNE BİR İNCELEME**

**İnşaat Yük. Müh. Filiz SEVÜK**

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

**DOKTORA TEZİ**

**Tez Savunma Tarihi** : 30 Mayıs 2000  
**Tez Danışmanı** : Prof. İbrahim EKİZ  
**Jüri Üyeleri** : Prof. Dr. Kaya ÖZGEN  
: Prof. Dr. Tuncer ÇELİK

*İbrahim Ekiz*  
*Kaya ÖZGEN*

**İSTANBUL, 2000**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT .....	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 YAPI HASARLARI, NEDENLERİ ve ALINMASI GEREKLİ ÖNLEMLER.....	6
2.1 Yapı Hasarları.....	6
2.2 Yapı Hasarlarının Sınıflandırılması.....	8
2.3 Yapı Hasarlarının Nedenleri ve Alınması Gereken Önlemler.....	10
2.3.1 Yapım Aşamasında Meydana Gelen .....	12
2.3.2 Rötire .....	17
2.3.3 Termik Gerilmeler .....	18
2.3.3.1 Atmosferik Isı Değişimleri .....	18
2.3.3.2 Betonun İç Sıcaklığında Değişmeler .....	20
2.3.3.3 Yangın Etkisi.....	21
2.3.4 Betonun Su Emmesi.....	25
2.3.5 Donatının Paslanması .....	26
2.3.6 Kimyasal Reaksiyonlar .....	30
2.3.6.1 Betona Bozucu Etki Yapan Maddeler .....	31
2.3.6.2 Beton Bileşenleri Arasındaki Kimyasal Reaksiyonlar .....	41
2.3.6.3 Biyolojik Etkiler .....	46
2.3.7 Atmosferik Etkiler .....	48
2.3.8 Şok Dalgaları .....	50
2.3.9 Betonun Aşınması .....	50
2.3.9.1 Yüksek Hızlı Su Etkisiyle Hasarlar .....	49
2.3.9.2 Kaplamaların Aşınması .....	51
2.3.10 Hatalı Detaylar .....	52
2.3.11 Tasarım Hataları .....	59
2.3.12 Deprem .....	59

3	HASAR NEDENLERİNİN BELİRLENMESİ.....	76
3.1	Hasar Nedenlerinin Teşhis Yöntemleri.....	77
3.2	Deprem ve Yangın Hasarlarının Tesbiti.....	89
3.2.1	Deprem Hasarlarının Değerlendirilmesi.....	89
3.2.1	Yangın Hasarının Değerlendirilmesi.....	94
3.2.3	Korozyon Hasarının Değerlendirilmesi.....	99
3.3	Hasar ve Nedenlerinin Tesbitinde Kullanılan Testler.....	100
3.3.1	Hasar ve Nedenlerinin Tesbitinde Kullanılan Test Yöntemleri.....	100
3.3.2	Test yöntemlerinin Uygulanması.....	104
4	ONARIM ve GÜÇLENDİRME .....	109
4.1	Yapıların Onarım Malzemeleri .....	109
4.2	Onarım ve Güçlendirme İçin Hazırlıklar .....	113
4.2.1	Hasarlı Betonun Uzaklaştırma Teknikleri .....	114
4.2.2	Yüzey Hazırlama Yöntemleri .....	116
4.2.3	Donatılar için Yüzey Hazırlığı .....	119
4.3	Onarım ve Güçlendirme Uygulamaları .....	120
4.3.1	Çatlakların Onarımı .....	120
4.3.2	Parça Kopmaları ve Ayrışmaların Onarımı .....	129
4.3.3	Betonarme Taşıyıcı Sistem ve Elemanların Onarımı ve Güçlendirilmesi .....	137
4.3.3.1	Yerel Onarımlar.....	137
4.3.3.2	Mantolama .....	138
5	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	163
5.1	Plaka Yapıştırarak Güçlendirme ile İlgili Deneysel Çalışma .....	163
5.1.1	Deneysel Program.....	164
5.2	Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	164
5.2.1	Deney Kirişlerinde Kullanılan Betonun Hazırlanması ve Deneyleri .....	165
5.2.2	Kirişlerinde Kullanılan Betonarme Çeliği Testleri .....	170
5.2.3	Güçlendirme Levhası Çekme Deneyi .....	170
5.2.4	Yapıştırma Harcı Deneyleri .....	171
5.3	Deney Düzeni.....	173
5.4	Deney Kirişlerinin Detayları .....	175
5.5	Kirişlerin Deneyleri .....	178
5.6	Çelik Levha Yapıştırarak Güçlendirme Aşamaları .....	179
5.6.1	Güçlendirme Modelleri.....	179
5.6.2	Onarım ve Güçlendirme Uygulaması .....	182
5.7	Güçlendirilmiş Kirişlerin Deneyleri .....	184
5.7.1	Deney Sonuçları .....	184
5.7.2	Davranış ve Kırılma Modları .....	186
5.7.2.1	Referans Kirişlerin Davranışları.....	187
5.7.2.2	Güçlendirilmiş Kirişlerin Davranışları.....	187
5.7.3	Dayanımda Artış .....	191
5.7.4	Enerji Tüketme Kapitesi.....	192

5.7.5	Levha Kullanılarak Güçlendirilmiş Kirişlerin Rijitliği .....	193
5.7.6	Sehim Süneklik Katsayısı.....	195
6	SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	196
6.1	Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	196
6.2	Sonuçların Değerlendirilmesi .....	200
6.3	Öneriler .....	203
EKLER.....		204
Ek 1	Deney Kirişlerinin Kırılma Modlarına ait Fotoğraflar.....	204
Ek 2	Deney kirişlerinin Yük-Sehim eğrileri.....	215
KAYNAKLAR .....		236
ÖZGEÇMİŞ.....		247



## SİMGE LİSTESİ

$A_c$	Beton bürüt kesit alanı
$A_s$	Donatı kesit alanı
$E$	Elastisite modülü
$f_c$	Beton karakteristik
$f_{cm}$	Beton ortalama basınç dayanımı
$f_{ck}$	Beton karakteristik dayanımı
$f_{yd}$	Donatı karakteristik dayanımı
$f_{yk}$	Donatı hesap dayanımı
$f_{yp}$	Güçlendirme levhası dayanımı
$f_a$	Yapıştırma harcı basınç dayanımı
$M_{ci}$	Kolon kesit taşıma gücü
$M_{ki}$	Kiriş kesit taşıma gücü
$\rho'$	Donatı yüzdesi
$V_d$	Hesap kesme kuvveti
$\varepsilon$	Birim deformasyon
$\phi$	Donatı çapı
$\Delta T$	Sıcaklık farkı
$\Delta L$	Boy uzaması
$b_c$	Kiriş genişliği
$b_p$	Plaka genişliği
$h_c$	Kiriş yüksekliği
$d_s$	Donatı etkili derinliği
$d_p$	Plaka etkili derinliği
$L$	Kiriş boyu
$l_{p \text{ alt}}$	Çekme bölgesi plaka uzunluğu
$l_{p \text{ yan}}$	Montaj plakası uzunluğu
$t_p$	Plaka kalınlığı
$t_a$	Yapıştırıcı kalınlığı
$I_p$	Plaka atalet momenti

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Yapım süresince alt yapının yerel oturması nedeniyle oluşan çatlaklar..... 12
Şekil 2.2	Betonun sertleşmesi süresince düşey kalıp oynamaları nedeniyle çatlaklar ... 13
Şekil 2.3a	Serbest dökülemeyen betonda çatlak..... 15
Şekil 2.3	Betonda plastik rötre çatlakları ..... 16
Şekil 2.4	Yapıda ısı değişimleri nedeniyle çatlaklar ..... 20
Şekil 2.5	Donatının paslanması nedeniyle çatlak ..... 26
Şekil 2.6	Kütlesel betonun içsel şişmesi nedeniyle hasarların fiziksel görünüşü ..... 44
Şekil 2.7	Keskin köşelerde hatalı detay ve önlemleri ..... 54
Şekil 2.8	Ani kesit değişmesi ..... 55
Şekil 2.9	Prefabrike döşeme birimlerin eğilmesi nedeniyle çatlaklar..... 55
Şekil 2.10	Narin eğilme elamanların aşırı sehimi..... 56
Şekil 2.11	Derzlerin dolması nedeniyle boyuna itkilerin neden olduğu çatlaklar..... 57
Şekil 2.12	Kesit uyumsuzluğu- masif kütleyle birleşik ince kesit..... 58
Şekil 2.13	Betonarme çerçeve hasar aşamaları..... 63
Şekil 2.14	Kolonda mafsallaşma hasarı..... 66
Şekil 2.15	Kolonda ileri derecede kesme kırılması..... 66
Şekil 2.16	Kolonda basınç kırılması aşamaları..... 67
Şekil 2.17	Deprem etkisinde kirişlerde hasarlar..... 69
Şekil 2.18	Perde duvar hasarı..... 69
Şekil 3.1	Betonarme kolonların deprem hasar düzeyleri ..... 93
Şekil 3.2	Betonarme kolonların yangın hasar düzeyleri ..... 98
Şekil 4.1	Donatı birleşim detayları ..... 119
Şekil 4.2	Reçine enjeksiyonu ..... 121
Şekil 4.3	Çatlakların donatılarla tutturulması..... 123
Şekil 4.4	Çatlakların genişletilerek doldurulması ..... 124
Şekil 4.5	Çatlakların delerek onarımı ..... 125
Şekil 4.6	Elastik izolasyon malzemeli örtü derzi ..... 126
Şekil 4.7	Harçla tıkalı örtü derzi..... 127
Şekil 4.8	Levha örtü derzi..... 128
Şekil 4.9	Hareketli çatlaklarda donatının kesilerek derz oluşturulması ..... 128
Şekil 4.10	Betonun değiştirilmesi..... 135
Şekil 4.11	Çeşitli yandan mantolama ..... 139
Şekil 4.12	Kolonun dört yandan mantolanması..... 141
Şekil 4.13	Kolona çelik profil iskelet geçirme..... 143
Şekil 4.14	Çelik plaka ile kaplama..... 144
Şekil 4.15	Kirişe tek taraftan manto uygulanması..... 147
Şekil 4.16	Kirişin dört yandan mantolanması..... 147
Şekil 4.17	Üç yandan mantolama ..... 148
Şekil 4.18	Kirişlerde kesme dayanımının atırılması..... 149
Şekil 4.19	Düğüm noktasının çelik levhalarla iyileştirilmesi..... 151
Şekil 4.20	Döşemelerin onarımı ..... 152
Şekil 4.21	Dolgu duvarlarla güçlendirmenin etkinliği ..... 157
Şekil 4.22	Düşey çelik kafes tipleri ..... 162
Şekil 4.23	Tuğla duvar dolguların çerçeveye etkileri ..... 162

Şekil 5.1	Malzeme deneylerinden görünüşler.....	169
Şekil 5.2	Güçlendirme levhaları test numuneleri .....	172
Şekil 5.3	Deney çerçevesi ölçüm ve kayıt düzeneği.....	174
Şekil 5.4	Deney kirişi numune detayı.....	175
Şekil 5.5	Deney kirişlerinin hazırlanması.....	177
Şekil 5.6	I. seri referans kirişlerin yük sehim eğrisi.....	178a
Şekil 5.7	II. seri referans kirişlerin yük sehim eğrisi.....	178b
Şekil 5.8	III. seri referans kirişlerin yük sehim eğrisi.....	178c
Şekil 5.9	S1 güçlendirme modeli detayı.....	180
Şekil 5.10	S2 güçlendirme modeli detayı.....	180
Şekil 5.11	S21 güçlendirme modeli detayı.....	181
Şekil 5.12	S3 güçlendirme modeli detayı.....	181
Şekil 5.13	S4 güçlendirme modeli detayı.....	182
Şekil 5.14	Çatlakların epoksi ile onarımı ve levha yapıştırma uygulamaları .....	183

## Ek 2

Şekil 1	K11REF ile K11S3 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri.....	215
Şekil 2	K12REF ile K12S1 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri.....	216
Şekil 3	K13REF ile K13S2 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri.....	217
Şekil 4	VI. Seri Kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırılması.....	218
Şekil 5	K21REF ile K21S4 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri.....	219
Şekil 6	K22REF ile K22S21 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri.....	220
Şekil 7	K23REF ile K23S1 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri.....	221
Şekil 8	II. Seri Kirişlerinin yük-sehim eğrileri (K21S4- K22S21- K23S1).....	222
Şekil 9	K31REF ile K31S1 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri.....	223
Şekil 10	32REF ile K32S21 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri.....	224
Şekil 11	K33REF ile K33S4 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri.....	225
Şekil 12	VIII. Seri Kirişlerinin yük-sehim eğrileri (K31S1- K32S21- K33S4).....	226
Şekil 13	IV. Seri birleştirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri (K41S1-K42S2-K43S3).....	227
Şekil 14	V. Seri birleştirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri (K51S1-K52S4-K53S21).....	228
Şekil 15	S1 modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması....	229
Şekil 16	S2 modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması.....	230
Şekil 17	S21 modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması.....	231
Şekil 18	S3 Modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması.....	232
Şekil 19	S4 Modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması.....	233
Şekil 20	IV. Seri birleştirilmiş kirişlerinin K13REF ile karşılaştırılması.....	234
Şekil 21	V. Seri birleştirilmiş kirişlerinin K33REF ile karşılaştırılması.....	235

## Ek 1

Resim 1. a-b	K11REF kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı	
c-d	K11S3 güçlendirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı.....	204
Resim 2. a	K12REF kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli	
b-c-d	K12S1 güçlendirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı.....	205
Resim 3. a-b	K13REF kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı	
c-d	K13S2 güçlendirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı.....	206
Resim 4. a	K21REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli	
b-c-d	K21S4 güçlendirilmiş kirişinin deney aşamaları ve kırılma yükünde çatlak modeli .....	207
Resim 5. a-b	K22REF kirişinin deney başlamadan ve maksimum yükten sonra görünüşü	
c-d	K22S21 güçlendirilmiş kirişinin 1400 kg da ve kırılma yükünde çatlak modeli .....	208
Resim 6. a	K23REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli	
b-c-d	K23S1 güçlendirilmiş kirişinin 2800 kg, 3800 kg ve kırılma yükünde çatlak modeli .....	209
Resim 7. a	K31REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli	
b-c	K31S1 güçlendirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı.....	210
Resim. 8 a	K32REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli	
b-c-d	K32S21 güçlendirilmiş kirişinin 2800 kg da ve kırılma yükünde çatlak modeli .....	211
Resim 9. a	K33REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli	
b-c	K33S4 güçlendirilmiş kirişinin 3200 kg da ve kırılma yükünde çatlak modeli.....	212
Resim 10a-b	K41S1 birleştirilmiş kirişinin 1400 kg da ve kırılma yükünde çatlak modeli	
c	K42S2 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli	
d-e	K43S3 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli.....	213
Resim 11a-b	K51S1 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı	
c	K52S4 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli	
d-e	K53S21 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli.....	215



## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Doğadaki suların zararlı etkinlik dereceleri için sınır değerleri.....35
Çizelge 3.1	Hasarların nedenleriyle belirtilerinin ilişkileri.....83
Çizelge 3.2	Deprem etkisiyle Hasar Görmüş Yapı-Elementları için yaklaşık Kapasite Oranı.....94
Çizelge 3.4	Yangından hasar görmüş yapının kapasitelerinin yaklaşık tahmini.....99
Çizelge 3.5	Kimyasal etkilerden ve korozyondan sonra yapı elementlarının kapasitelerinin yaklaşık olarak tahmini.....100
Çizelge 5.1	Agrega elek analizi ve granülometri eğrisi..... 167
Çizelge 5.2	Kiriş üretiminde kullanılan betonların deney sonuçları..... 168
Çizelge 5.3	BA donatısı çekme deneyi sonuçları.....170
Çizelge 5.4	Güçlendirme plakası test sonuçları..... 171
Çizelge 5.5	Epoksi Yapıştırma harcı deney sonuçları..... 173
Çizelge 5.6	Kiriş üretim ve güçlendirilmesinde kullanılan malzemelerin dayanım ve geometrik özellikleri..... 176
Çizelge 5.7	Deney kirişlerinin teorik ve deneysel maksimum moment ve yükleri, ilk çatlak yükleri ve merkezi çökmeleri..... 179
Çizelge 5.8	Kirişlerin enerji tüketme kapasitelerive rijitlik azalmaları..... 185
Çizelge 5.9	Güçlendirilmiş kirişlerin dayanım ve enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırılması.....186
Çizelge 5.10	Kiriş rijitliklerinin karşılaştırılması.....193
Çizelge 5.11	Aynı tip güçlendirmelerin karşılaştırılması.....195

## ÖNSÖZ

Önemli bir deprem kuşağında yer alan ülkemizde oluşan depremlerde bir çok yapı yıkılmakta veya çeşitli düzeylerde hasar görmektedir. Deprem ve yangın gibi afetlerin dışında da yapılar hasar görmekte ve ekonomik ömrünü tamamlayamayarak kullanım dışı kalmaktadır. Bu nedenle yapılarda meydana gelen hasarların belirlenmesi, hasarlı yapıların incelenmesi, çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemlerinin kullanılması önem kazanmaktadır. Hasarlar, nedenleri, çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemleri ve bu yöntemlerden biri olan çelik levha yapıştırarak güçlendirmenin etkinliğini deneysel olarak inceleyerek, onarım ve güçlendirme çalışmalarına ışık tutacak bir inceleme hazırlamaya çalıştım.

Bu çalışmada bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Prof. İbrahim Ekiz'e, deneysel çalışmada fikir veren ve hazırlanması ve yürütülmesinde yardımcı olan sayın Prof. Dr. Kaya Özgen'e, Doç.Dr. Muzaffer Elmas'a, Prof. Zekeriya Polat'a, Deneysel düzeneğinin hazırlanmasında yardımcı olan Dr. Şükrü Özçoban ve Yrd.Doç.Dr. İsmail Şahin'e, Yapı Malzemeleri Kürsüsü'ndeki sayın hocalarıma, deneylere yardımcı olan tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve Teknisyen Şemsettin Tonkuş'a , Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerden Epoksi ve çelik levha temininde İzomas A.Ş., kum ve çakıl temininde Oflaz İnşaat A.Ş., çimento temininde Nuh Çimento A.Ş., süperakışkanlaştırıcı temininde Yapkim A.Ş. ye, Tezin yayına hazırlanmasında sayın Erim Dirican ve Meral Barışık'a ve tez çalışmalarım sırasında bana sabır gösteren eşime katkıları ve yardımlarından ötürü teşekkür ederim.

İnş. Yük. Müh Filiz SEVÜK  
Erenköy, Şubat 2000

## ÖZET

Betonarme yapılar kullanım süreleri içinde değişik etkiler altında hasara uğrarlar; bu etkiler aşırı yükleme, deprem ve yangın etkisi, donatı korozyonu, zararlı kimyasal ve fiziksel etkiler ve benzerleri olabilir. Hasarlar etkinin şiddetine ve türüne bağlı olarak kılcal çatlaklar, çatlaklar, dökülmeler ve bölgesel parça kopmalar şeklinde oluşabilir.

Yapı hasarlarını belirlemek için yapıya bozucu olarak etkileyen etkilerin yapıda nasıl ve neden hasar oluşturduğu belirli bir sistem içersinde incelenerek bunların analizi ve değerlendirilmesi yapılır. Belirlenen hasara uygun bir onarım ve güçlendirme yöntemi seçilir.

Hasarın sebebinin ve hasar düzeyinin belirlenmesi yapıda onarım, güçlendirme veya yıkma kararı verilmesinde önemli bir unsur olduğu için onarım ve güçlendirme çalışmalarına da esas oluşturur. Çeşitli hasarların onarım ve güçlendirilme yöntemleri açıklanmıştır. Onarım ve güçlendirme yöntemleriyle ilgili deneyler ve uygulamalar incelenerek iyileştirme işlemlerinin etkinliği karşılaştırılmıştır.

Hasarlı elemanların onarım ve güçlendirilmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan epoksi ile çelik levha yapıştırma yöntemi günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Hasar görmüş ya da dayanım ve rijitliğini yitirmiş betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde kiriş alt ve yan yüzeylerine epoksi reçinesi ile ince çelik levha yapıştırma yöntemi kullanılmaktadır.

Bu çalışmada yapılarda çeşitli hasarlar ve bu hasarları oluşturan nedenlerin tesbiti ve değerlendirilmesi, onarım ve güçlendirme yöntemleri ile ilgili bilgiler sunulduktan sonra betonarme kirişlerin çelik levha ile yapıştırılarak güçlendirilmesinin etkinliği incelenmiştir.

Bu amaçla boyut ve donatıları özdeş betonarme kiriş numuneleri hazırlanarak maksimum yükte yüklenip hasar verildikten sonra epoksi reçinesi ile hazırlanmış yapıştırma harcı ile eğilme yüzeylerine ve üst yan yüzeylerine çelik levha yapıştırılıp güçlendirilerek test edilmiştir. Ayrıca iki ayrı eleman aynı yöntemle uçlarından birleştirilerek test edilmiştir. Bu yöntemle yapılan güçlendirmenin elemanın yapısal davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Güçlendirme levhası kesiti aynı fakat boyları farklı olan beş ayrı güçlendirme modelinde yapıştırılmış ve bunlardan en etkili güçlendirmeyi sağlayacak model araştırılmıştır.

Deney elemanlarından elde edilen sonuçlar grafik ve çizelgeler halinde verilmiştir. Bu tür bir güçlendirme ile elemanların eğilme davranışı gelişmiş, dayanımları artmıştır. Güçlendirme levhalarının ucunda yapılan sargılama davranışı geliştirerek sünekliği artırmıştır.

Anahtar kelimeler: hasar, onarım, güçlendirme, levha yapıştırma, epoksi

## **ABSTRACT**

The reinforced concrete structures are exposed to certain damages due to various external effects during their service periods. These external effects may be overloading, earthquake and fires, corrosion of the reinforcement, hazardous chemical and mechanical effect etc. Certain damages may occur by the result of these effects as microscopic cracks or cracks, spalling or regional breakages depending on the magnitude of the external effects.

In order to determine structural damage, the reasons and the ways that the external effects create these damages should be investigated systematically. The repair and rehabilitation methods to be applied are chosen in accordance with the result of the subject investigation and analysis.

Bonding steel plates externally by means of epoxy coating has recently become one of the widely used repair and strengthening techniques of damaged structures. In order to strengthen the reinforced concrete beams that have been damaged or lost their structural strength or rigidity, thin steel plates are bonded to the bottom and side surfaces of beams.

In this study, various damages in the structures and the reasons causing these damages are determined and evaluated, general information relating to the strengthening and repair techniques are presented and the efficiency of strengthening the reinforced concrete beams by bonding the steel plates is investigated.

For this reason, the reinforced concrete beams with identical cross sections and reinforcements have been prepared and structural damages of different magnitudes have been created on these beams by loading them beyond their maximum load carrying capacities. These beams have been strengthened by bonding the steel plates to their bending and side surfaces by means of a special mortar prepared with epoxy resin. The beams so repaired have been tested to determine the effect of the subject method on their structural strength. The best suitable model has also been investigated by using the steel plates with the same cross sectional area but different lengths. The results of these test are presented by graphs (curves of load-deflection ) and photographs.

It was observed and concluded that the beams repaired and strengthened by these method display a more developed bending and structural strength and that stirrups usage at the ends of the steel plates have increased the energy dissipation and ductility.

Key words: repair, strengthened, epoxy, bonded steel plate.

## 1 GİRİŞ

Betonarme yapılar ve taşıyıcı sistemler öz ağırlık, ilave ağırlıklar, hareketli yükler, deprem ve rüzgar etkileri, sıcaklık değişimleri, rötre ve sünme, mesnet çökmeleri, çarpma, patlama, yangın, yorulma, dış ortam etkileri ve yaşlanma gibi etkilere maruz kalabilirler. Bu etkiler altında yapıda bazı kusurlar veya kalite ve özellik kayıpları oluşabilir. Bu kusurlar, çatlaklar, parça kopmaları, dökülmeler, kabarmalar, renk değişimleri, sehim, yatay ötelenme vb. şeklinde görülebilirler. Bu kusurlar belirli sınırlar içinde kaldığında gözardı edilebilir, fakat bu sınırların dışına çıkmışsa yapı hasar görmüştür ve önlem alınması gerekir.

Yapılar projelendirilirken, toplumun ve kişilerin can ve mal güvenliklerinin tehlikeye girmemesi esas alınır. Her ülke bu esaslarla ilgili yönetmelik ve standartlar oluşturmuştur. Yapıların bu yönetmelik ve standartlara göre yapılması zorunlu olmasına rağmen uygulamada bu kurallara uyulmaması hasarlara neden olur.

Hasarların ve bozulmaların nedenlerinin analizi için genel bir yöntem dahilinde çalışmak gereklidir. Hasar ve bozulmaların nedenlerinin analizinde, genel olarak uygulanabilecek bir yöntem bulunamazsa her durum bireysel bir problem olarak incelenmelidir.

Hasara neden olan faktörleri yük ve çevresel faktörlerin etkileriyle hasarlar olarak iki ana sınıfa ayırabiliriz. Yük etkisiyle hasara sebep olan faktörler aşırı yükleme ve temel oturmalarıdır. Çevresel etki hasarları genelde yapıların yaşlarına bağlıdır. Bu kategorideki yapısal bozulmalar kötü yapım uygulamaları, kalite kontrol eksikliği, yüksek ısı, yüksek nem ve tuzlu çevre gibi bozucu çevre etkileri nedeniyle artar. Hatalı tasarım, kötü yapım ve kalite kontrol eksikliğiyle birleşmiş çevresel faktörler binaların erken bozulmalarının en büyük sebebidir. Meydana gelen hasar ve bozulmaların nedenlerini tesbit etmek için yapı hasarlarının ve bozulmaların oluşum nedenlerini incelemek gerekir, bu incelemeler hasarların sebeplerini belirleyebilir.

Betonarme yapıların hasarını değerlendirmek için, çalışmanın ikinci bölümünde hasar sınıflandırmaları ve hasarların meydana geliş nedenleri detaylı olarak incelenmiştir. Hasar

nedenlerinin iyi bilinmesi, hasarların tanınması ve hasar düzeyinin belirlenmesinde yararlı olacaktır.

Hasarlı yapıların değerlendirilmesinde ilk adım yapıdaki bozulmalara sebep olan nedenlerin ve koşulların çok dikkatli incelenmesidir. Değerlendirmelerde olası bozulmaları önlemek için doğru kararları vermek çok önemlidir. Hasar ve bozulmaların önlenmesinin mümkün olmadığı durumlarda, yapılarda onarım veya güçlendirme yapılabilir, ya da yapı boşaltılabilir. Yapıdaki bozulmaların değerlendirilmesi, bu bozulmaları önlemek ve onarmak için yaklaşımlardır. Yaklaşım adımları, özel teşhis (tam) bakım ve önlem için öneriler içermelidir. Onarımda başarılı olmanın temeli hasar ve bozulmaların tip ve nedenlerinin tanınmasının hassasiyetle yapılmasına bağlıdır. Üçüncü bölüm değerlendirme için yaklaşımları ve bu amaçla kullanılacak test metodlarını kapsamaktadır. Yapı hasarlarının nedenlerinin analizi hasar düzeylerinin belirlenmesi ile güçlendirme ya da yıkılma kararı vermede yol gösterecektir.

Dördüncü bölüm onarım uygulamaları için gerekli hazırlıkları, onarım ve güçlendirme metodlarını içermektedir. Çatlak ve parça kopmalarının onarımı, taşıyıcı sistem elemanlarının onarım ve güçlendirme metodları belirtilmiştir. Onarım ve güçlendirme metodları ile ilgili deneyler ve uygulamalar incelenerek iyileştirme işlemlerinin etkinlikleri özetlenmiştir.

Beşinci bölümde eğilme dayanımı yetersiz kirişlerin güçlendirilmesi ile ilgili yapılan deneysel çalışmanın detay ve sonuçları verilmiştir. Yeterli eğilme dayanımına sahip olmayan betonarme kirişlerin güçlendirilmesi ve/veya onarılması amacıyla kullanılan metodlardan en pratik olanı, kirişe eğilme bölgesinde levha yapıştırma yöntemidir. Uygulama esnasında yapının tamamen boşaltılmaması, kesit boyutlarında büyük artış getirmemesi onarımın kısa sürede tamamlanması günümüzde bu yöntemin kullanılmasını yaygınlaştırmıştır.

Bu yöntemin etkinliği ile eleman davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla dikdörtgen kesitli numuneler test edilmiştir.

Düzenlenen deney programında; basit mesnetli normal donatılı dikdörtgen kesitli kirişler, maksimum yüke kadar yüklendikten sonra, kiriş alt yüzeyine epoksi yapıştırma harcı ile çelik levha yapıştırılarak onarılmış ve açıklık ortasında yük uygulanarak davranış ve dayanımları incelenmiştir. Ayrıca kesit ve donatı bakımından özdeş fakat uzunlukları 1 metre olan kirişler birleştirilerek aynı yöntemle güçlendirilmiş ve referans kirişle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın amacı :

Eğilme dayanımı yeterli olmayan betonarme kirişlerin, eğilme dayanımını artırmaya yönelik kiriş alt yüzeyine çelik levha yapıştırmanın etkinliğini deneysel olarak araştırmaktır. Çelik levha yapıştırma işlemi, eleman boyutunda çok küçük bir artış sağlayarak uygulama kolaylığı getirmektedir. Özellikle kısa sürede kullanıma girmesi gereken yapılarda uygulanması, uygulama süresinin kısa olması nedeniyle zaman açısından da büyük fayda sağlayacaktır. Bu nedenlerle bu güçlendirme yönteminin kirişin eğilme dayanımına getireceği katkılar ve kiriş davranışına yapacağı etkiler özel bir yapıştırma harcı kullanılarak levha yapıştırılmış kirişlerde deneysel olarak belirlenecektir.

Bu amaçla epoksi yapıştırma harcı ile eğilme yüzlerine çelik levha yapıştırılarak güçlendirilmiş aşırı hasarlı, tamamen kopmuş ve az hasarlı elemanların dayanım ve davranış özellikleri, üç noktalı yükleme altında test edilerek incelenmiştir.

Konu ile ilgili çalışmalar

Konu ile ilgili çok sayıda kuramsal ve deneysel çalışma yapılmıştır. İngiltere’de Sheffield Üniversitesinde R.N. Swamy, R. Jones ve araştırma grubu (1987, 1989 ve 1995 ) tarafından yapılan çeşitli çalışmalarda, levha yapıştırılarak güçlendirilmiş kirişlerin taşıyabileceği maksimum yük kapasitesi, yapısal deformasyonlar, çatlak oluşum düzeyleri ve kiriş yüzeyinde oluşan ayrılma gerilmeleri ile ilgili geniş test verileri sunulmuştur. Aynı grup tarafından levha bitim noktasında maksimum kayma kapasitesine bağlı olarak, çeşitli levha kalınlığı ve yükleme durumu için kiriş esas donatısına kadar olan bölgeyi kapsayacak şekilde, kiriş boyunca oluşabilecek ayrılma ve sıyrıma ile ilgili çeşitli deneysel çalışmalar yapıp teorik yaklaşımlarda bulunulmuştur.

Zang vd. (1995) sıyırılma gerilmeleri ile ilgili deneysel çalışmaları teorik açıdan incelemişlerdir. İsvet Luella niversitesinden B.Taljesten, levha yapıştırılarak güçlendirilmiş kiriş ile yapıştırıcı tabakası arasında kayma ve sıyırılma gerilmeleri üzerine teorik çalışmalar yapmıştır.

Güney Avustralya Adelaide niversitesinden D.J. Oehlers vd. (1998) plak uçlarında kesme kuvvetleri nedeniyle oluşan kesme sıyırılması ile ilgili deneysel bir çalışma yapmıştır. Konu ile ilgili başka bir grup alışması Cardiff niversitesinden T.M. Roberts ve H. Haji Kazemi (1989) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada betonarme ile elik levha ara yüzeyleri boyunca oluşan normal ve kayma gerilmelerini önceden hesaplayabilmek ve kiriş kompozit davranışını analiz edebilmek için iki aşamalı model geliştirilmiş, bu model üzerinde çeşitli varsayımlardan hareket ederek temel amprik denklemler sunulmuştur.

Kral Fahd niversitesinden M.Hussain, S. Alfarabi ve çalışma grubu tarafından, (1994) elik levhalarla güçlendirilmiş betonarme kirişlerin eğilme kapasitesi ve erken çatlak oluşmuş sistemin eğilme davranışı incelenmiştir. Farklı kalınlık ve uzunluklarda güçlendirme levhaları uçlarında ankraj yapılarak test edilmiş ve eğilmeden dolayı erken kırılma çatlakları ile ilgili hesap modeli önerilmiştir.

Sakarya niversitesinden M. Elmas, N.ağlar ve N. Mert (1997) tarafından yapılmış çalışmalarda; kesit boyutları belirli tekil yük etkisindeki betonarme kiriş modelinde farklı levha genişlikleri ve levha bitim noktasının, mesnetten uzaklığının değişiminin normal ve kayma gerilmelerinin dağılımlarına etkisi incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında çeşitli hasarlar, bu hasarların incelenmesi ve değerlendirilmesi ve onarım güçlendirme uygulamaları üzerine incelemeler yapılmıştır. Daha sonra özel bir epoksi yapıştırma harcı ile farklı güçlendirme modellerinde elik levha yapıştırılarak güçlendirilmiş kirişlerin dayanım ve davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel program a- üretilen kirişlerin kırılıp genel davranışlarının incelenmesi, b- bu kirişlere elik levha



yapıştırılıp güçlendirildikten sonraki dayanım ve davranışları, c- uçlarından birleştirilmiş iki ayrı elemanın davranışlarının incelenmesi aşamalarını içermektedir.

Çalışmada; onbeş deney elemanı kullanılarak yirmidört adet deney yapılmıştır. Deney elemanlarının dokuz tanesi aynı boyut ve aynı donatı düzenlemesiyle bir seferde üçer kiriş olarak üretilmiştir. Diğer altı, kiriş ilk kirişlerle aynı kesit ve donatıya sahip, fakat yarısı uzunluğunda olup, oniki eleman halinde üretilmiş ve ikişer ikişer birleştirilerek aynı boyuta getirilmiştir.

İlk üç seride üretilen kirişler basit mesnetlendirilmiş kiriş ortasında yük uygulanıp kırılarak hasar verilmiş, dayanım ve davranışları incelenmiştir. İlk seriyi oluşturan üç kiriş kırılma seviyesine kadar yüklenerek aşırı hasar ve büyük kalıcı deformasyon oluşturulmuştur. İkinci ve üçüncü serideki kirişler maksimum yüke kadar yüklenmiş fakat aşırı deformasyon oluşturulmamıştır. Hasar oluşturulmuş ve iki parçanın birleştirilmesinden oluşmuş kirişler onarıldıktan sonra, beş farklı güçlendirme modeli kullanılarak epoksi yapıştırma harcı ile alt yüzeylerine çelik levha yapıştırılarak dayanım ve davranışları incelenmiştir.

Eleman düzeyinde yapılan bu çalışmada, güçlendirilmiş kirişlerin davranış ve dayanımlarına ait deney sonuçları ilk üç serideki kirişlerin dayanım ve davranışlarıyla karşılaştırılmıştır. Deney sonucunda elde edilen yük-deformasyon eğrileri kullanılarak dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik azalması konusunda karşılaştırmalar yapılmıştır ve özel yapıştırma harcı kullanılarak hangi güçlendirme modelinin daha etkili olduğu sorusuna yanıt aranmıştır.

## 2 YAPI HASARLARI, NEDENLERİ ve ALINMASI GEREKLİ ÖNLEMLER

### 2.1 Yapı Hasarları

Betonarme yapılar ve taşıyıcı sistemler öz ağırlık, ilave ağırlıklar, hareketli yükler, deprem ve rüzgar etkileri, sıcaklık değişimleri, rötre ve sünme, mesnet çökmeleri, çarpma, patlama, dış ortam etkileri ve yaşlanma, yangın, yorulma gibi etkilere maruz kalabilirler. Bu etkiler altında yapıda bazı kusurlar veya kalite ve özellik kayıpları oluşabilir. Bu kusurlar, çatlaklar, parça kopmaları, dökülmeler, kabarmalar, renk değişimleri, sehim, yatay ötelenme vb. şeklinde görülürler. Bu kusurlar belirli sınırlar içinde kaldığında gözardı edilebilir, fakat kusurlar belirli sınırların dışına çıkmışsa yapının hasar gördüğü kabul edilir. Hasarların ana belirtileri; çatlaklar, ayrışmalar ve parça kopmalarıdır.

Betonarmede çatlaklar :

Çatlaklar en çok rastlanan en yaygın hasar türüdür ve betonarmede her yerde her zaman vardır. Yeterli donatı sağlanarak dikkatli detaylandırılmış beton elemanlarda geniş çatlaklardan kaçınılmış olunur. Dış etkilere açık olma durumunda küçük çatlaklar her zaman vardır. Çevresel zorlamalardan meydana gelen çatlaklar yapısal zorlamalardan daha fazladır ve elemanlarda ilk bozulmaların oluşmasına neden olurlar. Bu çatlaklar önlenmezse tehlikeli yapısal hasarlar oluştururlar. Bu nedenle hasar görmüş yapılarda onarım işlemlerinde çok geç kalınmamalıdır.

Ayrışmalar :

Zayıf ve kötü malzeme kullanılması kimyasal etkenlerin, atmosfer etkilerinin ve aşınmanın etkilemesiyle ayrışma şeklinde bozulmalara neden olur. Malzemenin sağlamlığı ve özelliklerini arazide ve laboratuvarında yapılan testlerle güvenli bir şekilde belirlenmelidir. Ayrışmaların yerleşimleri kimyasal, atmosferik ve aşınma gibi etkilerin hangisinden meydana geldiklerini belirtir. Ayrışmalar, donma-çözülme etkisiyle yüzeysel, kimyasal etki ile daha

derinlere ulaşır ve mukavemet kaybı oluşur, don etkisi fizikseldir. Ayrışmaların belirlenmesi belirgin sebeplerin incelenerek elenmesi ile yapılır.

Parça kopmaları :

Hasarın yerel olması durumunda hatalı detay etkisi söz konusudur. Kimyasal etkiler nedeniyle de parça kopmaları oluşabilir. Parça kopmasına neden olan en önemli sebep donatı paslanmasıdır.

Yapılardaki yapısal hasarların belirtileri aşırı sehim, çatlak ve bazen de titreşimlerdir. Çatlak niteliği ile ilgili parametreler; çatlağın yeri, genişliği yeni yada eski oluşudur. Çatlaklar önce gevrek elemanlarda oluşur. Çatlak, sehim ve deformasyonlar o elemanın elastik yük taşıma deformasyonunun üzerinde zorlandığını gösterir. Nedeni elemana elastik olarak taşınabilenden daha büyük bir çekme (gerilmesi) kuvveti etkimesidir. Basınç etkisi altında hasar ezilme biçimindedir fakat bu etkiye dik yönde çekme kuvvetleri oluşacağı için yine çatlak da oluşacaktır. Beton ve yığma kagir yapı malzemesinin basınç dayanımı çekme dayanımının çok üstünde olduğundan önce çekme çatlakları görülür. Taşıyıcı olmayan elemanlardaki çatlaklar genellikle bu elemanın üzerinde oturduğu, yada taşındığı elemanda aşırı sehim veya deformasyon oluşması nedeniyledir. Hasarın daha ileri aşaması sehimin çok artması nedeniyle taşıyıcı elemanda da çatlaklar oluşmasıdır ve yapı için tehlike oluşturur.

Çatlağın eski yada yeni oluşu etkinin o anda sürüp sürmediğinin işaretidir. Toz, örümcek ağı vb, yada çatlağın her iki yüzeyinde sıva yada malzemede oksitlenme belirtisi çatlağın eski olduğunu gösterir. Değişik yükler etkisinde bu çatlaklar yeniden genişler veya ilerleyebilir. Onarılmış bir çatlağın yeniden açılması çatlak üzerindeki etkinin sürdüğünü gösterir. Çatlak boyunca veya çatlağa dik yönde ötelenme olup olmadığı kontrol ile belirlenmelidir. Oluştuktan sonra uzamayan, yayılmayan, genişleyip derinleşmeyen çatlaklar pasif çatlaklardır. Zamanla gelişen veya dış etkilere bağlı olarak artma, eksilme şeklinde değişme gösteren çatlaklar aktif çatlaklardır. Çatlağın aktif yada pasif oluşu onarım metodları yönünden önem taşır. Yapısal kökenli çatlaklar taşıyıcı sistemdeki konstrüksiyon hatalarından veya hareketlerinden doğarlar ve genellikle tehlikelidir, elemanın onarılması, güçlendirilmesi veya değiştirilmesi gerekebilir. Yapısal olmayan çatlakların kökeni fiziksel ve

kimyasaldır ve onarımları yapının dayanıklılığı veya estetiği yönünden gerekli olabilir. Değişik tiplerdeki bozulmaların nedenlerinin analizinde genel olarak uygulanabilecek bir yöntem bulunamazsa her durum bireysel bir problem olarak incelenmelidir.

Hasara neden olan faktörleri (1) yük etkisiyle hasarlar; (2) çevresel faktörlerin etkisiyle hasarlar olarak iki ana sınıfa ayırabiliriz. Yük etkisiyle hasara sebep olan faktörler aşırı yüklenme ve temel oturmalarıdır. Çevresel etki hasarları genelde yapıların yaşlarına bağlıdır. Bu kategorideki yapısal bozulmalar kötü yapım uygulamaları, kalite kontrol eksikliği, yüksek ısı, yüksek nem ve tuzlu çevre gibi bozucu çevre etkileri nedeniyle artar. Hatalı tasarım, kötü yapım ve kalite kontrol eksikliğiyle birleşmiş çevresel faktörler binaların erken bozulmalarının en büyük sebebidir. Yapı hasarlarının incelenmesi, problemlerin sebeplerini belirleyebilir.

Hasarlı yapıların değerlendirilmesinde ilk adım yapıdaki bozulmalara sebep olan problemlerin ve koşulların çok dikkatli değerlendirilmesidir. Olabilecek bozulmaları önlemek için geçerli kararları vermede bu değerlendirmeler gereklidir. Bozulmaların önlenmesinin mümkün olmadığı durumlarda yapılarda onarım veya güçlendirme yapılabilir, ya da yapı boşaltılabilir. Yapıdaki bozulmaların değerlendirilmesi, bir hastalığın fiziksel olarak tedavisine mühendislik açısından yaklaşımdır. Yaklaşım adımları, özel teşhis (tanı), bakım ve önlem için gerekleri içermelidir. Onarımda başarılı olmanın temeli hasarların tip ve nedenlerinin tanımlanmasının hassasiyetle yapılmasına bağlıdır.

## **2.2 Yapı Hasarlarının Sınıflandırılması**

Beton yapılarda hasarların incelenmesi için birçok yolla ve çeşitli açılardan yaklaşılarak sınıflandırmalar yapılabilir. Bunlar aşağıda kısaca açıklanacaktır.

1)-Hasarın nedenine göre hasar sınıflandırması:

- a. Büyük temel hareketleri veya mesnetlerin hareketleri (temel oturması)
- b. Rötne ve sünme
- c. Sıcaklık etkileri

- d. Aşırı yükleme (eğilme ve kesme)
- e. Yorulma ve dinamik etkiler
- f. Kimyasal etkiler; CO<sub>2</sub> tarafından betonun karbonatlaşması, betonun alkalinitesini (pH'ını) ve böylece onun koruma etkisini azaltır; özellikle buz çözücü tuzlar, tuzlu hava ve daha çok asit yağmuru, sudaki bozucu etkenlerin süzülebilmesine olanak sağlayan, beton koruyucu kompasite (yoğunluk) eksikliği veya çatlaklar; iyi korunmayan donatının korozyonu; bozucu agresif etkilerle beraber suyun betona sızması, vs.

2)- Hasar seviyesine göre hasar sınıflaması; hasarların detaylı olarak tanımlanması ile yapılır.

- a) Yapısal hasar görmemiş kullanılabilir binalar veya köprüler
- b) İzolasyon, taşıyıcılar, genişleme derzleri vs dahil hafif yapısal hasar görmüş kullanılabilir binalar ve köprüler
- c) Ağır yapısal hasar görmüş veya kısmen yıkılmış kullanılmaz binalar veya köprüler.

3)- Binanın veya köprünün çeşitli kısımlarına göre sınıflandırılması:

- a) Temel ve alt yapılar
- b) Üst yapılar
- c) Endüstriyel bileşenler ( taşıyıcı elemanlar, genişleme derzleri, izolasyon vb.)

4)- Hasarların başlangıç nedenine göre hasar sınıflandırması :

- a) Tasarım (proje) hataları (yetersiz boyutlar, öngerilme ve donatı eksikliği vb.)
- b) Kötü inşaa (yapım kusurları)
- c) Kapasitesinin üzerinde kullanım veya trafik ( aşırı yükler, termik etkileri içeren tali etkiler, betonun rötresi vs.)

5)- Kullanma zamanına göre hasarın sınıflandırılması:

- a) İnşaat esnasında
- b) Tamamlanmasından sonra iki yıl içinde
- c) Tamamlanmasından sonra iki yıldan fazla sürede.

Yapıların hasarlarının sınıflandırılması, hasarın analiz edilmesinde ve teşhis metodlarının belirlenmesinde ve hasarın meydana geliş sebeplerinin incelenmesinde ve iyileştirme metodlarının seçiminde bir rehber olacaktır.

### **2.3 Yapı Hasarlarının Nedenleri ve Alınması Gerekli Önlemler**

Beton yapılarıdaki bozulmaların görsel olarak belirtileri (semptomları) üç ana grupta toplanabilir. Bunlar çatlaklar, parça kopmaları ve ayrışmalardır. Bu ana belirtilerden herbiri kendi başına oldukça belirgindir, kolayca incelenebilir ve diğerlerinden farklıdır. Herbiri çeşitli şekillerde meydana gelir ve her şekil farklı özelliklerdedir. Yapılardaki bozulmalar sadece bu üç ana belirti şeklinde değildir, her belirti de farklı şekiller gösterebilir. Aynı sebep çok farklı hasarlar meydana getirebildiği gibi, çok farklı sebepler aynı hasarı meydana getirebilir.

Hasarların tesbitinde gözlemlenen koşulların bütün olası nedenleri değerlendirilerek, belirgin olasılıklar elimine edilerek sorun çözümlenir. Sorunun çözümlenmesi için gerekli aşamaların uygulanması ve beton bileşenlerine etki eden faktörlerin anlaşılması için betonun bozulmasına neden olan işlem ve etkenlerin bir listesinin yapılması gereklidir. Bozulmaların mekanizması anlaşılınca kadar inceleme ve değerlendirme aşamaları sürmeli ve tamamlanınca kadar onarım yöntemi seçilmemelidir. Beton yapılarıdaki hasarların meydana geliş nedenleri aşağıda listelenmiştir.

#### **1-Yapım Aşamasında Meydana Gelen Hatalar**

- a- Alt yapının veya kalıp yüzeylerinin yerel olarak oturması
- b- Düşey kalıplarda oynamalar-kalıpların oynaması
- c- Vibrasyon
- d- Taze beton ayrışması-plastik rötre
- e- Taze betonda bünyesel rötre
- f- Erken kalıp alma, kalıp desteklerinin erken alınması

#### **2- Rötre**

**3- Termik gerilmeler**

- a. Atmosferik ısı değişimleri(hava şartlarının değişmesi)
- b. Beton iç sıcaklığında değişmeler
- c. Yangın etkisi

**4- Betonun su emmesi****5- Donatının paslanması**

- a. Kimyasal etkiler nedeniyle paslanma
- b. Elektro kimyasal paslanma

**6- Kimyasal reaksiyonlar****7- Atmosferik etkiler****8- Şok dalgaları****9- Aşınma****10- Detay hataları**

- a. Keskin, dar açılı köşeler
- b. Kesitte ani değişiklikler
- c. Prefabrike döşeme elemanları ve kirişler arasında rijit derzler
- d. Aşırı deformasyonlar (narin eğilme elemanlarında aşırı bel vermeler)
- e. Derzlerde sızıntılar, yetersiz açıklık bırakılması, derz boşluklarının dolması.
- f. Yetersiz damlalık ve tahliye boruları
- g. Yetersiz drenaj
- h. Kesit veya malzemelerin yetersizliği
- i. Su depolarındaki termik etkiler
- j. Sünmenin hesaba katılmaması

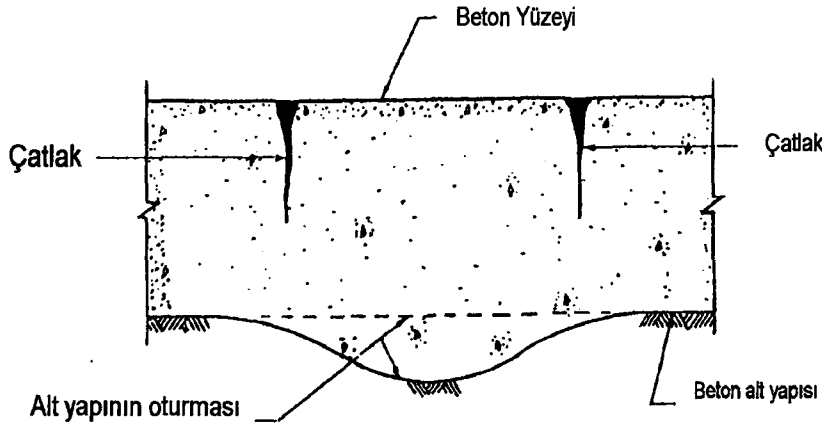
**11- Tasarım (proje) hataları****12- Deprem**

### 2.3.1 Yapım aşamasında (inşaat sırasında) meydana gelen hatalar

Yapının inşaatı sırasındaki dikkatsizlik ve uygun olmayan işlemler nedeniyle düşük kaliteli beton üretilmiş olabilir. Düşük kaliteli beton, bozulmalar karşısında iyi uygulanmış kaliteli üretilmiş dayanıklı betonlara göre daha hassas olacaktır ve kaçınılması gerekir. Kötü yapım uygulamaları bozulmalara ve bozucu etkenlere karşı açık bir kapıdır ve doğrudan hasara sebep olabilir. İnşaat sırasında yapılan hatalara ait örnekler aşağıda açıklanmıştır.

#### a. Alt yapının ya da kalıpların yerel oturması

Grobeton yol hava meydanı kaplamalarının altyapısında bölgesel zayıf kısımlar yada hava cepleri veya çukurlar varsa beton üzerine yerleştirildiğinde kütlelerin ağırlığı nedeniyle, beton yerel olarak oturmalarda yapabilir. Bu oturmalarda beton yüzeyinin mastarlanmasından sonra oluşursa oturmalarda çatlaklar izleyebilir. Bu oluşumlar alt yapının özenle sıkıştırılması ve drenajının yapılması ile önlenmelidir. İşçilerin kalıp üzerinde yürümeleri ve kalıp altında hava ceplerinin oluşumu önlenmelidir. Bu tip çatlaklar, son bitirme işlemi yapılmadan önce ortaya çıkarsa yüzey düzeltildiğinde kapanabilir. Bu nedenle mastarlamadan sonra malayla düzelterek yüzey bitirme işlemi geciktirilmelidir. Bu geciktirme süresi betonun yüzeyinin işlenebilmesi için gerekli olan süreyi geçmemelidir. Beton hafif suyunu çektikten sonra tme yapılırsa çatlaklar oluşmaz, çatlaklar kapandığında bir daha görünmezler.

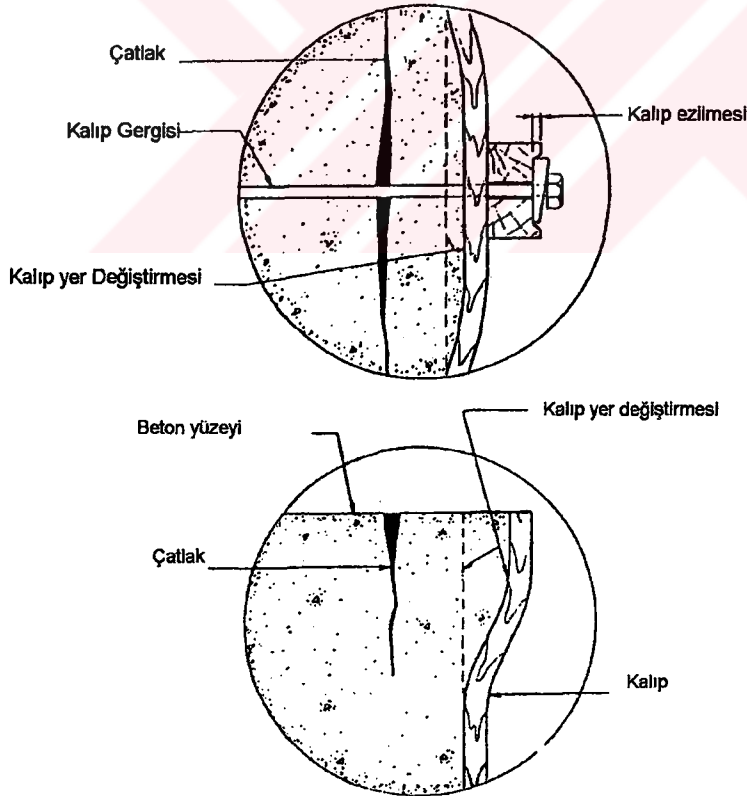


Şekil 2.1 Yapım süresince alt yapının yerel oturması nedeniyle oluşan çatlaklar.



### b. Düşey kalıpların oynamaları (hareketleri)

Çatlaklar betonun akıcılığını kaybetmeye başladığı sırada kalıpların hareket etmesiyle meydana gelebilir ve beton tamamen sertleştiğinde bu çatlaklar görünür. Bu çatlaklar betonun içinde olursa yüzeysel incelemelerde görülmezler. Beton kütle içerisinde su cepleri oluşturarak donma-çözülme etkisiyle şişip-inerek beton yüzeyinden parça kopmasına neden olabilirler. Aynı sonuç su ceplerine rastlayan donatının paslanması nedeni ile de oluşabilir. Böyle çatlakları önlemek için, kalıp elemanlarının betonla ilişkide olan yüzeylerinin su emmesini ve şişmesini önleyecek koruyucu bir kaplamayla kaplanması gereklidir. Ayrıca kalıpların sehim ve düşey eğilmeye karşı koyabilecek şekilde projelendirilmesi ve kontrol edilmeside gereklidir. Kalıplar dökülecek betonun yüksekliğine göre kontrol edilerek ve çizimlerine uyularak hazırlanmalı ve yanal destekleri yeterli olmalıdır. Çiviler kayma gerilmelerini emniyetle karşılayacak dirençte olmalıdır. Döküm sırasında bütün detaylar ve işçilik periyodik olarak kontrol edilmelidir.



Şekil 2.2 Betonun sertleşmesi süresince düşey kalıp oynamaları nedeniyle çatlaklar.

### **c. Vibrasyon**

Genelde vibrasyon çatlakları beton yerleştirildikten sonra, priz süresinde oluşur. Titreşim kaynakları yakın çevredeki trafik akışı, şahmerdanla çakma, kazı işlemleri, ayrıca vibratörle yapılan gecikmiş sıkıştırma, dikkatsiz işçilerin veya ekipmanın kalıp titreşimine neden olan darbelerdir. Bu olguları önlemek için, beton katılırken işçilerin kalıpları tezgah gibi kullanmasına izin verilmemelidir. El arabalarının kalıpların üstünden gidip gelmesine izin verilmemelidir. Az veya orta sıkıştırma yapılmış yumuşak toprakta çalışma yapan şahmerdan, beton dökülen alandan en az 15 m uzakta çalışmalıdır. Masif balçık veya silt şeklindeki kütlelerde beton tamamen sertleşmeden kazık çakma işlemi yapılmamalıdır. Beton sertleşirken ağır ekipmanlarla üzerinde yürümemelidir. Şeritler halinde beton dökme işlemlerinde, yeni dökülen betona vibrasyon yapılması yeni sertleşmeye başlayan eski betonda hasar oluşturabilir. Bu nedenle ya daha önce dökülen beton priz yapmamış olmalı yada mukavemetini tamamen kazanmış olmalıdır. Ağır trafiği olan yollara yakın çalışırken trafiğin etkisi düşünülerek gerekli önlemler alınmalıdır.

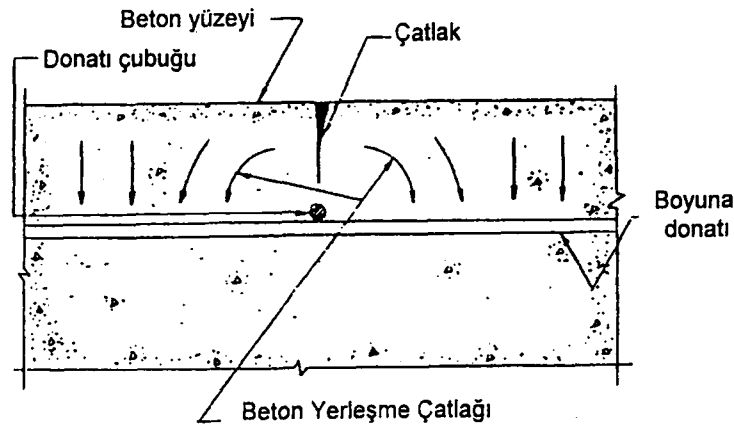
### **d. Taze betonun ayrışması -plastik rötre**

Beton döküldüğü sırada meydana gelen erken beton rötresi nedeniyle oluşan çatlaklardır. Genellikle beton matraste hafif olan su betonun üst yüzeyinde birikir. Bu olaya betonun su kusması yada terleme (bleeding) adı verilmektedir. Terleme, ıslanan çimento taneciklerinin bir süre sonra yumaklaşması (flokulasyon) ve iri tanelerin dibe çökmesi sonucu meydana gelir. Terlemede buharlaşan su fazla terleyen su az ise plastik-erken rötre meydana gelir. Beton yüzeyindeki suyun hızla buharlaşması ani yüzeysel büzölmelere ve derin çatlaklara yol açar. Sertleşen kısım ile alt tabakalarda henüz sertleşmemiş kısım arasında çekme gerilmeleri oluşması yüzeye yayılmış çatlakları oluşturur. Plastik rötre geniş beton yüzeylerde oluşmaktadır, rüzgar, bağıl nem ve sıcaklık büyük etkendir.

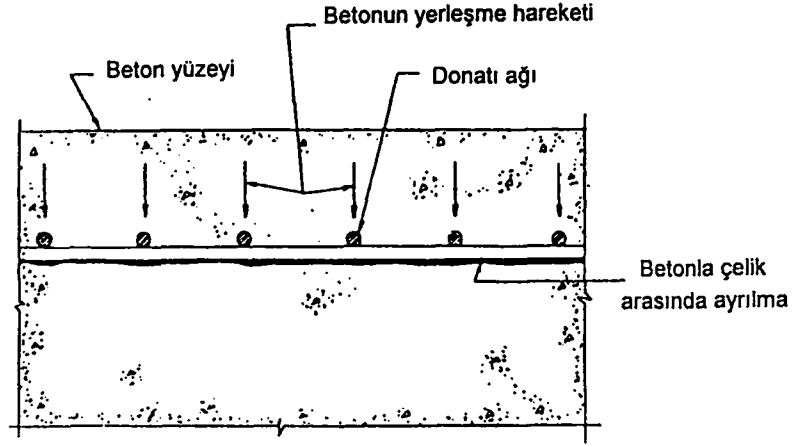
Akıcı beton sertleşmeye başlamadan önce akıcı matristeki ağır parçacıkların yerleşmesine neden olur. Bu tip yerleşmeler, daha önce yerleştirilmiş beton, donatı veya kalıp tarafından lokal olarak önlenirse çatlaklar ve/veya boşluklar oluşacaktır. Örneğin etriye betonun serbestçe dökülmesini önleyecek ve yüzeyde çatlaklar oluşturacaktır. Donatılar betonun

serbestçe yerleşmesine izin verirse bu tip çatlaklar önlenecektir. Bu tip yüzey çatlakları Şekil 2.3-a da gösterilmiştir. Kötü düzenlenmiş ve ağır hasır şeklinde aralıkları dar donatı çubukları nedeniyle beton aşağıya tam geçemiyorsa ani plastik rötreten ötürü donatı ile beton arasındaki aderans ortadan kalkar. Şekil 2.3-b deki gibi ayrılma düzleminin varlığı suyun donması veya çeliğin paslanması nedeniyle hasarların oluşmasına sebep olur. Çok esnek ve su sızdıran kalıplar kullanılması ve yetersiz vibrasyon yerleşme çatlaklarının derecesini artırabilir.

Şekil 2.3-a daki yüzey çatlakları yüzey bitirme işleminin geciktirilmesiyle kapanabilir. Beton döküldükten sonra kür işlemlerine başlamak ve betonun yüzeyinin sertleşmesini geciktirmek iyi bir önlem olabilir. Kuru iklimlerde, rüzgarlı günlerde ve sıcak havada betonun üzerini örterek korumak ve hemen kür uygulayarak önlem alınmak gereklidir. Yüzey iyi korunamıyorsa betona hava sürükleyici madde katarak plastik rötre önlenir. Yoğun, düşük çökme (slump) yapan plastik karışım tavsiye edilir. Mutlaka vibratörle sıkıştırma yapılmalıdır. Bitirmeyi geciktirmek ve hemen kürlenme yapmak içindeki düzlemsel ayrılma şeklini düzeltmeyecek veya önlemeyecektir. Kalın kütleli ve yoğun donatılı yapıda oluşabilecek böyle bir düzlemsel sürekli zayıflık düşünülerek izin verilebilecek yapışma (aderans) gerilmelerinin azalmasını dikkate alarak ve tekrar vibrasyon yaparak bu bozulmalar önlenmelidir.



Şekil 2.3.a Serbest dökülmeyen betonda çatlak



Şekil 2.3.b Sık donatıdan ötürü betonun ayrılması

Şekil 2.3 Betonda plastik rötre çatlakları

#### e. Bünyesel rötre

Betonun başlangıç prizi boyunca hacim değişimleri, yüzeysel çatlakların oluşmasına neden olabilir. Bu çatlakların karakteristik görünüşü ağ şeklindedir.

Kimyasal reaksiyonlarla çimento moleküllerinin su ile bağlanması sonucu oluşan kaçınılmaz bir rötre dir. Beton, su ile çimentonun toplam hacminden daha az bir hacim oluşturur. Karışım suyunun bir kısmı çimento molekülleriyle bağlanarak çimentonun bünyesine kristal suyu olarak girer ve betonun hacmi karışımın hacminden küçük olur. Bu rötre ye “bünyesel rötre” denir. Çimentonun sıcak olması bünyesel rötre yi daha da arttırır. Eğer beton karışımındaki kumda kil miktarı fazla ise rötre artar.

Bünyesel rötre kimyasal hidrasyon reaksiyonunun doğasında vardır, önlenemez, azaltılamaz nispeten küçük bir değerdedir.  $V_{su} + V_{çimento} > V_{beton}$

#### f. Erken kalıp alma

İnşaat sanayinde ekonomi ve hız gibi baskılar, betonun etkili dayanım kazanmasından önce kalıp ve desteklerin alınmasına neden olur. Gerektiğinden önce kalıpların alınması betonda ciddi çatlaklar oluşturur. Kirişler ve döşemelerin altındakiler hariç kolon ve kirişlerdeki yanal kalıplar önceden alınabilir. Perde ve yüksek kirişlerde kalıplar erken alınmamalıdır. Çünkü

yanal deplasmanlar sonucu dışardan görünmeyen boyuna çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar içine giren su donma-çözülme etkisiyle hasara neden olabilir. Beton dayanımını kazanıncaya kadar kalıpların sökülmemesi bu tür çatlakların oluşumunu önleyebilir. Kalıp alma işinde elemanın boyutları ve maruz kaldığı gerilmeler gözönüne alınmalıdır. Kalıbın alınma süresi 1 ila 4 hafta, ince kiriş yan kalıpları için ~3 gündür. Döşeme kalıpları 8 gün, kiriş dikmeleri ve büyük açıklıklı döşemeler 21 gün sonra alınır. Hava soğuksa kalıplar daha geç alınmalıdır (TS 500).

### 2.3.2 Rötire

Beton sertleşirken oluşan kimyasal reaksiyonlar çok geniş bir zaman periyodunda meydana gelir. Bu sertleşmiş beton rötiresi veya rötire olarak bilinen hacim küçülmesidir. Yapı bu hacim değişmesinin serbestçe oluşmasına direnç gösterirse, oluşan gerilmeler beton kütlenin çatlamasına neden olabilir.

Bu rötire, sertleşmiş beton içindeki jel suyunun buharlaşması ve sonuçta jeldeki katı ögelerin birbirini daha kuvvetli elektrostatik kuvvetlerle çekmesi sonucu oluşur. Hidrolik rötreyi arttıran faktörler; beton içindeki çimento miktarı (dozaj) fazlalığı (450 kg/m<sup>3</sup> ten fazla olamaz), beton karma suyunun fazlalığı (fazla suyun buharlaşması rötreyi arttırır), agreganın inceliği (ıslatma suyu artar) ve elastik modülünün düşüklüğüdür. Rötreyi arttıran dış faktörler ise dış ortamın kuru, rüzgarlı ve sıcak olmasıdır. Havaya açık yüzeyi fazla olan yapı elemanlarında rötire oranı daha yüksektir. Elemanın serbestçe rötire yapmasına izin verilmezse çatlaklar oluşacaktır. Bu çatlaklar çok ince yerlerde, dal ve hurdi döşemelerde, derz bırakılmayan döşemelerde, donatısız plaklarda daha fazla meydana gelir.

#### Önlemler:

Sertleşmiş beton rötiresinin miktarı, erken yüksek dayanımlı çimento kullanılarak azaltılabilir. Verilen karışım ve çimento cinsi, rötirenin oranını küçük bir miktar azaltabilir. Rötreyi azaltmak için; (1) dilatasyon derzlerinin yapıda sık kullanılması ile yapının büzülmeye karşı gösterdiği direnci azaltılır yada önlenir, (2) çatlakların oluşumunu ve büyüklüğünü azaltacak ve gerilmeleri dağıtabilecek yeterli miktarda donatı sağlanmalıdır, (3) agregayı ve karışım suyunu soğutulabilir.

### 2.3.3 Termik gerilmeler

#### 2.3.3.1 Atmosferik ısı değişimleri; hava şartlarının değişmesi;

Sertleşmiş beton kütleinin ısısındaki değişimler, kütlede hacım ve şekil değişimlerine neden olabilir. Yapının, bu şekil ve hacım değişimlerinin serbestçe oluşmasına direnç göstermesi gerilmeler yaratır. Bu gerilmeler betonun çekme bölgesinde çatlaklar oluşturur.

Yaz sonu veya sonbahar başı yapılan zemin üzerindeki bir döşemede, kış boyunca atmosferik ısı ve döşemedeeki betonun ısısının 40°C den fazla düşmesiyle her 30 m uzunluğundaki döşemenin uzunluğu 1.2 cm azalacaktır. Boydaki bu azalma alttaki zemin ve döşeme arasında sürtünme nedeniyle direnç görecektir. Eğer sürtünme, hareketleri önleyecek etkinlikteyse beton kısım 60 kgf/cm<sup>2</sup> lik çekme gerilmesi etkisinde kalacaktır ki bu betonun çekme dayanımından çok fazladır.

Örnek:

$l_0 = 30$  m döşeme uzunluğu

$\Delta T = 40^\circ\text{C}$  Yaz -kış sıcaklık farkı

Beton termik genişleme katsayısı  $\alpha_T = 10 \times 10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}$

$\Delta l = \Delta T \times l_0 \times \alpha_T = 40 \times 3000 \times 10 \times 10^{-6} = 1.2$  cm

$$\epsilon = \Delta l / l = 1.2 / 3000 = 0.4 \times 10^{-3} \quad E_{\text{beton}} = 300000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = \epsilon \times E = 0.4 \times 10^{-3} \times 300000 = 60 \text{ kgf/cm}^2$$

Betonda oluşan çekme gerilmeleri, basınç gerilmesinin 1/10 dur. BS 20 için çekme gerilmesi ~20 kgf/cm<sup>2</sup> dir. Beton bu kadar gerilmeyi karşılayabiliyorsa 60-20 = 40 kgf/cm<sup>2</sup> lik gerilmeyi karşılayacak aralıkta derz bırakılması zorunludur. Bu nedenle 10 metrede bir dilatasyon derzi bırakmak gerekir.

Termik gerilmelerin hasar oluşturduğu diğer genel oluşum durumu binaların temel duvarlarındadır (Şekil 2.4). Kışın temel duvarı kısalmaya çalışacaktır. Temel papuçları zemin yüzeyinin altında nemli bir çevrede ve ısı değişimleri daha kararlı olduğundan, uzunluğunda bir değişme olmayacaktır. Kat döşemesi sıcak bir çevrede olduğundan uzunluğu değişmeden kalacaktır. Sonuçta çatlak modeli Şekil 2.4 de görüldüğü gibi döşemeye yakın yerlerde çatlak genişliği en fazla, yukarı doğru ve toprak seviyesinde azalan şekilde

oluşacaktır. Benzer durum, çatının sıcak, parapet duvarının soğuk olması nedeniyle, dış duvarlarda döşeme ve çatı ile kesişim yerlerinde de oluşur. Bu hasarlar üniform olmayan termik gradientler nedeniyle oluşur.

Üçüncü önemli durum, eski beton yapıya benzer malzeme ile yeni beton yüzey oluşturmaktır. Termik genişleme katsayısı farklı iki malzeme kompozit eleman olarak üniform (eşit) genişleme yapamayacak ve kesit ciddi gerilme şartları nedeniyle çatlayarak hasar görecektir. Betonda termik genişleme katsayısı  $5-13 \times 10^{-6}$  arasında değişir, çimento hamurunda  $14 \times 10^{-6}$  dır. Bu tip çatlaklarda atmosfer etkisi çatlağı oluşturur, genişleme ise çatlağı ilerletir.

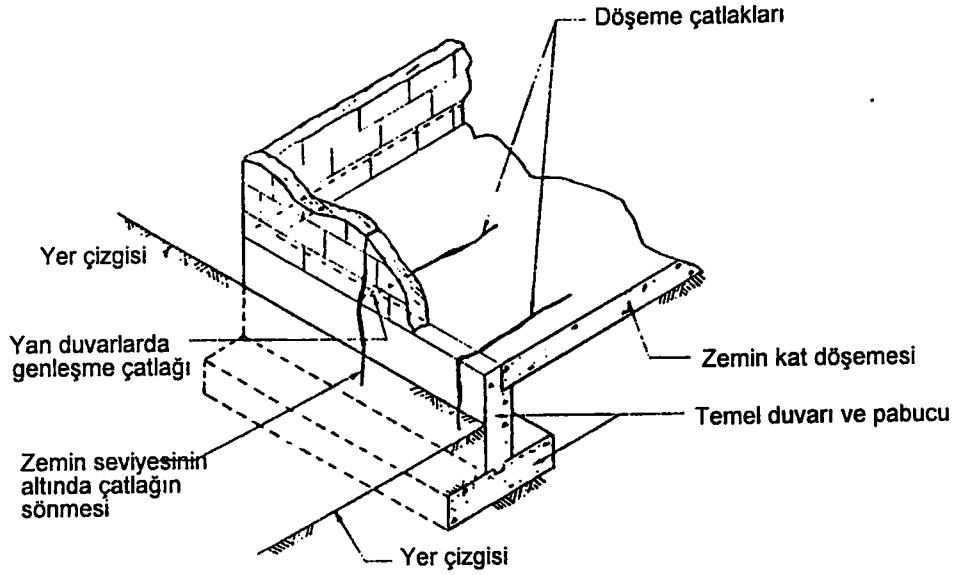
Önlemler ;

Sertleşmiş beton rötresindekilere benzer önlemler alınır. Yapının serbestçe genişlemelere izin vermesi için gerekli dilatasyon derzleri sağlanmalıdır ve gerilmeler dağıtılmalıdır. Yol kaplamalarında 10 -14 m aralıklarla dilatasyon derzleri bırakılmalı, ısı nedeniyle oluşacak gerilmeleri üniform dağıtacak %0.20-0.25 civarında donatı sağlanmalıdır. Bazı durumlarda bunu sağlamak pek kolay olmayacaktır. Örneğin binalarda çözüm için uygun derz sağlanmazsa, kritik alanlarda derzlerin mantıklı şekilde yerleştirilmesi ve donatının yorulma problemine dikkat edilmesi gereklidir. ( ACI -504 Derz izolasyonu, ACI -302 Döşemelerde kontrol derzlerinin yerleşim bölgeleri)

En büyük problem rötre donatısının gerekli miktarını saptamaktır. ACI Building Code(318) ta duvarlar, çatı döşemeleri ve döşemelerde kullanılacak minimum donatı aralıkları ve miktarı verilmiştir.(min %0.2 - 0.25 ile verilmiştir). Örneğin kirişin yüksekliği fazla ise gövdede çatlak olmaması için gövde donatısı (rötre donatısı) koymak gerekir. Termik etkiler nedeniyle problem çıkaracak bölgeler; kapı ve pencere üstüne yapılan saçak ve markizler, çatı ve pencere parapetleri, kornişler, okul yurt gibi binalarda bina uzunluğuna göre dar döşemelerin bulunduğu yerlerdir.

Hurdi döşemelerde donatılara paralel çatlamlar termik etkiler nedeniyledir. Çatlamları önlemek için  $\phi 6$  lık ince dağıtma donatıları sık olarak yerleştirilir. TS 500 de tek yönlü döşemeler için dağıtma donatıları oranları esas donatının enaz  $1/5$  i ve BÇ-I için  $\phi 6/25$ , BÇ-III için  $\phi 6/30$  olarak verilmiştir.

Diğer bir çözüm beton elemanlara izolasyon yapılarak ısı etkilerini azaltmaktır.



Şekil 2.4 Yapıda ısı değişimleri nedeniyle çatlaklar.

### 2.3.3.2 Betonun iç sıcaklığında değişimler

Beton içindeki hacim değişimleri içsel (bünyesel) ısının değişimleri sebebiyle oluşabilir. Suyun çimentonun bünyesine girmesi sonucu oluşan kimyasal bir olay olan hidrasyon nedeniyle ortaya bir ısı çıkar. Üretim süresince hidrasyon ısısı nedeniyle sıcaklığı yükselen betonun sertleştikten sonra soğuması termik kısılmalara diğer bir deyişle büzölmelere neden olur. Bu büzölmelerin serbestçe oluşamadığı durumlarda beton çatlak ve geçirimsizlik özelliğini kaybeder. Termik kısılmalar sonucu oluşan bu büzölmeye “termik rötne” denir. Hidrasyon devam ettiği sürece hidrasyon ısısı yayılmaya devam eder, ancak miktarı giderek azaldığı için beton kütesinin sıcaklığını arttırmaya yetmez. Hidrasyon ısısının yüksek olmasında en önemli faktör çimentonun inceliğidir. Bunun yanı sıra çimentodaki karma oksitlerin etkisinde büyük önem taşır. Ençok ısı verenden az ısı verene doğru sıralaması  $C_3A$ ,  $C_3S$ ,  $C_4AF$  ve  $C_2S$  şeklindedir.

Barajlar, kütle temeller, jeneratör türbinlerinin temel pabuçları gibi kütleli dökülen betonunun sertleşme (priz) süresince ısı çıkarması nedeniyle hasarlar oluşur. Bu olayda agreganın termik genişleme katsayısının betonunkinden farklı olması da etkindir, fakat az biliniir. Her  $cm/^\circ C$  de  $2.6 \times 10^{-6}$  cm farklıdır.



Beton, ısının artması nedeniyle önce hacminde bir değişimin etkisinde kalır. Daha sonra ısı artmaz, fakat hacim değişimleri içsel veya dış ısıdaki değişimlerle üniform olmayan bir şekilde etkilenir. Hacim değişimleri ve şekil değişimleri serbestçe oluşamazsa gerilmeler doğar ve çatlaklar meydana gelir.

Önlemler;

Sertleşmiş beton rötresindeki önlemlerle aynıdır (derz,donatı,malzemeyi soğutma), ek olarak kullanılan agreganın termik genleşme katsayısının uyumlu olması önerilebilir. Bu uygunluğun sağlanması için çimento ve agreganın kaynağının (menşenin, alındığı yerin) bilinmelidir. Kaynakları bilinmeyen daha önce kullanılmamış malzemelerle çalışıldığında laboratuvarlarda sağlamlık testleri, organik yapısı vb. testlerinin yapılması ve termik özelliklerinin saptanması gereklidir.

### 2.3.3.3 Yangın etkisi

Yangın etkisinde beton yanmaz, mukavemetini kaybeder. Yüksek sıcaklığın net etkisi, sıcaklığın eriştiği yüksekliğe ve sıcaklığın etkideği sürenin uzunluğuna bağlıdır.Yüksek sıcaklık etkisiyle betonda ciddi bir zayıflama ve ayrışmalar olacaktır. Ciddi yangın etkisi ve dağılımlarını etkileyen faktörler; tutuşabilir malzeme miktarı, yeterli hava gelişi ve havalandırma, yangın bölmeleri, yangın duvarları veya ek yangın yüküdür. Yangın etkisindeki yapı malzemelerinin davranışı kullanılan yapı malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Betonun fazla suyu yüzey tabakasından uzaklaşır ve yüzeyde rötne çatlakları oluşur. Isı 100°C civarında maruziyet süresi uzasa bile betonda çimentonun bünyesindeki suda önemli bir kayıp olmayacaktır. Sıcaklık 100 °C nin üzerine çıktığında bünyedeki kimyasal olarak birleşmiş su, hidrate kalsiyum silikat'tan ayrılır. Bu kaybın miktarına bağlı olarak betonun dayanımı düşer. Beton soğuduğunda daha fazla dayanım kaybı olmayacaktır. Eğer sıcaklık 400 °C nin üstüne çıkarsa çimento hamurundaki kalsiyum silikatlar, silikat ve sönmemiş kirece ayrılır. Beton soğuduğunda sönmemiş kireç ortamdaki nemi absorbe ederek sönmüş kirece dönüşür. Bu dönüşümlü süreç beton dayanımını azaltarak betonda ayrışma etkileri oluşturur.

150°C civarında betonun çekme mukavemeti azalmaya başlar, çatlama kolaylaşır. 315°C den sonra basınç mukavemeti düşmeye başlar. Sıcaklık 500 °C ye çıktığında betonda yumuşamalar başlar hacim genişlemeleri oluşur, bunun sonucunda ise parça kopmalar başlar. Yüzeyde basınç gerilmeleri oluşurak makaslama oluşturur ve çatlaklarla birlikte parça kopmaları başlar. Donatının varlığı parçaların atmasını önleyecektir.

Yangında beton büzölmek isteyecek çelik ise genişlemek isteyecek bu nedenle aralarındaki aderans yok olacaktır. Donatılar kalınsa bu aderans kaybı daha çok olur. İnce donatı kullanmak yangına dayanıklılık açısından daha iyi olacaktır. Donatı üzerindeki beton örtünün yeterli miktarda olması donatıyı yüksek sıcaklık etkisinden belirli bir oranda koruyacaktır. Yangından sonra donatıların uzadığını ve betonu patlattığını görebiliriz. Döşemelerde paspayının kirişlerden daha az olması nedeniyle, yangın etkisinde döşemelerde, kirişlerden daha büyük hasar oluşur. Yangına maruz kalmış betonun rengine bakarak geçirdiği şokun derecesi belirlenir. 300°C nin üstünde renk pembedir, 600°C de renk gri beyazdır.

#### **a- Yüksek sıcaklığın beton üzerine etkisi**

Beton dayanımı ısınma oranı, ısının süresi, etkiyen yük, agrega tipi ve boyutu, çimento dozajı, çimento/su oranı ve sıcaklık değişimlerinden etkilenir. Yüksek sıcaklık sonucunda betonun basınç dayanımında azalma, çekme dayanımında azalma, betonda ayrışma, dökülme ve çatlaklar oluşur. Bu oluşumlar aşağıdadır:

1. 300 °C nin üzerinde ısılarda basınç dayanımı önemli ölçüde azalır.
2. Çekme dayanımı hemen azalır ve ısının artmasıyla azalma sürer.
3. Betonun renk değişimi ısının yüksekliğine ve agreganın tipine bağlıdır.
4. Çimento ve agreganın termik özelliklerinin farklı olması içsel kesme kuvvetleri yaratır.
5. Beton iç ısısındaki termik değişimler agreganın kohezyonunu azaltarak betonda ayrışmalara ve çatlaklara neden olur.
6. Betonda dökülmeler; a)-İlk 30 dakika aşırı ısı etkisinde betonda patlayarak dökülmeler oluşur. b)-betonun bünyesine aldığı suyu kaybetmesi 150°C de başlar 425 °C de tamamlanır, kabuk kabuk kapak atmalar başlar. c)-Daha düşük ısılarda kiriş ve kolonlarda bozucu olmayacak derecelerde ayrışmalar (separation) ve kabuklanarak dökülmeler (sloughing off) oluşur.

## 7. Betonda çatlaklar;

-Yüzeyi kaplamış çok miktarda ince çatlak

-Geniş çatlaklar veya mesnetlerin yakınında donatının ankraj kaybı nedeniyle olabilecek çatlaklar.

8. 300°C nin üzerinde ıslarda su oranının azalması sonucu beton basınç dayanımında küçük bir azalma olur, fakat bu değişimin dayanımı etkilemediği kabul edilebilir.

9. 300°-600°C arasındaki ıslarda betonun rengi pembedir ve sağlam gibi görünür, dayanımı önemli ölçüde azalmıştır. Bu ısıda betondan parçalar dökülecektir, eğer parça kopması yoksa beton birbirine yakın aralıktaki çatlaklarla zedelenmiştir ve elemanın ana kütlelerinde 25-50 mm kalınlıktaki tabakada çatlaklar olabilir.

10. 600°C nin üzerinde beton açık gri renk alır, 900°C nin üzerinde deve tüyü renginde görünen beton zayıflamış ufalanmış veya kırılanlaşmıştır(gevrekleşmiştir).

11. Yüksek ıslarda betonun davranışına etki eden agrega tipleri; karbonatlı agregalar (kireçtaşı , dolomit), silisli agregalar (granit, kuartz, kumtaşı) ve hafif agregalardır (şeyl ve şist). Karbonatlı agregalar 700°-1000°C aralığında kimyasal değişikliklere uğrar, silisli agregalardaki kimyasal yapılarında değişimler genelde yangın etkisinde oluşmaz. Beton yüzeyine yakın hafif agrega standart testlerde 4 sat süreli yangın etkisinden sonra yumuşamaya başlamışlardır. Agregalarda allotropik değişmeler; kimyasal yapısı aynı olan (SiO<sub>2</sub>) 570°C ye kadar kuvartz -2.65 kg/dm<sup>3</sup> , 570°C de tridimit - 2.22 kg/dm<sup>3</sup> gibi bir hacim büyümesi yapmaktadır.

12. Beton yangın hasarlarına direnç açısından diğer yapı malzemelerine göre önemli derecede avantajlıdır ve ciddi yangın etkilerinde kolayca onarılabilir. Bunun nedeni yüksek ıslarda betonun ısı iletkenliğinin düşük olmasıdır.

13. Kireç söndüğünde %44 e varan hacim genişlemesi olur. 400°C de %33 bir hacim büzülmesi olur.

## b- Yüksek ısının donatı çeliğine etkisi

Yüksek ısı donatı çeliğinin dayanımı ve stabilitesi etkiler. Bu etkiler;

1. Yüksek ısıda dayanım kaybı olur. Çeliğin akma sınırında azalma oluşur. 550°C de çelikteki gerilme orijinal akma gerilmesinin %50 si kadardır.

2. 500°-600°C ısı etkisinden sonra soğuduklarında bütün çubuklar orijinal akma dayanımlarını kazanırlar.
3. 800°C ısı etkisinden sonra soğuduklarında soğuk işlem görmüş çeliklerin akma dayanımı %30, sıcakta çekilmiş çubukların dayanımı %5 azalır.
4. Yüksek sıcaklıkta basınç gerilmelerinin etkilemesi sonucunda donatı çubuklarında burkulmalar meydana gelir.

#### **c- Yüksek ısının öngerilme çeliğine etkisi**

Öngerilme çelikleri ısı değişimlerine karşı çok hassastır ve performansları etkilenir.

1. Yüksek sıcaklık etkisi donatı çeliğinkinden çok daha kritiktir.
2. Çeliğin ıssısı 400°C ye ulaştığında öngerilme liflerindeki gerilmeler orijinal gerilmenin %50 si kadardır.
3. Relaksasyon nedeniyle öngerilme kuvvetinde kayıplar meydana gelir.

#### **d- Yüksek ısının çelik yapılara etkisi**

Yüksek sıcaklık etkisinde yapının stabilitesi, ve performansı azalarak etkilenecektir.

1. Özellikle birleşimlerde uzamaya direnç gösterilmesi (restrained) nedeniyle ısınan elemanların bükülmesi.
2. Yüksek ısı ile sünekliği artıp dayanımı azalan elemanların göçmesi.
3. Soğuduktan sonra metalin mekanik özelliklerinin değişimi, orijinal tasarım kabullerini değiştirir.

Yangın etkisinde kalan yapılarda yangının kalıcı etki yapıp yapmadığı incelenir. Donatılar parça kopmalarını önleyecektir. İnce donatı kullanılmalı ve yeterli kalınlıkta beton örtü sağlanmalıdır.

**Önlemler;**

Yangının çıkış olasılığını azaltmak, yangının yayılışını önleyici yada yavaşlatıcı önlemler almak, yapıyı yangına dayanıklı olacak şekilde tasarlayıp hesaplamak.

#### 2.3.4 Betonun su emmesi

Bütün betonlar farklı derecelerde gözeneklidir. Yapının farklı kısımlarında, aynı kişi tarafından, aynı özelliklerde, aynı malzemelerle imal edilmiş yapının bir kısmında ciddi bozulmalar ve diğer kısmında zayıflıklar olabilir. Nedeni betonun su emme miktarındaki farklılıktır. Bu işçilikte değişiklikler sonucu gözenek miktarındaki farklar ve dış etkenlerin farkları nedeniyledir.

Betonun su emme miktarı arttığında beton şişer. Betonun şişmesi, yaşına, boşluk oranına (porozitesine), agrega tipine ve başlangıçtaki su ihtivasına bağlıdır. İyi bir betonda şişme oranı %0.01 iken kötü betonda %0.05 dir. Araştırmalarda 3.90m çapında beton sütunun 15cm lik büyüme oluştuğu, 0.6 cm çelik kaplı 1.80m çapında beton sütunda ise genişleme çeliğin yırtılmasına neden olduğu görülmüştür. (Johnson,1965). Şişme önlenmezse çatlaklar ve parça kopmalar oluşacaktır.

Betonun boşluklarına giren su donma-çözülme etkisiyle de hasar oluşturabilir. Hacim genişlemeleri, rötrenin tersine “şişme”ye neden olacaktır. Suyun çekilmesiyle büzölmeler oluşacaktır. Şişmeye direnç gösterildiğinde rötrenin tersine basınç ve kayma gerilmeleri oluşacaktır. İnce agregalı betonlarda rötre nasıl yüksek değerlere ulaşıyorsa, şişme de özellikle sıvalarda yüksek değerlere ulaşacaktır. Betonun içindeki iri agregalar şişmeyi önleyecektir.

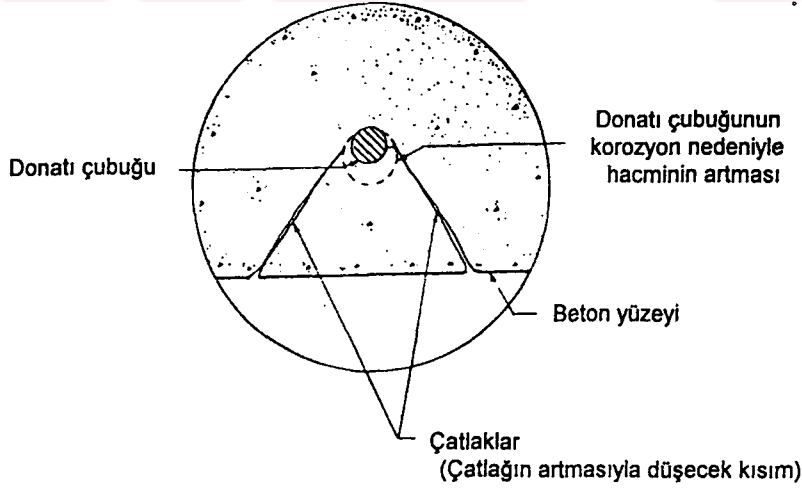
Şişmenin ençok hasar oluşturduğu yerler su depolarındaki dışa açık yerlerdir. İçerdeki su emilir ve kurur. Basınçlı su veriliyorsa, daha ince boşluklara girebilen sular hidrolik gradiyentler oluşturarak hasara neden olur.

Önlemler;

Su ihtivasının artması nedeniyle şişmenin önlenmesi sağlanamaz. Sırayla ıslanma kuruma etkisindeki yapılarda çözüm betonun genişlemelerine izin vermek veya betonu devamlı ıslak tutarak alttaki kütlenin kurumasını önleyecek ağır ahşap manto ile kutulamaktır.

### 2.3.5 Donatının paslanması

Beton yapılarda çevresel etkilerin neden olduğu en önemli hasarların başında donatı paslanması gelir. Pas oluşması için su ve hava aynı anda bulunmalıdır, ortamın elektrolitik oluşu elektrokimyasal paslanmaya yol açar. Paslanma nedeniyle oluşan çatlaklar donatı yörüngesini izler ve çatlakta pas lekeleri görülür, paslanmanın ileri aşamalarında çatlaklar parça kopmasına dönüşür, (Şekil 2.5). Betona yerleştirilmiş donatı çubuğu betonun alkalitesi nedeniyle korunur. Çimento hamurundaki alkalinite nedeniyle pH 12.5-13.5 oranındadır. Bu yüksek alkalinite çelik etrafında koruyucu bir pas tabakası oluşturarak çeliği korozyona karşı korur. Betonarme yapılar taşıyıcı özelliklerini bünyelerindeki çelikten alırlar. Donatı yüzeyden birkaç cm içeri yerleştirilir. Eğer donatı hava ve su etkilerine maruz kalırsa paslanacaktır. Korozyon nedeniyle okside olan çelikteki hacim artışı esas metalin 6 katıdır. Bu artış sonucu beton örtü çatlar ve parça kopar. Ortamdaki klor iyonlarının varlığı paslanmayı hızlandırır ayrıca oksijene gerek duymayan elektriksel paslanmaya yol açar. Betonda paslanmayı önleyen alkali pasivasyon yeteneği betonun karbonatlaşması ile yitirilir. Gerekli önlemler ve onarım metodları uygulanmazsa bu hasar yapının göçmesine neden olabilecek ciddi sonuçlar doğurur.



Şekil 2.5 Donatının paslanması nedeniyle çatlak.

### a- Elektro-kimyasal etkiler nedeniyle korozyon

Yapılarda korozyonun oluşması için elektrolitik iletkenlik gereklidir. Betonarme elamanlar gözenekli yapıları ve çatlak oluşumuna uygun olmaları nedeniyle bünyelerinde su bulundururlar. Bu durum elektrolitik iletkenliği sağlar. Ayrıca elektron akışını sağlayacak bir elektriksel iletkenin bulunması gereklidir. Bu iletkenlik betonarme çeliği ile sağlanır. Böyle bir ortamda donatı çeliğindeki demir elektron vererek ayrılır iyon haline geçer ve korozyon başlar. Demirin elektron verdiği bölge anot bölgesidir. Burada oluşan reaksiyon anot reaksiyonu olarak tanımlanır.

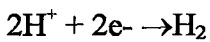
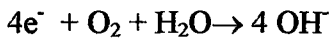
Anot reaksiyonu:



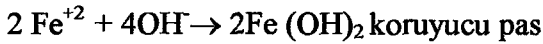
Ortaya çıkan elektronlar donatı üzerinden katoda gider. Katot bölgesi oksijen ve su bakımından zengin olan bölgedir. Buradaki oksijen ve su pas payına kadar ulaşan çatlaklar ve betondaki birbirine bağlı kılcal boşluklar sayesinde dış ortamdan gelir. Beton içindeki boşluklarda bulunan su da oksijen içermektedir fakat reaksiyonun oluşmasına yeterli değildir ve kesinlikle dış ortamdan oksijen ve su girişi gereklidir. Kötü hazırlanmış betonlarda çatlak ve boşluklar fazla miktarda olabileceği için katot ve anot birbirine çok yakın olabilir yada ikisi yanyana olabilir. İyi hazırlanmış az boşluklu ve daha az çatlaklı betonlarda anot ve katot bölgeleri birbirinden daha uzakta oluşacaktır. Bu nedenle korozyon daha yavaş ilerler.

Anottan katoda gelen elektronlar burada  $\text{O}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  ile reaksiyona girerek  $\text{OH}^-$  oluştururlar.

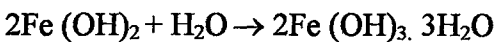
Elektronların sarfedilmesi olayına katot reaksiyonu denir. Katot reaksiyonu:



$\text{OH}^-$  ortamın elektrolikliği sayesinde anota ilerler. Burada serbest kalan  $\text{Fe}^{+2}$  lerle birleşerek  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  oluştur ve demir hidroksit olarak demir hidroksite dönüşür ve hacim artışı oluşur.



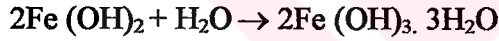
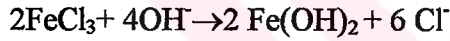
Demir hidroksit kolayca su alarak hacimca genişleyebilir. Bu hacim artışları iyon halindeki demir hacminin 6 katıdır. (Mehta,1986). Kararsız ve çözünen bu demir hidroksit çevredeki su ve oksijenle birleşerek kararlı pasa dönüşüp anot çevresine birikir.



Bu reaksiyonlar sonucu koruyucu paspayı tabakası çatlar ve yapıdan ayrılır. Betonarme çeliği içinde bulunduğu pH değeri yüksek (pH 12) ortam da üzeri pasivasyon tabakasıyla kaplıdır. Ortamın pH 1 düştüğünde beton içine giren klor ve sülfat iyonları gibi zararlı maddeler çeliğin pasivasyon tabakasını zedeler.

Klor etkisi :

Beton içine çeşitli dış etkilerle giren klor betonarme çeliğinden demiri kopararak demir klorüre dönüştürür ve elektron açığa çıkarır. Katotta oksijen ve suyla birleşip hidroksit oluşturur. Hidroksitle reaksiyona girerek demir oksit oluşturur ve klor serbest kalır ve reaksiyon tekrarlanır.



Katot hemen anotun yanında yer alabildiği gibi farklı elemanlar da anot ve katot gibi davranabilir. Yapıdaki kiriş kolon veya döşeme donatıları gibi herhangi bir eleman olabilir. İki eleman arasındaki elektriksel iletkenliği etriyeler sağlar. Ortamdaki su elektrolitik iletkenlik sağlayacak ve korozyon ilerleyecektir.

Epoksi kökenli malzemelerle veya diğer malzemelerle kaplanarak korunmuş çelikteki kaplama kusurları bu bölgelerin anot gibi davranmasına ve oyulma şeklinde korozyona sebep olur. Kısmen suya batmış elemanlarda korozyon etkisi tamamı su içinde olanlardan çok fazladır.

Önlemler;

Donatı paslanmasını önlemek için, çeliğin su ile temasından, oksijenin varlığından veya suda çözülmüş oksijenden korunması gerekir. Bu en iyi şekilde donatının yoğun bir beton kütle ile kutulanması ve yeterli örtü kalınlığının sağlanmasıyla başılır.

Tasarımda su birikintileri oluşturacak detaylardan kaçınılmalıdır. Sık ve yeterli genişlikte tahliye delikleri olmayan oluklar kullanılmamalıdır. Yatay yüzeylerin eğimleri her 32 cm için



0.16cm yani %2 ve tercihan %4 olmalıdır. Parapetlerin üzerinde eğim oluşturmaya dikkat edilmelidir. Eğim yapıdan dışarı doğru olmalıdır. Ek olarak sızdırma (tahliye) delikleri açık tutulmalıdır. Çatılar balkonlar kornişler gibi su alacak yapıların benzer damlalık özellikleri açık tutulmalıdır.

#### **b- Elektriksel etkiler nedeniyle korozyon**

Suyun varlığı, özellikle tuzları içeren suyun varlığında beton elektriksel bir iletkendir. Başboş (stray) elektrik akımının varlığı çelik üzerinde elektrolitik etkiler yaratır ve şiddetli korozyona neden olur. Başboş elektrik akım kaynakları daha çok tesadüfidir, örneğin topraklama veya kaçaklardan olabilir, miktarı fazla olursa ihtiyatlı olunmalı katodik koruma uygulanmalıdır.

Sülfatlar, kloritler ve karbonatlar korozyonda yardımcı rol oynarlar. Deniz suyu korozyonun temel kaynaklarından. Beton karışım suyu olarak kullanılmamalıdır, çünkü çimentonun hidratasyonu süresince tuzlar tamamen dağılmazlar. Kalsiyum ve magnezyum kloritler, betonun prizini hızlandırıcı olarak antifriz olarak kullanılırlar ve aşırı miktarda olurlarsa korozyonu artırıcı etkileri vardır.

Klor betonda koruyucu pas tabakasını tahrip eder. ( $Cl^- > 0.6 OH^-$  ise  $Fe(OH)_3$  bozulur). Klor metal üzerine etkiyerek anodik reaksiyonda kataliz etki ile pas oluşumunu hızlandırır. Klor asit karakterli olduğundan ortamın pH ını düşürür ve depasivasyon oluşturur, ayrıca klor ortamın elektrikselliğini artırarak iyonlaşmayı artırdığından korozyon artar.

Donatı üniform kompozisyonda değilse, korozyon etriye ile ana çubuklara saldıracak ve daha çok ikisinin birleşim noktalarında ve bağ telleri ve çubuklar arasında etkili olacaktır. Eğer kesit içinde donatı üniform dağılmışsa ve aynı kaynaktan sağlanmışsa (a) şikkında dikkat çekilen durumlar geçerlidir.

Önlemler ;

Betonun su ve klor iyonlarına karşı geçirimsizliğini sağlamak; polimer katkıları kullanmak beton yüzeyi geçirimsiz karışımlarla kaplamak.

Donatıyı paslanmaya karşı koruyucu boya ve benzeri malzeme ile kaplamak; epoksi, poliyester, bitüm ile kaplamak, galvenize çelik kullanmak.

Katodik koruma uygulamak; a) harcanan anot kullanmak; bunun için daha aktif metaller kullanılarak esas metal katot konumuna getirilir, b) dışardan akım uygulayarak korozyon akımını düşürmek; hasar gören anot ters yönde gönderilen doğru akımla katoda çevrilir. Anot fonksiyonu göreceğ malzemeler daha atıl malzemelerdir, ömürleri harcanan anotlardan daha uzundur.

### 2.3.6 Kimyasal reaksiyonlar

Betonda kimyasal hasar oluşturan etkiler üç ana başlık altında toplanabilir.

1-Betona agresif etki yapan kimyasal maddeler, bunlar;

- a- Zemin suyu ve yeraltı suyunda bulunan çözünmüş (bozucu) agresif maddeler,
- b- Yapı etrafındaki havada bulunan (bozucu) agresif etkenler, (Sülfür, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> gibi).
- c- Kimyasal maddeler .

2- Beton bileşenleri arasındaki kimyasal reaksiyonlar;

- a- Alkali-agrega reaksiyonu,
- b- Beton karışım suyunun tuzlu su veya deniz suyu içermesi.

3- Biyolojik etkiler

Zararlı su ve hava betonda kimyasal sebeplere dayanan korozyon hasarı oluşturur. Bu hasarlar ıslanma-kuruma, donma-çözülme, erozyon, kavitasyon gibi fiziksel etkenler sonucu daha büyük boyutlara ulaşır. Beton üretiminde sağlam olmayan ve bozulmuş malzeme kullanılması da hacimde değişmeler, çatlak oluşumu vb. çeşitli hasarlara neden olur. Dış ortamdaki agresif etkilerin dışında betonu oluşturan bileşenlerin de bazı durumlarda birbirleriyle tepkimeye girmesi, örneğin alkali-agrega reaksiyonu vb., betonda hasar oluşturur. Beton karışım suyu temiz ve içilebilir olmalı, kullanılan katkıları bozucu reaksiyonlar oluşturmamalı ve malzemeler beton dökümü süresince yada önce bozulmamış olmalıdır.

Kimyasal etkilere karşı, çimento için ASTM C 150, agrega için ASTM C 33 de malzemeler için şartlar verilmiştir.

Betona agresif etki yapan kimyasallar üç ana katagoriye ayrılabilir:

- i) Asitler; Portland çimentosundaki alkalilerle ve kalkerli agregalarla reaksiyona girer. ayrıca çatlaklardan betona giren asit, donatı çubuklarına ulaşarak çelikte korozyon oluşturur ve bunun sonucunda betonda parça kopmaları oluşur. bu durumda hasarlar asitin doğrudan betona yaptığı etkiden çok çeliğin korozyonu nedeniyle oluşacaktır.
- ii) Amonyum bileşenlerinden bazıları; önce asit korozyonuna, ikinci aşamada genleşme ve betonun parçalanmasına neden olurlar.
- iii) Sülfatlar : Sülfat etkisi sonucunda; etrenjit oluşumu ve aşırı genleşme ve betonun ayrışması şeklinde bozulma oluşur.

Kimyasal agresiflerin (bozucuların) etken olabilmesi için mutlaka bir solüsyon içinde olmaları gerekir. Tamamen kuru bir beton ile tamamen kuru amonyum nitrat arasında hiçbir kimyasal reaksiyon oluşmaz. Fakat bu tamamen kuru olma hiçbir zaman var olmaz, nem mutlaka mevcuttur. Kimyasal saldırılar betonda agregalardan çok çimentoyu etkiler. Agregalar kalkerli olursa asitlerden etkilenirler.

### 2.3.6.1 Beton üzerine bozucu etki yapan maddeler

#### a- Zemin suyundaki bozucu (agresif) etkenler

Zararlı suların beton üzerine etkileri üç ana gruba toplanabilir;

I.Grup korozyon; betonun yıkanmasıdır. Düşük karbonat sertlikli sular beton ögelerinden bazılarıyı çözer ve yıkayarak beton kütlelerinden uzaklaştırır. Beton gözeneklerindeki fazla suyun çözücü gücü yüksek ve çimentoda serbest kireç fazla ise korozyon iç bölgelere kadar ilerler. Bu tip bozulmalara deniz yapılarında rastlanır.

II.Grup Korozyon; Kimyasal tepkimeler sonucu betonun çözülmesidir. Çimentonun esas ögeleri ile kimyasal reaksiyona giren, kimyasal maddeler taşıyan suların yaptığı korozyon türüdür. Korozyon ürünü ya yıkamır yada ayrık bir amorf kütle oluşturur. Asitli suların (karbonik asit vb.)  $Mg^{+2}$  iyonu taşıyan suların yaptığı hasarlar bu gruba girer. Boşluksuz ve iyi sıkıştırılmış betonlarda da oluşabilir. Tek yandan su basıncı olan (su basınç gradyentleri olan) ve bu nedenle tek taraflı ıslanan betonlarda görülür. Hava etkisine açık yüzeyde tuz

kristalleri vardır. Korozyon ürünlerinden bazılarında tıkkama mekanizması gelişebilir, bu durumda korozyon durur veya gecikir.

III.grup Korozyon ; Eriyikliği düşük tuzların beton boşluklarında kristalleşmesi ve betonu katı fazda genişleterek patlatmasıdır. Sülfat problemi bu gruba girer. Beton boşluklarına giren  $SO_4^{-2}$  anyonları serbest kireçle alçı taşı oluşturur. Bu cisim çeperlere basınç yaparak tahribata yol açar. İkinci aşamada çimentonun ( $C_3A$ ) trikalsiyum alüminatı ile birleşen alçı taşı etrenjite (kandalot tuzu) dönüşür. Bu olaydaki hacim artışı çok daha fazladır.(Moskvin, 1983)

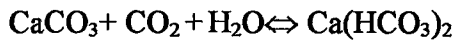
Fiziksel etkenlerde dikkate alınarak beton yapılar korozyon için 4 bölgeye ayrılabilir;

- 1-Sürekli su seviyesindeki bölgeler; sülfat etkisi,  $Mg^{+2}$  iyon değişimi,
- 2-Değişken su seviyesindeki bölgeler; donma-çözülme, ıslanma-kuruma (kimyasal korozyonu artırır)
- 3-Su seviyesinin üstünde, bazen ıslanan bölgeler; deniz atmosferinin etkisi,
- 4-Sudan uzak, beton kütlesi içinde kalan bölgeler; korunan bölgeler.

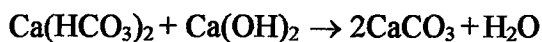
#### 1) Karbonik asitli sular

Atmosferdeki  $CO_2$  gazının sulara çözülmesi nedeniyle doğadaki bütün sular karbonik asit içerirler. Sudaki karbonik asit içeriği kireç taşı çözebilen  $CO_2$  miktarı ile tanımlanır. (örneğin 10 mg/litre ).Karbonik asitin asit etkisi ile bozucu olması için suyun sertlik derecesi Alman sertlik derecesine göre 2 den küçük, ortamın pH'ı 7-6 dan küçük olmalıdır. Bunlardan yüksek değerlerde  $CO_2$  miktarı fazla bile olsa ancak yıkama korozyonu görülür.  $CO_2=90$  mg/l ise karbonik asit etkisi kesindir.

Karbonik asitin karbonatının silikat ve alüminat ile yaptığı kimyasal reaksiyonlar I.Grup korozyonu oluşturur. Karbonik asit, karbonatlarla etkileşimi en yaygın olandır.  $CaCO_3$  ve  $MgCO_3$  suda erimez, fakat karbonik asit karbonatları bikarbonata dönüştürür.



Reaksiyonun tersine gelişmesi sertliğin yükselmesi pH in düşmesiyle oluşabilir.



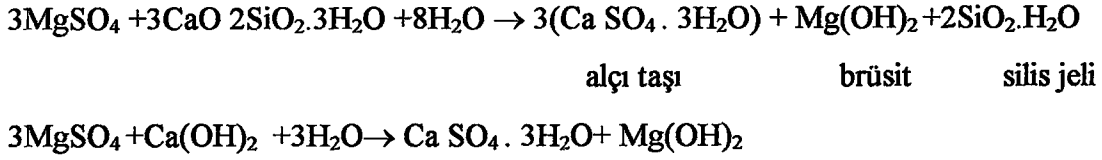
Betona süzülen  $\text{CO}_2$  li suyun dış tabakayı çözdükten sonra boşlukları tıkaması bu karbonat tıkamasına bağlıdır. Beton boşlukluysa iç kısma ilerleyen su düşük miktarda  $\text{CO}_2$  içereceğinden I.Grup korozyon oluşturur ve çimentonun  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (kalsiyum hidroksit)ini yıkar.

Karbonik asit, silis ve alümin asitlerine oranla daha kuvvetli olduğundan bu asitlerin tuzlarını çözebilir. Karbonik asit çimentonun esas taşıyıcı ögelerini (iskeletini yani  $\text{C}_3\text{A}, \text{C}_3\text{S}$ ) oluşturan bu tuzları tahrip ederek betonu çözer. Dış yüzde toplanan  $\text{CaCO}_3$  çiçeklenmeye neden olur. Zararsızdır, görünümü bozar ve yıkanma olayının devam ettiğinin kanıtıdır.

#### 11) Magnezyum tuzları ile yüklü sular

Bu sular II.Grup korozyonu oluştururlar.  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  kationlarının yerini alma özelliği (iyon değişimi) korozif etkilerin daha zararlı boyut almasına yol açar. Normal yapılarda  $\text{Mg}^{+2}$  zararlı olmaz çünkü yüzey sularında 15-25 mg/l , zemin sularında 300 mg/l olabilir. Fakat deniz suyunda 1300 mg/l olduğundan etkisi büyüktür. Mg tuzları genellikle, sülfat, klorür, karbonat ve bikarbonatlardır. Korozyonun etkinliği anyon türüne de bağlıdır. Anyonun  $\text{SO}_4^{-2}$  yani tuzun sülfat olması agresifliği artırır. Deniz suyundaki magnezyum tuzları  $\text{MgSO}_4$  ve  $\text{MgCl}_2$  dir ve toplam salinite %3.4 olması durumunda  $\text{MgSO}_4$  %0.22 ,  $\text{MgCl}_2$  %0.32 değerindedir.

Hidrate olmuş çimentonun esas ögeleri ( $\text{C}_3\text{AH}$  ,  $\text{C}_3\text{SH}_6$ ) hidrate kalsiyum silikat ( $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), hidrate kalsiyum alüminat ( $3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) ve kalsiyum hidroksit, magnezyum iyonu  $\text{Mg}^{+2}$  ile iyon değiştirme reaksiyonuna girerler. Bu reaksiyon ile alçı taşı ve brüsit ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) oluşur. Alçı taşı hacim genişlemesi yapar ve sülfat etkisinin birinci aşamasını oluşturur. Alçı taşı etrenjite dönüşerek daha büyük hacim genişlemesi yapabilir. Alçı taşı çözünebilir bir madde olduğundan çimento esas taşıyıcı ögeleri bozular. Mg  $\text{SO}_4$  aynı etkiyi çimentonun hidratasyon ürünü olan tetra kalsiyum alümina ferrit hidrate ve mono sülfoalüminat hidrate üzerinde yapar.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  brüsit suda erimediği için korozyonda faydalı rol oynar. Beton yüzeyi örterek sülfatlı suların beton içine nüfuzunu önleyip etrenjit oluşumunu kısıtlar. Fakat bir süre sonra açığa çıkan silis jeliyle birleşerek magnezyum silikate dönüşür. Bu ürün kalsiyum silikat gibi bağlayıcı değildir.



Magnezyum klorür  $\text{MgCl}_2$ , serbest kireç  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile iyon değişimi reaksiyonuna girerek suda eriyen  $\text{CaCl}_2$  ye dönüşür ve brüsit oluşur. Uzun sürede kalsiyum silikatlar da parçalanır. Alçı taşı oluşmaz bu nedenle sülfat etkisi söz konusu değildir.

$\text{NH}_4\text{Cl}$  amonyum klorür ve  $\text{NaCl}$  sodyum klorürlerde  $\text{CaCl}_2$  oluşturur fakat  $\text{NH}_4\text{OH}$  ve  $\text{NaOH}$  suda çözünebildikleri için bu tuzlar daha zararlı olurlar. Katkılı portland çimentolarında  $\text{Mg}^{+2}$  iyon değişimi korozyonu normal portland çimentosuna göre daha yüksektir. Bu çimentolarda serbest kireç bulunmadığından  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  oluşumu azdır yüzeyde koruyucu tabaka oluşmaz ve magnezyum, silikatları daha çok çözerek hasar oluşturur.

### m) Sülfatlı sular

Sülfat betona dış etki olarak zemin suları, yanık artıkları, maden ve endüstri alanları artık sularındaki solüsyonlardan etki eder. Sülfat etkisi sonucunda; etrenjit oluşumu ve aşırı genleşme ve betonun ayrışması şeklinde bozulma oluşur.

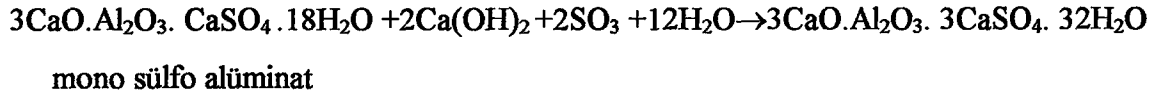
Tuzlu su ve deniz suyu kullanılarak hazırlanan betonlarda karışım suyundaki sülfat ihtiyacı kontrol edilmelidir. Bkz. karışım suyu olarak tuzlu su kullanılması.

Sülfatlı suların etkisi iki şekilde ortaya çıkar. Birinci etki, sülfat anyonlarının çimentonun hidratasyon ürünü hidrate kireç ile tepkimesi sonucu alçı taşı oluşur. Sülfat tuzunun katyon cinsine bağlı olarak suda eriyen  $\text{NaOH}$  ve suda erimeyen  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  ürünleri ortaya çıkar. Sodyum sülfat  $\text{NaSO}_4$ , magnezyum sülfata  $\text{MgSO}_4$  göre sülfat etkisi açısından daha zararlıdır. Çünkü reaksiyon sonucu oluşan alçı taşının hacim artışı azdır, fakat alçı taşı suda eriyerek de korozyon oluşturur.

Betona sızan sülfat anyonları serbest kireçle birleşip alçı taşına (jips  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dönüşür. Oluşan bu kristal katı cisim, çeperlere basınç yaparak tahribata yol açar, ikinci aşamada çimentonun  $\text{C}_3\text{A}$  sı ile birleşen alçı taşı etrenjite dönüşür. Kristalleşmiş katı haldeki bu candolot tuzu  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$  formülündedir ve hacim artışı çok büyüktür.

Alçı taşıdaki hacim artışı  $41\text{cm}^3$ , etrenjitte  $254\text{cm}^3$  mertebesindedir. Önce çatlamlar şeklinde oluşan hasar ileriki yıllarda ayrışma ve yumuşamaya dönüşür.

Etrenjitin oluşumu için sülfat iyonları ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  de gereklidir. Bunu ençok üreten bileşikler kalsiyum silikatlardır. Sülfata dayanıklı çimentolarda  $\text{C}_3\text{A}$  %6 ile beraber  $\text{C}_3\text{S}$  de sınırlanmalıdır.



Reaksiyondaki ikinci ürünler  $\text{NaOH}$  (suda çözünür) ve  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (suda çözünmez) suda çözünürlüğe bağlı olarak korozyonun hafif veya şiddetli olmasına neden olurlar. Sodyum sülfat, magnezyum sülfattan daha şiddetli sülfat etkisi oluşturur. Kalsiyum sülfat ise doğrudan etrenjit oluşturur. Alçı taşı ve hidrate  $\text{C}_3\text{A}$  ikili reaksiyonu için gerekli sülfat iyonu  $\text{SO}_4^{-2} = 26 \text{ mg/l}$  iken, alçı taşı-hidrate  $\text{C}_3\text{A}$  ve kireç üçlü reaksiyonu için gerekli sülfat iyonu  $\text{SO}_4^{-2} = 10 \text{ mg/l}$  ye inmektedir. Sülfat iyon konsantrasyonu için her ülke standartlarında farklı değerler verilmiştir. Çünkü katyon türleri, sıcaklık, ıslanma-kuruma ve beton geçirimliliğinin de etkileri vardır. Ülkemizde TS 3440 “Zararlı kimyasal etkileri olan su, zemin ve gazların etkisinde kalacak yapılar için yapım kuralları”nı içerir. Doğu Alman TGL -11357 normlarında daha ayrıntılı sınırlamalar vardır. Amonyum nitrat ve sülfat oranlarında açıklanmıştır. Deniz suyuna kanalizasyon ve endüstri atıkları karışmıyorsa bu iyonlara rastlanmaz.

Çizelge 2.1- Doğadaki suların zararlı etkinlik dereceleri için sınır değerler (TS-3440)

İncelenen Özellik	Zararlı Etkinlik Derecesi		
	Zayıf	Kuvvetli	Çok kuvvetli
pH değeri	6.5-5.5	5.5-4.5	<4.5
Kreçtaşı çözücü $\text{CO}_2$ mg/l	15-30	30-60	>60
$\text{NH}_4^+$ mg/l	15-30	30-60	>60
$\text{Mg}^{+2}$ mg/l	100-300	300-1500	>1500
$\text{SO}_4^{-2}$ mg/l	200-600	600-3000	>3000

### b- Zararlı atmosferin betona etkisi (atmosferik korozyon)

Kış aylarında geleneksel yakıt kullanımı ve eksost gazları nedeniyle kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve partikül maddeler taşıyan kirli hava yapılarında bozulmalara neden olmaktadır.

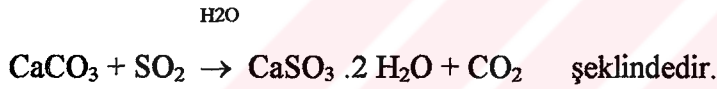
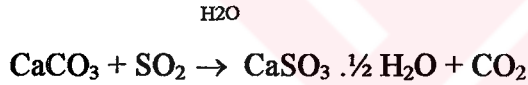
Toz, kükürt dioksit, azot oksitler karbon monoksit ve hidrokarbonlar hava kirleticisi olarak atmosfere atılmaktadır.

Atmosferik kirleticiler CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> gibi kirlenme kaynağından çıkan ilk ürünler ve bu ilk ürünlerin atmosferdeki diğer maddelerle etkileşmesi sonucu oluşan sülfürik asit, nitrik asit gibi bileşiklerdir.

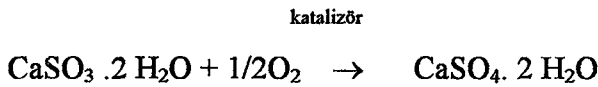
Kalkerli taş (traverten) kullanılan yapılarda bu kirletici maddeler taş yüzeyinde sert ve geçirimsiz bir kabuk oluşturarak taşın görünüşüne ve yapısına etkiler.

Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) Etkisi:

Taş yüzeye hava etkisi ile çökelen kükürt dioksitin tepkimeleri

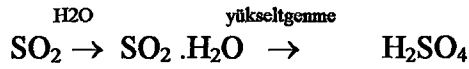


Ortamda su yoksa sülfite, jips (alçı taşı) şekline dönüşmez, fakat ortamda su varsa diğer katalizörlerle birlikte jipse yükseltgenir.



Kükürt dioksit taş yüzeyine yağmurla birlikte taşınabilir. Bozucu etki yağmur damlalarının büyüklüğü, pH derecesi ve SO<sub>2</sub> nin havadaki derişim miktarına bağlıdır. pH derecesi 3-6 arasında olan su damlalarında kükürt dioksit %90 çözünür. SO<sub>2</sub> .H<sub>2</sub>O → (HSO<sub>3</sub>) bisülfite iyonu çeşitli etkilerle sülfata (SO<sub>4</sub>) dönüşür. Ortamda Mn ve Fe metallerinin bileşikleri varsa oksidasyon (yükseltgenme) hızlanır. Sıcaklık, pH ve bağıl nem, reaksiyon üzerinde etkilidir. SO<sub>2</sub> oksidasyonunda (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) peroksit ve (O<sub>3</sub>) ozon ve (NH<sub>3</sub>) amonyak gibi oksitlerin etkileri de incelenmiştir.

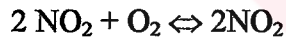




$\text{H}_2\text{O}_2$  ve  $\text{O}_3$  oksidasyonun hızını  $\text{O}_2$  ye göre  $10^3$  kat artırır. pH azaldıkça sülfürik asit oluşumu artar,  $\text{pH} < 2$  olduğunda  $\text{SO}_2$  daha fazla çözünemeyeceği için durur.  $\text{NH}_3$  bazik bir madde olduğundan pH 1 artırır oksidasyonda kataliz rolü oynamaz. Yağmur suyu ile jips yıkanır kirlilik daha içerilere ilerler ve iç kısımlarda jips oluşumunu sağlar. İçerisinde çözülmüş karbon dioksit ve kükürt dioksitten ötürü asitik olan yağmur suları yüzeydeki jipsin çoğunu çözer ve açıktaki kalsiyum karbonat yüzeylerini daha çabuk aşındırır.

**Azot Etkisi ;**

Atmosferdeki azot gazlarının kaynağı endüstri ve trafiktir. Bunlardan en önemli olanı  $\text{NO}_2$  azot oksit eksost gazlarındaki NO azot monooksitin oksitlenmesiyle oluşur. Kireçtaşna etkisi kükürt dioksit kadar önemli değildir.



$\text{NO}_2$  katalizör etki yaparak jips oluşumunu hızlandırır. Kükürt dioksitin jipse yükseltgenmesinde kataliz rol oynar.

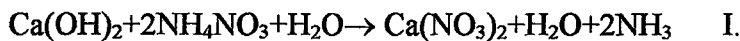
Trafiğin azaltılması ve baca gazlarının arıtılması önlem sağlayabilir.

### **c- Kimyasal maddelerin ve diğer maddelerin etkisi**

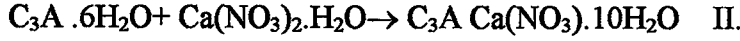
#### **1) Amonyum bileşikleri**

Amonyum bileşiklerinin bazıları beton için zararlı değildir, örneğin amonyum karbonat gibi. Kimyasal fertilizan (gübre) olarak çoğu kez amonyum nitrat, amonyum sülfat ve amonyum süperfosfat kullanılır. Özellikle sıcak ve nemli koşullarda çok ciddi etkiler yapabilirler.

Tarımda yapay gübre olarak kullanılan amonyum nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), nitrik asitin ( $\text{HNO}_3$ ) tuzudur. Nitrat iyonu serbest kireçle reaksiyona girerek kolaylıkla çözünen nitrat tuzlarını oluşturur.



Böylece kalsiyum nitrat ve amonyak gazı ortaya çıkar. Kalsiyum nitrat hidrate kalsiyum alüminatla birleşerek, kalsiyum nitro alüminat hidrateyi oluşturur.

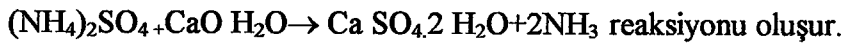


Birinci reaksiyon asit korozyonuna ikinci reaksiyon ise çatlama ve parçalanmalara neden olur. Bakteriyolojik bir olay olan nitrifikasyonun etkisinde önemlidir. Ortamda kalsiyum hidroksit, oksijen, kalsiyum karbonat bulunması ve pH'ın 8-9 civarında olmasıyla nitrifikasyon oluşur. Dış etkilere gerek kalmadan ortam zararlı bir duruma gelecektir. Ortamdaki amonyum, aerobik bakteriler tarafından önce nitritlere sonra nitratlara çevrilir. Nitrat ( $NO_3^-$ ) iyonlarının çoğalması çözeltilerde nitrik asit oluşturur. Bu nedenle amonyum nitratın etkisi sülfatlardan daha şiddetlidir.

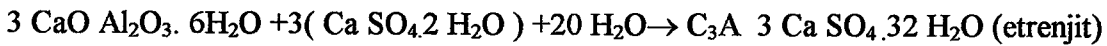
Amonyum tuzları, amonyak buharı ıslak betona etki ettiğinde beton için zararlı oldukları görülmüştür, fakat ciddi bir amonyum nitrat etkisinde donatı çubuklarında korozyon görülmemiştir. (ACI Commite 515 Reports)

Portland çimentolu betona etki eden %5 amonyum nitrat ve amonyum klorit çözeltisi kireçle reaksiyona giren amonyum kaybı nedeniyle seyreltilmiş asit etkisi yaptığı açıklanmıştır. (F.M.Lea "Amonyum tuzlarının betona etkisi", Magazin of Concrete Research)

Amonyum sülfat solüsyonunun etkisiyle oluşan ayrışmaların nedeni, kalsiyum sülfat alüminatın (etrenjit) formasyonunun neden olduğu genişlemedir. Yüksek alüminli çimentolu betonlar portland çimentolu betonlara göre amonyum tuzları solüsyonlarından daha az etkilenirler. Amonyum sülfat ( $(NH_4)_2SO_4$ ), sülfirik asitin ( $H_2SO_4$ ) bir tuzudur. Yapay gübre olarak kullanılır, ayrıca endüstri atık sularında da rastlanır.



Kalsiyum sülfat, kalsiyum alüminat hidratlarla birleşerek, kalsiyum sülfat alüminat hidrate tuzunu oluşturur.



Bu reaksiyon sonucu hacim artışı ve iç basınç ortaya çıkar ve beton parçalanır. Amonyum sülfat ortamında da nitrifikasyon sonucu  $NO_3^-$  iyonlarının çoğalması nitrik asit oluşumuna yol açar.  $(NH_4)_2SO_4$  amonyum sülfat, nitrat ve sülfat iyonlarına dönüşürse sülfat etkisinde ötesinde seyreltilmiş nitrik asit ve sülfirik asit etkisi de olur.

**Önlemler;**

Fertilizer (gübre) depolanan alanların bütün zemini atıl bir koruyucu (bariyer) sağlanarak problem önlenir. Bu bariyer kimyasal etkilere olduğu kadar aşınma ve darbelere dirençli olmalıdır. Bu işlemlere uygun olan kauçuk kaplamalar pahalıdır, fakat çok geniş alanları kaplayabilir.

Pratik ve ekonomik çözüm betonun kimyasal direncini artıran ve döşemenin faydalı ömrünü uzatan, katkı, yüksek kaliteli beton ile sağlanır. Süperplastikleştirici ve silis dumanı içeren C<sub>3</sub>A ihtivasi düşük (%5in altında) portland çimentosu ile yapılmış betonların erken dayanımları yükselir ve geçirimsizlik azalır. Böylece amonyum nitrat ve diğer kimyasal maddelere direnç sağlanır.

**ı) Diğer agresif bileşenler**

Doğada varolan kimyasal bileşenlerin çoğu kimyasal endüstri ürünleri gibi portland çimentosuna agresif etki yaparlar.(ACI Committee 515 -1979)

**Tuzlu su:** Konsantre normal tuzlu su (kalsiyum kloritli) solüsyonudur. Normal ısıda iyi kaliteli betona zararlı etkisi yoktur. Yoğun kalsiyum kloritli tuzlu su uzun süre zarfında ayrılmaya neden olur. Klorit solüsyonları donatı üzerine ciddi etkiler yapar. Betonun fiziksel etkiler nedeniyle çatlamasıyla bu çatlaklardan giren tuzlu su gözeneklerde kristalleşir ve hasara yol açar.( NaCl) Sodyum klorürün kristalleşme sırasında oluşturduğu basınç 0°C de 554 atmosfer 50°C de 654 atmosferdir.

**Kalsiyum hipoklorit:** Konsantre solüsyon beton gözenekli ise çok yavaş bir şekilde etki eder. Solüsyon alkalın reaksiyon gösterir. Seyreltik solüsyonlar iyi kaliteli betona zarar vermezler.

**Kostik soda:** Sodyum hidroksit ve diğerlerinin %10 luk konsantrasyonları zararlı değildir. Yüksek konsantrasyonlarında sıcak havada betonun yavaş hızda ayrışmasına neden olurlar.

**Distile ve demineralize su:** Çok saf olan bu sular betonun bozulmasına neden olur. Çok düşük sertlikli (0), çok düşük çözülmüş maddeli (0), düşük alkalinitelidir ve çok yüksek çözücü güçleri vardır. pH oranları 7.0-8.0 olan sular alkalindir. Böyle sular çözülmüş kalsiyum hidrokit (kireç) taşıyorlarsa sudaki çözülmüş CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girerek kalsiyum karbonat CaCO<sub>3</sub> oluşturur. Isı miktarı, suyun orijinal pH ı ve toplam çözümlü madde miktarına bağlı olarak kireç çözümlü veya birikir.

Su çözülmüş CO<sub>2</sub> ihtiva eder ve bu oran arttığında beton üzerine bozucu etkileri artar. Negatif Langelier İndexli olanlar kireç çözümlü sulardır, Langelier İndexsi (kalsiyum karbonat saturasyon indexi) pozitif olanlar kireç biriktiren sulardır.

**Demir sülfat:** Asitik reaksiyon oluştururarak betona zarar verir. Bu bileşikler su içindeki çalışmalarda tanklarda kullanılır ve seyreltik solüsyonları beton yüzeyinde asit aşındırması yapar.

**Hidrojen sülfid:** Sülfürlü hidrojen gazıdır, anaerobik bakteriler tarafından ve kanalizasyonlarda ürerler. Tek olarak betonu etkilemez. Fakat suda çözüldüğünde okside sülfür ve sülfirik asit şeklinde beton için çok agresiftir.

**Süt:** Taze süt beton için agresif değildir. Bozulmuş ekşimiş süt laktik asit içerdiğinden betona etki eder. Etkinin derecesi betonun geçirimliliğine ve laktik asit konsantrasyonuna bağlıdır.

**Meyve ve sebze suları:** Organik asitler ve şekerler içerir ve beton için agresiftir

**Petrol yağları:** Genelde beton için agresif olmayan düşük asit ve sülfür ihtiva ederler. Yüksek penetrasyon karakteristikleri vardır.

**Deniz suyu:** Genelde iyi beton için agresif değildir. Çözülmüş tuz konsantrasyonları kloritler ve sülfatlar içerir. Atlantik suyunda 18000 ppm klorit 2500 ppm civarında sülfat bulunur. Kızıl Deniz ve İran Körfezi suyunda en az %25 daha yüksektir.

**Kanalizasyon suyu:** Ev atıkları beton için agresif değildir. Sanayi atıkları kısmen asitli kimyasal agresif içerdiklerinden, beton için zararlıdır. Etkinin ciddiyeti konsantrasyona ve betonla ilişkide olma süresine ve ısıya bağlıdır.

**Şeker:** Betona yavaş bir şekilde etki eder. Şeker solusyonu betona penatre olduğunda etkilenme oranı artar. Fabrikalar, demir atölyeleri gibi yoğun zemin trafiği olan döşemelerde etkileri daha şiddetlenir.

**Üre:** Üre etkisindeki betondaki hasarlar kimyasal etkiler nedeniyle yada fiziksel olarak beton gözeneklerinde üre kristallerinin büyümesi nedeniyle oluşur. Üre, çimentoyla kimyasal reaksiyona girer. gübre olarak tarımda ve buz çözücü tuz olarak yollarda ve hava alanlarında kullanılan ürenin kimyasal formülü  $CO(NH)_2$  dir.

Buz çözücü olarak kullanılan üre donatı çeliğine en az NaCl kadar agresif etki eder. Betonda önemli bozulmalar oluşturarak çelik üzerine paslandırıcı etkilerin girişini sağlar. Gözeneklere sızan su ve üre kristalleri hacim büyümesi oluşturarak agregaya hasar verir.

### 2.3.6.2 Betonun bileşenleri arasında reaksiyonlar

Betonu oluşturan malzemelerin etkileşimi sonucu oluşan bozulmalardır.

#### a- Alkali-agrega reaksiyonu

Beton üretiminde kullanılan bazı çimentolarda bulunan fazla miktardaki  $Na_2O$  ve  $K_2O$  gibi alkali oksitlerin, silisli agregalarla reaksiyona girmeleri sonucu betonu çatlatan bir jel oluşturması olayına “alkali-agrega reaksiyonu” denir. Alkali agrega reaksiyonunu iki formu vardır. Bunlardan biri alkali-silis reaksiyonu diğeri alkali-karbonat reaksiyonudur. Alkali-silis reaksiyonu dünyanın her yerinde görülür, alkali-karbonat reaksiyonuna sadece İngilterede rastlanır (Perkins, 1986).

Alkali-agrega reaksiyonları 1 ile 25 yıl arasında ortaya çıkar. Çatlaklar yüzeyi kaplayan rastgele bir ağ şeklindedir. Yük altında bir elamanda yüke paralel yönde uzun geniş ve açık çatlaklar, yüke dik yönde ince çatlaklar oluşur.(şekil 2.6) Daha sonra çatlaklardan dışarı jel

sızar, yüzeyde kabarma ve parça kopmalarına rastlanır. Çatlaklar sertleşmiş beton rötresi çatlaklarına benzer, yüzeyde her zaman jel görülmez.

Reaktivite gösteren silisler, silisin polimorfları olan tiridimit, kristobalit ve camdır. Batı Karadenizde çok rastlanan kalseduan ve opal doğal reaktif kütlelerdir. Volkanik kayalardan riyolit, andezit ve dasittede silis camı mevcuttur.

Hacım genişmesine etkiyen faktörler, aktif silisin türü, miktarı, tane boyutu, alkali miktarı, ortamın rutubeti ve ortamın pH derecesidir.

Çimentonun sodyum oksit ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) cinsinden alkali eşdeğeri diğer bir deyişle ekivalen eşdeğeri  $\text{Na}_2\text{O} + 0.66 \text{K}_2\text{O} > \%0.6$  ise reaksiyon oluşur,

$\text{Na}_2\text{O} + 0.66 \text{K}_2\text{O} = \%0.8$  ise hacım genişlemesi maksimum değerdedir.

Silis miktarı %5 ve reaktif agrega tanelerinin boyutları 0.07mm ile 0.85mm arasındaysa genişleme en fazladır. Olayın oluşması için ortamın rutubetli olması ve pH ın (alkalinitenin) yükselmesi gerekir.  $\text{pH} \geq 13$  değerinde sıvıda  $\text{SiO}_2$  çözünürlüğü sonsuzdur.

Reaksiyonun oluşumundaki aşamalar aşağıdaki gibidir;

1-Alkalilerin ayrışması ve reaktif silisin çözülmesi (danelerde porozite artar, mukavemet azalır)

2-Alkali silikat jelinin oluşması

3-Çevredeki suyun jel tarafından çekilmesi (jel şişer)

4-Kolloit (asılı katılmış) tanelerin sulu bir süspansiyona dönüşmesi, eğer yeteri kadar alkali kalmazsa, jel sulanıp dışarı sızar. Jel kristallerinin formülü;

$2 \text{K}_2\text{O} \ 6\text{CaO} \ 18 \text{SiO}_2 \ 12\text{H}_2\text{O}$

$\text{K}_2\text{O} \ \text{Na}_2\text{O} \ 6\text{CaO} \ 16 \text{SiO}_2 \ 12\text{H}_2\text{O}$  şeklindedir.

Jel teşekkül edebilmesi için gerekli olan kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) betonun bünyesinde daima mevcuttur.

Alkalin ortam yalnızca çimentonun alkali metal tuzlarından (Na, K tuzları) oluşmaz. Deniz suyu, buz çözücü tuzlar gibi dış bir ortamdan da bu alkali metal tuzları betona sızarak alkaliniteyi yükseltir ve alkali-silis reaksiyonunu arttırır. Çimento kullanılmadan yapılan anroşman ve dalgakıran gibi deniz yapılarında da alkali-silis reaksiyonu meydana gelebileceği agrega testleri yapılması sonucunda anlaşılmıştır. Bu nedenle kullanılan agregalar için petrografik inceleme yapılması gerekir.

### Önlemler;

Alkali silis reaksiyonu oluşunca durdurmak mümkün değildir. Çimentoya doğal puzzolonlar (volkanik tüfler vb) ve yapay puzzolonlar (uçucu kül, silis dumanı) gibi esas maddesi silis olan çok ince maddeler eklenerek çimento hamurunun kireci tutulur ve ortamın pH 1 indirgenir. Böylece silis çözünürlüğü azalır ve alkali-silis reaksiyonu önlenir. Ayrıca puzzolonlar CaO'yu bağlayarak jel oluşumunu önlerler. Kullanılan puzzolon miktarı çok az olmalıdır.

Beton üretiminde yüksek alkali içeren agregalar kullanılacaksa çimentodaki alkali ihtivasi azaltılmalıdır.

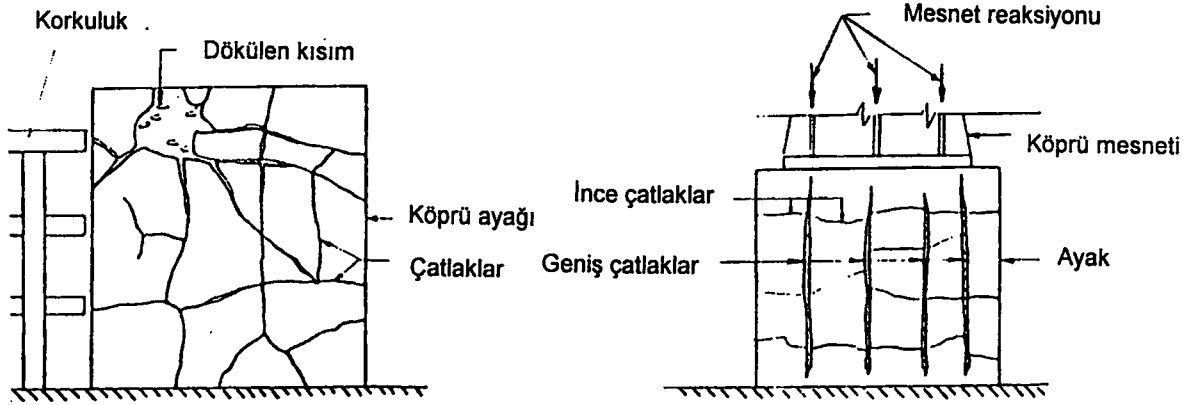
Sıcaklık ve nem reaksiyon oranını yükselterek bozulmaları arttıracaktır. Yüzey beyaz ya da açık renkle kaplanarak ısı emilmesi önlenebilir. Ayrıca yağmur suyu ve su birikintileri önlenirse ve su geçirimsiz bir kaplama sağlanırsa su penetrasyonu azalır. Yüzeyi kurutmak da bir önlem olabilir. Önlemler reaksiyonun etki oranını yavaşlatır fakat tamamen durduramaz.

Diğer bir önlem sık donatılı mantolama uygulamak ve yüksek dayanımlı püskürtme beton uygulamaktır. Mantolama uygulamasında yeni donatının dizaynı ve sabit yükteki artışın etkisi değerlendirilmelidir.

Kil minerallerinden oluşan grovak, fillit ve silttaşı gibi bazı tortul kütleler de alkali silis reaksiyonu sonucu yapraklanarak bozulabilmektedir. Bu kütlelerde silis daha az reaktif olduğundan olay daha uzun yıllar içinde oluşabilmektedir.

Alkali-silis reaksiyonundan farklı olarak ikinci tür alkali-agrega etkisiyle genleşme korozyonu alkali-karbonat reaksiyonudur. Dolomitik taşlarda bu reaksiyona rastlanır. Dolomitik (kil) taşlar sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) ile karşılaştıklarında;

$Ca .Mg. (CO_3)_2 + 2NaOH \rightarrow CaCO_3 + Na_2CO_3 + Mg(OH)_2$  reaksiyonu sonucu bozulur.  $Mg(OH)_2$  (bürisit) hacim genleşmesi oluşturur. Agregaların porozitesi artar ve su daha içkilere nüfus ederek kil damarlarına ulaşır. Alkali-karbonat reaksiyonunun hasar yapması için dolomit ve kalsit kristallerinin ince taneli ve kil matriste yayılı olması, asitte erimeyen illitik kilin çok miktarda olması, çimentoda ve çevrede ( $Na_2O$ ,  $K_2O$ ) alkali oksitlerin bulunması gerekir. Deniz suları  $Na^+$  iyonlarını sağlamada büyük rol oynar. Çimentoda alkali ekivalen değeri %0.4 den azsa genleşme zararlı boyutlara ulaşmaz ( Akman, 1992).



a- Direnç görmeyen hareket

b-Düşey olarak direnç gören hareket

Şekil 2.6- Kütlesel betonun içsel şişmesi nedeniyle hasarların fiziksel görünüşü.

Agregalar ve çimento gerekli petrografik ve kimyasal deneylerle alkali- agrega reaksiyonu oluşturmayacak şekilde seçilmelidir. Yapılması gerekli testler;

Agregalar için ASTM C 289 agrega öğütülüp NaOH solüsyonunda alkalinite indirgeme yöntemiyle reaktiflerin bulunması,

Çimento için ASTM C 227 %90 nem 38°C de 6 ay, 1 yıl bekletilerek boy uzamaları ölçümlerini içerir.

Ayrıca agregalar ASTM C 33 testlerinden geçmiş olmalı kaynağı ve aktiflik derecesi bilinmelidir.

#### **b- Beton karışım suyunun tuzlu su yada deniz suyu olması**

Karışım suyu olarak deniz suyu yada tuzlu su kullanılması betonun durabilitesini etkileyecektir. Betonun dayanımını ve geçirimsizliğini önemli ölçüde azaltacaktır. Deniz sularında bol miktarda tuz bileşikleri ve sülfatlar bulunmaktadır. Bu maddelerin zararlı etkileri daha önce açıklanmıştır. Karışım suyundaki klorit ve sülfatlar dışında agrega ve kumda da tuz ihtivası bulunması etkileri daha da artıracaktır. Üreticiler çimentodaki tuz ihtivasını normal suya göre vermektedir. 32000 ppm tuz oranı (NaCl, Sülfatlar, vb.) bulunan karışım suyu elamanın havaya açık yüzeyinde çiçeklenme oluşturur. Ayrıca sodyum klorit



demirli metaller için çok agresiftir. Bunun için klorit konsantrasyonunun etkileri incelenmelidir. 32000 ppm (mg/l) çözülmüş katı (tuz) bulunan Atlantik sularında 2500 ppm sülfatlar (daha çok MgSO<sub>4</sub>) ve 18000 ppm kloritler (özellikle NaCl) bulunmaktadır. İran körfezi ve Kızıl denizde ise 22000 ppm veya ağırlığının %2.2 si kadar klorit bulunmaktadır. Su/çimento oranı 0.45 olan karışımdaki klorit ihtivası  $0.45 \times 2.2 = \%0.99 = \%1$  olmaktadır. Bu oran İngiliz şartnamesi BS 8110 sınırlarının 2 katıdır.

Karışım suyu olarak deniz suyu kullanıldığında agrega ve kumdaki tuz oranları dikkate alınmazsa donatı için ciddi korozyon tehlikesi oluşur. Karışımın toplam klorit ve sülfat ihtivası da önemlidir. Sülfat ihtivası yüksek olduğunda, gözenek suyundaki sülfat solüsyonu çimento ile etkileşime girecektir. Şartnamelerde maksimum sülfat konsantrasyonu normal portland çimentosu ağırlığının %0.4 nü geçmemelidir; max.%3 ile sınırlandırılmış C<sub>3</sub>A ihtiva eden sülfata dayanıklı çimentoda %6 ya çıkar BS- 8110 Normal ve çabuk sertleşen portland çimentolarında klorit iyon konsantrasyonunu su/çimento ağırlığının %0.4 ü ile sınırlamıştır. Sülfat dirençli portlant çimentolarında izin verilen klorit konsantrasyonu çimento ağırlığının %0.2 sine indirilmiştir. Öngerilmeli beton ve buharla kürlenmiş betonda çimento ağırlığının %0.1 inden düşük olmalıdır ( Perkins, 1986).

Rusya şartnamesinde normal portland çimentosunda karışım suyu olarak deniz suyu kullanılıyorsa tuz oranı %2 den fazla olamaz. Karışımda çimento ağırlığının %1.8 oranında NaCl bulunan su/çimento oranı 0.6 olduğunda deniz suyu %03.5 saliniteli, deniz suyundaki tuzluluk %77.99, NaCl %10.5-10.9, MgCl<sub>2</sub> %4.4-4.8, MgSO<sub>4</sub> %3.4-3.6, CaSO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> %2.1 , toplam kloritler %88-89 toplam sülfatlar %10.5 dir. Deniz suyunda ayrıca nitratlar, nitritler, fosfatlar, SiO<sub>2</sub>, bromin, iodine, demir ve karbonik asitlerin tuzları da bulunur. Deniz suyunda normalde ortalama pH=8.2-8.3dür. Durgun, kirlenmiş kıyılarda ve deniz hayvanlarının ve bitkilerin olduğu yerlerde bu oran düşer. Nitrit, nitrat, fosfat ve oksijen ihtivası biyolojik etkenlere bağlıdır.

Deniz suyunun üst tabakalarında ve şelale ve çağlayanlarda oksijen seviyesi fotosentez yoluyla olan şekildedir %10-12 daha fazladır. Kirli, durgun sulardaki deniz yapılarının yüzeylerinde kimyasal kompozisyonda değişim gözlemlenir (Moskvin, 1983).

### 2.3.6.3 Biyolojik etkiler

#### a- Organizmaların etkisi

Betona etki eden ve zarar veren gözle görülebilen organizmalar veya gözle görülemeyen mikroorganizmalar vardır. Bunların bir kısmı doğrudan doğruya, bir kısmı ürettikleri kimyasal ürünlerle betonu bozar, tahrip ederler.

Büyük canlılardan olan bir tür deniz yumuşakçaları kalker kökenli agrega ile yapılmış betonlardaki kireçtaşı tüketererek hasar oluştururlar. Midyeler su içinde kalan yüzeylere ürettikleri yapışkan madde ile tutunarak gemi saçlarına ve dolayısıyla beton içindeki donatıya hasar verirler.

Denizlerde yaşayan bitkilerden bir türü olan su yosunlarından alglar fotosentez yoluyla sudaki karbon dioksit miktarını, şekere dönüştürmek için kullanarak, azaltırlar. Çürüten yosunlar da organik asitlere dönüşerek hasar oluşturabilir.

#### b- Mikroorganizmaların etkisi

Mikroorganizmalar toprak, hava, tatlı ve tuzlu su gibi hemen hemen her yerde mevcuttur. Bakteri gibi mikroorganizmaların rol oynadığı korozyona mikrobiyolojik korozyon denilebilir. Mikroorganizmalar oksijen bakımından zengin ortamlarda yaşayanlar (aerobik) ve oksijen bakımından yetersiz ortamlarda yaşayanlar (anaerobik ) olmak üzere ikiye ayrılırlar.

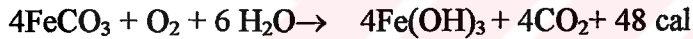
Deniz suyu serpintileri alan atmosferde (toprak üstü-deniz yakını) yapıların yüzeyinde mikroorganizmalar türerler. Gözle görülmeyen bu bakteriler arka arkaya gelişen üç türden oluşur. İlk yerleşenler amonyak üretenler, sonrakiler bunu nitrüre çevirenler, üçüncü tür ise nitrata dönüştürenlerdir. Ortamın pH ının yüksek olması bu olayı artırır. Betonda da pH=11-12 gibi yüksek değerlidir. Bu bakterilerde azot çevrimi ile birlikte kükürt çevrimi de başlar. Bu çevrim sülfürik asit ve sülfat etkisi açısından önemlidir.

Bakterilerin oluşturduğu tabaka üzerinde mikroskopik alglar oluşur; rutubetli ve gölgeli yerlerde daha kolay yetişirler. Algların üzerinde mantarlar ve likenler yetişir. Likenler havanın karbondioksiti ve zemin suyu ile beslenir. Likenleri çatlak ve ara yerde yetişen

yosunlar izler. Bakteri ve likenlerin asit karakterli salgıları yerleşmiş oldukları tabakaları tahrip eder.

Kanalizasyon atıkları azot ve kükürt çevrimini hızlandırarak mikroorganizmaların artmasına neden olur. Ev atıkları alkalın karakterli olup betona zarar vermezler. Fakat içerdikleri kükürtlü bileşenler anaerobik bakteriler tarafından ( $H_2S$ ) hidrojen sülfüre dönüştürülür. Havaya gerek duymayan anaerobik bakteriler sülfatların oksijenini alarak yaşayan bakterilerdir.  $H_2S$  çürük yumurta kokusundadır, betona fazla zarar vermez. Fakat aerobik bakteriler tarafından oksitlenerek sülfürik asite ( $H_2SO_4$ ) ve bu üründe çimentonun kireci ile birleşerek alçı taşına dönüşür. Bakteriler nedeniyle sülfat korozyonu ve sülfürik asitin betonu çözme korozyonu başlar. Bu tip korozyon kanalizasyon boşaltma seviyesinin hemen üstündedir (Sarıoğlu, 1994).

Demir bakterileri de (krenotoriks, leptotriks,vb) betonun korozyonuna neden olan mikroorganizmalardır. Demir karbonatı ( $FeCO_3$ =siderite) olup, sulu ortamda demir hidroksite dönüşerek yaşamlarını sürdüren bu bakteriler sızan su ile yüzeye çıktıklarında yüzeyde kahverengi torbacıklar oluştururlar. Yaşam reaksiyonları nedeniyle ortaya çıkan  $CO_2$ , karbonik asit korozyonuna neden olur.



Demir bakterileri Mn ve Fe filizleri içeren toprakları destekleyen tünel gibi yapılarda görülmüştür.  $Fe_2O_3$  bileşeni yüksek çimentolarda da bu tip korozyon ihtimali vardır. Mikroorganizmalar sayıları arttığında korozyon açısından önem kazanır. Bakterilerin sayıları, besin görevini yapan sülfat, fosfat, azot, toksik maddelerin varlığı, ortamın pH değeri ve sıcaklık gibi etmenlere bağlıdır. Bakterilerin çoğalması için nemli ortam gereklidir. Mikroorganizmalar 5-50°C sıcaklık ve nötr pH değerlerinde çoğalırlar.

Çelik Malzemeler üzerine mikroorganizma etkisi:

Malzemelerin yüzeyine tutunan bakteriler, kolonize olarak yüzeyde biyofilm oluştururlar. Metal-biyofilm ara yüzeyinde pH ; çözülmüş oksijen, organik ve inorganik maddeler bakımından esas ortamdan farklı olur. Asit ve amonyak üreten bakteriler asıl ortamın pH değerini değiştirmeden mikro ortamın pH ını etkileyebilirler.

Sülfat indirgeyen bakteri grupları organik besinlerden karbon ve enerji sağlarlar. Solunumları sırasında toprakta, tuzlu ve tatlı sularda bulunan sülfatları kullanarak sülfid üretirler. Sülfidler  $H_2S$ ,  $HS^-$  ve  $S^{2-}$  iyonları halinde veya metal sülfid olarak bulunur ve birçok malzemede korozyona neden olurlar. Gaz halinde hidrojenle tepkime yaparlar (Akman, 1992).

### 2.3.7 Atmosferik etkiler

Soğuk iklim koşulları olan ülkelerde beton yapılar, donma etkisi nedeniyle beton yüzeyin pul pul kabarması şeklinde hasar görür. Isı sıfırın altına düştüğünde yüzey tabakada absorbe olmuş suyun donarak genişlemesi beton yüzey tabakada çatlama ve ayrışmalara neden olacaktır. Soğuk iklimli ülkelerde, güney ve kuzey kutuplarına yakın deniz yapılarında bu şekilde hasarlar görülür.

Köşe, kenar ve derzler yakınındaki beton, döşemenin iç kısımlarına göre dış etkilere ve rutubete daha fazla maruzdur. Derzlerde ve kenarlarda biriken toz çöp ve artıklar suyu tutarak rutubeti artırır ve dış etkilerin etkisini çoğaltır. Bu durumdaki derz ve çatlak yakınındaki beton dondurucu hava süresince suya daha yüksek doygunluktadır. Agregaya ve çimento hamurundaki boşluklardaki suyun donmasına neden olur. Donan suyun boşluk hacmine sığmaması ve çeperlere hidrolik basınç uygulaması donma hasarı oluşturur. Bu zorlamalar etkili büyüklüğe ulaşıncaya kadar portland çimentosu hamurunun çekme dayanımı aşılır ve derzlere paralel olarak eşit doygunluktaki çizgilerde çatlaklar oluşur. Eğer çatlaklara su gelişi varsa, kapiler beslenme ile döşeme ve derz kenarlarından biraz uzak yerlerde de ayrışmalar oluşur. Köşelerde ve kenarlarda gerilme yoğunluğu nedeniyle de çizgisel çatlaklar oluşabilir.

Kötü kaliteli beton harcı tekrarlanan donma-çözülme periyotlarında ufalanacak ve iri agregaya parçacıkları dış etkilere maruz kalacaktır. İç kısımlardaki yüksek kaliteli betondaki yoğun kısımlardan, yüzey kısmının ayrılması nedeniyle oluşan farklı bir bozulma mekanizmasıdır.

Parça kopma ve beton yüzeylerin hasarını açıklamak için çeşitli teoriler geliştirilmiştir ;

- 1- Doymuş agrega tanelerinden dışarı atılan su basınç oluşturur.
- 2- Beton yüzeylerin hemen altındaki çok miktarda kapiler boşluklardaki su donunca boşluk hacmine sığamaz ve çeperlere hidrolik basınç oluşturur.
- 3- Yüzeyin altındaki kapiler boşluklardaki buz kristalleri rutubeti arttırır.
- 4- Beton yüzeyin hemen altındaki kapiler suyun tuz konsantrasyonunun artması osmotik basınca neden olur. Saf taraftan tuzlu tarafa doğru bir basınç oluşur. Suyun buza doğru hareket etmesi.
- 5- Yüzey düzeltme işlemleri beton yüzeyin alt kısmında sıkıştırma etkisi oluşturur. Uygun olmayan bitirme işlemi yüzeyi yoğunlaştırır hava sürükleyicilerin etkisini yok eder.
- 6- Yüzeyin sıkıştırılması ile yüzey suyu kurduğunda kılcal boşluklarda su yukarı doğru yükselir ve bu olay bir kılcal zorlama oluşturur ve düzlemsel zayıflama şeklindedir.
- 7- Kar ve buz çözücü tuzların yumuşattığı su altyapıda tekrar donarak buz kristallerinin artmasına neden olur.
- 8- Çözülmüş kar ve buz yüzeyde su oluşturup tekrar donar.
- 9- Kırık ve çatlaklar suyun alt tabakalara inerek kapiler boşluklardaki buzdu arttıran nem kanalları oluşturmasıyla kılcal boşluklardaki buzdu arttırıcı etki yapar.
- 10- Buzlanmayan aşırı soğuk absorbe su ile buz arasında doğan buhar basınç farkı suyu donabileceği boşluk ve çatlaklara yöneltir.

Yuvarlak taneli, iri taneli ve yumuşak agregalar daha büyük hasar oluşturur. Düşük dozajlı harçlar, beton elemanların çekme etkisindeki kısımları dona dayanıklılık bakımından zayıftır. Su çimento oranı yüksek karışımlar donmaya karşı zayıftır.

Bu tip hasarların onarım önlemleri güçtür ama beton ve harçlara hava sürükleyici katkı ekleyerek onarım yapılabilir. Betonun dış yüzeyi donmayı önleyecek şekilde örtülerek önlem alınabilir.

Hidrolik basınç oluşturulmuş (hidraulically pressed) prekast beton ürünler donma-çözülmeye karşı direnç gösterebilir (BS368 Precast Concrete Flags, Standart 6-1). Yalnız sınırlı sayıda özel durumlarda beton yapıların onarımında kullanılabilirler.

### 2.3.8 Şok dalgaları

Beton heterojen bir malzeme olduğundan şok dalgaları etkisiyle parça kopması şeklinde hasar görür. Beton donatısız olduğunda titreşim söndürücü özelliği yoktur, kendine gelen dalgaları yansıtarak kararlı dalgalar oluşturur ve dalgalar sürekli gidip gelerek yorulma etkisi oluşturur. Ses duvarını aşan süpersonik ses dalgaları zemin tavan arasında tekrarlanarak hasara neden olur. Rıhtımlar ve iskelelerde dalgalar hasara neden olur. Ayrıca köşeler, kornişler ve konsol çalışan elemanlar bu hasara maruzdur.

Yuvarlak agregalar çabuk koparak hasarı artırır. Sık donatı şok dalgası hasarını azaltır, fakat bu durumda korozyon fazlalaşır.

Termik Şok; Sıvılaştırmış gazların beton üzerine dökülmesi gibi özel durumlarda oluşan termik şokların betonda yaptığı hasarlarıdır. Çeşitli endüstriyel işlemlerde kullanılan metan, oksijen, nitrojen ve hidrojen içeren gazların yaptıkları etkilerdir. Bu tip sıvılaştırmış gazların yaklaşık sıcaklığı sırasıyla  $-160^{\circ}$ ,  $-183^{\circ}$ ,  $-196^{\circ}$ ,  $-253^{\circ}$  C civarındadır. Hasar genelde döşemelerde oluşur, eğer döşemeler hareketli yüke maruzsa hasar çok daha ciddi olacaktır.

Uzun süreli onarım sağlayan bir yöntem yoktur, bu nedenle sık sık onarım yapılması gereklidir. Yüksek kaliteli hava sürükleyici katkı ve kireçtaşı agregası kullanılmış beton yapmak yada yapay hafif ağırlıklı agregası kullanmak iyi sonuç verir.

### 2.3.9 Betonun aşınması

Sanayi yapılarının döşemeleri, silolar, ambarlar, altı açılan tanklar gibi iri taneli malzeme taşıyan yapı elemanlarının betonları aşınma etkisine maruzdur. Beton yüzeylerin aşınma direncini belirlemekteki en önemli faktör betonun basınç dayanımı cinsinden kalitesi olarak belirtilir. Yüzey bitirme şekli önemlidir, farklı yüzey bitirme metodlarının aşınma etkisi az bilinmektedir. Problemlerin çoğu endüstriyel yapı zeminlerinde oluşmaktadır.

Agreganın da aşınma direncine etkisi vardır, ama özellikle iyi yada kötü kalitede agregası kullanılması önemlidir. Kireç taşı gibi kalkerli agregası kullanılması sonucunda cilalanma ve kayganlaşma oluşur.

İlaç endüstrisi, basım, elektronik, konfeksiyon ve yiyecek üreten fabrikalarda tozsuz, derzsiz ve aşınma dayanımı yüksek yüzey oluşturmak aşınmayı önleyecektir.

### 2.3.9.1 Yüksek hızlı su etkisiyle hasarlar

Yüksek hızlı su hasarı üç ana katagoriye ayrılır. Kavitasyon, erozyon (sudaki sürüntü maddelerinin aşındırması), yüksek hız jetinin darbesi.

#### a)Kavitasyon:

Yüksek hızlı akış (örneğin 15 m/s den fazla), sıkışma ve yüzey sınırlarında düzensizlikler kavitasyon anaforlarına (girdap) neden olur. Muhtemelen süreksizlik sınırlarında aşağı doğru akım hızının engellenmesi nedeniyledir.Yüzey çok yumuşak olmasa da, yüksek hızlı su ve özel bazı şartlar altında, çelik ve diğer metallerde bile ciddi kavitasyon (oyulma) hasarı meydana gelebilir.Yüzey düzensizlikleri olan noktalarında mutlak basınç suyun buhar basıncına yaklaşırsa, çok ufak kabarcıklar oluşur ve hızla içeri çöker. Kabarcığın çökmesi çok küçük yüksek hızlı su jetleri oluşturur. Kabarcığın çökmesiyle oluşan yoğun şok dalgaları seri çekiç darbeleri şeklinde ve ardarda etki eder. Etki çok yüksek dayanımlı beton, hatta metaller için bile çok yıkıcıdır. Kavitasyon anaforunun ve kabarcıkların oluşumu önlenirse kavitasyon hasarı oluşmayacaktır. Hasar genellikle su kanalları yüzeyinde, kanal kapaklarında, apronlarda, enerji dağıtma havuzlarında, sifon ve tüneller gibi yüksek hızlı su taşıyan yapılarda oyulma şeklinde oluşur.

Betonun kavitasyon hasarı normal erozyondan kolaylıkla ayırt edilir. Hasarlı alanlarda çentikler vardır. Hasar nedeniyle betondan büyük parçalar kopabilir. Sürüntü maddeleri taşıyan su erozyonu yumuşak yüzeylerde görülür.

#### b)Sürüntü maddeleri taşıyan suyun aşındırması:

Yüksek kaliteli beton, hızlı akan suyun taşıdığı aşındırıcı maddelerin oluşturduğu hasara karşı çok dirençlidir. Hasarın derecesi ve önemine karar verme faktörleri bu faktörlerin sayısına ve önemine bağlıdır ve aşağıda sıralanmıştır;

ı-Basınç dayanımı cinsinden betonun kalitesi, çimento ihtivasi ve ince ve kaba agreganın aşınma direnci önemlidir. 42 N/mm<sup>2</sup> lik beton aşınmayı karşılar, agrega dane çapı 25mm ile sınırlandırılarak aşınmalar azaltılabilir.

ıı-Akan suyun hızı

ııı-Taşınan sürüntü maddelerinin niteliği ve aşındırıcı karakteristikleri

ıv-Akış karakteristikleri, akışın sürekli veya kesikli olması ve sürüntü maddelerinin günden güne yada saatten saate değişimi ile sınırlıdır.

Bu dört faktör arasındaki etkileşim pratik olarak gösterilmemiştir. Detaylı onarım metodları ve teknikleri kullanılması hasar görmüş yapının tipine, hasarın sınırlarına ve erozyon oluşum periyoduna bağlı olacaktır. İnce taneler yüzeyde çizikler oluşturur, iri taneler ise tabanda daha derin çizikler oluşturur. Dalga kıranlarda eteklerden kopan kum tanecikleri dalga tarafından sürüklenerek üst kısımları aşındırıcı etki yapar. Kesit daha geniş tutulup köşeli elemanlar yerine yarım dairesel elemanlar kullanılarak aşınma etkileri azaltılabilir.

Yüksek hız jeti darbesi:

Çok yüksek hızlı su jetinin beton yüzeye çarpma etkisi çimento hamurunda erozyon oluşturarak ince ve kaba agreganın gevşemesine ve bunun sonucunda betonda çukurlar oluşmasına neden olur. Yüksek hız jeti ile beton kesmenin prensibi de budur. Hortum burnundaki basınç hızla değişir. Bu değişim 21 N/mm<sup>2</sup> beton den 41N/mm<sup>2</sup> ye kadardır. Yüksek kaliteli beton oluşturulursa temiz su ile oluşan erozyona karşı çok büyük direnç sağlanır, ama betonun dayanımı ve kritik hız faktörünün sınırları sabitleştirilemez.

Jet oluşumuyla erozyon başladığında en iyi çözüm beton döşeme veya duvara çelik levhaları güvenli bir şekilde yerleştirerek sağlanabilir. Plakların yerleştirilme detayları dikkatlice düşünülmeli ve epoksi harcı kullanılmalıdır. Hafif hasar durumunda ve etkili periyot süresinin üzerinde oluştuğunda normal beton onarım teknikleri kullanılabilir.



### 2.3.9.2 Kaplamaların aşınması (abrozyon)

Zemin kaplamalarında, asfaltlarda meydana gelen aşınmalara abrazyon denir. Makina yağları (mazot vs.), toprak, parça ve döküntü etkileri aşınmaları artırır. Dingillerin oluşturduğu basıncın arkasından vakum etkisi oluşur. Makina yağları agregaların yapışma yeteneğini zayıflatarak kopmalara imkan verir. Virajlarda abrazyon fazladır. Betonun abrazyonunu önlemek için basınç mukavemeti yüksek beton kullanmak gerekir. Basınç mukavemeti 28 N/mm<sup>2</sup> dan büyük betonların aşınma dayanımı iyidir. Virajların geniş çaplı alınması, yüzeyin sık sık temizlenmesi aşınmayı önler. Yüzeyi sertleştiren NaSiO<sub>2</sub>, MgSiO<sub>2</sub> gibi katkıları aşınma dayanımını artırır.

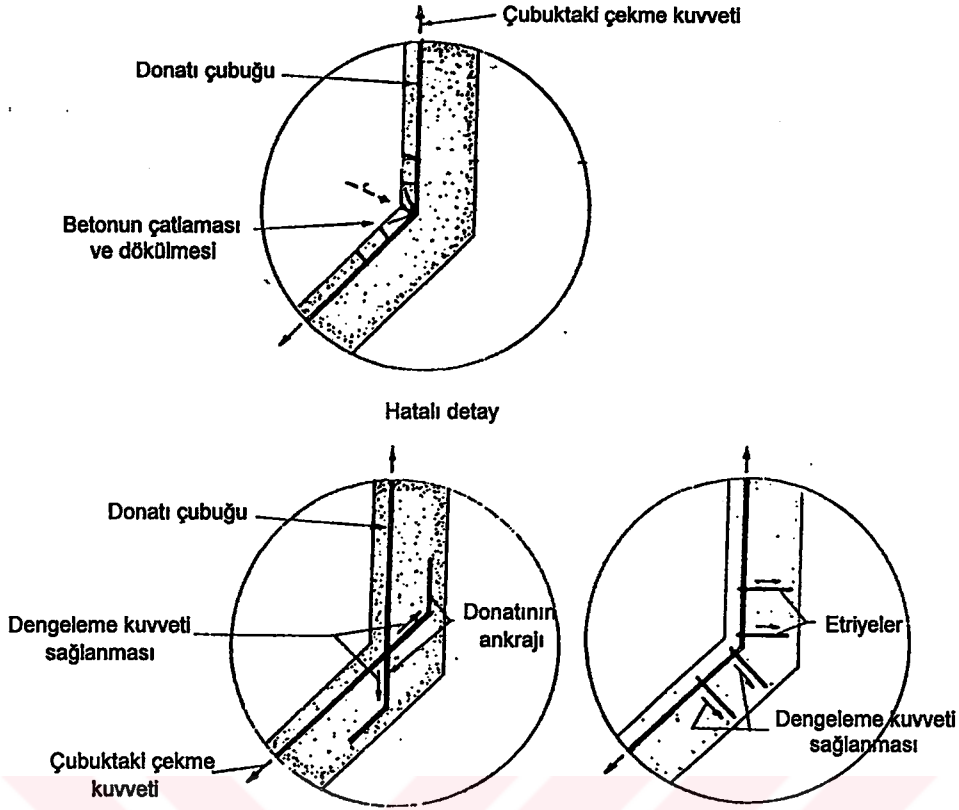
Duman bacalarında çok ince kül çeperele çarparak aşındırma etkisi yapar. Bu nedenle baca çeperelelerine yansıtıcılar yerleştirilir. İnşaat kesinti derzlerinde işin ertesi güne sarkması gerektiğinde oluşan farklı beton nedeniyle de aşınma etkilerine rastlanır.

### 2.3.10 Hatalı detaylar

Bu kısma kadar anlatılan hasarlar, uygun olmayan yapım veya çeşitli tiplerdeki bozucu çevre etkilerinin beton malzemelerinde oluşturdukları kusurların meydana getirdikleri hasarlardır. Kötü tasarlanmış detaylarda da gerilme birikimleri nedeniyle benzer hasarlar oluşmaktadır. Tasarımlardaki bu detay hataları maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır.

#### a- Keskin, dik ve dar açılı köşeler

Keskin, dik ve dar açılı köşelerde donatı çubuğu serbestçe hareket edemeyeceği için bu kısımlarda gerilme birikimleri oluşacak ve gerilmeler yanal olarak dağılarak bu kısımdaki betonda çatlak ve dökülmelere neden olacaktır. Çekme kuvvetlerinin oluşturduğu yanal kuvvete karşı koyacak dengeleme kuvvetinin sağlanması gerekmektedir. Bu dengeleme kuvvetlerini sağlayacak detaylar Şekil 2.7 de gösterilmiştir.



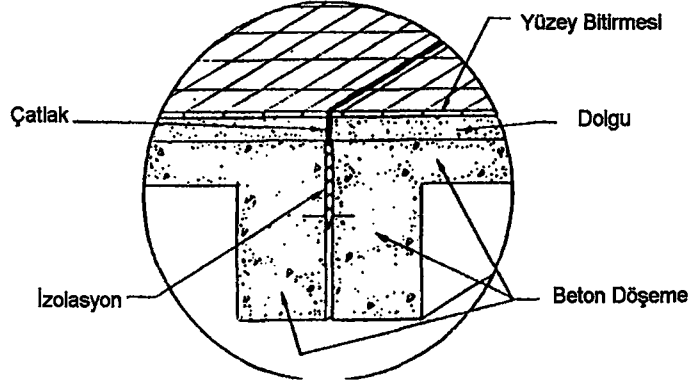
Şekil 2.7 Keskin köşelerde hatalı detay ve önlemleri.

Bu tip çatlaklar topal pencerelerde, şömine kenarlarının döşemeyle yekpare olduğu yerlerde, kapı ve pencereyi çerçeveleyen köşelerde, merdiven ile sahanlık döşemesinin birleştiği yerlerde, kolonların döşemeye birleştiği yerlerde, bir odadan diğer odaya geçiş yerlerinde, döşemelerde meydana gelen köşelerde oluşmaktadır.

#### b- Ani kesit değişimleri

Kesitlerde ani değişimlerin olması, gerilme birikimlerine neden olduğundan çatlaklar meydana getirir. Kutulanmış çelik çerçeve sistemde çelik, kiriş hizasına çekilerek döşemenin tamamen kiriş üzerinde oluşturulması ile veya döşeme çeliklerinin kutulanmış kesitte bir donatı kafesi oluşturmasıyla bu çatlaklar önlenebilir.

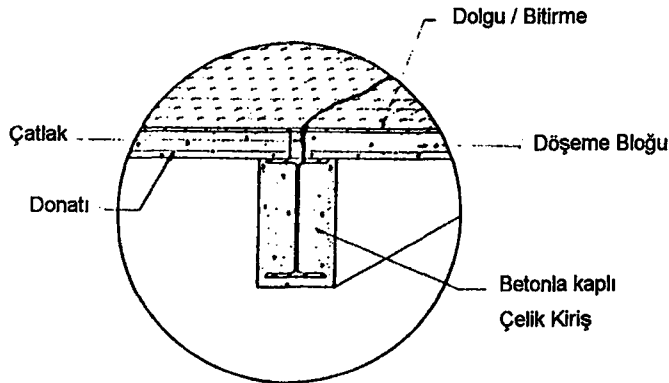
Çerçeve yapılar da genişleme veya büzülme derzlerinin doldurularak bitirme işlerinin yapılması çatlaklara neden olur. Halbuki dolgu ve bitirme işlerinde de derzin sağlanması gereklidir. Ayrıca açıklıkların köşelerine ekstra donatılar konulması, döşeme içinde birbirine çok yakın gruplar halindeki kanal ve boru açıklıklarına (tesisat boşluklarında) da özel dikkat gösterilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.8 Ani kesit değişmesi.

### c- Prefabrike döşeme ve kirişler arasındaki rijit derzler

Prefabrike döşeme birimleri üst donatıları uzatılmadan ve özel bağlantı şekilleri düşünülmeden basit mesnet koşulları için tasarlanırlar. Mesnet üzerine döşemeler yerleştirilip üzerine yerinde dökme dolgu ve/veya bitirme işlemi uygulanır. Döşeme birimlerinin uçlarının dönmesi prefabrik döşemelerin birleşme yeri üzerindeki yerinde dökme dolguda çatlaklar oluşturabilir. Döşemeler esnek asfalt veya benzer bir malzemeyle kaplanarak bitirme uygulanmazsa döşeme bitirmelerinde (karo kaplama) kötü görünümlü çatlaklar oluşabilir. Bu nedenle dolgu betonu ve bitirme işlerinde elastik derz oluşturulmak ve /veya esnek döşeme kaplamaları veya (kauçuk kaplama) topping yapmak gereklidir.

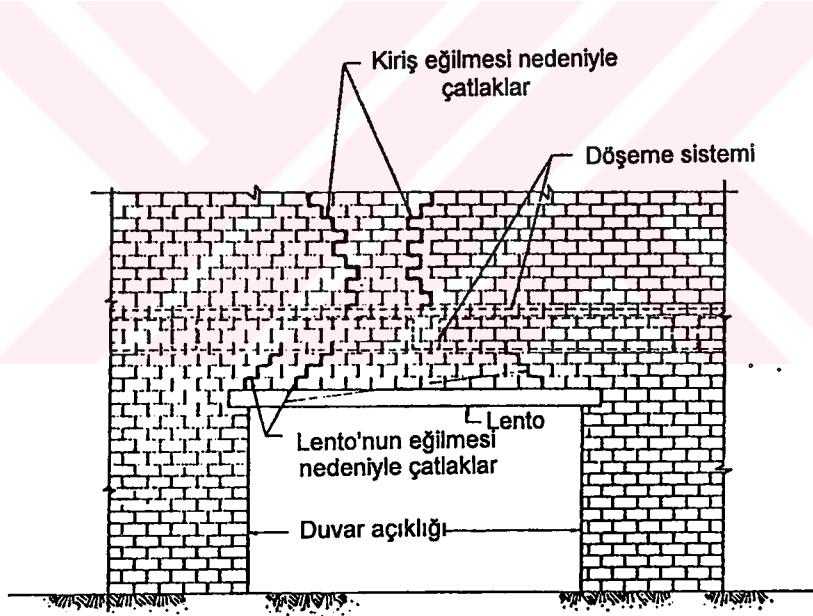


Şekil 2.9 Prefabrike döşeme birimlerin eğilmesi nedeniyle çatlaklar.

#### d- Narin eğilme elemanlarının aşırı sehimi

Yapılarda hareketli yüklerden ötürü döşemelerdeki sehimin, açıklığın 1/240 ile 1/360 arasında olmasına izin verilir (TS 500). Yüklenmiş bir yapıda sehim hemen oluşacaktır. Bu deformasyonlar duvarları veya diğer kısımları etkileyecektir. Yapının bu kısımlarda oluşan beklenmeyen yükleri taşıması gerekecek, eğer taşıyamazsa çatlayacaktır. Benzer çatlaklar temel oturması nedeniyle de oluşurlar.

Bu şartlarda geçerli çözüm: 1) rijit yapı yapmak ve duvarlara gelen yükleri ve sehimleri azaltmak, 2) bu kısımları oluşacak yükleri karşılayabilecek kadar güçlü yapmak, 3) döşeme ve duvar arasındaki aderansı ortadan kaldırmak ve yapı etrafında duvarı gevşetmek amacıyla duvar üstünde ince bir derz veya boşluk oluşturmak, 4) önceki şıklardan bazılarını birlikte uygulamak veya 5) çatlakları olduğu gibi kabul etmektir.



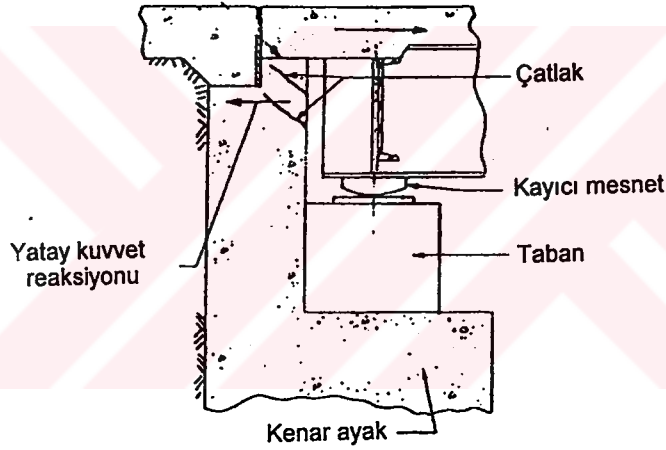
Şekil 2.10 Narin eğilme elemanlarının aşırı sehimi.

#### e- Derzlerdeki sızıntılar, yetersiz açıklık bırakılması, derz boşluklarının dolması

Derz gereken yerlerde iyi detaylandırma yapılmalıdır. Detaylandırma iyi olmazsa su uzun ve dolambaçlı yollar izleyerek penatre olacaktır. Önlem olarak derze su gelişi durdurulmalı ve su izolasyonu yapılmalıdır.

Dilatasyon derzlerinde yetersiz açıklık bırakılması derze yakın kısımlarda kopmalara neden olur. Deprem, genleşme ve oturma derzlerinin yetersiz olması yapıda hasar oluşturur. Dilatasyon derzlerinin kenar kısımlarında donma çözülme etkisiyle de çatlamlar ve parça kopmaları oluşur. Dilatasyon derzi oluşturulurken araya konan ahşap çıkartılmazsa ileride hasara neden olacaktır.

Genleşen taşıyıcı bileşimler zamanla korozyon etkisiyle, kir, toz ve çöplerin birikmesiyle hareket edemez olurlar. Sonuçta yatay kuvvetlere (boyuna itme kuvvetlerine) sadece sabit taşıyıcılarla karşı konulması yerine, kısmen genleşen taşıyıcıların mesnetleriyle karşı konulur ve beton mesnetler üzerine kayma etkisi oluşur. Diyagonal gerilmeler sonucu Şekil 2.11 deki çatlaklar oluşur. Bu durumda etriye kullanmak uygundur.



Şekil 2.11 Derzlerin dolmasıyla boyuna itkilerin neden olduğu çatlaklar.

#### f- Yetersiz damlalık ve tahliye (sızdırma) boruları:

Köprü tabliyelerinde parapet boyunca veya yaya kaldırımı kenarları boyunca, daha alçak yapılara akmayacak şekilde, aşağı doğru dökülecek konumda yerleştirilmiş uygun tahliye boruları düzenlenmelidir. Tahliye boruları mümkün olabilecek tıkanmaları önleyecek kadar geniş olmalıdır. (minimum 5cm çapında ) Kornişler gibi yatay çıkıntı yapan elemanlar ve duvar tepelikleri gibi çıkıntılı yapılarda damlalık yivleri veya damlalık saçakları oluşturulmalı ve koruyucu duvarlara su gelmesi önlenmelidir.

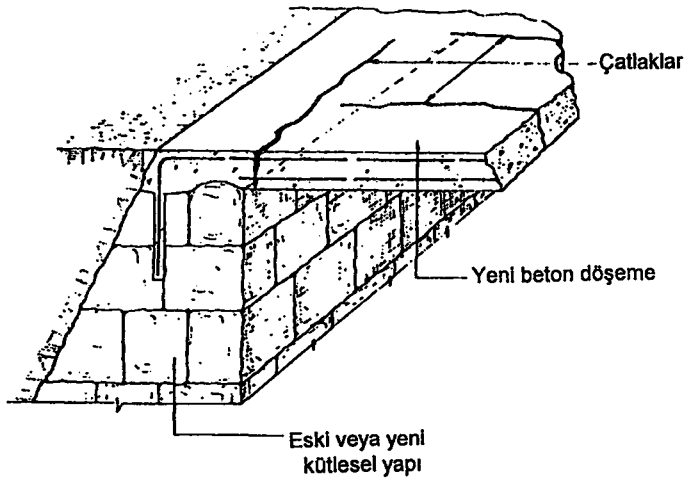
### g- Yetersiz dereler (drenaj)

Betonarme yapılarda en fazla yanlış detaylandırma yapılan yerler drenajlardır. Yapı su gölcüğü oluşturmamalıdır. Yatay yüzeylerde, duvar üstleri dahil, yeterli sıklıkta ve genişlikte oluk (dere) ve tahliye boruları oluşturulmalı ve drenler bindirme yerlerinde veya alçak noktalarda ziftlenmelidir. Tahliye boruları beton yüzeyine etki etmeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Yüzey suyu yapıdan uzaklaştırılmalıdır. Yüksek zeminlerden drenajın yere veya duvar yüzeyine akmasına izin verilmemelidir.

### h- Kesit veya malzemelerin yetersizliği

#### 1)-Kesitler:

Masif beton kesitler ve bitişik olan ince kesitler birlikte çalışmazlar. Yeterli donatılmadıkça şekil 2.12 deki gibi çatlaklar oluşacaktır. Öngermeli I profillerde flanşlar ağır donatılıdır ve rötre deformasyonlarına direnç gösterirler, hafif gövde donatısı ise bu deformasyonlara karşı koyamaz. Bu tip durumlarda gövdeye %0,5 veya daha fazla boyuna donatı konulması önerilir. Teorik olarak gerekmesede bu gövde donatısı konulmalıdır. Diğer bir uyumsuz kesit olayı köprü tabliyesinde rijit kaplama tabakası kullanılmasıyla oluşur. Güneş ışınları köprü yüzeyindeki kaplama tabakasını alttaki yapısal tabakadan daha fazla genişletir. İki tabaka arasında bölgesel ayrılmalar oluşacaktır. Kaplama yüzeyi daha ince ve daha hafif donatılı olduğundan, trafik yükü altında bu yükleri taşıyamayacak ve çatlayacaktır.



Şekil 2.12 Kesit uyumsuzluğu- masif kütleye birleşik ince kesit.

#### 11)-Malzemeler:

Eski ve yeni dökülen betonun uyumsuzluğu da çatlamalara yol açabilir. Bu iki betonun yaşları farklı olduğundan genişleme katsayıları, elastisite modülleri, nem oranları, rötresi farklı olabilir. Bunların sonucunda kompozit kesit gibi çalışan iki ayrı malzemenin arasında kesme kuvvetleri oluşabilir. Bu kayma gerilmelerini alacak çekme gerilmeleri doğar ve iki yüzey bir süre sonra ayrılabilir.

Sulu beton karışımlarında veya aşırı vibrasyon sonucu kütle tabakalaşır. Beton kalıplarda sertleşmeye bırakıldığında üniform değildir. Eğer kalıplara aşırı vibrasyon uygulanırsa, karışımdaki ağır ve iri malzemeler kalıbın alt kısmında, daha hafif olan su ve ince malzemeler üst kısımda toplanırlar. Sonuçta beton tabakalanır ve termal değişimler veya nem ihtivasındaki değişimler sonucu tabakalar birbirinden ayrılır. Bu tür uygulamalara izin verilmemelidir. Soğuk derzlerde de benzer etkiler görülür. İki döküm arasında özel dikkat gösterilip bağlantı sağlanmayan elemanlarda bu birleşme kısımlarında su penetrasyonu ve donma nedeniyle dökülmeler oluşur.

#### i- Su depolarındaki termik etkiler

Hava ısınınca güneş alan yan duvar şişerek dairesel kesit eliptik bir şekil alır. Deponun gömülü kısımlarında, saçak altlarında ve gölge olan tarafta ısı sabit olduğundan bu noktalarda genişlemelere direnç gösterecektir. Bu dirençler nedeniyle çatlaklara neden olan gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler dönüşümlüdür, ısının yükselmesine veya düşmesine bağlı olarak değişirler. Döşemelerle duvarlar, duvar iç ve dış yüzeylerindeki düşey donatılar ve döşeme arasında bağlantıların iyi yapılmasıyla önlenir.

Deponun duvarlarında, sıvı seviyesindeki kısımlarda sıvının ısıyı absorbe ederek termik stabilite oluşturması nedeniyle benzer etkiler meydana gelir. Su seviyesinin altındaki duvar betonu suyu emer ve dış taraf ise kurumaya eğilimlidir. Duvarlardaki bu farklı şişme ve inme etkileri düşey ve yatay çatlakları oluşturur. Önlemek için yeterli düşey ve yatay donatı yerleştirilmelidir.

Aynı olay dikdörtgen depolarda ve bina duvarlarında da oluşur. Eğer duvarlar yapıya veya mesnetlere uygun şekilde bağlı değilse duvarlarda kırılmalar ve kavisler oluşacaktır.

### **k- Sünmenin hesaba katılmaması**

Sünme veya gerilme etkisi altındaki betonun çok yavaş deformasyonu iyi bilinen bir olaydır, fakat bazen ihmal edilir. Sonuçta yapıda umulmayan deformasyonlara neden olur. Bu deformasyonlar derzlerin açılmasına ve mesnet veya kenar ayakların çatlamasına neden olur. Tasarım esnasında sünmenin hesaba katılması ihmal edilmemelidir.

### **2.3.11 Tasarım (proje) hataları**

Yapıların tasarımında hata yapılmaması; yönetmelik ve şartnamelere uyulması gereklidir. Tasarımda hata olduğunu söyleyebilmek için projenin baştan sona kadar incelenmesi gereklidir. Tasarım hataları meydana geldiğinde belirtileri yine çatlaklar ve dökülmeler şeklinde olacaktır. Aynı belirtiler diğer bozucu etkilerle de oluşabilir. Bazı problemlerin tanısını yapmak gerektiğinde bozulmaların potansiyel sebepleri listesinde projelendirme hatalarını da düşünmek gereklidir.

### **2.3.12 Deprem**

Depremler yer kabuğunda çeşitli nedenlerle biriken potansiyel enerjinin herhangi bir sebeple açığa çıkmasıyla kırılmalar sonucu oluşur. Bu enerji birikimine neden olan etkenler; katmanlar arasındaki ısı ve yoğunluk farkları nedeniyle soğuk tarafa doğru sürekli akımlar olması (konveksiyon akımları), atmosferdeki basınç değişimi, dünyanın kendi ekseninde etrafında dönmesi, güneş ve ayın çekim etkisi gibi olaylardır.

Deprem Türleri:

Tektonik depremler; yer kabuğunun zayıf bölgelerinde kırılması nedeniyle enerji boşaltması sırasındaki kinetik hareketlerdir. Depremlerin %90 ını oluşturur.

Volkanik depremler; magmanın yer kabuğunun zayıf bir noktada delerek yüzeye fişkırması sırasında oluşturduğu sarsıntılardır.



Karstik depremler; CaCO<sub>3</sub> lu tabakaların eriyerek oluşturduğu boşlukların çökmesiyle oluşan depremlerdir.

Su rezervlerinin boşalması sonucu çökmelerin meydana gelmesiyle de depremler oluşabilir.

Yapıların hesaplanmasında önemli olan depremler ise tektonik depremlerdir.

Türkiye'nin depremselliği:

Yerkabuğu fay denilen önemli kırık hatlarla kırılmış durumdadır ve levha olarak adlandırılan irili ufaklı 20 adet etrafi çatlaklı kütle vardır.

Türkiye deprem yönünden aktif bir deprem kuşağı olan Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer almaktadır. Yurdumuzdaki en önemli fay Karadeniz fay hattıdır. Güneyimizdeki Arabistan yarımadasında yer alan Arap levhası yeni ve büyük bir levha olup Anadolu plağını etkilemektedir. Karadeniz fayının üzerindeki bölgedeki Karadeniz Plağı ise yurdumuzu etkileyen üçüncü levhadır.

Ülkemiz nüfusunun %95 i, yüzölçümünün %92 si önemli deprem bölgelerinde, endüstrinin %25i, 1.derece deprem bölgelerinde, %50 si, 2.derece deprem bölgelerinde yoğunlaşmıştır.

Türkiyede oluşmuş önemli depremler;

Tarih	Yeri	Şiddeti	Büyükklük(Magnitüt)	Can Kaybı	Hasar
26. 12.1939	Erzincan	X-XI	7.9	32962	116720
21.12.1942	Erbaa-Niksar	IX	7.0	3000	32000
26.11.1943	Tosya-Ladik	IX-X	7.2	2824	25000
1.2.1944	Bolu-Gerede	IX-X	7.2	3959	20866
18.3.1953	Yenice-Gönen	IX	7.4	265	9670
19.8.1966	Varto	IX	6.9	2394	20007
8.3.1970	Gediz	IX	7.2	1086	9452
6.9.1975	Lice	VIII	6.9	2385	8149
24.11.1976	Çaldıran	IX	7.2	3840	9552
13.3.1992	Erzincan	VIII	6.8	653	6702
1.10.1995	Dinar	VII	6.1	90	4500
27.6.1998	Adana-Ceyhan	VII	6.3	145	4000

Yukarıda belirtilen depremler hasar ve can kaybının büyük olduğu depremlerdir. Ülkemizde bu büyüklükte depremler her zaman bekleneceğine göre depremin yapılar üzerindeki etkilerinin, yapısal hasar nedenlerinin ve alınması gereken önlemlerin üzerinde önemle durulması gerekir.

Türkiye tektonik yapısı ve beklenen deprem şiddeti gözönüne alınarak bölgelere ayrılmıştır.

- |                         |                                      |
|-------------------------|--------------------------------------|
| 1.derece deprem bölgesi | şiddeti I=IX                         |
| 2.derece deprem bölgesi | şiddeti I=VIII                       |
| 3.derece deprem bölgesi | şiddeti I=VII                        |
| 4.derece deprem bölgesi | şiddeti I=VI                         |
| 5.derece deprem bölgesi | şiddeti $I \leq V$ Tehlikesiz bölge. |

#### a- Deprem etkisi ile oluşan hasarlar

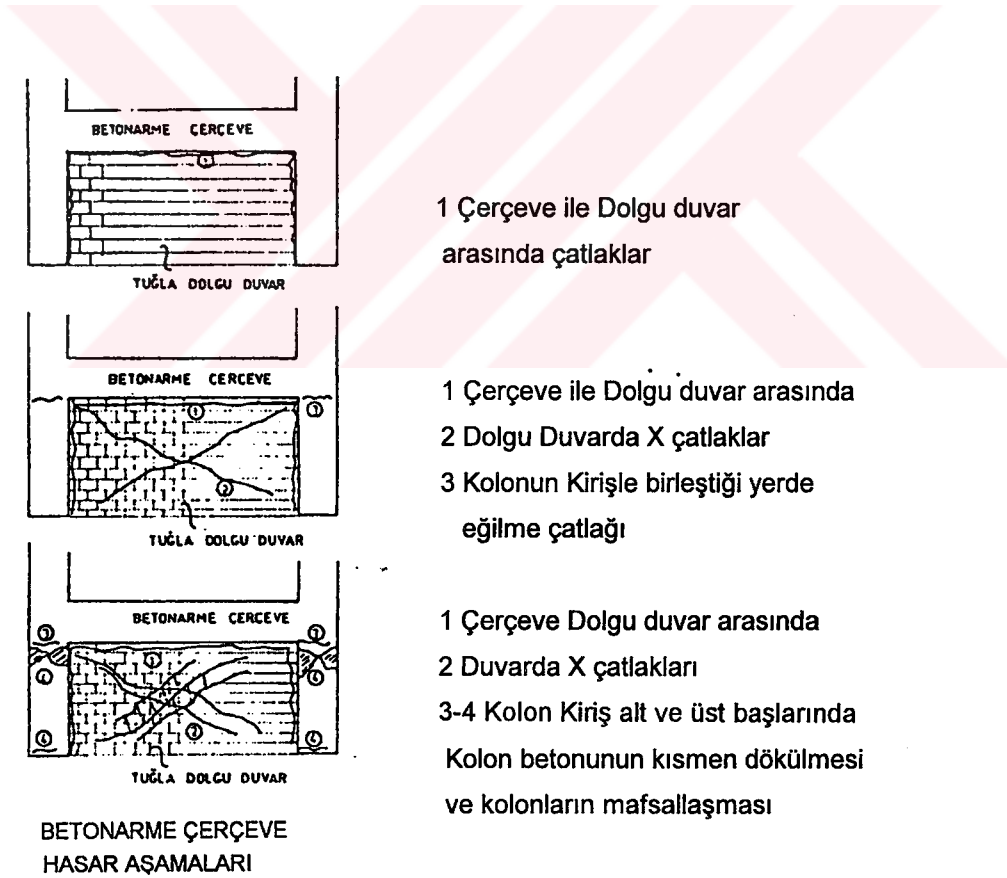
Betonarme yapılarda deprem hasarı sıva çatlakları ile başlar. Sıva çatlakları ilk olarak su ve elektrik tesisat borularının geçtiği yerlerin üzerinde daha ince sıva tabakası bulunan yerlerde görülür. Daha sonra betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki yüzeylerde sıva çatlakları oluşur. Bu çatlaklar önce kiriş ile dolgu duvarın üst yüzü arasında olurken daha sonra kolon ile dolgu duvarlar arasında ortaya çıkar. Çerçeve hareketi ile dolgu duvar hareketi arasındaki farklılık nedeniyle kiriş alt yüzü dolgu duvarın üst yüzü üzerinde kayar ve çatlak şeklinde kendini gösterir. Bu düzeye kadar olan hasarlar MSK şiddet cetveline göre V-VI şiddeti olarak nitelenmektedir.

Daha şiddetli depremlerde zayıf malzemedan yapılmış dolgu duvarlarda hasarlar oluşur. Kolonlardaki mafsallaşma hasarı önce (zemin kat yada yumuşak katlarda) kritik kolonlarda oluşur, dolgu duvar hasarının ileri düzeye ulaşmasıyla bütün zemin kat kolonlarına yayılırken kritik kolonlarda da en üst seviyeye ulaşır. Dolgu duvarın ileri derecede parçalanıp tuğla parçalarının dökülmeye başlamasıyla kolon mafsallaşma hasarında ileri boyutlara ulaşır. Şekil 2.13 de betonarme çerçeve hasar aşamaları görülmektedir.

Yüksek dolgu duvarlarda (3m ve daha yüksek) duvarın üst kısmı yıkılır. Boşluklu duvarlarda hasar pencere hizasında oluşur. Tuğla duvar malzemesinin sünek olmaması nedeniyle, zorlamalar altında, köşelerde çentik etkisi oluşarak buralarda ortaya çıkan gerilme

birikimi ile çatlak başlar ve zorlamanın şiddetine göre uzayarak devam eder. Bu tür çatlaklar pencere ve kapı köşelerinde ve  $270^\circ$  lik açının ortayına yakın bir doğrultuda oluşmaktadır. Betonarme çerçeve tarafından tüm olarak çevrelenmemiş duvarlarda çatlak birbiriyle ortada kesişen çapraz şeklindedir. Dolgu duvarlarda kesme kuvvetlerinden oluşan eğik çekme ve basınç gerilmeleri nedeniyle eğik çatlaklar ve ezilmeler oluşur. Deprem etkisinin yön değiştirmesi (tersinmesi) nedeniyle kesişen eğik çatlaklar şeklindedir. Pencere boşlukları arasında kalan duvar kısımlarında yaklaşık 45 ile pencere alt köşesinden yükselen ve üst köşesinden alçalan çapraz çatlaklar oluşur. Bazan duvar çatlaksızın kayar yada burulma etkisi altında kalabilir.

Bu kısımda anlatılan hasarlar MSK şiddet cetveline göre VI-VII ve daha yüksek şiddetlerde oluşmaktadır.



Şekil 2.13 Betonarme çerçeve hasar aşamaları. (Bayülke, 1984)

Betonarme yapılarda temellerin oturması nedeniyle bölme duvarlarında oluşan çatlak hasarları üst katlara doğru giderek azalır. Özellikle oturan çerçevenin içinde kalan dolgu duvarları dört kenarından çerçeveden ayrılır. Bu ayrılma miktarı da üst katlarda giderek azalmaktadır.

Konsol çıkmaların uç kısımlarındaki aşırı sehim, konsolun ucuna oturan dış cephe duvarlarının pencerelerinin alt ve üst seviyelerinde boydan boya uzanan yatay çatlaklar yan duvarlarda pencere alt hizasına gelen seviyeden başlayan eğik çatlaklar oluşmasına neden olur. Konsol kalıplarının iyi yapılmaması nedeniyle ve konsol veya çıkmanın tam ankastre olarak kolona yada kirişe bağlı olmaması ve beton dayanımının projede belirtilenden düşük olması, kirişin şartnamedeki koşulları sağlayacak ölçüde rijit yapılmamış olması aşırı uç sehimlerine neden olur. Bu tür hasarın ileri derecelerinde konsol çıkmanın mesnetinde üst yüzeyde sürekli çatlak oluşur.

Deprem sırasında yapıya gelen deprem enerjisi yapının yük altında ötelenmesi ile tüketilmektedir. Yatay yük-ötelenme eğrisi altında kalan alan tüketilen enerjiyi göstermektedir. Betonarme çerçeve hasarı önce dolgu duvar hasarı, biraz ilerlemiş hasar durumu kolon uçlarında çekme ve basınç hasarı, daha sonraki aşama ise kolonun uçlarının mafsallaşması ile gelişmektedir. Betonarme yapılarda kolonlar kirişlerden daha zayıf yapılırsa çerçeve hasarı daha çok kolonlarda oluşur. Kolonlarda aşırı hasar yapının tamamen göçmesine neden olacağından depremlerde öncelikle mafsallaşma hasarının kirişlerde oluşması istenir. Kiriş moment taşıma kapasitesi kolon kapasitesinden küçük olmalıdır. ( $\Sigma M_{\text{ukolon}} \geq 1.2 \Sigma M_{\text{kiriş}}$ ) TS 500.

Deprem hasar tesbitinde kullanılan, Betonarme yapıda deprem hasar düzeyleri

- A Düzeyi Hasar: Hasarsız yada az hasarlı yapılar. Herhangibir onarım gerektirmezler.
- B Düzeyi Hasar: Az hasarlı yapılar. Hemen kullanılabilir, onarım yapı kullanılırken de yapılabilir. Sıva çatlakları, pencere camlarının kırılması, dengesiz eşyaların devrilmesi gibi.
- C düzeyi Hasar: Taşıyıcı sistemin onarımını gerektirecek derecede hasarlı yapılar. Yapı güvenliği önemli ölçüde azalmıştır. Onarım ve güçlendirme gereklidir.
- D Düzeyi Hasar: Ağır hasar, onarılmaz yapılar. Yapı tamamen yıkıntıya dönüşmemiş içindeki insanlar can kaybı olmadan boşaltılmışlardır.

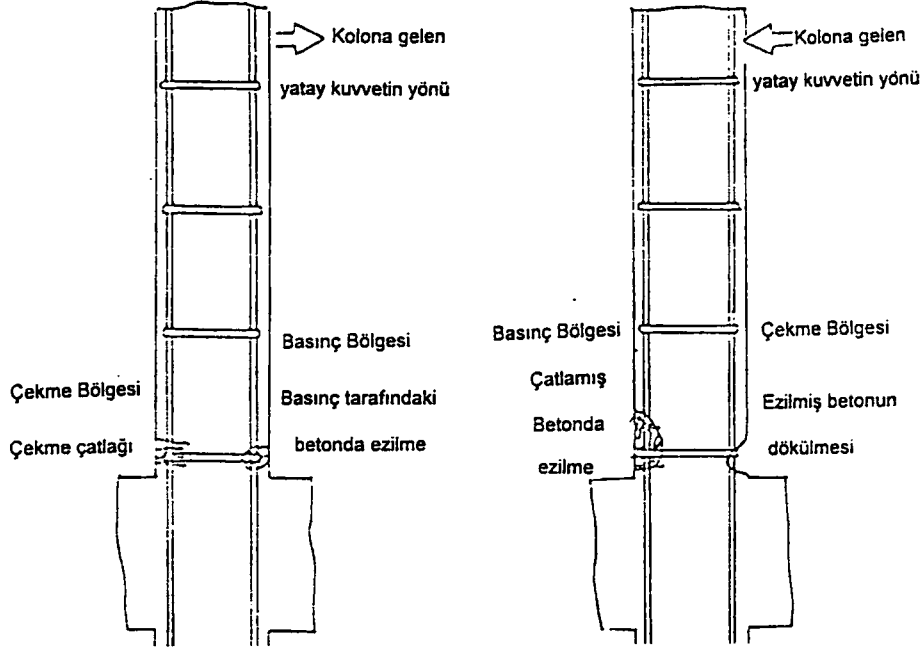
### **Kolonda deprem hasarı**

Deprem kuvvetinin etkime yönüne göre önce kolonun bir yanında çekme çatlakları oluşurken diğer yanında basınçtan ötürü ezilme oluşacaktır. (Şekil 2.14) Deprem hareketinin yönünün değişmesiyle çekme çatlağı olan bölgedeki betonda ezilme, daha önce ezilmiş olan taraftaki betonda dökülme oluşur. Kolon donatılarının üstünde kalan kabuk betonunun tümü ile dökülmesi sonucu kolon uçlarında etriye sıklaştırması yapılmayan donatıların içinde kalan çekirdek (göbek) betonunda ezilme ve dökülmeler oluşacaktır.

Etriye sıklaştırması yapılmış kolonlarda çekirdek betonunda fazla çatlama oluşmayacak ancak çok şiddetli depremlerde aşırı çatlama oluşacaktır. Kolonun betonu ezilip parçalandığında kolon düşey yüklerini taşıyamaz, etriyeler açılır ve boyuna donatılar dışarı doğru burkular. Kolonun ezilmesi sonucu boyu kısalmır, ileri derece boy kısalması yapıda ileri derecede hasar oluşturur ve artık yapı onarılamayacak duruma gelir. Kolonda boy kısalması olmamış ise kolonda onarım yapılabilir.

Depreme dayanıklı yapıda mafsallaşma hasarı kabuk betonunda çatlak ve hafif dökülme düzeyinde kalmalıdır. Daha ileri düzeyde mafsallaşma hasarı yapının stabilitesinin bozulmasına yol açan yatay ötelemeler oluşturur ve ikinci mertebeden ek momentlerin ortaya çıkmasıyla yapı hızla yıkılabilir. İleri düzeyde bir mafsallaşma hasarı sonucu parçalanıp dökülen betonun kesme kuvveti taşıma gücü de azalacaktır, etriyelerin açılması da kesme kuvveti taşıma gücünü azaltacaktır. Bu durumda kolonda kesme kırılması da başlayacaktır.

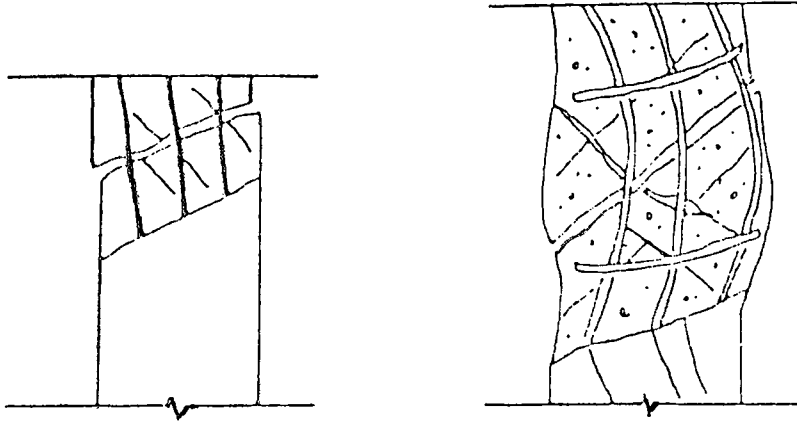
İleri derece bir hasarda mafsallaşma hasarı ile kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme hasarının hangisinin önce oluştuğunu tahmin etmek güçtür.



Şekil 2.14 Kolonda mafsallaşma hasarı

### Kolonda kesme hasarı

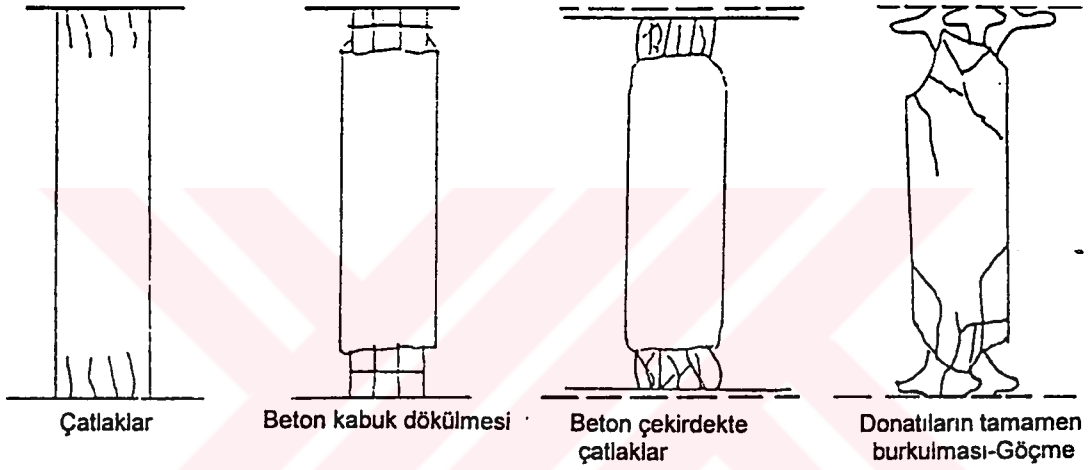
Kolon kesme kuvveti taşıma gücü yetersizse yaklaşık 45 derece eğimli çatlaklar şeklinde kesme çatlakları görülür. Beton ile donatı arasında beton basınç dayanımının yetersizliği veya kolon boyuna donatılarının aynı yerde eklenmesi sonucu aralarına beton girememesi nedeniyle aderans sağlanamadığı durumlarda donatı üzerindeki beton kabuk kopup düşer. Donatı ile beton birlikte çalışmadığı için donatı akma gerilmelerine ulaşmadan beton sıyrılır, betonarmeden istenilen moment kapasitesine ulaşamaz. Şekil 2.15 de ileri düzeyde kolon kesme kırılması hasarı örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.15 Kolonda ileri derecede kesme kırılması

### Kolonlarda basınç hasarı

Kolonun aksenal yükü, kolon aksenal yük taşıma kapasitesinin %50'nden fazla ise deprem sırasında basınç kırılması ile hasar oluşacaktır. Bu hasar beton dayanımının projede öngörülenden daha düşük olması sonucunda da oluşur. Basınç kırılması kolonda gevrek ve ani bir kırılma biçimidir. Kolon boyuna donatısı akma sınırına ulaşmadan betonun ezilerek çatlaması şeklinde gelişir ve yapının ani olarak yıkılmasına neden olabilir. Kolon dış yüzünde betonda oluşan düşey çatlaklardan sonra kolon boyuna donatısı dışarı doğru burkulmaya başlar. Bu durumda yapı hemen askıya alınmalı, onarım ve güçlendirme uygulanmalıdır.



Şekil 2.16 Kolonda basınç kırılması aşamaları.

### Kolonlarda diğer hasarlar

Kolonlarda gözlenen hasar biçimlerinden biri de burulma hasarıdır. Kolonun bir tarafında diyagonal olarak uzanan çatlaklar ve beton dökülmeleri olurken diğer tarafında yine diyagonal uzanan betonda basınç ezilmeleri oluşabilir.

Betonarme kolonlarda gözlemlenen diğer bir hasar "kısa kolon" hasarı olarak adlandırılan kesme kırılması hasarıdır. Çeşitli nedenlerle kolonun boyu projede öngörülenden küçükse yada taşıyıcı olmayan elemanlar, bölme duvarı, lento vb gibi elemanların kolonun yatay deformasyon yapmasını önlemesi sonucu kolon öngörülenden daha rijitse beklenenden büyük kesme kuvveti ile zorlanır. Hesaplarda beklenenden daha büyük kesme kuvveti de

kolonda kesme kırılmasına yol açacaktır. Oturan bir kolon, kirişlerde oturma çatlakları oluşturur ve kolonları birbirine bağlayan kiriş uçlarında mafsallaşma oluşur.

### **Kolon- kiriş ek yeri hasarı**

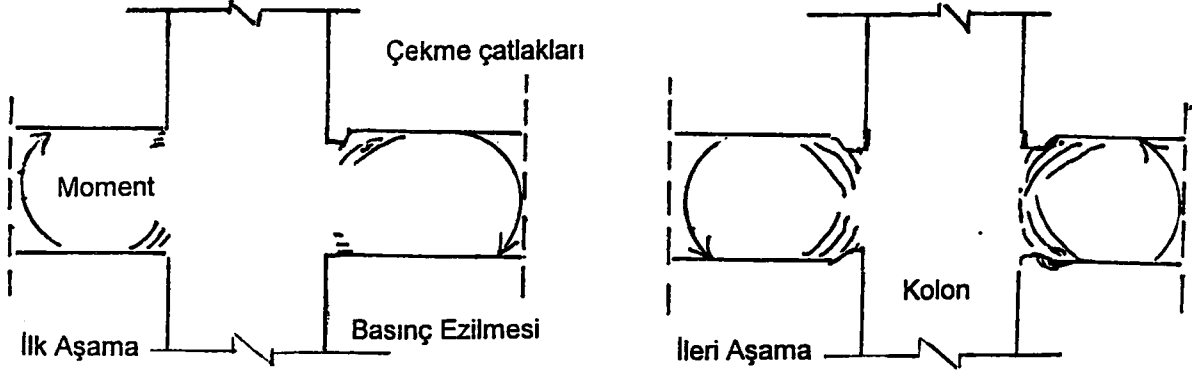
Kolon kiriş ek yerinde yeterli etriye konulmaması sonucu özellikle depremlerde dış aks ve köşe aks kolonlarının boyuna donatıları dışarı doğru burkularak üzerlerindeki beton örtüyü çatlatır. Kiriş boyuna donatısının kolon-kiriş ek yerinde yeterli ankraj yapılmadığı durumlarda kiriş donatısı sıyrılarak kiriş tam moment kapasitesine ulaşmadan uçlarında mafsallı konuma gelir. Bu durum kolonların yatay stabilitesini bozarak yapının büyük yatay ötelemeler yaparak bir yana yıkılmasına neden olabilir. Birleşim yerine etriye konulmaması sonucu bu bölgede eklenen ucu kancalı kolon donatıları betonu kırarak dışa doğru burkular. Ek yerinde etriye kullanılmamış betona fazla düşey yük gelmesi bile ek yeri betonunda kesme çatlakları oluşarak, parçalanmış ekyeri betonununun kirişin boyuna donatılarının kolayca sıyrılmasına neden olacaktır.

### **b- Kirişlerde hasarlar**

Betonarme kirişlerde düşey yüklerden ötürü en çok görülen hasar açıklıkta eğilme kırılmasıdır. Boyuna donatının yetersizliği kiriş ortasında çekme bölgesinde çatlak oluşturur. Kirişe saplanan bir başka kiriş nedeniyle saplanma yerinde momentten ötürü çatlak oluşur. Kirişlerin çekme bölgelerinde betonda oluşan eğilme çatlaklarının cm boyutuna ulaşması boyuna donatıların akma birim deformasyonu yaptığı ve donatıdaki gerilmelerin akma gerilmesine ulaştığını gösterir.

Deprem sırasında kirişteki moment dağılımı farklıdır. Çerçeveye etkileyen düşey yük, deprem yükü ve ikisinin birlikte etkimesi sonucu oluşan momentler altında kiriş ortasında bir büklüm noktası olmaktadır. Bu noktanın her iki yanındaki kirişin davranışı ucuna tersinir yük uygulanan ankastre konsol kirişin davranışı gibi olacaktır. Kirişin ankastre ucunda negatif ve pozitif momentlerin etkisi altında oluşan mafsallaşma Şekil 2.17 de gösterilmiştir. Kirişteki eğik kesme çatlakları kirişin kesme kuvveti taşıma gücünün yetersiz olduğunu gösterir.

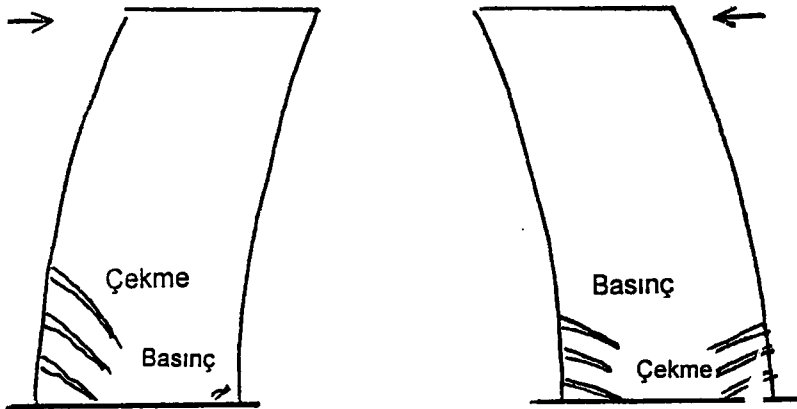




Şekil 2.17 Deprem etkisinde kirişlerde hasarlar

### c- Perde duvarlardaki Hasarlar

Perde duvar hasarları yapının kat adedine göre değişir. Birkaç katlı yapıların perde duvarlarında düşeyle ve yatayla 45 dereceye yakın açı yapan kesme çatlakları oluşur. Düşey yük miktarı daha fazla olduğunda daha dik açılı çatlaklar oluşabilir. Çok katlı boşluksuz perde duvarlı yapılarda Şekil 2.18 de ki gibi çatlaklar oluşur. Perde duvarlar yapı içinde simetrik konumda değilse depremde burulma etkilerine maruz kalırlar. Boşluklu perde duvarlarda deprem hasarı perde duvarların birbiriyle kat düzeyinde bağ kirişi ile bağlanmış iki dolu perde duvar şeklinde çalışması nedeniyle bu kirişlerin uçlarında kesme yada eğilme kırılması şeklinde oluşur. Daha sonra perdenin tabanında eğilme kırılması oluşabilir.



Şekil 2.18 Perde duvar hasarı

**e- Döşeme hasarı**

Yapıya kat düzeyinde etkidiği kabul edilen deprem yükleri döşemelerin düzlemine dik olarak etkir. Bu tür yüklemelere karşı oldukça yüksek rijitlikleri olduğundan deformasyon yapmazlar ve yatay yükleri kolon ve perde gibi elemanlara rijitlikleriyle orantılı olarak aktardıkları kabul edilir.

Döşeme ortasında aşırı sehim ve döşeme kenarlarında kirişlerle birleştiği yerde üst yüzeyde çatlaklar şeklinde görülür. Döşemenin açıklığına oranla ince olması yada döşeme beton dayanımının projede öngörülenden düşük olması ve yetersiz donatı nedeniyle aşırı titreşimler oluşur. Döşeme ortasındaki sehim  $L/200$  den büyük ise sehim aşırı olarak kabul edilir. (TS500 sehim sınırları  $1/180-1/360$ )

Perde duvarlı yapılarda perdelerin yatay yükler altında dönmesi döşemeye eğilme momenti aktarılmasına ve döşemede dönmeye yol açarak hasar oluşturacaktır.

Döşemelerde aşırı sehim ve çatlağa neden olan diğer faktörler, beton dayanımının düşüklüğü, kalıpların erken sökülerek beton daha tam dayanımına ulaşmadan yüklenmesi ile zamana bağlı olan sünme sehimlerinin daha büyük olması, donatıların eksik konması ve özellikle mesnetteki üst donatılara beton dökümü sırasında basılarak bunların moment kolunun küçülmesi yada donatının basınç bölgesine itilmesidir.

**f- Dolgu bölme duvarları**

Tuğla, beton blok, boşluklu kil tuğla ve taş ile yapılan dolgu duvarlar taşıyıcı olmayan bölme duvarlardır. Tasarımda hiç dikkate alınmayan dolgu duvarlar oldukça rijit oldukları ve sıvanın rijitlikliği artırdığı için özellikle depremlerde yatay kuvvetleri alırlar. Bunlara karşı projelendirilmedikleri için çeşitli büyüklükte çatlaklar, tuğla veya blokların gevşemesi, kırılması ve duvarın yana eğilmesi şeklinde hasar görürler.

## **Depremde yapılarda beklenen düzeyin üzerinde hasar oluşmasının nedenleri**

Yapılarda beklenen düzeyin üstünde hasar oluşmasının nedenleri tasarım ve yapım sırasında ihmal, kusur ve hatalar veya bölgenin depremselliğinin yanlış belirlenmesi olabilir. Beklenenin üzerinde hasarın nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1- Yapının depremin odak bölgesine çok yakın olması; yapı depremin odak noktası üzerinde ise depremin şiddeti ne olursa olsun büyük kuvvetlerle zorlanır. Bu nedenle hasar beklenenden daha çok olabilir.
- 2- Depremin beklenenden çok daha şiddetli olması; Deprem tehlikesi bakımından I.ci derecede olması gereken bir yerin II.ci derece içinde kalmış olması sonucu olabilir.
- 3- Yapının depreme dayanıklı yapı yönetmeliği ve diğer yapı yönetmelik ve standartlarına uyulmadan yapılmış olması; Hasar tasarım ve yapım sırasındaki kusur, ihmal, hata ve bilgi eksikliğinin sonucu olabildiği gibi yapılarda yönetmeliklerin henüz bulunmadığı zamanlarda yapılmış olmasından da kaynaklanabilir.

Yapılarda tasarım sırasında yapılan yanlışları şöyle sıralanabilir: 1-deprem hesabının hiç yapılmamış olması, 2-yapının planının ortaya çıkaracağı burulma etkilerinin dikkate alınmamış olması, 3-yapının deprem hesabında seçilen deprem kuvvetlerinin gerektiğinden küçük alınmış olması, 4- yapının düktilitesini (sünekliğini) artıracak kolon, kiriş, ek yeri ayrıntılarına dikkat edilmemesi; yeterli miktarda etriye konulmaması, kenetleme ve ankraj boylarının yetersiz oluşu, kiriş ve kolon kesitlerinin küçük seçilerek donatı yüzdesinin yüksek olması vb hatalar olabilir. Ayrıca zemin yapı ilişkisinin gözönüne alınmaması, zemin cinsinin dikkate alınmaması ve zemin taşıma gücünün aşılması gibi hatalar.

Yapım sırasında yapılan yanlışlar: 1- donatı ile aderansı sağlayamayan çok kötü kaliteli ve projede öngörülenden düşük dayanımlı beton yapımı, donatının dayanımının düşük olması, 2-projede düktiliteyi sağlamak için öngörülen etriye sıklaştırması (sargılama bölgesi), ankraj boyları vb. gibi donatı ayrıntılarına uyulmamasıdır.

Yapılar yönetmelik ve şartnamelere uygun bir şekilde projelendirilir ve inşa edilirse şiddetli depremleri bile yıkılmadan atlatabilirler. Deprem sonrası yalnız eski yapılarda değil yeni yapılmış yapılarda da ciddi hasarlar ve yıkılmalar meydana gelmekte ve can ve mal

kaybına neden olmaktadır. Taşıyıcı sistemleri mukavemetli ve yeterli süneklikte olan yapılar akma sınırlarının ötesinde şekil değiştirme durumuna geldiklerinde bütünlüklerini koruyabiliyorlarsa depreme dayanıklı kabul edilirler.

### **Depremlerde meydana gelen hasarların nedenleri**

#### **1-Yapılardaki Geometrik Düzenleme Kusurları**

- Planda düzensizlik, plandaki boy/ genişlik oranının büyük olması, döşeme boşluk oranı.
- Yapısal davranışı ana yapıdan çok farklı olan eklenti ve uzantılar, kat ilavesi.
- Düşey düzensizlikler, kat yüksekliklerindeki düzensizlik.
- Yumuşak katlar; zemin katlarda perde ve dolgu duvarların yapılmaması. (Bu katlar kolon stabilitesinin yitilmesiyle hasara uğrarlar.)
- Kısa kolon oluşumu; bant pencereler ve benzeri nedenlerle oluşan kısa kolon etkisiyle bu kolonların çoğunda hasar oluşacaktır.

#### **2-Yetersiz Yanal Rijitlik Kusurları**

- Taşıyıcı perdelerin hiç olmaması yada yeterli sayıda ve iyi düzenlenmiş olmaması,
- Kolonların çok narin olması. Kolon kesit boyutlarının yönetmelik minimum koşulunu sağlamaması, kolonların tek yönde kullanılması,
- Birleşim yerlerinde güçlü kiriş-zayıf kolon oluşturulması.

#### **3-Donatı Detaylandırma Kusurları**

- Kolon uçlarında sargılama bölgeleri oluşturulmaması. Kolon etriyelerinin yetersiz olması, çiroz etriye kullanılmaması.
- Sargılama etkisi hiç olmayan 90° kancalı etriyelerin kullanılması.
- Kenetlenme boylarının yetersizliği. Kolon boyuna donatılarının yetersiz kenetlenmesi.
- Kiriş uçlarında sargılama oluşturulmaması ve yetersiz etriye kullanılması.
- Kiriş boyuna donatılarının dış açıklıklarda sağlıklı bir şekilde kenetlenmemesi.
- Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde gerekli birleşim bölgesi donatısı kullanılmaması.
- Kolon bağlantılarının zayıf olması nedeniyle birleşim bölgesine önemli bir zorlama aktarılamayacaktır. (Birleşim bölgesinde kolonların sargılanmaması)

#### 4-Beton kalitesi

Betonarme yapılarda düşük dayanımlı ve kalitesiz beton kullanılması donatı ile beton arasındaki aderansı sağlayamayacağı için betonun ezilmesi ve donatının kolayca sıyrılması nedeniyle hasar oluşumuna önemli katkıda bulunacaktır.

#### Depremde sistem ve eleman davranışı

Yapılan dinamik hesaplar ve deprem sonrası çalışmalar betonarme bir binanın şiddetli deprem etkisinde elastik kalacak şekilde tasarlanmasının ekonomik olamayacağını göstermiştir. Ortaya çıkacak enerjinin çok büyük olması çerçeve türü yapıların elastik kalmasını hemen hemen olanaksız kılar. Bu nedenle elastik sınır ötesinde büyük deformasyonlarla enerji tüketilmesi yoluna gidilmelidir. Şiddetli depremlerde yapının çeşitli bölgelerinde donatı akarak plastik mafsallar oluşacağı, bu mafsallarda yaklaşık olarak sabit kalacak moment altında büyük dönmeler oluşacağı ve böylece gerekli enerji tüketileceği çağdaş yönetmeliklerce benimsenmiş temel bir ilkedir. Bu ilkenin geçerli olabilmesi, mafsallaşan elemanların yeterli süneklığe sahip olmasına bağlıdır. Süneklığın sağlanması için yönetmelikte verilen katsayılara uyulması zorunludur.

Çerçeve türü bir yapının göçme konumuna gelebilmesi için yeterli sayıda plastik mafsalları oluşması gerekir. Plastik mafsal oluşan kesit, eğilmede taşıma gücüne ulaşmıştır. Yapının plastik mafsalları tek bir katta ve kolon uçlarında toplanmamalıdır. Bütün katlar boyunca ve sünek olan giriş uçlarında oluşmalıdır. Kolonların süneklığı girişlere oranla daha az olduğundan yumuşak kat mekanizması oluşacak ve gevrek davranışlı olan kolonlar kendilerinden beklenen büyük enerji tüketimini sağlayamayacakları için bu zayıf katta kolonların kesilmesi tüm binanın yıkılmasına neden olacaktır. Yumuşak katların oluşma sebepleri; (a) kat yüksekliklerinin farklı olması nedeniyle çok narin kolonların oluşması ve (b) diğer katlarda dolgu duvarlar olduğu halde bu katın açık olmasıdır.

Yumuşak katın diğer sakıncası mafsallaşma tek katta yoğunlaştığı için bu kattaki görelî yer değiştirmenin çok büyük olmasıdır. Böyle bir durumda yapı depremde yıkılmasa bile yer

değiştirmelerin büyük olması nedeni ile hasar büyük olacak ve onarım güçleşecektir. Bu nedenle katlararası görelî yer değiştirmenin sınırlanması koşulu, dayanım ve süneklik koşulu kadar önem kazanmıştır.

Sağlıklı bir mekanizmanın gevrek kolonlar yerine sünek kirişlerde oluşmasıyla sağlanabilmesi için bir düğüm noktasındaki kolonların taşıma güçlerinin toplamının kirişlerinkinden büyük olması gerekir. Bu momentler hesaplama bulunan momentler değil tasarımda oluşturulan boyutlar ve donatıya göre hesaplanan taşıma gücü momentleridir.

Dış düğüm noktası  $(M_{c1} + M_{c2}) \geq 1.2 M_{k1}$

İç düğüm noktası  $(M_{c1} + M_{c2}) \geq 1.2 (M_{k1} + M_{k2})$

Kesme kırılması eğilme kırılmasına oranla çok gevrek bir kırılma olduğundan bunun önlenmesi gerekir. Bu önlem kiriş ve kolonların kesme dayanımlarının eğilme dayanımlarından büyük olmasıyla sağlanır.

Kiriş ve kolona etkiyen kesme kuvveti eleman üzerindeki yük ve uç momentler dikkate alınarak hesaplanır. Hesabı yaklaşık olan deprem yüklerinden bağımsız kılmak için, uç momentleri kesitin taşıma gücü momentleri olarak düşünölebilir. Depremdeki aşırı zorlamalar nedeniyle kiriş ve kolon taşıma gücü hesaplanırken donatı dayanımı  $f_{yd}$  yerine, pekleşmede göz önüne alınarak  $1.2 f_{yk}$  veya  $1.4 f_{yd}$  alınmalıdır. Gerekli kesme donatısı kesit taşıma güçlerini temel alan aşağıdaki denklemlerden bulunan kesme kuvvetine göre hesaplanırsa, depremin büyüklüğü çok fazla bile olsa gevrek kesme kırılması oluşmayacaktır. (İMO, 1992)

Kirişlerde:

$$M_{kui} \approx 1.1 A_s (1.2 f_{yk}) d \quad (1)$$

$$V_d = (M_{ku1} + M_{ku2}) / l + P_{pl} / 2 \quad (2)$$

Kolonlarda :

$M_{kui}$  = donatı dayanımı  $1.2 f_{yk}$  alınarak hesaplanan taşıma gücü momenti daha kesin hesap yapılamadığında yaklaşık olarak;

$$M_{uci} \approx (\rho' m + 0.10) A_c h f_{ck} \quad (3)$$

$A_s$ - kirişte çekme donatısı alanı

$\rho'$ - kolonun eğilme yönündeki yüzünde donatı oranı,  $A_s/A_c$

$A_c$ - beton brüt kesit alanı

$h$ - eğilme yönündeki kesit boyutu

$m$ -  $f_{yk}/f_{ck}$

$$V_d = M_{uc1} + M_{uc2} / l \quad (4)$$

Bu denklem incelendiğinde aynı kesit, donatı ve malzemeye sahip (taşıma güçleri aynı) iki kolondan boyu kısa olan daha büyük kesme kuvveti alacaktır. Bu nedenle kısa kolon oluşturmak sakıncalıdır.

### 3. HASAR NEDENLERİNİN BELİRLENMESİ

Hasarlı yapıların değerlendirilmesinde ilk adım yapıdaki bozulmalara sebep olan problemlerin ve koşulların çok dikkatli değerlendirilmesidir. Olabilecek bozulmaları önlemek için geçerli kararları vermek için bu değerlendirmeler gereklidir. Bozulmaların önlenmesinin mümkün olmadığı durumlarda yapılarda onarım veya güçlendirme yapılabilir, yada yapı boşaltılabilir.

Yapıdaki hasarların değerlendirilmesi, bir hastalığın fiziksel olarak tedavisine mühendisin yaklaşımıdır. Yaklaşım adımları, özel teşhis (tanı), bakım ve önlem için reçeteler içermelidir. Onarımda başarılı olmanın temeli bozulmaların tip ve nedenlerinin tanımlanmasının hassasiyetle yapılmasına bağlıdır.

Değişik tiplerdeki hasarların nedenlerinin analizinde genel olarak uygulanabilecek bir yöntem bulunamazsa her durum bireysel bir problem olarak incelenmelidir. Hasara neden olan faktörleri (1) yük etkisiyle hasarlar; (2) çevresel faktörlerin etkisiyle hasarlar olarak iki ana sınıfa ayırabiliriz.

Yük etkisiyle hasara sebep olan faktörler aşırı yüklenme ve temel oturmalarıdır. Çevresel etki hasarları genelde yapıların yaşlarına bağlıdır. Bu kategorideki yapısal bozulmalar kötü yapım uygulamaları, kalite kontrol eksikliği, yüksek ısı, yüksek nem ve tuzlu çevre gibi agresif - bozucu- çevre etkilerinden artar. Hatalı tasarım, kötü yapım ve kalite kontrol eksikliğiyle birleşmiş çevresel faktörler binaların erken bozulmalarının en büyük sebebidir. Bina hasarlarının incelenmesi, problemlerin sebeplerini belirleyebilir.

Yapının varolan dayanımının belirlenmesi için testler:

Yapıdaki problemlerin onarım ve güçlendirmesi için varolan yapının dayanımının belirlenmesi gerekir. Hasarlar yapının dayanım yetersizliği nedeniyle oluşuyorsa yapının güçlendirilmesi gerekir. Bozucu etkilerin çözümü ekonomik olarak sağlanamıyorsa, kalan tek çözüm yapıyı boşaltmaktır.



Yapının dayanımının belirlenmesi yapının beton dayanımını belirten birçok data gerektirir. Pratik yollarla yapının dayanımını belirlemek için tahribatsız yöntemler olarak adlandırılan Schmidt çekici testleri, ultrasonik çarpma hızı yöntemi ve benzeri testler kullanılır. İlk yöntem yaygın olarak kullanılır, yapıdaki beton dayanımını kabaca tahmin etmekten başka bir bilgi sağlamaz. Yapılardaki beton dayanımının daha iyi belirlenmesi, incelenen yapıdan karot alınarak basınç testleri yapılarak sağlanır. Yapının gerilme durumları tekrar incelenerek elemanların dayanımı belirlenebilir. Bu gerilme belirleme işleminde korozyon hasarı nedeniyle donatı çubuğunun kesit kaybı hesaba katılmalıdır. Yapıdaki gerilmelerin doğru belirlenmesi sağlanmalıdır. Onarım, onarmama, güçlendirme veya yapının boşaltılması kararları yapının gerilme durumlarının analizi sonucuna bağlı kritik kararlardır.

### **3.1 Hasar Nedenlerinin Teşhis Yöntemleri**

Bu bölümde tanı için gerekli işlemler adım adım açıklanmaya çalışılacaktır. Bunun için sonuç açığa çıkıncaya kadar olasılıklar elenerek beton yapılardaki hasarların sebepleri teşhis edilmeli, hasarın tekrarı ve onarım sırasında benzer hasarın oluşmasını önleyecek tedbirleri almak için detaylı bir inceleme yapılmalıdır. Teşhis için probleme belirli bir yöntemle yaklaşılmalı, nedenler irdelenmeli ve belirgin sebepler elimine edilmelidir. Bu işlemler uygulandığında her zaman tek bir sonuca varılamaz. Bunun nedeni yapının şimdiki durumundaki bilinmeyenlerdir. Yapının geçmişi hakkındaki bilgi eksikleri çok fazla olabilir, bunlar; yapıda kullanılan çimentonun tipi, agreganın kaynağı, yapım sırasındaki iklim durumu gibi basit bilgiler olabildiği gibi, donatı miktarı, donatı yüzdesi ve elemanların yetersizliği de olabilir. Kısaca tanı için gerekli işlemler şunlardır;

I. Projenin incelenmesi

II. Potansiyel sebeplerle ilişkili üç temel semptom (belirti)

III. Belirgin olasılıkları elemek

IV. Detaylı incelemeler yapmak

V. Geçerli ipuçlarının analizi (eldeki verilerin değerlendirilmesi) ve hesaplar

VI. Hasarların nedenlerini ortaya çıkarmak-sentez, adımlarını içerir.

## I. Adım : Projenin incelenmesi

(1) İlk olarak teşhis edilen semptomların ne tür gerilmelerden oluştuğu belirlenmelidir. Bu nedenle aşağıda açıklanan aşamalar kontrol edilmelidir.

Çekme gerilmelerinin oluşturduğu çatlaklar, karşı koymalar nedeniyle oluşmuş bir veya birkaç çatlak şeklindedir, parça kopması yoktur. Çatlaklar çekme gerilmelerin nedeniyle çekme kuvvetlerine dik yönde oluşur. Bütün çekme gerilmeleri karşılanınca artık başka çatlak oluşmayacaktır. Aşırı basınç gerilmeleri, ince şerit halinde çok sayıda birbirine yakın çatlaklar ve dökülme şeklinde hasar oluşturur. Kayma ve burulma gerilmeleri bu iki gerilme şeklinin (çekme ve basınç) birlikte veya ayrı ayrı etkimesi sonucu oluşabilir. Bu nedenle betonun hangi gerilme şeklinden kırılacağına hemen karar verilemez. Aşırı gerilme durumlarından hiçbiri betonda yüzey ayrışmasına neden olmaz. Aşırı gerilme yüklemesi olmuş ve hasar oluşmuşsa proje incelenerek yeterli donatı olup olmadığı belirlenir.

Yapıda bozulmaların esas belirtisi ayrışmalarsa sebep proje hatası değildir, aşırı gerilme durumu yoktur, kimyasal etkiler söz konusudur. Benzer olarak eğer esas belirtiler parça kopması olmaksızın çatlama ise, aşırı basınç gerilmeleri, burulma ve kayma gerilmeleri de elimine edilir. Çatlaklar, parça kopmalarıyla birlikte ise aşırı çekme gerilmeleri hariç tutulur. Yapıda hasarın meydana geldiği yerden hangi tip aşırı gerilmenin bu hasara neden olabileceği araştırılmalıdır. Örneğin başlıklı bir kirişte gövde kayma gerilmelerini alır, başlıklar eğilme gerilmelerini alır ve kesitin en kenar liflerinde burulma gerilmeleri maksimumdur. Sonuç olarak başlıklarda kayma çatlaklarının görülmesi esas gerilme modeline aykırı olacaktır, gövdede ise çekme veya basınç zorlamaları nedeniyle aşırı gerilmelerin görülmesi aykırıdır. Genellikle gövde gibi, gerilmelerin kombine konumda etkideği elemanlar müstesna bir durumdur. Bunların analizlerle kontrol edilmesi zorunludur.

(2) Hangi tip gerilmenin ne tip hasar yapacağını bilmesi; bu kısımlarda, yapı elemanlarında tehlikenin oluştuğu yerlerle hasar yapan gerilmeler karşılaştırılmalıdır. Örneğin çekme çatlaklarının teşhisi güçtür ve basınç başlığında oluşan çatlaklar uyumsuz oluşumlardır ve aşırı çekme gerilmesi problemi yoktur. Benzer olarak çekme bölgelerindeki gerilme durumunda dökülmelerin olması aykırıdır ve çekme bölgelerinde veya kayma bölgelerinde ezilmeler, parça kopmaları gerilme durumlarıyla aykırıdır. Gerilmelerle çatlaklar

birbiriyle uyuşmuyorsa aşırı gerilme durumu olmadığı söylenilebilir. Hasar gerilme yayılışıyla uyuşmuyorsa başka etkiler araştırılır. Elemanlarda hasarın meydana geldiği yerler önemlidir. Her yapının bazı kesitlerinde tasarım şartları nedeniyle aşırı gerilmeler olabilir, bazı kısımlarda ise olmayabilir. Hasar alanlarının yerleşimi aşırı gerilme bölgeleriyle ilişkilidir. Bu nedenlerle çatlakların bulunduğu yerler veya dökülmeler, donatı çubuğunun eğilmesi ve taşıyıcının gövdesinin kenar noktalarında kombine gerilme durumlarının kontrolü unutulmamalıdır.

(3) Aykırılık oluşmadığında, yani gerilmelerle çatlaklar uyumluysa, kusurların ortaya çıkış nedeni önemlidir. Çekme çatlakları gerilme doğrultusuna kabaca dik konumdadır. Kayma genellikle eğik çekme ile hasar oluşturur, ve çatlaklar gövdede diyagonal olarak oluşur. Burulma nervürlü kirişlerin oturduğu yan kirişlerde olur, çatlaklar kirişin her iki yüzündedir. Kolonlarda burulmaya depremde rastlanır, birbirini kesen haç (X) şeklinde çatlaklar görülür. Temel oturmaları genellikle diyagonal çatlaklarla belli olur, çatlak duvar açıklığının çok kenarında veya açıklık ortasına yakın kısımlarda eğik olmayabilir. Isı, rötne ve benzeri tesirlerden oluşan gerilmeler hariç, yapıda tahmin edilen esas gerilme şekilleri hasarların modelleriyle uyumludur.

(4) İlk üç aşamada bazı noktalarda uyumsuzluklara rastlanırsa, bazı temel tasarım kusurlarının oluşma olasılığı uzaktır ve tahmini olarak elemine edilebilir, yani gerilmelerle hasarlar birbiriyle uyuşmuyorsa aşırı bir gerilme problemi yoktur denilebilir. Herşey dikkatle kontrol edilmeli ve tasarım hataları varsa dikkatli bir şekilde gerilme analizi yapılmalıdır. Aşırı gerilmelerin eliminasyonu bir neden olarak ve bu adımda sadece geçici olarak eliminasyon yapılarak başarılmalıdır. Bunlar sonucunda gözlemlenmiş durumlar oluşum sebepleriyle uygun değilse hemen elimine edilmemeli ve bu adıma yeniden dönülerek bazı alışılmamış gerilme durumları için kontrol yapılmalıdır.

## II.Adım ; Potansiyel sebeplerle ilişkili üç temel belirti (semptom)

Gözlemlenen bozulmaların olası nedenlerinde Tasarım hataları elimine edildiğinde, sonraki eleme, bozulma nedenlerinin listesindeki 3 ana semptom ilişkisi ile yapılır. Tablo-3.1

referanstır. Gözlemler sonucunda, örneğin eğer belirtiler beton yüzeyin ayrışmasıysa, olası üç ana bozulma sebebine (kimyasal reksiyonlar, atmosferik etkiler, aşınma) (indirgenir) elimine edilir. Eğer belirtilerden biri parça kopması ise sadece yedi temel olasılık vardır. Eğer kusur çatlak ise, hala sekiz potansiyel neden olduğu mutlaka düşünölmelidir.

### III. Adım ; Belirgin olasılıkların elimine edilmesi

Gözlemler ve incelemeler sonucu meydana geliş sebebi kesin olan semptomlar elimine edilir. Bu eleme teşhis koymada kolaylık sağlayabilir. Sebebi belirgin olasılıklar; a) donatının korozyonu ve b) şok dalgalarıdır.

#### a) Donatının korozyonu:

Donatının korozyona uğrayıp uğramadığı kolayca tanınabilir. Çubukların üzerindeki beton örtü dökölür ve çubukların paslanmış oduğı görülür.

Erken safhada bozulmalar donatı boyunca devam eden birbirine paralel çatlaklar serisi şeklindedir. Daha sonra donatı ağı seviyesinde düzlem ayrılma şeklini alır ve çatlak boyunca pas lekeleri meydana gelir. Son safhada, çubukların üzerindeki beton örtü kopar, dökölür. Tanı (teşhis) çatlak yerleşiminin donatı çubuklarının yerleşimiyle ilişkisi kontrol edilerek yapılır. Bazı çatlak kısımlar kaldırıldığında, donatının paslandığı yada beton örtünün incelendiğı görülür. Çubukların bazıları izlenerek korozyonun sınırlarının, çatlak sınırları ve beton dökölmeleri ile ilişkisi incelenir. Donatı ağı düzleminin arkasındaki betonun sağlam olup olmadığı kontrol edilir. Eğer cevap olumluysa donatı korozyona uğramıştır. Bunların sonucunda donatının korozyona uğradığı kesinleştiğinde, korozyonun kimyasal veya elektriksel reaksiyonlardan hangisiyle oluştuğunu saptanmalıdır. Çubukların bir kısmı paslanmış olabilir. Eğer korozyon kısa sürede oluşmuşsa çubukların izole edilmiş kısımlarında oyuklanma (pitting) tipi korozyon oluşacaktır veya esas olarak çubukların diğerkısımlarında elektrolitik korozyon şeklinde oluşacaktır. Korozyon genelse, hasar kimyasal etkilerden olabilir. Daha sonra bunların niye oluştuğı bulunmalıdır. Eğer hasar elektriksel etkilerden oluşuyorsa başıboş akımın (elektrik kaçağının) nereden geldiğı bulunmalıdır. Korozyon akımı ortadan kaldırıılmazsa, donatıyı paslanmaktan kurtarılamaz.

Diğer taraftan hasar kimyasal nedenlerle (oksijen ve su nedeniyle) oluşmuşsa betonun kalitesi ve porozitesi incelenmeli, paslanmanın niye daha farklı oluşmadığı araştırılmalıdır. Onarım aşaması önceden belirtilmelidir, örneğin çubukların izolasyonu bazı malzemelerde daha fazla korozyonu önleyecektir.

Tanuların kontrolünde, nem absorpsiyon testleri yapılarak ve yapının iyi durumdaki kısımlarından numuneler alınıp sonuçlar karşılaştırılarak betonun yoğunluğu incelenebilir. Eğer farklar önemli değilse yapım süresince beton kütledeki içsel ayrılmalar nedeniyle problem başlayabilir, ve bu olasılığın kontrol edilmesi gerekir. (bkz. 2.3.1-d)

#### b-Şok dalgaları

Şok dalgalarıyla oluşan hasarlar karakteristiktir, hasar eskidikçe deliller yok olur. Beton kesitinden parça dökülecektir, ve açıkta kalan donatı kafesi atmosfer etkilerine maruz kalacaktır. Kırılan yüzeyler yeni görünüyorsa, havayla temas etmediyse donatı çubukları paslanmamıştır. Beton yüzey tabakası ayrıldığında, dökülme ve kabarmalar kesitin derinliklerine ilerler. Limanlarda ve demiryolu köprülerinde yapı düzenli darbe etkisinde olduğu için bu tip hasarlardan hemen şüphelenilir. Yapının normal olarak şok dalgalarının etkisinde olamayacağı durumlarda ve yerlerde ciddi hasar oluşmuşsa büyük bir moment etkisi söz konusu olabilir.

#### Özetleme:

Özetleme işlemi 1, 2 ve 3. cü adımların sonuçları negatif ise, hatalı tasarım, donatının korozyonu ve şok dalgalarının oluşturduğu 3 olasılığı elimine edebiliriz ve orijinal listemizde 11 temel etki 8 e düşer. Daha sonraki ana semptomlardan birisi ayrışmalarsa 3 olasılık olduğu düşünülebilir. Eğer yapıda dökülmeler görülüyorsa 4 olasılık; ve belirtiler sadece çatlaklarsa 6 adet olasılık vardır.

#### IV. Adım : Detaylı incelemeler yapmak

1-Yapının geçmişini incelemek; Yapı ne zaman inşa edildi? Kim inşa etti? Yılın hangi mevsiminde yapıldı? Ne tip çimento kullanıldı? Ne cins agrega kullanıldı ve hangi kaynaktan alındı? Yapım yöntemi neydi? Yapıldığı tarihteki beton teknolojisi nasıldı? Beton nasıl kürlendi, yada kür uygulandı mı?

Proje ve yapım bir bütündür ve birlikte gözönüne alınır. Sebepler için onlardan fikir alınır. Onların verdiği fikirler çok değerli olacaktır.

2-Yapı elemanlarının yer değiştirmelerini kontrol etmek (yapının genel görünüşünü kontrol etmek); incelemeler yatay ve düşey olarak sırayla yapılır. Orijinal tasarımından farkları varmıdır? Varsa nasıldır? Bina şakülünde mi? İlave kat, çekme kat vb. tadilat yapılmış mı? Komşu bina var mı? Yatay düzlemde kabarma var mı? Düşey düzlemde şişme var mı?

3-Hasarların bozulmaların incelemesini yaparak hasarın genel durumunu belirlemek; Hasar nerede meydana gelmiştir? Nerede çok kötü durumdadır? Hasar hangi yörelerde ne kadar çatlak oluşturmuş, nerede parça atmıştır? Bunlar not alınır, çatlakların çizimleri yapılır. Çatlaklar herhangi bir model gösteriyor mu? Eğer varsa model nedir? Modeller inceleme için değerli ve geçerli ipuçlarıdır.

V.Adım : Geçerli ipuçlarının analizi (eldeki verilerin değerlendirilmesi) ve hesaplar

Bu aşamada mühendisin bilgisi, tecrübesi, sağduyusu hep birlikte rol oynar. Hasarın belli bir yöntemle değerlendirilmesi gerekir. Bunun için Çizelge 3.1 den yararlanılır.

Yapılan analizler;

1. analiz (1) projelendirme (tasarım) hataları
2. analiz (2) önceden elemine edilebilen olası durumlar
3. analiz 3a- yüzey ayrışması
  - 3b- kabarma-şişme
  - 3c- parça kopması
  - 3d- çatlaklar

Hasarın olası durumu;

Kararlı: Hasar bir kere olmuştur, ilerlememektedir.

Aktif: Hasar oluşmuştur ve zaman içinde ilerlemektedir. Çatlak uzar yada genişleyebilir. Bu nedenle onarım tekniği açısından hasarın aktif yada kararlı olduğunun bilinmesi gereklidir.

Çizelge 3.1 Hasarların nedenleriyle belirtilerinin ilişkileri.

Hasarın Ana Nedeni	Asal belirtilerin oluşumları			Hasarın olası durumu
	çatlama	parça kopma kabarma, şişme	ayrışma	
1-İmalat (yapım) hataları	* - 3d			Kararlı
2-Sertleşmiş beton rötresi	* - 3d			Kararlı
3-Termik gerilmeler				
a-Hava sıcaklığı değişimleri	* - 3d			Aktif
b-İç sıcaklık değişimleri	*	* -3b -3c		Aktif-Kararlı
4-Betonun su emmesi	*	* -3b		Aktif
5-Donatı paslanması				
a-Kimyasal paslanma	* (2)	* (2)		Aktif
b-Elektrolitik paslanma	*	*		Aktif
6-Kimyasal reaksiyonlar	* -3d	* -3b -3c	* -3a	Aktif
7-Atmosferik etkiler		* -3c	* -3a	Aktif
8-Şok dalgaları	* (2)	* (2)		Kararlı
9-Aşınma			* -3a	Aktif
10-Hatalı detaylar	* -3d	* -3c		Aktif-Kararlı
11-Tasarım hataları	* (1)	* (1)		Aktif-Kararlı

a- Esas semptomların yüzey ayrışması olduğu yerlerde ;

Yapılacak ilk işlem malzemenin sağlamlığını kontrol edilmesidir. Bozulmuş kütleden örnek alınmalı ve projede kabul edilen koşullara uyup uymadığı ve bu koşulların iyi uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilmelidir. (Örneğin betonun istenen mukavemetten daha düşük olması, kürlenmenin iyi yapılmaması). Sülfat yüzdesi yüksek, serbest magnezisi (MgO) ve serbest kireci yüksek bir çimento kullanılmış olabilir. Bu malzemelerden bazıları açıkta kalır ve bunlar karışıma girmezler. CaO ve MgO gibi malzemelerin etkisi uzun süre sonra ortaya

örneğin. Eğer malzemeler sağlam değilse sonuca varılır. Eğer malzeme sağlamdıysa, yüzey ayrışması oluşturan üç nedenden biri -kimyasal etki, atmosfer etkileri veya aşınma- hariç tutularak çalışılmalıdır. İlk olarak çevre şartlarının kontrol edilmesi gereklidir. Yapıdaki bozulmuş alanlar donma-çözülme çevriminden etkilenmiyorsa, örneğin sıcak çevrede veya tropik yada subtropikal iklimde atmosferik etkiler hariç bırakılır, hasar kimyasal etki veya aşınma nedeniyle olacaktır. Suyu doymuş (su emmiş) bölgelerde yer almayan hasarların nedeni atmosferik etki olmayacaktır.

İkinci aşama, aşınmaların elimine edilmesidir. Bozulmuş alanlarda aşınma etkisinin olup olmadığını bakılır. Eğer yapıda aşınma problemi varsa iri agrega tanelerinde parlaklık, çukurluk gibi aşınma işaretlerini olup olmadığı incelenir. Aşındırıcı etkilerin belirtileri tekerlek darbeleriyle gizlenmemişse veya yüzey, atmosferden etkilenmediyse agrega yüzeyinin bozulduğu yada ince çizikler oluştuğu görülür. Kırılmış ya da ezilmiş agrega parçacıkları beton bedeniyle tekerlek darbeleri etkisini gösterir. Betonda bozulma derinliğinin ne kadar olduğu kontrol edilir. Çimento hamurunun bozulması betonu derinlemesine etkiliyorsa, bozulmaların sebebi kimyasal etkilerdir. Örneğin kütleli betonlu deniz duvarlarının betonlarında sülfat etkisinin olduğu yerleri bulmak güçtür, hasara ulaşabilmek için beton 60 cm derinliğinde kırılarak uzaklaştırılmıştır (Johnson-1965). Bozulma etkisi 25 veya 50 mm gibi nispeten inceyse bozulmalar kimyasal etkiler veya özellikle atmosferik etkiler nedeniyle olacaktır. Fiziksel bir etki olan donma-çözülme etkisi genelde yüzeyseldir, bazen derinlemesine de olabilir, kimyasal etkiler daha iç kısımlara ulaşır ve bir mukavemet kaybı oluşturur. Agrega parçacıklarının çimento hamuruyla yapışmasını kaybederek beton malzemesinden ayrılması gibi belirtilerle açıklanan genel semptomlar incelenerek kimyasal etkiler araştırılır.

Diğerleri inceleme; hasarlı kısımlardan ve yapının betonunun sağlam kısımlarından örnekler alınarak kimyasal ve petrografik incelemelerle, yapılmalıdır. Alınan numunelerin bozulmuş olmasına dikkat edilmelidir. Sonuçlar karşılaştırılarak bileşenlerin bozulduğu kontrol edilir. Eğer bileşenler aynı özellikler gösteriyorsa kimyasal etkiler hariç tutulabilir. Eğer özellikleri değişiyorsa veya orijinal bileşenlerden biri yada çoğu yoksa veya yeni bir bileşen görünüyorsa kimyasal etkilerden şüphelenilir. Kimyasal etkiler sonucu çimentonun yapısı ağır hasara uğrar ve mukavemetini kaybeder. Çimentonun alkali oranının



yüksek olması alkali-agrega reaksiyonunu ortaya çıkarabilir. Bileşenlerin içerdiği değişimler gerekli ipuçlarını sağlar.

b- Betonda şişme ve kabarmaların bulunduğu yerler:

IV . adımın 2. şikkında tanımlandığı gibi yapıda şişmeler ve kabarmalar mevcutsa, olası 3 neden vardır; kimyasal reaksiyonlar, betonun su emmesi veya beton kütesinin ısısının yükselmesi. Bu üç neden, yapıda benzer etkiler oluşturabilir ve reaksiyonun hangi etkiden oluştuğunu söylemek güçtür. İnceleme boşluklarından ve eğer varsa bir hilty çukurundan betonun içsel ısısı ölçülür. Delik, (a) şikkında tanımlandığı gibi kimyasal yada petrografik analizler için deney numunesi alınarak, yapının sağlam kısımlarıyla karşılaştırılmasında kullanılmış olabilir.

Çevrede beton kütleyle sızabilecek su varlığı araştırılır, eğer yoksa betonun su emmesi nedeniyle şişme oluşmayacaktır. Yapının farklı kısımlarındaki kabarma-şişme oranlarının belirlenmesi önemlidir, bu bilgilerin olası sebepler ve yapının özel çevre koşullarıyla ilişkileri incelenmelidir. Kabarma ve şişme belirtileri barajlar, galeriler gibi belirli yapılarda görülür.

Eğer hacim değişimleri, çatlak ağı ile birlikte oluşmuşsa hasar nedeni sağlam malzeme kullanılmaması ya da bazı benzer malzemeler (alkali-agrega reaksiyonu gibi) birbirleriyle kimyasal reaksiyona girmesidir. Şişme kabarma ile beraber çatlama da varsa alkali agreg a reaksiyonu düşünülmelidir.

c- Parça kopmalarının olduğu yerler:

Hasar tesbitinde tasarım hataları ve donatının korozyonu elendiğinde (adım I ve III), bölgesel hasarlar, büyük olasılıkla hatalı detay nedeniyle oluşacaktır. Böyle bir durumda betondaki hasar ve hatalı detay yanyana olabilecektir. Bu nedenle hasarlı noktaların yakınındaki detaylar kontrol edilmelidir.

Diğer olasılık kimyasal etkilerin varolmasıdır. Kapak atmaları varsa alkali-agrega ve benzer reaksiyon belirtileri kontrol edilir.

Genel olarak parça kopmaları varsa, bu büyük olasılıkla donatı korozyonu nedeniyledir. Hasarlar III. adıma geri dönülerek bir kere daha kontrol edilir. Korozyon olasılığı elenirse hasar nedeni, çoğunlukla içsel ısı değişimleri, atmosferik veya kimyasal etkiler olabilir.

d- Çatlakların hasar oluşturduğu yerler:

Betonun şişmesi, donatı paslanması, donma-çözülme etkisi gibi su emme nedeniyle betonda meydana gelen hasarlar önceki adımlarda gösterilmiştir, bunlara uygun incelemeler sonucu su emme etkisi elimine edilebilir. Bu eleme yapıldıktan sonra çatlak hasarlarının oluşumu beş olasılık içerir. Bu olasılıklar :

(1) yapım hataları, (2) rötre gerilmeleri, (3) termik gerilmeler, (4) kimyasal reaksiyonlar, ve (5) hatalı detay tasarımıdır.

İlk düşünülen sebep termik gerilmeler ve rötre gerilmeleridir. Yapıda kiriş, döşeme vb gibi elamanlardaki çatlaklar gözönüne alınır. Gerilme birikimlerinin olduğu noktalarda çatlakların oluşup oluşmadığı incelenir. Örneğin açıklığın kenarlarında veya ani kesit değişimi olan kısımlarda, kapı pencere kenarlarında, tesisat kanallarının yakınlarında, elektrik ve su borularının geçtiği yerlerde oluşup oluşmadığı incelenir. Bu kısımlarda oluşan çatlaklar rötre ve termik genişmeden oluşur. Sonra hasarların olduğu yerlerle yapının direnç gösterdiği noktalar arasındaki ilişkiler düşünülmelidir. Isı yükselmesi nasıl bir gerilme modeli oluşturmuştur? Isının azalması sonucu nasıl bir model oluşacaktır? Sıcaklık artmasıyla gerilme ne kadar değere ulaşabilir? Termik gradientler varmıdır? Eğer termik gradientler varsa yani iç kısım ısınıp dış kısım soğuğa maruz kalıyorsa bir eğilme (düzlemlığın kaybolması) oluşuyor mu?

Gerilme yayılışları araştırılır ve gerilme modelleri çizilir. Çatlak gerilme çizgilerine dik mi gidiyor? Yapı elemanının gözlemlenen eğilmesi ısı gradientlerinin modeline (şekline) uyuyormu? Gerilmeler rötre veya kesitin şeklindeki farklılıklar veya döküm süresinin kısa olması nedeniyle midir? Çatlaklar büyük ihtimalle ısı veya rötre nedeni ile oluşmuşsa, yapının direnç gösterdiği yerlerde derz oluşturularak karşı koymalar zayıflatılır ya da hiçbirşey yapılmaz.

Eğer çatlaklar rötre veya termik genişlemelere bağlanamıyorsa inşaat sırasında ve sonrasında hatalar yapıp yapılmadığına bakılır. (Kalıpta şişme, farklı oturma, erken kalıp alma vb ). Hatalı detayların olduğu yerlerde her zaman çatlaklar vardır.

Çatlakların termik genişleme ve rötre nedeniyle oluştuğu düşünüldüğünde, çatlaklar ağ şeklinde değilse, hasarın oluş şekli ve yerleşiminin birbiriyle uyumu incelenir. Sonuca varılamazsa hasarların yapım hatalarından meydana gelip gelmediği araştırılır. Çatlak merkezsel (radyal) modelde oturmalar nedeniyle oluşabilir. İncelemeler 4. adımla ilişkili olarak yapılırsa, beton yüzeyi düzleminde bölgesel şişmeler, betonun sertleşmesi sırasında kalıp oynaması nedeniyle meydana gelebilir. Çatlaklar birbirine paralelse ve beton kesitin yüzeyine yakınsa betonun sertleşmesi süresince kalıplarda oynama olması mümkündür. Eğer çatlaklar donatı ağıının altında düzlemsel yatay ayrılmalar şeklindeyse donatıya takılan betonun yerleşmemesi veya donatının altına geçmemesi nedeniyle oluşabilir.

Eğer çatlaklar tekil çatlaklarsa, aşırı dış yüklerin etkisiyle veya rötre ve termik etkiler nedeniyle olabilir. Termik etki, rötre ve tasarım kusurlarından şüphelenilmelidir. Aşırı yüklemmeden ötürü oluşan çatlaklar özellikle asal gerilme eksenine dik doğrultudadır.

Diğer önemli ipuçları;

- 1) Çatlaklar betonun sadece çekme bölgesinde mi yerleşmiş, basınç bölgesine de çıkmış mı?
- 2) Çatlaklar bütün kesiti kaplamış mı? yoksa bir tarafta mı kalmıştır?
- 3) Çatlakların derin veya yüzeysel olduğu, veya iç ve dış kısımlarda yada ikisi birlikte oluşmuş olduğu incelenmelidir. Örneğin, çatlak sadece dış kısımlardaysa kalıp oynamalarından meydana gelmiş olabilir, iç ve derin çatlaklar, sıcaklık, rutubet değişmesi veya kimyasal reaksiyonlarla beton kütlenin hacim değişimi nedeniyle oluşabilir. Benzer olarak yüzeysel dış çatlaklarda rötre etkileri kontrol edilmelidir.
- 4) Çatlakların yerleşimi donatının miktarı, şekil veya kesit değişimi ile ilişkilimidir?
- 5) Çatlak çizgisi (ağı) döküm sırasıyla ilişkili midir, yapının bir kısmı daha sonra eklenmiş, veya kullanımı değiştirilmiş midir?
- 6) Çatlakların görünümü eski veya yeni midir?
- 7) Çatlaklar nerde ve niye son buluyor?

Her aşama bu ipuçlarıyla ilişkili olarak veya etki-tepki ilişkileriyle yapılmalıdır.

## VI.Adım: Hasarların nedenlerini ortaya çıkarmak-sentez

1 den 5 e kadar adımlar esas olarak hasarın nasıl meydana geldiğini (ne olduğunu) ortaya koyar. Son adım niye meydana geldiklerini bulmaktır. Projede veya inşa sırasında uygun olmayan ve bozucu etkenlerin olmasına izin verecek neler yapıldığı ortaya konulmalı, problemlerin sebebi oldukları saptanan etkenlerin etkilerini önlemek için, “Hasarların Nedenleri” bölümü mütealalarına geri dönmelidir. Hasarın tekrarını önleyecek, onarım sırasında benzer veya başka hasarın çıkmasına karşı önlemler alınmalıdır. Hasar tekrarlamamalı ve başka türlü bir hasarın meydana gelmesine olanak tanınmamalıdır. Örneğin portland çimentosu ile yapılan deniz suyu içersindeki bir onarımda hasarlı kısım temizlenip mantolama yapılırsa aynı çimento kullanıldığında aynı hasar bir süre sonra yeniden oluşur. Farklı bir çimento kullanıldığında iki ayrı cinsin uyuşmaması nedeniyle yeniden hasar oluşabilir. Bu nedenle daha detaylı bir inceleme yapmak gereklidir. Onarımda tek bir etkene göre değil, daha detaylı çözüme gidilmelidir. Tali görünümlü sebeplerin de dikkate alınması gerekir.

### Sonuçları değerlendirme ;

Önceki mütalaalar betondaki hasar sebeplerinin teşhisinde idealize edilmiş işlemleri tanımlar. Tasarım iyi yapıldıysa oldukça iyi bir inşaat uygulaması yapılması gerekir. İnşaat doğru olarak yapılırsa beton üzerine sadece bir bozucu etki olabilme şartları arasına hakim olur. Daha genel olarak; proje tam doğrudur, yapım iyidir ve çeşitli bozulma formları etkir. Proje standartlarına uymama veya yapımdaki eksiklikler, bozulmalara ve her cins istenmeyen ve beklenmeyen sonuçların oluşmasına açılan kapıdır. Her genel durum için tipik modellere uymayan bir veya daha fazla alışılmamış durumla karşılaşılabilir.

Belirtiler (septom) karmaşıkça, sonuç olarak olabilirlik durumu, olasılıktan daha fazladır. Böyle olduğunda bu mütalaalarda gösterilen daha basit durumlar için bile net (kesin) olmayan sonuçlar görülür. Bu durumda onarım aşamaları potansiyel bozucu etkilerin toplam etkisine karşı yapıyı korumak zorundadır.

Net ve pozitif sonuçlar elde edilinceye kadar çalışılmalı, tanı metodlarında tali etkiler, ve gözden kaçmış agresif ajanların etkileri de dikkate alınmalıdır. Hasarlı yapının varolan taşıma gücünün değerlendirilmesinde gözlemlenen hasar sebepleri ve tipleri çok önemlidir. Hasarlı

bir yapının varolan dayanımını belirlemek için başvurulan metodlar 1)-değeri önceden belirlenen bir yüzdeye göre güvenliği incelemek; bu yöntemde taşıyıcı elemanların taşıma gücünü %15 kaybettiğini kabul ederek inceleme yapılır, eleman taşıma gücünü %15 den fazlasını kaybetmişse düzeltme yoluna gidilmelidir. 11)- gerçek gerilme durumlarının incelenmesi; yapının hesapları hasarlı duruma göre baştan yapılır ve dayanım kaybı bulunur, 111)-yükleme testleri uygulamak; yapıya taşıma gücünün %25 fazlası yüklemeye yapılır, yapının yıkılabileceği olasılığı gözönüne alınmalıdır.

### **3.2 Deprem ve Yangın Hasarlarının Tesbiti**

Nedeni deprem ve yangın olan hasarların tesbiti için bu eliminasyonlara gerek yoktur. Deprem ve yangın hasar derecesinin tesbiti için incelemeler gereklidir. Deprem hasarları için tasarım hataları ve detay hatalarının incelenmesi gereklidir.

#### **3.2.1 Deprem hasarlarının değerlendirilmesi**

a- Deprem hasarlarının tesbiti ;

Bir depremden hemen sonra acil hasar tesbit işlemleri yapılır. Güvenle oturulamayacak binalar saptanır, ve geçici koruma önlemleri alınır. Tehlikeli ve şüpheli yapılar tekrar incelenmek üzere kaydedilir. Binalar yeşil- kullanılabilir; sarı-kullanılmasına izin yoktur onarılarak veya güçlendirilerek kullanılabilir; kırmızı-ani olarak çökebilir, giriş kesinlikle yasak, şeklinde renkli yaftalarla işaretlenebilir. Onarım, güçlendirme ve yıkımla ilgili kararlar acil ihtiyaçlar giderildikten sonra verilir.

İlk incelemenin amacı hasarın cinsini ve derecesini belirlemektir. Ayrıca can kaybı ve yaralanmalara karşı tehlikeyi gidermek için geçici destekleme, askıya alma ve benzeri önlemlerin projelendirilmesi ve hasarın artması halinde mal kaybının minimuma indirilmesinin tasarlanmasıdır. Ciddi hasar görmüş fakat yıkılmamış binalar çalışmalar sırasında can güvenliğini tehlikeye sokmaması için geçici olarak desteklenmelidir. Güçlendirme ve onarım planlanması gerektiğinde teknik, ekonomik, sosyal, kültürel ve politik etkenler söz konusu olacaktır. Teknik olarak yapılabirliği için teknik olanakları içerir. Ekonomik yön yapının

onarım yada güçlendirme maliyetinin, yapının yıkılıp yeniden yapılma maliyetine yakın olması durumlarının söz konusu olmasıdır. Örneğin imarın değişmiş olması, arsanın kıymetlenmesi gibi durumlarda yeniden yapım daha ekonomik olabilir. Bunların önemli olmadığı durumlarda kat adedini azaltmak, çatı, duvar, merdiven gibi elemanları hafifletmek yada yükünü azaltmak, yapının kullanımını değiştirmek söz konusu olabilir. Sosyal, kültürel, politik etkenler ise prestij, tarihi değer ve kültürel değerlerden birinin veya birkaçının birlikte olmasıdır. Geçici korumada amaç tüm taşıyıcı sistemin güvenliğinin bağlı olduğu hasarlı elemanlara ve birleşimlere geçici olarak mukavemet ve destek sağlamaktır. Acil koruma metodları ile ilgili olarak düşey yükler için destekleme metodları ve yanal destek sağlama metodları gereklidir.

b- Betonarme yapılarda hasar tesbitinde kullanılan deprem hasar düzeyleri;

A Düzeyi Hasar: Hasarsız ya da az hasarlı yapılar, herhangi bir onarım gerektirmezler.

B Düzeyi Hasar: Az hasarlı yapılar, hemen kullanılabilir, onarım, yapı kullanılırken de yapılabilir. Sıva çatlakları, pencere camlarının kırılması, dengesiz eşyaların devrilmesi gibi.

C düzeyi Hasar: Taşıyıcı sistemin onarımını gerektirecek derecede hasarlı yapılar, yapı güvenliği önemli ölçüde azalmıştır. Onarım ve güçlendirme gereklidir.

D Düzeyi Hasar: Ağır hasar, onarılmaz yapılar. Yapı tamamen yıkıntıya dönüşmemiş içindeki insanlar can kaybı olmadan boşaltılmışlardır.

c- Tamamlayıcı incelemeler ;

Depremden sonra yapılacak ilk incelemeye dayanarak uygun olabilecek geçici önlemler saptanır ve uygulanır. Onarım ve/veya güçlendirme işlemlerinin projelendirilmesi için ilk incelemenin verilerini kullanmakla beraber tamamlayıcı incelemeler yapmak ve tamamlayıcı veriler toplamak gereklidir. Yapının projeleri ve ilgili dökümanlar mümkün olduğunca bulunur ve toplanır. Bu dökümanlardaki bilgi ile uygulama arasında uyum olup olmadığı kontrol edilir, farklılıklar belirlenir ve kaydedilir.

Yapı ile ilgili bilgiler yoksa ve bulunamıyorsa yapının depremden önceki durumunu belirlemek için yerinde gözlemler ve ölçmeler yapılmalıdır. Yüzeysel örtü ve kaplamaların kaldırılarak taşıyıcı malzemenin durumu belirlenmelidir. Temeller tehlike gösteriyorsa veya oturmuşsa, yeni temel ilavesi gerekiyorsa yeni zemin sondajları yapılması gerekebilir.

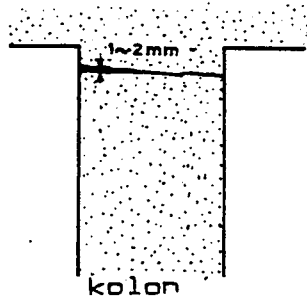
İlk incelemelerde başlayan yerinde incelemeler onarım ve güçlendirme aşaması için tamamlanır. Yapının değerlendirilmesi için detaylı inceleme sırasında taşıyıcı olmayan kısımların, sıvaların, beton örtülerin ve benzerlerinin kaldırılması gerekebilir. Herbir taşıyıcı eleman kontrol edilerek hasarları ve hasarsız oldukları not edilir. Hasarlı elemanların krokisi çizilir ve fotoğrafları alınır. Çatlak genişlikleri, parçalanmış alanlar, eğilmiş ve kırılmış donatı aşırı deformasyonlar ve benzeri hususlar kaydedilir ve tanıtıcı bilgi verilir. Bu işlemler tekrar yapıya gidilip inceleme yapmayı gerektirmeyecek açıklıkta ve netlikte yapılmalıdır. Taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarlar onarım için kaydedilmelidir. Bütün hasarların ve derecelerinin kaydedilmesi, onarım ve güçlendirme çalışmalarının bu kayıtlardan yararlanılarak yapılacağı için çok önemlidir. Bu hasarlar taşıyıcı elemanlara etkileyen deprem kuvvetini ve sabit ve hareketli yük taşıma kapasiteleri üzerine depremin etkisinin ne olduğunu tahmin etmede etkili olacaktır. Mümkün durumlarda hasarlı elemanların kalan mukavemetleri tahmin edilerek kayda geçirilmelidir. İnşaatta kullanılan malzemelerin bugünkü durumu, karakteristikleri ve mukavemetleri tahribatsız metodlarla veya yapıdan parça alıp laboratuvarında incelenerek bulunmalıdır.

Depremden sonra tesbit çalışmaları gecikmeden yapılmalıdır. Bu çalışmalar ve tesbit belirli normlara göre eksiksiz yapılmalı, elde edilen bilgiler kolayca sınıflandırılabilir ve değerlendirilebilir ve objektif hale getirilebilir. Bu şekilde doğru değerlendirme ve çözüme kısa zamanda ve daha az emekle ulaşılabilir. Depremden sonra onarım ve güçlendirmenin kısa sürede tamamlanması sağlık, ekonomik, sosyal, siyasal, prestij gibi bir çok açıdan gereklidir.

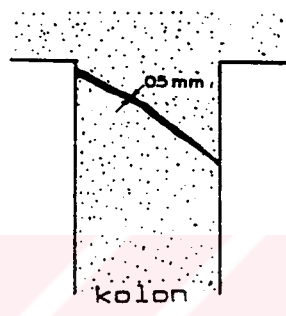
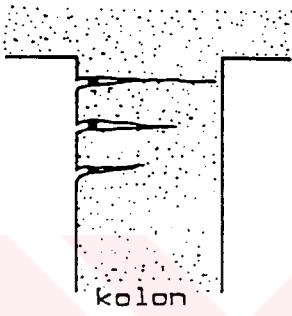
**Taşıyıcı Elemanların Deprem Hasar Derecelerinin Tesbiti:**

Derecesi	Taşıyıcı elemanın hasarı	Hasar düzeyi
I	Beton yüzeyinde görülebilen kılcal çatlaklar Çatlak genişliği 0-2 mm	A Düzeyi hasar
II	Beton yüzeyinde görülebilen belirgin çatlaklar Çatlak genişliği > 2 mm. Köşegen doğrultusunda çatlak < 0.5 mm	B Düzeyi hasar
III	Beton örtüde yerel ezilme ve parça kopmaları Önemli derecede büyük çatlak Kolon kiriş birleşim yerlerinde ince çatlaklar.	C Düzeyi hasar
IV	Betonda donatı çubukları görünecek derecede ezilme, yetersiz beton çekirdek betonun örtü tabakasının patlamış donatı çubuklarında burkulma, düşey ve yatayda küçük ve kalıcı ötelenmeler, birleşim yerlerinde aşırı çatlak ve parça kopmaları, kiriş yüzeyinde aşırı çatlaklar.	D Düzeyi hasar
V	Donatı çubukları eğilmiş (burkulmuş ) Betonun çekirdek bölgesi ezilmiş Kolonda, duvarda gözle görülebilen düşey deformasyon Döşemede gözle farkedilen oturma ve / veya eğim oluşması	E Düzeyi hasar



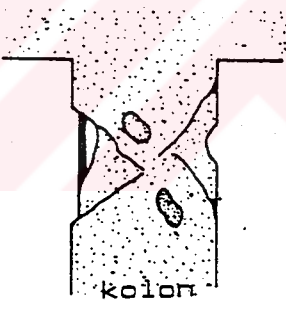
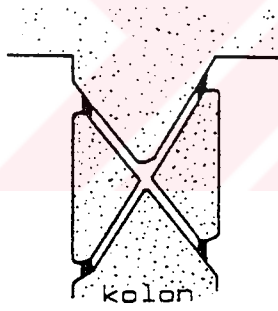


A DÜZEYİ



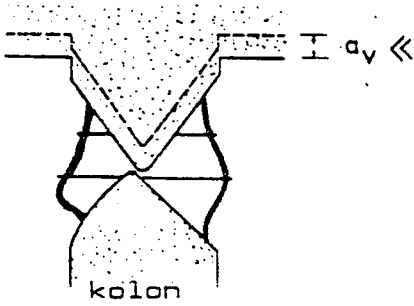
$$a_h = 0$$

B DÜZEYİ

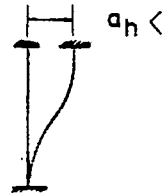


$$a_h = 0$$

C DÜZEYİ



$$I \quad a_v \ll$$



$$a_h <$$

D DÜZEYİ

Şekil 3.1 Betonarme kolonların deprem hasar düzeyleri

Hasar görmüş elemanın mevcut güvenlik paylarını yaklaşık bir değerlendirmesi için; sistemin veya elemanın yük taşıma kapasitesi  $R'$  ve ulusal yönetmeliklere göre sistem veya elemanın dayanması gereken yük etkisi  $S'$  ise  $v=R'/S'$  kapasite oranını belirtir. Bir depremden sonra hasar gören yapıda bu kapasite oranı için sayısal bir değer bilinmiyorsa Çizelge 3.2 ile kabaca tahminleri yapılabilir.

Çizelge 3.2 Deprem etkisiyle hasar görmüş yapı elemanları için yaklaşık kapasite oranı

Eleman	Betonarme elemanların deprem hasar düzeyi			
	A	B	C	D
Yeni	0.95	0.75	0.45	0.15
Eski	0.80	0.60	0.30	0.00

### 3.2.2 Yangın hasarlarının değerlendirilmesi

Yangın hasarının değerlendirilmesi yangının ciddiyetinin ve dağılımının bölgesel ve bütünsel olarak incelenmesinden sonra yapılır. Bu inceleme değerlendirmenin adımları aşağıdadır.

1. Yangının yoğunluğunu ve süresini tahmin etmek: molozların ve yanmış malzemenin incelenmesi ile yangının süresi ve ulaşılan ısı belirlenebilir. Malzeme ve bileşenlerinin yangın etkisi altındaki dayanım ve durumlarını belirten tablolar yardımıyla yangında ulaşılan ısı ve süresi belirlenebilir, (Çizelge 3.3).
2. Betondan küçük çaplı bir karot alınarak, renk değişimlerinden beton kesitin çeşitli derinliklerde maruz kaldığı ısılar saptanır.
3. Yangın testleri sonucu hazırlanmış zaman/ısı değerleriyle bir önceki değerlendirmeden toplanan data karşılaştırılarak yararlı bilgiler sağlanabilir.
4. Test edilerek zaman/ısı değerleri saptanmamış agrega kullanılması nedeniyle beton davranışı bilinmiyorsa yapının gerçek davranışı bilinemez. İncelenen yapıda hasarsız elemanlardan alınan numune labratuarda bir saat çeşitli ısılarda tutulduktan sonra suda bekletilir. Bu kontrollü şartlarda bulunmuş renk değişimi ile arazidekiler karşılaştırılır.
5. Betonun yangın hasarının testleri: hasar görmemiş yüzeyden elde edilen sonuçlar hasarlı yüzeyden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılır.

- Schmidth çekici kullanmak beton dayanımını ve betondaki boşlukları bir derece belirler,
- boşluksuz yüzey yoksa ve yüzey ince çatlaklarla kaplıysa ultrasonik ölçümler ciddi hasarlı alanları ve çatlak derinliğini belirler,
- küçük bir numune alınarak çatlak rengi derinliği vb. belirlenir,
- yangın hasarına uğramış dış tabakaların dayanımını gösteren tahribatsız yüzey sertliği testleri örneğin penetrasyon direnci, pull-out ve pull-off metodları kullanılarak yaklaşık temel bilgi sağlanır.

Yangın etkisiyle oluşan hasarlar;

1- Isının yükselmesi nedeniyle:

- duvar sıvalarında dökülmeler ve çatlaklar
- çelik yapılarda burkulma (distorsiyon)
- beton örtünün parçalanması
- beton ve kagirin ayrışması
- donatının burkulması ve akması
- eğilme, kırılma, parça kopması ve betonda ayrışma
- betonarme kolonların eğilmesi
- mesnetlerde, yapısal elamanlarda çatlaklar
- beton basınç dayanımının azalmasıdır.

2- Yüzey alanları büyük yapısal elemanlar aşırı yangın yüküne maruz kaldıklarından yapısal dayanımları azalır.

3- Yangın nedeniyle beton yüzeyin karbonasyona uğraması beton içindeki donatı çeliğinin korozyona uğrama riskini artırır.

4- Yangına açık yüzey alanları daha büyük olan kolonlar yangın etkisi sonucu karbonasyondan diğer yapısal elemanlara göre daha çok etkilenir.

5- Uzun süreli yangın etkisi betonarme döşemelerde iki safhalı hasara neden olur: birincisi betonun parçalanarak dökülmesi ve donatıların açığa çıkması; ve ikincisi betonun ayrışması ve döşemenin göçmesidir.

6- Uzun süreli yangın etkisinde beton örtüsü dökülen kolonun donatıları dış etkilere maruz kalır. Sıcaklığın yükselmesi beton dayanımını zayıflatır ve dış etkilere açık çeliğin

dayanımının azalması sonucunda çelik burkulur ve beton parçalanır. Eğilme hasarı uygulanan yükü karşılayan kuvvetin azalması sonucunda oluşur.

7- Mesnetlerde ve betonarme kirişlerdeki çatlaklar ısı artışıyla genişmelerin oluşmasına ve soğuma süresince büzölmelere direnç gösterilmesi sonucu oluşur.

Yüksek ısı etkisindeki yapıların, etkiyen yüklere karşı dirençleri ve bütünlükleri azalır. Yüksek ısıya maruz bina malzemelerinin dayanımındaki azalma yapının ömrünü azaltacaktır.

**İncelemelerin değerlendirilmesi :**

Önemli durumlarda esansiyel data toplamak için inceleme föyü dizayn etmek hasarın hızlı değerlendirilmesini kolaylaştırır. Bir yapının çatı, döşemeler, kirişler, kolonlar, dış cephe, iç duvarlar ve tavanlar gibi yapısal elemanlarından herbirinin görsel incelenmesiyle yapılır. Elemanların herbiri hasarın genişliği, yanan ve etkilenen yüzey alanın oranı saptanarak incelenir. Yapının dayanımındaki azalma ve yapısal elemanların uzun süreli performansının bozulması arazide yapılan test sonuçlarıyla belirlenir.

**Sonuçlar ve analiz :**

Yapılan incelemeler ve tetkikler sınıflandırılarak hasarın binalara verdiği zararlar ve toplanan bilgilerden istatistik analiz yapılarak hasarın gerçek etkisi belirlenir. Yangın hasarları ağır dumandan büyük yıkıcı etkilere kadar, örneğin çelik yapıların burkulması ve çökmesi, betonarmenin ayrışması, beton içindeki çeliğin akması, yapısal elemanların eğilmesi şeklinde olduğu gibi, içteki elemanlarda çeşitli hasarlar gibi geniş bir aralıktadır. Yapılardaki yangın hasarlarının etkileri, hafiften ortaya doğru içsel hasarlar ve yapının performansını bozan ciddi yapısal hasarlar olarak kategorize edilebilir. Arazide yapılan testlerden yararlanılarak yapısal elemanların uzun süreli performanslarındaki bozulmalar ve dayanımdaki azalma saptanır.

Kolonlardan, kiriş ve döşeme gibi farklı yapısal elemanlardan alınan silindirik karotların incelenmesi yapı elemanlarının beton basınç dayanımlarındaki değişiklikleri gösterebilir.

Kolon daha çok yüzey alanı yangın etkisinde kalır, kirişler üç taraflarından etkilenir, döşemeler iki yüzeylerinden etkilenir, fakat konveksiyonla ısının yükselmesi nedeniyle alt

yüzey yangından daha çok etkilenir. Yüzey alanları daha büyük olan yapısal elemanlar daha büyük yangın yüküne maruz kalırlar, yangın etkileri büyüdükçe yapısal dayanım azalır.

Yangından etkilenmiş yapısal elemanların karbonasyon testlerinden karbonasyon derinlikleri bulunur. Karbonasyon derinliğindeki artış beton içindeki donatı çeliğinin korozyonunu artırır. Isı yükselmesi görünen ve görünmeyen hasara neden olabilir. Çatlaklar, sıva, duvar kaplamaları ve döşemelerdeki dökülmeler aşikardır. Görünmeyen fakat tehlikeli olan ısının yükselmesi etkisiyle yapının dayanımındaki azalmadır.

### **Yangın nedeniyle oluşan hasar düzeyleri**

Betonarme elemanların özellikle düşey taşıyıcı elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesi onarım ve güçlendirme derecesinin seçiminde ve hasar sonrası güvenlik düzeylerinin belirlenmesinde yararlı olacaktır.

Betonarme kolonların yangın hasar düzeyleri ;

A Düzeyi : ince dökülmeler ve sıva veya doğramada kabuklanmalar.

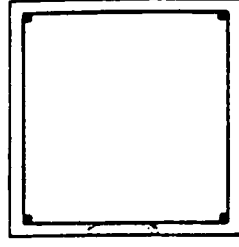
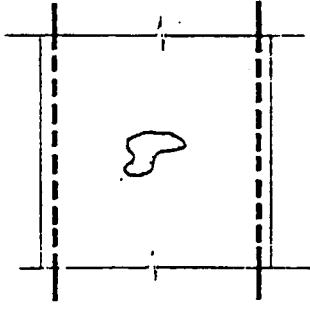
B Düzeyi : önemli sıva kaybı, beton yüzeyinde ince dökülmeler ve yaygın küçük çatlaklar ve beton yüzeyinin pembe/kahverengimsi renk alması.

C Düzeyi : sıva ve doğramanın tamamen kaybolması, büyük parçalanmalar, beton yüzeyinin kahverengi-sarı (devetüyü) renk alması. Donatı beton aderansı mevcut fakat ısı etkisiyle ana donatı çubuklarının bazılarında (% 10) hafif burkulma oluşması.

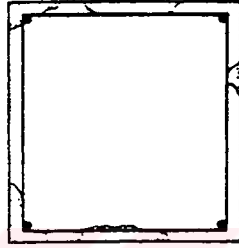
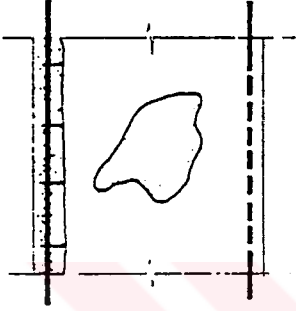
D Düzeyi : şiddetli hasar, tüm donatılar açığa çıkmış, betonda geniş parçalanmalar, birden fazla ana donatı çubuğunda (% 50 civarı) burkulma, kolon aniden bükülüp göçebilir. Ayrıca kayma çatlakları da oluşur.

E Düzeyi : düşey elemanlarda bölgesel göçmeler.

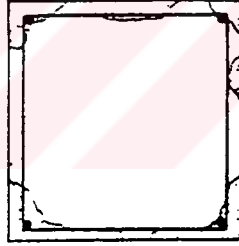
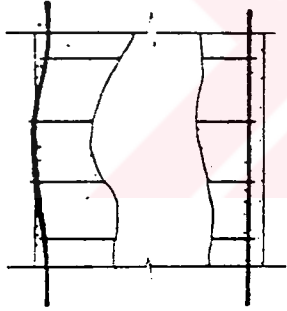
Yapısal değerlendirme için ACI 318-89/ACI 318R-89 kodu kullanılır. Yapı ve malzeme ısı testlerinde ASTM 119-83 "Standard Methods of Fire Tests of Bulding Construction and Materials" şartnamesinden yararlanılmıştır.



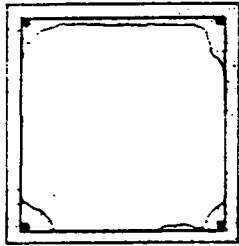
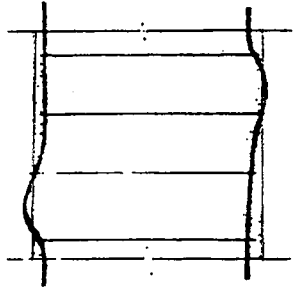
A DÜZEYİ



B DÜZEYİ



C DÜZEYİ



D DÜZEYİ

Şekil 3.2 Betonarme kolonların yangın hasar düzeyleri

Çizelge 3.3 Yangından hasar görmüş yapının kapasitelerinin yaklaşık tahmini.

Eleman	Betonarme elemanların yangın hasar düzeyleri			
	A	B	C	D
Yeni	0.95	0.80	0.60	0.40
Eski	0.85	0.70	0.50	0.30

### 3.2.3 Korozyon hasarlarının değerlendirilmesi

Betonarme elemanların özellikle düşey taşıyıcı elemanların donatılarının, korozyon nedeniyle olan hasarları birkaç seviyede ayırt edilebilir. Bu hasar düzeyleri, alınması gerekli onarım /güçlendirme derecesini belirlemekte ve hasardan sonra uygun güvenlik paylarının düzeyini belirlemekte yardımcı olacaktır. Görünüşe dayalı bu hasar düzeyi sınıflandırması deneylerle desteklenerek uygun kararlar verilmesine yardım edecektir.

Korozyona uğramış betonarme kolonların durumuyla ilgili bir sınıflama örneği verilmiştir. Kirişler, döşemeler vb. gibi diğer yapı elemanları için C düzeyinden daha yukarı düzeyleri göz önüne alan benzer hasar düzeyleri uyarlanabilir. Sehimler, birkaç mm genişliğinde çatlaklar oluştuğu takdirde önemli olabilir.

Betonarme yapı elemanlarında çelik korozyonuna göre hasar düzeyleri ;

A Düzeyi Hasar : hafif pas lekeleri, donatıya paralel çok ince çatlaklar görülür.

B Düzeyi Hasar : pas lekeleri, (kolon-kiriş birleşim bölgesine yakın) 1mm ye yakın çatlaklar (deprem A düzeyi hasarı) ve bazı etriyeleri izleyen çatlaklar, betonda kabarma ve hafif dökülme, donatıda % 5 kesit azalması.

C Düzeyi Hasar : pas lekeleri, geniş fazla sayıda çatlaklar, geniş dökülmeler, donatıda % 10 kesit azalması.

D Düzeyi Hasar : pas lekeleri, çok genişlemiş çatlaklar, çok geniş beton dökülmeleri, donatının beton yüzeyinden ayrılması, donatıda % 25 kesit azalması, hafif sehim olabilir.

E Düzeyi Hasar : çok sayıda ve geniş çatlak, aşırı dökülme, yetersiz beton çekirdek, ayrılmış ve burkulmuş donatı, etriyelerde kırılmalar, görülebilen sehim.

Renk değişimleri sürekli olmaz ve sınıflandırma için bir ön koşul değildir.

Oksit kalınlığı için:  $t_o = a (\Delta A_s / A_s) \phi$  ,  $\phi =$  çubuk çapı ,  $a = 0.5$  açık oksitler için,  
 $a = 1.0$  çimento ile karışık oksitler için.

Kimyasal etkiler ve korozyon nedeniyle hasar görmüş yapıların onarım ve güçlendirme çalışmalarında yapının kalan taşıma gücünün yaklaşık olarak tahmini için verilmiş değerlerden yararlanır.

$v = R' / S'$   $R'$  ; elemanın yük taşıma kapasitesi,  $S'$  ; elemanın Ulusal yönetmeliklere göre dayanması gereken yük.

$v$  değeri 0.50 den küçükse acil müdahale gereklidir. (CEB Yönetmelik, 162)

Çizelge 3.4 Kimyasal etkilerden ve korozyondan sonra yapı elemanlarının kapasitelerinin yaklaşık olarak tahmin edilmesi için değerler:

Eleman	Betonarme elemanların kimyasal korozyon hasar düzeyleri			
	A	B	C	D
Yeni	0.95	0.80	0.60	0.35
Eski	0.85	0.70	0.50	0.25

### 3.3 Hasarların Nedenlerinin Tesbitinde Kullanılan Testler

#### 3.3.1 Hasar nedenlerinin tesbitinde kullanılan test yöntemleri

Çeşitli yaş ve tipteki çeşitli beton yapıların davranışlarının karakteristikleri ve yangın, kimyasal etki veya deprem gibi olağan dışı sebepler yüzünden olan kusurlar olduğu kadar korozyon, çatlak şekilleri, hasar, çeşitli hataların kontrolü ve teşhisi için en iyi ve en ekonomik yöntemlerin kullanılması gerekir. Birleşik yöntemler hasar sınıflandırması ile ilgili olmalıdır. Test yöntemlerinin üç ana gruba bölünmesi kusurların analizlerinin kontrolü açısından yararlı olacaktır. Bu gruplar aşağıda açıklanmıştır:



- 1) Malzemelerin kalitesinin, özellikle betonun kalitesinin kontrolleri ve donatının doğru düzenlenmesi, ön gerilme kablolarının dolgu harcı kalitesi, betonun homojenliği;
- 2) Şekil ve boyutların kalitesinin kontrolü, köprü eksen çizgisinin doğrultusunun kontrolü, gerilmelerin sonucunda deformasyonların ve uzun süreli sehimlerin kontrolü;
- 3) Olası paslandırıcı ortam etkilerinin analizi dahil edilerek, çatlak açıklığının, çatlakların durumlarının ve boyutlarının kontrolü.

Hazırlık testlerinde ve teşhislerde çatlak tanımıyla yapının görsel kontrolü, çatlakların şiddet ve genişliği, yapının şekil ve seviye çizgisinin değerlendirilmesi ve betonun halihazırdaki kalite kontrolü (örneğin bir Schmidt çekici ile) yer alır. Ana kontrol testlerinde yüklenmiş bir yapının elastik davranışına sahip yapının, rijitliği ve gerilme durumunu geri indirgeme (back deducing) ve ölçülen sehimlerden değerlendirme ile ve yükleme durumundaki çatlakların durumuna bağlı açıklıkları veya taşıma kapasitesini değerlendirmeye yönelik yükleme testlerini içerir. Teşhisin bir sonraki adımı betonda karbonatlaşmanın kimyasal kontrolü, sülfat etkisi ve kloritlerin varlığı, korozyon analizi ve betonun dayanımını belirlemektir. Daha ileri metodlar yeni dizayn edilmiş yapıların servis süresi ve güvenilirliğinde artış sağlayacak ve aynı zamanda incelenen beton yapıların dayanımı, servis süresi ve güvenirliliğin belirlenmesini sağlayan uygulama ve dizayn aktivitesi standartların adaptasyonu ve hasarın nedenlerinin analizi, ve onların değerlendirmesi ve genelleştirilmesinden ibarettir.

Beton yapılarıdaki hasarların incelenmesinde kullanılan alet ve test yöntemleri RİLEM Teknik Komitesi tarafından sekiz gruba ayrılmıştır.

#### 1) Görsel yöntemler ve yapıların hızlı rutin gözlemlenmesi

Yapıların aşağıdaki elemanlarına ve yönlerine özel dikkat gösterilmelidir: temellerin oturması, kalıcı deformasyonlar, düşeylik kaybı, çatlaklar, genleşme derzleri, mafsallar ve mesnet düzenleri, ankrajlar, beton ve donatının korozyonu. Bu tip gözlemler için aşağıdaki aletler kullanılır: teleskoplar ve dürbünler, klasik çeküller, su terazileri, endoskoplar. Çatlakları ölçmek için özel teknikler ölçekli optik mikrometreler, mikrometrik vidalı optik

aletler ve çatlağın iki tarafına yapıştırılmış referans işaretlerine dayanan çeşitli deformometreler vs. dir.

## 2) Hasar vermeyen yöntemler kullanarak kalite kontrolü

Hasarsız yöntem; sertlik ölçümü (Shmidt çekici vb.), ultrason testi veya bileşik yöntemlerdir. Aynı zamanda başka tip yöntemler ve çekip çıkarma testi (pullout), penetrasyon testleri, basınç çekmede çekirdek (göbek) testleri, aşındırma için testler ve donma çözülme direnci için, yoğunluk için su emme ölçümleri vs için de testler yapılır.

Ultrasonik (pulse) atma yönteminin amaçları betonun elastisite modülünü ve poisson oranını, basınç mukavemetini, beton kusurları ile korozyon ve zamanın sebep olduğu betonun özelliklerindeki değişiklikleri ve homejenliği kurmaktır.

Sertlik yönteminin uygulanması şartları üç ayrı alana girer ; belirli bir gereksinimle verilen betonun kalitesini, betonun mukavemetinin yaklaşık tahmini ile karşılaştırarak, ölçülen sertlik cinsinden beton kalitesinin üniformluğunun değerini saptamak.

## 3) Karbonatlaşma ve bozucu etkenlerin analizi için kimyasal yöntemler

Tamamlanmış yapılardan alınan sondaj numuneleri kullanılarak yapılır. Betonarme yapılarda hasar sınıflandırmasında sertleşmiş betondaki klorit muhteviyatının ölçülmesi hızlı klorit test yöntemi kullanılarak beton ağırlığının yüzdesi olarak asitte çözünen klorit muhteviyatı olarak kolayca ölçülür. Sülfat ve deniz suyu etkisinde beton genişir ve çatlaklar oluşur. Sodyum ve kalsiyum sülfatların etkisi ile rutubetli beton yumuşak ve lapa gibidir.

## 4) Yapısal deplasmanların ölçülmesi

Bu ölçümler geometrik seviyeleme, su terazisi ile seviyeleme ve eğim ölçen aletler ile yapılır. Geometrik yöntemler lineer deplasmanların ölçülmesi için önerilir. 0.1 veya 0.01 mm deflektometrelerle bağıntılı, şeritler veya tüpler, çelik veya Invar teller kullanılır. Lineer deplasmanların gözlenmesi özel teknoloji gerektirir fakat güvenilir sonuçlar sağlar.

Tünellerin veya köprülerin gözlemlenmesinde fotogrametrik yöntemler kullanılır.

Düşey deplasmanlar ve oturmaların ölçümünde hidrostatik seviyeleme aletleri, farklı seviyelerde deplasman ölçümleri için hidro-fenomik aparatlar kullanılır. açısız deplasmanların ölçülmesi için klasik hava-kabarcıklı eğim ölçen aletler (clinometer) kullanılabilir.

#### 5) Beton içindeki donatının analizi için yöntemler

Bu yöntemler sonradan germe kablolarındaki boşlukları bulmak, kirişlerdeki çatlakları ve donatının korozyonunu bulmak için kullanılanlar ve öngerilme kabloları ve tendonlardaki kuvvet ve gerilmelerin ölçümü için kullanılanlar olarak ayrılabilir. Sonradan germe kabloları 25mm çapında delik açılarak endoskopta incelenir. Beton paspayı ve kanca durumunun ölçümü, paspayı ölçer (covermeter) pochometreler gibi çeşitli manyetik metodlarla yapılır.

#### 6) Korozyon ölçümleri

Beton yüzey tabakasının elektrik direnci ve potansiyel gradientler ve potansiyeller ve katodik korumanın kontrolü bilgisayarlarla yapılabilmektedir. Blood-hound aleti saniyede bir okuma yapar. Erken safhada donatı korozyonunu bulmanın hiçbir doğrudan yöntemi yoktur, fakat çeliğin elektriksel potansiyelleri ölçülerek tahminde bulunulabilir. Donatı çubuklarının potansiyelleri doğrudan ölçülemez, standart bir referans elektrot (yarı-hücre) ile arasındaki potansiyel farkı yüksek empeans voltmetre kullanılarak ölçülebilir.

#### 7) Birim uzama-gerilme ölçümleri (deformasyon-gerilme)

Yüzey deformasyonları çeşitli deformometrelerle ölçülür. Yüzeye tutturulan yüzeysel-titreşen tel sayaçlar (surface-vibrating-wire gauge) ile sayısal olarak kaydedilir. Yerinde ölçümlerde gömülü vibro-tel akustik sayaç en çok kullanılan deformasyon sayaçlarındandır. Ayrıca Glötl-tip gerilim-metre (strees-meter) ve Carlson-tip deformasyon-metre (strain-meter) de kullanılabilir. Fotogerilme ve fotoelastik kaplama tekniği beton yapıların yüzey gerilmelerinin analizinde uygulanabilir.

## 8) Özel yöntemler

Yapılardaki hasarın analizi için moire fotoğrafçılığı, termoelastik gerilim analizi, holografi, veya akustik yayılma gibi özel yöntemler kullanılabilir. Akustik yayılıma yol açan mekanizmalar çatlak büyümesi, plastik deformasyonlar ve donatı paslanmasıdır. Dinamik testlerle yapılan gözlemler sonucu bazı problemler çözülebilir. Doğal frekansın uzun süreli gözlemlenmesi ile frekanstaki değişimler ile betonda çatlama ve mesnetlerin değişimi veya öngörmenin değişimi belirlenebilir. Bu yöntemde ölçülen kuvvet değil rijitliktir.

### 3.3.2 Test yöntemlerinin uygulanması

Muayene ve test yöntemleri yapının hasar durumunun gerçeğe en yakın bir şekilde belirlenmesi için uygulanan yöntemlerdir. Yapının çeşitli yerlerinde inceleme yapılarak genel sonuca varacak şekilde bir sistem uygulanmalıdır.

Hasar tesbitinin aşamaları şunlardır:

- i) Önce yüzeysel ve görsel bilgi toplamak ve bunları değerlendirerek yapının genel durumunu, hasar tip ve yerlerini anlamak,
- ii) Seçilmiş hasarlı ve hasarsız bölgelerden daha detaylı bilgiler toplayarak değerlendirmek ve gerçeğe çok yakın bir durum değerlendirmesi yapmak,
- iii) İkinci aşama değerlendirmede ortaya çıkan özel durumları hasar tipleri ve yerleri için özel ve detaylı etüd ve bilgi toplanması ile bunlar için onarım projesinde gerekecek verileri toplamak ve değerlendirmek.

Doğru ve hızlı karar verilebilmesi, inceleme çalışmalarının çabuk bir şekilde yapılması için örnekleme gereklidir. Örnekleme yapının bütünü temsil eden hasarlı ve hasarsız bölgelerden deney yapılacak ve incelenecek elemanların belirlenmesidir. Bu belirleme deney tiplerine göre farklı elemanların seçimi şeklinde olabildiği gibi aynı eleman üzerinde birden fazla test yöntemi de uygulanabilir. Gerçeğe yakın bir örnekleme için iklim şartları, tipik

hasarların yerleri, dış kimyasal etkiler, dış fiziksel etkiler, kullanılan malzeme gibi durumlar gözönüne alınır.

Elle ve gözle muayene;

Yapının dış yüzünde göz ile görülebilen hasarların tertip edilip cinslerinin, büyüklüklerinin yerlerinin belirlenmesi, işaretlenmesi, fotoğraflarının çekilmesi ve krokilerinin çıkarılmasıdır. Öncelikle yüzeydeki renk değişimleri incelenir. Doğal renkten farklılık gösteren bölgeler belirlenir. Betonun dış yüzeyini örten harç kabuğu olarak adlandırılan ince tabakadaki aşınmalar, harç kabuğu altındaki harç tabakasındaki aşınmalar ve bunların aşınmasıyla ortaya çıkmış agregadaki aşınmalar incelenir. Hasar görmüş yerler referans verilerek işaretlenir ve ölçekli olarak fotoğraflanır.

Betondan dışarı su ile taşınan tuzların yüzeyde kabardığı, kristalleştiği (effloresans) çiçeklenme bölgelerinin saptanması, yüzeyde harç dökülmelerinin, çatlak ve su sızmalarının bulunduğu bölgelerin belirlenmesi, referans verilerek işaretlenmesi ve ölçekle fotoğraflanması.

Donatı çeliğinin açıkta kaldığı yerlerin, paslanma nedeniyle pas lekelerinin bulunduğu bölgelerin, ayrıca donatının paslanarak paspayı betonunu tabaka halinde kaldırdığı bölgelerin ve bu durumda olup da gözle belirlenemeyenlerin çekiç darbesi ile ses kontrolü yaparak tesbiti ve yüzeyde çatlak oluşturdukları yerlerin referans verilerek işaretlenmesi ve ölçekle belirlenmesi fotoğraflanması.

Çatlakların bir referans karelağı oluşturularak belirlenmesi boyları, genişlik ve şekillerinin referans verilerek ölçekle belirlenmesi ve fotoğraflanması.

Yapıda düşeylik kaybı, sehim ve bombelenme gibi kalıcı deformasyonlar, temel oturması, genleşme derzi ve mafsallarda gözle görülebilen kusurların belirlenmesi ve ölçülerek fotoğraflanması.

Bu tip gözlemler için kullanılan aletler; teleskoplar, dürbünler, klasik çeküller, su terazileri, endoskoplardır. Çatlakları ölçmek için; ölçekli optik mikrometreler, mikrometrik vidalı optik aletler ve çatlağın iki tarafına yapıştırılmış referans işaretlerine dayanan çeşitli deformometreler vb. aletler kullanılır.

### Paspayı derinliği ölçümü

Paspayı ölçümleri inceleme çalışmalarının önemli bir parçasıdır. Ana donatıların ve diğer donatıların çaplarının ve aralıklarının ve üzerindeki paspayı derinliğinin saptanması, minimum paspayı derinliği değişiminin saptanması, karot numune alırken veya ultrases (UPV) deneyleri için donatı yerlerini saptayıp bunların hasar görmesini ve sonuçları etkilemesini engellemek için uygulanır. Paspayı ölçüm cihazları (covermeter) kolay taşınabilen pille çalışan elektromanyetik alanın değişimi prensibi ile çalışan aletlerdir.

### Rezistivite ölçümleri

Betonun elektrolitik direncini (rezistivitesini) ölçmek için kullanılır. Bulunan değerler yapının korozyon durumu hakkında bilgi verebilir. Betonun elektrolitik direncini etkileyen faktörler rutubet, tuz içeriği, sıcaklık, betonun yapım sırasında karıştırma özellikleri ve su/çimento oranıdır.

Bu yöntemde 6 mm derinliğinde 50 mm aralıklarla yerleştirilmiş dört sonda kullanılır. Dıştaki sondadan alternatif akım geçer içteki sondalarla potansiyel farkları okunur. Rezistivite değeri 12000 ohm cm den büyükse korozyon görülmez, 12000-5000 ohm cm arasında ise korozyon olasıdır, 5000 ohm cm den küçükse bunu yarı hücre testleri de destekliyorsa korozyon kesinlikle vardır.

### Karbonasyon deneyleri

Betondan alınmış karot numuneler üzerine baz indikatörü sürülmesiyle ortaya çıkan renk değişimi ile karbonasyon saptanır. Betona giren karbondioksit boşluk suyundaki serbest  $\text{Ca(OH)}_2$  ile birleşerek ortamın pH değerini düşürür. Beton yüzeye sürülen baz indikatörü pH değeri 11-12.5 olan karbonatlaşmamış betonu koyu pembe renge dönüştürür, karbonasyon sonucu pH değeri 8-9 a düşmüş betonda renk değişimi göstermez. pH değeri 11 den büyük olan betonlarda donatı alkalın pasivasyonla korunduğu için, bu değer düşmesi korozyon varlığını belirtir. Baz indikatörü olarak kullanılan çözelti fenolfatalin çözeltisidir.

Karbonasyon derinliği

$$d = K\sqrt{t}$$

d= karbonatlaşmış paspayı derinliği

$$K = 2.2 \text{ mm/yıl}^{1/2} \text{ (sabit)}$$

t=zaman

Yarı hücre potansiyel ölçümleri

Beton içindeki çeliğin bir referans hücresi ile potansiyel farkının ölçülmesi şeklindedir. Yarı hücre olarak bakır/bakır sülfat veya gümüş/gümüş klorür elektrotlar kullanılır.

ASTM C 876 Potansiyel ölçümlerinin ayrıntılarını içermektedir.

Yıkıntısız deney yöntemleri ile beton dayanımının saptanması

Yıkıntısız metodlar genellikle dolaylı olarak basınç dayanımının hesaplanmasına olanak verir (ÖZKUL, vd., 1993, AKMAN, 1992). Bu yöntemler betonun yüzey sertliği, batmaya gösterdiği direnç veya geri tepme gibi özelliklerinden ölçülmesini içerir.

Schmidt geri tepme ölçümü; en yaygın olarak kullanılan yöntemdir, yüzeyin düzgün ve büyük olması, betonun yaşı ile karbonatlaşma miktarı, nem oranı, agrega ve çimento cinsi gibi değişkenler etkendir. Bu yöntemde  $\pm\%25$  dolayında hata beklenebilir. İleri derecede karbonatlaşmış betonlarda schmidt geri tepme sayıları yüksek değerler alır, buna dayanılarak yapılacak mukavemet değerlendirmesi fazla iyimserdir.

Windsor batırma yöntemi; Bu yöntemde 6.3 mm çapında ve 79.5 mm uzunluğunda bir prob beton yüzeyine uygulanarak oluşturduğu iz ölçülür, sonuçlar agrega cinsine göre düzeltilir. Bu yöntemde  $\pm 8$  MPa lık hatalar olabilir.

Ultrases hızı ölçümü; Beton içine yayılan ses hızını ölçmeye dayanır. Betonun hava içeriği ve agrega cinsi sonuçlar üzerinde etkilidir. Betonun yaşı, yüzeyin nem durumu, agrega/çimento oranı ve ölçüm yapılan kısımdaki çelik donatıların konumları sonuçları değerştirebilir. Hata

payı  $\pm\%20$  civarındadır. Aşırı boşluktan etkilenmesi nedeniyle ses hızları mukavemeti fazla kötümser tahmin eder.

Birleşik yöntem, betona uygulanan birden fazla yıkıntısız yöntem sonuçlarının birarada değerlendirilmesine dayanır. Bu yaklaşımda en çok ultrases hızı ve Schmidt geri tepme sayıları kullanılmaktadır. Eğer betondan karot alınmışsa karot dayanımıyla deneysel etkinlik katsayısı elde edilir.

Geçirimlilik Testleri; Betonarmede korozyona neden olan faktörlerin başında nem ve gaz difüzyonu gelir. Çeliğin korozyonunun başlaması için elektrolitik ortam suyun betona girişi ile gerçekleşir. Çeliğin korozyonu ve betonun karbonasyon olayı için gazların da betona sızması gereklidir. Bu durumda betonun geçirimsizliği önem kazanmaktadır. geometrisi belli bir alanın dışında kalan kısımlar izole edilip, sabit basınç altında su uygulayıp penetrasyon derinliği ölçülmesi ile geçirimsizliğin belirlenmesidir.



#### 4. ONARIM VE GÜÇLENDİRME

Hasarlı yapıda herhangi bir onarım işlemine girişilmeden önce ortaya çıkan hasarın nedeni araştırılmalıdır. Bunun için gerekli test metodları daha önce anlatılmıştır. Daha sonra düşünmemiz gereken şey onarımın hangi amaçla yapılacağıdır. Bu amaç genellikle aşağıdakilerden biri veya birkaçı olabileceği gibi bunların dışında da olabilir.

- a. Yapının dayanıklılığını sağlamaya yönelik bir onarım,
- b. Yapısal mukavemet sağlamaya yönelik bir onarım,
- c. Yapısal mukavemeti arttırmaya yönelik bir onarım,
- d. Yapının görünümünü düzeltmeye yönelik bir onarım,
- e. Yapıyı kullanılabilir bir hale getirmeye yönelik bir onarım,

Böyle bir uygulama için çalışma stratejisi belirlemek ve belli bir sistem dahilinde hareket etmek gerekmektedir. Hasarlı yapının özelliklerine ve hasarın nitelik ve büyüklüğüne bağlı olarak çözümler getirilir. Onarım ve güçlendirme çalışmalarında yöntem seçilmesi, ve kullanılacak malzemelerin seçilmesi önemlidir.

##### 4.1 Yapıların Onarım Malzemeleri

Beton yapıların onarımında kullanılan malzemeler çok çeşitlidir. Bu bölümde sadece beton özelliklerini arttırmak için kullanılan çeşitli katkı maddelerine kısaca değinilmiş ve deneysel çalışmada epoksi ile yapıştırılarak güçlendirme yapılmış olması nedeniyle polimerler ve epoksi hakkında bilgi verilmiştir.

##### a-Beton katkı maddeleri

Beton yapıların onarımında önemli bir faktör katkı kullanmaktır. Betona bazı yeni özellikler kazandırmak ve bazı özelliklerini önemli ölçüde düzeltmek için çimento hamuru, harç ve betonlara ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Beton katkı maddeleri su, agrega, çimento

ve lifler dışında karışımdan hemen önce ya da karışım sırasında betona katılırlar. (ACI Comitte 212) Katkılar üç ana grupta toplanabilir:

- 1- Kimyasal katkılar,
- 2- Mineral katkılar
- 3- Diğer özel amaçlı katkılar.

Betonda katkı kullanımının çok ve çeşitli nedenleri vardır. Bunlardan önemli olanları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Su miktarını arttırmadan işlenebilmeyi yükseltmek,
- Sabit işlenebilirlik için su ihtiyacını azaltmak,
- Priz süresini azaltmak veya arttırmak,
- Kusma ve segrasyonu azaltmak,
- Pompalanabilirliği arttırmak,
- Hidratasyon ısısını ayarlamak,
- Dayanım(mukavemet) kazanma hızını arttırmak,
- Erken dayanımı arttırmak,
- Geçirimliliği azaltmak,
- Dayanıklılığı arttırmak vb.

Beton katkı maddeleri hakkında ülkemizde TS 3452 “Beton Kimyasal katkı Maddeleri” standartı vardır. Ayrıca üreticiler ve tüketiciler ASTM C-494 “Standart Specification for Chemical Admixtures for Concrete” standartını da esas olarak alırlar.

Herhangibir katkı maddesinin ekonimikliği, kullanılan çimento ve agreganın nitelikleri ve miktarı sıcaklık, rutubet ve bakım koşulları ile önemli ölçüde ilgilidir. Katkılar betona yeni bir bileşen eklenmiş olması nedeniyle maliyeti arttırırlar. İlk maliyetin artışına karşın a)taşıma, yerleştirme ve bitirme işlemlerinde olumlu değişiklikler, b)dayanım kazanma hızında olası artışlar, c) yapının daha çabuk hizmete sokulabilmesi, d)pompalanabilme özelliğinin artması ve benzeri etkiler de göz önünde bulundurulmalıdır. Betonda kullanılan katkının miktarı azdır ve çimento ağırlığının %si olarak ifade edilir. Çimento üreticisinin onayı olmadan normal ve hızlı sertleşen portland çimentosunda katkı kullanılmamalıdır.

## **b- Organik polimerler**

Organik polimerler petrokimya endüstrisinden sağlanan kompleks kimyasal bileşiklerdir. Bu malzemeler “reçine” olarak isimlendirilir ve inşaat endüstrisinde kullanılan asal reçineler epoksi, poliüretan, polyester, akrilik, polivynil asetat ve styren-butadien dir. Üç boyutlu ve uzun molekül zinciri formunda olan reçineler güçlü ve kararlı (stabil) malzemelerdir. Hazırlanırken sertleştirici yada hızlandırıcı katkı gerektirebilirler. Yüzey kaplama olarak uygulanır yada agrega ve çimento ile karıştırılarak beton şeklinde kullanılırlar. Kaplama olarak betonu korumak için kullanılan epoksi, poliüretan ve akrilikler permeabiliteyi azaltarak geçirimsizlik sağlar. Polivynil asetatlar döşeme betonu ile kauçuk kaplama (topping) arasında adezyonu yükseltir. Beton içine katıldığında harç karekteristlerini arttırarak alt yapıya iyi bir şekilde yapışma sağlar. Polyester reçineleri çimento esaslı döşeme kaplamalarında kullanılır.

### **Epoksi reçineleri**

Epoksi reçineleri organik bileşiklerdir. Uygun bir sertleştirici ajan ile aktive edildiklerinde mükemmel yapıştırıcılık özelliğiyle yapıların kimyasal direncini arttırır. Yapıştırıcı ve bağlayıcı olarak eski betona yeni parça yapıştırmaya ve çatlakları yapıştırmaya yararlar. Sertleştikten sonra yumuşamaz, akmaz ve terlemezler. Epoksi reçineleri özellikleri ve kullanım şekilleri belirtilerek hazırlanmış olarak satılır. Bazı epoksiler su altında başarıyla uygulanır ve kürlenir. Epoksilerin çoğu rijit ve kırılmandır, hafif esnek tipleride vardır.

Epoksi reçinelerinin temel karekteristikleri;

- Beton ve çelik kadar dayanıklı kalitede yapıştırıcılardır
- Asit, alkali ve kimyasallara (oksit karekterli olan nitrik asit dahil) dirençlidir
- Organik çözücülerden zarar görür.
- Karıştırıldığında ve likit halden katı hale geçişte büzülmesi düşüktür
- Termal genişleme katsayısı betonla karşılaştırıldığında yüksektir. Termal genişleme katsayısı tek başına  $60 \times 10^{-6}$ , harça karıştırıldığında  $25 \times 10^{-6}$  dir. Kaplama olarak kullanıldığında

kullanılan dolgu maddesinin miktarına bağlıdır. Portland çimentosu/kum harcının genleşme katsayısı ise  $7-12 \times 10^{-6}$  dır.

- Basınç, çekme ve eğilme dayanımları yüksektir
- Sıcaklık 80°C nin üzerine çıkarsa dayanımını kaybeder
- Kısım kısım uygulandığında dayanım kazanma oranı yüksektir
- Beton ve seramiklerle karşılaştırıldığında yangın dayanımı zayıftır
- Tarifesinde belirtildiği gibi uygulandığında şantiye koşullarında iyi sonuç verir. Özel bir formülle yapılmadıkça kuru yüzeye uygulanmalıdır ve uygulama süresince hava sıcaklığı değişimleri ve nem çok sınırlı olmalıdır.

Reçineler iki-bileşenli malzemelerdir, reçine ve aktivatörden (sertleştirici veya hızlandırıcı) oluşur. Kullanılmadan hemen önce karıştırılmalıdır.

Epoksi reçinelerinin kullanımlarının bağlı olduğu bazı önemli faktörler:

ı-Kap ömrü(pot life); kullanılacak miktar kadar reçine ve aktivatör birbirleriyle tam etkileşme yetecek bir süre karıştırılır ve hemen uygulanır. Kapta kalma süresi çok kısa olmalıdır. Formülasyona ve şantiye koşullarına bağlı olarak bu periyot değişir. Eğer kaplama olarak uygulanacaksa sertleştirici oranı çok az azaltılarak kap ömrü uzatılır. Bu periyot çok kısadır.

ıı-Sertleşme; uygulandıktan sonra plastik kıvamdaki reçinenin fiziksel sertleşmesidir. Formülasyona göre değişir. Bir önceki tabaka sertleştikten sonra diğer tabaka uygulanır.

ııı-Kür(bakım); Bu terim reçinenin dayanım kazanması ve gelişmesini tanımlar. Dayanıklı ve istenen mukavemette olmalıdır. Kürü formülasyona göre ortalama 7 gündür. 5°C den düşük sıcaklık dayanım ve yapışmada azalmaya neden olur.

Reçinenin uygulanacağı yüzey temizlenmiş ve kuru olmalı, sertleşme süresi kür süresi ve ıslak betona yapışma kabiliyeti gibi detaylar önemlidir.

Epoksiler beton yamasında bağlayıcı olarak kullanılacaksa karışım el veya makine ile hazırlanır. Bir bileşim hazırlanırken kullanılan aletler diğerinde kullanılmamalıdır. Agregası ve kum epoksi-aktivatör karıştırıldıktan sonra ilave edilmelidir.

Tek malzeme olarak veya yapıştırıcı olarak epoksi kullanılacaksa uygulama fırça, rulo, cam silme lastiği vb. ile yapılır. Hava cepleri oluşmamasına dikkat edilir. Adesif sertleşirse aplikatör kullanılmaz, belki bir çözücü ile yıkanıp temizlenebilir. Kaba yüzeyler için daha ağır uygulama gerekecektir. Sprey uygulamalarda çözücü sprey tamamen buharlaşınca yama uygulanır fakat yapıştırıcının sertleşmemesi gereklidir. Yapıştırıcı yada bağlayıcı sertleşmeye başlamadan parça yerleştirilmeli, üstten hafifçe bastırılarak kuvvet uygulanmalı ve yüzey mala ile düzeltilmelidir. Düşey ve eğik yüzeylerde kalıp kullanılabilir.

Epoksi bileşenlerinin sertleşmesi yamanın kalınlığına ve hava sıcaklığına bağlıdır. Geniş yüzey ve sıcak havada sertleşme daha çabuktur. Yamanın üzerine güneş ışığını emen siyah polietilen film ile kaplanarak örtme ve ısıtma uygulanabilir, infraruj ısı kullanılabilir veya yama metal bir tabakayla kaplanarak ısı uygulanabilir. Normal şartlarda epoksi bileşenlerinin ısısı 38°C-50°C beton yüzey 33°C arasında olması uygundur. Soğuk havada kırılmalıdır, yapışma (bağlama) dayanımı betonunkinden daha büyüktür. Isı ile bozulur, yangın direnci zayıftır.

Uygulayıcılar epoksi malzemeleriyle direk temas etmemeli koruyucu krem ve atılabilir eldiven kullanılmalı. Yanlışlıkla cilde sürünürse hemen temizlenmelidir. Karıştırılmış epoksi ısıtılarak uzaklaştırılırken çıkan dumanlar teneffüs edilmemelidir. Uygulandığı yüzey kuru ise aderans iyi olur. Yağmurlu havada çalışılmamalı ve yüzey iyice kuruyana kadar beklenmelidir. Yarı sertleşmiş yüzeye yağmurun zararlı etkisi yoktur. Karışımın ücretini düşürmek için mümkün olduğu kadar az bağlayıcı koymaktan kaçınılmalıdır. Bağlayıcı ihtivası yetersizse yama iyi satüre olmaz ve boşluklu olur ve donma-çözülme etkisiyle dökülür. Karışım tamamen satüre olabilecek şekilde hazırlanmalı veya epoksi yama yerleştirildikten sonra yüzeye etkili bir kalafatlama yapılmalıdır.

#### **4.2 Onarım ve Güçlendirme İçin Hazırlıklar**

Onarım ve güçlendirme için yapılan hazırlıklar, hasarlı betonu uzaklaştırma metodları, beton için yüzey hazırlama yöntemleri ve donatılar için yüzey hazırlama metodlarını içermektedir.

#### 4.2.1 Hasarlı betonun uzaklaştırma teknikleri

Onarım işlemi genellikle hasarlı betonun uzaklaştırılmasını gerektirmektedir. Betonun altında, hasar görmüş donatılar var ise onarıma uygun hale getirilmelidir. Bu yüzden beton için olduğu gibi donatı için de bir yüzey hazırlığı gerekir. Hasarlı betonu uzaklaştırma ve yüzey hazırlama konularında çeşitli metodlar vardır. Bunlar patlatarak, keserek, darbe ile hasarlı betonu uzaklaştırarak, çatlatarak, kırık parçaları sağlam betondan ayırarak uygulanan metodlardır. Bu metodların seçiminde güvenlik, ekonomi ve alttaki sağlam betona zarar verme derecesi dikkate alınır.

Hasarlı betonu uzaklaştırmak için kullanılacak metodların etki dereceleri betonun durumuna göre farklılık gösterir. Bazı teknikler daha az hasarlı yani nisbeten sağlam betonda etkili olurken bazı metodlar ise çok hasarlı betonda etkili olurlar. Seçilen bir yöntem yapının çeşitli bölgelerindeki bazı kesitlerde etkili olamayabilir. Bu yüzden aynı yapı için birden fazla teknik kullanmak zorunda kalınabilir.

Hasarlı betonu uzaklaştırma teknikleri aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir.

##### a- Hasarlı betonun patlatılarak uzaklaştırılması

Betonda açılan deliklere hızlı genleşen bir gaz verilerek betonun kontrollü olarak çatlatılması şeklindedir. Yüksek basınç uygulamak, karbondioksit gazı kullanmak veya asetilen-hava kaya kırıcılar kullanmak uygulanan diğer metodlardır. Kullanılacak patlayıcı miktarı, patlayıcı yerleştirmek için gereken delik çapına, delik aralıklarına, onarım projelerine, hasarlı kısmın yapı üzerindeki yerine, kabul edilebilecek titreşim miktarına ve hasara, uzaklaştırılacak betonun miktar ve kalitesine bağlıdır. Genleşen kimyasal maddeler kullanarak betonu çatlatmak ve bu sayede uzaklaştırmak sağlam betona en az miktarda zarar verilmesini sağlamak açısından iyi bir yöntemdir. Fakat bu genleşen kimyasalların maliyeti yüksektir.

**b- Hasarlı betonun kesilerek uzaklaştırılması**

Hasarlı beton, elmas uçlu testereler, elektrik arkı kullanarak kesme işlemini gerçekleştiren aletler veya yüksek basınçlı su jetleri ile uzaklaştırılabilir.

Elmas uçlu testerelerin elle taşınabilir boyutta olanları ile birlikte daha büyük boyutta olanları da mevcuttur. Maliyeti yüksek, buna karşın işin hızı yavaştır. Döner kafalı kesici testereler yatay ve düşey düzlemdeki hasarlı betonu uzaklaştırmak için rahatça kullanılabilirler. Bu yöntemin avantajı betonun istenen yerlerden düzgün bir biçimde kesilmesine olanak sağlamasıdır. Dezavantajı ise yüksek güç gereksinimi, limitli mobilizasyon imkanları ve toz problemidir. (Mailvaganam, 1992)

**c- Hasarlı betonun darbe ile kırılması**

Bu yöntemde hasarlı beton, düzenli olarak arka arkaya darbeler uygulayan bir alet ile parçalanıp sağlam betondan uzaklaştırılmaktadır. Kullanılan aletin elle kullanılan veya araca monte edilebilen modelleri mevcuttur. Araca monte edilebilen modelleri hidrolik olarak çalışmakta ve kısa sürede istenilen miktarda hasarlı beton kırılabilmektedir. Fakat aletin darbe sırasında yaydığı titreşimlerin sağlam betona hasar verebileceği ve yapının dayanıklılığını etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

**d- Hasarlı betonun yarılarak veya çatlatılarak uzaklaştırılması**

Hidrolik aletler yardımıyla basınçlı su ile darbe uygulayarak veya hacimce genişleyen kimyasal maddeler kullanılarak hasarlı beton çatlatılıp uzaklaştırılabilir.

Beton üzerinde istediğimiz çatlama şekline, derinliğine göre açılan deliklere yukarıdaki metodlar uygulanarak beton istenilen şekilde uzaklaştırılabilir. Bu üç yöntemle da yüksek miktarlarda hasarlı beton uzaklaştırılabilmektedir. Basınçlı su ile darbe vermek çok hasarlı ve çatlaklı bir yapıda seçilebilecek uygun bir yöntem değildir.

#### **e- Hasarlı betonun parçalara ayrılarak uzaklaştırılması**

Bu yöntemta mekanik olarak uzaklaştırılacak betona, üzerinde bulunan çatlak veya kırık parçaları ayıracak büyüklükte çekme gerilmesi uygulanır. Bu sayede bu hasarlı parçalar uzaklaştırılabilir. Bu yöntem, diğer metodlardan sonra uygulanarak kalan küçük çatlak ve kırık parçaları uzaklaştırmayı amaçlamaktadır.

#### **4.2.2. Yüzey hazırlama yöntemleri**

Yüzey hazırlığı, onarım malzemelerinin performansını etkileyen kritik faktörlerden biridir. Çevre etkileri, onarım malzemesinin kalitesi gibi etkenlerin dışında iyi bir onarım için yüzey hazırlığının da iyi yapılmış olması gereklidir. Yüzey hazırlığı, gerek büyük miktarda hasarlı betonun uzaklaştırılması gerekse az miktarda hasarlı betonu uzaklaştırarak yüzeyin onarım malzemesine uygun hale getirilmesini kapsayan bütün adımları içerir. Yüzey böyle bir tamirat için kuru, homojen, düzeltilmiş, tozdan ve yağ lekelerinden temizlenmiş olmalıdır. Ayrıca betonarme onarımlarında betonarme çeliği için de yüzey hazırlığı, tamirat malzemesiyle iyi bağ sağlaması açısından önemlidir.

Yüzey hazırlama metodları aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir.

#### **a- Kimyasal yolla yüzey hazırlığı**

Yağ, gres lekeleri ve kirli yüzeyler onarım işlemine başlamadan önce temizlenmelidir. Deterjanlar, trisodyumfosfat ve çeşitleri beton temizlemek için üretilmiş kimyasal maddeler bu iş için kullanılabilir. Bu maddeler uygulandıktan yüzey hızlı fırça hareketleriyle fırçalanmalı ve su ile yıkanmalıdır. Kimyasal maddeler kullanılarak yüzey temizleme işleminde çözücü maddeler kesinlikle kullanılmamalıdır. Bu yüzeydeki artıkların çözülerek daha derinlere ilerlemesine sebep olur.



### **b- Mekanik yolla yüzey hazırlığı**

Mekanik yolla yüzey hazırlığı konusunda birçok alet vardır. Bu aletler genellikle iki türdür. Darbeli veya döner kafalı olabilirler. Döner kafalı aletlerin ucuna bağlı öğütücü kısım sayesinde betonu aşındırarak temizlerler. Fakat yoğunluğu yüksek betonlarda etkili değildirler. Darbeli aletler, darbe uygulayarak hasarlı betonu parçalama prensibi ile çalışırlar. Bu aletleri kullandıktan sonra yapıdan tam ayrılmamış fakat parçalanmış kısımların kum püskürtülerek veya su jetleri ile temizlemesi gereklidir.

### **c- Aşındırarak yüzey hazırlığı**

Aşındırarak yüzey hazırlığı, uygulanacağı yerin özellikleri ve maliyet unsurları da dikkate alınarak aşağıdaki metodlardan birinin seçimi ile yapılabilir.

#### **i)- Aşındırıcı olarak kum kullanma ;**

Kumlama ekipmanları, basınçlı hava kullanarak kumu veya aşındırıcı malzemeyi bir hortumun ağzından yüzeye püskürtürler. Kullanılabilecek kumun veya aşındırıcı malzemenin dane çapı 0.425 mm ile 2.38 mm arasında olmalıdır. Eğer betonarme yüzeyden boya da uzaklaştırılacak ise seçilecek kumun keskin köşeli olması işleme hız kazandırır.

Betonun sertliğini düşürsek kumlama, diğer hafif temizleme metodlarına göre daha ekonomiktir.

#### **ii)- Metalik aşındırıcılar ;**

Metalik aşındırıcı malzemeler, bu iş için hazırlanmış makinalar ile beton yüzeyini temizlemek için kullanılırlar. Döner bir kafa üzerinden betona fırlatılan metalik parçalar yüzeye çarparak aşındırırlar. Kırılan metalik aşındırıcı malzeme vakumlu bir sistem yardımıyla emilerek yine aletin içinde tozdan arındırılır ve tekrar yüzeye fırlatılır.

Bu yöntem genellikle 3 mm derinliğine kadar yüzey temizliği için kullanılır. Bu derinliği etkileyen sebepler; Aşındırıcı malzeme dane boyutları, Aşındırıcı malzeme miktarı, Aşındırıcı makinanın hareket hızıdır.

#### **iii)- Yüksek basınçlı su jeti ;**

Bu yöntemde hasarlı beton yüksek basınçta ve hızda, tasarımı özel yapılmış bir püskürtücü uçtan çıkan su yardımıyla temizlenir. Çalışma basıncı yaklaşık 25000 psi (~172 Mpa) dolaylarındadır. Bu yöntem ile uzaklaştırılabilecek beton kalınlığı 30 mm nin üzerindedir. Derinlik, basınç ayarı ile kontrol edilebilir. Yüksek basınçlı yüzey hazırlığının son aşaması olarak kullanılırsa oldukça iyi sonuç vermektedir. Sağladığı avantajlar şöyle sıralanabilir.

- i. Toz ve ses minimum düzeydedir.
- ii. Yapıya zarar verebilecek mekanik bir vibrasyon oluşturmaz.
- iii. Hasarlı beton uzaklaştırılırken sağlam beton zarar görmeden kalır.
- iv. Donatılar herhangi bir hasara uğramaz.
- v. Diğer metotlara kıyasla hızı çok fazladır. (0.28 ~0.85m<sup>3</sup>/ saat)

#### iv)- Asit uygulaması ;

Beton yüzeyinde yağları ve lekeleri çıkarmak için asitler kullanılabilir. Asitler yeteri kadar çimento hamurunu yapıdan uzaklaştırarak sağlam betona ulaşmamızı sağlarlar. Bu sayede onarım malzemesi ile yeni yüzey iyi bir bağlanma sağlayabilir. Fakat bu yöntem başka alternatif kalmadığı zaman uygulanmalıdır.

#### v)- Yakarak yüzey temizliği ;

Yakarak yüzeylerin temizlenme işlemi genellikle yüzey kaplamaları uygulanmış yerlerde reçine kökenli malzemeleri uzaklaştırmak için ve özellikle yağ lekeleriyle kaplı zeminlerin temizliğinde kullanılmalıdır. Oksijen - asetilen alevi ile yüzey sabit bir hızda temizlenir ve kalıntılar, erimiş malzemeler, tel fırçalar ile yapıdan uzaklaştırılır.

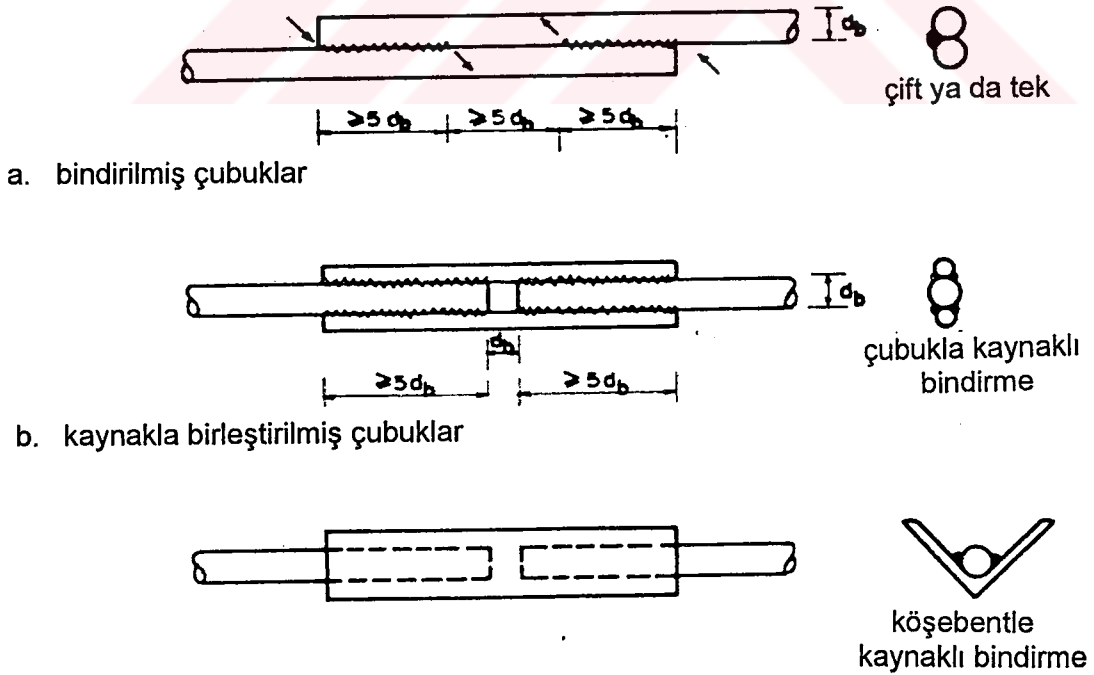
#### Yakarak yüzey temizleme yöntemi:

- i. Yağların yüzeyden derinlere ilerlemesini önler.
- ii. Betonun alkalinitesini bozmaz.
- iii. Beton yüzeyine paralel kılcal çatlaklar oluşturmaz ve bu sayede betonun çekme mukavemetini azaltmaz.

### 4.2.3 Donatılar için yüzey hazırlığı

Donatıların onarım için hazırlığı, betonun uzaklaştırılması, donatıların incelenmesi ve hasarlı olanların onarımı gibi aşamaları içermektedir. Hasarlı beton yukarıda anlatılan metodlardan biri veya birkaçı ile uzaklaştırılabilir. Bu sırada donatıların hasar görmemesine özen gösterilmelidir. Onarım işleminden önce gerekli yerlerin şu andaki durumlarını gösteren krokiler çizilmelidir. Bu krokiler onarım sırasında eski durumunu görmek açısından faydalı olacaktır.

Beton içindeki donatı tamamen hasar görmemiş ise sağlam beton içinde kalan kısmının açığa çıkarılması gereksizdir. Eğer donatı tamamen hasar görmüş ise donatı arkasındaki beton en az 6.5 mm kadar uzaklaştırılmalıdır. Bundan sonra yapılan gözlemlerde donatı eğer önemli derecede kesit kaybına uğramış veya kopmuş ise değiştirilmesi kararı alınabilir. Şekil 4.1 de donatı değişikliği yapılacak yerlerde birleşim detayları görülmektedir. Donatı-beton, donatı-donatı bağlantıları bu veya benzeri metodlar kullanılarak yapılabilir. Gözlemler sırasında donatı önemli sayılabilecek derecede kesit kaybına uğramamış kararı verilmişse donatı pastan arındırılmalı ve onarıma hazırlanmalıdır.



Şekil 4.1 Donatı Birleşim Detayları

### 4.3 Onarım ve Güçlendirme Uygulamaları

Onarım ve güçlendirme uygulamaları; 1- çatlakların onarımı, 2- parça kopmaları ve ayrışmaların onarımı, 3- taşıyıcı elemanların onarım ve güçlendirilmesi, 4- taşıyıcı sistemin güçlendirilmesi başlıkları altında incelenecektir.

#### 4.3.1 Çatlakların onarım yöntemleri

Betonda çatlak oluşumu her zaman beklenmelidir. Bu durum tasarım aşamasında bazı güvenlik parametreleri ile göz önünde bulundurulur. Betonarme elemanları tasarlanırken oluşabilecek çatlak genişlikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Islanma-kurumaya maruz kalan yapılarda, endüstri yapılarında ve deniz yapılarında çatlak genişlikleri 0.1 mm yi aşmamalıdır. Normal iklim şartlarına maruz bölgelerde çatlak genişlikleri en fazla 0.2 mm kadar olabilir. Eğer donatılar herhangi bir şekilde korunuyorsa izin verilecek maksimum çatlak genişliği 0.3 mm dir. Genellikle bu değerler yapı estetiği açısından kabul edilebilmektedir. İnce çatlaklar genelde sorun yaratmazlar. Çatlaklar ;

- a. Yapının su geçirimsizlik özelliğini değiştirdiklerinde,
- b. Yapının dayanıklılığını etkilediklerinde,
- c. Yapısal açıdan kabul edilemez olduklarında,
- d. Yapının görünümü açısından kabul edilemez olduklarında problem yaratırlar.

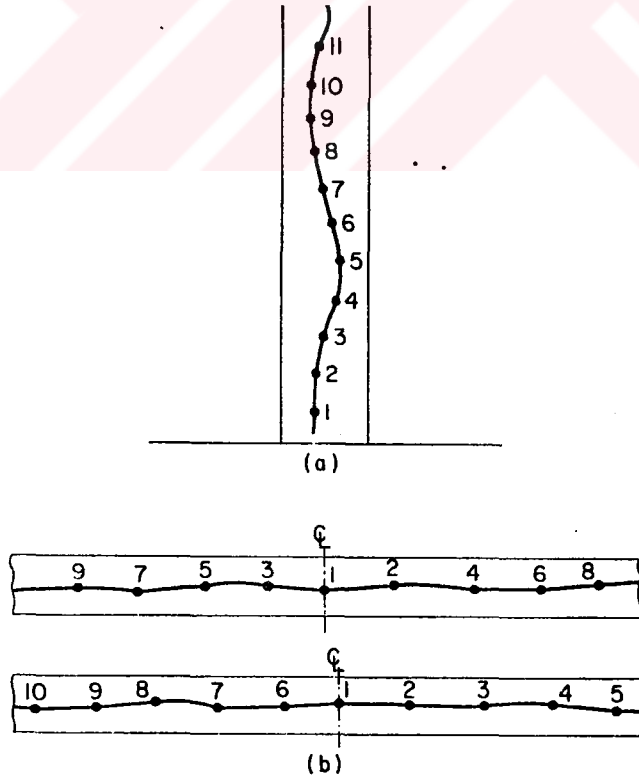
Çatlakları üç katogoriye ayırmak mümkündür. Bunlar aktif olmayan, aktif ve genişleyen çatlaklardır. Aktif olmayan çatlaklar yapım sırasında veya çeşitli nedenlerden ötürü (büzülme çatlakları vs.) ortaya çıkmış ve herhangi bir şekilde ilerlemesini veya hareketini sürdüremeyecek çatlaklardır. Bu yüzden rijit bir dolgu malzemesiyle doldurulabilirler. Aktif çatlaklar, termal etkiler veya yapı yükleri gibi sebeplerden ötürü açılıp kapanabilirler. Bu gibi çatlaklara uygulanabilecek onarım malzemesi onların hareketlerine izin verecek kadar esnek olmalıdır. Genişlemekte olan çatlaklar (zeminde devam eden oturmalar, korozyon ) sürekli genişledikleri için bunların onarımında hasarı doğuran sebebin ortadan kaldırılması eniyi çözüm olacak ve bu sayede yeni çatlaklar da önlenileektir.

Çatlakların onarım metodları aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir:

#### a- Reçine enjeksiyonu

Epoksi reçineleri mekanik mukavemetlerinin yüksek oluşu ve kimyasal etkilere dayanıklı olmaları nedeniyle çatlak enjeksiyonlarında kullanılmaktadırlar. Reçineler 0.05 mm den daha ince çatlaklara bile enjekte edilebilmektedirler. Çatlaklar aktif veya çok sayıdaysa bazı özel epoksiler dışındaki epoksiler uygulanamazlar. Onarımı yapan kişilerin bu konuda uzman olması gereklidir. Enjeksiyon tekniği, uygulama konusunda belli bir bilgi birikimi ve beceri gerektirir. Bazı küçük onarımlar için amaca göre hazırlanmış onarım kiti mevcuttur.

Epoksi enjeksiyonu için çatlak boyunca belli aralıklarla delikler açılır. Bu deliklere epoksi enjeksiyonunun yapılacağı tüpler yerleştirilir (Şekil 4.2). Çatlak üzerine epoksi harcı uygulanarak kapatılır. Tüplere basınç uygulayarak tüpün içinde bulunan reçinenin çatlak içinde ilerleyerek boşlukları doldurması sağlanır. Zamanla reçinenin daha ince boşluklara ulaşmasını sağlamak için basınç artırılır.



Şekil 4.2 Reçine enjeksiyonu

**b- Basıncısız uygulanan malzemeler ile onarım**

Düşük viskoziteli sıvı reçineler 0.1 mm genişlikte ve daha dar çatlaklar için kullanılmaktadırlar. Sıvı reçineler yüzeye akıtıldıktan sonra fırça yardımıyla yüzeye yayılır, reçinenin penetrasyonu için bir süre beklendikten sonra yüzeydeki fazla malzeme uzaklaştırılır, bu sayede çatlaklar izole edilmiş olur.

**c- Onarım malzemesinin çatlağa vakumla emdirilmesi**

Hem çok sayıda çatlak bulunan hem de çatlak sayısı az olan yüzeylerde vakumla onarım yöntemi uygulanabilmektedir. Az çatlaklı yüzeylerde çatlak boyunca vakum uygulama parçaları yerleştirilir ve bu sayede enjeksiyon tek tek çatlaklar için gerçekleşir.

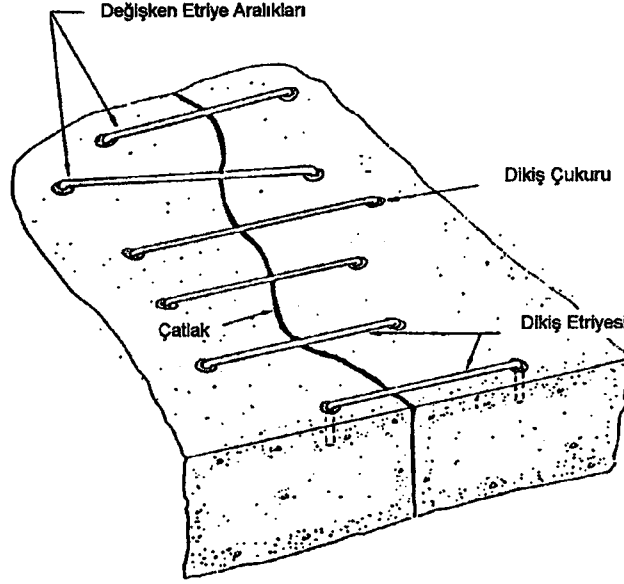
Eğer yüzeyde çok sayıda çatlak mevcutsa, yüzeye gergin bir örtü yerleştirilir ve kenarlarından hava geçirmeyecek şekilde yüzeye yapıştırılır. Örtünün içine vakum uygulanır ve ardından tamirat malzemesi yüzeye dökülerek atmosferik basınçla çatlakların içerisine ilerlemesi sağlanır. Bu yöntemin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

1) Normal enjeksiyona göre enjekte edilmek istenen bölgelere daha iyi nüfuz eder ve daha az hava boşluğu bırakır.

1d) Enjeksiyon sırasında hareketli olması gereken bazı yapı derzleri yanlışlıkla dolup sabit hale geçebilir. Vakum ile onarım malzemesinin yüzeye emdirilmesi yönteminde böyle bir durum gerçekleşmez.

**d- Çatlakların dikilmesi**

Çatlaklar U şeklindeki donatılarla çatlak boyunca tutturularak sabitleştirilir (Şekil 4.3). Bu yöntem hareketli çatlaklara uygulanan bir yöntemdir. Yapıyı kısmen de olsa rijitleştirdiği için yeni gerilme birikimlerine yol açacağından yeni çatlaklar oluşturabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

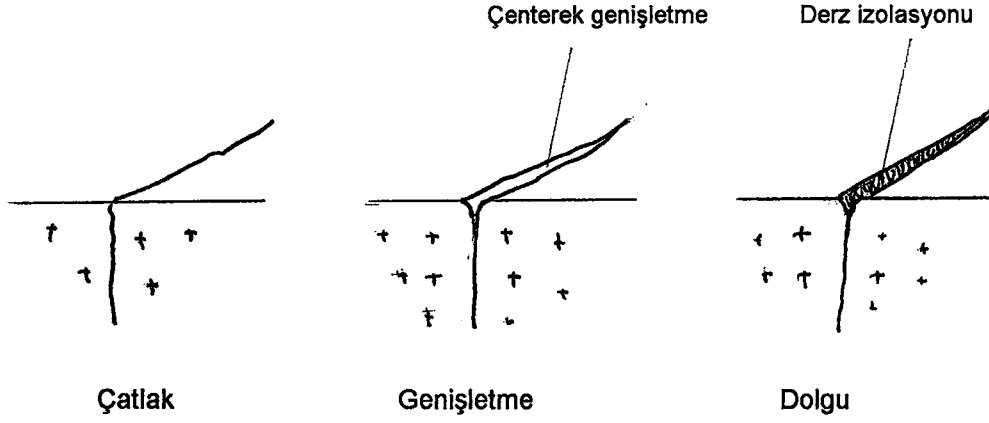


Şekil 4.3 Çatlakların Donatılarla Tutturulması

U şeklinde donatılar çatlak boyunca şaşırtmalı olarak yerleştirilir ve büzülme yapmayan epoksi kökenli malzemeler ile tutturulur. Kullanılan donatı ince uzundur. Eğer çatlaklardan ileri gelen bir akıntı veya nem söz konusu ise yerleştirilen donatıları korumak için çatlak sızdırmazlık sağlayıcı bir malzeme ile tamir edilmelidir.

#### e- Çatlakların genişletilerek doldurulması

Yapısal önemi olmayan hareketsiz çatlakların onarımı için çok kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin uygulanması kolay olduğu için, uygulayacak elemanların çok tecrübeli olması gerekmez. Çatlaklar 10-12 mm kadar genişletilir ve istenen amaca göre onarım malzemesi ile doldurulur (Şekil 4.4). Malzemenin seçiminde malzemenin elastik veya sabit kalması, mimari görünüş gibi hususlar dikkate alınır. Genellikle epoksi bileşimleri kullanılır. Sıcak dökülen onarım malzemeleri su geçirimsizliğin ve mimari görünüşün önemli olmadığı durumlarda tercih edilebilir. Üretanlar ise elastik kalabilme yeteneğine sahiptirler ve 19 mm ye kadar genişlikteki çatlaklarda kullanılabilirler. Onarım malzemelerinin kullanılması standartlaşmış teknikler ile (ACI-504, BS 6213) veya üretici tavsiyelerine göre olabilir.



Şekil 4.4 Çatlakların genişletilerek doldurulması

#### f- Çimentolu veya polimerli şerbetler ile onarım

##### 1)- Portland Çimentolu Şerbetler ;

Barajlardaki, kalın beton bloklardaki veya su yapılarındaki çatlaklar çoğu zaman portland çimentolu şerbetler ile tamir edilirler. Çatlağın genişliğine göre çimento şerbeti, çimento ve su karışımından oluşabileceği gibi ince kum, su, çimento karışımı şeklinde de olabilirler. Enjeksiyon için enjeksiyon tabancaları mevcuttur.

##### 11)- Polimerli şerbetler ;

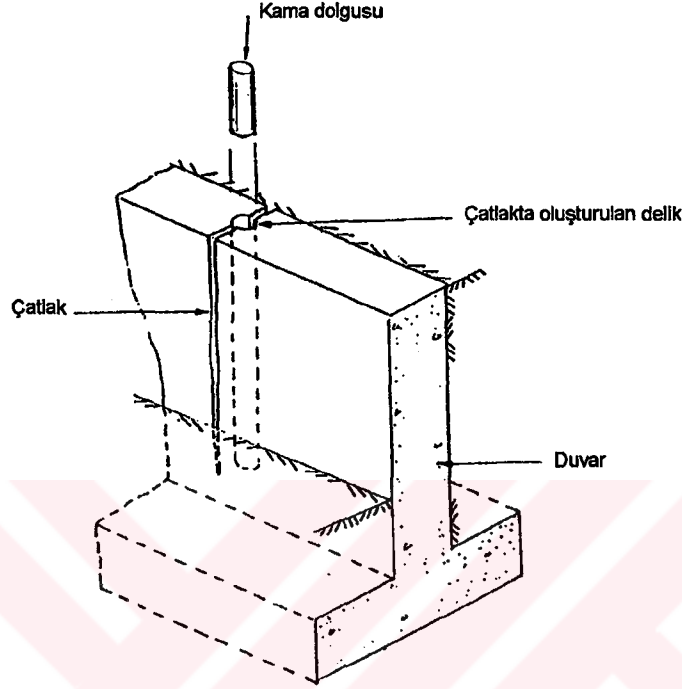
Polimerli şerbetler ürethan veya akrilamid kökenlidir. Su ile reaksiyona girerek katı veya köpüksü bir görünüm alabilirler. Bu malzemelerin düşük viskoziteli ve işlenebilme özeliğinin iyi olması tercih sebebidir.

#### g- Delerek kapatmak (kamalamak)

Bu yöntem çatlakların çimento veya polimer şerbetler ile onarımı yöntemiyle birlikte kullanılır. Özellikle düşey doğrultuda, düzgün bir doğru şeklinde ilerleyen ve bir noktada biten çatlaklara yönelik onarım yöntemidir. Bu çok sık görülen bir hasar değildir. Perdelerde veya benzer yapılarda büzülme sıcaklık değişiminden kaynaklanan çatlaklar bu tip çatlaklardır.



Çatlak boyunca çapı 50-70 mm arasında değişebilen bir delik açılır ve çatlak yeterince onarım malzemesi ile onarıldıktan sonra delik kapatılır (şekil 4.5) (Johnson 1965). Bu delik çivi görevi görür. Onarım malzemesi yerleştirilmeden önce delik basınçlı suyla iyice temizlenip kurutulmalıdır.



Şekil 4.5 Çatlakların delerek onarımı

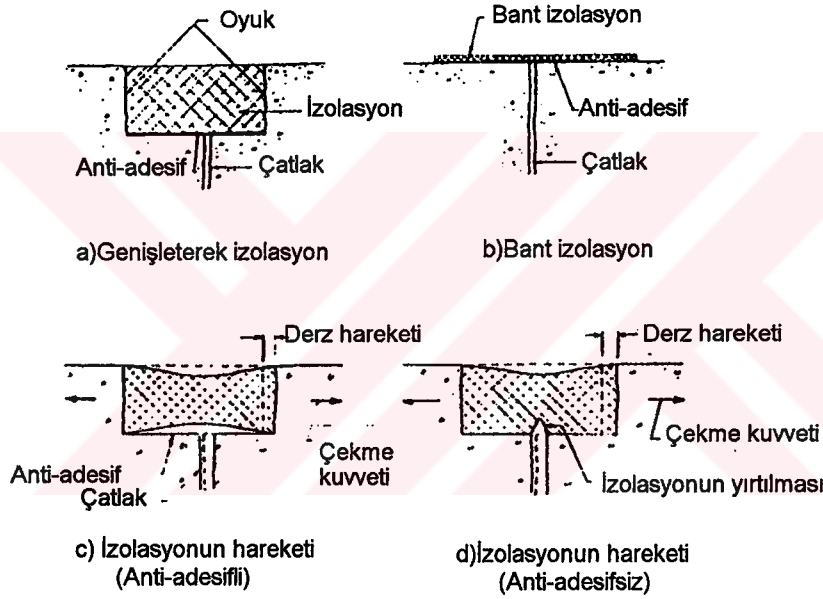
#### **h- Esnek dolgu malzemeleriyle çatlak onarımı-derzle örtme**

Bu yöntem aktif çatlakları hareketli birleşimlere dönüştürür. Çatlak boyunca bir oyuk açılır ve uygun esnek bir onarım malzemesiyle doldurulur. Açılacak oyuğun genişliği ve derinliği kullanılacak onarım malzemesinin çekme dayanımına ve çatlağın hareketlilik derecesine bağlıdır. Uygulama şekilleri;

- I. elastik izolasyon malzemeli örtme derzi
- II. mastik tıkalı örtme derzi
- III. harçla tıkalı örtü derzi
- IV. metal levhalı örtü derzi

### I. Elastik izolasyon malzemeli derzle örtme ;

Kullanılan elastik malzeme derzi kapatmalı fakat çatlak kenarlarına yapışmamalıdır. Bunun için çatlakın üzerine anti adezif madde uygulanır. Oyuğun genişliği hareketin 4-6 katı olmalıdır. Dolgu malzemesinin genişliği 20-25 mm arasında, derinlik de yaklaşık olarak bu boyuttadır. Çatlaktan su geliyorsa genişlik ve derinlik arttırılır, genişliğin artması malzemenin görevini engeller. Dipten sürekli su gelmesi durumunda bu kısım hızlı sertleşen çimento ile tıkanıp sonra derz oluşturulur. Su basıncı çok fazla ise su drenajla dışarı çıkarılmalıdır. İzolasyon malzemeleri; polisülfür, thiocol, silikon kauçuğu, sert poliüretan, epoksi+polisülfür vb. malzemelerdir.



Şekil 4.6 Elastik izolasyon malzemeli örtü derzi

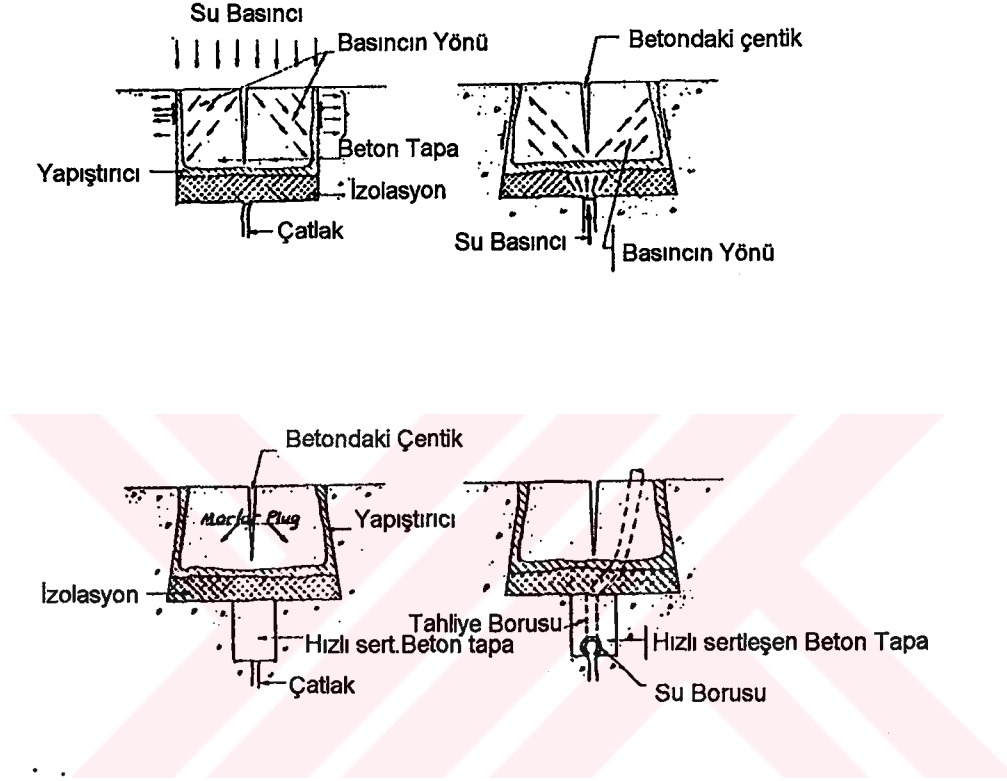
### II. Mastik tıkalı örtü derzi;

Mastikler anti-adezif madde ile ayrılmaz, derz boşluğuna doğrudan uygulanır. Çatlak adedi fazla olduğunda bu onarım şekli uygulanmamalıdır. Kullanılan mastikler, bitüm mastikleri, kauçuklu mastikler, akrilik mastiklerdir.

### III. Harçla tıkalı örtme derzi ;

Çok yaygın olarak uygulanır. Özellikle su basıncı olan yerlerde basıncı önlemek için yapılır. Çatlakın genişletilmiş kısmı önce esnek izolasyon dolgu maddesi ile kaplanır ve üzerine harç

yerleştirilir. Su basıncını azaltmak için harcın üzerine çentik açılır (Şekil 4.7). Su basıncı alttan geliyorsa derz başlığı kırılmaç kuyruğu şeklinde yapılır. İzolasyon malzemesi kalınlığı 6-12 mm, derzin toplam derinliği 35-40 mm, genişliği ise çalışmaya elverişli olabilmesi için 50-70 mm olabilir. Donatının korozyona karşı korunması gereklidir.



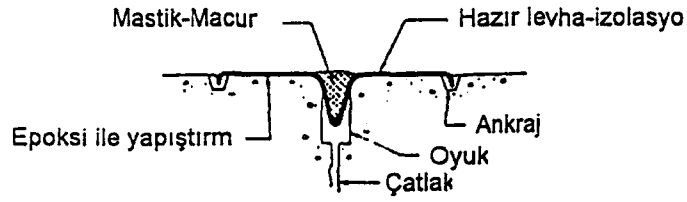
Şekil 4.7 Harçla tıkalı örtü derzi

#### IV. Metal levhalı örtü derzi ;

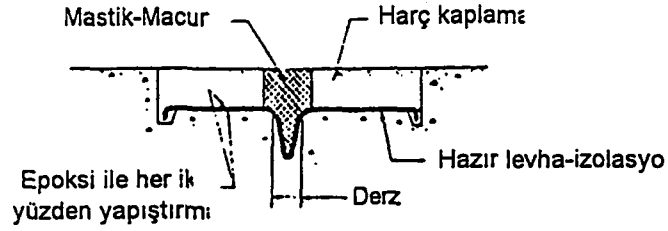
Bakır ve alüminyum ince levhalar kullanılır. Genişletme kısmının üst iki kenarına yapıştırıcı uygulanarak levhalar yapıştırılır. Hırsızlık problemine karşı sıva yapılması gerekirse derz levhasının ortasındaki yuva Şekil 4.8 deki gibi elastik dolgu yada mastikle doldurulur.

Derz oluşturulurken genellikle donatı seviyesine kadar inilir. Donatının iyice temizlenip izole edilmesi gereklidir. Çatlağın geniş ve çok hareketli olması durumunda donatı kesilir. Bu durumda yapının stabilitesinin bozulacağı dikkate alınmalıdır. (Şekil 4.9)

İzolasyon malzemesi ile beton iyi yapışmazsa tamamen sökülüp yeniden yapılmalıdır.

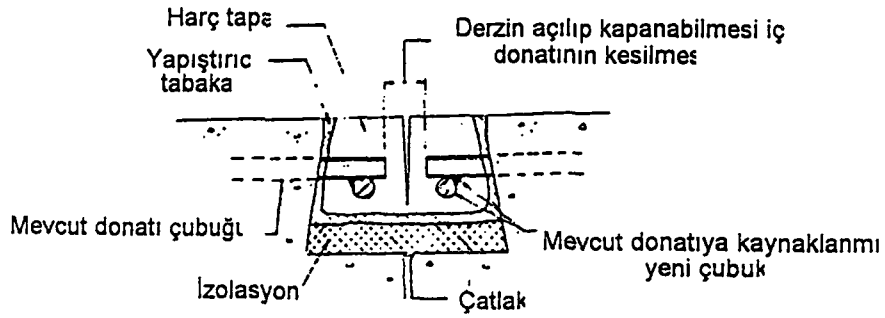


a) Trafikçe açık olmayan yerlerdeki derz



b) Trafikçe açık olan yerlerde veya  
Levhanın gizlenmesi gerektiği yerlerdeki derz

Şekil 4.8 Levha örtü derzi



Şekil 4.9 Hareketli çatlaklarda donatının kesilerek derz oluşturulması

### **ı- Çatlaklara yüzey kaplaması uygulama**

Genelde yüzey onarımında kullanılan bir yöntemdir. Çok çatlak bulunan yapılarda onarımın kaçınılmaz olduğu ve çatlakları tek tek onarmanın ekonomik olmadığı durumlarda da tercih edilir.

### **j- Kendiliğinden onarıma bırakma**

Taze betonda yapılabilen bir uygulamadır. Prefabrik elemanları taşırken, kazık çakarken ortaya çıkan ince plastik rötre çatlakları su içinde tutularak kendi kendini onarmaya sevk edilir. Çimento hidratasyona devam ettiği için çatlaklar kapanacaktır.

### **k- Donatı ekleyerek çatlak onarımı**

Çatlak doğrultusuna dik yönde açılan deliklere önce düşük basınç altında epoksi enjeksiyonu yapılarak donatılar yerleştirilir. İyi bir onarım için geçici elastik bir dolgu malzemesi kullanılmalıdır. Elastikleştirilmiş epoksi veya silikon esaslı dolgu malzemeleri iyi sonuç verebilirler.

### **4.3.2 Parça kopmaları ve ayrışmaların onarımı**

Parça kopması ve yüzey ayrışması sonucu çok büyük kesit kaybı oluşmuşsa yapının taşıma gücünde yetersizlik ortaya çıkabilir. Hasar detaylı olarak incelenip dayanımın yeterliliği belirlenmelidir. Dayanımın yetersiz olması durumunda yapı güçlendirilmelidir.

Hasarın tipi ne olursa olsun yüzey hazırlığı büyük önem taşımaktadır. Gerek onarım sırasında gerekse onarımdan sonra sorun çıkarabilecek bütün hasarlı kısımlar yapıdan uzaklaştırılmalıdır. Yüzey hazırlığı yapıldıktan hemen sonra, yüzey yeniden kirlenmeden onarım uygulamasına geçilmelidir. Hasara uğrayarak bozulmuş beton minimum 6 mm kadar mekanik testerele yardımcı ile kesilir. Oyulmaların bulunduğu yerde bu derinlik minimum 10 mm olmalıdır.

Kullanılacak malzeme ile yapacağı bağ ve uygulama sırasında malzemeyi iyice yerleştirebilmek açısından hasarlı yerlerin hazırlanmasındaki geometrik şeklin önemi büyüktür. Yapıda eğer korozyona uğramış bölgeler mevcut ise bu kısımlar iyice temizlenmeli ve gerekiyorsa donatının da arkasına geçecek bir biçimde hasarlı veya koruyucu özelliğini yitirmiş beton yapıdan uzaklaştırılmalıdır. Karbonasyona uğrayarak koruyucu özelliğini yitirmiş bölgelerde, uzaklaştırılacak betonun derinliği fenol fatelein çözeltisi kullanılarak anında kontrol edilebilir.

İdeal olarak, klor etkisine maruz kalmış beton yapıdan tamamen uzaklaştırılmalıdır. Çünkü yapıdaki klor miktarı konusunda güvenli bir sınır vermek kolay değildir. Çimento ağırlığına göre Cl yüzdesi olarak % 0.4 gibi bir değer yapı araştırma kuruluşları tarafından verilen bir limit değerdir. Böyle yapıların birkaç yıl daha korozyon etkilerine dayanabilecekleri söylenmiştir. Pratik olarak, klor etkilerinin limit değerlerinin görüldüğü yerdeki beton yapıdan uzaklaştırılmalıdır. Diğer bölgelerde ise olası korozyon etkileri beklenebilir. Bu bölgelerin saptanması için bölgenin korozyon haritası elektropotansiyel metodlar ile çıkarılarak sorunlu bölgeler belirlenebilir.

Bir onarımın aşamaları şu şekilde açıklanabilir;

1. Keserek veya başka metodlar kullanarak uzaklaştırılacak bölgenin sınırlarını belirlemek.
2. Bütün hasarlı betonu uzaklaştırmak.
3. Betonarme demirinin yüzeyini, temiz metal görüntüsü elde edinceye kadar temizlemek.
4. Gerekli onarım malzemesini, bağ güçlendirici malzemeyi yüzeye uygulamak.
5. Yerleştirip onarımı bitirmek ve malzemenin kürünü yapmak.

Kullanılacak onarım malzemesinin özellikleri mümkün olduğu kadar eski betonun özelliklerine benzemelidir. Ayrıca yama görünümünün önlenmesi de önemli bir problemdir. Bu yüzden çeşitli dolgu malzemeleri içeren portland çimentolu harçlar ve şerbetler en çok kullanılan malzemelerdir.

Eğer hızlı mukavemet ve yüksek bağ dayanımı isteniyorsa lateks katkılı harçlar ve epoksi harçları, çimentolu malzemeler yerine kullanılabilir. Bu malzemelerin özellikleri ve formulasyonunu yapılacak onarıma göre seçmek mümkündür.

Hızlı sertleşen bir diğer malzeme türü olarak magnezyum fosfatlı ve yüksek alüminli çimentolar düzgün yüzeyli yapılarda, genellikle hızlı ve geçici onarımlar gerektiren durumlarda kullanılırlar.

Lateks katkılı harçların işlenebilirlikleri iyidir ve karışıma hava sürüklerler. Bu sayede bünyesinde oluşturdukları izole boşluklar sayesinde geçirimsiz olurlar ve dona karşı dayanım sağlarlar. Ağır devirli mikser ile veya el ile karıştırılmaları gereklidir, aksi halde segregasyona uğrayabilirler.

Reçine kökenli onarım malzemeleri kür dönemleri boyunca özel bir korumaya gerek duymazlar. Çimento kökenli malzemelerde hızlı kuruma sonucu olarak rötire çatlakları ve yüzeyde dökülmeler görülebilir. Bunun için çimento kökenli malzemelerde kür uygulamaya gereken önem verilmelidir. Eğer tamirat sıcak iklimlerde yapılıyorsa onarım sırasında ve sonra çimento kökenli malzemelerin doğrudan gün ışığı almasını engellemek gereklidir.

Çimentolu onarım malzemelerinde uygulama işlemi el ile hızlı bir şekilde onarım malzemesini en ufak girintilere bile iyice yerleştirmek suretiyle olmalıdır. Beton yüzeyindeki derin olmayan dökülmelerde onarım harcı 10 mm lik tabakalar halinde uygulanmalıdır. İlk tabaka bağ sağlayıcı bir malzeme kullanılmasının hemen ardından, yüzey ıslak iken uygulanmalıdır. Eğer yüzeyin kurummasına izin verilirse bu bağ dayanımını azaltır. Her tabaka üzerine ikinci tabaka uygulanıncaya kadar nemli bir şekilde bekletilmelidir. İkinci tabaka yerleştirilmeden evvel, altta kalacak tabakanın yüzeyi pürüzlendirilerek üzerine uygulanacak onarım malzemesi ile iyi bir bağ sağlanmalıdır.

Reçine kökenli malzemelerde yüzey hazırlığı, çimentolu tamirat malzemeleri ile aynıdır. Reçine kökenli malzemelerin mekanik özellikleri çimentolu malzemelere kıyasla farklılık

gösterir. Reçine kökenli malzemeler genellikle iki veya üç komponentli (bileşenli) olurlar. Karışım yapıldıktan sonra kısa bir süre içinde kullanılması gerekir.

Mağnezyum fosfatlı onarım malzemelerinin iki ayrı türü vardır ;

- a. İki Komponentli malzemeler: Toz halinde magnezyum ve dolgu malzemesinin fosfat solusyonu ile karıştırılmasıyla kullanıma hazır hale gelir.
- b. Tek Komponentli Malzemeler: Bütün karışım torbalar halindedir. Sadece uygun miktarda su ilavesi ile karışım kullanıma hazır hale gelir.

Malzemede karışımdan sonra ortaya çıkan reaksiyon egzotermiktir. Malzeme 20°C de 15 dakika içinde sertleşmeye başlar. 1 saat içinde 20 Mpa (~200 kgf/cm<sup>2</sup>) dayanıma erişebilmektedir. Fazla derin olmayan onarımlarda malzeme, mikserden tamir edilecek bölgeye dökülür ve ağaçtan yapılmış bir şişleme çubuğu yardımıyla yerleşmesi sağlanır. 175 mm derinliği geçen onarımlarda ise yerleştirme işlemi için azda olsa vibrasyona ihtiyaç vardır. Yüzeye daha önceden herhangi bir bağ güçlendirici malzeme uygulamaya gerek yoktur. Çünkü magnezyum fosfatlı onarım malzemeleri yüzeye uygulandıkları zaman yüzeyi ıslatıp iyi bir bağlanma sağlarlar. Yerleştirildikten sonra küre gereksinme duymazlar. Renkleri ise portland çimentosuna çok yakındır.

#### **Parça kopması ve yüzey ayrışmalarının onarım yöntemleri:**

- a.Mantolama
- b.Püskürtme beton (shotcrete-gunit)
- c.Prepekt beton (prepacked aggregate concrete)
- d.Tokmıklama beton-kuru harç
- e.Betonun değiştirilmesi (replacement)
- f.Yüzey kaplamaları-Sıvama metodları
- g.Epoksi reçineleri
- h. Koruyucu yüzey uygulamaları' dır.



### **a- Mantolama**

Basınç yükü alan yapı elemanlarında uygulanır. Kolonlar, köprü ayakları ve palplanşlardaki bozulmaların onarımında, özellikle onarılacak kısmın bir bölümü veya hepsi su altında ise kullanılır. Beton, çelik ve ahşap mantolama yapılabilir.

Mantolanacak kısmın çevresinde içine harç dökülebilecek kadar bir boşluk bırakılarak kalıp yapılır. Kalıplar ahşap, dövme demir, prefabrike elemanlar ve çelik levhalardan yapılabilir. Kalıp elemanın üstünde veya içinde de bırakılabilir. Dökülecek beton sıvı şeklinde olduğundan kalıpların geçirimsiz yapılması gereklidir. Ahşap kalıpların arasına ve köşelerine kauçuk contalar yerleştirilerek sızdırmazlık sağlanır. Kullanılan malzemeler prepakt beton, dalıcı tipi yerleştirme, kuru beton ve şerbet enjeksiyonudur. Kalıp ve eski beton yüzey temizliğinin çok iyi yapılması gereklidir. Kalıpların temiz olmaması kesit zayıflığı yaratır. Beton yüzeyi iyi temizlenmediğinde eski betonla yeni beton arasında yapışma sağlanamaz. Dozajı daha yüksek olan manto malzemesinin eski malzeme uyumsuzluğu nedeniyle oluşacak çatlakların önlenmesi için hasır tel kullanılabilir. Eski yapıyla mantonun tam uyumunu sağlamak için mantonun üst kısmı biraz daha genişletilerek bir yaka veya bilezik kısmı oluşturulur. Kalıplar yerinde bırakılacaksa betonla kalıp arasında boşluk kalmamasına dikkat edilmelidir.

### **b- Püskürtme beton- shotcrete**

Derin olmayan yüzey bozulmalarının olduğu betonların onarımında kullanılan bir tekniktir. Püskürtme beton yangın ve korozyon nedeniyle hasara uğramış yapıların onarımında ve tünel içlerinde kullanılır. Püskürtme beton basınçlı hava ile hortum ve boru içinden nakledilip yüksek hızla yüzeye fırlatılan harç veya betondur. Kuru ve yaş olmak üzere iki yöntemle uygulanır.

Yaş yöntemde karışımı oluşturan bütün malzemeler ve su hortuma girmeden önce karıştırılmıştır. Kuru yöntemde ise su hortumun ucunda devreye girer. Püskürtülen malzeme hemen donabilmelidir. Bunun için harca sodyum esaslı ( $\text{NaAl}_2\text{O}_3$ ) madde katılır. Bu madde betonun 8 dakika içinde prizini tamamlamasını sağlar. Püskürtme betona çelik lif katılarak çekme mukavemeti daha yüksek beton yapılabilir. Püskürtme işlemi yüzeye 60 -120 cm

mesafeden yapılır. Yüzeğe çarpan ve bir kısmı dökülen iri agrega %30 civarında malzeme kaybına neden olur. Bu nedenle hazırlanan betonla uygulanan betonun dozajı farklı olur. 8 dakikada sertleşmeyen beton kendi ağırlığından ötürü düşer ve boşluklar oluşturur. Uygulamaya alttan başlanır ve 5 cm lik tabakalar halinde kat kat uygulanır. Yüzeğe pürüzlüdür ve düzeltme işlemi beton sertleştikten sonra yapılmalıdır. Dökülen beton sertleşmeden hemen temizlenmelidir.

### **c- Prepakt beton**

Özellikle su altında onarım çalışmalarında ve geçirim problemi olan yerlerde başarılı olarak kullanılır. Betonlanacak yere önce iri agregalar yerleştirilerek arasına yüksek dozajlı çimento harcı uygulanır. Bu harç önceden yerleştirilip sıkıştırılmış agrega içine 20 mm çapında dipten 10-15 mm yükseklikte ve 1-1.5 m aralıklarla yerleştirilmiş borularla enjekte edilir. Harç bütün borulara aynı anda ve aynı hızla sevkedilir ve borular yavaş yavaş yükseltilerek betonlama tamamlanır. İri agreganın alt sınırı 12-19 mm arasındadır. Çimento harcında kullanılan kum ile agregaların arasındaki oran 1/5 olmalıdır. Köprü ayaklarının betonlanmasında kullanılabilir, (Akman, 1992-b).

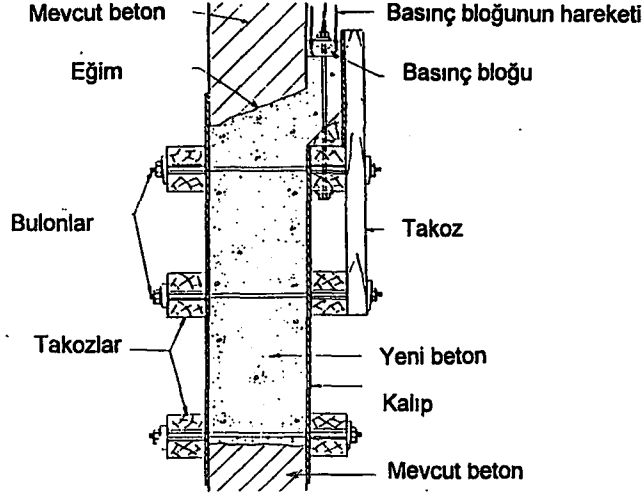
### **d- Kuru harç (tokmaklama beton)**

Dar ve derin delikleri tıkamak için kullanılır. Eli kirletmeyecek kuruluştaki harç aynı kalınlıkta ince tabakalar halinde yerleştirilerek tokmaklanır. Tokmaklanarak deliklerin tıkanması su/ çimento oranı düşük, rötresi az, geçirimsiz bir beton elde edilmesini sağlar. Özel bir alet gerektirmez. Donatının fazla olduğu yerlerde veya donatının arkasında kalan yerlerde uygulanamaz.

### **e- Betonun değiştirilmesi**

Köprü ayakları, duvarlar, su yapıları ve benzeri su seviyesinin altında veya su seviyesindeki baraj, istinat duvarları vb. gibi ağırlık tasarımı yapılarında, kolon, saçak, markiz gibi

elemanlarda bozularak donatıya kadar dökülmüş beton iyice alınarak donatı tamamen açıkta bırakılır ve yeniden beton dökülür. (Şekil 4.10)



Şekil 4.10 Betonun değiştirilmesi

#### f- Yüzey kaplamaları - sıvama yöntemleri

Genellikle beton şoseslerde köprü döşemelerinde, betonun sağlam fakat yüzeyin donma çözülme, ağır trafik, kimyasal etkiler gibi sebeplerden ötürü bozulduğu durumlarda kullanılan onarım yöntemidir. Yüzeyin aşınmaya karşı olan servis dayanımı, endüstriyel zeminlerde ağır kimyasal etkilere karşı olan dayanıklılıktan sadece insan trafiğinin olduğu daha az aşınma etkileri doğurabilecek zeminlere kadar çeşitlilik gösterir.

Yüzeyin kaplama malzemeleri kullanılarak onarımı, hasarlı döşemenin tamamının uzaklaştırılmasının gerekli ve pratik olmadığı ve ayrıca ekonomik açıdan ise yüksek maliyetler getirmesi durumunda uygun bir çözümdür. Genellikle kullanılan kaplama malzemeleri, düşük çökme değeri olan yoğun beton (LSDC), lateks katkılı çimentolar, epoksi, akrilik polyester veya fiber donatı içeren polimer betonlardır. Ayrıca beton yapıldıktan sonra polimer emdirme işlemi yapılabilir.

Yöntemin seçimi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar maliyet, onarılacak alanın büyüklüğü, yapıyı hizmete açma zamanı, istenen mukavemet, onarım sırasındaki çevre koşulları ve iklim şartlarıdır. Kaplama seçimi için, kullanılacak kaplama malzemesinin yüzey ile bağının nasıl olacağı kararının verilmesi gereklidir. Eğer yüzeyde aşınma dökülme gibi hasarlar mevcut ise, bu yüzey ile iyi bir bağ sağlayacak bir yöntem ve kaplama malzemesi seçilmelidir.

Yapısal deformasyonlardan doğan hareketli çatlakların yeni kaplamada da oluşmaması için yüzeye tam bağlanmayan bir yöntem ve kaplama malzemesi seçilmelidir. Yüzeye tam olarak bağlanabilen kaplamalar 25-75 mm arasında uygulanabilirler. Yüzeye tam bağlanmayan kaplamalarda minimum kalınlık 75 mm dir. Kalınlıkları ile yapısal deformasyonlardan ileri gelen hareketli çatlaklara karşı dayanım sağlarlar.

Yüzeye tam olarak bağlanabilen kaplama malzemeleri kullanılırken döşeme derzlerinin aynen döşemedeki gibi kaplama malzemesi için de yapılması gerekir. Yüzeye tam bağlanmayan kaplama malzemelerinde bu önem taşımaz fakat yüzeydeki oturmaların çimento harcı ile doldurulması ve yüzeyin bu şekilde kaplama malzemesine hazırlanması gereklidir.

### **g-Epoksi reçineleri ile onarım**

Parça kopmalarının sentetik reçine kullanılarak onarılması işlemi birkaç yolla yapılabilir:

- 1) Kopan parça epoksi ile eski yerine yapıştırılır. Reçine hem betona hem de kopan parçaya sürülmelidir.
- ii) Parça kopan yüzeye uygun bir epoksi sürülerek yapıştırıcı tabaka oluşturulur ve üzerine beton dökülür.
- iii) Epoksi reçineli beton yapılarak onarılır. Agregaya çimento yerine epoksi reçinesi ile karıştırılarak epoksi betonu yapılır.

Epoksi reçinelerinin suya ve su buharına dayanımları çok az olduğundan uygulanan yüzeyin kuru olmasına özen gösterilmelidir. Onarım malzemeleri bölümünde özellikleri anlatılmıştır.

### **Ayrışmaları önlemek için yüzey koruma yöntemleri**

Beton su emmezse ve dış etkilerle temas etmezse daha iyi korunur. Bu nedenle çeşitli izolasyon malzemeleri ve boyalar kullanılabilir. Yalnız konfor açısından duvarın nemi geçirmesi gerektiği unutulmamalıdır. Eğer tamamen geçirimsizlik sağlanırsa bu durumda buhar duvarda kondanse olur ve soğukta donabilir. Yüzey koruyucu olarak boyalardan, yağlı boya, mineral yağlar ve geçirimsizlik istenen yerlerde bitüm, silikon esaslı maddeler ve epoksilerden yararlanılabilir.

### 4.3.3 Betonarme taşıyıcı sistemlerin ve elemanların onarım ve güçlendirilmesi

Hasarlı yapıların incelenmesi ve değerlendirilmesi sonucunda taşıyıcı sisteme veya yapısal elemanlara etkiyen yükleri emniyetle taşıyamayacağı belirlenmişse yapının onarılması ve güçlendirilmesi gerekecektir. Onarım, hasar görmüş yapı elemanlarının önceki görünüm ve taşıma kapasitelerini kazandırmak için yapılan iyileştirme işlemleridir. Taşıyıcı olmayan elemanların onarımı bu elemanların önceki fonksiyonlarının yeniden sağlanmasıdır. Güçlendirme, taşıyıcı sistemi ya da taşıyıcı elemanları hasar görmüş veya hasarsız yapı veya elemanlarının, rijitlik, duktilite ve dayanımlarının artırılması için yapılan işlemlerdir.

Yapısal hasarları onarım ve güçlendirmede amaç; düşey yüklere, deprem ve rüzgar kuvvetlerine, yangın ve korozyon etkilerine karşı dayanım bakımından kusurlu görülen elemanlara dayanım ve rijitlik kazandırmaktır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin ve elemanlarının onarım ve güçlendirilmesi çeşitli metodlarla yapılır. Taşıyıcı sistem yıkılmadan taşıyıcı elemanlarda hafiften ağıra doğru çeşitli şekillerde oluşan hasarlar için, hasar derecelerine göre onarım ve güçlendirme uygulanır. Bu uygulamalar;

- a-Enjeksiyon; reçine enjeksiyonu, harç enjeksiyonu,
- b-Hasarlı kısmın kaldırılması ve yerine yenisinin konması,
- c-Mantolama,
- d-Yeni ilave elemanlar ekleme; perde ekleme, çerçeve aralarını doldurma,
- e-Bu uygulamalardan birkaçının birlikte uygulanması

#### 4.3.3.1 Yerel onarımlar

Donatısı ve betonu hasar görmemiş, genişlemeyen ve ilerlemeyen hafif çatlaklı elemanlar, epoksi veya çimento harcı enjeksiyonları ile onarılır. (Bakınız Çatlakların Onarım metodları)

##### a-Reçine enjeksiyonu

20-100 cm aralıklarla çatlak üzerinde açılmış deliklere yerleştirilmiş ince borulardan en alt seviyedekinden başlayarak reçine uygulanır. Borular yerleştirildikten sonra çatlak izolasyon

malzemesiyle kapatılır. Bir üstteki borudan reçine geldiğinde uygulama borusu kapatılır ve diğerine geçilerek işlem tamamlanır. Enjeksiyon yapılırken uygulanacak basınç elemana göre seçilir.

#### **b- Çimento enjeksiyonu**

2-5 mm gibi daha geniş çatlaklarda uygulanır. Yine çatlağın en alt seviyesinden yukarı doğru uygulanmalıdır. Genleşen çimento ve ilk dayanımı yüksek portland çimentosu kullanılması ile çatlaklara giren harcın yada şerbetin genişleyerek bütün boşlukları doldurması sağlanacaktır.

#### **c- Hasarlı kısmın kaldırılması ve yerine yenisinin konulması**

Yerel olarak betonu ezilmiş, donatısı hafif burkulmuş veya donatısı paslanmış taşıyıcı elemanlarda sadece onarım gerekli ise başlangıçtaki kesit alanı korunarak hasarlı kısım çıkarılır ve yeniden yapılır. Gevşemiş beton kısım uzaklaştırılır, yüzey çentilerek yada kuvvetli bir şekilde kum püskürtülerek pürüzlendirilir, tozlar ve yağlar temizlenir. Kaldırılan betonun ve donatının miktarına bağlı olarak ek donatı ve etriye yerleştirilir. Elemanın ilk kesit alanı korunacak şekilde betonlanır. Betonlama yapılmadan önce yüzey ıslatılarak suya doyurulur. Betonlanacak seviyenin yukarisına devam edecek şekilde kalıp hazırlanır. Kalıp köşeleri sızıntıları önlemek için iyice sıkıştırılır ve gerekiyorsa macunla doldurulur. Betonlanacak seviyenin yukarisında devam edecek şekilde beton dökülür, iyi yerleşmesi sağlanır, bir gün sonra kalıp alınarak fazlalık oluşturan taze beton çentilir. (Demir, 1992). (Şekil 4.10)

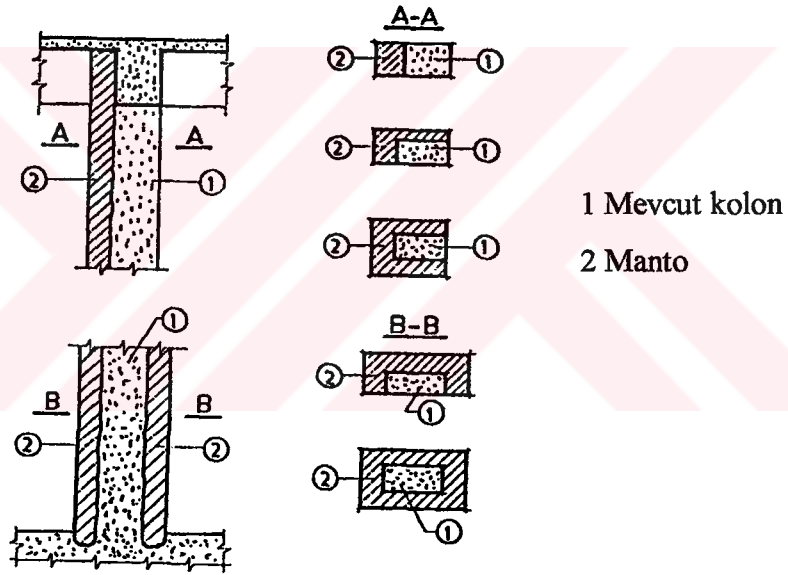
#### **4.3.3.2 Mantolama**

Mantolama fazla hasarlı ve dayanımı yetersiz olan elemanlarda, bu elemanın donatı ve boyutlarını artıracak şekilde çevresinde bir kabuk oluşturma işlemidir. Manto, elemanın çevresinde mevcut olan duruma göre bir, iki, üç, veya dört yanında uygulanabilir. Güçlendirme ve onarım mantoları kullanılan malzemelerine göre;

- a- betonarme manto ile,
- b- çelik profil iskelet ile ya da,
- c- çelik levha ilavesi ile yapılabilir.

Betonarme manto ;

Onarım ve güçlendirme amacıyla bir, iki, üç ve dört tarafta oluşturulan betonarme mantolar kolon, kiriş, perde, döşeme ve bunların birleşim yerlerinde kullanılabilir. Onarım mantoları hasar görmüş yapısal elemanı hasar öncesi kapasite ve görünümüne getirmek için yapılan iyileştirme çalışmalarıdır. Güçlendirme mantoları ise hasar görmüş yada hasarsız yapı elemanlarının mevcut taşıma kapasitelerinin artırılmasını amaçlar. Şekil 4.11 de çeşitli yanlarında mantolanmış kolon gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Çeşitli yanlardan mantolama.

Onarım ve güçlendirme mantolaması için yüzey hazırlığı ;

Mantolanacak elemanın beton yüzeyi çentilir. Etriyelerin bulunduğu kısımlar ve ek donatının boyuna donatıya kaynaklanacağı kısımlarda mevcut donatıyı açığa çıkarıncaya kadar beton çentilir. Eski betonla, yeni betonun kaynaşmasını sağlamak için; eski betonda dişler oluşturulur, epoksiyle iri kum taneleri yapıştırılır, eski betona delik açılarak epoksi veya

çimento harcı ile kama veya filiz donatısı (dübel) yerleştirilir, veya donatı eski betona mekanik ankrajla tesbit edilir.

Eski donatı ile yeni donatının birlikte çalışması için U etriyeler, Z veya V şeklinde bükülmüş çubuklar veya aralarına konulan çelik levha ile iki donatı kaynaklanır. Eklenen etriyeler çevreyi tamamen sarmalı bu sağlanamıyorsa mevcut etriyeye kaynaklanmalıdır.

## 1) Kolonların manto ile onarım ve güçlendirilmesi

### a- Betonarme manto

Betonarme kolonların onarım ve güçlendirmesinde en yaygın olarak kullanılan iyileştirme yöntemi mantolamadır. Kat yüksekliğince yapılan mantolama ile kolon, yalnız aksenal kuvvet ve kesme kuvveti karşılama yönünden güçlenir. İlave boyuna donatıları döşemede açılan deliklerden geçirilerek düğüm noktalarında da mantolanan kolon eğilmeye karşı da güçlenir. Kiriş ve döşeme ile birleşim bölgesinde kolon boyuna donatısının iyi sarılması gereklidir. Tek yandan yapılan mantolamada ilave boyuna donatının etriyelerle mevcut donatıya çok iyi bağlanması gerekir. Yeni etriye kancaları mevcut beton içinden delik açılarak geçirilir veya etriyeler mevcut etriyelere kaynaklanır. Kaynak yapılacak bölgede beton boyuna donatıya kadar çentilir. Eski betonda kayma dişleri oluşturulur ve Z veya V şeklinde bükülmüş çubuklarla veya çelik levhalarla (rijit bağlantı) eski ve yeni donatı birbirine kaynaklanır. Böylece eski ve yeni donatı ve betonun birlikte çalışması sağlanır. Etriyelerin boyuna donatıları çok iyi kuşatması ve yeterince kapalı olması gerekir, uçlarına kanca yerine kaynak yapılması veya bulonla sıkıştırılarak bağlanması sargılamının daha etkili olmasını sağlayacaktır.

Manto uygulamasında uyulması gereken kurallar:

- Yeni malzemelerin mukavemeti eskisine eşit veya fazla olması gereklidir.
- Eski donatı ile yeni donatı birbirine V , Z şeklinde bükülmüş çubuklarla yada aralarına konan çelik levhalara kaynaklanarak bağlanmalıdır.
- Püskürtme beton kullanımında manto kalınlığı 4-5 cm, yerinde dökme beton kullanıldığında 10 cm olmalıdır.



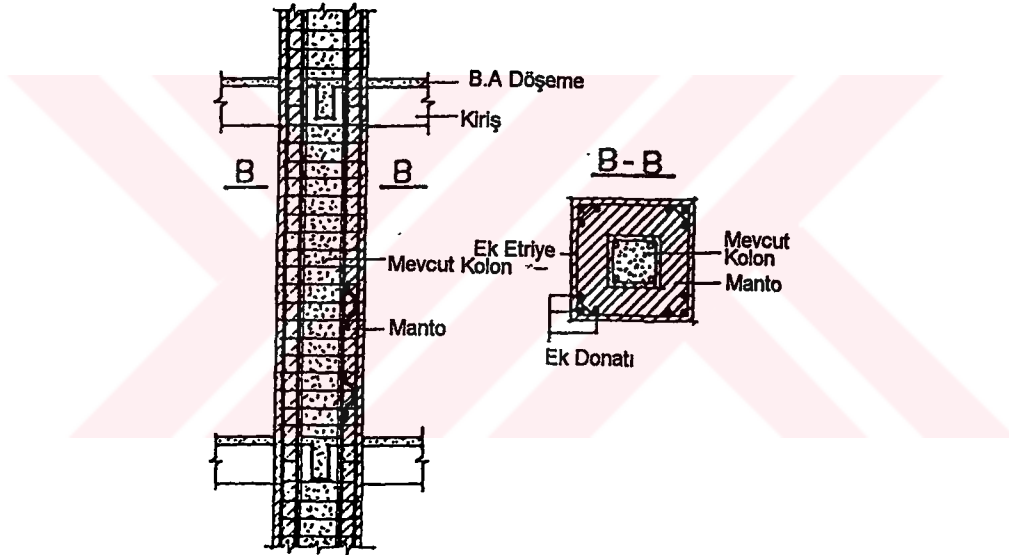
-İlave beton alanına göre ek boyuna donatı oranı 0.01 den az 0.06 dan fazla olmamalı ve dört yandan mantolamada 4 çubuktan az donatı kullanılmamalıdır.

-Etriyeler köşe ve aralardaki boyuna donatı çubuğunu destekleyecek şekilde yerleştirilmeli çubuk aralıkları 10 cm den uzak olmamalıdır.

-Etriyelerin kancaları mevcut betonda delik açılarak epoksi ile sabitlenmeli yada kolon delinerek çiroz çubuk geçirilmelidir.

-Etriyeler enaz  $\text{Ø}8$  olmalı veya boyuna donatı çapının  $1/3$  ünden az olmamalıdır (TS 500, CEB Yönetmelik).

-Etriyeler en fazla 20 cm aralıklı olmalı, birleşme bölgelerine yakın kısımlarda kolon serbest boyunun dörtde biri kadar uzunlukta 10 cm yi geçmemelidir, bu aralığın manto kalınlığını geçmemesi de tavsiye edilmektedir. (Demir, 1992)



Şekil 4.12 Kolonun dört yandan mantolanması

Yük altında ve yük boşaltılarak yapılan onarım ve mantolama deneyleri sonucunda; iki şekilde yapılan mantolamanın da benzer dayanım ve davranışa sahip olduğu ve bu mantolanmış kolonların yük taşıma kapasiteleri, rijitlikleri ve deformasyon kapasitelerinin birdöküm referans elemana çok yakın olduğu, yük altında yapılan onarım mantosunu yük taşıma kapasitesinin birdöküm elemanın %50 si kadar olduğu belirlenmiştir. Bu durum için mantonun taşıma gücü hesaplanırken yalnız mantonun kesit alanı ve donatısının alanının dikkate alınması önerilmiştir ( Ersoy vd., 1991, Ersoy ve Tankut, 1993).

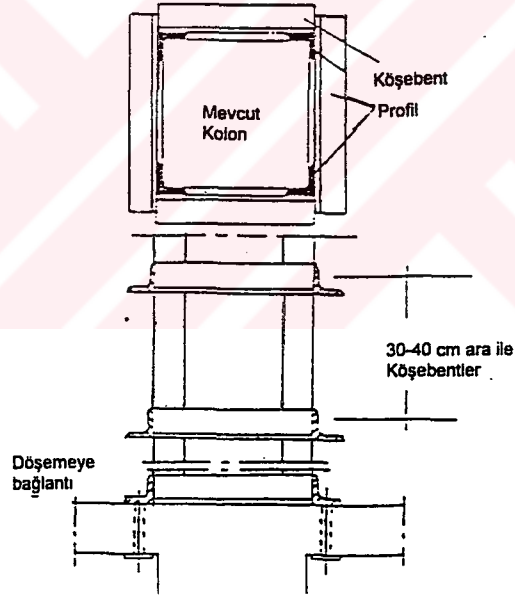
Kolonların yük altında ve yüksüz mantolanmasının etkinliğini incelemek için yapılan deneysel çalışmada; mantolanarak güçlendirilmiş kolonun eksenel yük taşıma kapasitesi, birdöküm referans elemanın kapasitesinin %90 ı, yüksüz onarım mantosunun kapasitesi ise birdöküm referans elemanın kapasitesinin %80 i olarak bulunmuştur. Güçlendirme mantolarının süneklik ve enerji tüketme davranışı yönünden çok iyi yani birdöküm elemana çok yakın, onarım mantolarında ise yeterince iyi fakat güçlendirilmiş elemanlarından daha az olduğu belirtilmiştir. Güçlendirme mantolarının kapasitesiteleri birdöküm kolonun kapasitesinin %80-90 nın alınabileceği, yük altında onarım mantosunun kapasitesinin ise sadece manto kapasitesi olarak alınabileceği önerilmiştir. Yük kaldırılarak güçlendirmede, U etriye ve/veya Z veya V çubuklarla yapılan birleştirme çok başarılı olmuş (ideal kapasitenin %95 inden büyük) süneklik ve enerji tüketimi ise monoton yükleme için yeterli olduğu belirtilmiştir (Tankut vd.,1989).

Komşu iki yüzünden mantolanmış kolonlarla yapılan deney sonuçlarına göre; yüksüz olarak mantolanmış, eksenel ve eksantrik yük altında denenmiş kolonlar, dayanım açısından etkili olmuş ve birdöküm kesitin, güçlendirmede %89 una onarımda %86 sına ulaşılmıştır. Kaynaklı etriyelerin kopması nedeniyle süneklik ve enerji tüketme kapasiteleri biraz düşüktür. Rijitlik davranışı çok iyi, birdöküm kolona göre %10 azalma görülmüş, dayanım yalın kolona göre %20 artarken, birdöküm kolonun dayanımı yalın kolona göre %35 artmıştır. Yalın kolona göre rijitlik artışları ise %10 civarındadır. Süneklik açısından etriyelerin kolonu dört taraftan kuşatması ve kaynaklanması veya 135 kanca yapılarak bağlanması önerilmiştir (Can, 1994).

İki, üç ve dört yüzünden mantolanmış kolonların deneysel olarak etkinliklerini saptamak için yapılan çalışmada, mantoların birdöküm ve yalın kolon ile kıyaslanmasında her tip mantonun dayanım ve rijitlik bakımından etkili olduğu, dört yüzden mantolamanın diğerlerine göre dayanım ve süneklik bakımından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Mantolar yalın kolona göre çok üstün davranmış, birdöküm kolonun performansına yaklaşmışlardır. Mantolu kolonların dayanım ve enerji tüketimi hesaplanırken birdöküm kolon değerleri, dört yüzden mantolamada %20 azaltılarak, üç yüzden mantolamada %25 ve iki yüzden mantolamada %30 düşürülerek alınması önerilmiştir (Can, 1995).

### b- Çelik profil iskelet geçirme

Çelik profil iskelet kolonun köşelerine korniyer yerleştirilerek oluşturulan iskelet üzerine enine kuşaklar bağlayarak gerçekleştirilir. Bu kuşaklar minimum 12 mm çapında yuvarlak çelik çubuklar veya 25/4 mm kesitte çelik lamalar olabilir. Çelik lamalar köşebentlere kaynaklanır. Bu köşebentler en az 50/50/5 olmalıdır. Korniyerlerle mevcut beton arasındaki boşluklar rötre yapmayan çimento harcı veya reçine harcı ile doldurulur. Üzerlerine hasır donatı yerleştirilerek betonla veya püskürtme betonla kaplanarak oluşturulan örtü, elemanı yangına karşı korumada da etkili olacaktır. Kuvvet aktarımı için korniyer ile kiriş ve döşeme arasında kuvvetli bir dayanım sağlanması gerekir. Bu nedenle döşeme ile kolon çevresi boyunca doğrudan temas sağlayan tasma yada bilezik denilen korniyerlerden oluşturulmuş bir eleman yapılır. Böylece yük kapasitesinde artışın yanında kolonun sünekliğinde de iyileşme sağlanır, rijitlik ise aynı kalır.

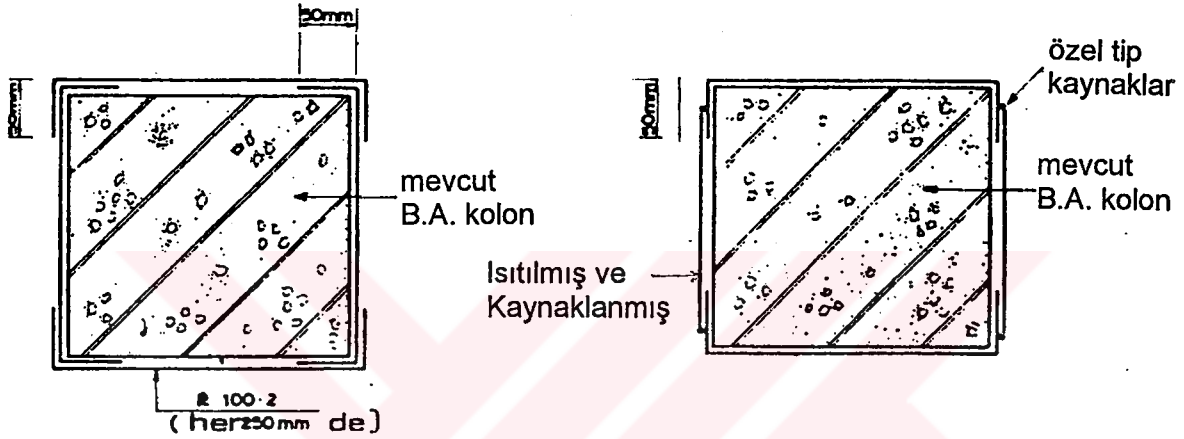


Şekil 4.13 Kolona çelik profil iskelet geçirme

### c- Çelik levha ile kaplama

Mevcut kolonun ince çelik levha ile tamamen çevrilip örtülmesi ile yapılır. Kolon kesitindeki artış çok azdır. 4-6 mm kalınlığında levhalar kolondan çok az bir boşluk kalacak şekilde sürekli kaynakla kaynaklanır. Levha ve kolon arası rötre yapmayan veya genleşen çimento

harcı veya betonla doldurulur. Kolon üzerinde genişlen harçla düzgün bir yüzey oluşturulup çelik levhalar mevcut kolona yapıştırılır. L şeklindeki iki levha, köşelerinden kaynaklanarak manto oluşturulur, veya köşelerde beton çentilip korniyer yerleştirildikten sonra kolon yüzlerine yerleştirilen levhalar bu korniyerlere kaynaklanır. Eksenel yük taşıma gücü ve süneklik artar, levha yukarıya geçemeyeceği için eğilme mukavemetinde artış yoktur. Yangın ve korozyona karşı gerekli önlemler alınmalıdır.



Şekil 4.14 Çelik levha ile kaplama

## 2) Kirişlerin manto ile onarım ve güçlendirilmesi

Kirişlerin onarım ve güçlendirilmesi kesitin genişletilmesi, enine ve boyuna donatılarının artırılması ile yapılır. Değişik malzemelerle, kirişlerin çeşitli yanlarında mantolama metodları uygulanır.

### Kirişlerde tek yandan mantolama

Kirişlerin eğilme dayanımı artırılmak isteniyorsa yalnız kiriş alt yüzüne ilave yapılması gerekir. Bu ilaveler çekme donatısı ekleyerek betonlama, levha yapıştırma, çelik iskelet

giydirmeye şeklinde tek yandan yapılabilir. Eklenen donatı ve beton kirişi derinleştirerek moment kolunu büyütecek eğilme momenti kapasitesini artıracaktır.

Betonarme manto uygulamasında kiriş betonu boyuna donatıya kadar çentilir, etriyelerin bulunduğu yerlerde daha yukarıya kadar çentilir. Ek donatı çubukları mevcut donatıya U etriyeler, V veya Z çubukları ile kaynaklanarak birleştirilir (esnek bağlantı). Eğer eklenen donatının moment kolunu artırması istenmiyorsa eski ve yeni donatı araya yer yer çelik levha konularak birbirine kaynaklanır (rijit bağlantı). Ek etriyeler mevcut etriyelere kaynaklanarak eski donatıyla yeni donatının birlikte çalışması sağlanır. Ek olarak yerleştirilen boyuna donatının ankrajının iyi yapılması gereklidir. Bu donatılar kirişlerin mesnet bölgesinde kolon çevresinde korniyer bağlanarak oluşturulmuş bilezik veya kolon delinerek içine yerleştirilmiş çubuklara kaynaklanır. Bu uygulama ile açıklık eğilme momentine karşı güçlendirme sağlanır. Tekrarlanan yükler için yukarıda bahsedildiği gibi, ek donatı uçlarının mevcut donatıya kaynaklanması ve birleşim noktasına ankre edilmesi ve kiriş üst yüzünde mesnetlerdeki moment kapasitesinde artırılması gerekir.

Kirişlerin beton katmanla onarım ve güçlendirilmesi deneysel olarak incelendiği bir çalışmada davranışın birdöküm elemanla çok yakın olduğu ve iyileştirmenin başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Yeni ve eski katmanı kaynaştırmak için kullanılan U etriyeler V ve Z çubukların aynı düzeyde başarılı olduğu, yük altında onarım yapılan kirişlerin birdöküm kapasitesinin %90'ına yaklaştığı belirtilmiştir (Ersoy ve Tankut, 1993).

### **Çelik levhalarla kirişin tek yandan güçlendirilmesi**

Kirişin alt yüzüne epoksi ile çelik levha yapıştırılarak kiriş eğilmeye karşı güçlendirilir. Bu tür güçlendirmede kesitte artış çok küçüktür. Kirişin geometrik ve malzeme parametreleri ve çelik levhanın kalınlığı, genişliği ve mesnete olan uzaklığı ve ayrıca yapıştırıcının elastisite modülü ile kalınlığı da güçlendirmede etkilidir.

Çelik levha ile kiriş arasındaki ayrılmalar ilk olarak levhanın süreksizliğinden ötürü, levhanın ucunda gerilme birikimleri nedeniyle oluşur. Uygulanan düşey kesme kuvvetleri ve levhanın ucuna uygulanan momentin kiriş arayüzeyinde oluşturacağı elastik kesme-kayma gerilmeleri

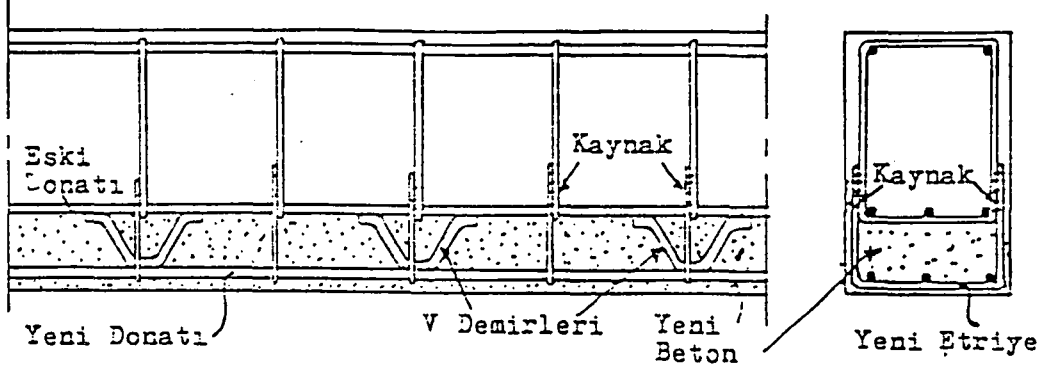
yüzünden levha ucunda ayrılmalar oluşacaktır.Kirişe yapıştırılmış çeşitli kalınlık, boy ve mesnetten farklı uzaklıkta levhaların ucunda ayrılma, sıyrıma gerilmeleri sonlu elemanlar analiziyle belirlenerek, levha kalınlığı, levhanın mesnete uzaklığı ve levhanın genişliğinin etkileri incelenmiştir (Taljsten,1997).

Kiriş alt yüzüne çelik yapıştırılan çeşitli kalınlıklardaki çelik güçlendirme levhasının yapıştırıcı ile ara yüzeylerindeki normal ve kayma gerilmesi dağılımları incelendiğinde; levha kalınlığının artmasıyla kiriş orta noktasında normal ve kayma gerilmelerinin azaldığı, levha uçlarında ise kayma gerilmelerinin arttığı sonlu eleman analiziyle hesaplanmıştır. Ayrıca levha ucunun 50mm uzunlukta bölgesinde yapılan incelemelerde levha kalınlığı artıkça levha ucundaki normal gerilmelerin azaldığı, kayma gerilmelerinin arttığı gösterilmiştir (Elmas vd.,1997-b).

Başka bir çalışmada levha genişlik ve mesnete uzaklık değişimlerinin normal ve kayma gerilmeleri dağılımına etkisi incelenmiştir. Teorik hesap metodları ve sonlu eleman analiziyle bulunan değerler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Levha genişliği artmasının çelik levha ile yapıştırıcı arasında oluşan normal ve kayma gerilmelerinde azalma oluşturduğu, genişliği kiriş genişliğinde olan levhalarda ise bir derece artış görüldüğü belirtilmiştir. Levhanın ucunun mesnete olan uzaklığı arttıkça normal ve kayma gerilmelerinin arttığı belirtilmiştir (Elmas vd.,1997-a).

Diğer bir çalışma levha boyunun gereksinme duyulmadığı yerde kesilmeyip en az levha kalınlığının 200 katı uzatılmasını ve serbest uçların mevcut donatıya kaynaklanması veya kelepçelenerek kiriş yüzüne tutturulmasıyla güçlendirmenin daha etkili olacağı belirtilmiştir. Ayrıca levha kalınlığının artması gerilme birikimlerini artırdığı için önerilmemektedir (Ersoy ve Tankut, 1993)

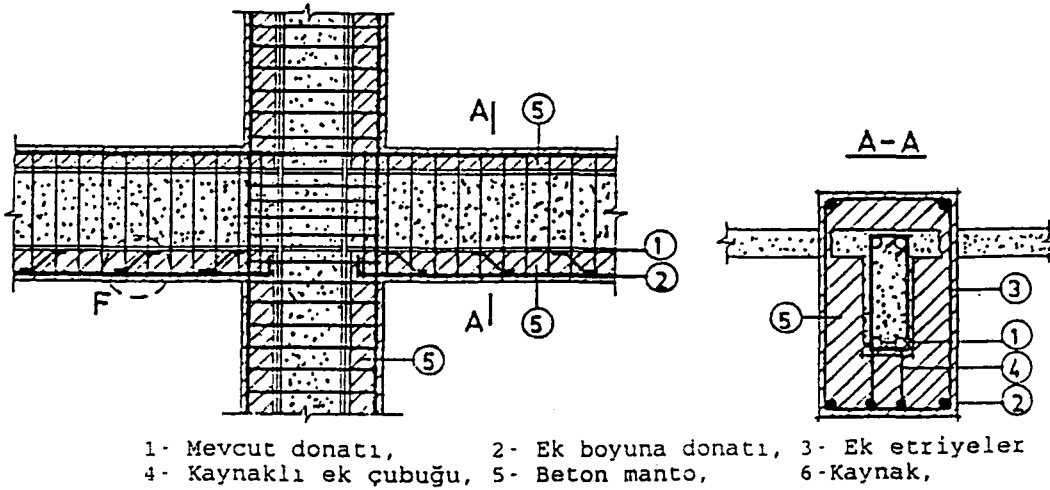
Kiriş yan yüzlerine yapıştırılan levhaların, kiriş çekme bölgelerinde yapıştırılan çelik levhaların ayrılmasına etkisi incelenerek bu yan yüzdeki levhaların çekme yüzündeki levhaların ayrılmasını önlediği belirtilmiştir (Oehlers et al.,1997).



Şekil 4.15 Kirişe tek taraftan manto uygulanması

### Kirişlerde dört yandan mantolama

Betonarme manto, çelik kılıf geçirme, çelik profil iskelet oluşturma metodlarıyla yapılır. Kirişin eğilme ve kesme dayanımını önemli ölçüde artırır. Mevcut ve yeni donatının birlikte çalışması için daha önceki uygulamalara benzer işlemler yapılır. Döşemede delikler açılarak etriyeler geçirilir ve kirişi kuşaklar. Döşemede açılan bu delikler betonlama için de kullanılır. Negatif eğilme momentleri için mesnet bölgesinde döşeme üstünde de ilave donatı oluşturulur. Kolon kiriş birlikte dört taraftan mantolanıyorsa kiriş boyuna donatı çubuklarının düğüm bölgesine ankraji çok iyi yapılmalıdır.

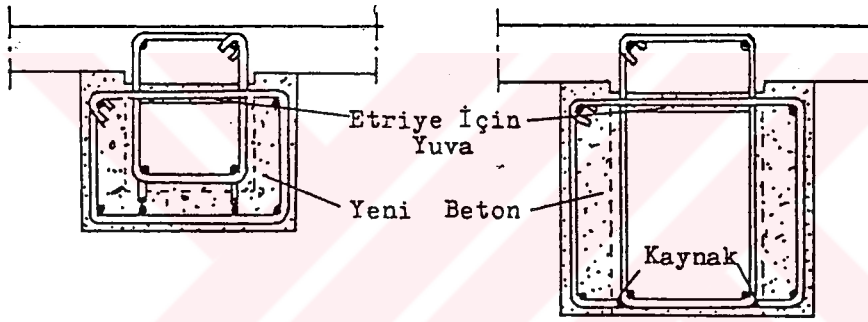


1- Mevcut donatı, 2- Ek boyuna donatı, 3- Ek etriyeler  
4- Kaynaklı ek çubuğu, 5- Beton manto, 6- Kaynak,

Şekil 4.16 Kirişin dört yandan mantolanması

### Kirişlerin üç taraftan mantolanması

Kirişin döşeme altında kalan yüzlerinde ilave yapılmasıdır. Bu onarım için püskürtme beton kullanılması çok uygundur. Yeni donatıyı kuşaklayan etriyelerin kirişe ankrajı çok önemlidir. Zayıf ankraj rijitlik ve dayanımı kötü yönde etkiler. Daha iyi dayanım için sürekli levhaların epoksi reçinesi ve civatalarla tutturulması ek etriyelerinde bunlara kaynaklanması veya bağlanması gerekir. Kiriş döşemeye yakın bir seviyede delinerek etriyeler geçirilmesi gereklidir. Çelik levha ile kaplamada 2-10 mm kalınlıkta levhalar düzeltilmiş beton yüzeye dıştan yapıştırılır. Epoksinin sertleşmesi süresince kelepçelerle sıkıştırılması gereklidir.



Şekil 4.17 Üç yandan mantolama

Kirişlerin mantolanmasında; manto kalınlığı püskürtme beton kullanılması durumunda 4 cm den yerinde dökme beton kullanıldığında 8 cm den az olmamalıdır. Kiriş donatıları altta ve üstte sürekli olmalıdır. Donatı oranı 0.005 den az olmamalıdır. Alt ve üst kiriş donatısı en az aderans boyu kadar ankre edilmeli veya düğüm noktasından sürekli geçmelidir. Mesnet bölgelerinde açıklığın dörtte biri uzunluğunda etriye aralığı kiriş yüksekliğinin 1/ 4 ünden fazla olmamalıdır. (TS 500). Çelik levha ile mantolamada levha kalınlığı 3 mm yi geçerse kiriş yüzeyi genişleyen harçla düzeltilmeli kama ankraj civataları kullanılmalıdır. Korozyon ve yangına karşı önlem alınmalıdır. Epoksi reçinelerinin 250° C nin üzerinde mukavemetlerini kaybettiği gözönüne alınmalıdır. Deprem etkilerine karşı levha kaplaması tavsiye edilmemektedir (Demir,1992 ).

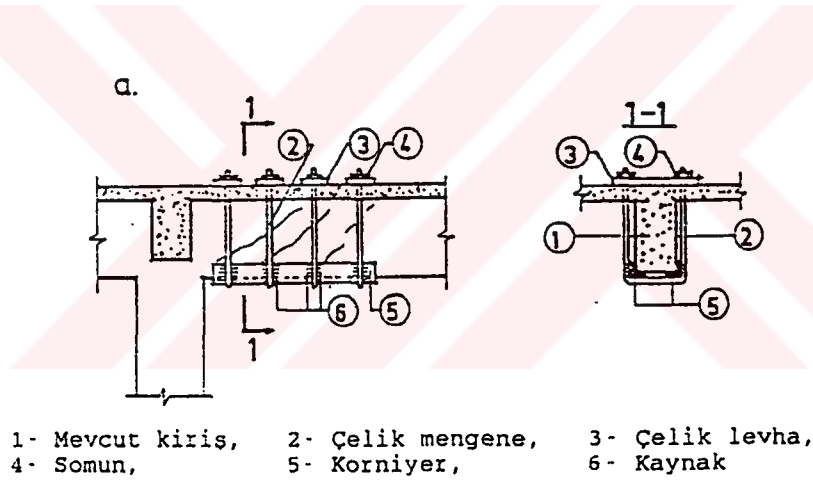


### Kirişlerin çelik çubuklarla ya da lamalarla onarım ve güçlendirilmesi

Kirişlerin kesme dayanımının artırılması için çelik çubuklar yada lamalar kullanılır. Bunlar düşey yada eğik etriyeler yerleştirip gerilerek yapılır. Şekil 4.18 de kirişlerde kesme dayanımının artırılması için onarım ve güçlendirme uygulaması gösterilmiştir.

Düşey kelepçeler kiriş gövdesinin alt köşelerindeki korniyerlere bağlanır. Çubukların uçlarında açılan dişler kiriş üstünde civata somunları vidalanarak sıkıştırılır. Kiriş alt yüzeyine yerleştirilen çelik kutu profillere uçlarında diş açılmış iki çubuk vidalanarak üst yüzeyde çelik lama yerleştirilip iyice sıkıştırılarak da uygulanır.

Eğik kelepçeler kiriş boyuna donatısına birleştiği kısımdaki beton çentilerek eski donatıya kaynaklanır. Eğer kesite gelen etkilerin yön değiştirme olasılığı varsa eğik kelepçeler uygun değildir.



Şekil 4.18 Kirişlerde kesme dayanımının artırılması

Projelendirme yapılarak güçlendirilmiş elemanda eğilme ve kesme mukavemetinin sağlandığı hesapla kontrol edilmelidir. Deprem etkilerine karşı kiriş ve kolon rijitlikleri kontrol edilmelidir. Mafsallaşmanın kolonlarda oluşarak ani göçme mekanizması oluşmaması için kolonlar kirişlerden daha rijit yapılmalıdır.  $\sum M_{kolon} \geq 1.2 \sum M_{kiriş}$  (Deprem Yönetmeliği).

Dışardan kelepçe kullanarak kesme dayanımı artırılan kirişlerin etkinliğini araştırmak için 40x40x4 çelik kutu profil ve Ø10 nervürlü çubuk etriyeler kullanılarak yapılan deneyler de

yöntemin başarılı olduğu belirlenmiştir. Yalnız çubuğa dış açılması ve vidalama işlemlerinin, çubuk levhalardan sıyrılmayacak şekilde özenle yapılması gerekmektedir. Kelepçe ile eğik kesme çatlakları sınırlanarak kiriş davranışına eğilmenin hakim olduğu, güçlendirilen kirişlerin dayanımının referans kirişle yakın olduğu, analitik olarak hesaplanan kesme dayanımlarına göre deney sonucu bulunan kesme dayanımlarının çok daha fazla olduğu, kelepçe donatılarındaki artışın kirişin sünekliğini biraz azalttığı belirtilmiştir (Altın ve Demirel, 1997).

### **Kolon-kiriş birleşimlerinin onarımı**

Çerçevelerin en kritik yerleri kiriş-kolon düğüm noktalarıdır. Bu kısımlarda gerilmeler yüksek, birleşen eleman sayısı fazladır. Bu nedenle güçlendirme için ilave malzemelerin eklenmesi, ankraj sürekliliğinin sağlanması çok zordur.

Kolon kiriş birleşim noktalarının onarım ve güçlendirilmesinde hem kolonun hemde kirişlerin mantolanması gereklidir. Aderansın sağlanması için yeni donatılar mevcut donatılara kaynaklanmalı, yatayda ve düşeyde yeterli ek donatı ve etriye sağlanmalıdır. Düğüm noktası mantosu kolonu, kirişi ve düğüm noktasını her tarafından kuşaklar. Düğüm noktasında boyutlarda önemli bir artış oluşturması dezavantajdır.

### **Düğüm noktalarının çelik levha donatı ile güçlendirilmesi**

Çelik levhalar düğümlerin boyutlarında değişiklik olmadan güçlendirmeyi sağlar. Çelik levhalar düğüme öngerilmeli civatalarla ankre edilir. Düğüm bölgesi yüzeyi düzgün değilse genişleyen çimento harcı ile ince bir düzeltme tabakası oluşturulur ve 4mm kalınlığında çelik levha yerleştirilir. Dört tarafından kiriş sapanan kolonlara uygulanması pratik değildir. Levhaların kolon ve kirişlere veya onlara bağlanmış levhalara çok iyi bağlanmış olmaları halinde iyi bir sistem sağlanmış olur. Yangın ve korozyona karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

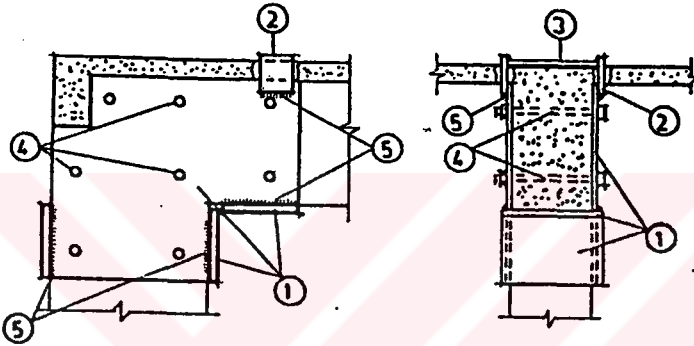
Projelendirme esasları;

-Düğüm basıncı, çekme, kesme kuvveti ve eğilme momentlerinin birlikte etkisi için projelendirilmelidir.

-Zayıf kiriş kuvvetli kolon oluşturulmalıdır.

-Düğüm bölgelerinin projelendirilmesi ile ilgili hesaplar yeterli kesme mukavemeti olduğu göstermeli ve düğüm bölgesinde yeterli donatı ankrajı olduğu gösterilmelidir.

-Kiriş donatısı için yeterli aderans boyunda kolon çekirdek içinde kalan kısmı gözönüne alınmalıdır.



1- Çelik levha, 2- Çelik levha, 3- Çelik band, 4- Gerilmiş civatalar, 5- Kaynak

Şekil 4.19 Düğüm noktasının çelik levhalarla iyileştirilmesi

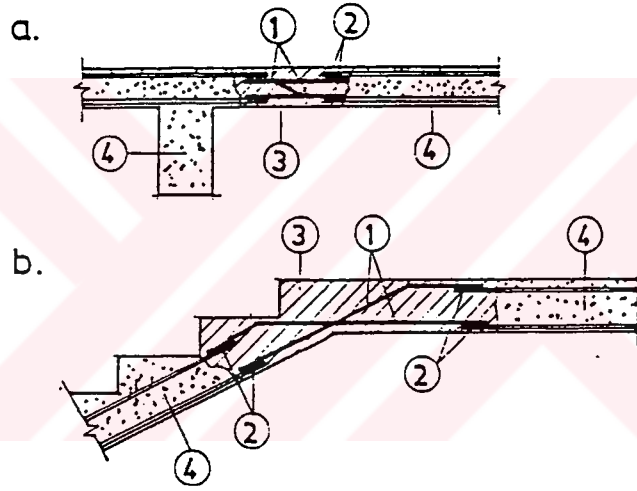
### Deprem perdelerinin onarım ve güçlendirilmesi

Deprem perdelerinde oluşan ince çatlaklar epoksi enjeksiyonu ile onarılarak eğilme ve kesme kuvvetine dayanımı deprem öncesi durumuna getirilebilir. Kılcal çatlakların tamamen doldurulamaması nedeniyle önceki rijitlik kazanılamaz. Yangına karşı ise dayanıksızdır.

Perdelere manto uygulanması tek yada iki yandan yapılabilir ayrıca perde kenarlarında uç elemanı oluşturulabilir. Düşey sürekliliği sağlamak için döşemeden geçen ve perdeyi çapraz olarak bağlayan donatılar perdeye eklenen donatılara kaynaklanır. Yeni donatılarda eski donatılara kaynaklanarak eklenen ve mevcut kısmın beraber çalışması sağlanır.

### Döşemelerin onarım ve güçlendirilmesi

Döşemeler düşey yükleri taşır ve bunları diğer taşıyıcı elemanlara aktarırlar. Deprem etkisinde yatay diyafram etkisi göstermeleri için yeterli rijitlikte ve diğer yatay taşıyıcı elemanlarla uyumlu olmalıdır. Deprem perdelerinin yakınında, deprem kuvvetlerinin yoğunlaştığı yerlerde, döşemelerdeki boşlukların etrafında ve merdiven sahanlıklarında döşeme hasarları oluşur. Döşeme mukavemeti yetersiz olduğunda yada yeni eklenen deprem perdelerinin birleşim bölgelerinde, mukavemeti arttırmak gerektiğinde donatı ve kalınlık artırılarak güçlendirme uygulanır. Merdiven döşemeleri ve döşemelerin hasarlı kısımları çıkarılır, donatıda bozulmalar varsa bunlar düzeltilir veya yenisi yerleştirilerek betonlanır. (Şekil 4.20)



1- Ek donatı, 2- Kaynak, 3- İlave beton, 4- Mevcut döşeme

Şekil 4.20 Döşemelerin onarımı

Döşeme kalınlığının artırılması;

Döşeme iyileştirilmesinde yeni malzeme döşemenin altına yada üstüne eklenebilir. Döşemeye üstte ilave yapıldığında mesnetlerde negatif donatı ilave etmek kolaylaşır ve faydalı yükseklik artar. Alttan ekleme yapıldığında püskürtme beton kullanılmalıdır. İlave edilen çekme donatısı nedeniyle eğilme mukavemeti artar. Döşeme ve kirişler birlikte mantolanarak güçlendirilirse sistem davranışı iyileşir. İlave edilen betonarme katman döşemede belirli aralıklarla açılmış deliklere yerleştirilen çiviler ile tam olarak kaynaştığı ve birdöküm gibi davrandığı deney sonuçlarıyla belirtilmiştir. (Ersoy ve Tankut, 1993)

## **Betonarme çerçevelerin doldurularak güçlendirilmesi**

Süneklik veya dayanım nedeniyle yapının rijitliğinin yeterli olmadığı ve/veya onarılması veya güçlendirilmesi gereken çok sayıda eleman bulunduğu durumlarda bazı çerçevelerin içerisine dolgu yerleştirilerek perde duvar oluşturulması yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yapılarda çerçeve boşluklarına rijit ve taşıma gücü yüksek elemanlar yerleştirilerek yatay yüklere karşı en etkili güçlendirme sağlanır.

Böyle bir güçlendirme ile; a-yapının yatay yüklere karşı rijitliği artırılır, b-planda veya düşeyde düzensizlikler nedeniyle burulma etkisinde kalarak hasar görmüş yada görebilecek yapılarda bu düzensizlikleri giderilebilir, c-yatay yük taşıma gücü artırılabilir

## **Çerçeveler içinde oluşturulan dolgu türleri**

Güçlendirme amacıyla kullanılan çeşitli dolgu türleri aşağıda özetlenmiştir;

### **1- Yığma Dolgular**

a-Donatısız (tuğla, beton blok vediğerleri)

b-Donatılı

-Düşey ve yatay donatı yerleştirilerek harçla doldurulmuş bloklardan oluşturulan beton blok duvarlar.

-Yüzeyleri hasır donatılı tuğla dolgu duvarlar.

### **2- Yerinde dökme betonarme dolgular**

a-Normal betonlu

b-Hafif betonlu

### **3- Prefabrike panel dolgular**

a-Tek panel

b-Çok sayıda panelle

### **4-Çelik kuşak (gergi)**

a-Diyagonal elemanlı

b-K elemanlı (knee bracing)

c-Kafes (trusses).

Dolgulu çerçeve olarak adlandırılan her tipin dayanım ve davranışı birbirinden farklıdır. Kullanılan dolgu malzemesi, çerçeve-dolgu arasındaki ankraj tipi, dolgu malzemesinin özellikleri, dolgu donatısının şekli ve miktarı dolgunun davranışında etkili olacaktır. Bunlardan başka yüklemenin şiddeti ve monotonik (tekdüze) veya tersinir tekrarlanır olması, çerçevenin en-boy oranı, çerçeve kolonlarının düktilitesi ve dayanımı, kolon üzerinde aksenal yük ve dolgu üzerinde düşey yük olması da dolgunun davranışını etkiler. Ayrıca işçiliğin kaliteside davranışı önemli ölçüde etkilemiştir.

### **Tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi**

Dolgu bölme duvarların güçlendirilmesi için gevşemiş kırılmış elemanlar ve harç değiştirilir. Duvarın iki yüzüne hasır donatı yerleştirilerek belirli aralıklarla iki yüzdeki donatı birbirine kaynaklanır üzeri sıva tabakası veya püskürtme betonla kaplanır. Eğer yüzeye yerleştirilen donatı çerçeve elemanlarına ankre edilirse dayanım daha fazla artar. Dolgu duvar güçlendirmesi yapıldığında çevresindeki elemanlar analiz edilerek yatay kuvvetleri bu elemanlara aktardığı belirlenmelidir. Kolonlar ve temeller güçlendirilmiş dolgu duvarların kesme dayanımlarından gelen devirme kuvvetlerine göre kontrol edilmelidir.

Tuğla duvarlarla depremi benzeştiren tersinen tekrarlanan yükler altında yapılan deneylerde sıvanın çatlama dayanımını arttırarak dolgulu çerçeve davranışını iyileştirdiği, rijitliği arttırdığı ve dolgu duvar çatlayıp çerçeveden ayrılınca, davranışın çerçeve davranışına döndüğü belirtilmiştir. Şekil 4-21 de çerçeve davranışı, tuğla dolgulu çerçeve ve betonarme dolgu çerçeveler karşılaştırılmıştır. (Ersoy ve Tankut1993 )

Boşluklu kagir beton duvarların boşluklarının sulu harçla doldurulmasının eğilme ve çekme dayanımına etkisini araştıran deneysel bir çalışmada; boşlukların tümünün veya belirli aralıklarla doldurulmasının beton duvarın eğilme çekme dayanımında sırasıyla %396 ve % 72 arasında artışlar olduğu belirtilmiştir. Eğilme çekme dayanımı için amprik formüller üretilmiş ve ACI-530/ ASCE 5 Code 1988 de verilen formüllerle karşılaştırılmıştır (Hamid vd., 1992).

### **Dolgu duvarla güçlendirilmenin etkinliği**

Dolgu duvarla çerçevelerin güçlendirilmesi metodlarının yapıya sağlayacağı ek taşıma gücü, rijitlik artışı, süneklik ve kesme kuvveti taşıma gücü açısından karşılaştırılması uygulanacak yöntemin seçiminde yararlı olacaktır.

Değişik tiplerde güçlendirilmiş çerçevelerin yatay yük altında davranışları ve etkinlikleri deneysel olarak incelenmiştir (Sugano 1981, Ersoy 1989, Vintzeleou 1989, Altın 1989).

Bu deneylerde;

Dolgu ile çerçeve arasında bağlantı bulunmayan dolgulu çerçevenin yük tersinmesi ile rijitliğini hızla yitirdiği,

Çerçeve ile dolgunun hatasız bağlandığı dolgulu çerçevelerin birdöküm referans elemana yakın davranış gösterdiği, çıplak çerçeveye göre ise dayanım ve rijitliğin büyük oranda arttığı,

Çerçeve delinerek filiz yerleştirilip dolgu donatılarının bu filizlere bağlanması ile birdöküm elemanla eşdeğer bir davranış gösterdiği,

Dolgu donatısının şeklinin davranışı önemli oranda değiştirmedeği,

Eksenel yüklü kolonun çerçeve dayanım ve davranışını olumlu yönde etkilediği,

Kolon dayanımının artırılmasının dolgulu çerçeve dayanım ve davranışını olumlu etkilediği ve dolgu çerçevelerin önemli ölçüde enerji tükettiği belirlenmiştir (Ersoy vd., 1989, Ersoy ve Tankut 1993).

Değişik türde dolgu ile güçlendirilmiş çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışları deneysel olarak karşılaştırılıp, bunların yük deformasyon eğrileri karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. Sugano (1981). Perde duvar yapılması ile kesme kuvveti taşıma gücündeki artış boş çerçevenin 4-5 katına ulaştığı fakat duvar ile kolonun birdöküm dayanımına ulaşamadığı, çerçeve içersine donatılı beton blok ile dolgu duvar yapılması çerçevenin kesme kuvvet taşıma gücünü 3 kat artırdığı belirlenmiştir. Şekil 4.21 de değişik metodlarla doldurulmuş çerçevenin güçlendirme etkinliği gösterilmiştir.

Bir başka çalışmada, yapılarda yanal rijitliği ve dayanımı sağlamak için uç elemanlı monolitik dökümlü, dört farklı donatılı kenar elemanlı perdenin davranışı, depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenerek ve birbirleriyle karşılaştırılarak çıkarılan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir;

a-betonarme perdelerin kullanılmasıyla yapılarda önemli oranlarda yanal dayanım ve rijitlik artışı sağlandığı,

b-betonarme perdelerin uç elemanlarının eğilme kapasitelerinin yanal dayanım ve göçme modunu belirleyen önemli bir etken olduğu,

c-eksenel yükün perde dayanımı üzerinde olumlu katkılar yaptığı,

d-rijitlik artışı ve doğal periyodun azalması, depremde yapıya aktarılacak dinamik kuvveti arttırmasına rağmen dayanımdaki artışların kuvvet artışından büyük olacağı,

e-yük-deplasman eğrilerinin denenen modellerin taşıma kapasitelerine erişinceye kadar yaklaşık olarak doğrusal-elastik kaldığı,

f-sadece panel donatısının perdenin dayanımı üzerinde çok etkili olamayacağı,

g-betonarme perdeli yapılarda perdelerin büyük yanal rijitlikleri dolayısıyla yanal deplasmanları küçüleceğinden katlar arasındaki rölatif deplasmanların küçülerek yapıya gelen ikinci merteye etkilerini sınırlandırmasını sağlayacağı, belirtilmiştir (Altın 1989, Altın vd.,1992).

1989 yılına kadar dolgu duvarla güçlendirilerek yatay yükler altında denenen bütün deneylerin Vintzeleou tarafından karşılaştırılmasıyla bulunan sonuçlar aşağıdadır;

Donatısız yığma dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yüklere dayanımı çıplak çerçevenin enaz 2 katı kadar olmaktadır. Malzeme düşük dayanımlı ise çıplak çerçevenin %40 kadardır.

Donatılı yığma duvar ile dolguda donatı yüzdesi %0.15-0.6 arasında ve çerçevenin donatılarına kaynaklı ise çıplak çerçevenin 5 katı kadar olmaktadır.

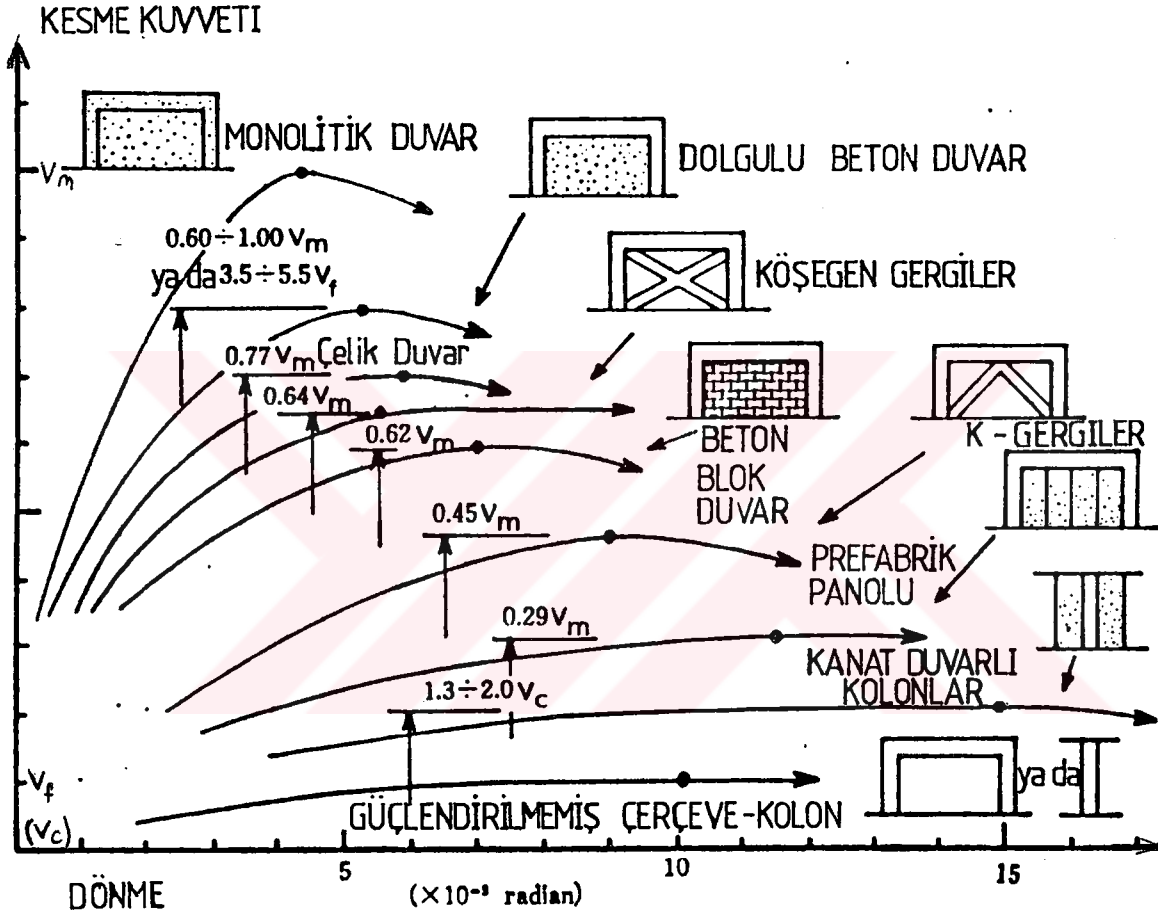
Prefabrike betonarme panoların çerçeve ile bağlantı şekillerine bağlı olarak dayanımı çıplak çerçeveye göre 3-5 kat artmaktadır.

Betonarme dolgu duvar yapılması ile dayanım artışı 6 kat olabilmektedir.

Birdöküm perde ve kolonlu betonarme sistemlerin dayanımı çıplak kolon dayanımının 15-50 katı olabilmektedir.



Tersinir yüklemeler altında dayanımdaki azalma miktarı değişik güçlendirme sistemleri için aynı miktardadır. Çerçeve kolonlarının donatıları yetersiz miktar ve biçimde yerleştirilmişse kolonların dayanımındaki azalmın daha fazla ve çok hızlı oluşmakta ve dolguyu olumsuz etkilemektedir (Vintzeleou 1989).



Şekil 4.21 Dolgu duvarlarla güçlendirmenin etkinliği

Dolgulu çerçevelerin dayanım, rijitlik ve sünekliklerinin çıplak çerçeveye göre artışları belirli sayıda deneysel inceleme sonucuyla tablolarda açıklanmıştır. Bu tablo genelleştirilemez çünkü bu karakteristikler çok sayıda farklı değişkene bağlıdır.

Dolgu tipi	Dayanım dolgulu /çıplak	İlk Rijitlik dolgulu/çıplak	Süneklik
BA. Dolgu	3-7	10-40	Sınırlı
Donatılı Yiğma Duvar	2-6	3-7	Sünek
Prefabrik Panel	2-4	2-10	Sünek
Çelik Gergi	1.5-4	2-6	Sünek

### Perdelerle güçlendirme uygulamaları

Yapıda deprem güvenliğini azaltıcı nedenlerden biri yapının bitiminden sonra yapıya etkileyen tüm depremlerin ortaya çıkardığı şekil değiştirmelerin birikmesidir. Kalıcı şekil değiştirmeler yardımıyla yapı, elastik olarak boyutlanması sırasında gözönüne alınan yüklerin çok üstünde deprem yüklerine dayanabilecektir. Yapıda kalıcı deformasyonlar artmışsa yada artma olasılığı varsa, yapının mevcut deprem güvenliği saptanarak gerekiyorsa güçlendirme yapılması gereklidir. Güçlendirme yapının daha büyük yatay yük taşıyabilir hale getirilmesi ile yada taşıyıcılığını yitirmeden daha çok sünebilmesiyle sağlanabilir. Karma bir yöntem olarak yapının yatay yük taşıma kapasitesi bir ölçüde artırılırken sünekliğin artmasını sağlayacak bir dizi önlem de birlikte alınabilir.

Depremde hasar görmüş az katlı betonarme yapılarda daha büyük yatay yükleri taşıyabilecek biçimde perdeler oluşturma yoluna gidilebilir. Yatay rijitlikleri daha fazla olduğu için deprem yükleri bu elemanlarca karşılanarak hasar görmüş veya hasar görme olasılığı yüksek olan bölümleri gelecekteki deprem etkilerinden korunmuş olacaktır. Perdelerin eklenmesi yapının yatay rijitliğini artırarak periyodunu küçültecek ve yapıya depremde gelecek yüklerinde küçülmesinde etkili olacaktır.

Yapıya eklenen perdelerin olumlu yönleri yanında bazı güçlükleri de vardır. Maliyeti düşürmek amacı ile yapıya az sayıda eklenen perdelerin aldıkları deprem kuvveti artacaktır. Mevcut yapının kütlelerinden kaynaklanan deprem yüklerinin yapıya sonradan eklenen bu elemanlara nasıl aktarılacağı, bu elemanların aldıkları yükleri zemine nasıl aktaracakları önemlidir. Ayrıca güçlendirme gerekçesiyle artırılmış yatay yükler etkisinde mevcut eski elemanların durumu incelenmelidir. Ve gerekiyorsa bu elemanlara da güçlendirme

uygulanmalıdır. Döşemeler delinerek mevcut kirişlere yandan bağlanarak yapılan perdeler kolondan kolona devam etmiyorsa bağlandıkları kirişin boyunu küçülterek kısa kiriş halini almasına neden olur. Bu kısa kiriş rijitleşmekte ve perdeye saplanan bir kirişe dönüşmektedir. Mevcut kirişlerle çerçeve dışı ek perdelerin birbirine bağlanarak ve içinden geçtikleri döşemelere dayanarak mevcut sistemle beraber çalışır duruma getirilmelidir. Bu bağlantı sağlanmazsa ilave edilen perdeler deprem sırasında eski yapıya katkıda bulunamayacaktır. İlave perdelerin alt katlara inildikçe deprem yükleri arttığından mevcut yapıyla beraber çalışmasını sağlayan kayma kamalarının sayısı ve çapı büyür ve etkin kullanımları için gerekli olan kiriş yüzey alanı artar, bu nedenle oluşacak zayıflıklar dikkate alınmalıdır.

Komşu kolonlara bağlantısı olmayan perdelerin uç kısmında yerleştirilen esas donatıların perde kalınlaştıkça çaplarının artması etkin perde genişliğini azaltmakta yada daha kalın perde gerektirmektedir. Kolondan kolona devam eden perdelerin temel problemi daha kolay çözümlenirken, kolonlarla bağlantısı olmayan perde temellerinin yapımı karmaşıklaşmaktadır. Perde temellerinin mevcut temellerle birlikte çalışmasını sağlamak için birleşik temeller oluşturulmasının güvenli ve ekonomik olduğu incelenmiştir (Karadoğan vd. 1993).

Erzincan depremi sonrası yapılan güçlendirme çalışmalarında çerçeve gözleri çelik kompozit betonarme perdeler kullanılmış perde yapılan gözlerdeki kolonlara önyüklemeli çelik manto uygulanmıştır (Çıtıpıtıoğlu ve Uygurer, 1993). Çelik U profillerle çevrilmiş güçlendirme perdelerinde düşey U profiller kenar donatısı görevi görmekte, alt ve üst kenarlardaki rötresiz harçla yataklanmış U profiller ise katlar arasında kesme kuvvetini aktarmaktadır. Kirişler delinerek 30 mm çaplı demirler U profillere bulonlanmış ve delikler rötresiz harçla doldurulmuş. U profilleri delinmiş kirişleri güçlendirme ve perde için çalışma yüzeyi sağlama görevlerini üstlenmiştir. Betonla beraber çalışması için bu profillere sakallar kaynaklanmıştır.

Erzincan'da başka bir güçlendirme çalışmasında ilave edilen deprem perdelerinde, çerçeve ile perde dolgu duvarının birlikte çalışması için polimerli harçlı beton kullanılmış ayrıca kolon ve kirişlere kimyasal dübellere yerleştirilmiştir ( Tekel, 1993).

Erzincan'da yapılan bir başka güçlendirme çalışmasında mimari planı bozmayacak, ıslak hacimlerden uzak kalacak ve dairelerde en az tahribat yapacak şekilde deprem perdeleri eklenmiştir. Bu perdeler planda simetrik, düşeyde en üstten temele kadar sürekli, çerçevelere bağlı olmayıp yapıya kat hizalarında mafsalı bağlanmış bağımsız elemanlar şeklinde ve temelleri eski temellerle kaynaşan sürekli temeller yada perdenin bulunduğu bölgedeki dört kolon temelini kapsayan radye temel olarak düzenlenmiştir. Böyle bir düzenlemeyle hesap ve inşa kolaylığı sağlandığı saptanmıştır. Perdelerin donatıları döşemelerde açılan 25cm boş 25cm dolu perfore boşluklardan geçirilmiş ve ayrıca hemyüz olduğu kirişlerin yan yüzleri delinerek epoksi yapıştırıcılarla 26 mmlik ankraj çubukları yerleştirilmiştir. Böylece perdenin kiriş ve döşemelere bağlantıları sağlanmıştır. Güçlendirme perdelerinin yanısıra, çelik lamalar yapıştırılmak suretiyle düğüm noktaları güçlendirmesi ve çeşitli onarımlar uygulanmıştır. Epoksi ile yapıştırılan sistemlerin uygulamada güvence ve sürat sağladığı fakat pahalı olduğu, ağır temelli, bina yüksekliği boyunca sürekli, kiriş yüzeyine yapışık betonarme perdelerin uygulamada rahatlık ve bina boyunca güvenlik sağladığı, temellerin radye jeneral olarak inşa edilmesinin ise imalat hızında, genel maliyette ve ankastreliğin sağlanmasında büyük rahatlıklar getirdiği belirtilmiştir (Ülker vd., 1993).

Dinar depreminde hasar görmüş 35 adet bina işlevsel durumları bozulmayacak, ekono mi sağlayacak şekilde belirli akslardaki çerçevelerde, donatıları çerçeve kolon ve kirişlerine yerleştirilmiş epoksi ankrajlı çubuklara bağlanarak oluşturulmuş düşeyde yapı yüksekliğince sürekli yerinde dökme perdelerle güçlendirilmiştir. Perde ucunda kalan hasarlı kolonlar düşey yükler altında güvenli hale getirilmek için mantolanmıştır. Yapılan analizler güçlendirme perdelerinin yapının yanal dayanımını 2 katında fazla artırmıştır. Yapı hakim periyodu küçülmüş ve yanal ötelemeler azalmıştır, periyodun kısılması ile yapı yeterince rijitlik kazanmıştır. Yanal yüklerin %90 ı güçlendirme perdeleri ile karşılanarak mevcut kolonların yalnız düşey yükler altında çalışması sağlanmıştır (Utku ve Wasti, 1997).

Dinar'da 1995 depreminde hasar görmüş zemin + 3 normal katlı iki daireden oluşan öğretmen evleri kooperatif binaları, binanın iki yönünde ikişer adet betonarme perde oluşturularak güçlendirilmiştir. Bu binalar içinde en az hasar bulunan blokta malzeme özellikleri ultrases ölçümleri Schmidt darbeli çekici ve karotlardan elde edilen beton

mukavemetlerinin korelasyonu yapılarak %90 güvenilirlikli olarak belirlenmiştir. Ayrıca zeminde yapılan sondaj ve ölçümlerle zemin cinsi ve mukavemeti belirlenmiştir. 1975 deprem yönetmeliğine göre yapısal çözümlene yapılarak bina kısa ve uzun yönlerindeki titreşim peryotları bulunmuş ve hasar oluşumuyla ilişkileri irdelenmiştir. Güçlendirme için uygun yerlerdeki dolgu duvarlar seçilerek betonarme perde oluşturulmuş, gerekli durumlarda perde başlarındaki kolonlarda ve diğer kolonlarda da mantolama yapılmıştır. Perdelerle güçlendirilmiş sistemde mevcut kiriş ve kolonların boyutları aşağıdaki koşullara göre kontrol edilmiş, gerekiyorsa bunlarda güçlendirme yapılmıştır. Bu koşullar;

projesi mevcut kirişler; gerekli  $(A_{s \text{ mesnet}} + A_{s \text{ açıklık}}) > 1.25 \times \text{mevcut } (A_{s \text{ mesnet}} + A_{s \text{ açıklık}})$

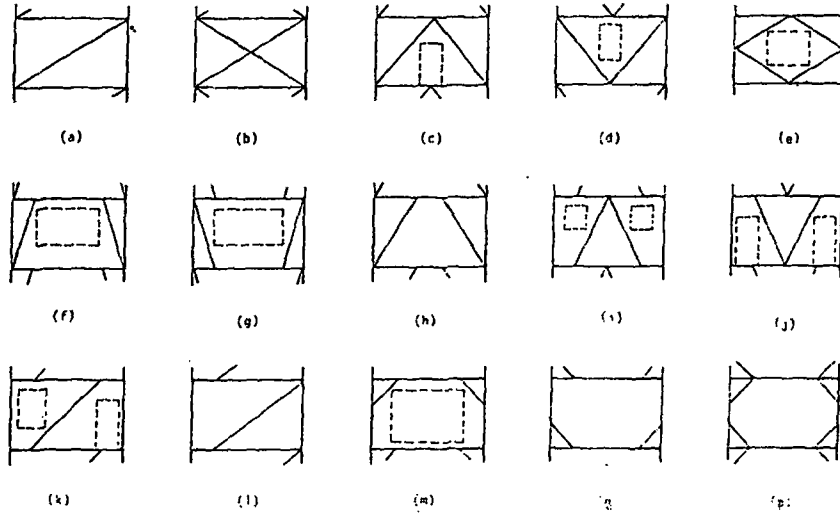
projesi olmayan kirişler; gerekli  $(A_{s \text{ mesnet}} + A_{s \text{ açıklık}}) > 0.020$

projesi mevcut kolonlar; gerekli  $A_s > 1.50 \times \text{mevcut } A_s$

projesi olmayan kolonlar; gerekli  $A_s > 0.015$

Güçlendirme ve onarım sonunda yapısal çözümlene yapılarak binanın güçlendirmeden önceki çözümleriyle karşılaştırılmıştır. İstanbul'da 1 bodrum, 1 zemin, 2 normal kattan oluşmuş düzgün aks sistemli betonarme yapıya bir kat eklenmesi durumunda düşey ve düşey+deprem yüklerine karşı düşey çelik kafeslerle güçlendirilme olanakları incelenmiştir. 1975 ve 1998 yönetmeliklerine göre bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapıda beton mukavemetinin çok düşük olmasına karşın kiriş ve kolonların kesitlerinin ve donatılarının yeterli olması nedeniyle yapının yeterli olduğu fakat elastisite modülünün düşüklüğü nedeniyle yatay yerdeğiştirme sınırlarının aşıldığı belirlenmiştir.

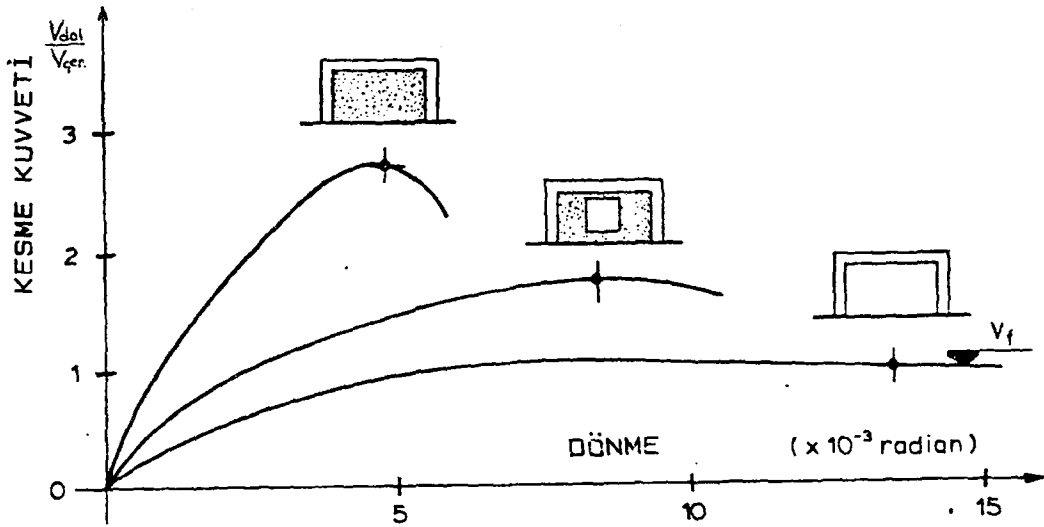
Deprem etkisiyle yatay yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması için yapıya her iki doğrultuda ikişer adet, yapı yüksekliği boyunca devam eden düşey çelik kafes kiriş düzenlenmiştir. Merkezsel diyagonalli sistemlerle mevcut sistemin yatay rijitliğinin önemli ölçüde arttığı, dışmerkez diyagonalli sistemlerin ise daha sünek davranış gösterdiği belirtilmiştir (Çelik vd., 1997).



Şekil 4.22 Düşey çelik kafes tipleri

### Dolgu duvarların etkisi

Betonarme çerçeve hesaplarında çerçeve içersindeki dolgu duvarın etkisi dikkate alınmaz fakat dolgunun dayanımı ve rijitliği etkilediği bilinmektedir. Dolgu duvarlarda sıvanın çatlama dayanımını ve çerçeve rijitliğini artırdığı, dolgu duvarlarda büyük çatlaklar oluştuğundan ve dolgu çerçeveden ayrıldıktan sonra çerçeve davranışının önem kazandığı deneylerle belirlenmiştir. (Ersoy, 1993 )



Şekil 4.23 Tuğla duvarla duvar dolguların çerçeveye etkileri

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 5.1 Plaka Yapıştırarak Güçlendirme ile İlgili Deneysel Çalışma

Hasarlı elemanların onarım ve güçlendirme metodlarından biri olan epoksi ile çelik levha yapıştırma metodu, artık yaygın olarak güçlendirme ve onarım çalışmalarında kullanılmaktadır. Levha yapıştırarak onarım ve güçlendirme çalışmalarının etkinliği ile elemanın davranış ve dayanımı üzerine etkileri, çeşitli çalışmalarla incelenmiştir.

Yeterli eğilme dayanımına sahip olmayan betonarme kirişlerin güçlendirilmesi ve/veya onarılması amacıyla kullanılan yöntemlerden en pratik olanı, kirişe eğilme bölgesinde levha yapıştırmaktır. Uygulama esnasında, yapının tamamen boşaltılmaması, kesit boyutlarında büyük artış getirmemesi ve onarımın kısa sürede tamamlanması, günümüzde bu yöntemin kullanılmasını yaygınlaştırmıştır. Bu yöntemin etkinliği ile eleman davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla dikdörtgen kesitli numuneler test edilecektir. Yapıştırıcı olarak özel bir epoksi yapıştırma harcı kullanılacaktır.

Bu amaçla düzenlenen deney programında; serbest açıklığı 1.80 m. olan basit mesnetli dikdörtgen kesitli dokuz adet kiriş açıklık ortasında etkiyen yükle yüklenmiştir. Yüklemeye kirişte çatlaklar meydana gelip kiriş hasar görünceye kadar devam edilmiştir. Deney sonuçları kirişlerin dayanım, rijitlik, süneklik etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir. Hasar gören bu kirişlerin bir kısmının alt yüzeylerine bir kısmının ise alt ve yan yüzeylerine epoksi harcı ile çelik levha yapıştırılarak onarılmış ve tekrar yükleme yapılmıştır. Ayrıca kesit ve donatı bakımından özdeş fakat uzunlukları 1 metre olan kirişler birleştirilerek aynı yöntemle güçlendirilerek davranışları incelenmiş ve fikir edinme açısından seçilen referans kirişle karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde eğilme dayanımı yeterli olmayan betonarme kirişlerin eğilme dayanımını artırmaya yönelik kiriş alt yüzeyine çelik levha yapıştırmanın etkinliği deneysel olarak araştırmıştır. Çelik levha yapıştırma işlemi eleman boyutunda çok küçük bir artış sağlayarak uygulama kolaylığı getirmektedir. Özellikle kısa sürede kullanıma girmesi gereken yapılarda

uygulanması, uygulama süresinin kısa olması nedeniyle zaman açısından da büyük fayda sağlayacaktır. Bu nedenlerle bu güçlendirme metodunun kirişin eğilme dayanımına getireceği katkılar ve kiriş davranışına yapacağı etkiler deneysel olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, epoksi yapıştırma harcı ile eğilme yüzlerine çelik plaka yapıştırılarak güçlendirilmiş aşırı hasarlı, tamamen kopmuş ve az hasarlı elemanların dayanım ve davranış özellikleri kiriş açıklık ortasında yüklenip test edilerek incelenmiş ve nasıl bir güçlendirme modelinin daha uygun olacağı belirlenmiştir.

### **5.1.1 Deneysel program**

Deneysel program a - üretilen kirişlerin kırılıp genel davranışının incelenmesi b - bu kirişlere çelik levha yapıştırılıp güçlendirildikten sonra dayanım ve davranışlarının incelenmesi c - iki ayrı elemanın uçlarından birleştirilerek oluşturulmuş elemanların davranışlarının incelenmesi amaçlanarak tasarlanmıştır.

Test edilecek kirişler beş seri olarak üretilmişlerdir. İlk üç seri boyutları 10x16/197 cm olan üçer kirişten oluşmuştur. Bu kirişlerde önce hasar meydana getirilmiş daha sonra kiriş alt yüzeylerine epoksi ile çelik plaka yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Dört ve beşinci seriler 10x16/97 cm boyutunda altışar kirişten oluşmuştur. Bu son iki serideki kirişler ikişer ikişer alından epoksi ile yapıştırılıp birleşim yerlerinde alt ve yan yüzeylerine levha yapıştırılarak birleştirilmiştir.

Her serinin üretiminde betondan 15/30 cm üçer adet silindir numune alınmış ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca 10/10/50 boyutunda numuneler üretilerek eğilmede çekme dayanımları belirlenmiştir.

## **5.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler**

Beton üretiminde Adapazarı kaynaklı kum ve çakıl ile PÇ 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. Su oranını azaltmak için Rheobuild 1000 süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.



Beton basınç dayanımı ortalama olarak B32 dir. Tüm kirişlerde iki adet  $\phi 12$  esas donatı, iki adet  $\phi 8$  montaj donatısı ve 15cm aralıklarla  $\phi 6$  etriye kullanılmıştır. Betonarme donatıların özelliklerini belirlemek için yapı malzemesi laboratuvarında çekme testleri yapılmıştır. Güçlendirme levhaları; 5/50 mm kesitli Fe 420 yapı çeliğinden, kopma gerilmesi 420 N/mm<sup>2</sup> olan levhalar olup, çelik levha çekme dayanımları metalurji laboratuvarında test edilmiştir. Epoksi reçinesi Hisphenol A ve Epichlorohydrin'den üretilmiş orta viskoziteli Epikote 828 ve düşük viskoziteli modifiye cycloaliphatic amin Epikure F201 sertleştiriciden oluşan iki bileşenli sentetik reçinedir. Yüksek mekanik ve kimyasal dirence sahiptir. Data föyleri Ek 3 dedir.

Yapıştırma işleminde reçine+sertleştirici+kuvarz kumu karıştırılarak hazırlanan yapıştırma harcı kullanılmıştır. Epoksi reçinesi : 1 ölçü reçine+0.5 sertleştirici düşük hızda karıştırılarak hazırlanmıştır. Yapıştırma harcı : hazırlanan epoksi + epoksinin 4.5 katı kuvarz kumu karıştırılarak hazırlanmıştır. Uygulama sırasında malzemenin deri ile temas etmemesine dikkat edilmeli ve uygulama karışım hazırlandıktan sonra kısa bir süre içinde bitirilmelidir. Yapıştırma harcında kullanılan kum, maksimum dane çapı 2.5 mm olan kum ile pudra halinde öğütülmüş incelikte granülometriye sahip özel bir karışımdır. Çatlaklara uygulanan epoksi enjeksiyon pompası Fukar Hebelpresse 500 cc dir. Enjeksiyon işlemi için kullanılan nipeller 7.42 cm toplam uzunlukta, alt ucu 1.035 cm ve üst kısmının maksimum genişliği 1.5 cm dir.

### 5.2.1 Deney numunelerinde kullanılan betonun hazırlanması ve malzeme deneyleri

Betonun hazırlanması;

Kirişlerin hazırlanmasında kullanılacak beton dayanımının 25Mpa olması için Otto-Graf formülüyle su /çimento oranı saptanmıştır.

$$f_{\text{amaç}} = f_{\text{çimento}} / a * w^2$$

$$w = \text{su} / \text{çimento}$$

$$a = 5$$

$$f_{\text{amaç}} = 25 + 6 = 36 \text{ işçilik kaybı gözönüne alınarak 6 Mpa artırılmıştır.}$$

$$w = \sqrt{(f_{\text{çimento}} / a * f_{\text{amaç}})}$$

$$w = \sqrt{(42.5/5*31)} = 0.52$$

Deneyde su oranı çimento ağırlığının 0.5 katı olarak alındı.

### 1m<sup>3</sup> betonda kullanılacak malzemelerin oranları:

$$1\text{m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = W_{\text{ç}}/\gamma_{\text{ç}} + W_{\text{su}}/\gamma_{\text{s}} + V_{\text{ag}}$$

$$V_{\text{ag}} = 1000 - (350/3.12 + 350*0.5) = 712.82 \text{ dm}^3$$

V<sub>ag</sub>; agrega hacmi, W<sub>ç</sub>; çimento ağırlığı, γ<sub>ç</sub> ve γ<sub>s</sub> sırasıyla çimento ve su özgül ağırlığıdır.

Agrega	Birim Ağırlık Δ (gr/cm <sup>3</sup> )	Özgül Ağırlık γ (gr/cm <sup>3</sup> )
Kum	1.52	2.50
I No	1.34	2.63
II No	1.32	2.63

Elek analizleri ile granülometri yapılarak bulunan değerler sonucu Standart Eğrilerin arasına düşecek şekilde agrega karışım oranları belirlenmiştir. Hazır beton üretiminde 16 mm den geçen oranlar kullanılmakta olduğundan paralellik sağlamak için maksimum agrega çapı 16 mm seçilmiştir. Agreganın elek analizi ve granülometri eğrisi sonuçları Çizelge 5.1 de belirtilmiştir.

Karışım oranları:

$$a_1=0.40, a_2=0.40, a_3=0.20 \text{ dir.}$$

a<sub>1</sub>; kum, a<sub>2</sub>; I no'lu çakıl, a<sub>3</sub>; II no'lu çakıl.

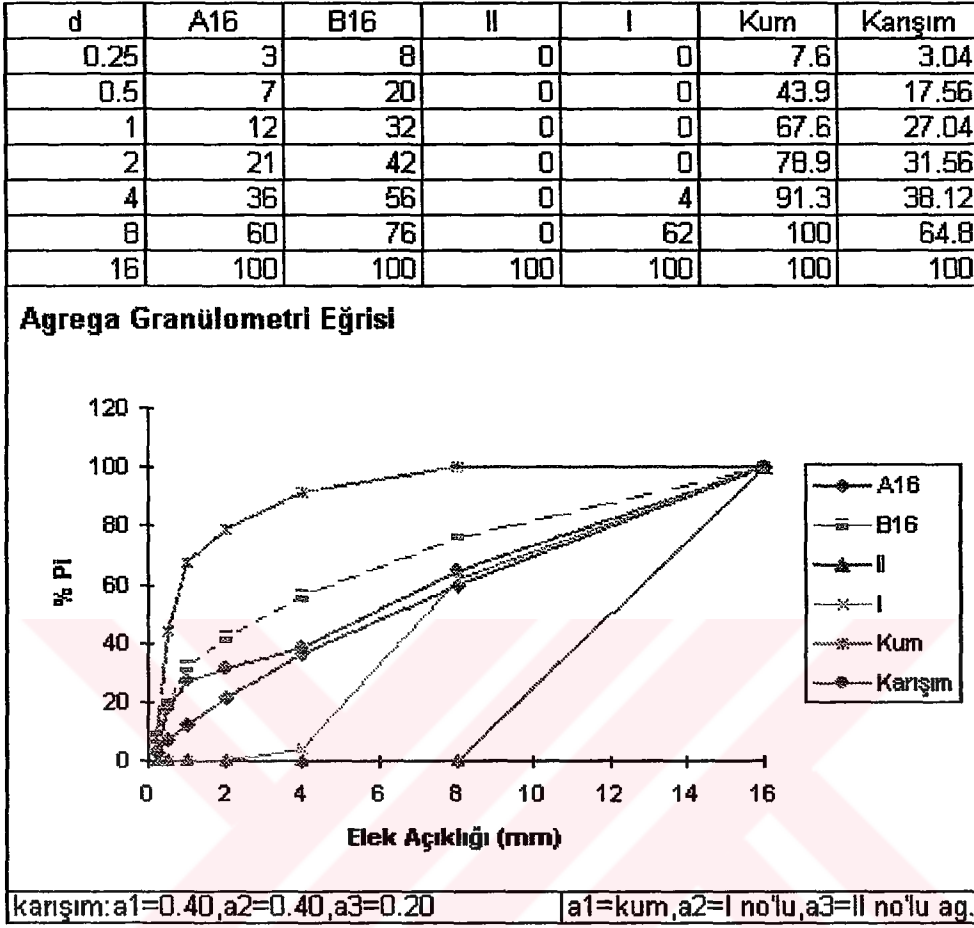
Bu agrega oranlarına göre 1m<sup>3</sup> betonda bulunması gereken agrega ağırlıkları aşağıda hesaplanmıştır.

$$W_{\text{kum}} = V_{\text{ag}} * a_1 * \gamma_{\text{kum}} = 712.82 * 0.40 * 2.50 = 712.82 \text{ kg}$$

$$W_{\text{I}} = V_{\text{ag}} * a_2 * \gamma_{\text{I}} = 712.82 * 0.40 * 2.63 = 749.89 \text{ kg}$$

$$W_{\text{II}} = V_{\text{ag}} * a_3 * \gamma_{\text{II}} = 712.82 * 0.20 * 2.63 = 374.94 \text{ kg}$$

Çizelge 5.1 Agregada elek analizi ve granülometri eğrisi



Bu hesaplar sonucu  $1\text{m}^3$  beton üretiminde kullanılacak malzeme miktarı bulunmuş ve ön üretim sonucu hesaplanan gerçek malzeme değerleri belirtilmiştir.

$1\text{m}^3$ beton	Gerçek malzeme
çimento :350 kg	372 kg
su :175 kg	188 kg
akışkanlaştırıcı :5.25kg = $W_{\text{ç}} \cdot \%1.5$	5.88 kg
kum :713 kg	760 kg
I no'lu :750 kg	797 kg
II no'lu :375 kg	398 kg

Kirişler üretilirken hazırlanacak beton miktarı, dökülecek beton hacmi, kayıplar da gözönüne alınarak hesaplanmış ve yukarıda belirtilen gerçek malzeme değerlerinden yararlanılarak kullanılacak miktarlar belirlenmiştir. Her üretimde dayanım testleri için de silindir numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıptan alınıp kirece doygun suda bekletilerek kürlenmiştir. 28 gün laboratuvar ortamında suda bekletilen numuneler sudan çıkartılmış ve 150x300 mm silindir ve 100x100x500 mm prizma numuneler malzeme özelliklerinin bulunması için test edilmişlerdir. Şekil 5.1 de malzeme testlerinde kullanılan numuneler ve uygulanan testlerin fotoğrafları görülmektedir.

Çizelge 5.2 Kiriş üretiminde kullanılan betonlara ait 15x30 cm boyutunda silindir numunelerinin deney sonuçları

Numune No	Üretim tarihi	süre gün	P <sub>basınç</sub> KN	Alan mm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cm</sub> N/mm <sup>2</sup>	E N/mm <sup>2</sup>	G N/mm <sup>2</sup>	ağırlık kg	ultrases	çekiç
deneme-I	18-3-99/15	28	590.8	17671.45	33.43	34.61/30.97	32086				
deneme-II			599.7	17671.45	33.94		22980				
deneme-III			571.5	17671.45	32.34						
deneme-IV			684.8	17671.45	38.75						
I	14-4-99/11	28	623	17671.45	35.25	36.1/32.46	33527	13969			
II K1			694	17671.45	39.27						
III			597	17671.45	33.78						
I	16-4-99/13	28	638.4	17671.45	38.67	35.96/32.26	32459	13524			
II K4			642.5	17671.45	36.3						
III			581.8	17671.45	32.92						
I	19-4-99	33	572	17671.45	32.38	34.23/32.16	32430	13756			
II K2			624.3	17671.45	35.33						
III			618.2	17671.45	34.98						
I	21-4-99	29	705.2	17671.45	39.91	42.25/38.26	34102	14635	13112	61.4-61.7	40-39-40-38-31-39-42-31-32-38
II K3			725.7	17671.45	41.05				13248	61.4-61.6	
III			809.2	17671.45	45.79				13170	61.7-61.9	35-35-39-35-39-41-42-36-36-43
I	26-4-99	30	721	17671.45	40.8	38.84/35.02	33232	14272	13130		32-34-35-35-36-34-34-34-35-33
II K5			625.8	17671.45	35.41				13115		
III			712.3	17671.45	40.31				13200		

(10x10x50 cm) Beton ve (4x4x16 cm) çimento harcı numunelerinin test sonuçları

Numune (4x4x16)	Üretim tarihi	süre gün	P <sub>basınç</sub> kg	Alan cm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> basınç N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cm</sub> ort. bas. d N/mm <sup>2</sup>	P <sub>eğilme</sub> kg	f <sub>çtk</sub> eğilme N/mm <sup>2</sup>	ağırlık gr
çimento harç	17-3-99	7	3825	16	23.906	23.7	4.68	1.1	
l=10 cm			4000	16	25		5.6	1.3	
			3550	16	22.1		4.8	1.15	
beton prizm	18-3-99	28					1480	4.44	
10x10x50							1267	3.8	
l=40 cm							1483	4.45	



a) Beton basınç deneyi



b) BA Çeliği çekme deneyi



c)Deney numuncleri



d) Beton eğilme deneyi

Şekil 5.1 Malzeme deneylerinden görüntüler.

### 5.2.2 Kirişlerde kullanılan betonarme çeliği testleri

Deney kirişlerinde B.Ç.1 kullanılmıştır. Çelik özelliklerini saptamak için her çubuktan 30 cm uzunluğunda üçer adet numune hazırlanmıştır. Bunlar havada ve suda tartılmıştır. Her numunenin üzerine numarası yazılarak ve kenarlardan 6 cm bırakılıp 1 cm aralıklarla işaretlenen çelik numunelerin havada ve suda ağırlıkları ölçülmüştür. Akma ve kopma dayanımları, uzama ve büzülme oranları belirlenmiştir. Bu değerlerin ortalamaları sırasıyla  $\phi 12$  için;  $\sigma_A = 2800 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_K = 3979 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\epsilon_k = \%33.33$   $\psi = 0.555$ ,  $\phi 8$  için;  $\sigma_A = 3316 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_K = 5173 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\epsilon_k = \%26.66$   $\psi = 0.624$  dür.

Çizelge 5.3 de çelik çubukların çekme deney sonuçları gösterilmiştir.

Deney numunelerinin havada ve suda ağırlıkları aşağıda belirtilmiştir.

$\phi 12$	ağırlık	havada	suda	hacim	$\phi 8$	ağırlık	havada	suda	hacim
W1	276.9	241.8	V1=35.1	W1	116.3	101.4	V1=14.9		
W2	273.6	238.6	V2=35	W2	116.3	101.4	V2=14.9		
W3	274.2	239.1	V3=35.1	W3	116.1	101.0	V3=15.1		

Çizelge 5.3 Donatı çekme testi sonuçları

Numu No	do mm	ds mm	F <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>	F <sub>s</sub> mm <sup>2</sup>	l <sub>0</sub> mm	l <sub>s</sub> mm	P <sub>a</sub> KN	P <sub>max</sub> KN	P <sub>k</sub> KN	f <sub>y</sub> N/mm <sup>2</sup>	çekme N/mm <sup>2</sup>	Kopma D N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Büzülme %
1	12	8	113.1	50.265	120	160.0	32	45	35	262.943	397.8885	309.469	33.33	55.5
2	12	8	113.1	50.265	120	160.0	32	45	35	262.943	397.8885	309.469	33.33	55.5
3	12	8	113.1	50.265	120	160.0	31	45	35	274.101	397.8885	309.469	33.33	55.5
1	8	5	50.3	19.635	80	100.0	17.5	26	18	348.155	517.2585	358.102	25	60.9
2	8	4.7	50.3	17.350	80	104.0	16.5	26	18	328.26	517.2585	358.102	30	65.5
3	8	5	50.3	19.635	80	100.0	16	26	18	318.313	517.2585	358.102	25	60.9

do=donatı çapı, ds=deneysonu donatı çapı, l<sub>0</sub>=deney ilk uzunluğu, l<sub>s</sub>=deney sonu uzunluğu,

F<sub>0</sub>=donatı alanı, F<sub>s</sub>=deneysonu donatı alanı, P<sub>a</sub>=akma yükü, P<sub>max</sub>=maksimum yük, P<sub>k</sub>=kopma yükü

### 5.2.3 Güçlendirme levhası çekme deneyi

Deney için çelik levhalardan 40 cm boyutunda 3 adet numune kesildi. Ölçüm yapılacak kısımda uzunluk 200 mm, genişlik yaklaşık 25 mm olacak şekilde kesilerek numuneler hazırlandı ve iki uçlarından numaralandırıldı. 5/50 mm kesitli yüzeyi temizlenerek korozyona

karşı koruyucu ile kaplandıktan sonra aderansı artırmak için kum tanecikleri yapıştırılmış olan levhaların dayanımları bu halleriyle saptanmıştır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünü belirtmek için 5x5 cm boyutunda levha parçası 2 kat büyütülerek fotoğraflandırıldı. Yine enine kesilen 2.5 cm büyüklüğünde levha parçası 3 kat büyütülerek çekilmiş fotoğrafta yapıştırma ve koruyucu tabakanın kalınlığı ve pürüz derinlikleri incelenmiştir. Şekil 5.2 de çelik levha deney numuneleri ve yüzey özelliklerini gösteren makroskopik fotoğraflar görülmektedir. Deney sonucunda çelik levhanın ortalama akma dayanımı  $\sigma_{pA} = 280 \text{ N/mm}^2$ , ortalama maksimum kopma dayanımı  $\sigma_{pK} = 411 \text{ N/mm}^2$ , uzama oranı  $\epsilon_k = \%31.33$ , büzülme oranı  $\psi = \%20$  olarak bulunmuştur. Deney sonuçları Çizelge 5.4 de belirtilmiştir.

Çizelge 5.4 Güçlendirme plakası test sonuçları

Num	tp	bpd	Fp	lo	ls	Yük	$f_{fp}$ N/mm <sup>2</sup> akma		Kopma D	Uzama	Büzülme
							üst sınır	alt sınır			
No	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	KN	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	%	%
1	5	25.61	128.1	200	241.7	55.4	308	294	433	33	55.4
2	5	25.79	129.0	200	236.0	53.7	296	285	416	28	53.7
3	5	24.86	124.3	200	241.1	51.1	285	280	411	33	51.1

tp=plaka kalınlığı, bpd= plaka deney genişliği, lo=deney ilk uzunluğu, ls=sonuç uzunluğu.

#### 5.2.4 Yapıştırma harcı deneyleri

Güçlendirme plakalarını kirişe yapıştırma işleminde, epoksi ile kuvarz kumu karıştırılarak hazırlanan bir yapıştırma harcı kullanılmıştır.

Yapıştırma harcı 1 ölçü reçine, 0.5 ölçü sertleştirici ile düşük hızda karıştırılarak hazırlanan epoksinin 4.5 katı kum eklenerek üretilmektedir. Kullanılan kum, maksimum dane çapı 2.5 mm den pudra inceliğine kadar oranlarda hazırlanmış kuvarz kumudur. Kum karışımı hazırlanmış paket olarak kullanılmıştır.

Test için 4x4x16 cm boyutunda prizma numuneler, 10x20 cm boyutunda silindir numuneler üretilmiş, eğilmede çekme ve basınç dayanımları bulunmuştur. Çizelge 5.5 de silindir numune ve prizma numune test sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Güçlendirme levhaları test numuneleri ve mikroskopik görünüşleri



Çizelge 5.5 Epoksi harcı (4x4x16 cm) prizma numunelerde eğilme ve basınç dayanımları

Numune (4x4x16)	üretim tarih	süre	P <sub>basınç</sub> KN	Alan mm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cm</sub> N/mm <sup>2</sup>	P <sub>eğilme</sub> KN	f <sub>eğilme</sub> N/mm <sup>2</sup>	ağırlık gr	ultrases
epoksi1	13-7-99	130	112	1600	70	75.8				51.9-52
epoksi2		130	128	1600	80					51.6-51.7
epoksi3		130	124	1600	77.5					50.4-50.6
epoksi	13-7-99	7	79	1600	0.0049	49.4	11.5	25.589	460.7	
		l=10cm	79	1600	0.0049		11.5	25.589	458	
			79	1600	0.0049		11.5	25.589	476.7	
ephar18ara	02/12/1999	14	101.5	1600	63.437	62.6	9	21.094		
ephar18ara		l=10cm	101.5	1600	63.437		10	23.437		
ephar18ara			97.5	1600	60.937		11	25.737		

## Yapıştırma harcı 10x20 silindir numune test sonuçları

Numune No	Üretim tarih	süre gün	P <sub>basınç</sub> KN	Alan mm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cm</sub> N/mm <sup>2</sup>	E N/mm <sup>2</sup>	G N/mm <sup>2</sup>	ağırlık Kg	ultrases
epoksiharıcı	13-7-99	130	404.5	7854	51.5	58.28		10484		
epoksiharıcı			479.4	7854	61.04		26210			
epoksiharıcı			488.8	7854	62.32					
ephar18Ara	36203	14	404.6	7854	51.51	50.74			2720	
ephar18Ara			368.2	7854	49.43		27740		2750	
ephar18Ara			402.9	7854	51.29		diy. 22000	8461	2730	

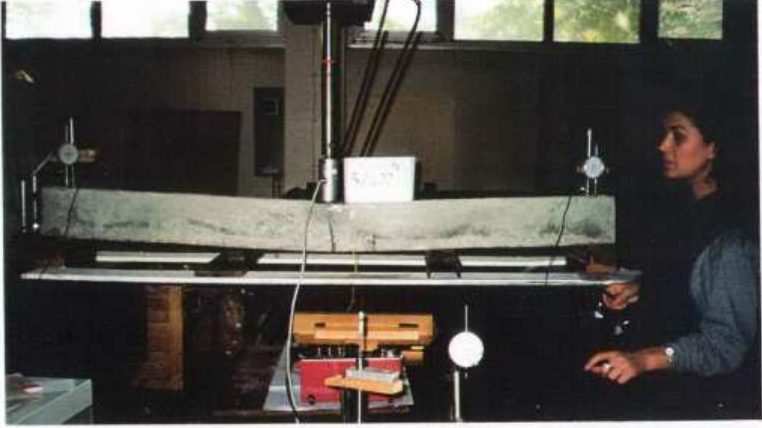
## 5.3 Deney Düzeni

Deney Platformu :

Çalışmada, çelik profillerle hazırlanmış rijit bir deney çerçevesinden oluşan platform kullanılmıştır. Deney elemanının oturduğu mesnetler açıklığı ayarlanabilir taban üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 5.3 de deney çerçevesi, ölçüm ve kayıt düzeni görülmektedir.

Yükleme Düzeni :

Yük, deney çerçevesinin üst yatay elemanına yerleştirilmiş 200 KN kapasiteli bir krika yardımıyla deney kirişin açıklık orta noktasına uygulanmıştır. Yükleme 1KN artırımlarla uygulanmış ve monitörden kontrol edilmiştir.



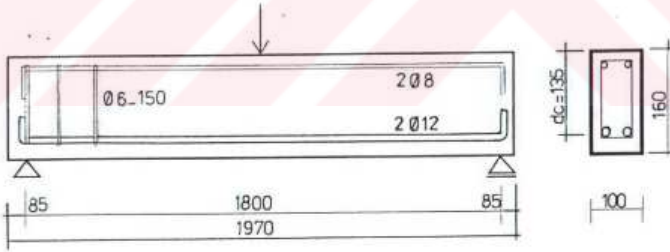
Şekil 5-3 Deney çerçevesi, ölçüm ve kayıt düzeniği

### Ölçüm Düzeni :

Deney elemanına uygulanan yük 50 KN kapasiteli yük hücresi (load-cell) ile ölçülerek doğrudan bilgisayara kaydedilmiştir. Her yük artışında açıklık ortası ve mesnetlerde oluşan yer değiştirmeler “elektronik doğrusal değişken deplasman ölçer” (LVDT) kullanılarak bilgisayara kaydedilmiştir. Ayrıca mesnet ve açıklık ortasına yerleştirilen komparatörler yardımıyla da her yük artışı için sehimler gözle okunarak kayıt tutulmuştur. Elemanların çekme ve basınç bölgelerinde ve yapıştırılan levhalarda birim deformasyonları belirlemek için strain gauge'ler yerleştirilerek strain metre ile okumalar alınmıştır.

### 5.4 Deney Kirişlerinin Detayları

Beş seri olarak tasarlanmış deney kirişlerinin ilk üç serisini oluşturan dokuz referans  $100 \times 160 \times 1970$  mm boyutundadır ve esas donatı olarak etkili derinliği 135 mm olan 2 adet 12 mm çaplı donatı, 2 adet 8 mm çaplı montaj donatısı kullanılmıştır. Kesme kırılmalarından kaçınmak için 6 mm çapında, aralıkları 150 mm olan etriye kullanılmıştır. Şekil 5.4 de kiriş detayları görülmektedir.



Şekil 5.4 Deney numunesi detayı

Son iki serideki kirişlerde  $100 \times 160 \times 970$  mm boyutlarında ve ilk üç seriye özdeş donatı kullanılarak hazırlanmıştır.

Önceden hazırlanmış donatı kafesi, paspayı seviyesi gözönüne alınarak kalıba yerleştirilmiş ve beton dökülmüştür. Boyutların küçük olması nedeniyle yerleştirme şişlenerek yapılmıştır.

24 saat kalıpta kalan numuneler kalıptan alınarak kirece doygun su ile doldurulmuş kür havuzuna yerleştirilmişlerdir. Laboratuvar ortamında 28 gün suda kalan numuneler sudan çıkarılarak mesnetler üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 5.5 deney elemanlarının üretim aşamalarını göstermektedir.

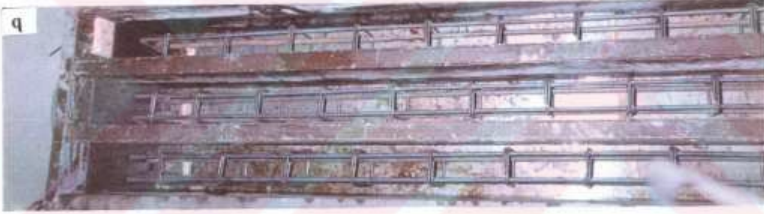
Kirişlerin üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri ve kiriş boyutları Çizelge 5.6 da özetlenmiştir.

Çizelge 5.6 Kiriş üretim ve güçlendirilmesinde kullanılan malzemelerin dayanım ve geometrik özellikleri

Deney/Serisi	Seri Numune adı	Geometrik Parametreler										Malzeme Parametreleri								
		L	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	b <sub>p</sub>	L <sub>0</sub>	f <sub>p</sub>	L <sub>0.25</sub>	L <sub>0.50</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>m</sub> /s	f <sub>c</sub>	f <sub>y</sub>	f <sub>yk</sub>	f <sub>yp</sub>	f <sub>sk</sub>	E <sub>s</sub>	E <sub>s</sub>
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> /mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
I	K11REF	1800	100	160	135						2.26	56.5/150	32.46	280	210	280	50.74	33527	22000	
	K12REF	1800									2.26		32.46	280	210	280	50.74			
	K13REF	1800									2.26		32.46	280	210	280	50.74			
II	K21REF	1800	100	160	135						2.26	56.5/150	32.16	280	210	280	50.74	32430	22000	
	K22REF	1800									2.26		32.16	280	210	280	50.74			
	K23REF	1800									2.26		32.16	280	210	280	50.74			
III	K31REF	1800	100	160	135						2.26	56.5/150	38.26	280	210	280	50.74	34102	22000	
	K32REF	1800									2.26		38.26	280	210	280	50.74			
	K33REF	1800									2.26		38.26	280	210	280	50.74			
IV	K41S1	1800	100	160	135	50	0.4	5	1000	1000	2.26	56.5/150	32.26	280	210	280	50.74	32459	22000	
	K42S2	1800				50	0.4		1000	-	2.26		32.26	280	210	280	50.74			
	K43S3	1800				50	0.15		1500	1000	2.26		32.26	280	210	280	50.74			
V	K51S1	1800	100	160	135	50	0.4	5	1000	1000	2.26	56.5/150	35.02	280	210	280	50.74	33232	22000	
	K52S4	1800				50	0.15		1500	1000	2.26		35.02	280	210	280	50.74			
	K53S21	1800				50	0.4		1000	500	2.26		35.02	280	210	280	50.74			
VI	K11S3	1800	100	160	135	50	0.15	5	1500	1000	2.26	56.5/150	32.46	280	210	280	50.74	33527	22000	
	K12S1	1800				50	0.4		1000	1000	2.26		32.46	280	210	280	50.74			
	K13S2	1800				50	0.4		1000	-	2.26		32.46	280	210	280	50.74			
VII	K21S4	1800	100	160	135	50	0.15	5	1500	750	2.26	56.5/150	32.16	280	210	280	50.74	32430	22000	
	K22S21	1800				50	0.4		1000	500	2.26		32.16	280	210	280	50.74			
	K23S1	1800				50	0.4		1000	1000	2.26		32.16	280	210	280	50.74			
VIII	K31S1	1800	100	160	135	50	0.4	5	1000	750	2.26	56.5/150	38.26	280	210	280	50.74	34102	22000	
	K32S21	1800				50	0.4		1000	700	2.26		38.26	280	210	280	50.74			
	K33S4	1800				50	0.15		1500	500	2.26		38.26	280	210	280	50.74			

yapıştırıcı kalınlığı t<sub>p</sub>=2.5 mm, Çelik Elastisite Modülü E<sub>s</sub>=2E+05 N/mm<sup>2</sup>

Üretilen kirişlerden ilk üç serideki dokuz kiriş 1800 mm açıklıkta, iki ucunda basit mesnetli olarak, kiriş ortasına tek noktadan yükleme ile maksimum kırılma yüküne kadar yüklenerek kırılmıştır. Yükleme 1000 N luk artışlar halinde uygulanmış her yük aşamasında mesnet ve açıklık ortasında oluşan düşey yer değiştirmeler, doğrudan bilgisayarla ve ayrıca gözle okunarak kaydedilmiştir. II ve III. serisindeki kirişler maksimum yüklenmiş, fakat donatının tamamına akmasına ve basınç bölgesi betonunun ezilmesine izin verilmeden, yaklaşık olarak 6 mm kalıcı sehim olacak şekilde deneyler bitirilmiştir.



Şekil 5.5 Deney kirişlerinin hazırlanması. a. Deney elemanların donatıları, b. Kalıba yerleştirilmesi, c. betonlanması, d. Üretilip kürlenmiş kiriş numuneleri

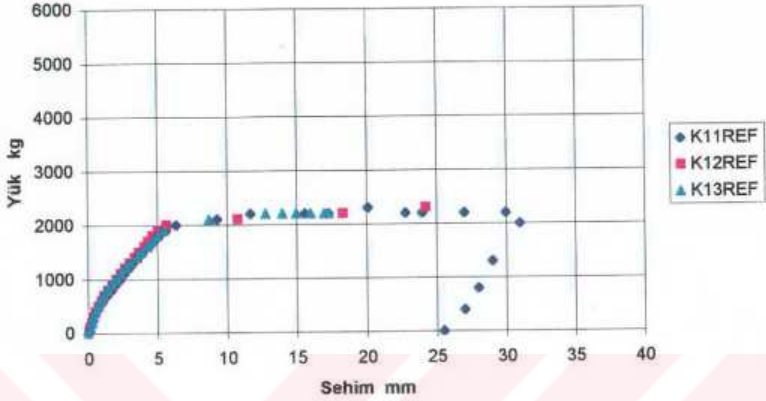
## 5.5 Üretilen Kirişlerin Deneyleri

Güçlendirme deneylerinde referans olarak kullanılan bu üç serideki kirişler maksimum yükte yüklenecek hasarlı hale getirilmiştir. I. Serideki deney kirişleri K11REF, K12REF ve K13REF olarak isimlendirilmiştir. İlk serideki üç kirişte de sünek davranış gözlenmiştir. İlk çatlaklar açıklık ortasında oluşmuş, ilerleyen yük aşamalarında çatlak sayısı, uzunluğu ve genişliği artmaya devam etmiştir. Her yük aşamasında oluşan çatlaklar işaretlenerek fotoğrafları alınmıştır. Çatlakların sayıları ve uzunlukları arttığında, yük-sehim eğrisinde sehimin daha küçük yük artımlarında arttığı monitörden izlenmiştir. Çatlakların oluşumu enerji tüketimi sağlayarak elemanda bir pekleşme bölgesi oluşturmuştur. Beton çekme gerilmelerini daha fazla karşılayamadığı durumda, gerilmeler donatı tarafından karşılanmaya başlamış ve kiriş daha fazla yük alamadan sehimler artmaya devam etmiştir. Çatlak uzunlukları tarafsız eksenini aşarak kiriş üst seviyesine yaklaşmış, çatlak genişliği artmış ve basınç bölgesinde beton ezilerek kiriş kırılmıştır. I. serideki kirişlerde sırasıyla 2.5, 2.2 ve 1.5 cm lik kalıcı sehim oluşmuştur.

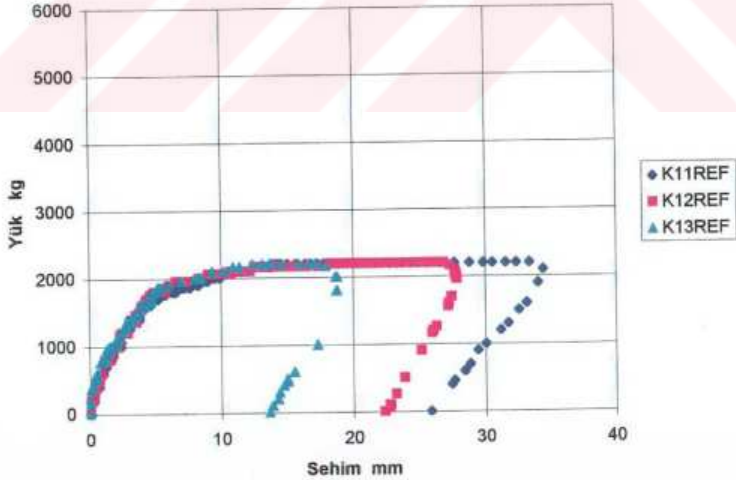
II. serideki kirişler K21REF, K22REF, K23REF ve III serideki kirişler K31REF, K32REF, K33REF ile isimlendirilmiş ve bu kirişler aynı şekilde test edilmiş her yük aşamasında fotoğrafları alınmıştır. Bu üç serideki kirişlerin tümü teorik olarak hesaplanan yükten daha büyük yüklerde kırılmıştır. İlk üç serideki kirişlerde onarım ve güçlendirme yapılacağı için bu kirişler daha sonraki deneyler için referans kabul edilmiş ve güçlendirilen kirişler buna göre sırasıyla VI., VII. ve VIII. seri olarak isimlendirilmişlerdir. Referans kirişlerin yük-sehim diyagramları çizilmiştir. (Şekil 5.6 ila Şekil 5.8 e kadar.) Ek 1 de Resim 1 ile 11 de ilk sıradaki fotoğraflar referans kirişlerinin maksimum yükteki çatlak modellerini göstermektedir.

Referans kirişlerin teorik ve deneysel maksimum yük ve eğilme momentleri Çizelge 5.7 de gösterilmiştir.

## K11REF-K12REF-K13REF Komparatör

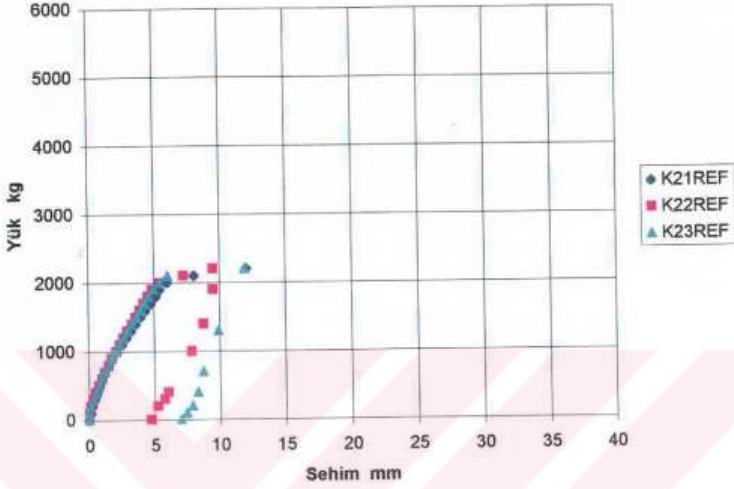


## K11REF-K12REF-K13REF

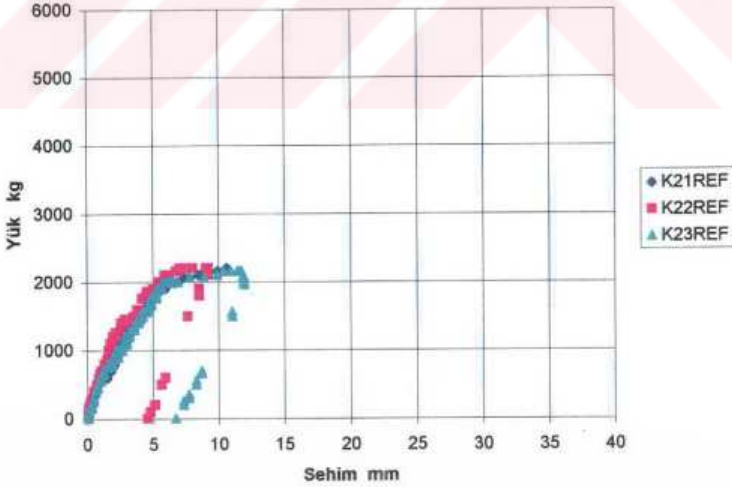


Şekil 5.6 I.seri referans kirişlerinin yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K21REF-K22REF-K33REF Komparatör



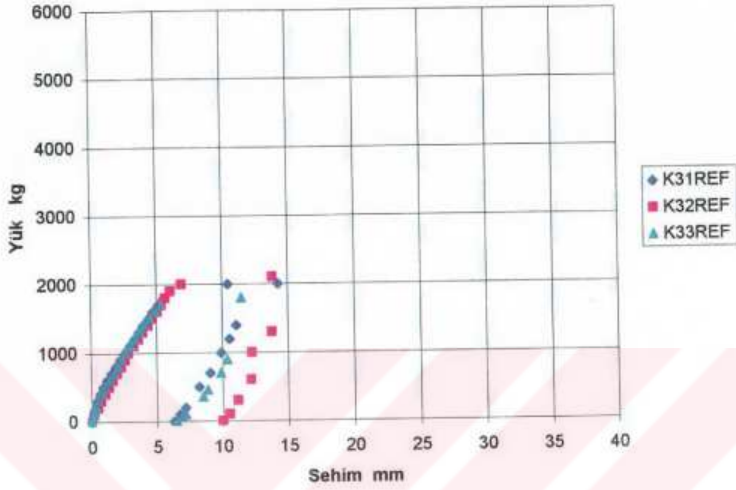
## K21REF-K22REF-K23REF



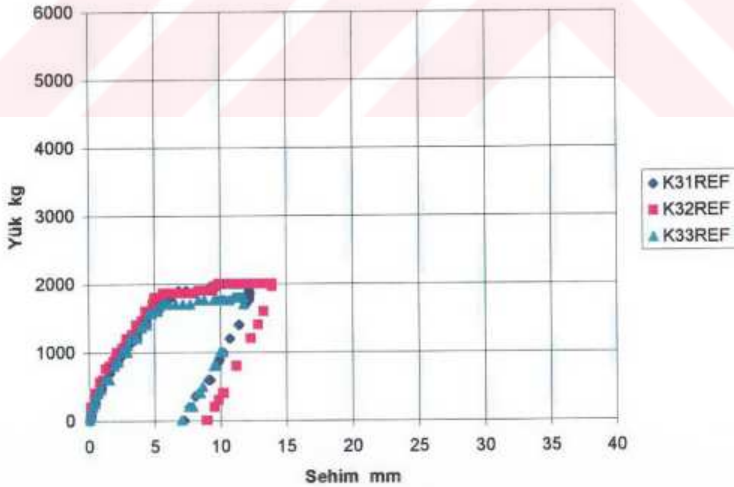
Şekil 5.7 II.seri referans kirişlerinin yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı



## K31REF-K32REF-K33REF Komparatör



## K31REF-K32REF-K33REF



Şekil 5.8 II.seri referans kirişlerinin yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

Çizelge 5.7 Deney kirişleri teorik ve deneysel max yük, max moment ve ilk çatlak yükleri ve bu yüklerdeki merkezi çökme miktarı

Seri	Numune adı	Teorik $M_{max}$ KNcm	Deney $M_{max}$ KNcm	Teorik $P_u$ I KN	Deney $P_u$ II KN	Teorik $P_{or}$ III KN	Deney $P_{or}$ IV KN	oran IV/III	oran II / I	Merkez çökme du mm	Merkezi çökme dcr mm
I	K11REF	781.5	990	17.37	22	6.7	15	2.239	1.267	34	4
	K12REF	781.5	1035	17.37	23	6.7	10	1.493	1.324	26	2.4
	K13REF	781.5	990	17.37	22	6.7	8	1.194	1.267	18	1.4
II	K21REF	780.8	990	17.35	22	6.7	9	1.343	1.268	11.5	1.9
	K22REF	780.8	990	17.35	22	6.7	9	1.343	1.268	9.5	1.7
	K23REF	780.8	990	17.35	22	6.7	8	1.194	1.268	12	1.7
III	K31REF	792.5	900	17.61	20	6.7	8	1.194	1.136	13	1.8
	K32REF	792.5	900	17.61	20	6.7	9	1.343	1.136	13.5	2.3
	K33REF	792.5	810	17.61	18	6.7	6	0.896	1.022	11.5	1.4
IV	K41S1	1073.0	1125	23.84	25	7.72	14	1.813	1.049	6	3.1
	K42S2	1065.6	1260	23.84	28	8.08	18	2.228	1.174	15	3.5
	K43S3	1073.0	1575	23.68	35	8.72	19	2.179	1.478	23	3.8
V	K51S1	1085.0	1530	24.12	34	8.72	19	2.179	1.41	17	4
	K52S4	1085.0	1575	24.12	35	8.72	17	1.95	1.451	25.5	3.3
	K53S21	1085.0	1080	24.12	24	8.72	14	1.606	0.995	6.3	3.1
VI	K11S3	1712.5	2250	38.05	50	9.51	32	3.365	1.314	11.5	6
	K12S1	1712.5	1440	38.05	32	9.51	15	1.577	0.841	11	2.6
	K13S2	1687.0	1260	37.50	28	9.51	11	1.157	0.747	6.5	2.3
VII	K21S4	1712.5	2430	38.05	54	11.14	24	2.154	1.419	30	4.3
	K22S21	1712.5	1800	38.05	40	11.14	14	1.257	1.051	9.5	2.4
	K23S1	1712.5	1710	38.05	38	11.14	19	1.706	0.999	12	3.5
VIII	K31S1	1741.0	1620	38.69	36	11.14	17	1.526	0.93	14	3
	K32S21	1741.0	1485	38.69	33	11.14	13	1.167	0.853	20	2.3
	K33S4	1741.0	2520	38.69	56	11.14	16	1.436	1.447	25	2.6

## 5.6 Çelik Levha Yapıştırarak Güçlendirme Aşamaları

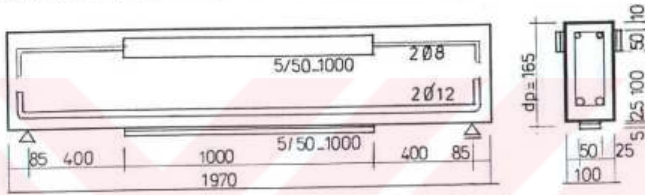
### 5.6.1 Güçlendirme modelleri

Güçlendirme uygulamasında 5 farklı güçlendirme modeli kullanılmıştır. Bu modeller S1, S2, S21, S3 ve S4 olarak isimlendirilmiştir. Levhalar kiriş eksenine simetrik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu güçlendirme modellerin detayları aşağıda belirtilmiştir:

### S1 Güçlendirme modeli:

Kiriş alt yüzünde çekme bölgesinde 1 metre uzunluğunda kiriş düşey ve yatay eksenlerine simetrik olarak çelik levha ve yanlarda üst kısma ( basınç bölgesine ) 1 metre uzunluğunda 5/50 mm kesitli montaj levhası yapıştırılmıştır. Bu güçlendirme modeliyle güçlendirilen K12REF kirişi K12S1, K23REF kirişi K23S1 ve K31REF kirişi K31S1 ile isimlendirilmiştir. Şekilde 5.9 da S1 güçlendirmesinin detayları görülmektedir.

1 metre uzunluğunda kirişler epoksi yapıştırma harcı ile birleştirildikten sonra, bu modelle güçlendirilen kirişler bir metre uzunluğunda kirişlerin birleşiminde de aynı güçlendirme modelleri kullanılmıştır. K41S1, K51S1 olarak isimlendirilmiştir.

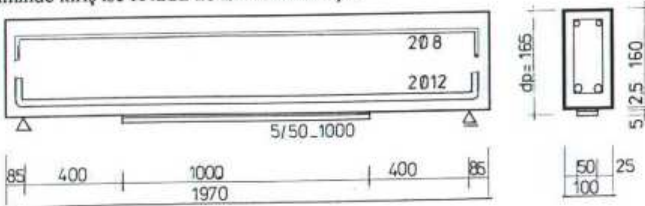


Şekil 5.9 S1 güçlendirme modeli detayı

### S2 Güçlendirme modeli :

Yalnız kiriş alt kısmında 1 metre uzunluğunda 5/50 mm kesitli levha yapıştırılmıştır. Bu güçlendirme modeliyle güçlendirilen K13REF kirişi K13S2 olarak isimlendirilmiştir.

Şekil 5.10 da S2 güçlendirmesinin detayları görülmektedir. Bir metreden oluşan iki kirişin birleşiminde kiriş ise K42S2 ile isimlendirilmiştir.

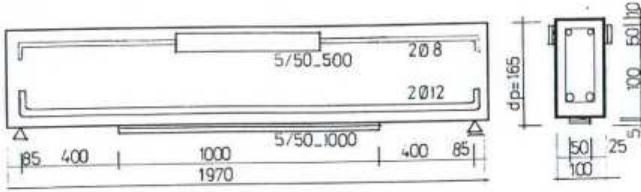


Şekil 5.10 S2 güçlendirme modeli detayı

### S21 Güçlendirme modeli :

Kiriş alt kısmında 1 metre uzunluğunda ve yanlarda 1 metreden kısa olacak şekilde 5/50

mm kesitli levha yapıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Bu güçlendirme modeliyle güçlendirilen K22REF kirişi K22S21 (yan levha 0.5m) olarak, K32REF kirişi ise K32S21 (yan levha 0.7m) ile isimlendirilmiştir. Şekil 5.11 de S21 güçlendirmesinin detayları görülmektedir. İki parçadan oluşan kiriş ise K52S21 (yan levha 0.5m) ile isimlendirilmiştir. 3 adet güçlendirme yapılmıştır.

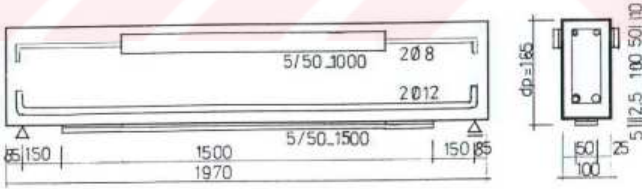


Şekil 5.11 S21 güçlendirme modeli detayı

#### S3 Güçlendirme modeli:

Kiriş alt kısmında 1.5 metre uzunluğunda ve yanlarda 1 metre olacak şekilde 5/50 mm kesitli levha yapıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Bu güçlendirme modeliyle güçlendirilen K11REF kirişi K11S3 olarak isimlendirilmiştir.

Şekil 5.12 de S3 güçlendirmesinin detayları görülmektedir. İki parçadan oluşan kiriş ise K43S3 ile isimlendirilmiştir. 2 adet güçlendirme yapılmıştır.



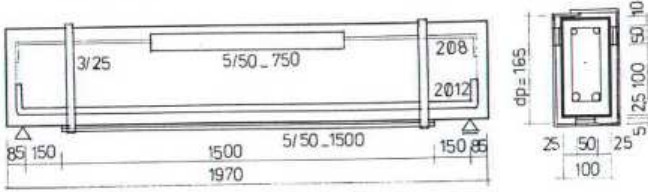
Şekil 5.12 S3 güçlendirme modeli detayı

#### S4 Güçlendirme Modeli :

Kiriş altta 1.5 metre, yanlarda 1 metre ve daha kısa 5/50 mm kesitli levha ve alt levhanın heriki uç kısımlarında bu kısımlardaki ayrılmayı önlemek üzere 3/25 mm kesitli levhalarla

sanlarak yapııştırılmıştır. K33REF Kirişi yanlardan 0.5 m plaka yapııştırılarak K33S4 ile, K21REF kirişi yanlardan 0.75 m levha yapııştırılarak K21S4 ile, isimlendirilmiştir.

Şekil 5.13 de S4 güçlendirme modeli detayı görülmektedir. İki parçadan oluşan kiriş ise yanlardan 1m levha yapııştırılarak K52S4 ile isimlendirilmiştir.



Şekil 5.13 S4 güçlendirme modeli detayı

### 5.6.2 Onarım ve güçlendirme uygulaması

Önceden maksimum yükte yüklenerek hasar oluşturulmuş I. Serideki kirişlere ters yük uygulanarak kalıcı sehim kısmen düzeltilmiştir. Kirişlerde oluşan 0.5 mm den büyük çatlaklar epoksi enjeksiyonuyla onarıldı. Uygulama yapılacak çatlak 5 cm derinliğinde delinerek dübel yerleştirildi. Çatlak çevresi tamamen macunlanarak kapatıldı. Macunlar sertleştikten sonra epoksi reçinesi enjeksiyon pompasına yerleştirilerek dübelin glasörlük kısmından çatlağa enjekte edildi. Epoksi enjeksiyonu sonrasında glasörlük kısmı kesilerek sertleşmeye bırakıldı. Çatlakların epoksiyle onarım işleminden sonra, kiriş alt ve yan yüzeyleri pürüzlendirilip temizlenerek yağ ve tozdan arındırılan yüzeylere ve çelik levhalara epoksi astar tabakası uygulanmıştır. Öncelikle levha üzerine 2-2.5 mm kalınlığında yapııştırma harcı sürülerek kiriş üzerine yerleştirilmiş ve işkence yardımıyla sıkıştırılmıştır. 24 saat sonra işkenceler sökülerek kirişler bir hafta süreyle laboratuvar ortamında açıkta bekletilmiştir. Güçlendirilen bu kirişler VI, VII ve VIII. deney serisi olarak isimlendirilmiştir. Şekil 5.14 de çatlak enjeksiyonu ve güçlendirme uygulaması aşamalarının resimleri görülmektedir. Diğer iki seri için üretilmiş 12 adet 970 mm uzunluğundaki kirişler yüzeyleri temizlenip pürüzlendirilerek yapılarak önce alınlarından epoksi harcıyla yapııştırılarak birleştirildi. Bu işlemle 1980 mm uzunluğuna ulaşan kirişlere S1, S2, S21; S3 ve S4 güçlendirme modelleri uygulandı.



Şekil 5.14 Çatlakların epoksi ile onarımları ve kirişlerde güçlendirme uygulaması.

## 5.7 Güçlendirilen Kirişlerin Deneyleri

Yukarıda belirlenen modellerle güçlendirilen kirişler 1800 mm serbest açıklıklı olarak basit mesnetlendirilmiş ve açıklık ortasında yükselerek test edilmişlerdir. Yük 1000 N luk artışlarla uygulanmış, her yük aşamasında mesnet ve açıklık ortasındaki sehimleri doğrudan bilgisayarla ve ayrıca gözle okunarak kaydedilmiştir. Güçlendirme levhalarında oluşan birim deformasyonlar strain gauge'ler yardımıyla okunmuştur. Güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri Ek 2 de Şekil 1 ila 19 da görülmektedir. Güçlendirilmiş kirişlerin çeşitli yük aşamalarında ve kırılma durumunda çatlak modelleri Ek 1 de Resim 1 ila 15 de görülmektedir.

### 5.7.1 Deney sonuçları

#### a- Yükleme:

Her 1000 N luk yük artışında sehimler okunacak ve kaydedilecek şekilde yapılmıştır. LVTD ler yardımıyla otomatik olarak alınıp bilgisayara kaydedilmiştir.

#### b- Yük-deplasman ilişkisi:

Numunelerin yükleme programı çerçevesinde denenmesi sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hazırlanan yük-deplasman ilişkileri, komparatörden gözle okuma ve bilgisayar kayıtlarından çizilmiş olarak Ek 2 Şekil 1 ila 21 arasında verilmiştir.

Eğrilerde yer alan sehimler, kiriş orta noktasında yerleştirilmiş LVDT ve Komparatörden alınmış düşey yer değiştirme değerine mesnet noktalarındaki düşey yer değiştirme değerlerinin ortalaması eklenerek belirlenmiştir. Bu şekilde hesaplamayla kiriş açıklık ortasındaki net sehim bulunmuştur. Çizelge 5.7 de ilk çatlama ve kırılma anındaki yüke karşılık gelen deplasmanlar gösterilmiştir.

## c- Enerji Tüketimi:

Deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, yük-sehim eğrilerinin altında kalan alana eşittir. Maksimum yüke karşılık gelen deplasman göz önüne alınarak yük sehim eğrisi altındaki alan hesaplanmıştır. Çizelge 5.8 de referans ve güçlendirilmiş kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 Kirişlerin enerji tüketme kapasitesi ve rijitlik azalmaları

Seri	Numune adı	Deney $P_u$ II KN	Deney $P_{cr}$ IV KN	Merkez çökme $d_u$ mm	Merkez çökme $d_{cr}$ mm	başlangıç rijitliği $P_{cr}/d_{cr}$ KN/mm	Mak yük rijitliği $P_u/d_u$ KN/mm	rijitlik azalması (%)	enerji tüketimi KN.mm	Göçme Modu
I	K11REF	22	15	34	4	3.75	0.64706	82.75	498.67	eğilme
	K12REF	23	10	26	2.4	4.16667	0.88462	78.77	398.67	eğilme
	K13REF	22	8	18	1.4	5.71429	1.22222	78.61	264.00	eğilme
II	K21REF	22	9	11.5	1.9	4.73684	1.91304	59.61	168.67	eğilme
	K22REF	22	9	9.5	1.7	5.29412	2.31579	56.26	139.33	eğilme
	K23REF	22	8	12	1.7	4.70588	1.83333	61.04	176.00	eğilme
III	K31REF	20	8	13	1.8	4.44444	1.53846	65.38	173.33	eğilme
	K32REF	20	9	13.5	2.3	3.91304	1.48148	62.14	180.00	eğilme
	K33REF	18	6	11.5	1.4	4.28571	1.56522	63.48	138.00	eğilme
IV	K41S1	25	14	6	3.1	4.51613	4.16667	7.74	100.00	aderans
	K42S2	28	18	15	3.5	5.14286	1.86667	63.70	280.00	aderans
	K43S3	35	19	23	3.8	5	1.52174	69.57	536.67	eğilme/aderans üst
V	K51S1	34	19	17	4	4.75	2	57.89	385.33	kesme/eğil/aderans rip
	K52S4	35	17	25.5	3.3	5.15152	1.37255	73.36	595.00	kesme/eğil/aderans üst
	K53S21	24	14	6.3	3.1	4.51613	3.80952	15.65	100.80	aderans
VI	K11S3	50	32	11.5	6	5.33333	4.34783	18.48	383.33	kesme/eğil/aderans
	K12S1	32	15	11	2.6	5.76923	2.90909	49.58	234.67	eğilme/aderans
	K13S2	28	11	6.5	2.3	4.78261	4.30769	9.93	121.33	aderans
VII	K21S4	54	24	30	4.3	5.5814	1.8	67.75	1080	eğilme
	K22S21	40	14	9.5	2.4	5.83333	4.21053	27.82	253.33	kesme/eğilme rip
	K23S1	38	19	12	3.5	5.42857	3.16667	41.67	304.00	kesme/eğilme rip
VIII	K31S1	36	17	14	3	5.66667	2.57143	54.62	336.00	eğilme/aderans rip
	K32S21	33	13	20	2.3	5.65217	1.65	70.81	440.00	eğilme/kesme
	K33S4	55	16	25	2.6	6.15385	2.24	63.60	933.33	eğilme

## c- Rijitlik :

Deney numunelerinin eğilme rijitlikleri, yük deplasman ilişkilerinden, eğrinin doğrusal olduğu ilk çatlama yüküne kadar olan kısmının eğimi bulunarak hesaplanmıştır. Yine yük-sehim eğrisinde kırılma yüküne göre bulunan eğime göre rijitlik kaybı hesaplanıp, ilk çatlak anındaki rijitlikle karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.9).



Çizelge 5.9 Güçlendirilmiş kirişlerin dayanım ve enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırılması

Seri	Numune adı	Plaka uç ankraji	Deney $P_u$ KN	Merkezi çökme du KN	Enerji Tüketme Kapasitesi KN.mm	referansa normalize max yük K1/K3	referansa normalize Enerji tük.	K12REFle Normalize $P_u$ Yükü	K12REFle normalize Enerji tük.	Göçme Modu
I	K11REF		22	34	498.67			0.9566217	1.2508361	eğilme
	K12REF		23	26	398.67			1	1	eğilme
	K13REF		22	18	264.00			0.9566217	0.6622074	eğilme
II	K21REF		22	11.5	168.67			0.9566217	0.4230769	eğilme
	K22REF		22	9.5	139.33			0.9566217	0.3494983	eğilme
	K23REF		22	12	176.00			0.9566217	0.4414716	eğilme
III	K31REF		20	13	173.33			0.8695652	0.4347826	eğilme
	K32REF		20	13.5	180.00			0.8695652	0.451505	eğilme
	K33REF		18	11.5	138.00			0.7826087	0.3461538	eğilme
IV K13	K41S1	yok	25	6	100.00	1.136364	0.378788	1.0869565	0.2508361	aderans
	K42S2	yok	28	15	280.00	1.272727	1.060606	1.2173913	0.7023411	aderans
	K43S3	yok	35	23	536.67	1.590909	2.032628	1.5217391	1.3461538	eğilme/aderans üst
V K33	K51S1	yok	34	17	385.33	1.888889	2.792271	1.4782609	0.9665552	kesme/eğilme/aderans
	K52S4	var	35	25.5	595.00	1.944444	4.311594	1.5217391	1.4924749	eğilme/aderans üst
	K53S21	yok	24	6.3	100.80	1.333333	0.730435	1.0434783	0.2528428	aderans
VI	K11S3	yok	50	11.5	383.33	2.272727	0.768717	2.173913	0.9615385	kesme/eğilme/aderans
	K12S1	yok	32	11	234.67	1.454545	0.588629	1.3913043	0.5886288	kesme/aderans
	K13S2	yok	28	6.5	121.33	1.272727	0.459596	1.2173913	0.3043478	aderans
VII	K21S4	var	54	30	1080	2.454545	6.403162	2.3478261	2.7090301	eğilme
	K22S21	yok	40	9.5	253.33	1.818182	1.818182	1.7391304	0.6354515	kesme/eğilme/aderans
	K23S1	yok	38	12	304.00	1.727273	1.727273	1.6521739	0.7625418	kesme/eğilme/aderans
VIII	K31S1	yok	36	14	336.00	1.8	1.938462	1.5852174	0.8428094	kesme/aderans rip
	K32S21	yok	33	20	440.00	1.65	2.444444	1.4347826	1.1036789	eğilme/kesme
	K33S4	var	56	25	933.33	3.111111	6.763285	2.4347826	2.3411371	eğilme

Güçlendirilmiş kiriş yüklerinin ve sağlamlık modüllerinin referanslarıyla karşılaştırılması K5/K33, K4/K13 ile Güçlendirilmiş kiriş yük ve sağlamlık modüllerinin K12REF kirişiyle karşılaştırılması

### 5.7.2 Davranış ve kırılma modları

Alt ve yanlarda 1 metre uzunluğunda levhalarla yapılan güçlendirme sonucu kirişler yeterli performans göstermiş, dayandıkları maksimum yük oranı artmış, fakat enerji tüketimi kapasitesi azalmıştır. Yük arttığında yapıştırıcı, gerilme birikimlerindeki artış nedeniyle dayanımını kaybederek ayrılmıştır. Bazı kirişlerde ise aderans kaybı daha geç olduğu için levha donatı alt hizasında betonu yırtarak gevrek bir kırılma şekli göstermiştir. Bu kırılma modları Ek 1 de Resim 1 ila 11 deki fotoğraflarda görülmektedir.

Test edilen kirişlerin çoğu teorik olarak hesaplanan yükten daha büyük yüklerde kırılmıştır. Kirişlerin gözle görülen ilk çatlak yükleri hesaplanan ilk çatlak yüklerinden daha büyüktür. Yalnız K33REF kirişinde %10 daha düşük bulunmuştur.

Kirişlerin karşıladıkları maksimum yük genelde hesaplanan maksimum yükten daha büyüktür. Deneysel yükler teorik olarak hesaplanmış yüklere göre K12S1, K13S2, K23S1,

K31S1, K32S21 ve K53S21 kirişlerinde sırasıyla %16, %25, %01, %7, %15, %05 daha düşük bulunmuştur. Çizelge 5.7

Güçlendirilmiş kirişlerin maksimum yükleri, referanslarıyla karşılaştırıldığında dayandıkları yük oranında 1.5 kat ve daha büyük artışlar olmuştur. Çizelge 5.9

Fikir edinme açısından IV. seri kirişler K13REF ile V. seri kirişler K33REF ile karşılaştırılmışlardır. Bu iki serideki kirişler karşılaştırıldıkları referanslara göre daha büyük yüklere dayanmışlardır. Ek 2 Şekil 20

#### **5.7.2.1 Referans Kirişlerin Davranışları**

Referans kirişler hasar oluşturmak ve gerçek kırılma modlarını bulmak için test edildiğinde; ilk çatlaklar açıklık ortasında görülmeye başlanmış, bu çatlaklar mesnetlere doğru yayılırken önceden oluşan çatlaklar da uzamış ve genişlemiştir. Çatlakların oluşumu enerji tüketimi sağlayarak kirişin erken kırılmasını önlemiş ve bu devrede kiriş yükünde artış devam etmiştir. Kirişte daha fazla çatlak oluşmayıp bütün gerilmelerin donatı tarafından karşılandığı devrede yük sabit kalarak çatlaklar genişlemiş ve boyları basınç bölgesine ulaşmış ve üst yüzeyde beton ezilerek kırılmıştır. I. Seri referans kirişleri tipik eğilme kırılması modunu göstermişlerdir. II. ve III. serilerde esas donatının tamamen akmasına izin verilmeyerek maksimum sehim 6.5 mm civarında kalacak şekilde deneyler sonlandırılmıştır. Bu iki seride (II ve III serisi) güçlendirme sonrası referanslara göre artış yüzdesi I. seridekilere göre daha büyük olmuştur.

Fikir edinme açısından IV. seri kirişler K13REF ile V. seri kirişler K33REF ile karşılaştırılmışlardır. Bu iki serideki kirişler karşılaştırıldıkları referanslara göre daha büyük yüklere dayanmışlardır. Ek 2 Şekil 21

#### **5.7.2.2 Güçlendirilmiş Kirişlerin Davranışları**

K11S3 kirişi :

K11REF Kirişi S3 güçlendirme modeliyle güçlendirilmiştir. Alttan 1,5 metre ve yanlarda tarafsız eksene yakın 1 metre uzunluğunda plakalar, hasar oluşturulduktan sonra geniş çatlakları epoksi enjeksiyonu yapılmış kirişe, yapıştırılmış ve 1 hafta laboratuvar ortamında

kürlenmiştir. Güçlendirme etkisiyle dayanımda %127 artış olmuştur. Rijitlik artışı ilk çatlak yükünü arttırmıştır ve ilk çatlak kiriş ortasına yakın oluşmuştur. Dayanımda artış ile kiriş kesme dayanımı aşılmış, levha uçlarında oluşan 3 ve 4 no'lu çatlaklar ilerleyerek, güçlendirme plakası akmadan levha uçlarında ayrılma olmuş ve çatlaklar genişleyerek yük düşmeye başlamıştır. Kırılma modu kesme-eğilme-aderans kaybı ile olmuş, enerji tüketimi referans kirişe ulaşamamış, gevrek bir kırılma sergilenmiştir. (Ek1 Resim 1)

#### K12S1 Kirişi:

K12REF kirişi alt ve yanlardan 1m levha yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Dayanımı %45 oranında artmıştır. Rijitlikte küçük artış nedeniyle ilk çatlak yükü biraz artmıştır. İlk çatlak açıklık ortasında onarım macununun kenarında görülmüştür, daha sonraki çatlaklar levha uçlarında oluşmuş ve eğimli olarak ilerlemiştir. 3 no'lu çatlak ile 4 no'lu çatlak arasında (Ek1 Resim 2) levha ayrılmış ve 4 no'lu çatlak eğimli olarak üst levhaya ulaşmıştır ve genişlemiştir. Kırılma yükü teorik yüke ulaşamamış kesme-aderans kırılması ile kiriş erken kırılmıştır. Sünekliği çok düşük, enerji tüketme kapasitesi düşüktür. Gevrek bir davranış sergileyerek kesme-aderans modunda kırılmıştır, levha akma kapasitesine ulaşamamıştır.

#### K23 S1 Kirişi:

İlk çatlaklar açıklık ortasında oluşmuş mesnetlere doğru yayılmıştır. Levha ucunda oluşan VI nolu çatlak kiriş esas donatısının üst hizasından betonu çatlatarak önce yatay sonra eğimli olarak yan levhaya doğru ilerlemiş alt levha ise kirişten ayrılmıştır. Kırılma betonun yırtılmasıyla aderans-kesme modunda olmuştur. (Ek1 Resim 6)

#### K13S2 Kirişi:

K13REF kirişi S2 güçlendirme modeli ile altta 1 metre levha yapıştırılarak güçlendirilmiş, ilk çatlaklar açıklık ortasında gözlenmiş yük artışlarında levha uçları ve kesme bölgelerinde çatlaklar oluşmuştur.

K13S2 kirişi referansa oranla %27 daha fazla yük taşımış, fakat sünekliği yarı yarıya azalmıştır, levhanın ucunda ayrılmalar nedeniyle kiriş erken göçmüştür. Enerji tüketimi %54 azalmıştır, duktilitesi referansına göre 4 kat azalmıştır. Adreans-kesme göçmesi ile kırılmıştır. (Ek1 Resim 3)

**K31S1 Kirişi:**

K31REF kirişi S1 modeliyle güçlendirilmiştir. Dayanım artışı %80 dir. Rijitliğin artışı ilk çatlak yükünü arttırmıştır. İlk çatlaklar levha uçlarında başlamış, ortalara doğru yayılmıştır. Levha ucundaki çatlak donatı hizasında yatay olarak ilerlemiştir. Artan yüklerde bu çatlak 45° eğimle üst levhaya ulaşmıştır. Maksimum yükte alt ve yan levhalar ayrılarak kesme-aderans modunda kırılmıştır. (Ek1 Resim 7)

**K32S21 Kirişi:**

K32REF kirişine alt yüzeyde 1m yanlarda 70cm plaka yapıştırılarak güçlendirilmiştir. İlk çatlak yükü artmış, çatlaklar kiriş orta kısmında başlayıp yük artımlarında mesnetlere doğru hızla yayılmıştır. İlerleyen yük aşamalarında levha uçlarında başlayan çatlaklar aşırı gelişerek 45° eğimlenmiş beton tabakasını da kopararak teorik yüke ulaşmadan eğilme-kesme kırılmasıyla göçmüştür. Dayanım artışı %65, enerji tüketme kapasitesinde artış ise %144 olmuştur. Levha uzunluğu daha büyük olsaydı veya uçlarda sargılama ile ankraji yapılsaydı kiriş eğilme modunda kırılacaktı. Kiriş teorik olarak hesaplanan yüke ulaşamamış, fakat referansına göre başarılı bir davranış sergilemiştir. (Ek 1 Resim 8)

**K22S21:**

K22REF kirişi alttan 1m yanlarda 0.5 m levha yapıştırılarak güçlendirilmiştir. İlk çatlaklar açıklık ortasında oluşmuş mesnetlere doğru yayılmıştır. Artan yüklerde levha ucundaki çatlak %45 eğimlenmiş beton hafifçe yırtılmış ve levha kirişten ayrılarak kesme-aderans modunda göçmüştür. (Ek1 Resim 5)

**K33S4 Kirişi:**

K33REF kirişi alttan 1,5 m, üst yanda 0,5 m uzunluğunda levha yapıştırılarak güçlendirilmiş, alt levhanın uçlarından 3/25 mm kesitinde çelik levhalarla sarılarak ankrajlanmıştır. İlk çatlaklar açıklık ortalarında oluşmuş, giderek mesnetlere doğru yayılmış ve uzamışlardır. Levha uçlarından başlayan çatlaklar 4800kg'da %45 eğilerek devam etmiştir. 5600 kg'da üst beton ezilmiş, bu yükte (10 dakika) ısrar edilince ön taraftaki üst levha ayrılmış, ortadaki II no'lu çatlak genişlemiş ve güçlendirme plakası akmıştır. Tipik eğilme davranışı

göstermiştir. Yük artışı referans kirişin 3 katı (%211) dır. Enerji tüketimi ise 5,5 katı olmuştur (Ek 1 Resim 9). Güçlendirme modelleri içinde en etkili olan modeldir.

K21S4 Kirişi ile aynı davranışı göstererek eğilme modunda kırılmıştır. Yük atışı %145 ve enerji tüketimi 5,4 kat atmıştır. Basınç bölgesi ezilmiş ve yan levha açılmıştır. (Ek1Resim 4)

**Birleştirilmiş Kirişler :**

IV. ve V. seriyi oluşturan bu kirişler iki ayrı kirişin yapıştırılmasıyla oluşturulmuş ve güçlendirme modelleri uygulanmıştır.

K43S3 kirişi bu seri içinde en iyi davranışı sergilemiştir. Maksimum yük teorik olarak hesaplanan yükü 1.4 katı geçmiştir. Kiriş ortasında oluşan ilk çatlak genişleyip beton basınç bölgesi ezilmiştir fakat çelik levha akma deformasyonuna ulaşamamıştır, (Ek 1 Resim 10.a.b).

K42S2 kirişi eğilme davranışına yakın bir davranış sergilemiş fakat levha uçlarının ayrılması nedeniyle aderans kırılması ile göçmüştür, (Ek 1 Resim 10.c ).

K41S1 kirişinde, alt levha aderans gerilmelerini karşılayamamış ve levha uçlardan ayrılarak ani bir şekilde göçmüştür, (Ek 1 Resim 10.d ).

K51S1 kirişi, alt levhanın kirişten ayrılırken beton örtüyü de kopararak eğilme-aderans kırılması ile göçmüştür, (Ek 1 Resim 11.a.b).

K52S4 kirişi, eğilme davranışı göstermiş, basınç bölgesi betonun ezilmesi ve yan levhanın atmasıyla göçmüştür, (Ek 1 Resim 11.c ).

K53S21 kirişi, alt levhanın aniden ve erken ayrılması ile aderans kırılmasıyla göçmüştür, (Ek1 Resim 11 c.d) .

Birleştirilmiş kirişler içinde en iyi davranış gösterenler K52S4 ve K51S1 kirişleridir.

Bütün serilerdeki kirişlerin davranışları Ek2 Şekil 1 ila 21 de verilen yük-sehim eğrilerinden incelenebilir.

### 5.7.3 Dayanımda artış

Güçlendirilmiş kirişlerin dayanımları incelendiğinde kendi referans kirişlerine oranla yük taşıma kapasitelerinde %25 in üzerinde artış sağlanmıştır. Dayanımda en yüksek artış S4 güçlendirme modeliyle sağlanmıştır. K33S4 kirişinde artış %211, K12S4 kirişindeki dayanım artışı %145 dir. S3 güçlendirme modeli ile de %127 oranında dayanım artışı sağlanmıştır. İki kısa kirişin birleştirildiği IV ve V serileri dışında bütün güçlendirilmiş serilerde kirişlerin dayanım artışı %45 in üzerindedir, (Çizelge 5-9).

Güçlendirilmiş kirişler K12REF kirişiyle karşılaştırıldığında bütün kirişlerin daha büyük yük karşıladıkları görülmüştür, (Çizelge 5.11).

K21REF kirişi ile karşılaştırıldığında;

S1 güçlendirme modeli ile sağlanan dayanım artışı en az %39 ile K12S1 kirişinde, en çok %65 ile K23S1 kirişinde olmuştur. K12S1 %39, K31S1 %56 oranında dayanım artışı göstermiştir.

Birleştirilmiş kirişler K51S1 %52 dayanım artışı gösterirken, K41S1 %9 ile en az dayanım artışı göstermiştir.

S2 güçlendirme modelinde % 21 oranında dayanım artışı olmuştur.

S21 modelinde, K22S21 %73, K32S21 %43 dayanım artışı sağlamıştır.

Birleştirilmiş kiriş K53S21 deki %4 düşük artış donatıdaki süreksizlik ve biraz da yapıştırma hatasından kaynaklanmıştır. VII (7gün) ve VIII (14gün) serilerinde yapıştırıcı kür süresinin farklı olması, dayanım artışı açısından herhangi bir fark sağlamamıştır. Yan levhannın kısılması dayanımı artırmıştır.

S3 güçlendirmesi ile dayanım K43S3 kirişinde %52, K11S3 kirişinde %117 artmıştır. K11S3 kirişi bu artışı kesme kuvveti açısından karşılayamamıştır.

S4 güçlendirme modeli ile güçlendirilen kirişlerin dayanımı mükemmel derecede artmıştır. K21S4 %134 ve K33S4 kirişi %143 daha fazla yüke dayanmışlardır.

Birleştirilmiş kiriş K52S4 ise, %52 dayanım artışı sağlanmıştır.

#### 5.7.4 Enerji tüketme kapasitesi

Enerji tüketme kapasitesi yük-sehim eğrilerinden yararlanılarak, eğri altında kalan alanın hesaplanmasıyla bulundu. Yükün düşmeye başladığı andaki sehim maksimum kabul edildi. Bu değerler Çizelge 9 da enerji tüketim kapasitesi sütununda gösterilmiştir. Ayrıca kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri K12REF kirişinin enerji tüketme kapasitesine göre karşılaştırıldığında en iyi sonuç S3 ve S4 güçlendirme modelleriyle sağlanmıştır. S4 güçlendirmesi ile en iyi enerji tüketim artışı sağlanmıştır. K11S3 kirişinde en düşük seviyede enerji tüketimi sağlanmıştır. Bu düşüklüğün kirişteki kalıcı deformasyonun çok büyük olmasından ileri geldiği söylenebilir.

S4 modelinde en iyi enerji tüketme kapasitesi sağlanması, güçlendirme levhasının uçlarından sarılmış olmasıdır. Kırılma modu eğilme kırılmasıdır.

Kirişler K12REF ile karşılaştırıldığında yine S3 ve S4 modeli kirişlerin enerji tüketiminin arttığı ve S4 güçlendirmesinin en iyi olduğu görülmüştür.

K12REF ile karşılaştırıldığında enerji tüketimi; referans kirişlerinden K11REF kirişinde %25, güçlendirilmiş kirişlerden K21S4 (14gün kür) kirişinde %170, K33S4 (14 gün kür) kirişinde %134 kat artış göstermiştir.

Birleştirilmiş kirişlerden K43S3 kirişinde % 34, K52S4 kirişinde %49 enerji tüketim artışı görülmektedir.

K12REF ile karşılaştırıldığında

S1 modeli güçlendirmeleri referansa oranla K12S1 kirişi %41, K23S1 kirişi %24, K31S1kirişi %16, birleştirilmiş K41S1 kirişi %75 daha düşük enerji tüketmiştir.

K51S1 kirişi ise bunlardan farklı bir davranış göstererek %34 daha fazla enerji tüketmiştir.

S2 Güçlendirmeleri referansa oranla K42S2 %30 daha az, K13S2 ise %70 daha az enerji tüketme kapasitesine sahiptir.

S21 modeli güçlendirmesinde referansa oranla K22S21 kirişi %36 daha az enerji tüketmiştir. K32S21 kirişi ise %10 daha fazla enerji tüketmiştir. Birleştirilmiş K53S21 kirişi ise %75 ile en az enerji tüketimi göstermiştir.

S3 güçlendirmeleri ile referansa oranla, birleştirilmiş K43S3 kirişinde %34 daha fazla K11S3 kirişinde ise %4 daha az enerji tüketilmiştir.

S4 güçlendirmelerinde referansa oranla K52S4 %49, K33S4 %134, birleştirilmiş kiriş K12S4 %170 daha fazla enerji tüketmişlerdir. S4modeli güçlendirmeler içinde en güvenli modeldir.

Çizelge 5.10 Kiriş rijitliklerinin başlangıç eğimine göre hesabı

Seri	Numune adı	Deney $P_u$ KN	Deney $P_{cr}$ KN	Merkez çökme $d_u$ mm	Merkez çökme $d_{cr}$ mm	Oran $d_u/d_{cr}$	rijitlik		rijitlik azalması (%)	referansa başlangıç rijitlikoranı	baş.rij/ K12ref	enerji tüketimi KN.mm	Göçme Modu
							$P_{cr}/d_{cr}$ KN/mm	$P_u/d_u$ KN/mm					
I	K11REF	22	15	34	4	8.5	3.75	0.6471	82.75		0.9	498.67	eğilme
	K12REF	23	10	26	2.4	10.833	4.1667	0.8846	78.77		1	398.67	eğilme
	K13REF	22	8	18	1.4	12.857	5.7143	1.2222	78.61		1.371429	264.00	eğilme
II	K21REF	22	9	11.5	1.9	6.0526	4.7368	1.913	59.61		1.136842	168.67	eğilme
	K22REF	22	9	9.5	1.7	5.5882	5.2941	2.3158	56.26		1.270588	139.33	eğilme
	K23REF	22	8	12	1.7	7.0588	4.7059	1.8333	61.04		1.129412	176.00	eğilme
III	K31REF	20	8	13	1.8	7.2222	4.4444	1.5385	65.38		1.066667	173.33	eğilme
	K32REF	20	9	13.5	2.3	5.8696	3.913	1.4815	62.14		0.93913	180.00	eğilme
	K33REF	18	6	11.5	1.4	8.2143	4.2857	1.5652	63.48		1.028571	138.00	eğilme
IV	K41S1	25	14	8	3.1	1.9355	4.5161	4.1667	7.74		1.083871	100.00	aderans
	K42S2	28	18	15	3.5	4.2857	5.1429	1.8667	63.70		1.234286	280.00	aderans
	K43S3	35	19	23	3.8	6.0526	5	1.5217	69.57		1.2	536.67	eğilme/aderans üst
V	K51S1	34	19	17	4	4.25	4.75	2	57.89		1.14	385.33	Kesmeeğil/aderans
	K52S4	35	17	25.5	3.3	7.7273	5.1515	1.3725	73.36		1.236364	595.00	eğilme/aderans üst
	K53S21	24	14	6.3	3.1	2.0323	4.5161	3.8095	15.65		1.083871	100.80	aderans
VI	K11S3	50	32	11.5	6	1.9167	5.3333	4.3478	18.48	1.422222	1.28	383.33	kesmeeğil/aderans
	K12S1	32	15	11	2.6	4.2308	5.7892	2.9091	49.58	1.384615	1.384615	234.67	kesme eğilme/aderans
	K13S2	28	11	6.5	2.3	2.8261	4.7826	4.3077	9.93	0.836957	1.147826	121.33	aderans
VII	K21S4	54	24	30	4.3	6.9767	5.5814	1.8	87.75	1.178295	1.339535	1080	eğilme
	K22S21	40	14	9.5	2.4	3.9583	5.8333	4.2105	27.82	1.101852	1.4	253.33	kesme/eğilme aderans
	K23S1	38	19	12	3.5	3.4286	5.4286	3.1667	41.67	1.153571	1.302857	304.00	kesme/eğilme aderans
VIII	K31S1	36	17	14	3	4.6667	5.6667	2.5714	54.62	1.275	1.36	336.00	kesme eğilme /aderans rip
	K32S21	33	13	20	2.3	8.6957	5.6522	1.65	70.81	1.444444	1.356522	440.00	eğilme/kesme
	K33S4	56	16	25	2.6	9.6154	6.1538	2.24	63.80	1.436897	1.478923	933.33	eğilme

başlangıç rijitliği=ilk çatlak yükü/sahim  $d_u/d_{cr}$ =sahim sönüklük katsayısı

### 5.7.5 Levha yapıştırılarak güçlendirilmiş kirişlerin rijitliği

Test numunelerinin rijitliği yük deplasman eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. Eğrinin doğrusal kaldığı kısmın eğimidir. Başlangıç rijitliği ile kopma anındaki rijitliği Çizelge 5.10 da verilmiştir. Aynı tabloda başlangıç rijitliğine göre kopmadaki rijitliğin azalması gösterilmiştir.



I. seride referans kirişlerde rijitlik azalması ile karşılaştırıldığında, aynı kirişlerin onarılıp güçlendirildikten sonraki rijitlik azalması oranları düşmüştür. Güçlendirilmiş kirişler referanslarına göre daha rijittir. Çatlaklar, sehim ve deformasyonlar daha azdır.

II. serideki referans kirişlerin rijitlik azalması ile karşılaştırıldığında VII. serideki S4 modeli ile güçlendirilmiş K21S4 kirişinin rijitlik azalması referans kirişe göre daha fazla olmuştur.

S4 modeliyle güçlendirilmiş bu kiriş daha sünek davranış göstermiştir, aynı serideki diğer iki kiriş referanslarına göre daha rijittir.

III. seride rijitlikte azalma oranları ile karşılaştırıldığında VIII. serideki S4 ve S21 kirişinde azalma daha fazladır. Bu kirişler referanslarına oranla düktil davranış göstermişlerdir. S1 güçlendirmesi ile kiriş rijitliği referansa oranla artmıştır.

Güçlendirme modellerine göre rijitlikler karşılaştırıldığında:

S1 güçlendirmelerinin rijitlik azalması karşılaştırıldığında içlerinde en rijit K41S1 kirişidir. Bu kiriş plakaların atması ile kırılmıştır.

S2 güçlendirmelerinde birleştirilmiş K42S2 kirişi daha sünek K13S2 kirişi daha rijit davranış göstermiştir. Birleştirilmiş K42S2 kirişi yapışma kısmından ayrılarak kırıldığında Komparatör ve LVDT ler yerlerinden oynamış olabilirler.

S21 modelinde, birleştirilmiş K53S21 kirişi en rijit davranışı sergilemiştir. Kırılma modu aderans kırılması nedeniyle çok ani olmuştur. K22S21 kirişi, rijitlik azalması en fazla olan başka bir deyişle en az rijit olan K32S21 ise eğilme -kesme modunda kırılmıştır.

S3 güçlendirmesinde, birleştirilmiş K43S3 kirişi sünek davranış göstermiştir, K11S3 kirişi daha rijit bir davranış sergilemiştir.

S4 güçlendirmesi ile bütün kirişlerde % 65 in üzerinde rijitlik azalması vardır. Birleştirilmiş K52S4 kirişi eğilme-aderans, diğerleri eğilme modunda kırılmışlardır.

Seriler başlangıç rijitliklerine göre incelendiğinde, kendi referanslarına göre;

K11S3 %42, K12S1 %38daha rijit, K13S2 %27 düşük rijitliktedir.

K21S4 %17, K22S21 %10, K23S1 %15, K31S1 %27 K32S21 % 44, K33S4 %43 rijittir.

K12REF ile karşılaştırıldıklarında bütün kirişlerin başlangıç rijitlikleri daha büyüktür. Yalnız K32REF kirişi %6, K11REF kirişi %10 düşük rijitliktedir.

Çizelge 5.11 Aynı tip güçlendirmelerin karşılaştırılması

Seri	Numune adı	Plak uç ankr	Dene Pu KN II	Merketme çökme	Enerji Tüketme Kapasite KN.mm	referans normaliz max yü I	referans normaliz Ener.Tök II	K12REF normaliz Pu yükü III	K12REF normaliz Ener.Tök IV	Alt plak boyu cm	yan plak boyu cm	enerji tüketimi %	dayanım artışı %	baş rij/akma rij Ku/Kcr azalma	Göçme Modu	
IV	K42S2	yok	28	15	280	1.2727	1.0606	1.21739	0.70234	100	100	30	27	21	63.7	aderans
VI	K13S2	yok	28	6.5	121.33	1.2727	0.4596	1.21739	0.30435	100	100	70	27	21	9.93	aderans
V	K62S4	var	35	25.5	595	1.8889	2.7923	1.52174	1.49247	150	100	49	88	52	73.36	kesme eğilme/aderans üst
VII	K21S4	var	54	30	1080	2.4545	6.4032	2.34783	2.70903	150	75	170	145	134	67.75	eğilme
VIII	K33S4	var	55	25	933.33	3.1111	6.7633	2.43478	2.34114	150	50	134	211	143	63.6	eğilme
IV	K41S1	yok	25	6	100	1.1364	0.3786	1.06696	0.25084	100	100	75	13	8	7.74	aderans
V	K51S1	yok	34	17	385.33	1.8889	2.7923	1.52174	1.34615	100	100	34	88	52	57.89	kesme eğilme/aderans
VI	K12S1	yok	32	11	234.67	1.4545	0.5886	1.3913	0.58863	100	100	41	45	39	49.58	kesme eğilme/aderans
VII	K23S1	yok	38	12	304	1.7273	1.7273	1.65217	0.76254	100	100	24	72	65	41.67	kesme eğilme/aderans
VIII	K31S1	yok	36	14	336	1.8	1.9385	1.56522	0.84281	100	75	16	80	56	54.62	kesme eğilme/aderans rip
IV	K43S3	yok	35	23	536.67	1.5909	2.0328	1.52174	1.34615	150	100	34	59	52	69.57	eğilme/aderans üst
VI	K11S3	yok	50	11.5	383.33	2.2727	0.7687	2.17391	0.96154	150	100	4	127	117	18.48	Kesme eğilme/aderans
VII	K63S21	yok	24	6.3	100.8	1.3333	0.7304	1.04348	0.25284	100	50	75	33	4	16.65	aderans
VII	K22S21	yok	40	9.5	253.33	1.8182	1.8182	1.73913	0.63545	100	50	36	81	73	27.28	kesme eğilme/aderans
VIII	K32S21	yok	33	20	440	1.85	2.4444	1.43478	1.10368	100	70	10	65	43	70.81	eğilme/kesme

III ,IV ve R sütunlarında bütün kirişler K12 REF kirişi ile karşılaştırılmıştır.

I ve II sütunlarında kirişler kendi referanslarıyla, IV. seri K13REF ile V. seri K33REF ile karşılaştırılmıştır.

### 5.7.6 Şehim süneklik katsayısı

Kirişlerin sünek davranış göstermesi için toplam donatı yüzdesi şartnamelerde verilmiş belirli sınırlar içinde olmalıdır. Referans kirişler süneklik koşulunu sağlayacak sınırlar içinde donatılarak hazırlanmıştır. Test edilen referans kirişler eğilme modunda kırılmıştır. Daha sonra levha yapıştirılarak güçlendirilen bu kirişlerde toplam donatı oranı arttığı için süneklikte azalma oluşacaktır. Güçlendirme modellerinin süneklik üzerine etkileri farklar göstermiştir.

Kirişlerin yük deplasman eğrisinde maksimum deplasmanın, ilk çatlak yükündeki deplasmana oranı ile bulunmuştur. Deplasman süneklik katsayısı en yüksek kiriş 12.86 ile K13REF kirişidir. Güçlendirilmiş kirişler içerisinde K33S4 kirişi 9.62, K43S3kirişi 6.05, K21S4 kirişi 7.73, K32S21 kirişi 8.7 katsayısıyla en düktil davranışı sağlamışlardır. Referanslarıyla karşılaştırıldığında VI. serideki güçlendirilmiş kirişlerin (K11S3, K12S1, K13S2) düktilite oranları önemli ölçüde azalmıştır.

Güçlendirme modellerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırılması ise Ek2 Şekil 15 ila 19 da görülmektedir.

## 6 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 6.1 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yapılardaki hasar sebeplerini belirlemek ve nedeni belli olan hasarları değerlendirmek, yapılacak iyileştirme çalışmalarının esasını oluşturur. Bu çalışmada çeşitli etkenlerle meydana gelen hasarların ortaya çıkış nedenleri, betonarme bileşenlerinin birbiriyle ve dış etkenlerle etkileşimi nedeniyle oluşan hasarlar, deprem ve yangın gibi nedenlerle oluşan hasarlar ve bu hasarların yapıyı etkileme derecelerinin belirlenmesi için gerekli çalışmalar incelenmiştir.

Çeşitli hasarların yapıda meydana getirdiği yetersizliklerin derecesinin belirlenmesi, buna göre yapılabilecek onarım ve güçlendirme çeşitleri, bunların etkinliği belirtilmiştir. Güçlendirme yöntemlerinden biri olan epoksi ile çelik levha yapıştırma metoduyla, eğilme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin güçlendirilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Beşinci bölüm deneysel çalışmanın detayları ve değerlendirmelerini içermektedir. Bu bölümde deney kirişlerinin davranışları özetlenerek sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

Eğilme dayanımı yetersiz kirişler, çekme yüzeylerine epoksi yapıştırma harcı kullanılarak beş farklı modelde çelik levha yapıştırılarak güçlendirilmiş ve düşey yük etkisi altında test edilmiştir.

Levha ekleyerek kiriş güçlendirilmesinde, levha ve beton arasında tam yapışma olduğu varsayılmıştır. Eğilme halinde levha moment kolu, beton içindeki aynı kesitli donatıya göre daha büyük olduğundan taşıma gücü artmıştır. Yapılan hesaplar sonucu kırılma modları eğilme olan kirişlerin çoğunun eğilme davranışı gelişmiş fakat göçme, plakanın ayrılması, betonun donatı alt hizasında kopması şeklinde kesme/eğilme veya aderans/kesme modlarında olmuştur.

Güçlendirilmiş kirişlerin davranışları ve kırılma modları:

Aynı serideki kirişler karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

#### IV. Seri kirişlerinin karşılaştırılması:

Bu serideki kirişler iki ayrı kirişin yapıştırılmasıyla oluşturulmuş ve güçlendirme uygulanmıştır.

K43S3 kirişi bu seri içinde en iyi davranışı sergilemiştir. Maksimum yük teorik olarak hesaplanan yükü 1.4 katı geçmiştir. Kiriş ortasında oluşan ilk çatlak genişleyip beton basınç bölgesi ezilmiştir, fakat çelik levha akma deformasyonuna ulaşamamıştır.

K42S2 kirişi eğilme davranışına yakın bir davranış sergilemiş fakat levha uçlarının ayrılması nedeniyle aderans kırılması ile göçmüştür.

K41S1 kirişinde, alt levha aderans gerilmelerini karşılayamamış ve levha uçlardan ayrılarak, ani bir şekilde göçmüştür.

Ek 1 Resim 10 da dördüncü serideki üç kirişe ait kırılma modları ve Ek 2 Şekil 13 de yük-sehim eğrileri görülmektedir.

#### V. Seri kirişlerinin karşılaştırılması:

Beşinci seriyi oluşturan kirişler de iki ayrı kirişin uç uca yapıştırılmasıyla oluşturulmuş ve güçlendirilmiştir. Bu seride bütün kirişlerde maksimum yük teorik yükü aşmıştır. K52S4 ve K51S1 kirişleri en iyi davranışı sergilemişlerdir.

K51S1 kirişi, alt levhanın kirişten ayrılırken beton örtüyü de kopararak eğilme-aderans kırılması ile göçmüştür.

K52S4 kirişi, eğilme davranışı göstermiş, basınç bölgesi betonun ezilmesi ve yan levhanın atmasıyla göçmüştür.

K53S21 kirişi, alt levhanın aniden ve erken ayrılması ile aderans kırılmasıyla göçmüştür.

Ek 1 Resim 11 de beşinci serideki üç kirişe ait kırılma modları ve Ek 2 Şekil 14 de yük-sehim eğrileri görülmektedir.

#### VI. Seri kirişlerinin karşılaştırılması:

Birinci serideki kirişlerin maksimum yüklenip aşırı hasar verdirildikten sonra güçlendirilmesiyle beşinci seri oluşturulmuştur. Bu serideki üç kiriş de referanslarının çok üstünde yük taşımışlardır. Maksimum yük taşıma kapasiteleri artarken bu yüklerdeki sehimler ve enerji tüketme kapasiteleri ise azalmıştır.

K11S3 kirişi referansına göre 2.2 kat fazla yük taşıyarak en büyük dayanım artışını göstermiştir. Kiriş dayanımı artarken levha uçlarından başlayan 45° eğimli çatlaklarla kesmeli eğilme modunda göçmüştür. Ek1 Resim 1 de K11REF ve K11S3 kirişlerinin kırılma modunda çatlak modelleri ve Ek 2 Şekil 1 de bu iki kirişin yük-sehim şekillerinin karşılaştırılması görülmektedir.

K12S1 kirişinin dayanımı artmış sünekliği ise azalmıştır. Güçlendirme levhasının uç kısımları betondan ayrılmış ve betona yapışık kaldığı noktada 45° eğimli olarak çatlayıp aderans-kesme modunda göçmüştür. Ek 1 Resim 2 de K12REF ve K12S1 kirişlerinin kırılma modunda çatlak modelleri ve Ek 2 Şekil 2 de bu iki kirişin yük-sehim eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.

K13S2 kirişinde, levha uçları kirişten ayrılarak aderans kırılmasıyla göçmüştür. Bu serideki en zayıf davranışı gösteren kiriştir. Ek 1 Resim 3 de K13REF ve K13S2 kirişlerinin kırılma modunda çatlak modelleri ve Ek 2 Şekil 3 de bu iki kirişin yük-sehim eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Bu serideki tüm kirişlerin yük-sehim davranışı Ek 2 Şekil 4 de görülmektedir.

#### VII. Seri kirişlerinin karşılaştırılması:

Bu serideki kirişler ikinci serideki kirişlerin maksimum yüklenip hasar verildikten sonra güçlendirilmesiyle oluşturulmuştur ve dayanımları, referanslarının dayanımının 1.5 katından fazla olmuştur.

K21S4 kirişi mükemmel bir eğilme davranışı göstermiş, güçlendirme plakası akmış, beton basınç bölgesi ezilmiş ve yan levha ayrılmıştır. Yük taşıma kapasitesi 2.5 kat artmıştır, bu serideki kirişler içinde en iyi davranışı sergilemiştir. Ek 1 Resim 4 de K21REF ve K21S4 kirişlerinin kırılma modunda çatlak modelleri ve Ek 2 Şekil 5 de bu iki kirişin yük-sehim Şekillerinin karşılaştırılması görülmektedir.

K22S21 kirişinin dayanımı artmış, güçlendirme levhası hafif açılmış ve betona yapışık kaldığı noktada 45° eğimli çatlayarak aderans-kesme kırılması ile göçmüştür. Ek 1 Resim 5 de K22REF ve K22S21 kirişlerinin kırılma modunda çatlak modelleri ve Ek 2 Şekil 6 da bu iki kirişin yük-sehim Şekillerinin karşılaştırılması görülmektedir.

K23S1 kirişinin dayanımı artmış fakat levha sağ uçta betonu da kopararak kesme-aderans kırılmasıyla göçmüştür. Ek 1 Resim 6 da K23REF ve K23S1 kirişlerinin kırılma modunda

çatlak modelleri ve Ek2 Şekil 7 de bu iki kirişin yük-sehim eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Bu serideki tüm kirişlerin yük-sehim davranışı Ek 2 Şekil 8 de görülmektedir.

#### VIII. Seri kirişlerinin karşılaştırılması:

Bu serideki kirişler üçüncü serideki kirişlerin maksimum yüklenip hasar verdirildikten sonra güçlendirilmesiyle oluşturulmuştur. Üç kirişin de dayanımı ve eğilme kapasiteleri artmıştır.

K31S1 kirişinin dayanım ve rijitliği artmış ve levha sol uçta betonu donatı alt hizasında kopararak eğilmeli-kesme aderans moduyla göçmüştür. Ek 1 Resim 7 de K31REF ve K31S1 kirişlerinin kırılma modunda çatlak modelleri ve Ek 2 Şekil 9 da bu iki kirişin yük-sehim eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.

K32S21 kirişinin eğilme davranışı artmış, levha sol uçta betonu koparıp 45° eğimle basınç bölgesine ulaşarak eğilme-kesme modunda göçmüştür. Ek 1 Resim 8 de K32REF ve K32S21 kirişlerinin kırılma modunda çatlak modelleri ve Ek 2 Şekil 10 da bu iki kirişin yük-sehim eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.

K33S4 kirişi en iyi eğilme davranışını göstermiş, yük artışı 2.5 kat olmuş ve enerji tüketme kapasitesi artmıştır. Bu kiriş eğilme modu ile göçmüştür. Ek 1 Resim 9 da K33REF ve K33S4 kirişlerinin kırılma modunda çatlak modelleri ve Ek 2 Şekil 11 de bu iki kirişin yük-sehim eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Bu serideki tüm kirişlerin yük-sehim davranışı karşılaştırılması Ek 2 Şekil 12 de görülmektedir.

#### Aynı model güçlendirmelerin karşılaştırılması:

S1 modeliyle güçlendirilmiş kirişler karşılaştırıldığında en iyi davranış K51S1 ve K31S1 kirişlerinde görülmüştür. Bu güçlendirme modeliyle dayanım artmış fakat enerji tüketme kapasitesi yeterince gelişmemiştir. Ek 2 Şekil 15 de S1 modeliyle güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri görülmektedir.

S2 güçlendirme modeliyle dayanımda artış sağlanmıştır. İki parçadan oluşan K42S2 kirişinin enerji tüketme kapasitesi K13S2 den 2.3 kat büyüktür. K13S2 kirişi çok rijit davranış

sergilemiştir. Ek 2 Şekil 16 da S2 modeliyle güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri görülmektedir.

S21 güçlendirmeleri karşılaştırıldığında en iyi davranışı K32S21 kirişi göstermiştir. K53S21 kirişi aderans kırılmasıyla erken göçmüştür. Erken göçmenin sebebi, bu kiriş güçlendirilirken, yapıştırma harcının uzun süre beklediği için yapıştırıcı özelliğini kaybetmiş olmasındandır. Ek 2 Şekil 17 de S21 modeliyle güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri görülmektedir.

S3 güçlendirmelerinde dayanım artışı çok yüksektir. K43S3 kirişinin enerji tüketme kapasitesi K11S3 kirişinin 1.5 katıdır. Ek 2 Şekil 18 de S3 modeliyle güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri görülmektedir.

S4 güçlendirmeleri içinde en iyi davranış K21S4 kirişinde olmuştur. Hem dayanım hem de enerji tüketme kapasitesi artmıştır. Diğer güçlendirme modellerine göre büyük üstünlük sağlamıştır. Ek 2 Şekil 19 da S4 modeliyle güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri görülmektedir.

S1, S2 ve S21 güçlendirmeleri içinde S21 güçlendirmesi optimum çözümü sağlayacaktır. En iyi güçlendirme modeli ise S4 modelidir. Bu modelle güçlendirilmiş kirişlerde dayanım ve süneklik artmıştır.

## 6.2 Sonuçların Değerlendirilmesi

Güçlendirme için hazırlanan modellerin dayanım ve eğilme davranışı üzerine etkileri incelendikten sonra, sınırlı sayıda deney elemanı üzerinde yapılan gözlemlerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Bütün kirişler güçlendirilmeden önce ulaştıkları maksimum yükü aşmıştır.
- İlk üç serideki bütün kirişlerin ilk kırılma modu eğilme kırılmasıdır.
- Güçlendirilmiş kirişler esas kesitten daha güçlüdür.

- Güçlendirme sonucu artan donatı yüzdesi nedeniyle kirişler rijitleşmiş, çatlak ve deformasyonlar ise azalmıştır.
- Az hasar oluşturulmuş elemanlar güçlendirildikten sonra, aşırı hasar verilip güçlendirilenlere göre daha iyi davranış sergilemiştir. Yük taşıma kapasiteleri ve enerji tüketme kapasiteleri daha büyüktür.
- Artan eğilme kapasitesi ve dayanım artışı ile taşınan fazla yük nedeniyle kayma dayanımı yetersiz kalacağından kayma donatısı kullanılması gerekecektir.
- Levha yapıştırma uygulaması betonda ilk çatlakların oluşumunu geciktirmiştir, diğer bir anlatımla ilk çatlak oluşması için gereken yük artmıştır.
- Yapıştırıcı rijitliğinin büyük olması ilk çatlak yüklerine kadar performansın artışı açısından etkili olmuş, rijitliği artırmış, fakat maksimum yük seviyelerinde kayma ve normal gerilmelerde aşırı artış sağlayarak plakanın kirişten ayrılmasına, ayrılmadığı noktalarda ise beton paspayı tabakasının esas donatı alt hizasından donatıya paralel olarak kopmasına neden olmuştur.
- VI. serideki güçlendirilmiş kirişlerde erken göçme, esas kesite göre düktilite oranının azalması nedeniyledir.
- Levha yapıştırılmış kirişin yüksek rijitliği nedeniyle yeterli enerjinin tüketilemeyişi, çelikte yüksek gerilmeler meydana getirmiş ve levha uçları aniden betondan sıyrılmıştır. Levha ile kiriş arasında yeterli yapışma aderansının olduğu durumlarda beton örtü tabakasını donatıya paralel olarak koparmıştır.
- Yapıştırıcı uygulanırken yapılan hatalar da aderans göçmelerine neden olmuştur.
- Uygulama sırasında yüzey hazırlığı, harcın hazırlanması, astarlama ve yapıştırma sırasındaki yetersizlikler güçlendirilmiş kirişin performansını etkilemiştir. Örneğin K41S1 kirişi yüzey temizlenmesi ve pürüzlendirme eksikliği, K53S21 kirişinde ise yapıştırma harcının geç uygulanması dayanımı olumsuz etkilemiştir.
- Güçlendirilmiş kirişlerde toplam donatı oranı arttığı için düktilitenin azaldığı gözlemlenmiştir. Bazı modellerde kırılma modu, levha uç kısımlarında kayma ve normal gerilmelerinin etkisiyle düktil eğilme modundan çok gevrek kesme moduna dönüşmüştür.
- Uç sargısı yapılmış (S4 güçlendirme modeli) kirişlerde kırılma modu eğilme kırılmasıdır.
- Uç sargısı kirişin enerji tüketme kapasitesini artırmıştır.



- Basınç yüzeyine yakın olarak yapıştırılmış levhalar davranışı önemli derecede etkilemiştir. Yan levhaların kullanılmadığı S2 modeli güçlendirme, diğerlerine göre en küçük değerleri vermiştir.
- Eğilme dayanımının artışı sonucu karşılanan yük, kesme dayanımının aşılması nedeniyle kesme kırılmasına neden olabilir. Başka bir ifadeyle bu durumda dayanım azalması kesme etkisi nedeniyle olacaktır. (K23S1, K11S3, K22S21, K32S21 kirişleri kesme/eğilme kırılması)
- Güçlendirme plakalarında çoğunlukla akma durumuna ulaşamamıştır. Yalnızca K43S3, K21S4, K52S4, K33S4, kirişlerinde güçlendirme levhası akma deformasyonuna ulaşmıştır.
- Güçlendirme levhası yüzeyinde oluşturulan pürüzlülük yapıştırma yüzeyine ve sonuca katkıda bulunmuştur.
- Üst yan yüzeylere yapıştırılan montaj levhaları basınç bölgesindeki zayıflıkları karşılayarak davranışa olumlu katkıda bulunmuştur. Fakat maksimum yüklerde beton-yapıştırıcı arayüzeyi gerilmeleri karşılanamayarak yan levha betondan ayrılmıştır.
- Aşırı hasarlı ve iki ayrı parça yapıştırılarak hazırlanan kirişler teorik maksimum dayanımın üzerinde dayanım göstermiştir.
- İki parçanın birleştirilmesinden oluşan kirişlerin, az hasarlı kirişlere göre davranışları daha gevrek olmuştur. Bu kirişler içinde en iyi davranış S4 güçlendirmesi ile K52S4 kirişinde sağlanmıştır.
- Aşırı hasarlı kirişlerde güçlendirme sonrası dayanım artışı büyük olup, kırılma modu eğilme kırılmasından kesme ve aderans kırılmasına dönüşmüş, süneklik azalmıştır.
- Az hasarlı kirişler (VII ve VIII serileri) diğerlerine oranla eğilme davranışına daha yakın davranış göstermiş, fakat güçlendirme modellerine göre kırılma modları aderans ve beton örtü tabakasının kopması ile kesme modlarına dönüşmüştür.
- Onarım ve güçlendirme işlemi kısa sürede bitirilmekte ve yapışma 24 saat gibi kısa bir sürede tamamlanmaktadır. Yapıştırıcı kür süresinin etkisi çok önemli olmamıştır. Kirişin kesit artışı minimum düzeyde olmuştur.
- İki ayrı kirişin birleşmesinde (IV ve V serisi) başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Birdöküm kiriş kadar eğilme momenti taşıma kapasitesi olduğu görülmüştür.
- Sargı şeklinde dışardan yapılan uç ankrajı eğilme davranışını önemli derecede attırmıştır.

-Uç ankraji yapılmış kirişler referans kirişlere ve diğer güçlendirme modellerine göre daha büyük dayanım artışına ve enerji tüketme kapasitesine sahip olmuşlardır.

-Güçlendirme levhası ve kiriş yüzey hazırlıklarının özenle yapılması aderansı artırmıştır.

-Kiriş basınç bölgesindeki zayıflıklar yan yüzeylere yapıştırılan levhalarla yeterli düzeyde karşılanmıştır. Yan yüzeye yapıştırılan plakalar kirişin eğilme donatısı artışını dengelemede etkili olmaktadır.

-Çekme bölgesine yapıştırılan plakanın uzunluğunun artması ile davranışta önemli gelişme sağlanmıştır, (S3 ve S4 modeli).

-Kirişte hasar sonucu oluşmuş çatlakların epoksi enjeksiyonu ile onarılması bölgesel zayıflıkları önleyecek ve malzemede süreklilik sağlayacaktır.

### 6.3. Öneriler

Deney elemanlarının onarım ve güçlendirilmesi sırasında ortaya çıkan sorunlar ve kirişlerin deney aşamasında sergiledikleri davranışlarında gözlenen bazı önemli noktalara uygulama açısından bakıldığında aşağıdaki öneriler yapılabilir:

-Güçlendirme levhası, artan moment koluyla taşıma gücünü artıracaktır. Bu artış nedeniyle karşılanacak olan yükün kesme kuvveti taşıma gücüne etkisi kontrol edilerek gerekli önlemler alınmalıdır. Bu önlemler kiriş kesme bölgelerinde plakalar yapıştırma ya da dıştan etriye sarma şeklinde olabilir.

-Levha uç bölgelerinde süreksizlik nedeniyle çelik levhaların uç kısımlarda kirişten ayrılması sonucu kiriş eğilme davranışında olabilecek azalmalar uç ankraji yapılarak önlenebilir.

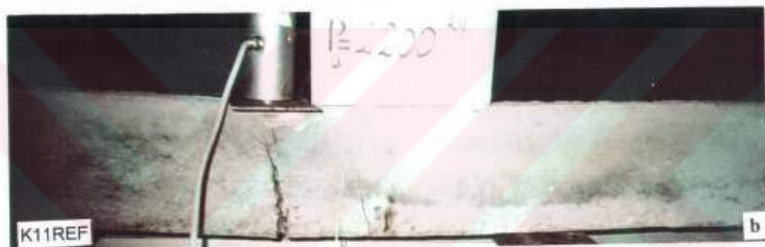
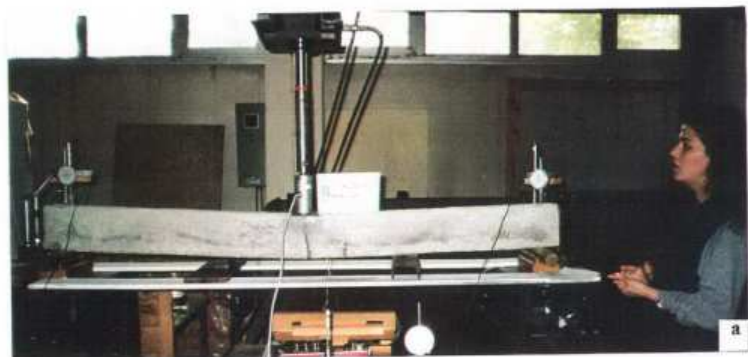
-Levha uç kısımlarının esas donatıya kaynaklanması davranışı daha olumlu kılacaktır.

-Farklı karışım oranlarında hazırlanmış epoksi harçlarıyla yapıştırılmış plakaların dayanımları araştırılabilir, yapıştırma harcının özellikleri geliştirilebilir.

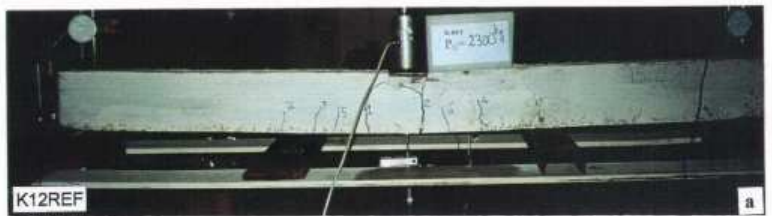
-Aynı yapıştırma harcı ile farklı genişlik ve kalınlıktaki levha etkisi incelenebilir.

-Yapıştırıcı-levha ara yüzeyindeki ve yapıştırıcı-beton ara yüzeyindeki gerilmeler araştırılabilir.

-En az miktarda plaka kullanılarak en fazla dayanım artışı sağlanması için optimizasyon çalışması yapılmalıdır.



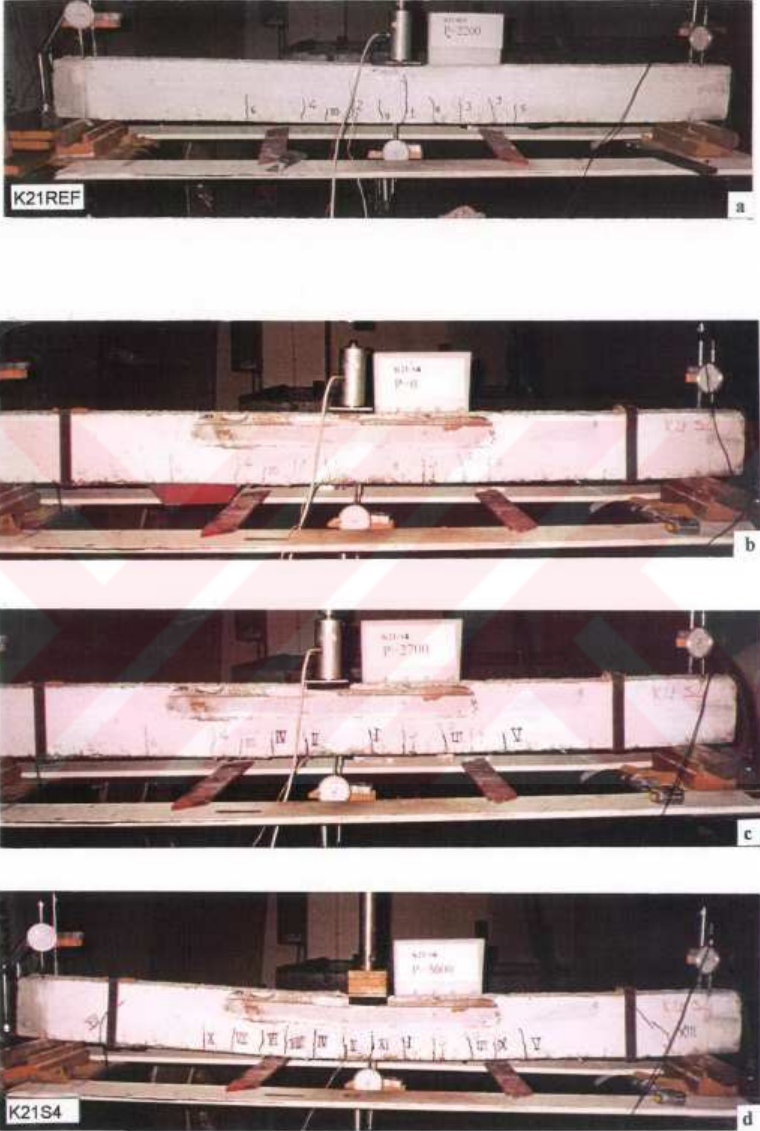
Resim 1. a-b K11REF kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı  
c-d K11S3 güçlendirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı



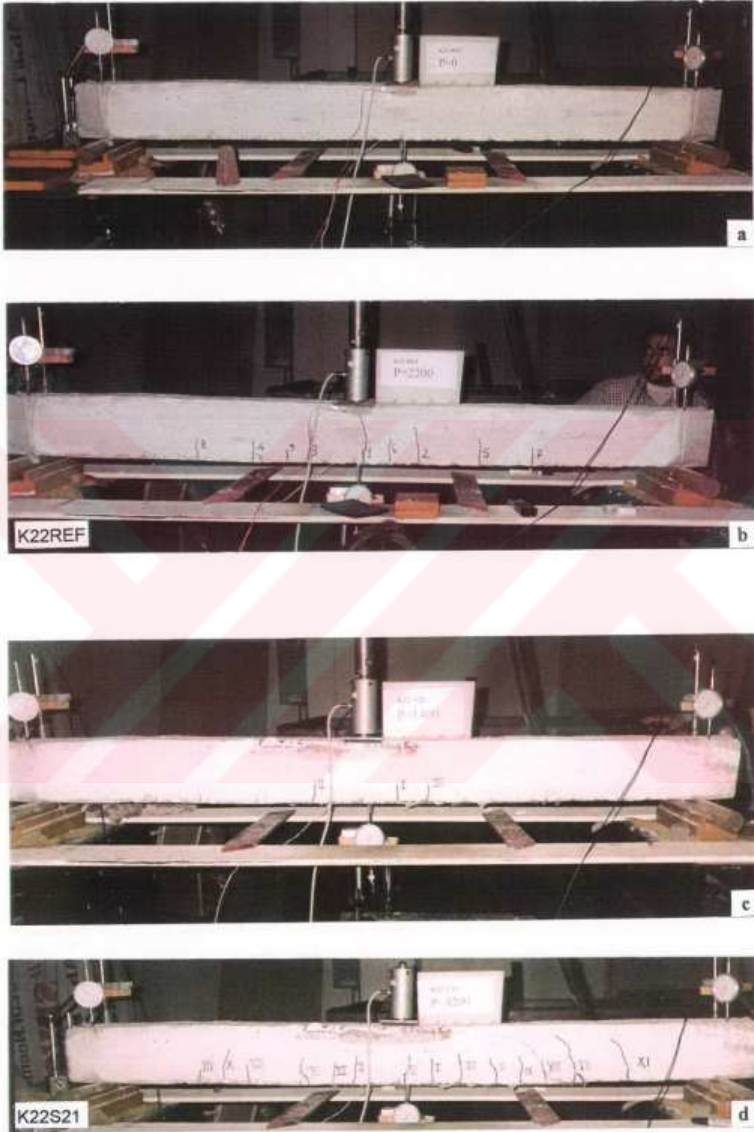
Resim 2. a K12REF kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli  
b-c-d K12S1 güçlendirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı



Resim 3. a-b K13REF kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı  
c-d K13S2 güçlendirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı



Resim 4. a K21REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli  
b-c-d K21S4 güçlendirilmiş kirişinin deney aşamaları ve kırılma yükünde çatlak modeli



Resim 5. a-b K22REF kirişinin deney başlamadan ve maksimum yükten sonra görünüşü  
c-d K22S21 güçlendirilmiş kirişinin 1400kg da ve kırılma yükünde çatlak modeli

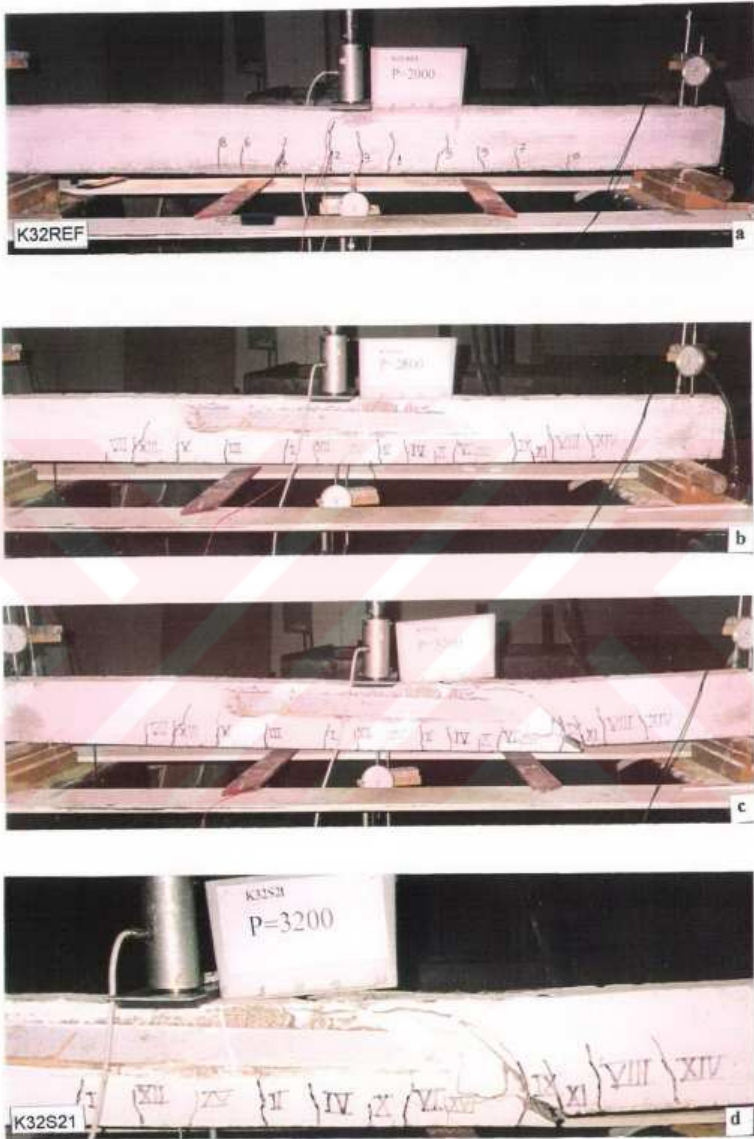


Resim 6. a K23REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli  
b-c-d K23S1 güçlendirilmiş kirişinin 2800kg, 3800kg ve kırılma yükünde çatlak modeli

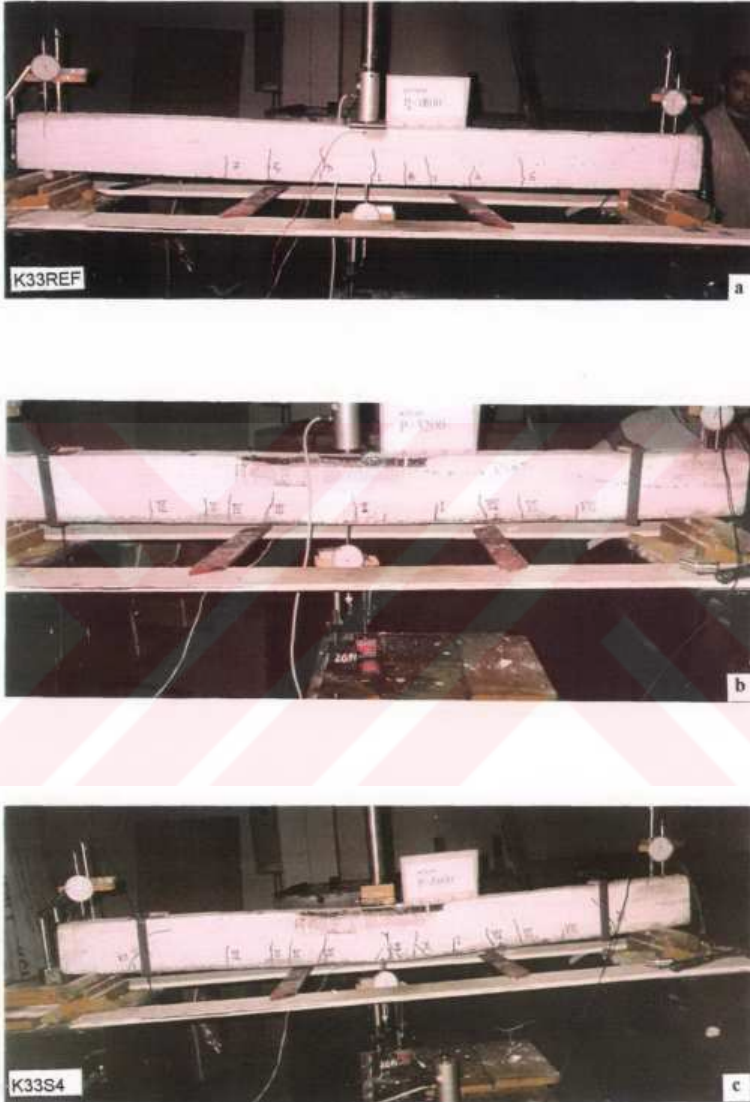




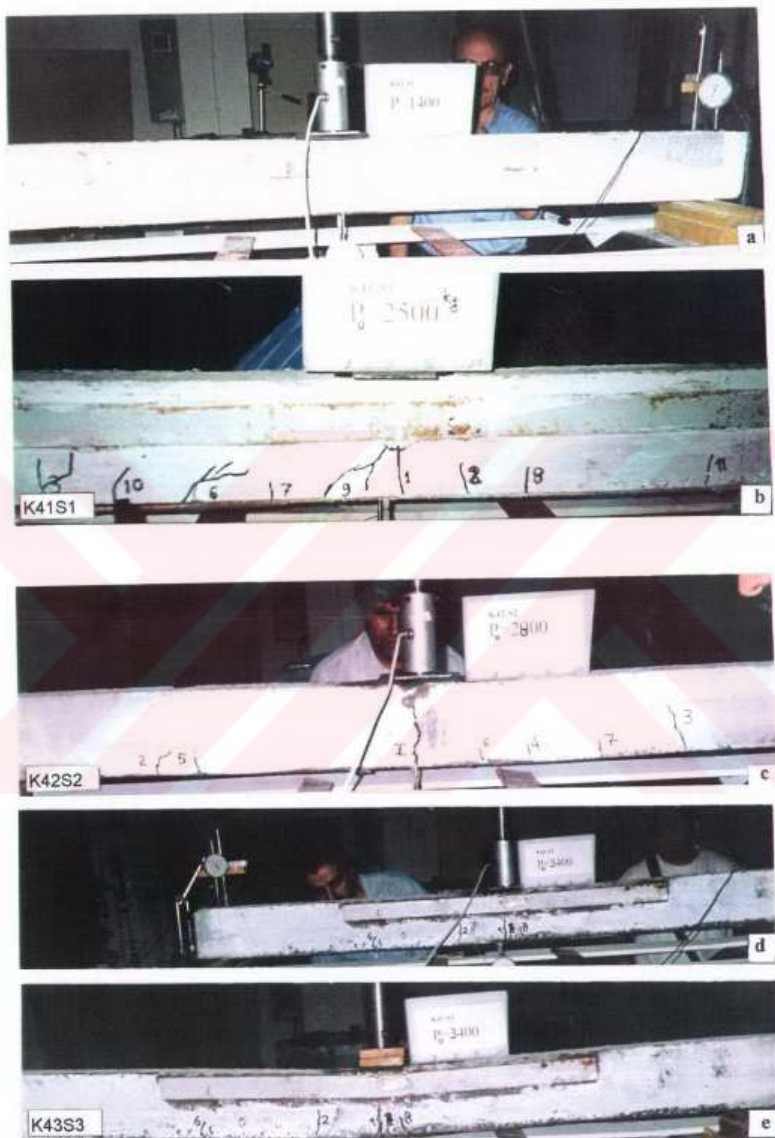
Resim 7. a K31REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli  
b-c K31S1 güçlendirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı



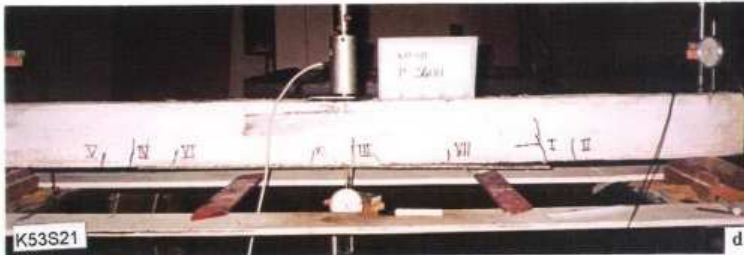
Resim 8. a K32REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli  
b-c-d K32S21 güçlendirilmiş kirişinin 2800kg da ve kırılma yükünde çatlak modeli



Resim 9. a K33REF kirişinin maksimum yükte çatlak modeli  
b-c K33S4 güçlendirilmiş kirişinin 3200kg da ve kırılma yükünde çatlak modeli

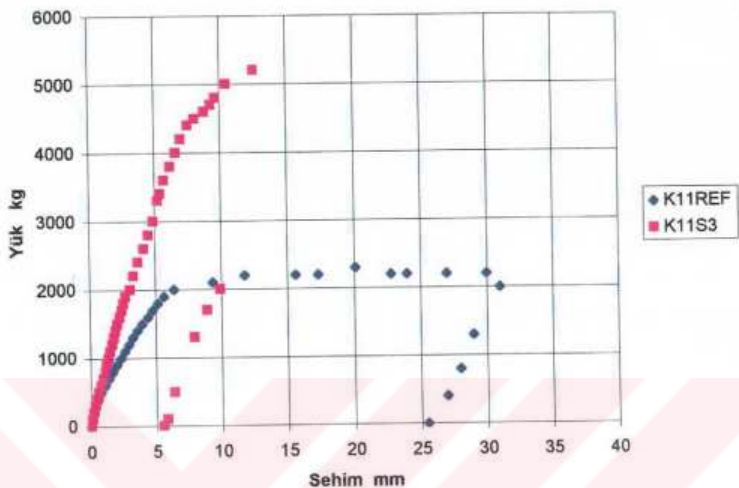


Resim 10. a-b K41S1 birleştirilmiş kirişinin 1400kg da ve kırılma yükünde çatlak modeli  
c K42S2 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli  
d-e K43S3 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli

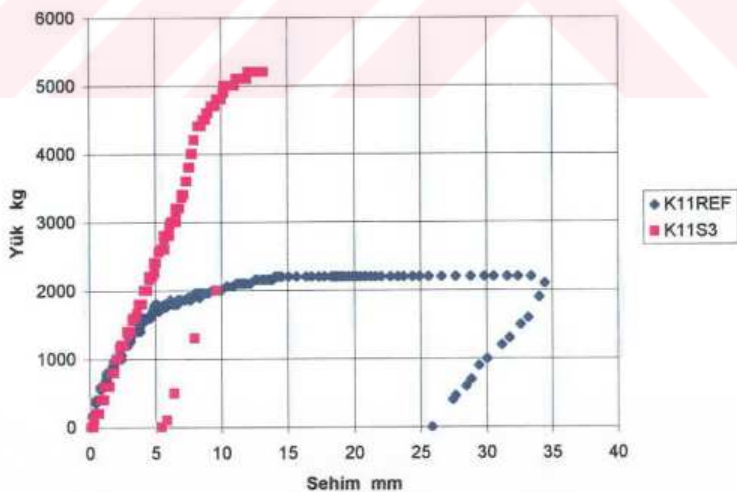


Resim 11. a-b K51S1 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli ve detayı  
c K52S4 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli  
d-e K53S21 birleştirilmiş kirişinin kırılma yükünde çatlak modeli

## K11REF-K11S3 Komparatör

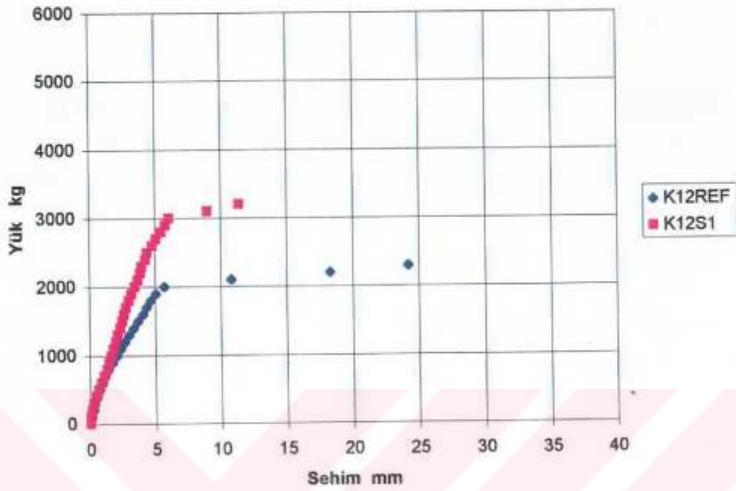


## K11REF-K11S3

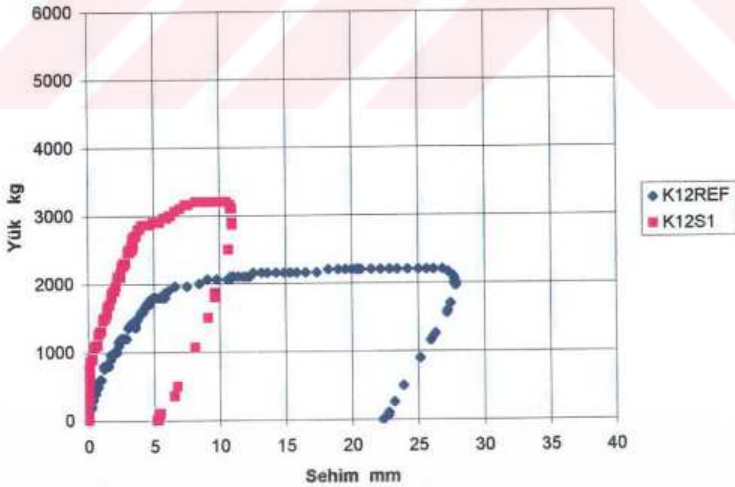


Şekil 1 K11REF ile K11S3 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K12REF-K12S1 Komparatör

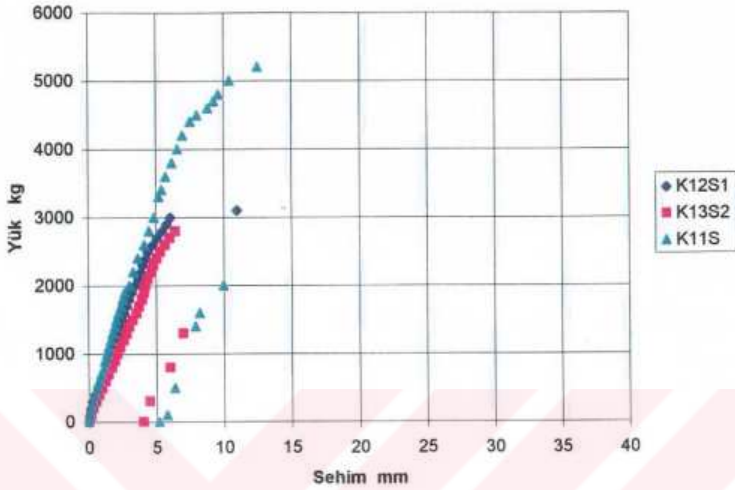


## K12REF-K12S1

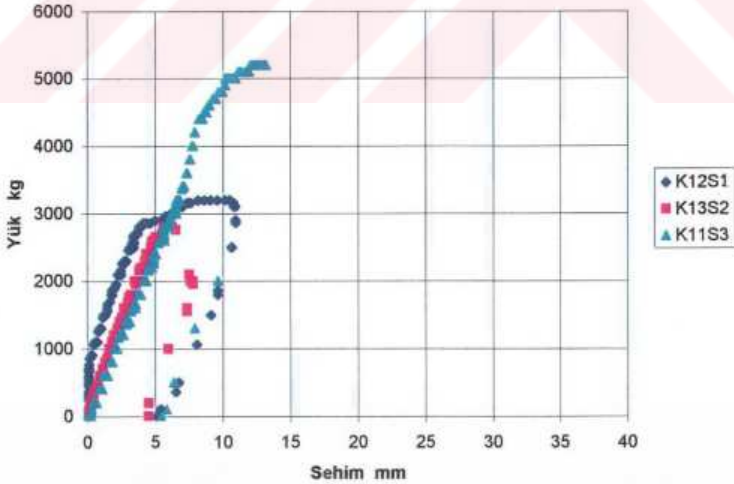


Şekil 2 K12REF ile K12S1 Kirişlerinin karşılaştırmalı yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K12S1-K13S2-K11S3 Komparatör



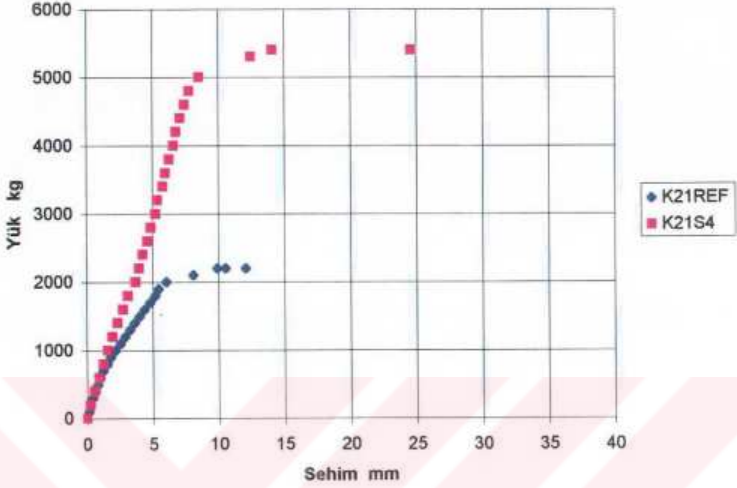
## K12S1-K13S2-K11S3



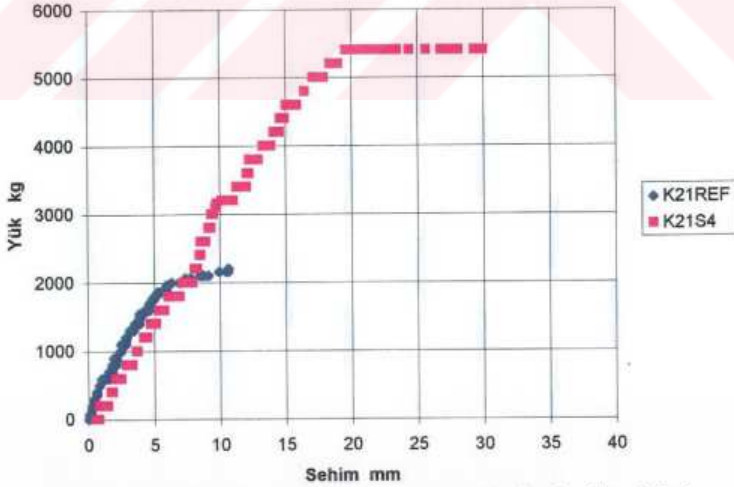
Şekil 4 VI. Seri Kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırılması (K11 S3- K12S1- K13S2)  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı



## K21REF-K21S4 Komparatör

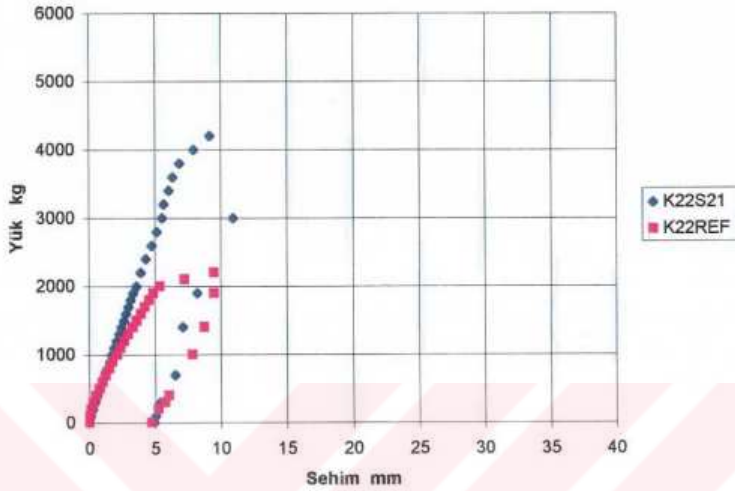


## K21REF-K21S4

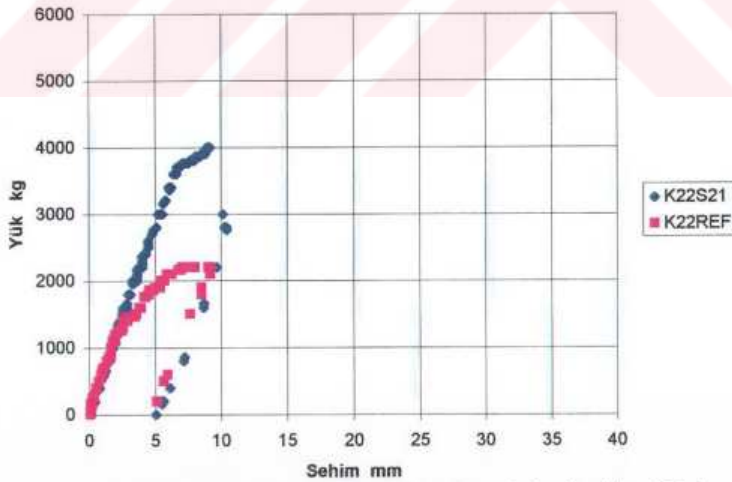


Şekil 5 K21REF ile K21S4 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K22REF-K22S21 Komparatör

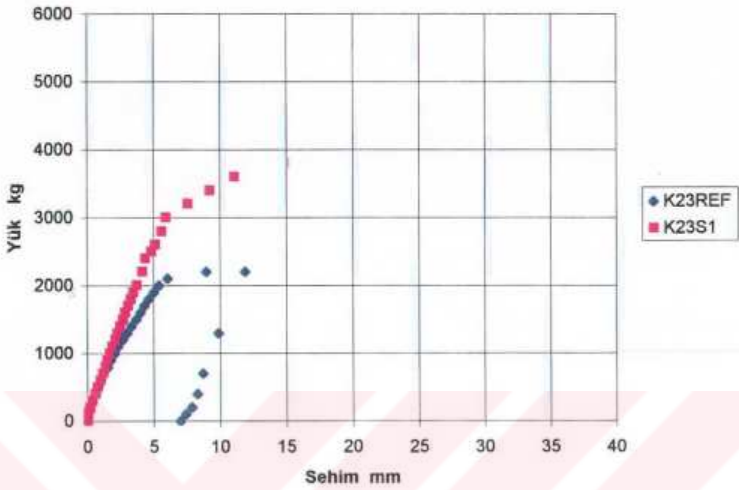


## K22REF-K22S21

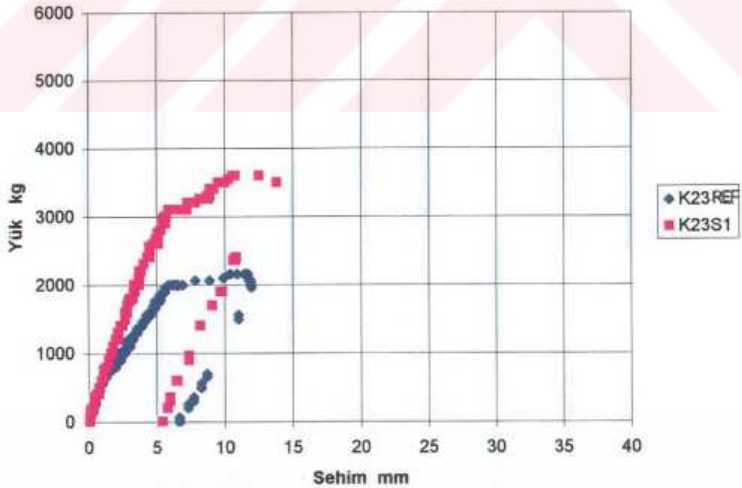


Şekil 6 K22REF ile K22S21 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K23REF-K23S1 Komparatör

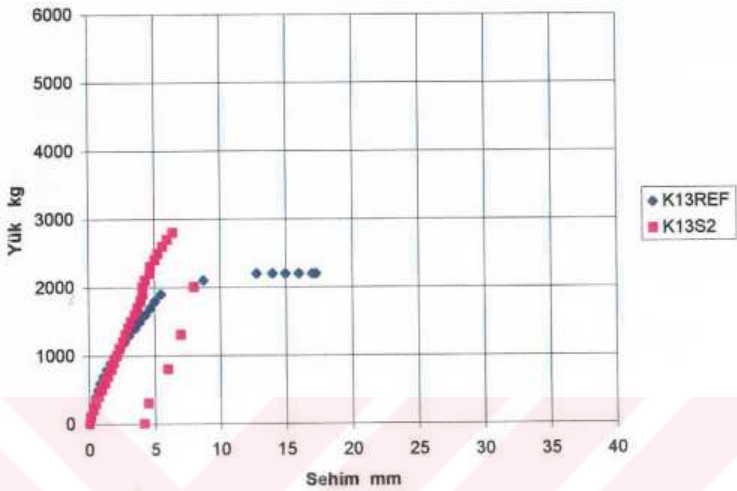


## K23REF-K23S1

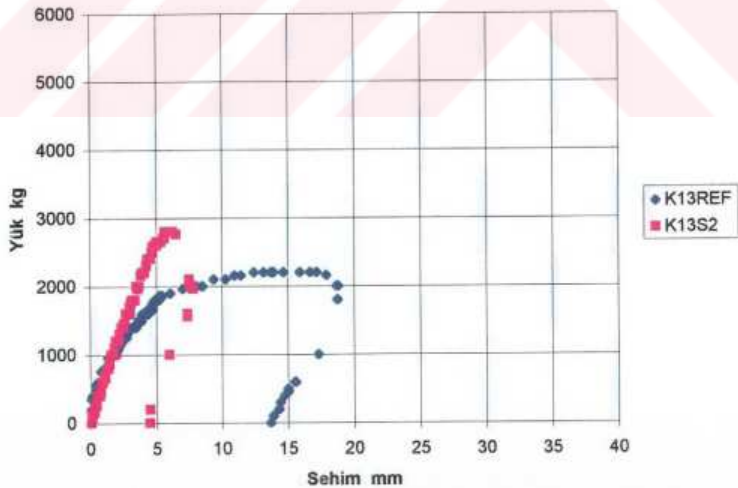


Şekil 7 K23REF ile K23S1 Kirişlerinin karşılaştırmalı yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K13REF-K13S2 Komparatör

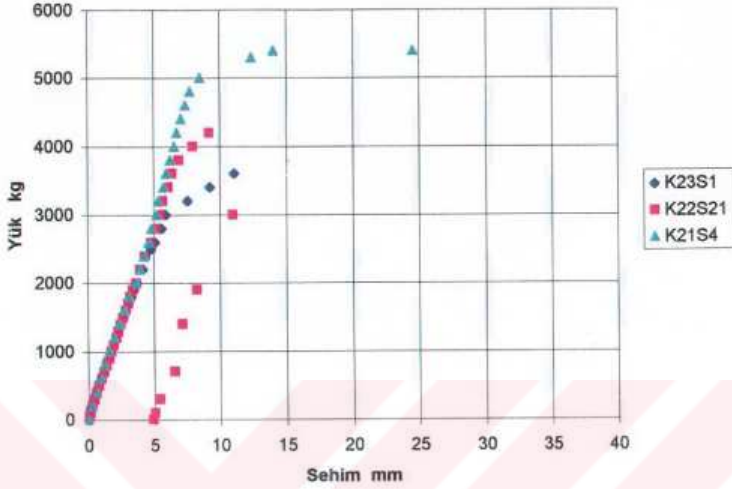


## K13REF-K13S2

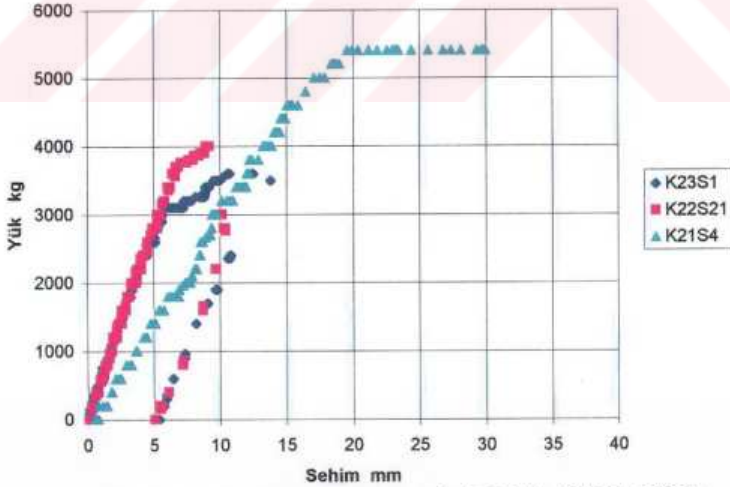


Şekil 3 K13REF ile K13S2 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K23S1-K22S21-K21S4 Komparatör

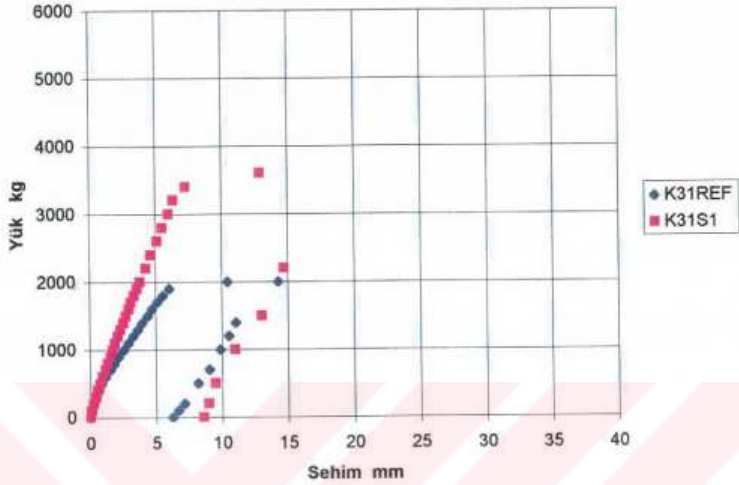


## K23S1-K22S21-K21S4

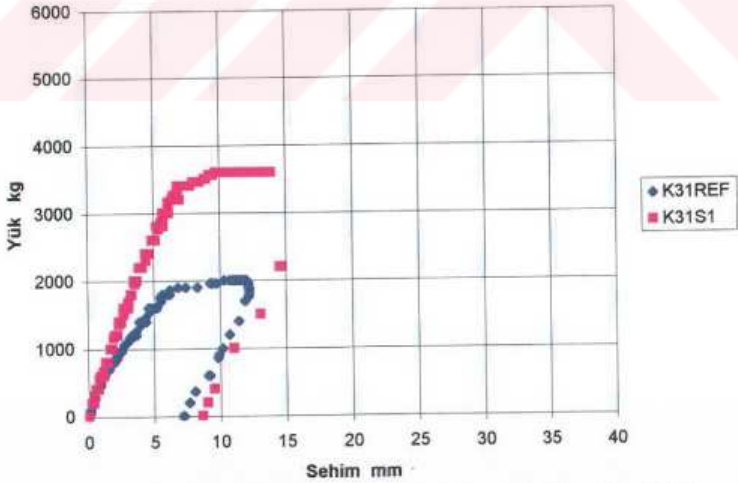


Şekil 8 VII. Seri Kirişlerinin yük-sehim eğrileri (K21S4- K22S21- K23S1)  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K31REF-K31S1 Komparatör

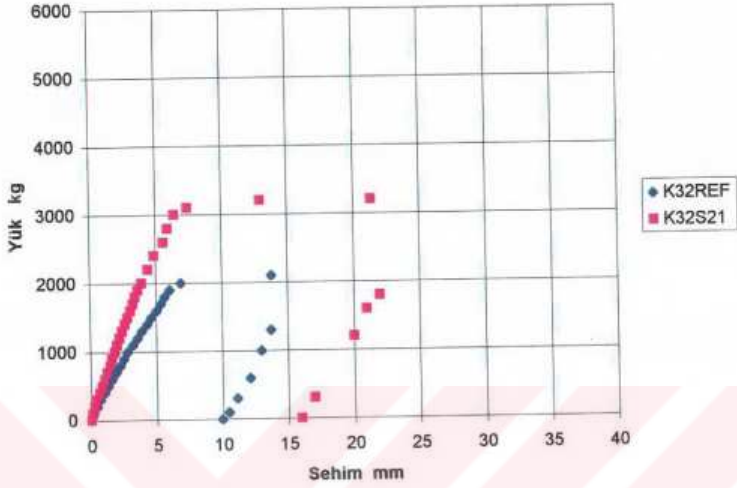


## K31REF-K31S1

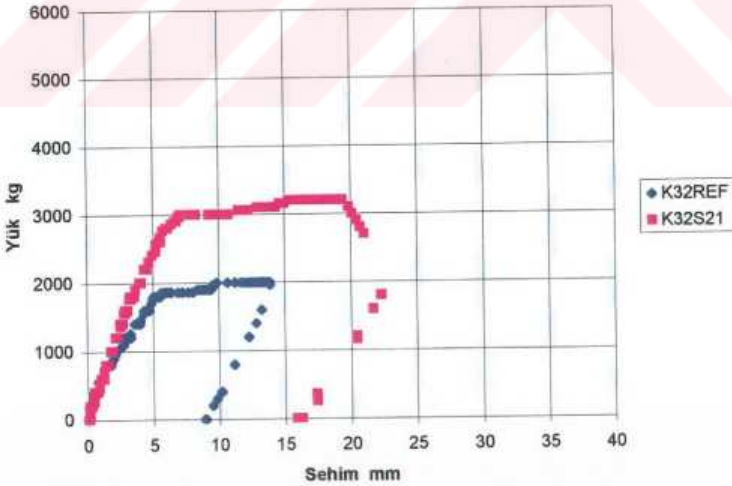


Şekil 9 K31REF ile K31S1 Kirişlerinin karşılaştırmalı yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K32REF-K32S21 Komparatör

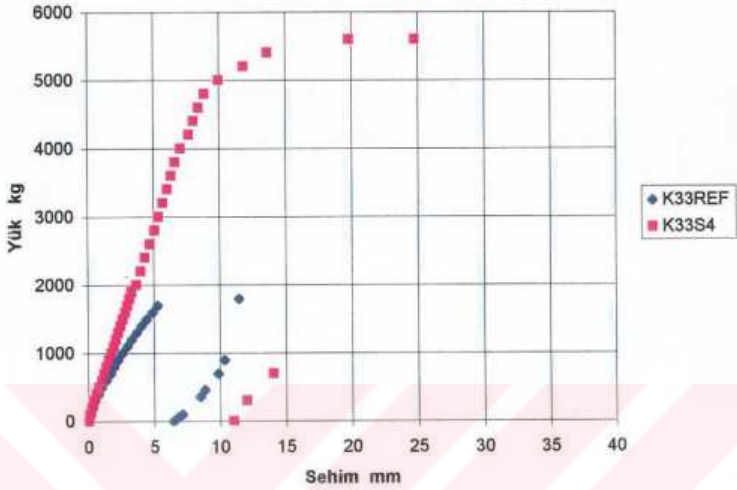


## K32REF-K32S21

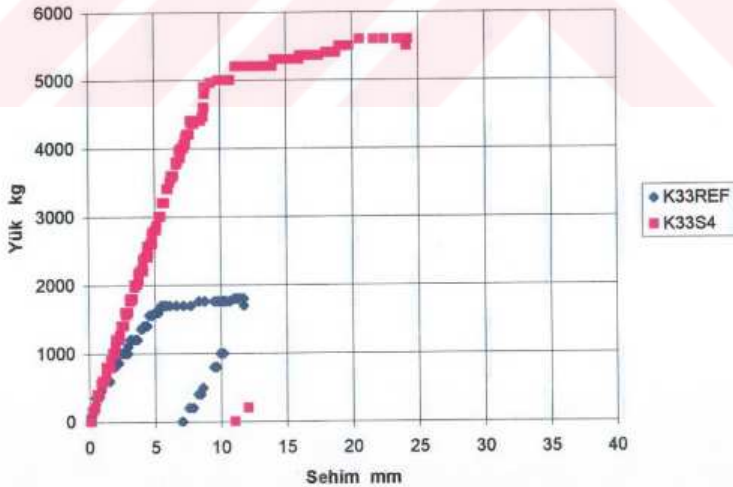


Şekil 10 K32REF ile K32S21 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K33REF-K33S4 Komparatör



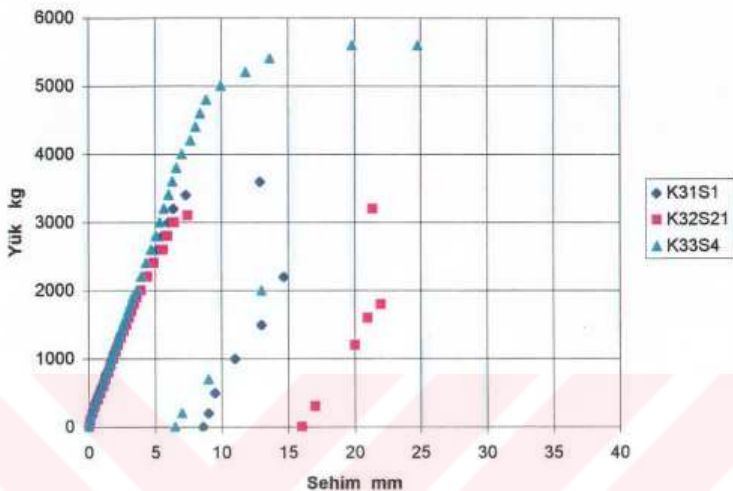
## K33REF-K33S4



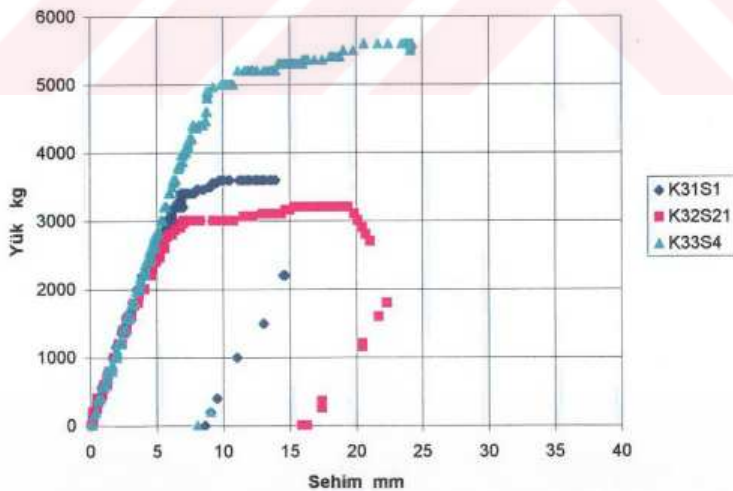
Şekil 11 K33REF ile K33S4 Kirişlerinin karşılaştırılmalı yük-sehim eğrileri  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı



## K31S1-K32S21-K33S4 Komparatör

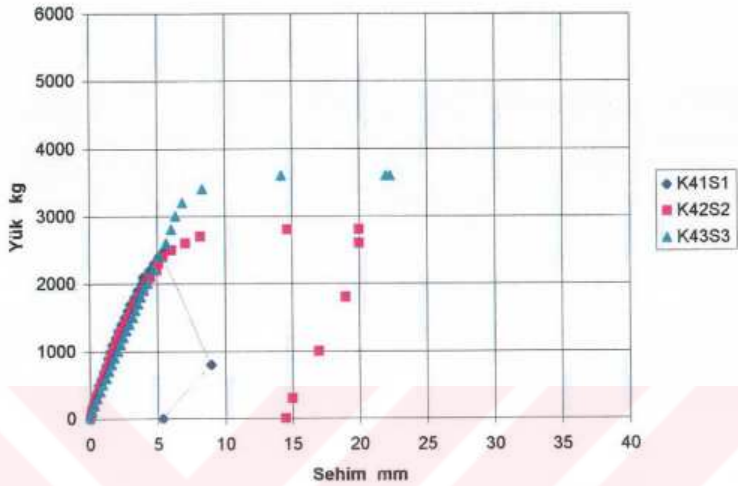


## K31S1-K32S21-K33S4

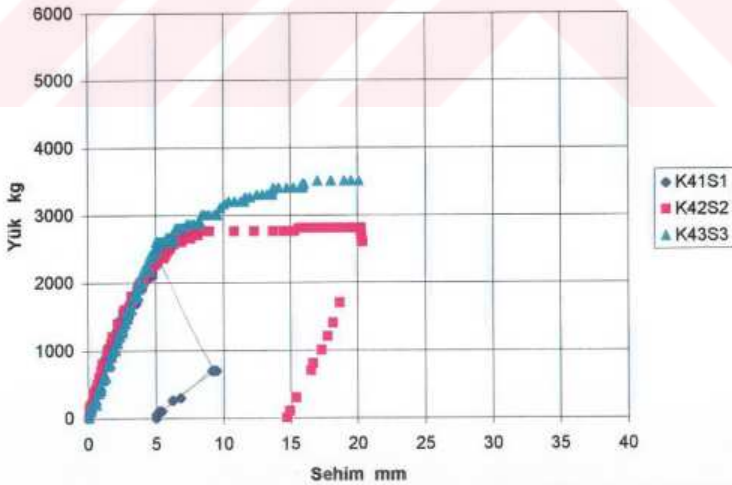


Şekil 12 VIII. Seri Kirişlerinin yük-sehim eğrileri (K31S1- K32S21- K33S4)  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K41S1-K42S2-K43S3 Komparatör

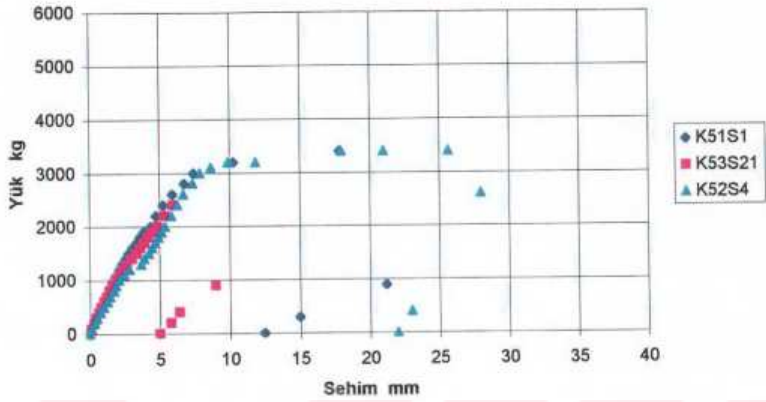


## K41S1-K42S2-K43S3

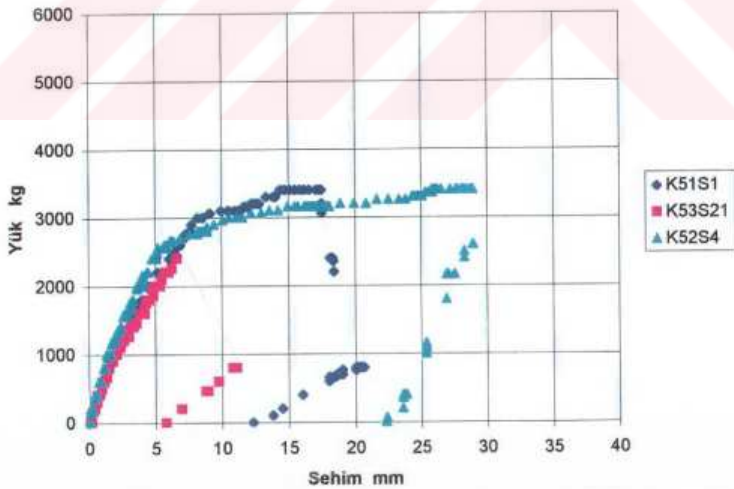


Şekil 13 IV. Seri birleştirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri (K41S1-K42S2- K43S3)  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K51S1-K53S21-K52S4 Komparatör

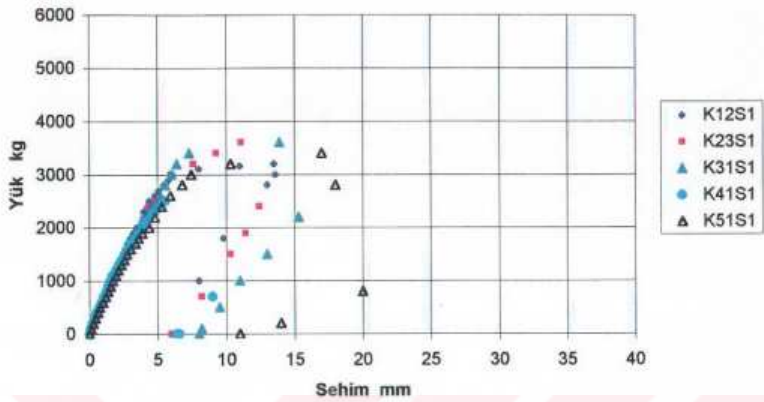


## K51S1-K53S21-K52S4

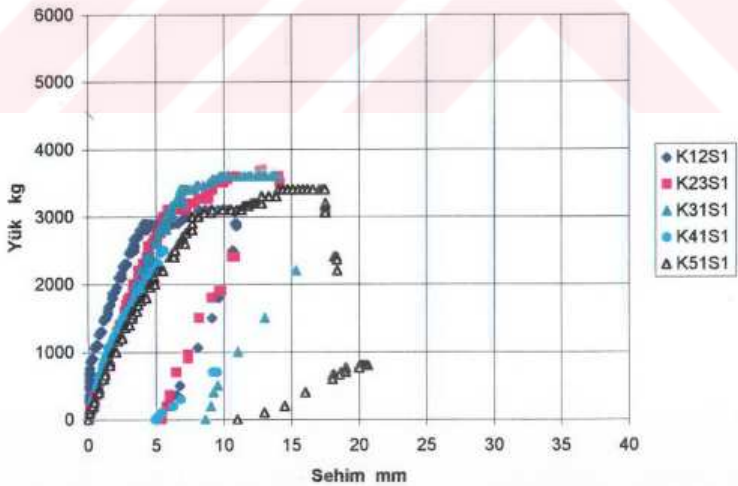


Şekil 14 V. Seri birleştirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri (K51S1-K52S4- K53S21)  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K12S1-K23S1-K31S1-K41S1-K51S1 Komparatör

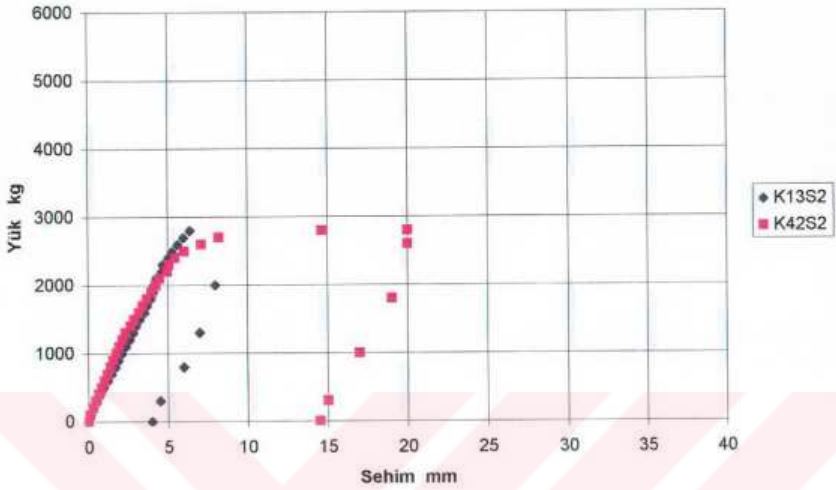


## K12S1-K23S1-K31S1-K41S1-K51S1

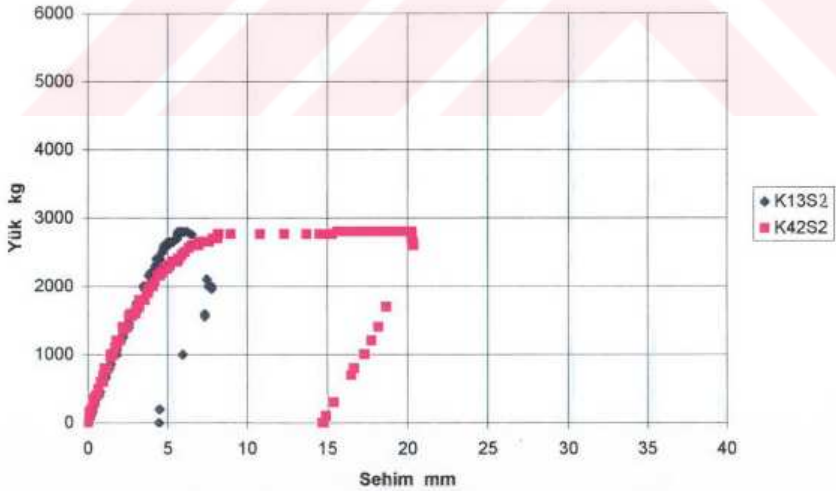


Şekil 15 S1 Modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K13S2-K42S2 Komparatör

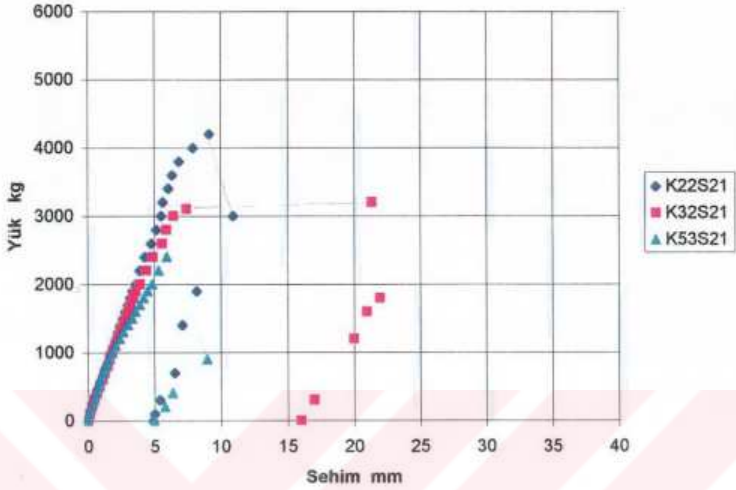


## K13S2-K42S2

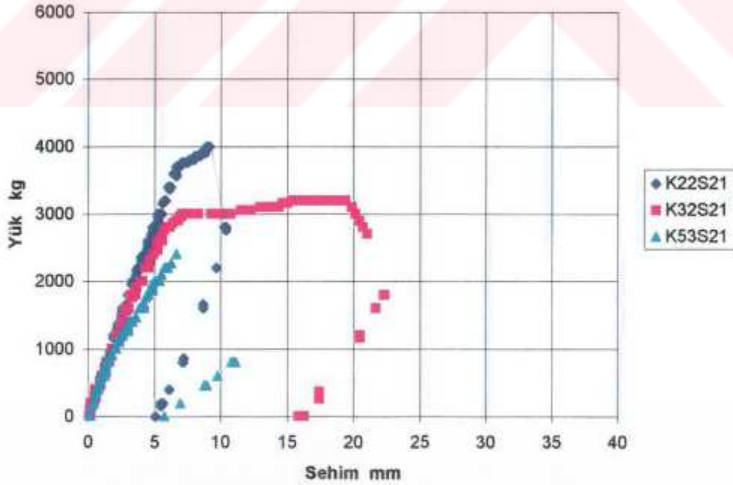


Şekil 16 S2 Modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K22S21-K32S21-K53S21 Komparatör

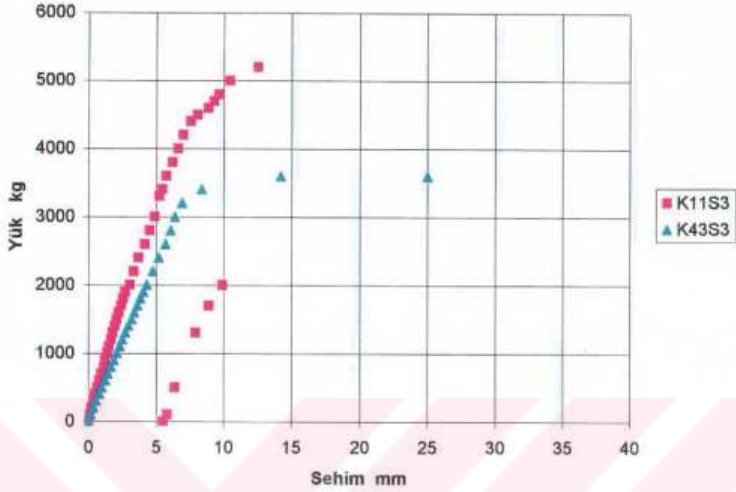


## K22S21-K32S21-K53S21

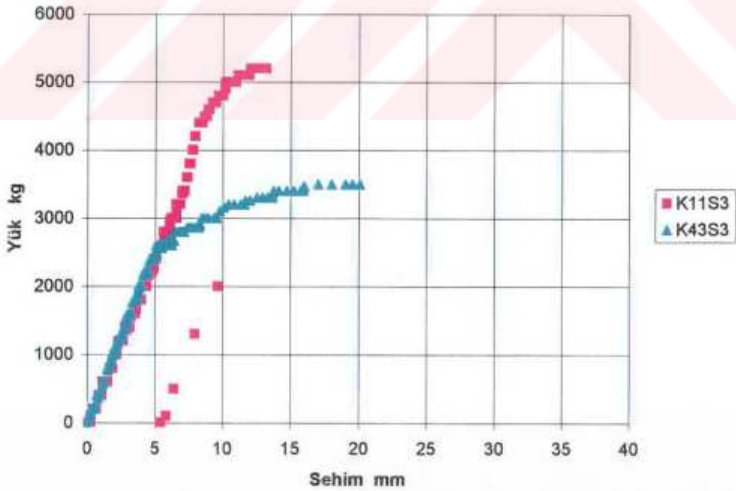


Şekil 17 S21 Modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K11S3-K43S3 Komparatör

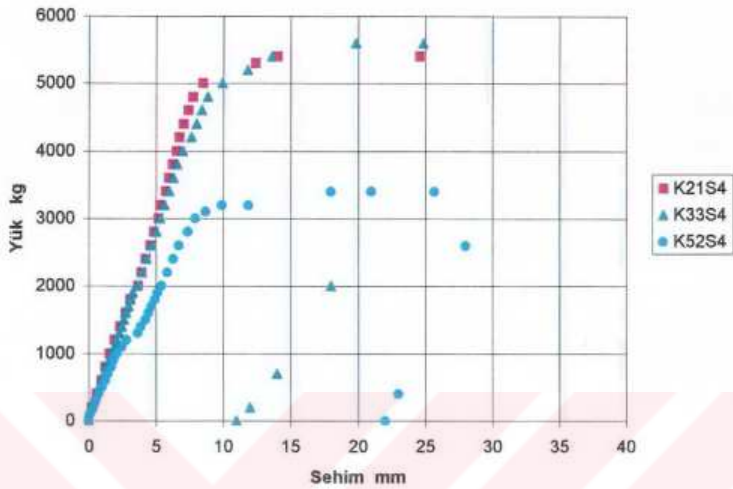


## K11S3-K43S3

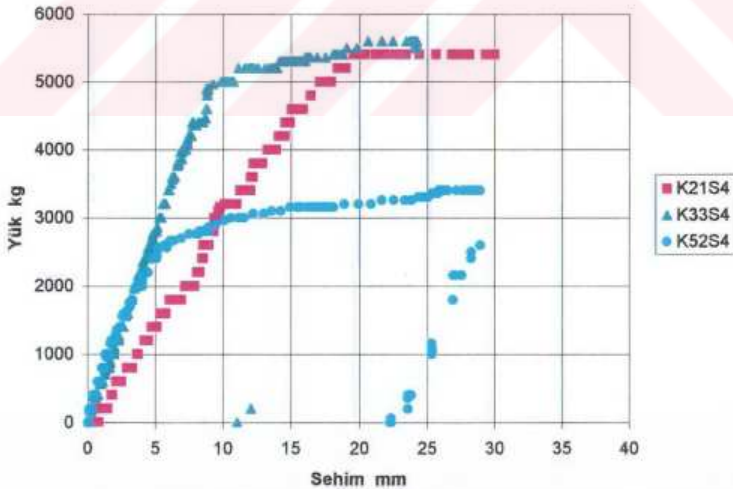


Şekil 18 S3 Modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K21S4-K33S4-K52S4 Komparatör



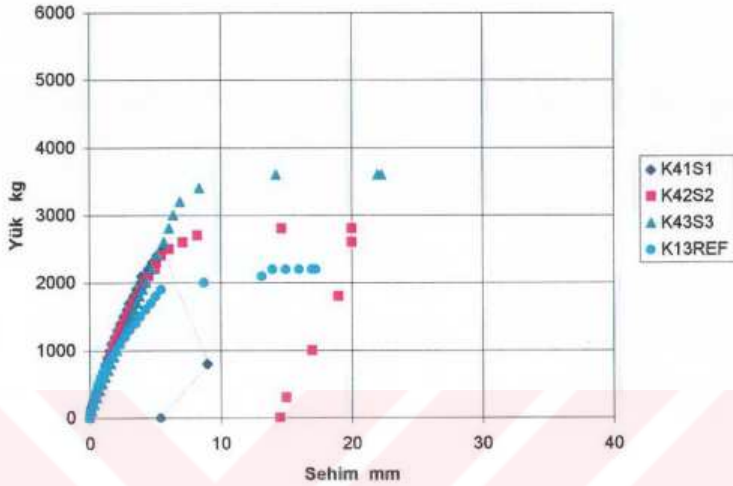
## K21S4-K33S4-K52S4



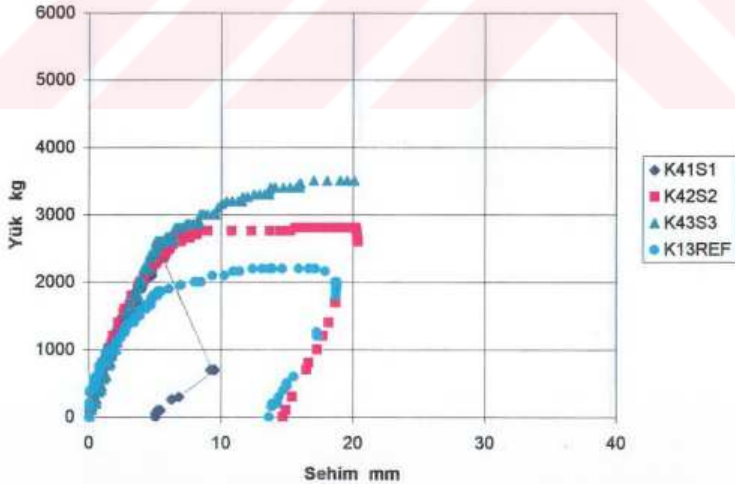
Şekil 19 S4 Modeliyle güçlendirilmiş kirişlerinin yük-sehim eğrileri karşılaştırması  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı



## K13REF-K41S1-K42S2-K43S3 Komparatör

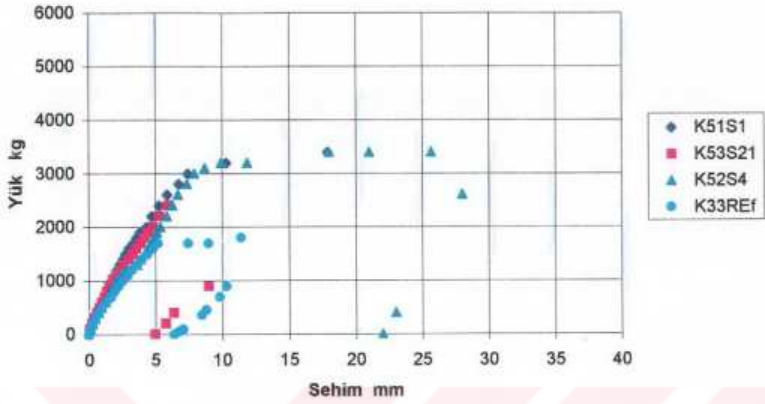


## K13REF-K41S1-K42S2-K43S3

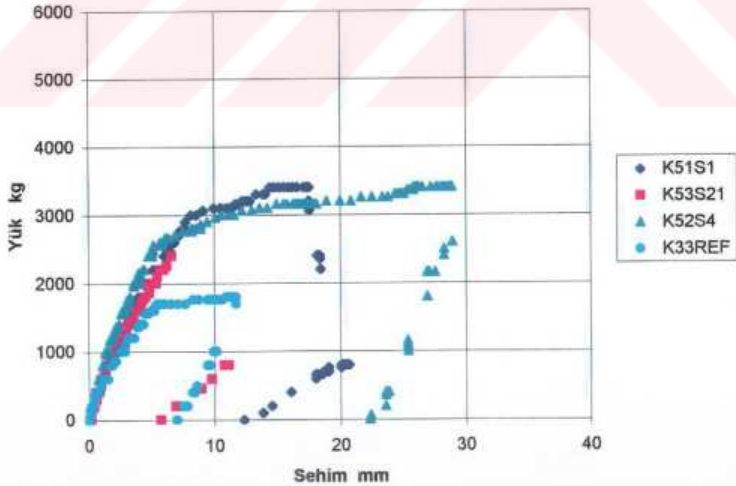


Şekil 20 IV. Seri birleştirilmiş kirişlerinin K13REF ile karşılaştırılması  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

## K33REF-K51S1-K53S21-K52S4 Komparatör



## K33REF-K51S1-K53S21-K54



Şekil 21 V. Seri birleştirilmiş kirişlerinin K33REF ile karşılaştırılması  
a. Komparatörden gözle okuma, b. Bilgisayar kaydı

**KAYNAKLAR**

ACI 224. 1R-89 (1989), "Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures".

ACI 224R-89 (1989), "Control of Cracking in Concrete Structures".

ACI SCM-18 (1988), "Steel in Concrete", Desining for Durable Concrete Seminar Course Manuel, 1988

ACI SCM-18 (1988), "Freezing and Thawing of Concrete-Mecanizm and Control", Desining for Durable Concrete Seminar Course Manuel, 1988

Ahmed, I. ve Ahmed, Z., (1996), "Premature Deterioration of Concrete Structures -Case Study", Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol.10, No.4, November 1996, 164- 170

Ajdukiewicz, A. ve Kliszczewicz, A., (1993), "Damage of Concrete Structures due to Temperature Changes", Fracture and Damage of Concrete and Rock, 1993.

Aka, İ., (1990), "Betonarme İskeletli Binalarda Duvar Çatlaklarının Nedenleri ve Önleme Çareleri", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, Şubat 1990, sayı27, 26-28.

Akman, M.S., (1992), "Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığın Belirlenmesi", Yapıda Yangından Korunma Sempozyumu, YEM, Kasım 1992, İstanbul.

Akman, M.S., (1992), Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İTÜ, İstanbul

Akman, M.S., (1989), " Betonda Dayanıklılık Özelliği ve Önemi", 1. Ulusal Beton Kongresi, Mayıs 1989, İstanbul, 53-66.

Akkaya, Y. ve Akyüz, S., (1994), "Betonda Kimyasal Korozyon", IV. Korozyon Sempozyumu , Ekim 1994, 125-132, İstanbul.

Akyüz, S. ve Uyan, M., (1993), "13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Orta Hasar Gören Binalardaki Betonların Kaliteleri Üzerine", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 525-532.

Al-Mutairi, N.M., Al-Shaleh, M.S., (1997), "Assessment of Fire-Damaged Kuwaiti Structures", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.9 No.1, February 1997, 7-14.

Al-Tayyib, A. J. ve Khan, M.S., (1988), "Corosion Rate Measurements of Reinforcing Steel in Concrete by Electrochemical Techniques", ACI Materials Journal, May-Jun 1988, 172-177.

Alku, Ö.Z., "Depremde Hasar Gören Yığma ve Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni 46, 1993, İzmir

Alku, Ö.Z. ve Altın, S., "13 Mart 1992 Erzincan Depremi", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni 44, 1992, İzmir.

Altan, M., Eren, İ. ve Güler, K., (1997), "Dinar 1995 Depreminde Bazı Yığma Binalarda Taşıyıcı Duvar Düzenlerinin Hasar Durumuna Etkisi Üzerine Bir İrdeleme", 4.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 17-19 Eylül 1997, Ankara, 655-670.

Altın, S. ve Demirel, Y. (1997), "Betonarme Kirişlerin Kesmeye Karşı Güçlendirilmesi / Onarılması için Bir Yöntem", Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, Ekim 1997, İzmir, 129-141.

Altın, S., (1989), "Betonarme Perdelerin Tersinir Yükler Altında Davranışı", Deprem Araştırma Bülteni 67, 1989, 5-16.

Altın, S., Ersoy, U. and Tankut, A.T., (1992), "Hysteretic Response of Reinforced-Concrete Infilled Frames", Journal of Structural Engineering, Vol.118, No.8, August 1992, 2133-2150.

Arda, T.S., "Çelik Yapılarda Yangın ve Yangın Mukavemeti", Ders notları.

Arda, T.S., "Yapıların Yangın Güvenliği ve Buna İlişkin Yapısal Önlemler", Ders notları.

Arda, T.S., (1992), "Çok Katlı Yüksek Yapılarda Yangın Etkisi" İMO, İstanbul Şubesi Aylık Yayın Organı, Ocak 1992, İstanbul, Yıl 3, Sayı 5, 32-34..

Aydın, M.R., (1993), "Malzeme Dayanımları ve Donatı Miktarındaki Değişimlerin Taşıma Gücüne Etkisi", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 467-480.

Aytıs, S., (1992), "Yüksek Binalarda Yangından Korunma", Yapıda Yangından Korunma Sempozyumu, YEM, Kasım 1992, İstanbul.

Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S. ve Altın, N., (1991), "Türkiye'de Hasar Yapan Depremler", Deprem Araştırma Bülteni 69, 1991, 113-126.

Balta, İ. ve Cilason, N., (1994), "Betonda Kanser: Teşhis, Tedavi", IV. Korozyon Sempozyumu, Ekim 1994, 81-88, İstanbul.

Baluch, M.H., Ziraba, Y.N., Azad, A.K., Sharif, A.M., AL-Sulamani, G.J. ve Basunbul, İ.A., (1994), "Shear Strength of Plated RC Beams", Magazin of Concrete Research, V. 47, No.173, Dec.1995, 365-374.

Basunbul, İ.A., Dehwah, H.A.F. ve Maslehuddin, M., (1991), "Onarılmış Betonarme Kolonlarda Çelik Donatının Korozyonu", Korozyon V. 3, No 2, Haziran 1991, 49-53.

Basunbul, İ.A., Gubati, A.A., Al-Sulamani, G.J. ve Baluch, M.H., (1990), "Repaired Reinforced Concrete Beams", ACI Materials Journal, V.87, No.4, July-August 1991, 348-354.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1993), 13 Mart 1992 Erzincan Depremi, DSİ Basımevi, Ankara.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, (1993), 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, Özyurt Basımevi, Ankara.

Bayülke, N., (1984), "Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ocak 1994, Ankara.

Bayülke, N., (1993), "Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 1993.

Bayülke, N., (1993), "13 Mart 1992 Erzincan Depreminden Çelik Yapı Hasarı", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 91-104.

Bayülke, N., Aşık, M.S. ve Hürata, A., (1989), "Yapıların Deprem Davranışına Düşük Dayanımlı Betonun Etkisi ve Sürgü Temel Eğitim Okulu örneği", 1.Ulusal Beton Kongresi, Mayıs 1989, İstanbul, 25-37.

Bayülke, N. ve Doğan, A., (1993), "Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar için 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Öğrettikleri" Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 121-138.

Bayülke, N., Doğan, A. ve Hürata, A., (1993), "İki Katlı Gaz Beton Yığma Yapı Sarsma Tablası Deneyi", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 139-154.

Bayülke, N., (1993), "Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 1993, İzmir.

Bayülke, N., (1988), "Tek Katlı Yapıların Sarsma Tablası Deneyi", Deprem Araştırma Bülteni 60, 1988, 5-36.

Bayülke, N., (1987), "Çok Katlı Yapılar ve Deprem", Deprem Araştırma Bülteni 59, 1987, 5-42.

Bayülke, N., (1987), "Prefabrike Yapı Sistemlerinin Depreme Dayanıklı Tasarımı Yaklaşımları", Deprem Araştırma Bülteni 56, 1987, 5-29.

Bayülke, N., (1992), "Prefabrike Çerçeve Yapılarda Depreme Dayanıklı Kolon-Kiriş Ek Yeri Tasarımı", Deprem Araştırma Bülteni 70, 1992, 91-109.

Begimgil, M., Kocatürk, A. ve Gerçek, B.Ö., (1997), "Bağlayıcı Reçine Türleri, Epoksi Reçinesi, Temel Kullanım Alanları ve Uygulama Metodları", Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, 1997, İzmir, 509-521.

Bilgiç, S., (1994), "Ankarada'ki Bazı Yapılara Atmosferik Korozyonun Etkisi", IV. Korozyon Sempozyumu, Ekim 1994, 89-97, İstanbul.

Can, H., (1994), "Betonarme Kolonların Komşu İki Yüzünden Manto ile Onarımı ve Güçlendirilmesi", İMO Teknik Dergi, 1994, 903-918.

Can, H., (1994), "İki, Üç ve Dört Yüzünden Mantolanmış Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı", İMO Teknik Dergi, 1995, 1063-1081.

Can, H., (1996), "Komşu İki Yüzünden Mantolanmış Betonarme Kolonların Deprem Davranışı", İMO Teknik Dergi, Cilt 7 Sayı 1, Ocak 1996, 1091-1110.

CEB, "Fire Design of Concrete Structures", July 1991, Lausanne.

Celep, Z. ve Boduroğlu, H., (1997), "Dinar Öğretmen Evleri Kooperatifi Binaları'nın Deprem Davranışı ve Yapılan Güçlendirme Sistemi", 4.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 17-19 Eylül 1997, Ankara, 173-179

Celep, Z. ve Özcan, Z., (1993), "Erzincan'daki Bir betonarme binanın deprem davranışının incelenmesi", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 491-498.

Ceylan, L., (1992), "Yangın ve Yapılarda Yangına Karşı Korunma" Yapıda Yangından Korunma Sempozyumu, YEM, Kasım 1992, İstanbul.

Chronopoulos, M.P., (1989), "Load Transfer Mechanisms", CEB-IMOIS-METU Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures, April 1989, İzmir.

Crook, D.N. ve Murray, M.J., (1970), "Regain of Strength After Firing of Concrete", Magazin of Concrete Research, Vol.22, No. 72, September 1970, 149-154.

Çatal, H. ve Erturar, Y., (1990), "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Ana İlkeleri", Deprem Araştırma Bülteni 68, 1990, 15-21.

Çatal, H., (1990), "Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi", Deprem Araştırma Bülteni 68, 1990, 22-31.

Çelik, O.C., Çılı, F. ve Özgen, K., (1997), "Yatay Rijitliği Yetersiz Betonarme Binaların Çelik Kafes Kirişlerle Güçlendirilmesi", 4.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 17-19 Eylül 1997, Ankara, 310-320.

Çıtıptıoğlu, E. ve Uygurer, C., (1993), “Mart 13,1992 Erzincan Depreminde Hasar Gören Kamu Binalarının Onarım ve Güçlendirilmesi”, Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 263-276.

Çıtıptıoğlu, E., Sucuoğlu, H. ve Altın, S., (1995), “Betonarme Yapılarda Bölgesel Hasarın Yapıya Etkisi ve Onarımı”, Deprem Kongresi Bildiriler Kitabı, 1995, 674-688.

Demir, H., (1989), “Yangın Bakımından Çeşitli Betonarme Taşıyıcı Elemanlarla İlgili Hususlar”, İMO İzmir Şubesi Haber Bülteni, Ağustos 1989, Sayı 24, İzmir, 5-7.

Demir, H., (1992), Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İTÜ, 1992, İstanbul.

Demir, H., (1993), “Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Hasarı ile İlgili Çalışmalar ve İlkeleri”, 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul.

Demir, H., (1993), “Erzincan Deprem Bölgesinde Yapılan İncelemelerden İzlenimler ve Düşünceler”, 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 452-463.

Doğan, M. ve Yalçın, H., (1989), “Çeliğin Beton İçindeki Korozyonu”, Korozyon V 1, No 3, Ekim 1989, 125-130.

Durmuş, A., (1997), “Yapıların Erzincan (1992) Depreminde Kullanım Dışı Kalma Nedenleri”, Prof. Dr . Rifat Yarar Sempozyumu, 1997, İstanbul, 531-544.

Echavez, G., (1993), “Cavitation Damage and Determination of Tension and Fatigue Resistance in Concrete Surfaces”, Fracture and Damage of Concrete and Rock, 1993.

Elmas, M., Çağlar, N. ve Mert, N.; (1997-a), “Epoksiyle Yapıştırılan İnce Çelik Plakalarla Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Yapısal Davranışı”, İnşaat Mühendisliğindeki Gelişmeler 3. Teknik Kongre, Eylül 1997, Ankara, 763-772.

Elmas, M., Çağlar, N. ve Mert, N., (1997-b), “Hasar Görmüş Betonarme Kirişlerin Çelik Plakalarla Güçlendirilmesi”, Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, İzmir, Ekim 1997, 143-151.

England, G.L. ve Ross, A.D., (1962), “Reinforced Concrete Under Thermal Gradients”, Magazine of Concrete Research, Vol.14, No.40, March 1962, 5-12.

Erdik, M., Aydınoglu, M.N., Pınar, A. ve Kalafat, D., (1995), “1 Ekim 1995 Dinar Depremi (Ms=6.1) Ön İnceleme Raporu”, İMO İstanbul Şubesi Aylık Yayın Organı, Kasım-Aralık 1995, Yıl 6, Sayı 6, 27-32, İstanbul.

Ersoy, U., (1989), “Rehabilitation of Frames by Infilling or Bracing”, CEB-IMOIS-METU Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures, April 1989, İzmir.

Ersoy, U., (1993), "1992 Erzincan Depreminden Alınması Gereken Dersler", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 395-403.

Ersoy, U., (1995), "Prefabrike Çerçevelerin Deprem Dayanımı ile İlgili Bir İrdeleme", 3. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1995, İstanbul, 142-160.

Ersoy, U. ve Tankut, T., (1993), "OTDÜ Yapı Mekanik Laboratuvarında Depremle İlgili Deneysel Araştırmalar", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 1-24.

Ersoy, U. ve Tankut, T., (1992), "Yüksek Dayanımlı Betonun Yapısal Davranışı ile İlgili Bir İrdeleme", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, Nisan 1992, sayı 40, 5-8.

Ersoy, U., Tankut, T. ve Altın, S., (1989), "Seismic Strengthening of R/C Frames with R/C Infills", CEB-IMOIS-METU Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures, April 1989, İzmir.

Ersoy, U., Tankut, T. ve Atımtay, E., (1997), "Çeşitli Donatı Çubuklarında Bindirmeli Ek Problemi", IV. Bilim Kongresi Müh. Araş. Grubu Tebliğleri İnşaat Sektörünü, 24-28 Ekim 1997, İzmir, 519-534.

Eyyübov, C., Yılmaz, C. ve Altun, F., (1997), "Binaların Onarımı ve Depreme Dayanıklılığının Takviye Yöntemlerinin İncelenmesi", İnşaat Mühendisliğindeki Gelişmeler 3. Teknik Kongre, Eylül 1997, Ankara, 417-426.

Ge, H., Usami, T., (1992), "Strength of Concrete- Filled Thin- Walled Steel Box Columns: Experiment", Journal of Structural Engineering, Vol.118 No.11, November 1992, 3036-3054.

Gülkan, P. ve Sucuoğlu, H., (1998), "Kırsal Yapılarda Deprem Hasarlarının Tayini" Deprem Araştırma Bülteni 62, 1988, 5-49.

Gündüz, A., (1993), "Varolan Yapıların Güvenilirliğinin Tahmin Edilmesiyle İlgili Yaklaşımlar Üzerine Bir İrdeleme", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 109-117.

Hamid, A.A., Chandrakerthy, S.R. ve Elnawawy, O.A., (1992), "Flexural Tensile Strength of Partially Grouted Concrete Masonry", Journal of Structural Engineering, Vol.118, No.12, December 1992, 3377-3393.

Hussain, M., Sharif, A.M., Basunbul, İ.A., Baluch, M.H. ve Al-Sulmani, G.J., (1994), "Flexural Behavior of Precracked Reinforced Concrete Beams Strengthened Externally by Steel Plates", ACI Structural Journal, V.92, No.1, January-February 1995, 14-22.

İMO, (1998), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İMO İzmir Şubesi, Yayın No.25, İzmir.



İMO, (1992), 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu, Haziran 1992, Ankara.

İBŞB, (1992), Yangından Korunma Yönetmelikleri, İtfaiye Eğitim Vakfı, 1992, İstanbul.

Javor, T., (1991), "Damage Classification of Concrete Structures. The States of the Art Report RILEM Technical Committee 104-DCC Activity", RILEM 104-DCC REPORT Materials Structures, 1991, 24, 253-259.

Johnson, S.M.,(1965), Deterioration, Maintenance and Repair of Structure, by McGraw-Hill Book Company New York, copyright 1965.

Jones, R., Swamy, R.N. ve Salman, F.A.R., (1985), "Structural Implications of Repairing by Epoxy-Bonded Steel Plates", Structural Fault, 1985, 75-80.

Jones, R., Swamy, R.N, R.N. ve Charif, A., (1988), "Plate Separation and Anchorage of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plates", The Structural Engineer, V.66, No.5/1, March 1988, 85-94.

Karaca, Z., Durmuş, A. ve Hüsem, M., (1997), "Hafif Betonun Yangın Dayanımının İncelenmesi", İnşaat Mühendisliğindeki Gelişmeler 3. Teknik Kongre, Eylül 1997, Ankara, 563-572.

Karadoğan, F. ve Yüksel, E., (1993), "Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Yapı Davranışına Etkileri", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 481-490.

Karadoğan, F., Ülker, R., Boduroğlu, H. ve Yüksel, E., (1993), "Deprem Perdeleri ile Güçlendirilmiş Yapılar ve Temelleri", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 1-8.

Karantoni, F.V. ve Faedis, M.N., (1989), "Computed Versus Observed Seismic Response and Damage of Masonry Buildings", Journal of Structural Engineering, Vol.118, No.7, July 1992, 1804-1821.

Kılıç, A., (1992), "Türkiye'de Yangından Korunma Önlemleri ve Mevzuatı", Yapıda Yangından Korunma Sempozyumu, YEM, Kasım 1992, İstanbul.

Kumbasar, N., (1993), "Kat Döşemeleri Farklı Düzeyde Olan Bina Çerçevesinde Depremde Çarpışma Problemi", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 231-244.

Lauer, K.R., (1991), "State-of-the-Art Report: the use of Damage Classification Systems for Concrete Structures", RILEM 104-DCC REPORT Materials Structures, 1991, 24, 265-267.

Lava, A., Erken, A., İyisan, R. ve Ansal, A., (1993), "Erzincan'da Yerel Zemin Koşulları ve Bunun Yapısal Hasar Üzerindeki Etkisi", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 25-38.

Lie, T.T. ve Irwin, R.J., (1993), "Method to Calculate the Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns with Rectangular Cross Section", ACI Structural Journal, January-February 1993, 53-60.

Mailvaganam, N.P., (1992), Repair and Protection of Concrete Structures, CRC Press, 1992

Mehta, P.K., (1986), Concrete Structure Properties and Materials, by Prentis-Hall, USA

Moskvin, V., (1983), Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection, Mir Publishers, Moskow.

Müller. K.F., (1991), "Principles of a Standard Survey and Damage Classification System for Concrete Structures", RILEM 104-DCC REPORT Materials Structures, 1991, 24, 260-264.

Neville, A.M., (1975), Properties of Concrete, Pitman Publishing Ltd., London, 1975

Oehlers, D.J., Mohamed Ali, M.S. ve Luo W., (1998), "Upgrading Continuous Reinforced Concrete Beams by Gluing Steel Plates to their Tension Faces", Journal of Structural Engineering, March 1998, 224-232.

Okutucu, F.S., (1993), "13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Denetim Tasarım ve Yapım Hataları Nedeniyle Oluşan Hasarlar", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 464-468.

Özer, E., Pala, S., Karadaş, M., Girgin, K. ve Orakdöğen, E., (1993), "Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 469-480.

Özkul, H. ve Çolak, A., (1993), "Depremden Hasar Gören Yapıların Onarımında Polimer Kullanımı", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 101-108.

Özkul, H., Tercümanoğlu, B., Can, M. ve Atayurt, R., (1993), "Yapı Denetiminde Yıkıntısız Yöntemler", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 495-510.

Özkul, H. ve Uyan, M., (1989), "Taze beton çatlakları", 1. Ulusal Beton Kongresi, Mayıs 1989, İstanbul, 79-89.

Özüdoğru, K., (1993), "Zeminlerin Deprem Parametrelerinin Arazi ve Laboratuvar Yöntemleriyle Tayini", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 594-606.

Perkins, P.H., (1986), Repair, Protection and Waterproofing of Concrete Structures, by Elsevier Applied Science Publishers, London-New York.

Riley, M.A., (1991), "Assessing Fire-Damage Concrete", *Concrete International*, June 1991, 60-63.

Riley, M.A., (1991), "Possible New Method for the Assessment of Fire-Damage Concrete", *Magazin of Concrete Research*, Vol.43, No. 155, June 1991, 87-92.

Roberts, T.M. ve Haji-Kazemi, H., (1989), "Theoretical Study of the Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Externally Bonded Steel Plates", *Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 2*, V.87, March 1989, 39-55.

Rodriguez, M. ve Park, R., (1994), "Seismic Load Tests on Reinforced Concrete Columns Strengthened by Jacketing", *ACI Structural Journal*, March-April 1994, 150-159.

Sarıoğlu, F., (1994), "Metallerde Sülfat Redükleyici Bakterinin Neden Olduğu Mikrobiyolojik Korozyon", *IV. Korozyon Sempozyumu*, Ekim 1994, 251-258, İstanbul

Sharif, A.M., Al-Sulamani, G.J., Basunbul, İ.A., Baluch, M.H., and Husain, M., (1994), "Strengthening of Shear-Damaged RC Beams by External Bonding of Steel Plates", *Magazine of Concrete Research*, V. 47, No.173, Dec.1995, 329-334.

Sucuoğlu, H. and Çıtıptıoğlu, E., (1989), "Strenght Reserve of Locally Damaged Reinforced Concrete Frames", *CEB-IMOIS-METU Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures*, April 1989, İzmir.

Sucuoğlu, H. and Çıtıptıoğlu, E. ve Altın, S., (1994), "Resistance Mechanisms in RC Building Frames Subjected to Column Failure", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 120 No. 3, March 1994, 765-782.

Swamy, R.N., Jones, R. ve Bloxham, J.W., (1987), "Structural Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plates", *The Structural Engineer*, Vol. 65A, No. 2, February 1987, 59-68

Swamy, R.N., Jones, R., Charif, A., (1989), "The Effect of External Plate Reinforcement on the Strengthening of Structurally Damaged RC Beams", *The Structural Engineer*, Vol. 67, No. 3/7, February 1989, 45-56

Swamy, R.N., Hobbs, B. ve Roberts, M., (1995), "Structural Behaviour of Externally Bonded, Steel Plated RC Beams After Long-Term Exposure", *The Structural Engineer*, Vol. 73, No. 16, August 1995, 255-261

Taljsten, B., (1997), "Strengthening of Beams by Plate Bonding", *Journal of Materials in Civil Engineering*, November 1997, 206-211.

Tankut, T., (1997), "İstanbul Kamu Yapıları Deprem Güvenliği Değerlendirmesi Eylem Planı", *4.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 17-19 Eylül 1997, Ankara, 204-211.

Tankut, T. ve Ersoy, U., (1989), "Beton Dayanımının Yapı Güvenliğine Etkisi", 1. Ulusal Beton Kongresi, Mayıs 1989, İstanbul, 38-51.

Tankut, T. ve Ersoy, U., (1993), "Sorunlu Yapı İnceleme İlkeleri", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 183-200.

Tankut, T., Ersoy, U. ve Aksan, B., (1989), "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Columns", CEB-IMOIS-METU Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures, April 1989, İzmir.

TEKEL, H., (1993), "Erzincan'da Uygulanan Değişik Bir Onarım ve Takviye Örneği", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 245-262.

TSE, (1985), TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Şubat 1985, Ankara.

TSE, (1983), TS 1263, Yapı Elemanlarının Yanmaya Dayanıklılık Sınıfları ve Yanmaya Dayanıklılık Deney Metodları, TSE, Eylül 1983, Ankara.

TSE, (1975), TS 1913, Yapı Malzemeleri - Isı Değeri Tayini, TSE, Nisan 1975, Ankara

TSE, (1984), TS 4065, Yapı Bileşenlerinin Yanmaya Dayanıklılık Sınıfları, TSE, Eylül 1984, Ankara

Tuna, E. M., (1992), "Betonarmede Korozyon", İMO İzmir Şubesi Haber Bülteni 40, Nisan 1992, 18-23.

Utku, M. ve Wasti, S.T., (1997), "Dinar Depremi'nde Betonarme Binalarda Uygulanan Yerde Güçlendirme Çalışması", 4.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 17-19 Eylül 1997, Ankara, 220-229.

Ülker, R., Tezcan, S.S., İpek, M., Köylüoğlu, A.M. ve Yuva, Y., (1993), "Erzincan'da 2010 Adet Konutun Onarım ve Güçlendirilmesi", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1993, İstanbul, 499-524

Vintzeleou, E., (1989), "Infilling of R.C. Frames as a Strengthening Intervention", CEB-IMOIS-METU Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures, April 1989, İzmir.

Wasti, S.T., Erberik, M.A., Kaur, C. ve Sucuoğlu, H., (1997), "Dinar Depreminde Hasar Görmüş Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirme Çalışması", 4.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 17-19 Eylül 1997, Ankara, 230-241.

Yakut, A. ve Gülkan, P., (1993), "Yapısal Düzensizliklerin Deprem Davranışı Üzerindeki Etkisi", Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Mayıs 1993, Ankara, 201-218.

Yao, T.P.J., (1980), "Damage Assessment of Existing Structures", Journal of The Engineering Mechanics Division, ASCE, August 1980, 785-799.

Zhang, S., Raoof, M. veWood, L.A., (1995), "Prediction of Peeling Failure of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Steel Plates", Proc.Instn.Civ. Engr.s Structs.and Buildings, V.110, August1995, 257-268.

Ziraba, Y.N., Baluch, M.H., Basunbul, İ.A., Sharif, A.M., Azad, A.K. ve Al-Sulamani, G.J., (1994), "Guidelines toward the Design of Reinforced Concrete Beams with External Plates", ACI Strustural Journal, V. 91, No.6, November- Dec.1994, 639-646.



**ÖZGEÇMİŞ**

<b>Doğum tarihi</b>	21.8.1959	
<b>Doğum yeri</b>	İzmir	
<b>Lise</b>	1973- 1976	Karşıyaka Kız Lisesi
<b>Lisans</b>	1977- 1982	Yıldız Üniversitesi
<b>Yüksek Lisans</b>	1984-1986	Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı
<b>Çalıştığı kurum</b>	1983	YTÜ İnşaat Mühendisliği Fakültesi, İnşaat Bölümü Araştırma Görevlisi

