

T.C.

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128216

**BETONARME YAPI ELEMANLARININ
FRP MALZEMELERLE
ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ**

Nihat ÇETİNKAYA

Yüksek Lisans Tezi

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

DENİZLİ-2002

128215

**BETONARME YAPI ELAMANLARININ
FRP MALZEMELERLE
ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarafından Kabul Edilen
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

Nihat ÇETİNKAYA

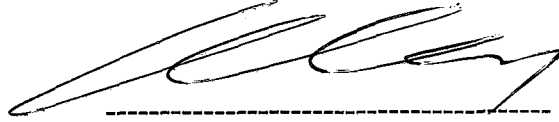
**İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Savunma Sınavı Tarihi:25.07.2002

DENİZLİ – 2002

TEZ SINAV SONUÇ FORMU

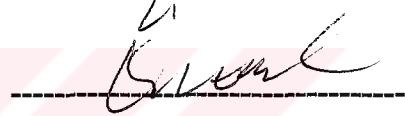
Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Hasan KAPLAN
(Yönetici)

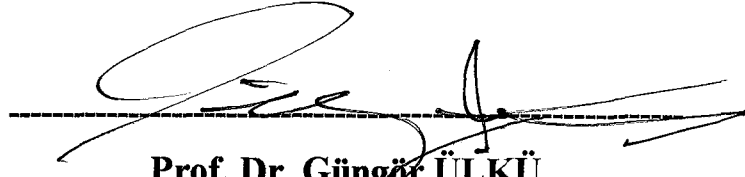


Doç. Dr. Muzaffer TOPCU
(Jüri Üyesi)



Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun
27.8.2002.....tarih ve19/7.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Güngör ÜLKÜ
Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasındaki yardımları ve teşviklerinden dolayı danışmanım sayın Doç. Dr. Hasan KAPLAN'a, deneysel çalışmalar ile ilgili büyük yardımlarından dolayı Sayın Dr. Şevket Murat ŞENEL'e ve Dr.Yavuz Selim TAMA'ya, Laboratuvar görevlileri Alaattin ALTAY ve Mehmet GÜNGÖR'e, TEPE İnşaat A.Ş.'ne, Aygören İnşaat Şirketine ve FRP malzeme tedarikçisi SİKA Şirketine teşekkür ederim.



Nihat ÇETİNKAYA

ÖZET

Bu çalışmada Betonarme Yapı elemanlarının FRP (Fiber Reinforced Polimer), komposit, malzemelerle onarım ve güçlendirilmesi incelenmiştir.

Konu ile ilgili Türkiye’de ve Dünya’da yapılmış olan çalışmalar araştırılmış ve şu anda Türkiye’de mevcut olan FRP malzemelerle deneysel çalışma yapılmıştır.

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılan deneysel çalışmada 4 adet betonarme Kiriş elemanı denenmiştir.

Toplam 12 adet hazırlanan numuneler üç gruba ayrılmıştır. Bu çalışma kapsamındaki 1. grup numuneler 4 adet olup minimum donatıya sahiptir (Çift donatılı kiriş modeli).

Numunelerin ikisinde güçlendirme, diğer ikisinde ise onarım yapılmıştır.

Deneyler için yük-deplasman grafikleri elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma sonucunda FRP, komposit, malzemelerle yapılan onarım ve güçlendirmenin, betonarme elemanının taşıma gücünü önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Nihat ÇETİNKAYA

ABSTRACT

In this study, behavior of Reinforced Concrete beams repaired and strengthened with FRP (Fibre Reinforced Polimer) sheets are investigated.

Studies related with the subject are searched and then an experimental study using an available FRP material, Carbon Fiber Reinforced Polimer (CFRP) plates and CFRP Wrap, has been done.

Four Reinforced concrete beams are tested in the Structural Mechanics Laboratory of Pamukkale University-Faculty of Engineering-Civil Engineering Department.

Two of the beams are strengthened and the other two beams are repaired and strengthened with FPP sheets, and tested.

As a result of this study, it is seen that repair and strengthening of reinforced Concrete beams with FRP sheets can increase the strength of the beams considerably.

Nihat ÇETİNKAYA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İçindekiler.....	VII
Şekiller Dizini.....	X
Çizelgeler Dizini.....	XII
Simgeler Dizini.....	XIII

Birinci Bölüm

GİRİŞ

1 Giriş	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	2
1.2 Çalışmanın Önemi ve Uygulamaya Katkıları.....	2

İkinci Bölüm

2-B.A. YAPI ELEMANLARININ ONARIM VE GÜÇLENDİRİLME İLKE VE ESASLARI

2.1 Onarım ve Güçlendirme İlkeleri.....	3
2.2 Onarım ve Güçlendirme Esasları.....	6
2.3 Onarım ve Güçlendirilmede Kullanılan Malzemeler.....	7
2.4 Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri.....	7
2.4.1 Betonarme Mantolama.....	7
2.4.2 Köşebent Profillerle İskelet Geçirme.....	7
2.4.3 Çelik Kılıf İle Gömlek Giydirmesi.....	8
2.4.4 FRP Malzemelerle Güçlendirme.....	8
2.5 Kompozitlerin başlıca ayırıcı özellikleri.....	8
2.6 FRP ile ilgili Literatür.....	10

Üçüncü Bölüm

3-BETONARME YAPILARDA HASARLAR

3.1 Genel.....	16
3.2 Taşıyıcı Olmayan Yapı Elemanlarındaki Çatlak ve Hasarlar.....	16
3.2.1 Deprem Hasarı.....	16
3.2.2 Oturma ve Aşırı Sehim Hasarları.....	17
3.3 Taşıyıcı Yapı Elemanlarında Hasarlar.....	17
3.3.1 Deprem Hasarı.....	17
3.3.2 Kolonlarda Kesme ve Basınç Hasarları.....	18
3.3.3 Kolon-Kiriş Ek Yeri Hasarları.....	19
3.3.4 Kirişlerde Hasarlar.....	19
3.5.5 Döşeme Hasarı.....	20
3.5 Betonarme Yapıda Hasar Değerlendirmesi.....	20
3.5.1 Eleman Hasar Düzeyleri.....	20
3.5.2 Yapı Hasar Düzeyleri.....	21
3.5.3 Yapı Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi.....	21

Dördüncü Bölüm

4-BETONARME TAŞIYICI ELEMANLARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1 Döşemelerin Onarım ve Güçlendirilmesi.....	23
4.2 Betonarme Kirişlerin Güçlendirilmesi.....	25
4.3 Betonarme Kolonların Onarım ve Güçlendirilmesi.....	27
4.4 Betonarme Temellerin Güçlendirilmesi.....	29
4.5 Sistem İyileştirmesi.....	30

Beşinci Bölüm

5-DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Giriş.....	32
5.1.1 Betonarme Kiriş Davranışı.....	32
5.2 Deneylerde Yapılan Kabuller.....	34
5.2.1 Beton , Donatı Çeliği Numuneleri ve FRP malzeme özellikleri.....	34
5.2.2 Deney Kirişlerinin Hazırlanması.....	34
5.4 Deneylerin Yapılışı.....	41
5.4.1 Genel.....	41
5.4.1.1 Güçlendirme Esasları Ve Teorik Varsayımlar.....	41
5.4.1.2 FRP Malzemelerle Güçlendirme Uygulama Örnekleri.....	42
5.4.2 Yükleme Düzeni.....	44
5.4.3 Ölçüm Düzeni.....	44
5.4.3.1 Deney Kirişleri.....	44
5.4.3.2 Silindirik Beton Numuneler için Hazırlanan Ölçüm Düzeneği.....	46
5.4.4 Yalın Kirişlerin Deneyi.. ..	46
5.4.5 Hasar Görmüş Deney Kirişlerinin Epoksi Enjeksiyonu ile Onarımı.....	49
5.4.5.1 Hasar Görmüş Kirişlerindeki Çatlaklara Epoksi Enjeksiyonu	50
5.4.6 Betonarme Kirişlerinin CFRP Malzeme ile Onarım ve Güçlendirilmesi.....	53
5.4.7 CFRP Malzeme ile Onarım / Güçlendirilmiş Deney Kirişlerinin Testi.....	57
5.4.7.1 1.Deney, A3Güçlendirme.... ..	57
5.4.7.2 2.Deney, A1, Onarım ve Güçlendirme.... ..	60
5.4.7.3 3.Deney, A2, Onarım ve Güçlendirme..... ..	62
5.4.7.4 4.Deney, A4, Güçlendirme..... ..	65

Altıncı Bölüm

6- SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Yalın Kirişler İle İlgili Sonuçlar.....	67
6.2. Kiriş Alt Yüzüne CFRP Şeritlerle Yapılan O/G İle İlgili Sonuçlar.....	68
6.3. Kiriş Alt Yüzüne CFRP Şeritler ve Yan Yüzlerine CFRP Wrap, Sargı Yapıştırılarak Yapılan O/G İle İlgili Sonuçlar.....	70
6.4.Kiriş Alt Yüzüne FRP Şeritler ve Kesit Çevresine FRP Dokuma Sargı ile Güçlendirme Sonuçları.....	70
6.5 Silindir Beton Numunelerin FRP Dokuma ile Sargılanması Deney Sonuçları....	73
6.6. Sonuçlar.....	76

KAYNAKLAR.

78

EKLER

ÖZGEÇMİŞ.....	83
FRP İLE O/G HESAP YÖNTEMLERİ.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 5. 1: Kiriş kalıpları.....	35
Şekil 5.2: Donatı hazırlanması.....	36
Şekil 5,3: Donatı Yerleştirilmesi.....	36
Şekil 5.4: Beton Dökümü.....	37
Şekil 5.5: Donatı Detayları.....	37
Şekil 5.6: Beton Dökümünden Önce Son Durum.....	38
Şekil 5.7: Numune Detay.....	38
Şekil 5.8: Numune Detay.....	39
Şekil 5.9: Beton Dökümü.....	39
Şekil 5.10: Beton Dökümü.....	40
Şekil 5.11: Numune Beton Yüzeylerin Perdahlanması.....	40
Şekil 5.12: Kolon Güçlendirme.....	42
Şekil 5.13: FRP Sarılmış Kolon.....	42
Şekil 5.14: Dairesel Kolon Güçlendirme.....	43
Şekil 5.15: Kiriş Güçlendirme.....	43
Şekil 5.16: Yüzey Hazırlığı.....	43
Şekil 5.17: Kiriş Kesme Güçlendirmesi.....	44
Şekil 5.18: Döşeme Güçlendirmesi Hazırlık.....	44
Şekil.5.19a: Kiriş Ölçüm Düzeneği.....	45
Şekil.5.19b: Silindir Numune Ölçüm Düzeneği Ve FRP Sargılı Test Sonucu.....	46
Şekil.5.20: Kiriş yüzeylerini Elektrikli tel fırça ile pürüzlendirilme.....	47
Şekil.5.21: Kiriş Köşelerinin ovalleştirilmesi.....	47
Şekil.5.22: Yalın kiriş test başlangıcı.....	48
Şekil 5.23: Yalın kiriş eğilme çatlakları.....	48
Şekil 5.24: Yalın kiriş deplasmanların geri alınması.....	49

Şekil 5.25: Yalın kirişin deplasmanı alınmış durumu.....	49
Şekil.5.26: Kiriş yüzeyinin basınçlı hava ile temizlenmesi.....	50
Şekil.5.27: Enjeksiyon dübeli deliklerinin basınçlı hava ile temizlenmesi.....	50
Şekil.5.28: Enjeksiyon dübelleri için delik açma.....	51
Şekil.5.29: Enjeksiyon dübeli (Paker).....	51
Şekil.5.30: Enjeksiyon dübellerinin çakılması.....	51
Şekil.5.31: Enjeksiyon yapılacak çatlakların yüzeyinin epoksiyle kapatılması.....	52
Şekil.5.32: Çatlaklara epoksi enjeksiyonu.....	52
Şekil.5.33: Enjeksiyon makinesi.....	53
Şekil.5.34: FRP plaka (şerit) ve yapıştırma harcı(epoksi reçinesi).....	53
Şekil 5.35: FRP plakanın yapıştırılması.....	54
Şekil.5.36: FRP Wrap(dokuma) ve normal bir makas ile kesilmesi.....	54
Şekil.5.37: FRP ile sargılama.....	55
Şekil.5.39: FRP ile sargılanmış kiriş.....	55
Şekil.5.40: FRP sargı üzerine epoksi reçinesi ile kaplama.....	56
Şekil.5.41: Silindir beton numunelerin FRP Wrap ile sarılması.....	56
Şekil.5.42: Alt yüzüne FRP plaka yapıştırılarak güçlendirilen kiriş.....	57
Şekil 5.43: FRP plaka ile güçlendirilen kiriş (A3).....	58
Şekil 5.44: FRP plaka ile güçlendirilen kirişte kesme çatlakları.....	58
Şekil 5.45: FRP plaka ile güçlendirilen kirişin deney sonları.....	59
Şekil 5.46: FRP plaka ile güçlendirilmiş kiriş son durumu.....	59
Şekil5.47: FRP plaka ile güçlendirilmiş kiriş-kesme çatlakları ve paspayının kopması	60
Şekil 5.48: FRP plaka ile güçlendirilmiş kiriş-kesme çatlakları-detay.....	60
Şekil 5.49: FRP plaka ile onarım ve güçlendirilmiş kiriş test başlangıcı.....	61
Şekil 5.50: FRP plaka ile onarım ve güçlendirilmiş(O/G) kiriş testi.....	61
Şekil 5.51: FRP plaka ile O/G yapılmış kiriş testi-kesme çatlakları.....	62
Şekil 5.52: FRP plaka ile O/G yapılmış kirişin testindeki son durumu.....	62
Şekil 5.53: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi.....	63
Şekil 5.54: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi.....	64
Şekil 5.55: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi.....	64
Şekil 5.56: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi.....	64
Şekil 5.57: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi.....	65

Şekil 5.58: FRP plaka ve FRP dokuma ile güçlendirilmiş kiriş testi.....	65
Şekil 5.60: FRP plaka ve FRP dokuma ile güçlen. kiriş testi(-25 mm düş.depl.).....	66
Şekil 5.61: FRP plaka ve FRP dokuma ile güçlendirilmiş kiriş testi son durumu.....	66
Şekil 6.1:Yalın kiriş testi (A1).....	67
Şekil 6.2:Yalın kiriş testi (A2).....	67
Şekil 6.3: FRP plakalarla güçlendirilmiş kiriş testi.....	68
Şekil 6.4: FRP plakalarla O/G yapılmış kiriş testi.....	68
Şekil 6.5:Yalın kiriş ve FRP plaka ile O/G yapılmış kiriş test sonuçlarının karşılaştırılması.....	69
Şekil 6.6: FRP plaka ile yapılan onarım ile güçlendirme test karşılaştırılması.....	69
Şekil 6.7: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş test sonuçları.....	71
Şekil 6.8: FRP plaka ve FRP dokuma ile güçlendirilmiş kiriş test sonuçları.....	71
Şekil 6.9:Yalın kiriş ve FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş test sonuçları	72
Şekil 6.10: Sargılamanın etkisi (O/G).....	72
Şekil 6.11: Onarım ile güçlendirmenin karşılaştırması (FRP plaka +FRP sargı).....	73
Şekil 6.12: Sargılama etkisi (Güçlendirme).....	73
Şekil 6.13 :Yalın Silindir numune Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi.....	74
Şekil 6.14:FRP Dok. ile sarılmış silindir numune Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi....	74
Şekil 6.15 : Yalın ve FRP ile sarılmış silindir numuneler.....	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1: Bütün Deneylerin Yük-Deplasman Değerleri.....	75
--	----



SİMGELER DİZİNİ

FRP	: Fiber Reinforced Polimer (Lif Takviyeli Polimer)
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Polimer(Karbon Lif Takviyeli Polimer)
GFRP	: Glass Fiber Reinforced Polimer(Cam Lifi Takviyeli Polimer)
O/G	: Onarım Ve Güçlendirme
P	: Yük
δ	: Deplasman
σ	: Gerilme
ε	: Şekil değiştirme
p	: Donatı oranı
P_b	: Dengeli donatı
A_s	: Donatı kesit alanı
A_b	: Dengeli donatı kesit alanı
b_w	: Kiriş gövde genişliği
E_s	: Elastisite modülü
M	: Moment
T_j	: FRP malzeme kalınlığı
V_j	: FRP malzemenin sağladığı kesme mukavemeti artışı
F_j	: FRP malzemenin hesap emniyet gerilmesi ($\leq 0,75 f_{uj}$)
F_{uj}	: FRP malzemenin çekme mukavemeti
H	: Dikdörtgen kolon eni
D	: Dairesel kolon çapı
ϵ_{uj}	: FRP malzemenin kopma birim şekil değiştirmesi
f_{cc}^1	: Sargılı beton dayanımı
ρ_s	: Sargılama oranı
b,h	: Kolon ebatları
D	: Dairesel kolon çapı

- V_{sj} : FRP malzeme tarafından sağlanan kesme mukavemeti iyileştirmesi.
D : Kiriş derinliği
 A_j : FRP malzeme alanı (FRP eni X katman sayısı X FRP malzeme kalınlığı)
 J_d : Kesit moment kolu



BİRİNCİ BÖLÜM

1 GİRİŞ

Betonarme yapı elemanlarının; tasarım ve uygulama hataları, zamana bağlı zayıflamalar, kullanım amacının değiştirilmesi ve en önemlisi deprem etkisi gibi nedenlerle onarım veya güçlendirilmesi gerekebilir.

Depremlerde hasar görmüş yapıların çoğunluğu onarım ve güçlendirme ile yeniden kullanılmaktadır. Ağır, ancak onarılabilir derecede hasarlı yapıların onarımındaki amaç bunların hasar öncesine göre daha yüksek güvenli bir duruma getirilmesi ve aynı şiddette bir depremin yeniden olması durumunda yapıdaki hasarın daha düşük bir düzeyde kalabilmesidir. Bu amacın gerçekleşmesi için de, yapının taşıyıcı sisteminin çeşitli özelliklerinin geliştirilip, iyileştirilmesi ve taşıma gücünün artırılması gereklidir (Bayülke, 1995).

Yapısal anlamda onarım/güçlendirme uygulamaları, doğal olarak yapım uygulamaları kadar eski tarihlere gider. Ancak, konu ile ilgili, güvenilir deneysel araştırma sonuçları yeterli olmaktan uzaktır. Yapı ve yapı elemanlarının onarım sonrası davranışları çok az bilinmektedir. Bu yüzden, onarım ve güçlendirme uygulamaları mühendislik önsezisi ve yapı davranışı bilgisi gerektirmektedir. Hasar görmüş bir yapının hasar seviyesi ve bu seviyeyi göstermek için kabul edilen yollar herhangi bir teknik yönetmelikte henüz yer almamıştır.

Betonarme taşıyıcı yapı sistemlerinin onarım ve güçlendirilmesine yönelik çeşitli uygulamalar gerçekleştirilmişse de yakın zamana kadar bu konu araştırmacılarca ele alınıp sağlıklı ve güvenilir bir şekilde yeterince araştırılmamıştır. Yurdumuzda ve gelişmekte olan ülkelerde sorunlu yapı çokluğu, gelişmiş ülkelerde ise deprem davranışının son yıllarda ayrıntılı biçimde araştırılması sonucu ve deprem yönetmeliklerinde yapılan değişiklikler konuya önem kazandırmıştır.

Onarım ve güçlendirme uygulamaları, deprem etkinliğinin fazla olduğu ülkelerde çok yaygındır. Deprem nedeniyle hasara uğramış yapıların yada yapı elemanlarının onarılması gerekir. "Diğer yandan ileride gerçekleşebileceği düşünülen depremlere yeterince dayanıklı olmadığı anlaşılan (örneğin, eski yönetmeliklere göre yapılmış olan ve yeni deprem yönetmeliği gereklerine uygun olmayan) yapı ve yapı elemanlarının güçlendirilmesi de söz konusudur" (Tankut ve Ersoy, 1993, s. 183-185).

1.1 Çalışmanın Amacı

Çok büyük bir bölümü 1. derecede deprem bölgesinde olan Türkiye’de, mevcut yapıların büyük bir kısmının onarım veya güçlendirilmesi gerekmektedir.

Şu anda kullanımda olan bu yapıların onarım ve güçlendirilmesi için, her yapının kendine özgü şartlarına göre, en ekonomik metot araştırılmalıdır.

Bu çalışmanın amacı, son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan, yeni bir malzeme, FRP ile onarım ve güçlendirme yönteminin uygulanmasına katkıda bulunmaktır.

Deneysel olarak yapılan bu çalışmada şu hususlar araştırılacaktır.

- a)-FRP malzemelerle onarım ve güçlendirme yöntemlerinin uygulama zorlukları
- b)-FRP malzemeler ile onarım ve güçlendirme, B.A. elamanın taşıma gücünü ne kadar artırır?
- c)-Test sırasında FRP malzemenin davranışı nasıldır?
- d)-FRP ile ilgili teorik verilerle deneysel sonuçlar ne kadar uyuyor.

1.2 Çalışmanın Önemi ve Uygulamaya Katkıları

FRP malzeme ile yapılan onarım ve güçlendirme kalıp,demir ve beton döküm ve sökümü gibi işler gerektirmediği için yapının kullanımını çok fazla etkilemez. Çalışması durdurulamayacak olan yapıların veya deprem gibi doğal afetlerden sonra hasar görmüş fakat çok hızlı bir şekilde faaliyete geçirilmesi gereken, hastane gibi, yapıların onarım ve güçlendirilmesi bu yöntem ile mümkündür.

Çok hızlı bir yöntemdir. FRP malzeme çevre şartlarından çok az etkilen bir malzemedir. Kullanılan malzemenin ve uygulanan yöntemin yeterince tanınması ve uygulayıcılara aktarılması büyük bir önem arz etmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

2 B.A. YAPI ELEMANLARININ ONARIM VE GÜÇLENDİRME İLKE VE ESASLARI

Onarım ve güçlendirme işinde, her yapının kendine özgü özelliklerinden dolayı o yapıya özgü onarım ve güçlendirme yöntemi belirlenmelidir.

2.1 Onarım Ve Güçlendirme İlkeleri

Onarım; hasar görmüş bir yapı elemanının önceki haline getirmek veya daha iyi duruma çıkarmaktır.

Güçlendirme; yapının veya yapı elemanının mukavemet ve benzeri özelliklerini mevcut düzeyinin üstüne çıkarmaktır.

Mevcut bir yapının güçlendirilmesi ile ilgili bazı hususlar ele alınmıştır.

Yapı Ağırlığını Azaltmak: Depremde yapıya gelen yatay kuvvet yapının ağırlığı ile orantılı olduğu için, yapının ağırlığında yapılacak bir azaltma aynı oranda yapıya gelecek deprem kuvvetinin de azalmasına neden olacaktır. Yapıyı hafifletmek için tuğla bölme duvarların yerine daha hafif alçılı bölme bloklar, gaz beton veya ahşap panolu bölme duvarlar yapılabilir. Mevcut yapının üst katlarından bir yada birkaç katı yıkılabilir. Yapı içindeki kalın sıvalar, ağır dekoratif malzemeler yada dış yüzündeki taş kaplamalar kaldırılabilir.

Yapıyı hafifletme imkanı her zaman bulunmayabilir. Hafifletme imkanları araştırmalı varsa bu imkanlardan yararlanılmalıdır. Merdivenlerden taşıyıcı sisteme gelen yükleri azaltmak için merdiven yüklerini doğrudan zemine aktarabilme yoluna gidilebilir.

Yapının Sünekliğinin Artırılması: Betonarme yapılarda süneklik, yapının enerji tüketme gücüdür. Betonarme yapılar rijit olan kolon-kiriş birleşimlerinden

çatlayıp hasar görerek plastik mafsal oluşumu ile deprem enerjisini tüketir. Bu mafsalların kolon uçlarında oluşmasına müsaade edilmemelidir. Plastik mafsallarda taşıma gücünden önemli bir kayıp olmamalıdır. Yapıların deprem sonrası onarımlarında çoğunlukla kesitlerin genişletilmesi, çerçeve boşluklarına perde duvar konulması gibi önlemler kullanılmaktadır. Bu gibi önlemler ise, yapının dayanımını artıran fakat sünekliğini artırmayan uygulamalardır. Rijitliği yüksek elemanların sünekliği azdır. Ayrıca mantolama biçimindeki güçlendirmede çok miktarda donatı kullanılacağından süneklik yine az olur. Donatı oranı arttıkça süneklik azalmaktadır. Yapılan onarım ve güçlendirme ile sünekliğin ne oranda değiştiğini belirlemek kolay değildir. Genellikle onarım güçlendirme ile süneklik azalmaktadır.

Yapının Taşıma Gücünün Artırılması: Yapıda oluşan hasar, yapıya etkiyen kuvvetlere karşı dayanımın az olmasının bir sonucudur. Etki eden kuvvetlere karşı yeterli dayanım sağlanması ile hasar önlenecektir. Bunun için yapının, etkiyen yada etkimesi muhtemel olan yüklere karşı dayanımı yetersiz ise, dayanımının artırılması gereklidir. Yapılar, meydana gelen hasarlardan sonra eski taşıma gücünün altında bir taşıma gücüne ulaşırlar. Onarım ile bu güç azalması telafi edilmelidir.

Kolon ve duvarlarda oluşan çatlaklar ve ezilmeler yapının düşey yükleri taşıma gücünde bir azalma olduğunu işaretidir. Yapılan onarım ile yapının hem düşey hem de yatay kuvvet taşıma kapasitesi artırılmalıdır. Yapının taşıma gücünün artırılması, hasar görmüş taşıyıcı elemanlarının yeni elemanlarla takviyesi, sistem içinde uygun ilave taşıyıcı elemanların yerleştirilmesi, mevcut elemanların en kesitlerinin genişletilmesi ile yapılır. Genellikle yapılan onarım ve güçlendirme, yapının daha büyük deprem yüklerine karşı elastik bölgede kalarak, hasar oluşmadan, karşı koymasını sağlamaktadır.

Yapının Planındaki Mevcut Eksantristenin Giderilmesi: Kütle merkezi yatay yükün yapıya tesir ettiği nokta, rijitlik merkezi ise, yapıda yatay yüklere karşı koyan atalet kuvvetlerinin bileşkesinin etkime noktasıdır. O halde yapıya herhangi bir yanal deformasyon uygulandığında kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanlarında doğacak kuvvetlerin rijitlik merkezi etrafındaki momentlerinin toplamı sıfır olmalıdır. En ideal

durum yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmasıdır.

Yapıda hasar, yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezinin birbirinden uzak olması nedeniyle olmuş ise bunun ortadan kaldırılması gerekir. Perde duvarların yapının bir yanında toplanmış olması bu tür düzensizliğe sebep olabileceği gibi, taşıyıcı olmayan bölme duvarları her katta dengeli bir şekilde dağılmamış yapılar da bu problemle karşılaşılabilir. Onarım esnasında kütle ve rijitlik merkezleri imkanlar dahilinde birbirine yaklaştırılmalıdır. Bunu sağlamak için yeni perde duvarlar eklenebilir yada katlarda eksantristeye sebep olan duvarlar yıkılabilir.

Yapının Dinamik Özelliklerinin İyileştirilmesi: Yapıdaki hasar, doğal titreşim periyodu ile zemin hakim periyodunun birbirine çok yakın olmasından dolayı oluşan rezonans ile ilgili ise, yapının dinamik özelliklerinin değiştirilip yapı periyodu ile zemin hakim periyodunun birbirinden uzaklaştırılması gerekir. Bunun için yapının dinamik özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Bundan sonra yapı periyodunun uzatılması yada kısaltılması, yapının daha esnek yada rijit bir konuma sokulması ile, yapı periyodu zemin hakim periyodundan farklı hale getirilebilir.

Yapının ağırlığı artırılırsa periyodu uzar, ancak bu durumda da yapıya gelen deprem kuvvetleri artar. Yapının rijitliği artırılırsa periyodu kısalır. Yapıya yeni elamanlar eklenmesi ve kesitlerin genişletilmesi yapının hem rijitliğini hem de taşıma gücünü artıracaktır.

Yapının sönüm oranının artırılması ve yapıdaki katlar arasındaki rijitlik değişimlerinin uyumlu olmasının sağlanması da yapının dinamik özelliklerini iyileştiren önlemlerdir. Yapının rijitliğinin üst katlardan aşağıya doğru giderek artması, katlar arasında ani ve büyük rijitlik farklarının olmaması üst kattan gelen perde duvarın zemin katta yapılmamış olmasından yada zemin katta yapılan perde duvarların üst katlarda kesilmemesi, yapının dinamik özelliklerini iyileştiren önlemlerdir (Tankut ve Ersoy, 1993).

2.2 Onarım ve Güçlendirme Esasları

Betonarme elemanların onarım ve güçlendirilmesi çok iyi bir davranış bilgisi gerektirir. Yapının tamamını göz önüne almadan yapılan bir onarım ve güçlendirme işlemi yapıya yarar yerine zarar verebilir.

2.2.1-Eleman Rijitliğinde Değişme:

Betonarme yapı elemanlarının güçlendirilmesi yapının eğilme rijitliğinde önemli artışlara neden olabilir. Bunun sonucunda elemanlar arasındaki moment dağılımında değişikliğe neden olabilir. Güçlendirme işlemlerinde bu etkilerin mutlaka göz önüne alınması gerekir.

2.2.2-Ankastrelik Derecesinde Değişme

Uygulanan onarım ve güçlendirme işlemleri hem yapı elemanlarının kendisinin hem de diğer elemanlar için sınır koşullarının değişmesine neden olabilir. Ve istenmeyen zorlama artışlarının oluşması yapı için sorun olabilir.

2.2.3-Yapı Geometrisinde Değişme

Onarım ve güçlendirme işlemleri yapı taşıyıcı sisteminin geometrisini değiştirebilir. Kirişlerin mevcut donatıları yeni durum için uygun değil ise yepyeni sorunlar ortaya çıkabilir.

2.2.4-Donatı Yüzdesinin Artması

Kirişlerin eğilme için güçlendirilmesi ile çekme donatısının artırılması sonucu donatı yüzdeleri yönetmeliklerce yasaklanmış olan denge üstü donatılı bir kiriş durumuna gelebilir. Bu kontrollerin yapılması gereklidir.

2.3 Onarım ve Güçlendirmede kullanılan Malzemeler

2.3.1 Beton ve Reçineler

Normal çimento betonunun hacim değişikliği ve büzülmesi eski elemanla yeni beton arasındaki iyi temasın kaybolmasına, dolayısıyla gerilme aktarımında sorunlara neden olur. Bunun için su/çimento oranı düşük, en az K4 kıvamında, Maksimum agrega dane çapı D_{max} 'ı küçük yüksek mukavemetli, betonların kullanılması gerekmektedir. Eski yüzeylerle kaynaşmanın sağlanması için önlemler alınmalıdır.

Onarım ve güçlendirme işlerinde rötresiz beton, Polimerli beton, Püskürtme beton (shotcrete) gibi betonlar tercih edilebilir.

Onarım güçlendirmede reçineler; Enjeksiyon, çelik ve kompozit malzemelerin yapıştırılmasında kullanılır. Reçineler genelde iki bileşenlidir; Reçine ve sertleştirici (hardener). Kullanılan reçinelerin uygun pota ömürleri yani donma süreleri olmalıdır. İşlenebilirlikleri iyi olmalıdır. Yapıştırma için kullanılan reçineler yüksek viskozitede olmalıdır.

2.4 Onarım Ve Güçlendirme Yöntemleri

2.4.1- Betonarme Mantolama

Betonarme mantolama, onarım ve güçlendirmede kullanılan en yaygın yöntemdir. Sistemin tamamını dikkate almadan yapılan mantolama işleminde, yerel olarak rijitliği arttırdığından bazı problemler getirebilir. (Sistemdeki iç kuvvetlerin dağılımını değiştirir.). Mantolamada eski ve yeni beton arasında iyi bir aderans sağlanmalıdır. Mantolamada, demir, kalıp ve beton dökme işleri, özellikle iç ve dar mekanlarda, çok zor olabilir. Yeni betonun kürü çok önemlidir.

2.4.2-Köşebent Profillerle İskelet Geçirme :

-Çelik köşebentlerin, B.A. elamanın köşelerine yerleştirilmesi ve bir birine lamalarla bağlanması ile yapılan güçlendirme yöntemidir.Kiriş-kolon birleşimlerinin takviyesine özen gösterilmelidir. Kaynak işinin çok iyi olması gerekir. Köşebentlerin elamana iyice yapıştırılabilmesi gerekir.

2.4.3-Çelik Kılıf İle G6mlek Giydirmesi :

Bu tarz g6çlendirme Epoksi reçineleri ile mevcut betona yapıştırılan çelik levhalar ile yapılır. Tahribatsız ve uygulaması kolaydır. Kesit boyutlarını arttırmaz. (ihmal edilebilir.).Çelik levhalar yangına ve korozyona karşı korunmaya alınmalıdır.

2.4.4-FRP, (Fibre Reinforced Plates)- kompozitler

Kompozit adı verilen modern malzemeler 1950'li yıllardan beri sürekli araştırılıp geliştirilmiş, havacılık ve uzay uygulamalarında olgunlaştıktan sonra, günümüzde betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde kullanılır duruma gelmiştir.

Bu malzemeler ile onarım ve güçlendirme çok daha hızlı olarak yapılabilmektedir.

Bu malzemelerin geçerliliği, başta ABD olmak üzere birçok gelişmiş ülkede, test edilerek onanmıştır. (Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi- Değerlendirme Raporu. 05.10.1999) United Airlines, Mitsubishi, ITT Sheraton gibi firmalar depremden zarar gören binalarının onarımında kompozit malzemeler kullanmışlardır.

Özellikle köprüler, beton su boruları ve korozyon dolayısıyla yapısal zayıflamanın görüldüğü yapılarda hızlı, ekonomik ve uzun ömürlü çözümler kompozit malzemeler ile mümkün olmaktadır.

Su yapılarının tamir ve güçlendirilmesinde, şu an için, yegane çözüm olarak görülmektedir.

2.5 Kompozitlerin başlıca ayırtıcı özellikleri :

Kompozitlerin bazı özellikleri maddeler halinde verilmiştir.

1. Çok yüksek çekme dayanımı.
2. Çok düşük özgül ağırlık. (Çeliğin 1/5 'i).
3. Paslanma ve korozyon problemi yok.
4. Her türlü şekle kolayca uygulanabilir.

5. Daha iyi yorulma performansı.

Kompozit malzemeler reçine ile bağlanmış lifler (lif, cam, karbon, kavlara vb.)'den meydana gelir. Burada incelenen kompozitlerdeki lifler uzununa mütamadir. Liflerin çok özel yapısal özellikleri vardır. Reçine, lifleri bağlayan ve koruyan, yükü fiberlere dağıtan bir fonksiyon ifâ eder. En yaygın reçineler; polyester ve vinylesterlerdir. Kompozitler anizotropik malzemelerdir. Uygulama tipine göre değişik yönlerde olabilirler. 0°, 90°, 45° gibi. Genellikle birkaç katman lif den oluşurlar ve toplam olarak. 1/16"den 1" kalınlığa kadar değişen plakalar olabilir.

Nem ve yüksek sıcaklığa dayanıklı reçineler üzerinde çok yoğun araştırmalar devam etmektedir. Şu an için en ümit vericisi PEEK (Polyester-Ether-Ketore) ve Phenstic-Resin sistemlerdir.

Bir takım belirsizlikler olmasına rağmen, 25 yıldır uçaklarda (Hoskin ve Boker 1986) kullanılan kompozit parçalarda çevre etkilerinden veya yorulmadan dolayı herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır. FRP elastik bir malzemedir. GFRP (Glass Fibre Reinforced Plates) de, çekme mukavemetinin %50'sinin altındaki gerilmelerde yorulma yoktur.

ABD'de üretilen kompozitlerden birinin (ERI-Quake Wrap) teknik özellikleri :

Tensile Strength (Çekme mukavemeti)

	GFRP (cam lifli)	CFRP (Karbon lifli)	CFRP	CFRP
Kanaviçe ağırlığı	675gr/m ²	640 gr/m ²	675 gr/m ²	1200 gr/m ²
Çift yönlü	223 kg/cm.	353 kg/cm.	400 kg/cm.	563 kg/cm.

Yapıştırıcıda kullanılan Reçine aşağıdaki özellikleri taşımalıdır.

Gerilme 37,2 MPa. (ASTM D 638)

Basınç 52,3 MPa. (ASTM D 695)

Uygulama, tasarım ve hesaplarda **International Conference of Building Officials-Evaluation Service** tarafından yayınlanan AC 125 kriterlerine uyulmaktadır.

Araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda Çift Reçine Uygulama Sistemi geliştirilmiştir.

a)-Malzeme Reçinesi: Malzemeye önceden emdirilen reçine olup, malzemeye tam nüfuz etmekte ve uygulama esnasındaki iççilik hatalarını en aza indirmektedir.

b)-Beton Reçinesi: Betona yüksek aderansla yapışır. İçindeki özel katkı maddeleri sayesinde esnekliğe sahiptir. Esneyen yapı elemanına gelen yükü kompozit malzemeye aktarmak için esner fakat kırılmaz.

2.6 FRP ile ilgili Literatür

Bu konuda ilk çalışmalar Almanya'da GFRP (kalın cam yünü lifleri ile güçlendirilmiş kompozit plakalar) ile başlamıştır.

İsviçre'de ince CFRP ile deneyler yapılmış. (Meier 1987). Bu çalışmalar, kesit analizlerinde kompozit kesit teorisinin geçerliliğini göstermiştir. (Strain Compatibility Method).

Kaiser, 1989 da uygulamalar için analitik bir model geliştirdi.

A.B.D. de M.R. Ehsani ve H. Saadetmenesh GFRP ile güçlendirilen betonarme küçük ve büyük ölçekli kirişlerde, uygun epoksilerin seçimi ile ilgili testler yapmışlar ve bu tekniğin başarısının büyük ölçüde kullanılan epoksi ye bağlı olduğunu göstermişlerdir.

-Kullanılan epoksi yeterli rijitlik, mukavemet ve sertliğe sahip olmalıdır.

-Seçilen uygun epoksi ile yapılan güçlendirme için hesaplanan (analitik model) ile deneysel sonuçlar uygunluk göstermiştir. Kirişlerin maksimum kapasitesi 4 kat artmıştır.

-Benzeri çalışmalar Ritehie et all (1991) tarafından da yapılmıştır.

(Kaiser,1989). İsveç' li araştırmacılar CFRP ile güçlendirilmiş kirişte 100 defa donma/çözülme deneyi sonucunda hiçbir mukavemet kaybı olmadığını göstermişlerdir.

Triantafillou, et.al 1992, CFRP 'nin önerilmeli olarak kirişlere yapıştırması ile ilgili analitik ve deneysel çalışma raporları sunmuştur.

Swiss Federal Testing Lab. da yorulma testleri yapılmış ve iyi sonuçlar alınmıştır.

(Meier et al. 1993; ACI-440 1996) önerilen teknik, Avrupa'da, bazı köprülerin güçlendirilmesinde uygulanmıştır.

Prof. M.R Ehsani ve ekibi, The University of Arizona, Journal of Composites For Construction : February, 1997/17 sayısında yayınlanan araştırmasında, FRP ile güçlendirilen dolgu duvarlarda kayma davranışını incelemiş ve sonuçlarını açıklamıştır. Sonuçlar bu yöntemle güçlendirilen örneklerin mukavemetlerinin ve sünekliklerinin arttığını göstermiştir.

Liflerin yönü, elemanın rijitliği üzerinde çok etkili ama taşıma gücünü etkilememiştir.

Tom Norris (Federal Hwy. Adwin), Mc. Lean, H. Saadatmenesh, M.R.Ehsani (Un iv. Of Arizona) tarafından Betonarme kirişlerin Karbon FRP ile güçlendirilmesi ile ilgili analitik ve deneysel çalışmalar Journal of Structural Engineering 1 July 1997/903'de yayınlanmıştır.

Bu çalışmada CFRP plakaların kirişlerin mukavemetini ve rijitliğini önemli ölçüde arttırdığı ispatlanmıştır.

CFRP liflerinin çatlaklara dik olarak yerleştirilmesi durumunda mukavemette ve rijitlikte çok büyük artış sağlanmış ve CFRP uçlarındaki gerilme yığılmalarından dolayı beton ezilmiş ve gevrek kırılma olmuştur.

CFRP liflerinin çatlaklara dik olmaması durumunda mukavemette ve rijitlikte daha az artış olmuş ama daha sünek bir davranış gözlenmiştir.

H.Saadatmenesh ,M.R.Ehsani, University of Arizona'da standart altı dikdörtgen betonarme köprü kolonunun FRP ile güçlendirilmesi deneyleri yapılmıştır.

Araştırma sonuçları, bu teknik ile güçlendirilmiş kolonlarda önemli ölçüde iyileşme olduğunu göstermiştir vBu testlerden aşağıdaki sonuç çıkarılmıştır ;

1-Eski deprem yönetmeliğine göre yapılmış köprü kolonlarının, boyuna donatıları, potansiyel plastik mafsallaşma bölgesinde, bindirmeli ek şeklinde yapılmış olması nedeniyle çok düşük duktilite seviyelerinde göçeceği görülmüştür. Durum yeterli sarma donatısı olmamasından kaynaklanmaktadır.

2-Potansiyel plastik mafsallık bölgeleri (uç bölgeleri) FRP ile sarılan kolonların mukavemeti ve deplasman düktilitesinde önemli artış gözlenmiştir. FRP ile güçlendirilen kolonlar çok uygun bir Yük-Deplasman zarfı çizmiştir.

3-Dikdörtgen şekli ile ovalleştirilmiş şekilde güçlendirme arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Ancak araştırmacı bu konunun daha fazla araştırılması gerektiğini belirtmiştir.

Arizona Üniversitesi'nin January 17,1994 Northridge Kaliforniya depreminde zarar gören Prekast-beton perde duvarların FRP ile onarımı ile ilgili yapmış olduğu çalışmalar *Earthquake Spectra*, Vol. 13, No:2, May 1997'de yayınlanmıştır.

Bu metodun, bu binanın onarımı için en kısa zamanda, en ekonomik metod olduğu ispatlanmıştır. Yaklaşık 2000 m² perde duvar alanı bu metod ile onarılmıştır. Malzemenin hafifliği nedeniyle temellerde önemli bir miktar ilave yük gelmediğinden, temellerin güçlendirilmesi durumu ortaya çıkmamıştır.

Japonya'da (Kasumata, et all, 1988) betonarme dikdörtgen kolonların Karbon FRP ile güçlendirilmesi ile ilgili yapılan deneylerde, kolonların depreme karşı dayanıklılığının önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Kolon köşeleri yuvarlatılmıştır.

Sargının betona yapışmasının etkisini görmek için deney numunelerinin bir kısmında CFRP ile beton arasına bir film tabakası yerleştirilmiştir, fakat davranışta önemli bir fark gözlenmemiştir.

ACI-Structural Journal, V 95, No:1, Jan., Feb. 1998 FRP ile güçlendirilen B.A. kirişlerin, plaka sonundaki gerilme yığılmalarından dolayı taşıma gücünün hesaplanması ile ilgili yapılan çalışma yayınlanmıştır. (Amir M. Melek, H.Saadetmenesh, M.R. Ehsani).

ACI-Structural Journal, V 94, No:2, March, Ap. 1997;de yayınlanan "Depremden hasar görmüş B.A. kolonların FRP ile güçlendirilmesi" ile ilgili çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır; (H. Saadetmenesh, M.R. Ehsani, Jimin Jin)

-FRP, depremde hasar görmüş kolonların eğilme mukavemetini ve sünekliğini

önemli ölçüde arttırır.

-FRP ile güçlendirilen kolonların yatay yük- deplasman grafiği zarflarında önemli iyileşmeler gözlenmiştir. Filizlerinin bindime boyları yetersiz olan kolon numunelerinden iyi bir performans elde edilmiştir.

-Boyuna donatısı eksiz, takviye edilmiş kolonlarca, deney aletinin kapasitesinin sonuna kadar, yatay yük taşıma kapasitesinde azalma olmamıştır.

Saadetmenesh, H., Ehsani, M. R. and Jin, L., FRP ile güçlendirilen dairesel kolonların deprem kuvvetleri altındaki davranışı ile ilgili yapılan deneysel çalışmayı yayımlamışlardır. Sonuçlara göre;

-Potansiyel plastik mafsallık bölgesinde eklenmiş boyuna donatısı olan kolonlarda, deplasman düktilite seviyesi, $u=1,5$ 'inde, boyuna donatı filizlerden ayrılmaya başlamıştır. (Yetersiz sargı donatısı ve yetersiz filiz boyundan).

Eksiz donatılı kolonlar $u=4$ deplasman düktilite seviyesinde, boyuna donatının burkulması ile hızla yük taşıma kapasitesini kaybetmiştir. (Yetersiz sargı donatısından).

-FRP ile güçlendirilen kolonlarda (sadece potansiyel plastik mafsallık bölgesinin sarılması ile), mukavemet ve deplasman düktilitesi önemli ölçüde artmıştır. ($u=6$).

-Bu sınırlı sayıdaki deney sonucuna göre aktif ve pasif sargı arasında fazla bir sonuç farkı gözlenmemiştir. (Bu konu daha detaylı araştırılmalıdır!...)

ABD'de I.C.B.O. (International Conference of Building Officials) Evaluation Service, Inc. Tarafından FRP Kompozit sistemlerle güçlendirilen B.A. ve donatılı-donatısız dolgu duvarların kabul kriterleri ile ilgili şartname yayınlanmıştır. (AC-125, Apr. 1997).

Myers, J.J., Murthy, S., and Micelli, F., (2001), Çevre koşullarının FRP malzemenin betonarme elemana yapışması üzerine yaptıkları çalışmada 48 adet kiriş deneyi yapmışlardır. Kirişler çeşitli FRP malzemelerle güçlendirildikten sonra, yük altında donma-çözülme, yüksek nem, yüksek sıcaklık ve güneşin ultraviyole ışınlarına maruz bırakılmıştır.

Daha sonra orta bölgeden iki eşit noktasal yükle, eğilme testine tabi tutulmuş, elemandaki çatlaklar ve FRP malzemedeki gerilme ve şekil değiştirmeler incelenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre incelenen çevre koşulları FRP malzeme ile betonarme elaman arasındaki bağ üzerinde olumsuz etki yapmıştır.

-Elemanların eğilme rijitliklerinde azalma olmuştur.

-Daha yüksek sabit yükler altındaki numunelerdeki bağlarda daha fazla etkilenme olmuştur.

-Uygulamalar şartnamelere uygun yapılırsa FRP malzemede ani sıyrılma, ani bağ kaybı olmamaktadır.

Yang, X., A. Nanni and G. Chan, (2001), FRP malzemelerle güçlendirmede. Betonarme elemanın köşe yuvarlatmalarının etkisi araştırmışlardır.

Çalışma sonuçlarına göre betonarme elemanın köşe yuvarlatması FRP malzeme ile güçlendirmede önemli bir etkiye sahiptir. Dairesel kolonlarda dahi FRP malzemenin kapasitesinin %67'sine ulaşılabilmiştir.

Nanni, A., Alkhrdaji, T. and Chan, G., (1999), Orta Amerika'da 1950'lerden önce yapılmış köprülerden biri üzerinde, FRP malzeme ile yapılan güçlendirmenin sahadaki gerçek davranışını gözlemek için, köprü döşemesi ve ayakları göçene kadar test yapılmışlar. Teorik hesaplar, deney numunelerinden elde edilen sonuçlar ve gerçek durumun uyum sağladığı görülmüştür. FRP ile güçlendirmenin etkinliği gösterilmiştir.

Prota, A. and Nanni, A., (2001), kolon-kiriş birleşim bölgelerinin FRP malzemelerle güçlendirilmesi konusunda deneyler yapmışlardır.

Yapılan deneysel çalışma kolon-kiriş birleşim bölgelerinin FRP malzeme ile güçlendirilmesinin etkili bir teknik olduğunu göstermiştir.

Yang, X., and Nanni, A., (2001), Betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan FRP malzemenin tam doğrultusunda yapıştırılamamasının yapılan güçlendirmeye olan etkisini araştırmışlardır.

Araştırma sonuçlarına göre, doğrultudan sapma 5 dereceden az ise FRP ile güçlendirilen kirişin mukavemetini etkilememek, 5 dereceden fazla ise kirişin mukavemetini etkilemektedir.

A. İlki ve N. Kumbasar, FRP malzemelerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılması konusunda İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Araştırma sonuçlarına göre, uygulanan güçlendirme yöntemi numunelerin yanal yük taşıma kapasitelerini %28 ile %77 arasında değişen değerlerle artırmıştır. Bu artış ilerleyen yükleme adımlarında azalmakla beraber orijinal numunelerin kapasitelerinin üstünde kalmıştır. Bu güçlendirme yöntemi ile basınca maruz beton kesitin dayanım kaybına uğramadan ulaşabileceği şekil değiştirme düzeyi artırılmış, bu da elemanların sünekliğini artırmıştır. Özellikle yüksek eksenel basınca maruz elemanlarda görülen dayanım kaybını geciktirmiştir. Güçlendirilmiş elemanların eğilme rijitlikleri orijinal rijitliklerinin üzerine çıkmıştır. Bu yöntemin, elemanın enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Söz konusu yöntemin güvenli bir şekilde uygulamada kullanılabilmesi için uygun hesap esaslarının geliştirilmesinin önemi vurgulanmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3 BETONARME YAPILARDA HASARLAR

3.1 Genel

Yapılardaki hasarın belirtisi sehim, çatlak ve titreşimdir. İlk aşamada sehim dikkat çeker. Bazen, aşırı sehimden dolayı elemanın kendisinde çatlak olmaz. Fakat taşıdığı başka elemanda oluşur. Çatlama hızlı girilen ikinci aşamadır. Çatlak parametreleri; yeri, genişliği ve yeni ya da eski olmasıdır.

Çatlaklar önce gevrek elemanlarda oluşur. Çatlak, sehim ve deformasyon o elemanın elastik yük taşıma limitinin üzerinde zorlanmakta olduğunu gösterir.

Çatlaklar taşıyıcı olan veya olmayan elemanlarda olabilirler. Çatlağın olduğu yerde elastik olarak taşınabilenden büyük bir çekme kuvveti etkir. Basınç etkisinden hasar, ezilme seklindedir. Ancak bu etkiye dik yönde yine de çekme kuvvetleri oluştuğundan yine çatlak ve çekme kuvveti vardır. Beton ve kargır yapı malzemesinin basınç dayanımı çekme dayanımının çok üzerinde olduğu için önce çekme çatlaklıkları görülür.

3.2 Taşıyıcı Olmayan Yapı Elemanlarındaki Çatlak ve Hasarlar

3.2.1-Deprem Hasarı

Betonarme yapılarda deprem hasarı sıva çatlakları ile başlamaktadır. Sıva çatlakları, eğer su ve elektrik tesisat boruları üzerinde oldukça ince (1-2 cm) bir sıvı tabakası varsa, ilk olarak burada görülür. Daha sonra betonarme çerçeve ile dolgu duvarları arasındaki yüzeylerde sıva çatlakları oluşmaktadır. Bu çatlaklar önce kiriş ile dolgu duvarları arasında ortaya çıkmaktadır. Yapıda hasar bu tür sıva çatlakları düzeyinde ise, genellikle yapının taşıyıcı elemanlarında hasar bulunmamaktadır. Bu

düzeye kadar olan hasar MSK şiddet cetveline göre 5-6 şiddeti olarak nitelenmektedir. Daha şiddetli depremlerde veya dolgu duvarların düşük dayanımlı (cüruf briketi gibi) malzemelerden yapılmış olduğu yapılarda X biçiminde hasar başlamaktadır. Bu durumda çatlağın dolgu duvarın içinde de sürdüğü kesindir. Dolgu duvar hasarı ile kolonlar da mafsallaşma da başlayabilmektedir. Dolgu duvarı hasarının ileri aşamasında duvardan ezilmiş veya kırılmış tuğla ya da briket parçaları düşmektedir. Kolonlar da görülen mafsallaşma hasan yapının önce bazı kritik kolonlarında olur, dolgu duvarın daha ileri bir düzeye ulaşması ile birlikte yapının hemen bütün zemin kat kolonlarına da yayılırken, kritik kolonlarda ise en ileri düzeye ulaşmaktadır. Genellikle dolgu duvarın ileri düzeyde paralanıp tuğla ve sıva parçalarının dökülmeye başlaması ile mafsallaşma hasarı da ileri boyutlara ulaşmaktadır.

Bazen çok yüksek dolgu duvarlarında (3.00 m. ve daha yüksek) duvarın üst bölümü duvar düzlemi dışına yayılmaktadır. Bu durum, duvarda düzlemine dik yönde kuvvetlerin daha önemli boyutta olmasının sonucudur. Dolgu duvarlarda kapı ve pencere boşlukları varsa hasar değişik olmaktadır.

3.2.2-Oturma Ve Aşırı Sehim Hasarları

Oturma hasarının oluşturduğu çatlaklar üst kotlara doğru giderek azalır. Özellikle oturan çerçevelerin içinde yer alan dolgu duvarlarının dört kenarında çerçeveden ayrışmalar olur.

Konsol çıkmanın kalıbı erken sökülürse, beton tam dayanımına ulaşmadan yüklenmiş olduğu için, zaman içinde uç sehimleri artabilmektedir. Konsol çıkmanın tam aksine olarak kolona veya kirişe bağlı olmaması ve beton dayanımının düşük olması bu çatlaklara neden olabilir.

3.3 Taşıyıcı Yapı Elamanlarında Hasarlar

3.3.1-Deprem Hasarı

Mevcut betonarme yapılarda çerçeve hasarı daha çok kolonlarda olmaktadır. Deprem enerjisi kolonun rijit ek yerinin mafsallı ek yerine dönüşmesi ile tüketilmektedir. Önce dolgu duvar hasarı, bu hasarın biraz ilerlemiş bir aşamasında

kolon uçlarında çekme ve basınç hasarı ve daha sonraki aşamalarında kolon mafsallaşması olur.

Kolon uçlarında etriye sıklaştırması yapılmamış ise betonun ezilme ve paralanması, etriye ve boyuna donatıların içinde kalan ve çekirdek betonu olarak nitelendirilen bölgeye de yayılarak kolon çöker.

3.3.2 Kolonlarda Kesme Ve Basınç Hasarları

Kolonun kesme kuvveti taşıma gücü yetersiz ise taşıma çatlakları oluşur, ve genelde 45 derece eğilimlidirler.

Kolonun eksenel yükü fazla, diğer bir deyişle, eksenel yükü, taşıma kapasitesinin %50'sinden fazla ise kolonda deprem sırasında basınç kırılması olacaktır. Aynı hasar, beton dayanımı düşük olan kolonlar içinde geçerlidir.

Basınç kırılması kolonda gevrek ve ani bir kırılma biçimidir. Kolon boyuna donatısının akma gerilmesine ulaşmadan betonun ezilerek çatlaması biçiminde gerçekleşir. Basınç kırılması, yapının ani yıkılmasına yol açabilir. İlk belirtileri kolonun dış yüzünde betonda oluşan düşey çatlaklıklardan sonra kolon boyuna donatısının dışarıya doğru burkulmaya başlamasıdır.

Kolonlarda olabilecek bir diğer hasar çeşidi ise burulma basandır. Burulma momenti etkisinde çatlamıştır. Burulma hasarında; kolonun bir tarafında diyagonal olarak uzanan çatlaklar ve betonda dökülmeler olurken diğer tarafta yine diyagonal olarak uzanan betonda, basınç ezilmeleri olur. Bir diğer hasar "kısa kolon" denen bir tür kesme kırılması hasarıdır. Taşıyıcı olmayan elemanların bölme duvarı, lento ve benzeri gibi kolonun yatay deformasyon yapmasını önlemesi sonucu projede öngörülenden daha rijit olur ve bunun sonucu olarak da projede beklenenden daha büyük kesme kuvveti ile zorlanır ve kesme kırılması görülür.

3.3.3-Kolon-kiriş ek yeri hasarları

Kolon kiriş ek yerinde kolon donatısına etriye konmaması sonucu depremlerde özellikle dış aks ve köşe kolonlarında boyuna donatı dışarıya doğru burkulmakta ve üzerindeki beton örtüyü çatlatmaktadır.

Kiriş boyuna donatıları kolon-kiriş ek yerinde yeteri kadar ankraj edilmedikleri zaman kiriş donatıları sıyrılmakta ve kiriş tam moment kapasitesine ulaşmadan uçlarından kırılıp mafsallı bir hale gelir. Kirişlerin boyuna donatılarının özellikle dış aks ve köşe kolonlarında ankraj edilmesi pratik olarak kirişlerin uçlarının "mafsallı" olarak davranmasına yol açar. Bu durumda kolonların yatay stabilitesini de tehlikeye sokmakta ve yapının yatay ötelenme yaparak bir yana doğru yıkılmasına yol açabilmektedir.

3.3.4-Kirişlerde Hasarlar

Betonarme kirişlerde düşey yüklerden dolayı en çok görülen hasar şekli açıklıkta eğilme kırılmasıdır.

Kirişlerin saplandığı yerde momentten dolayı betondaki çatlak görülebilmektedir.

Deprem sırasında kirişteki moment dağılımı farklıdır. Bir depremin yatay yüklerinin kirişler mesnetlerinde oluşturduğu eğilme momentleri büyük değerlere ulaşabilirler.

Kirişlerin mesnetlerinde pozitif ve negatif momentlerin etkisi altında mafsallaşma olur.

Yalnızca düşey yüklere karşı hesaplanmış bir kirişte, mesnetlerde negatif moment daha büyük olduğundan, kiriş uçlarında alt yüzde çok az bir düzeyde boyuna donatı olur, boyuna donatılar pilye gibi bükülerek kirişin üst düzeyine geçirilir. Oysa deprem sırasında oluşan pozitif momentleri taşımak için, kirişin alt ucunda da donatı olmak zorundadır. Kiriş mesnedinde, pozitif moment kirişin alt yüzündeki donatı tarafından karşılanır, donatısı yoksa çatlaklar oluşur. Yönetmeliklerde bu durum için mesnetlerde negatif moment kapasitesini $1/2$ 'si kadar pozitif moment kapasitesi oluşturacak donatı konulması zorunluluğu getirilmiştir. Kesme kuvvetini

karşılayamadığı zamanda, eğik çekme çatlaklıkları görülür.

Kiriş donatısının aderans yetersizliği nedeniyle de çatlaklar görülebilir.

3.3.5-Döşeme Hasarı

Betonarme döşemelerdeki hasar çoğunlukla, döşeme ortasında aşırı sehim ve döşemenin kenarlarında kirişler de birleştiği yerde, üst yüzeydeki(mesnetlerdeki) çatlaklardır. Bu belirtiler; döşemenin, açıklığına göre ince olması, betonun tam mukavemetine ulaşmadan elemanın yüklenmesi, döşeme betonunun düşük kaliteli olmasından ve donatı yetersizliğinden kaynaklanmaktadır.

Döşemelerin depremlerde bazı durumlarda hasar gördükleri bilinmektedir. Örneğin perde duvarlı yapılarda perdelerin yatay yükler altında dönmesi döşemeye moment aktarılmasına ve döşemede dönmeye yol açar.

Kirişsiz döşemeli betonarme yapılarda, döşemeden kolona kesme kuvveti aktaran alanın az olması sonucu; son derece gevrek ve ani bir şekilde gelişen "zımbalama" kırılması oluşur.

3.4 Betonarme Yapıda Hasar Değerlendirilmesi

Betonarme bir yapıda hasar değerlendirmesi yapının kullanılıp kullanılmayacağı ya da onarım ve güçlendirmeye gerek olup olmadığı gibi kararların alınması amacı ile yapılır.

3.5.1-Eleman hasar düzeyleri

Çatlak boyutu: Milimetre genişliğine kadar olan çatlaklar elemanda taşıma gücü kaybının olmadığı ya da çok az olduğunun belirtisidir. Santim düzeyindeki çatlaklar ise, elemanda önemli taşıma gücü kaybının olduğunun göstergesidir.

Geometrik boyut ve biçim değişiklikleri: Eleman boyunun 1/500'ünü aşan şakulden kalıcı sapsmalar, kabuk betonun dışında, çekirdek betonundan beton parçasının

kopup düşmesi, boyuna donatı burkulması, etriye açılması, kolonda betonun ezilmesi ve donatının burkulması sonucu kolonda betonun ezilmesi ve donatının burkulması sonucu boy kısalması ve kirişlerde dönme, aşırı schim tipik bir biçim değişikliğidir.

Hasarın olduğu depremin şiddeti: Yapı elemanındaki hasar, olan depremin büyüklüğü ile orantılı olmalıdır. Hafif depremdeki büyük hasar şiddetli depremde elemanın durumunun tehlikeli olup olmadığını belirleyecektir.

3.5.2-Yapı Hasar Düzeyleri

Az Hasarlı Yapılar (Onarım Gerektiren): Bu yapılar kullanılabilir düzeyde hasar görmüştür. Sıva çatlakları, cam kırılmaları, taşıyıcı olmayan bölme duvarları ile taşıyıcı sistem arasındaki çatlaklar. Bu tür onarımlar yapıda kullanım aksamadan da yapılabilir.

Taşıyıcı Sisteminin Onarım ve Güçlendirilmesi Gereken Hasarlı Yapılar: Bu düzeyde hasar gören yapılarda mimari ve taşıyıcı sistem hasarı vardır. Yapıda hasar çeşitli, düzeylerde olabilir ve onarım / güçlendirme kararı verilmesi gerektiren düzeyde hasar vardır. Onarım ve güçlendirme çeşitli düzeylerde olabilir. Yapı güvenliği azalmıştır. Onarım boyunca yapı kullanılamaz. Tehlikeli bölümler askıya alınır ve desteklenir.

Onarılmaz Yapılar: Bu grupta nitelenen yapılarda hasar ağırdır. Yapının tümü çökmemiş olsa bile, eşyaların boşaltılmasına izin verilmez. Bu tür yapıların artçı sarsıntılarda yıkılma olasılığı yüksektir. Yıkılmaları gerekmektedir. Onarımlar fiziki olarak olanak dışı ya da çok masraflı, yeniden yapım maliyetinin %50' sinden fazla olabilir ve yeterli güvenlik sağlanmayabilir (Temizer, 1997).

3.5.3-Yapı Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi

Bir depremden sonra, özellikle betonarme yapıların çok sayıda bulunduğu büyük bir yerleşim bölgesinde, çeşitli düzeylerde hasar görmüş ve en kısa zamanda hasar düzeylerinin belirlenmesi gereken çok sayıda yapı ile karşılaşılacaktır. Öte yandan bu yapılarda oturan yada kullananların da en kısa zaman içinde normal yaşamlarına geri dönmeleri gerekir. Bu durumda mevcut yapıların kullanılabilirlik durumunun

belirlenmesi, onarım gerekiyorsa onarımları, ya da yıktırılmaları gerekiyorsa yıktırılmalarının en kısa sürede gerçekleşmesi gerekir.

Az Hasarlı Yapılar: Bu sınıfa giren yapılarda taşıyıcı sistemde, kolon, perde ve kirişlerde hasar yoktur. Ancak tuğla, briket, asmolen ve benzeri dolgu duvarlarında X şeklinde çatlaklar, sıva dökülmeleri ve benzeri hasar vardır. Bu tür hasarlı yapının bir önceki sınıftaki yapıdan farkı mimari hasar olmasıdır.

Taşıyıcı Sistemi Onarımı Gereken Hasarlı Yapılar: Bu sınıfa giren yapılarda taşıyıcı olmayan bölme duvarı, asma tavan gibi elamanların yanında taşıyıcı olan kolon, kiriş, döşeme ve perde duvar gibi elamanlarda da hasar vardır. Bu sınıfa giren yapıların onarılmadan kullanılmasına izin verilmemelidir. Onarım ise, yapının taşıma gücünün artırılması, güçlendirme olarak düşünülmelidir.

Onarılamaz Yapılar: Bu tür yapılar depremde yıkılmamış ancak ağır hasar görmüş ve her an bir artçı sarsıntı ile daha da tehlikeli bir konuma girecek yapılardır. Bir mekanizma durumundadırlar. Onarılamaz yapı sınıflaması için en belirleyici olan kıstas yapının kalıcı yatay ötelenmesidir. Bu miktar zemin katta kat yüksekliğinin 1/50'inden çok ise yapı kritiktir. Onarılamazlığı belirlemede yapının beton kalitesi de etkili olacaktır. Beton kalitesi kötü olan bir yapının onarım ve takviyesinde istenilen yapı güvenliğinin sağlanması güçtür.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4 BETONARME TAŞIYICI ELAMANLARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ

Yapı elemanlarında meydana gelen çatlakların miktarı ve büyüklüğü fazla olduğu zaman çatlakların doldurulması ile yeterli bir güvenlik sağlanamaz. Bu takdirde kısmi onarımdan ziyade yapı elemanın bir bütün olarak takviyesi gerekir. Genellikle bir elemanın bütün olarak onarım veya sağlamlaştırılması kavramı olarak o elemanın moment, aksinel yük, kesme kuvveti taşıma gücünün artırılması ifade edilmektedir. Bu tez çalışmasında genel olarak döşeme-kiriş-kolon yapı elemanlarının takviyeleri anlatılmıştır. Amaç onarım projesi hazırlanmasından önce onarım ile ilgili bir ön fikir vermektir. Kullanılması gereken FRP malzeme miktarı yeri ve yönü onarım projesi hesapları sonucunda tespit edilecek ve projeci tarafından gerçek durumlarında gereğine göre yerlerine konulacaktır (Şimşek, 1983).

4.1 Döşemelerin Onarım ve Güçlendirilmesi

Betonarme döşemelerin onarım ve güçlendirilmesi döşeme kalınlığının artırılmasıyla sağlanır. Döşemelerin kalınlığı, duruma göre mevcut döşeme üstünde veya altında yapılacak ilave ile artırılabilir. Eğer yeni betonun eski beton ile aderansı iyice sağlanabilirse, yani eski beton yüzeyi temiz olup, pürüzlülüğü artırıcı bir işleme imkan var ise, döşemenin üst yüzüne 3 emden az olmayan bir beton tabakası dökülür. Bu şekilde takviye edilmiş bir döşeme, yekpare bir tek döşeme gibi hesaplanabilir.

Döşemenin üzerinde takviye yapılması aderans bakımından uygun değil ise, eski döşeme üzerine kalınlığı en az 5 cm. olan yeni bir döşeme yapılır. Döşemenin hesabında yeni döşemenin eski döşemeden ayrı çalıştığı kabul edilir ve buna göre, mesnet ve açıklık momentlerini karşılayabilecek donatı hesaplanır. Hesaplarda döşemeye gelen hareketli yük her iki döşeme (eski ve takviye sonucu dökülen yeni

döşemeler) arasında rijitlikleri, oranında dağıtılır. Hesapta hiçbir zaman iki döşemenin yekpare olarak çalıştığı düşünülmez.

Eğer döşemenin üzerinde takviye yapılması imkansız veya uygun değilse (döşeme üzerine betonun ilave olarak konulamaması, içindeki aletlerin sökülememesi gibi) bu gibi durumlarda takviye, döşemenin altından yapılır.

Mevcut donatıya kısa demirler ile yeni ilave donatı kaynaklanır ve 2 cm. kalınlıktan az olmayan torkret betonu püskürtülür. Torkret betonun püskürtülememesi halinde döşeme üstünden, eski döşemenin momentlerinin sıfır olduğu büküm noktalarında açılan deliklerden dökülecek beton ile döşemenin takviyesi sağlanmış olur. Bu tür bir takviye durumunda dökülecek yeni betonu taşıyacak bir kalıp sistemine gerek vardır. Dökülen betonun boşluksuz olması için, betonun kalıp altından titreştirilerek sıkıştırılması gerekir.

Bu tür bir takviyenin hesabında eski ve yeni beton tabakasının, ilave donatı ile birlikte yekpare olarak çalıştığı kabul edilebilir.

Betonarme döşemelerin bazı durumlarda onarımı gerekebilir. Onarımlar genelde bölgesel olup, döşemelerin belli bölümlerindeki çatlaklar, giriş askıya alındıktan sonra, çatlayan bölgenin kırılıp açılması ve temizlenmesinden sonra, donatı yerleştirilip yeniden betonlaşması ile onarım gerçekleştirilir. Onarımda kullanılan donatı, mevcut donatının dışarıda kalan uçlarına açıkta veya mesnette kaynaklanır. Bu tür bir onarım gerçekleştirilemiyorsa, hesaba göre bulunan onarım donatısı, döşeme üzerine yerleştirilerek delikler ile komşu döşemeye ankre edilir. Bu onarım şeklinde, mesnetlerdeki döşeme kalınlığı bir miktar artmış olur.

FRP malzemelerle de döşeme güçlendirilebilir. Döşemelerin orta bölgesinde alttan yapıştırılan ve kenarlarında üstten yapıştırılan FRP malzemeleriyle çok hızlı kolay ve yükü arttırmayan bir güçlendirme gerçekleştirilebilir.

4.2 Betonarme Kirişlerinin Güçlendirilmesi

4.2.1-Momenti Artıran Güçlendirme

Betonarme bir kiriş kesitinin moment kapasitesinin artırılması çekme donatısı ve moment kolunun artırılması ile sağlanır. Bunun için beton en kesit alanının yeniden eklenecek beton alanı ile derinleştirilmesi ve bu eklenen alana yeni çekme donatıları konulması gerekir. Yeni konulan çekme donatısı ile eski donatının bağlanması V yada Z bağlantısı denilen bir donatının eski ve yeni donatılara kaynaklanması ile yapılmaktadır. Bu tür bağlantı kiriş beton en kesitinin de genişletilmesi yapıldığı zaman gereklidir. Çünkü yeniden eklenecek donatıların, eklenen yeni beton en kesitin en alt düzeyine yakın bir yerde olması ile moment kolu uzayacağından moment kapasitesi artar. Eğer en kesit genişletilmesine gerek duyulmayan yalnız çekme donatısı eklenmesi ile yetinilecek ise eski boyuna donatıya yeni donatı arasına yer yer levha konularak kaynaklanabilir

Bu tür bağlantılarda Z ve V bağlantısı esnek, diğer tür bağlantı ise rijittir. Eğer eski ve yeni donatılar arasındaki aralık fazla ise bağlantı esnek olmaktadır.

Kiriş en kesitinin genişletilmesi ile eski ve yeni donatıların birbirine bağlanması yanında kiriş enine donatısının da uzatılması gerekir. Etriyelerin eski ve yeni boyuna donatıların birlikte, çalışmasına olumlu katkısı olduğu bilinmektedir.

4.2.2-Kesme Kuvveti Taşıma Gücünün Artırılması

Kirişlerde kesme kuvveti taşıma gücünün artırılması için beton alanının artırılması ve enine donatıların artırılması gerekir. Kirişlerde kesme kuvvetlerinin taşıma kapasitesi yetersizliği sonucu olan eğik çekme çatlakları mesnet yakınlarında olmaktadır. Bu gibi çatlakların büyümesinin önlenmesi ve mesnede doğru en yüksek değerlere ulaşan kesme kuvvetlerinin taşınması için enine donatı, etriyeler yerleştirilmelidir. Bu etriyeler kiriş üstlerinden uçlarından bulunlar ile sıkıştırılmalıdır.

4.2 3-Çelik Levhalar İle Taşıma Gücünün Artırılması

Bu yöntem ile kirişin alt yüzüne, eğilme momenti taşıma kapasitesinin artırmak için yada yan yüzlerine kesme kuvveti taşıma kapasitesini artırmak için çelik levhalar yapıştırılmaktadır. Bazen hem kesme hem de eğilme etkilerine karşı güçlendirme için hem alt hem de yan yüzlere çelik levha birlikte yapıştırılabilmektedir. Aynı kirişte hem eğilme için hem de kesme için levha yapıştırılmış ise bunlar köşede kaynaklanmaktadır.

Çelik levha betona monte edilmeden önce;

- a) Önce çelik levhanın yüzeyi perdahlanarak pürüzlerden arındırılmalıdır.
- b) Beton yüzeyindeki pürüzler jet taşı gibi aletler ile giderilmeli, çukurluklar epoksi harcı ile doldurulup harç sertleşince perdahlanmalıdır.
- c) Kirişe ya da döşemede ankraj bulonları için açılmış deliklere bulonlar yerleştirilir.
- d) Döşeme ya da kirişte ankraj bulonlarına karşılık olan noktalarda levhada delikler açılmalı ve bu delikler ankraj bulonlarının kolayca girebilmesi için alıştırılmalıdır.
- e)-Eğer enjeksiyon yöntemi uygulanacaksa çelik levhaların yüzeyi tiner ile silinir. Enjeksiyon ve taşıma boruları levhaya yerleştirilir. Levhanın ve enjeksiyon taşıma borularının çevresi özel epoksi harcı ile sıvanarak kapatılır.
- f)-Daha sonra enjeksiyon borularından epoksi harcı sıkılır.
- g)-Eğer basınçla yapıştırma yöntemi uygulanacaksa özel baskı düzeni ile altına epoksi reçinesi sürülmüş levha yine epoksi reçinesi sürülmüş yüzeye yapıştırılır ve baskı düzeninin vidaları sıkıştırılarak epoksi sertleşinceye kadar baskı uygulanır. Daha sonra baskı düzeni sökülür.

4.2.4.Kirişlerin FRP Malzemeler İle Takviyesi

FRP malzemeler ile güçlendirme çelik levha yapıştırma yöntemi gibidir (malzeme farklı).

Eğilme momenti kapasitesini arttırmak için kesitin alt yüzüne FRP malzeme epoksi ile yapıştırılır. Kesme kapasitesini arttırmak için kirişin yanlarına FRP malzeme sarılır (kiriş eksenine dik).

4.3 Betonarme Kolonların Onarım ve Güçlendirilmesi

4.3.1 Güçlendirme Yöntemleri

Betonarme kolonların güçlendirilmesi onların aksel yük, moment ve kesme kuvveti taşıma güçlerinin artırılmasıdır. Bu işlem genellikle betonarme kesitin artırılması, kolona yeni donatılı en kesit eklenmesi veya kolonun çelik bir kafes içine alınarak veya FRP malzemelerle sarılarak betona yandan destek verilerek taşıma gücünün artırılmasıdır.

Çelik kafes içine alarak güçlendirme yönteminde birbirinden farklı iki malzemenin birlikte çalışması için çelik kafes ile beton arasında tam bir yapışma ve çelik kafesin kolonun aksel yükünden pay alacak biçimde kirişlere bağlanması gerekir.

4.3.2-Betonarme Mantolama

Betonarme kolonun betonarme ile onarımı yada güçlendirilmesi kolonun beton en kesitinin ve boyuna donatısının artırılmasıdır. Donatı miktar olarak artırılır ancak yüzde olarak aynı kalabilir yada artırılabilir. Mantolama da üzerinde durulacak ayrıntılar eski ve yeni betonun kaynaştırılması, yeni boyuna donatı ile eski boyuna donatının ankrajı olarak sıralanabilir. Güçlendirmede en önemli nokta kolona eklenen bölüme eski var olan bölümden yük aktarılmasıdır. Mantolamanın temel amacı kolonun

düşey yük taşıma kapasitesinin artırarak düşey yüklere karşı güvenliğini yükseltmektir.

Kolon güçlendirmesinde kolonun üzerindeki hasarlı bölümler etriyeler ve boyuna donatı ile belirlenen kolon "çekirdek" bölümüne kadar kazınmalıdır. Var olan beton varsa basınçlı su ile yıkanarak toz ve gevşek malzemeden temizlenmelidir. Mantolama sırasında eklenen yeni bölümlerin kalınlığı 5 yada 10 cm olacaktır.

Kolonun eski ve yeni mantolanan bölümdeki donatıları arasındaki bağlantı çeşitli yöntemlerle yapılabilir.

Mantolama işlemi üst katta devam etmiyorsa kolon boyuna donatılarının üst uçlarının ankrajlanmasında kaynaklama veya epoksi ile filiz ekilebilir.

Yeni eklenen bölümlerdeki boyuna donatılar enine donatı ile yeterli sıklıkta sarılmalıdır.

Mantolama ile İlgili Öneriler

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

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

c)-Tankut ve Diğerleri (1989) yaptıkları deneylerde hasarsız kolonların güçlendirilmesinde kolon yükünün askıya alındığı ve onarımın yük altında yapılmadığı durumlarda mantolamanın yükünün askıya alınmayarak yapılan mantolamadan % 80 etkili olduğu, kolonun askıya alınmadan yük altına mantolamanın yapıldığı durumlarda

ise etkinliğin ancak %50 kadar olduğu gözlenmiştir. Bu açıdan hasarlı kolon onarımının kesinlikle kolonun yükü askıya alınarak yapılması önerilmektedir.

4.3.3-Çelik Kafes İçine Alınarak Güçlendirme

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

4.3.4-Kolonların FRP Malzemelerle Güçlendirilmesi

Betonarme kolonların onarım ve güçlendirilmesi, kolona, boyuna veya enine FRP malzeme sarılarak yapılabilir. Yeterli filiz boyu veya bindirme boyu olmayan, etriye sıklaştırması yeterli yapılmamış olan kolonların güçlendirilmesinde FRP malzeme ile sarma çok etkili, hızlı ve uygulaması kolay bir yöntemdir.

4.4 Betonarme Temellerin Takviyesi

Temellerdeki güçlendirme gereği iki ayrı biçimde ortaya çıkmaktadır. Birincisi temel boyutlarının genel yükleri taşımada yetersiz olması, diğeri ise yapının güçlendirilmesi için eklenen yeni elamanlar için yeni temel yapılması yada mevcut temelin genişletilmesidir.

Perde duvarın temelinin boyutları perdenin bir deprem sırasında taşıyabileceği en büyük eğilme momentini güvenle taşıyabilecek güçte olması gerekir.

Mantolanarak genişletilen kolonun yeni donatıları eski temelde ankrajlanabilir yada sömel biraz genişletilerek yeni eklenen donatılar genişletilen bölgede ankrajlanabilir. Sömelin genişletilen bölümüne konulan donatılar eski bölümün donatılarına kaynakla bağlanmalıdır.

Genişletilen sömel tabanına konulan, kolonun uzatılmış boyuna donatılan mevcut smelin kenarları kırılarak ortaya çıkarılmış donatılarına kaynakla bağlanmalıdır.

4.5 Sistem iyileştirmesi

Betonarme yapının yatay kuvvetleri taşıma kapasitesinin az olduğunun ortaya çıkması halinde, yapıya yatay yükleri taşıyacak yeni elemanların konulması gerekir. Yatay yükleri taşımada "Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik" de belirtildiği gibi betonarme perde duvarlardan yararlanma yoluna gidilebilir. Bundan başka, daha önce yapı içinde bulunan fakat simetrik olarak yerleştirilmemiş olan perde duvarların oluşturduğu burulma etkilerini gidermek içinde, yapıdaki bazı açıklıklarda betonarme çerçeveler arasına burulmayı önlemek için ilave perde duvarlar konulabilir.

Perde duvarlar diğer yapı elemanlarına göre daha rijit olmaları nedeniyle, yapının büyük yatay ötelemeler yapmasını önlemek amacıyla da kullanılması mümkündür. Perde duvarların yapının bütün yüksekliği boyunca devam etmesi gereklidir. Ayrıca perde duvarların oturdukları smellerin de depremlerde oluşacak devrilme ve eğilme momentlerinin zemine emniyetli olarak aktarıp aktaramayacağının tahrikinin yapılması zorunlu olmaktadır. Çünkü bir çerçevenin boşluklarının betonarme perde duvar olarak doldurulması o ereve aksında depremlerde yapıya gelecek yatay kuvvetlerin büyük bir kısmının gelmesi sonucu temelde büyük momentler oluşacaktır. Perde duvar eklenmesinin sonucu bu temel problemi önemli boyutlara ulaşabilir.

Perde duvar yapımında duvar içine konulacak olan donatının mevcut ereve donatısına, üst ve alt katlarla konulacak perde duvar donatısına bağlanması gerekmektedir. Ayrıca perde ile çerçevenin birlikte çalışabilmesi için, çerçevenin kiriş ve kolonlarında kesme takozları gibi çalışacak ve içine perde betonunun gireceği yuvalar açılmalıdır.

TC YÜKSEKÖĞRETİM KRMLA
KONULMASI ON KRMLA

Betonarme perde duvarların başlangıç rijitliklerinin yüksek oluşu ve çerçeve sistemine göre çok fazla oluşu sonucu perdelerin zorlamalar sonunda hızla çatlayıp süratle taşıma kapasitelerini yitirmeleri söz konusu olduğundan, perdelerin daha az rijit olması için perdelerde yarıklar yapılması düşüncesi Japonya'da Prof. Muto tarafından geliştirilmiş ve bazı yüksek yapılarda uygulanmıştır. Böylece perdenin rijitliği azaltılmış düktilitesi artırılmış ve perdedeki çatlakların çok büyük boyutlara ulaşması önlenmiştir. Bu yarıklar perde duvarların ortalarında 1-2 cm. genişliğinde ve düşey doğrultuda konulmaktadır. Bu şekilde yapılmış perde duvarları olan yapıların depremlerde daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.



BEŞİNCİ BÖLÜM

5 DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Giriş

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı Yapı Laboratuvarında yapılan bu deneysel çalışmada iki noktadan yerleştirilmiş tekil yükler altında 4 adet betonarme kiriş denenmiştir. Kirişlerden iki tanesi önce takviyesiz olarak taşıma gücünü kaybedene kadar yüklenmiştir. Daha sonra bunlar ve diğer iki kiriş FRP malzemelerle onarım ve güçlendirilerek test edilmiştir.

Kirişler 15x25 cm. dikdörtgen en kesitli olup boyları 270 cm. dir. Kirişlerin tümünde 2 ϕ 10 çekme donatısı ve 2 ϕ 10 montaj donatısı kullanılmıştır. FRP plakalar 50x1.2 mm-2700mm uzunluğunda, FRP Wrap (dokuma) ise 0.13mm kalınlığında ve 30 cm enindedir. Beton sınıfı BS20, çelik sınıfı BÇ III tür.

Yalın kirişler: Bu numuneler yük altında kirişin taşıma gücüne ulaştığı ana kadar yüklenmiş ve deformasyon yapımları sağlanmıştır. Bu kirişlerimiz yalın kiriş olarak adlandırılmıştır(A1,A2).

Onarım yapılmış kirişler: Yükleme testi sonucu hasar görmüş numune kirişler onarılıp yeniden yüklenmeye tabi tutulmuşlardır(A3).

Güçlendirilmiş kirişler: Bu numunelere yükleme yapılmadan önce güçlendirme yapılmıştır. Kiriş taşıma gücüne ulaşmaya kadar yüklenmiştir(A4)

5.1.1-Betonarme Kiriş Davranışı

Eğilme etkisindeki betonarme bir kirişin davranışında donatının etkisi büyüktür. Yönetmeliklerde donatı oranı sınırlandırılarak kirişin sünek davranması sağlanmaktadır. "Denge altı" olarak adlandırılan kirişin davranışına donatı hakimdir ve moment-birim eğrilik ilişkisi hemen hemen elasto-plastiktir. Eğilme çatlakları düşük yükler altında oluşur ve

kirişin eğilme rijitliğini yaklaşık %30 oranında azaltır. Betonarmede çatlaklar asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşur, bu nedenle kesmenin büyük olmadığı bölgelerde eğilme çatlakları eksene diktir ve çatlak genişliği çekme bölgesinden basınç bölgesine doğru azalır.

Betonarme kiriş eğilme altında taşıma gücüne basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile ulaşır. Yönetmeliğin öngördüğü denge altı kirişlerde beton ezilme konumuna ulaşmadan çok önce donatı akmıştır. Donatının daha önce akması, kirişin sünek davranmasını sağlar.

Donatı aktıktan sonra birim eğrilik, dolayısıyla sehim sabit varsayılacak bir moment altında hızla artar. Bu davranış "plastik mafsallık" olarak adlandırılır. Plastik mafsallık klasik mafsaldan tek farkı, serbest dönmeli sabit bir moment altında olmasıdır. (Akma momenti=Taşıma gücü). Plastik mafsallaşma ile sabit moment altında birim dönmeli hızla artması moment uyumuna yol açar, diğer bir kesitte moment artarken mafsallaşan kesitte sabit kalır.

Kirişin taşıma gücü momenti aşağıdaki denklemle gösterilebilir.

$$M_u = A_s * f_{yd} * J * d$$

Kirişin bir kesiti için f_{yd} ve d sabit olduğundan ve J deki değişim çok az olduğundan moment taşıma kapasitesi A_s (donatı miktarı) ile orantılı olduğu söylenebilir.

Kesmenin önemli olduğu durumlarda asal çekme gerilmeleri eğik yönde oluşacağından, kesme çatlakları kiriş eksenine yaklaşık 45° bir açıda oluşur. Kiriş hesabı yapılırken kesme kırılmasının önlenmesi için; kesme kapasitesinin yeterli düzeyde olması istenir. Bu da yeterli etriye bulundurmakla sağlanır. Kirişlere konacak iyi detaylandırılmış kapalı etriyeler kesme kapasitesini artırır (Ersoy ve diğerleri .1993, s. 1-5).

Kirişlerde dengeli kırılma, donatı çeliği akma birim uzamasına eriştiği anda, en dış lifteki betonun ezilmesi ile oluşur. Kirişler deki kırılma türü donatı oranına bağlı olduğundan dengeli kırılmayı sağlayan donatı oranı "dengeli donatı oranı" olarak adlandırılır ve ρ_b ile gösterilir. Kirişte oluşacak kırılma türüne (çekme veya basınç) dengeli donatı temel alınarak saptanır. Donatı oranı dengeliden fazla olan "denge üstü" , az olan ise "denge altı" olarak adlandırılır.

5.2 Deneylerde Yapılan Kabuller

Hesaplarda şu kabuller yapılmıştır;

- a)-Kullanılan malzemeler (çelik, beton, FRP malzeme) Hooke yasasına uyarlar.
- b)-Güçlendirilmiş kiriş, kompozit betonarme kiriş gibi çalışır.
- c)-Kesitteki basınç dağılımı dikdörtgen şeklinde alınmıştır.
- d) Kesitteki birim deformasyon dağılımı doğrusal olup, maksimum beton birim kısalması 0.003'dür.

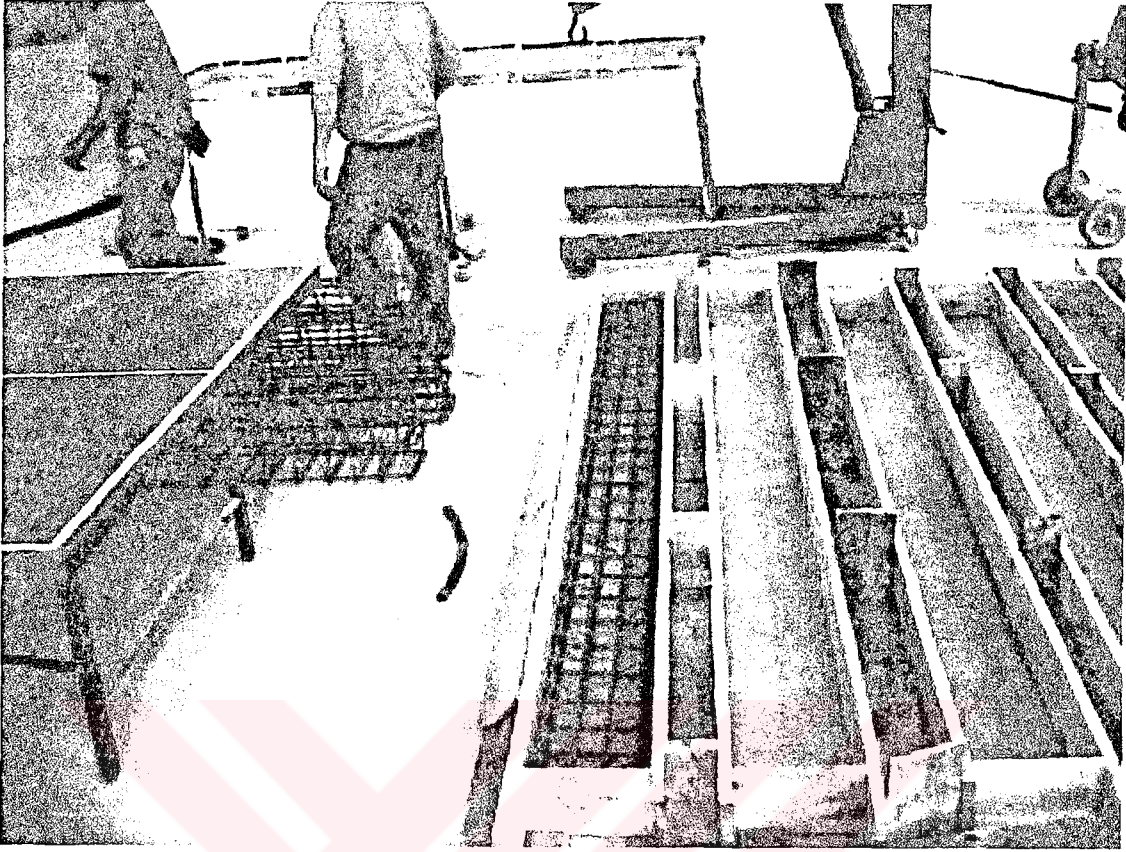
5.2.1-Beton , Donatı Çeliği Numuneleri ve FRP malzeme özellikleri

Deney numunelerinde hazır beton kullanılmıştır. Alınan numuneler Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Ana Bilim Dalı Laboratuvarında basınç testine tutularak silindir dayanımları elde edilmiştir.

Donatı Çeliği: Kiriş modellerinde BÇIII, nervürlü inşaat demiri kullanılmıştır. Kullanılan donatı çeliği numuneleri Denizli KOSGEB Laboratuvarında çekme testine tabi tutulmuştur

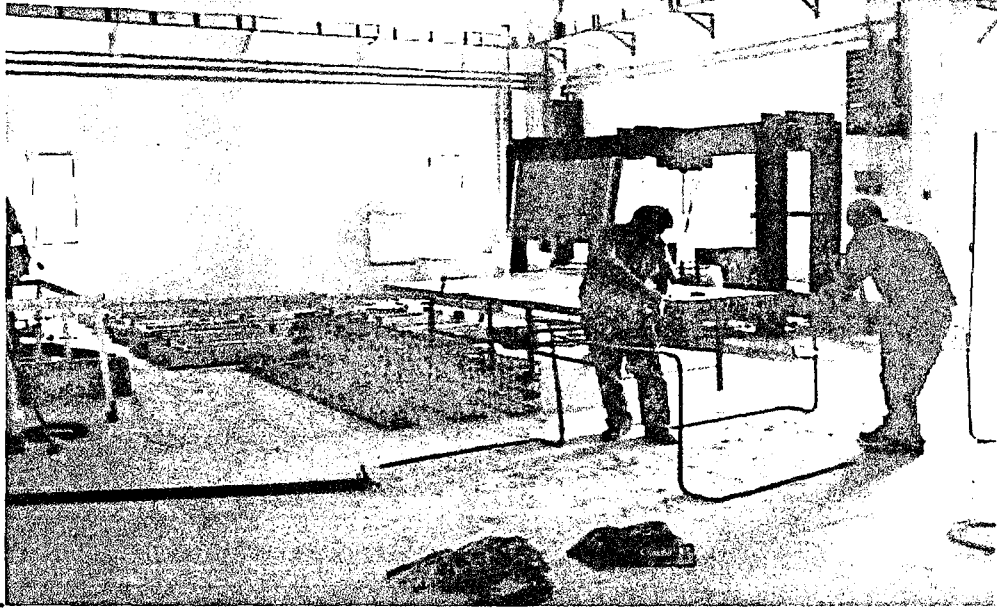
5.3 Deney Kirişlerinin Hazırlanması

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarında, kirişlere göre özel kalıplar hazırlanmıştır (Şekil 5.1)

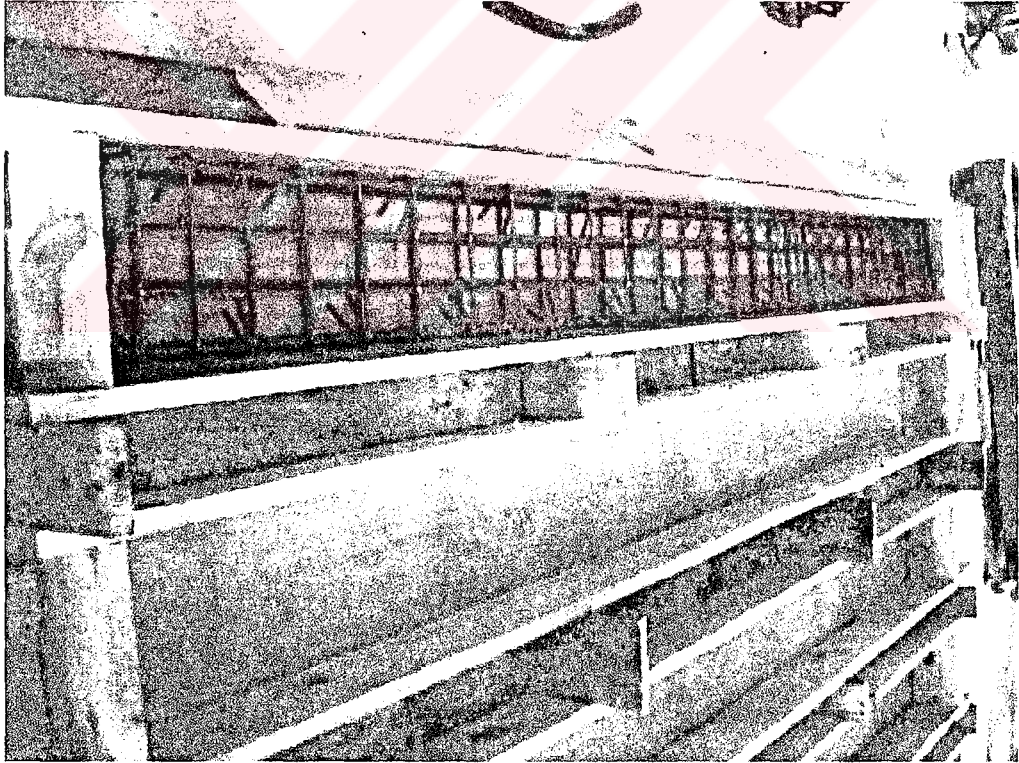


Şekil 5. 1: Kiriş kalıpları

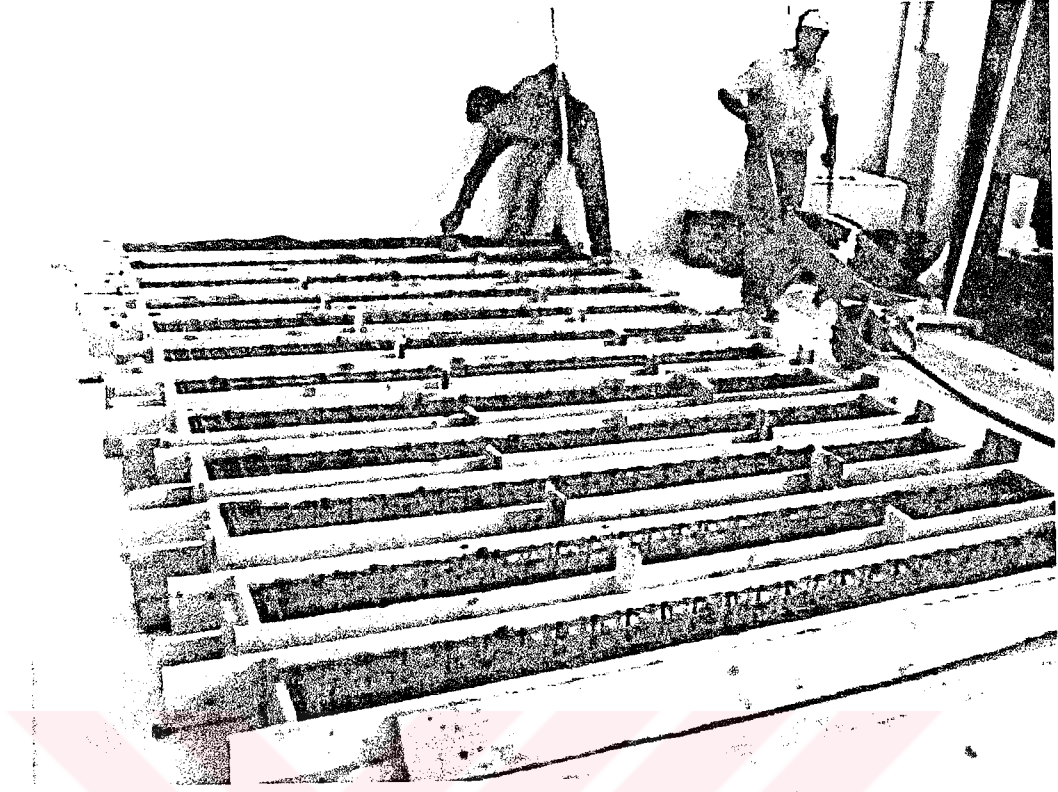
Kirişlerde kullanılan donatı BÇIII tür. Kullanılan beton, hazır beton firmasından sağlanmıştır. Numunelerde beton döküm sırasında vibratör kullanılmıştır. Numuneler 15 gün süresince sulanarak kür edilmiştir. Silindir beton numuneleri numune havuzunda kür edilmiştir



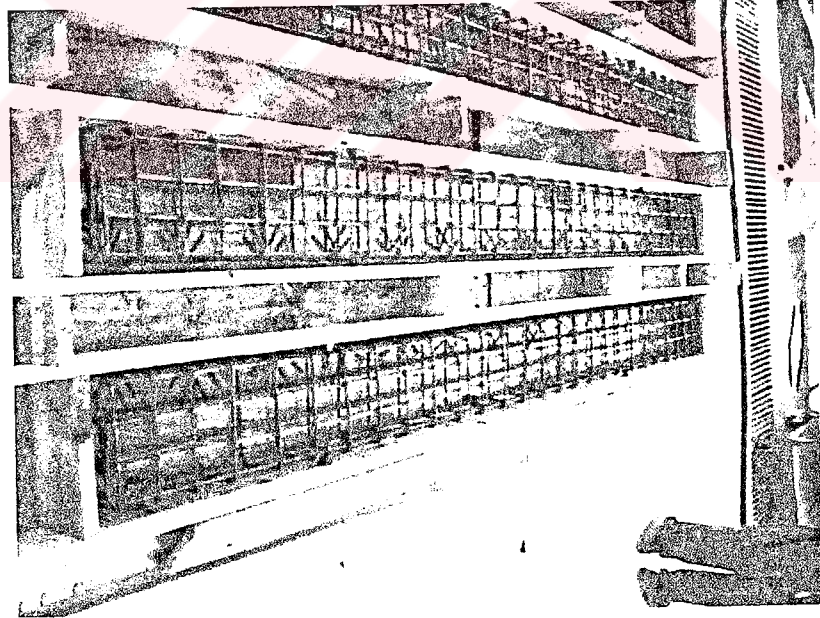
Şekil 5.2. Donatı hazırlanması



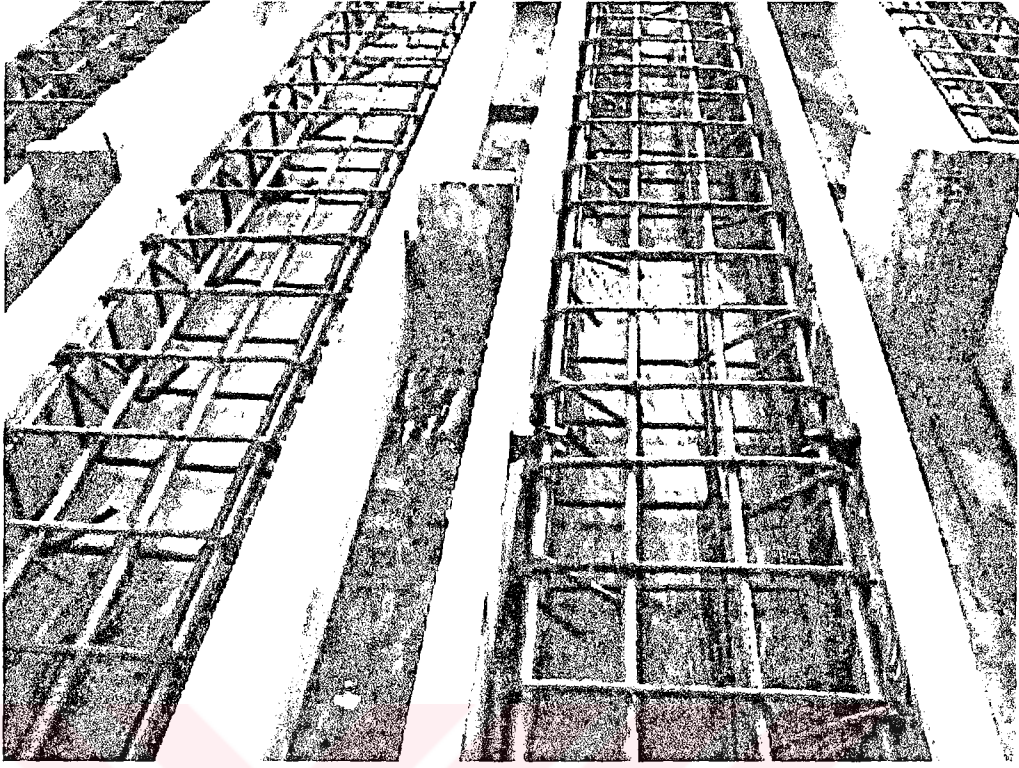
Şekil 5.3 Donatı Yerleştirilmesi



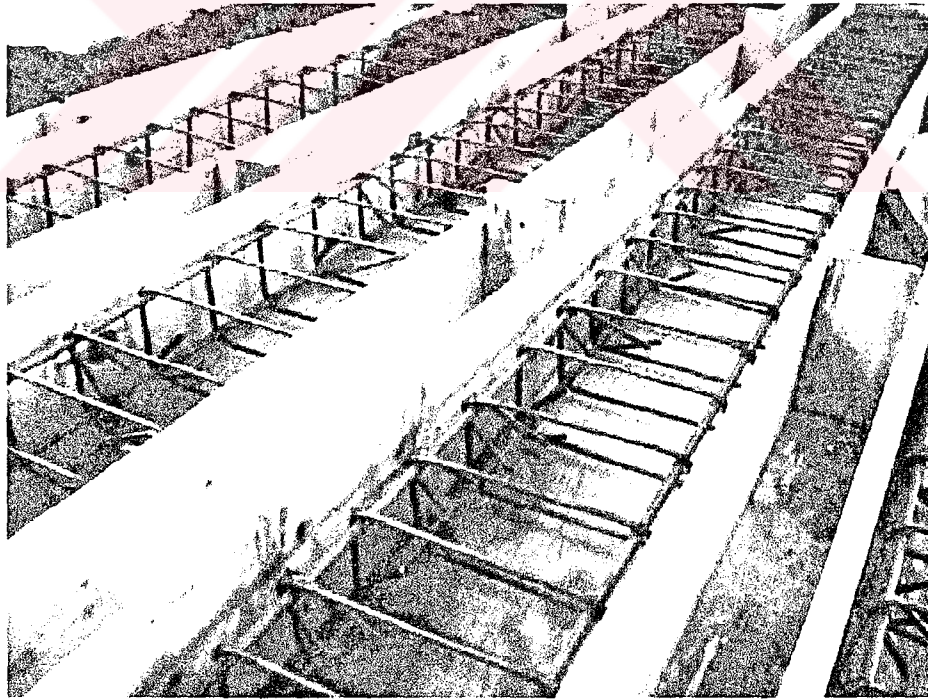
Şekil 5.4 Beton Dökümü



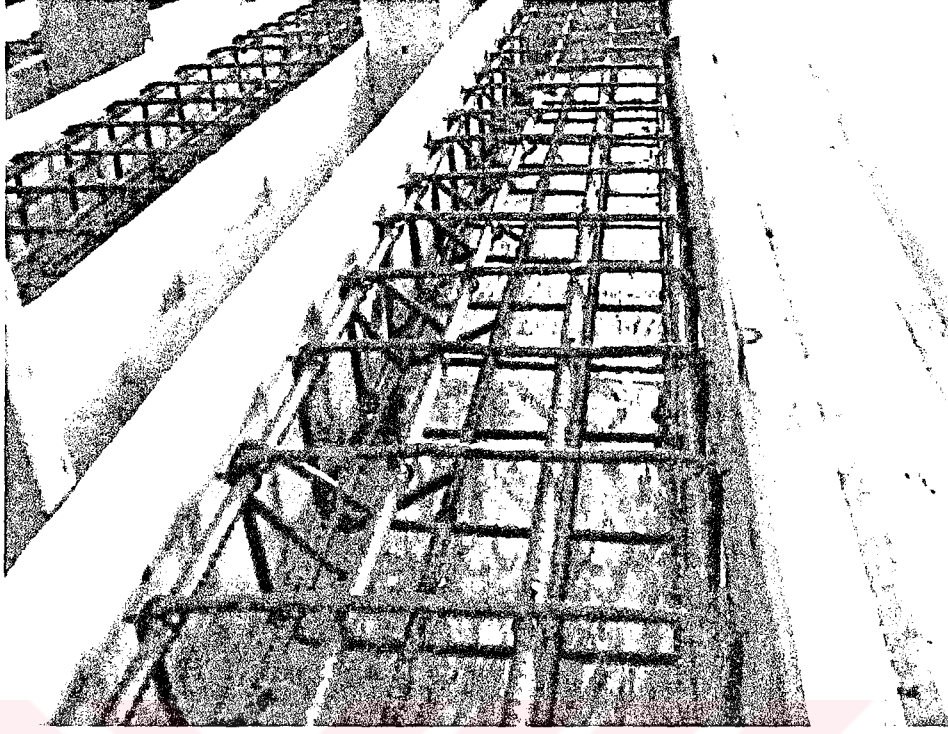
Şekil 5.5. Donatı Detayları



Şekil 5.6 Beton Dökümünden Önce Son Durum



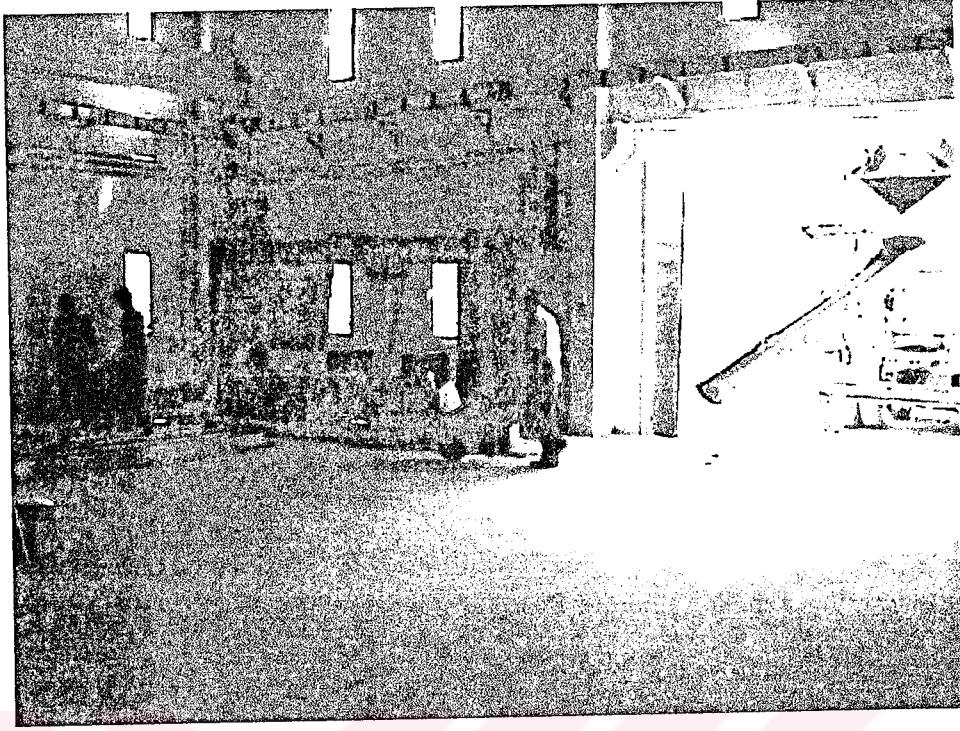
Şekil 5.7 Numune Detay



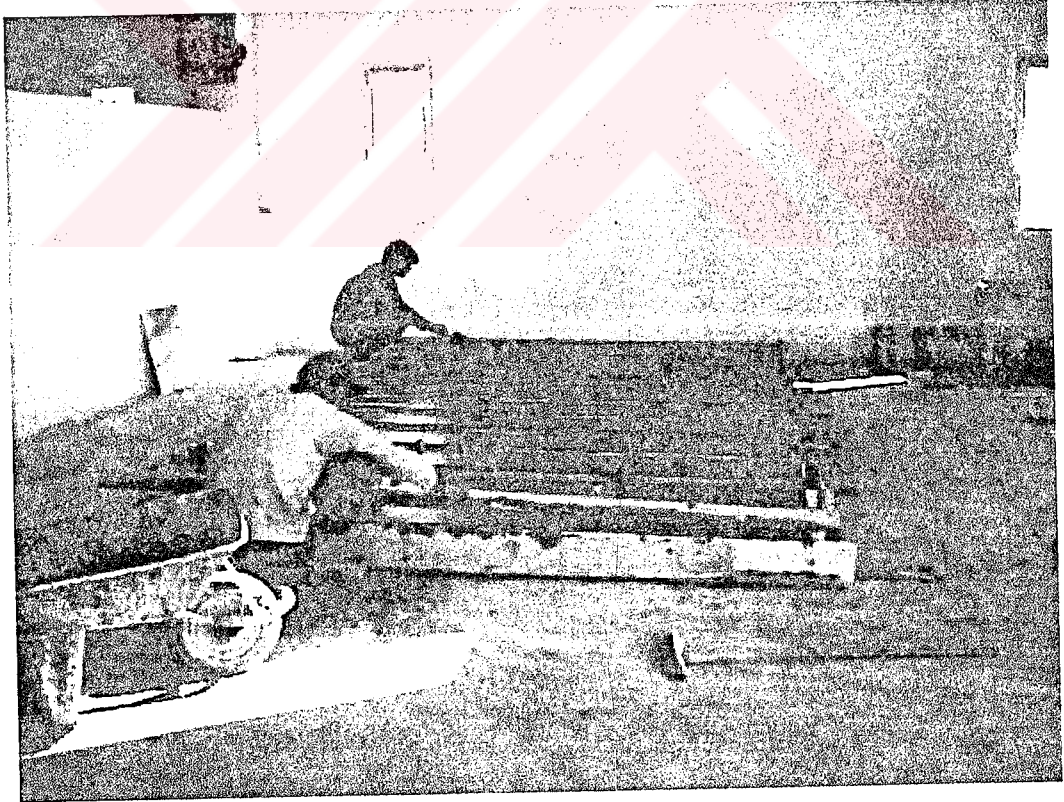
Şekil 5.8 Numune Detay



Şekil 5.9 Beton Dökümü



Şekil 5.10 Beton Dökümü



Şekil 5.11 Numune Beton Yüzeylerin Perdahlanması

5.4 Deneylerin Yapılışı

5.4.1-Genel

Deneyisel çalışma Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Ana Bilim Dalı Laboratuvarın da ki mevcut DARTEC deney çerçevesi ile yapılmıştır.

5.4.1.1. Güçlendirme Esasları Ve Teorik Varsayımlar

Betonarme elamanlarda güçlendirme, FRP malzeme ile betonun birlikte çalışabildikleri oranda başarılı olacaktır. FRP malzeme, yapışmayı sağlayan malzeme, beton üçlüsünden en kötüsü beton olduğundan, tümünün kırılmasına da beton yol açacaktır. Hesaplarda şu varsayımlar esas alınacaktır.

- a)-Kullanılan malzemeler (FRP, beton, yapıştırıcı) Hooke kanununa uyarlar.
- b)-Güçlendirmede kullanılan birleşim elamanları (yapıştırıcı vs.) makaslama gerilmesini alır.

Betonarme elamanlarda iyileştirme, eğilme momenti ve/veya kesme kuvveti etkisine karşı yapılmaktadır. Eğilme momentine karşı güçlendirmede, kirişin herhangi bir kesitine uygulanan M momentini taşıyacak gerekli FRP miktarı, kiriş içindeki donatı da hesaba katılarak yapılır. Gerekli FRP malzemesi, polimer veya çeşitli epoksiler ile kirişin ait yüzüne yapıştırılır. Kesme kuvveti durumunda ise, kayma gerilmelerini alacak FRP malzeme kirişin gövdesine yapıştırılır.

Buradaki karma sistem, normal beton-çelik davranışına benzetilebilir. Kesme kuvveti beton ve FRP malzeme tarafından, eğilme momentleri ise kiriş donatısı ve FRP malzemesi tarafından karşılanır.

5.4.1.2.-FRP Malzeme ile Güçlendirme Uygulama Örnekleri

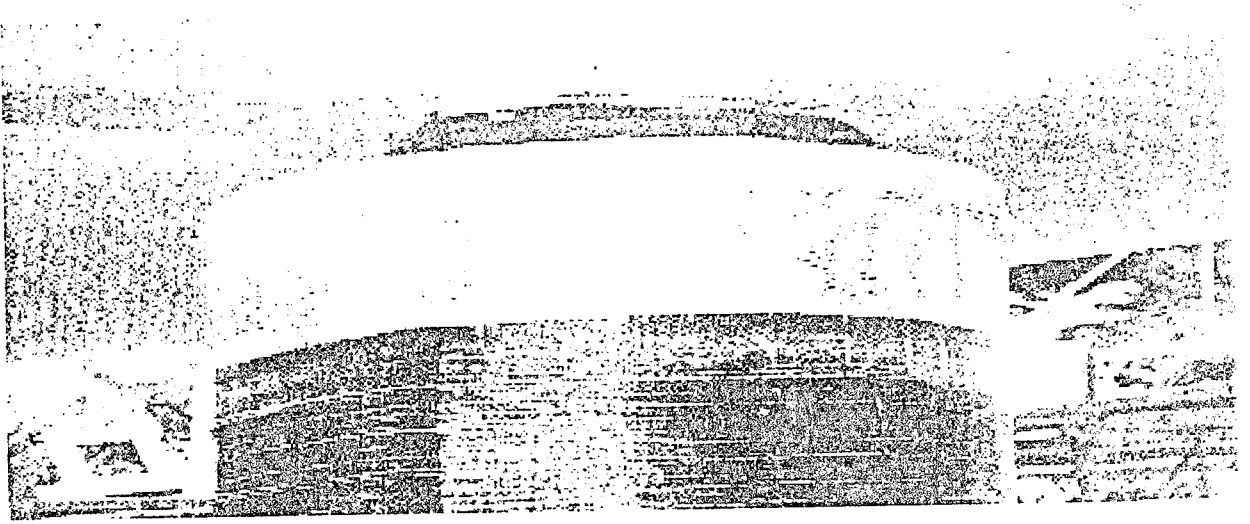
FRP malzeme güçlendirmesi yapılan kirişlerde iki neden vardır. Birincisi eğilme momenti kapasitesini artırmak için kirisin alt yüzüne yapıştırılan FRP malzeme, ikincisi de kirisin yan yüzlerine yapıştırılan kesme kuvveti taşıma kapasitesini artırmak için yapıştırılan FRP malzeme. Bazen de hem kesme hem de eğilme etkilerini karşılamak üzere güçlendirmek için kirişin hem alt hem de yan yüzlerine FRP malzeme yapıştırılır.



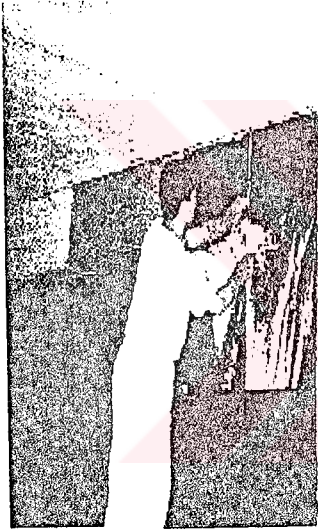
Şekil 5.12 Kolon Güçlendirme



Şekil 5.13 FRP Sarılmış Kolon



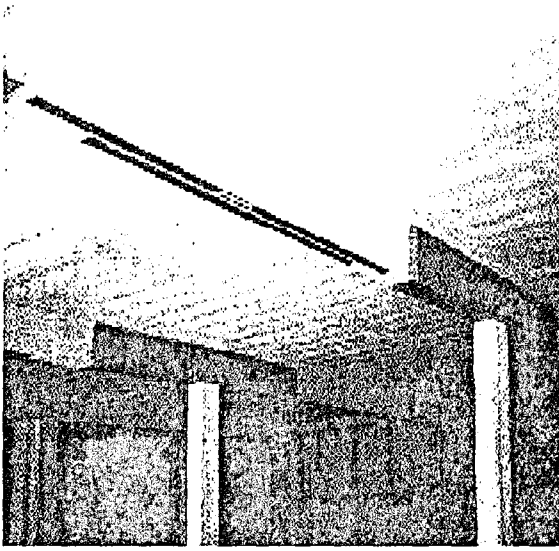
Şekil 5.14 Dairesel Kolon Güçlendirme



Şekil 5.15 Kiriş Güçlendirme



Şekil 5.16 Yüzey Hazırlığı



Şekil 5.17 Kiriş Kesme Güçlendirmesi



Şekil 5.18 Döşeme Güçlendirmesi Hazırlık

5.4.2 Yükleme Düzeni

İki ucundan basit kiriş gibi mesnetlenen deney kirişlerinde kesme kuvvetinin olmadığı, basit eğilme etkisindeki bir bölgenin oluşturulması tasarlanmıştır.

Deneylerde kullanılan kirişler 270 cm. olarak hazırlanmıştır. Her iki ucundan 18cm. içeride mesnetlendiğinde ise 234 cm. olmuştur.

Deney elamanlarının testlerinde yükleme, 280 kN yükleme kapasiteli hidrolik güç ünitesine bağlı verenlerle yapılmıştır (DARTEC).

5.4.3 Ölçüm Düzeni

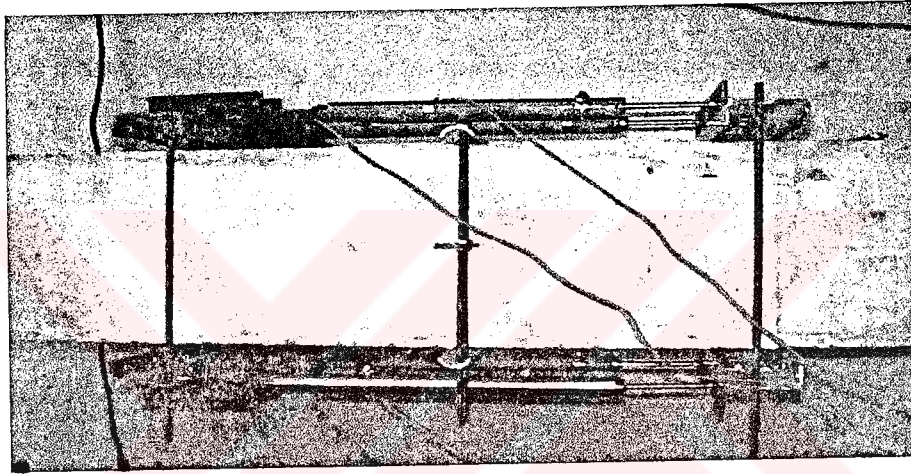
Kesme kuvvetinin sıfır olduğu, basit eğilme etkisindeki bölgeye iki noktasal yük uygulanmıştır. Yalnızca eğilme etkisinin ele alındığı, kesit düzeyindeki bu araştırma da, yük-deplasman ilişkileri belirlenmiştir.

5.4.3.1. Deney Kirişleri

Deney kirişlerindeki ölçümler için laboratuvarımızda özel düzenekler hazırlanmış ve hazırlanan bu düzeneklerin çalışması deney kirişleri ile aynı boyutlarda ve aynı betondan hazırlanmış deneme numunesi üzerinde denenmiştir. Hazırlanan özel ölçüm

düzeneğinin uygunluğu görülmüştür.

Bu özel ölçüm düzeneği daha önce yapılan deneylerdeki zorlukları göz önüne alarak hazırlanmıştır. Numunelere hasar vermez. Sökülüp takılması çok kolay ve hızlı yapılabilmektedir. Ayrıca ayarları çok hassas olarak yapma imkanı sağlamaktadır. (Şekil 5.19a) FRP malzeme ile onarım ve güçlendirme yapıldıktan sonra ölçüm düzeneğini tutturmak için güçlendirme malzemesine delik açarak dübel yerleştirme gibi zorluklar bu düzeneikle aşılmıştır.



Şekil.5.19a: Kiriş Ölçüm Düzeneği

Her deney kirişinin yükleme bölgesinden 6 adet ölçüm alınmıştır. 2 adet LVDT kiriş üst bölgesine, yatay olarak, beton birim kısalmasının ölçümü için yerleştirilmiştir. 2 adet LVDT kiriş alt bölgesine, yatay birim uzamayı ölçmek için yerleştirilmiştir. 2 adet LVDT yükleme bölgesinin ortasına düşey deplasman ölçmek için her iki yüze yerleştirilmiştir.

Her bölgeye 2' şer LVDT yerleştirilerek, deney sırasında olabilecek arızalar veya hatalar önlenmeye çalışılmıştır. Aynı bölgeye yerleştirilen 2 LVDT ölçümünün ortalanması alınmıştır.

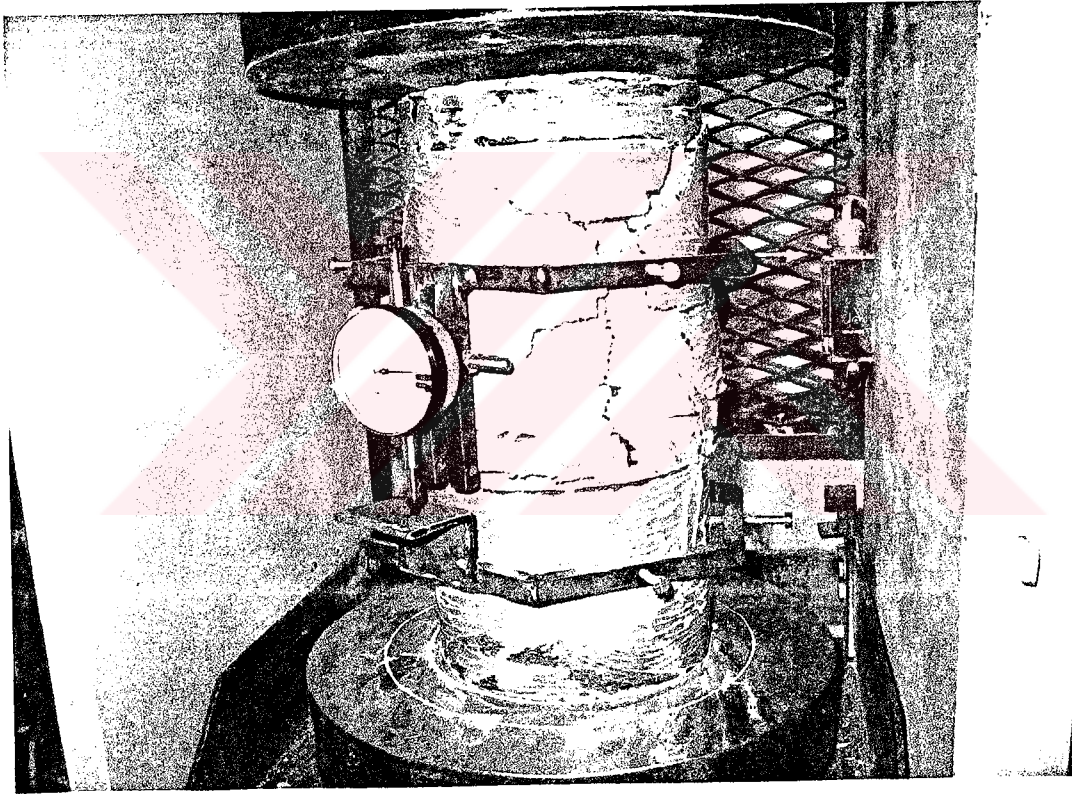
1 adet LVDT yükleme pistonuna yerleştirilmiştir. Böylece elemanda ölçülen düşey deplasman ile pistonda ölçülen deplasman karşılaştırılmıştır.

5.4.3.2- Silindir Beton Numuneleri İçin Hazırlanan Ölçüm Düzenegi

Silindir beton numunelerinin basınç dayanımını ölçerken, gerilme – şekil değiştirme ilişkisini elde etmek için laboratuvarımızda özel bir düzenek hazırlanmıştır.

Bu düzenek silindir numunenin orta bölgesine yerleştirilmiştir. Karşılıklı iki tarafına deplasman ölçer (0,01 mm hassasiyetinde) yerleştirilmiş ve iki ölçümünün ortalaması alınmıştır.

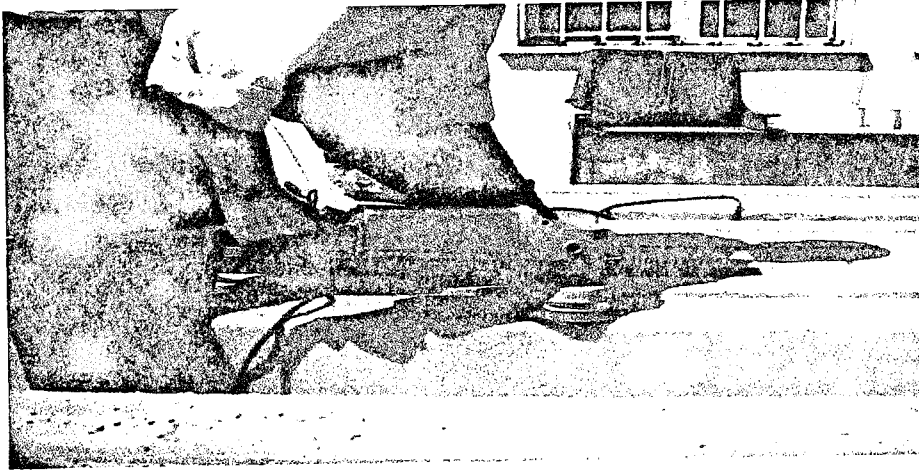
Silindir beton numuneler FRP malzeme ile sarıldıktan sonra da aynı düzenek ile basınç dayanımı ve gerilme – şekil değiştirme ölçümleri yapılmıştır (Şekil 5.19b).



Şekil 5.19b Ölçüm düzenegi ve FRP ile sarılmış silindir test sonucu

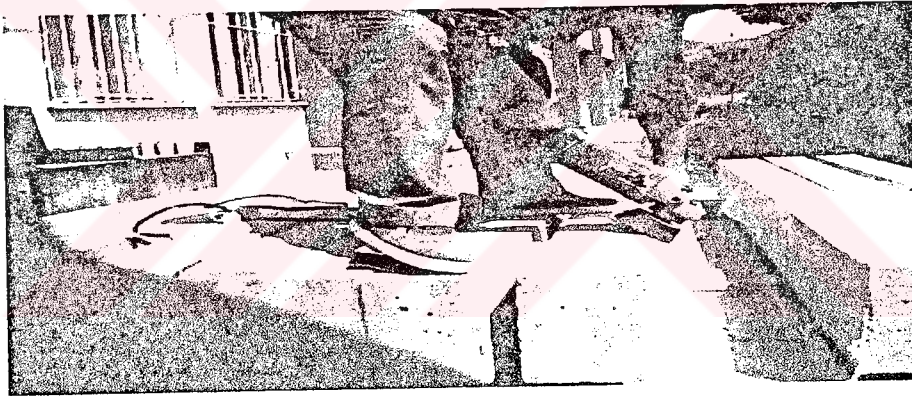
5.4.4- Yalın Kirişlerin Deneyi

Numunelerin testine geçilmeden önce, FRP şerit uygulanacak olan alt yüzeylerindeki gevşek çimento tabakası elektrikli matkaba takılan çelik fırça ile alınmıştır. (Şekil 5.20)



Şekil.5.20: Kiriş yüzeylerini Elektrikli tel fırça ile pürüzlendirilme

Sargı yapılacak olan deney kirişlerinin köşeleri $r=2$ cm, yarıçapında ovalleştirilmiştir. Bu iş için piyasada bulunan kesme ve silme taşları kullanılmıştır. (Şekil 5.21)



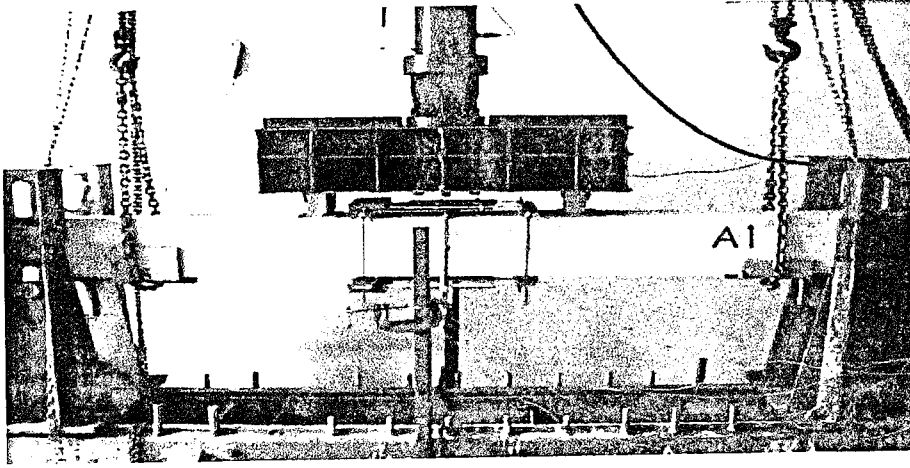
Şekil.5.21:Kiriş Köşelerinin ovalleştirilmesi

Köşelerin ovalleştirilmesi gereği üretici firmanın tavsiyeleri ve daha önce yapılmış olan çalışmalarda göz önüne alınarak yapılmıştır. Burada amaç köşelerde oluşan gerilme yığılmalarını önlemektir.

Yalın kirişler olarak kabul ettiğimiz elemanlar, 15x25x270 cm boyutlarındadır. Donatı olarak, S420, 2Ø10 altta, 2Ø10 üstte boyuna donatı vardır. Enine donatı olarak Ø 6 / 10, S220, bulunmaktadır.

Yalın kirişler test çerçevesine yerleştirildikten sonra, üzerlerine yatay ve düşey deplasmanları ölçmek için hazırlamış olduğumuz ölçüm düzeneği yerleştirilmiştir.

Ölçüm aralığı, kiriş orta bölgesinde, 44,5 cm dir. Ortadan 2 adet tekil yük, aralığı 71 cm ile yüklenmiştir. (Şekil 5.22)

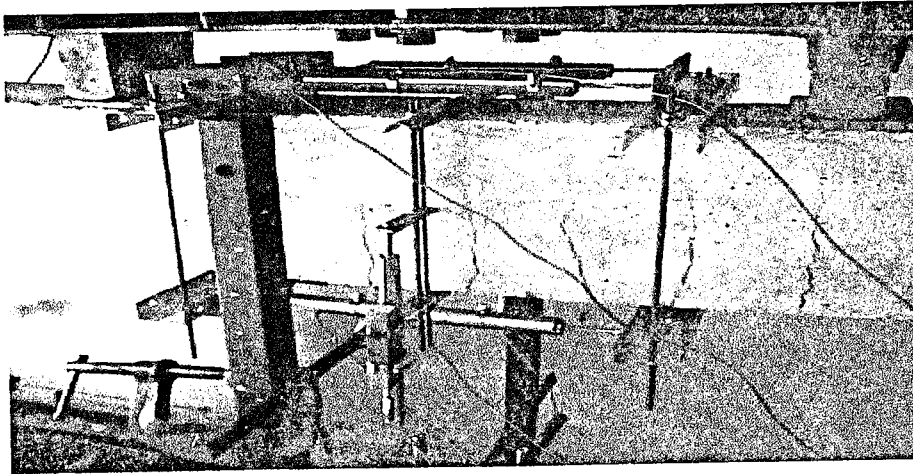


Şekil.5.22: Yalın kiriş test başlangıcı

Yüklemeye deplasman kontrollü olarak yapılmıştır. Başlangıçta 10 mm'lik artırımlı, sonlarda 5 mm artırımlı tekrarlı yükleme yapılmıştır.

Bütün deneyler bilgisayar kontrollü olarak yapılmış ve kaydedilmiştir.

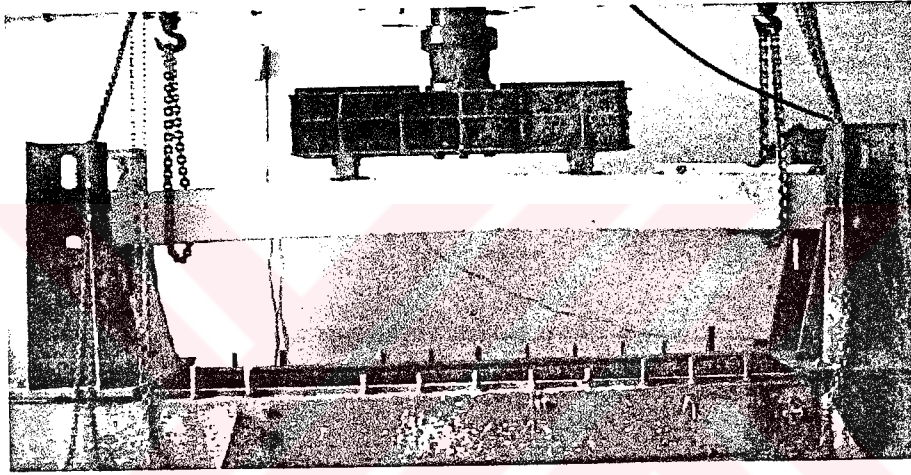
Yalın kirişler taşıma gücüne kadar yüklenmiştir. (Şekil 5.23.) Gözlenen davranış tamamen teorik hesaplara uygun çıkmış, oluşan çatlaklar, tipik olarak, nervürlü demir donatılı kirişteki beklenen şekilde oluşmuştur.



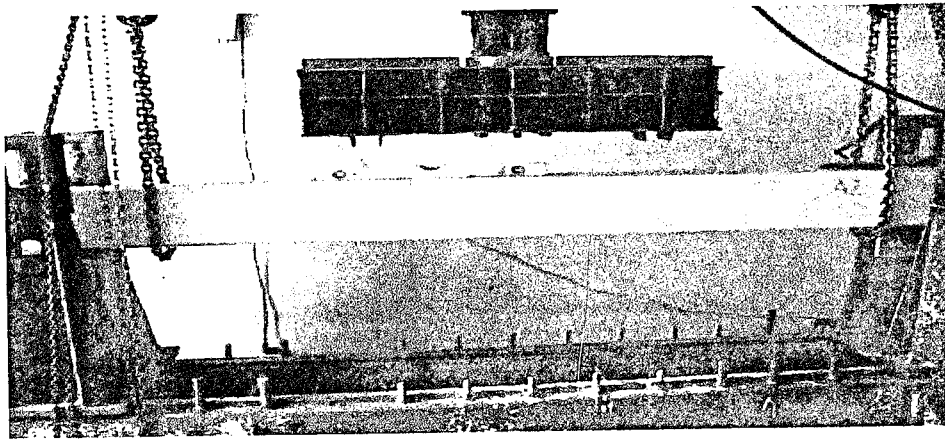
Şekil 5.23: Yalın kiriş eğilme çatlakları

5.4.5- Hasar Görmüş Deney Kirişlerinin Epoksi Enjeksiyonu ile Onarımı

Yalın kirişlerin yükleme deneyleri tamamlandıktan sonra, üzerlerindeki ölçüm düzenekleri çıkarılmıştır. Daha sonra, deformasyonları geri almak için, elemanlar çerçevenin dışına alınmış ve ters çevrilerek tekrar test çerçevesine yerleştirilmiştir. Deformasyonlar geri alınana kadar tekrarlı yük verilmiş ve çerçeveden dışarı alınmıştır. (Şekil 5.24. ve 5.25)



Şekil 5.24: Yalın kiriş deplasmanların geri alınması



Şekil 5.25: Yalın kirişin deplasmanı alınmış durumu

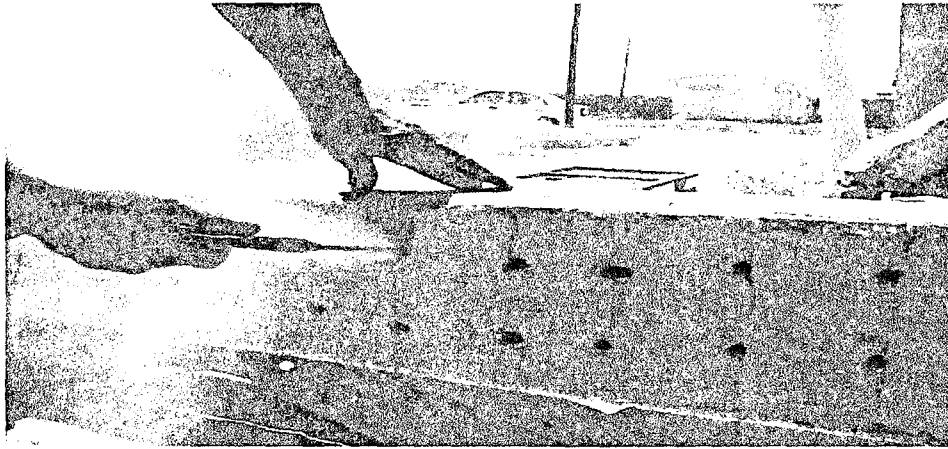
5.4.5.1- Hasar Görmüş Deney Kirişlerindeki Çatlaklara Epoksi Enjeksiyonu

Deformasyonu geri alınmış elemanlar enjeksiyon yapılmak üzere uç bölgelerinden oturacak şekilde hazırlanmış olan mesnetlere yerleştirilmiştir.

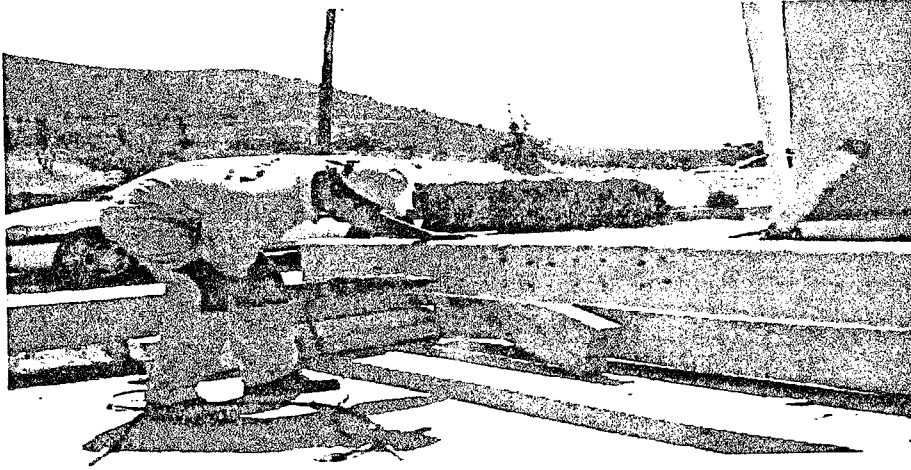
Her çatlağın üst ve alt bölgelerinden ikişer adet matkapla delik açılmış.(Şekil 5.28) Delikler iyice basınçlı hava ile temizlendikten sonra(Şekil 5.27) özel enjeksiyon dübeli (Paker) yerleştirilmiştir. (Ortası delik dübel) (Şekil 5.29,5.30) Dübellerin ağzına enjeksiyon memesi takılır. Daha sonra çatlaklar özel epoksi reçine ile kapatılmıştır. (Şekil 5.31.) Çok hızlı donan bir malzeme olduğu için uygulama hızına göre malzeme hazırlanması gerekmektedir.



Şekil.5.26: Kiriş yüzeyinin basınçlı hava ile temizlenmesi



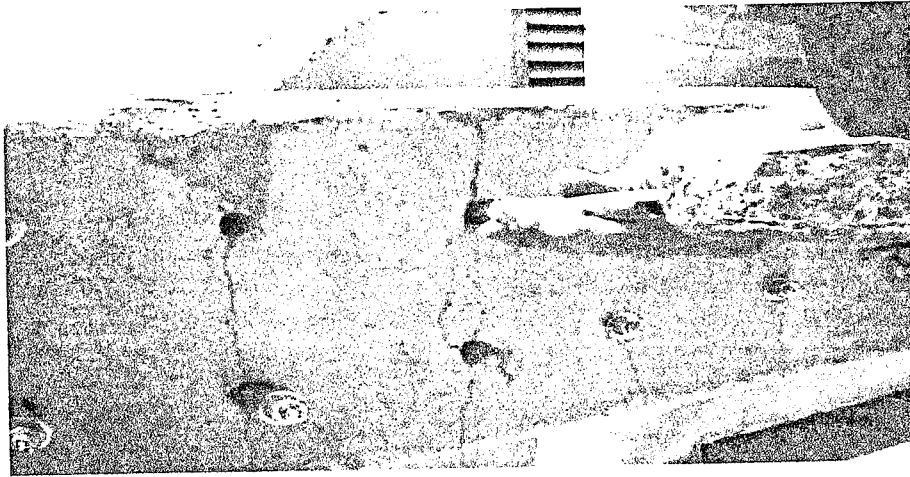
Şekil.5.27: Enjeksiyon dübeli deliklerinin basınçlı hava ile temizlenmesi



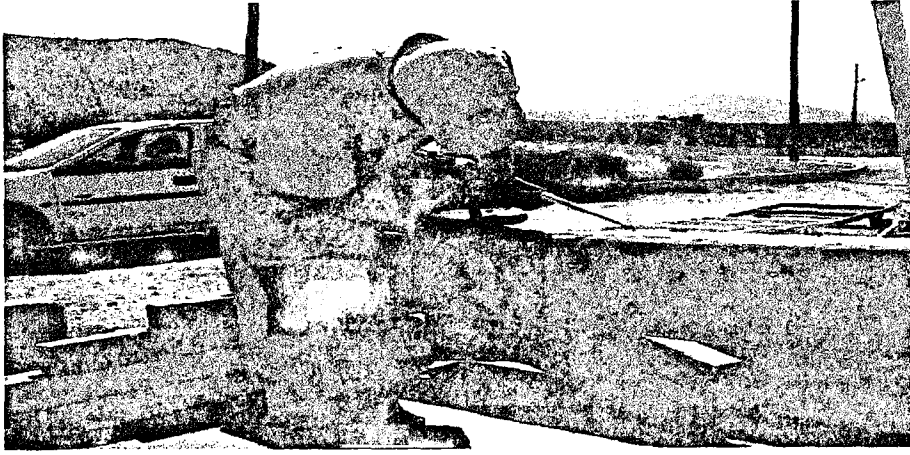
Şekil.5.28.Enjeksiyon dübelleri için delik açma



Şekil.5.29: Enjeksiyon dübeli (Paker)

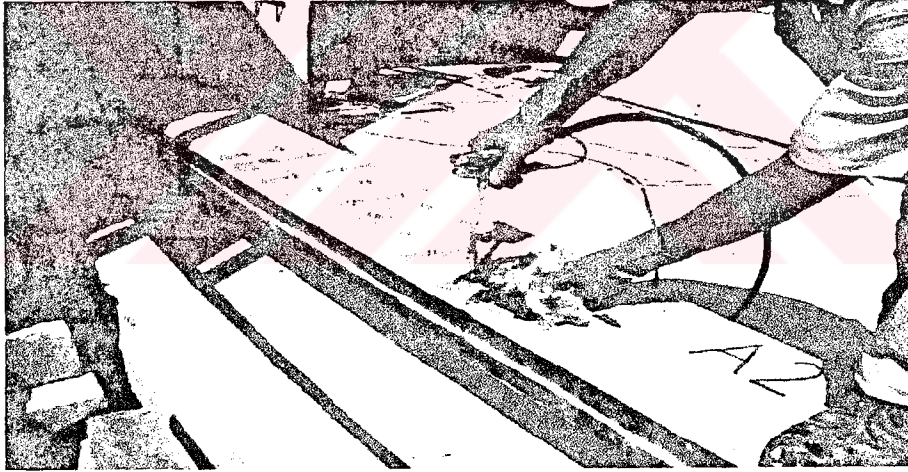


Şekil.5.30: Enjeksiyon dübellerinin çakılması



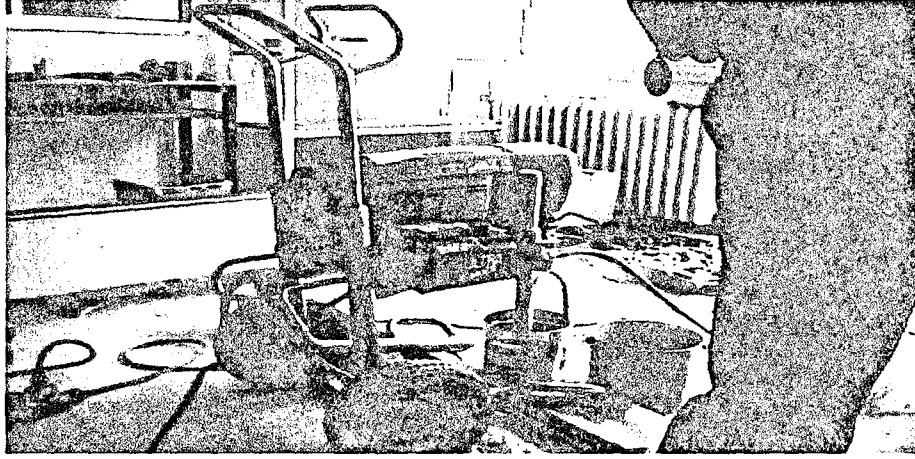
Şekil.5.31: Enjeksiyon yapılacak çatlakların yüzeyinin epoksiyle kapatılması

Çatlakların üzerine yapılan epoksi reçine donduktan sonra hazırlanan özel epoksi enjeksiyon malzemesi, özel enjeksiyon makinesi ile daha önce hazırlanan enjeksiyon pakelerinden çatlaklara basınç ile basılır. Yaklaşık 60 bar basınç ile basılmaktadır. (Şekil 5.32)



Şekil.5.32: Çatlaklara epoksi enjeksiyonu

Enjeksiyon makinesinin (Şekil 5.33) ve tabancasının kullanımdan önce ve sonra mutlaka özel tiner ile temizlenmesi ve yağlanması gerekmektedir.



Şekil.5.33: Enjeksiyon makinesi

5.4.6- Betonarme Kirişlerin CFRP Malzeme ile Onarım ve Güçlendirilmesi

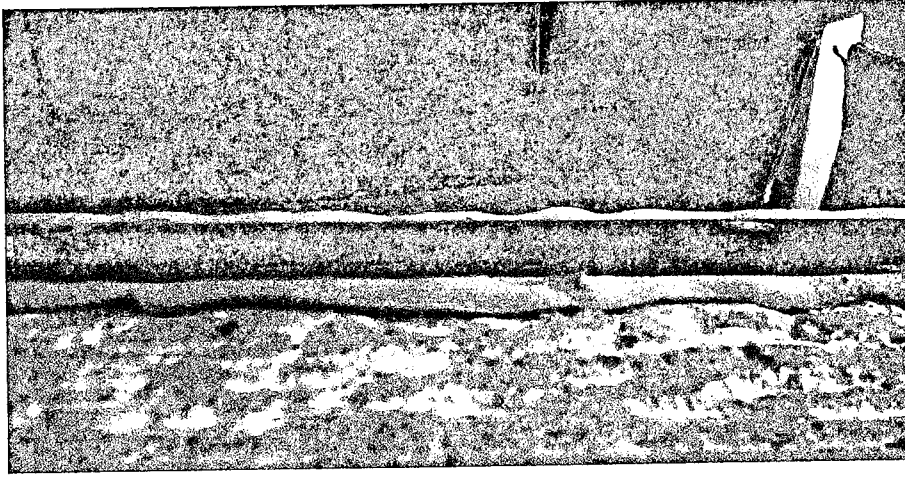
Şu anda inşaat sektöründeki uygulamalarda FRP malzemeler iki tür bulunmaktadır. Bunlardan birisi, plakalar (şeritler) halindedir. Fabrika ortamında FRP malzemenin epoksi ile doyurulması ile malzeme uygulamada yapıştırmaya hazır hale getirilir. Sahadaki işçiliği kolaylaştırır ve işçilik hatalarını en aza indirir. Değişik kalınlık ve genişlikte olabilirler. Türkiye’ de genelde 1,2 mm kalınlığında ve 50 mm eninde plakalar mevcuttur (Şekil 5.34).



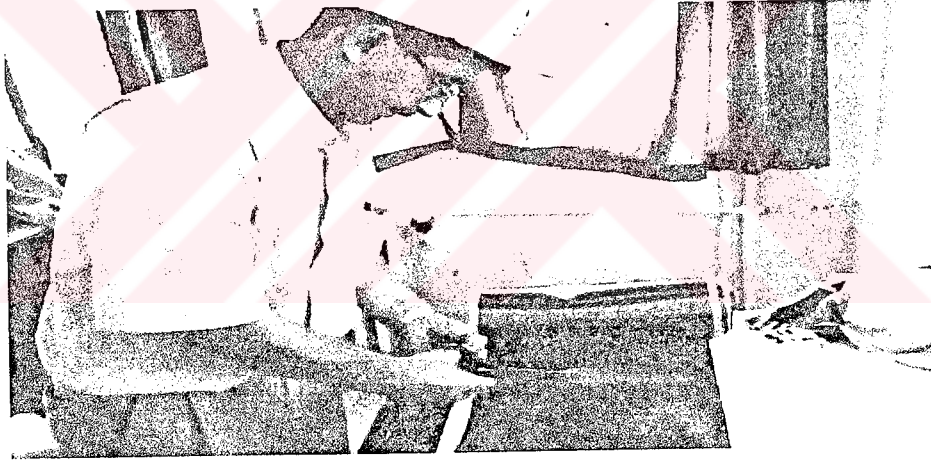
Şekil.5.34. FRP plaka (şerit) ve yapıştırma harcı(epoksi reçinesi)

FRP malzemenin diğer bir çeşidi de dokuma şeklinde olanıdır. Tek yönlü, çift

yönlü (90° veya 45°) olarak üretilmektedir. Deneylerimizde Türkiye’ de daha çok bulunan tek yönlü lifli malzeme kullanılmıştır (Şekil 5.36).



Şekil 5.35.FRP plakanın yapıştırılması



Şekil.5.36.: FRP Wrap(dokuma) ve normal bir makas ile kesilmesi

Uygulamada “Islak Uygulama” ve “Kuru Uygulama” olarak adlandırılan iki yöntem vardır. Islak uygulamada, FRP dokuma malzeme doyurma makinasında epoksiye doyurulur. Beton yüzeye yapıştırıcı sürüldükten sonra epoksiye doyurulmuş FRP yapıştırılır. Kuru uygulama ise, deneylerimizde kullanılan yöntem, önce beton yüzeye epoksi reçine yapıştırıcı sürülür, sonra FRP Wrap (dokuma) epoksi üzerine yapıştırılır. Daha sonra, FRP Wrap üzerine, bu uygulamalar için üretilmiş, dayanıklı Laminasyon rulosu ile sargının üzerinden geçilerek hava boşlukları alınır ve dokuma doyurulmuş olur. Şekil 5.37,5.38

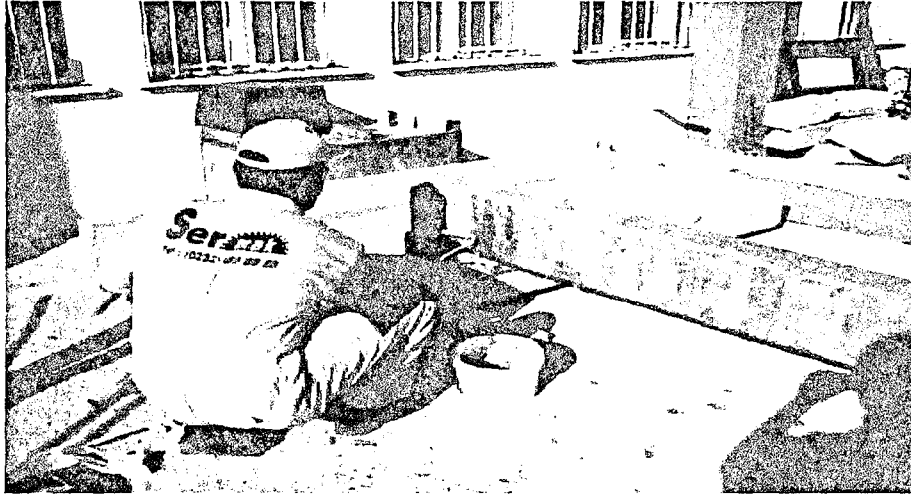


Şekil.5.37: FRP ile sargılama

Son olarak tekrar epoksi reçine ile dokuma üzeri doyurulur.Şekil 5.40. Bu uygulama hem doyurma, hem koruma amaçlıdır. Üzerine kaplama yapılacak ise, ikinci kat epoksi uygulanırken, epoksi kurumadan, üzerine kuvars veya kum serpilerek kaplama ile aderans sağlanabilir.



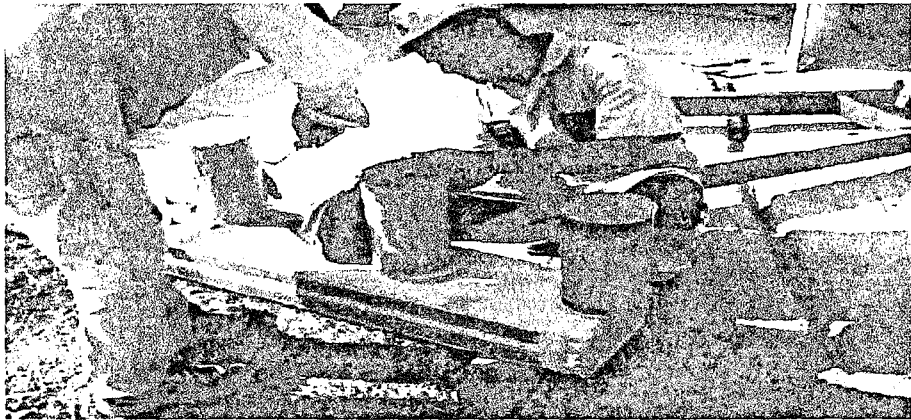
Şekil.5.39: FRP ile sargılanmış kiriş



Şekil.5.40:FRP sargı üzerine epoksi reçinesi ile kaplama

Bu Deneylerde de görüldüğü gibi FRP Wrap, dokuma, malzeme, daha çok sargılamada (kolon sargılamada ve kiriş sargılama gibi) kullanılır.

Yapılan deneylerde, uygulamada olabilecek hataların sonuçlarını görmek ve alınabilecek önlemleri test etmek amacıyla, FRP malzeme ile betonu sargılamanın etkileri de araştırılmıştır. Bu amaçla, silindir beton numuneler yalın olarak test edilmiş ve gerilme-şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Daha sonra aynı betondan alınmış ikinci grup silindir beton numuneler FRP Wrap, dokuma, malzeme ile sarılmıştır(Şekil 5.41) ve gerilme-şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu deneyler sonucunda FRP malzeme ile sargılamanın hem beton basınç dayanımını hem de sünekliği arttırdığı görülmüştür(Şekil 6.15)



Şekil.5.41: Silindir beton numunelerin FRP Wrap ile sarılması

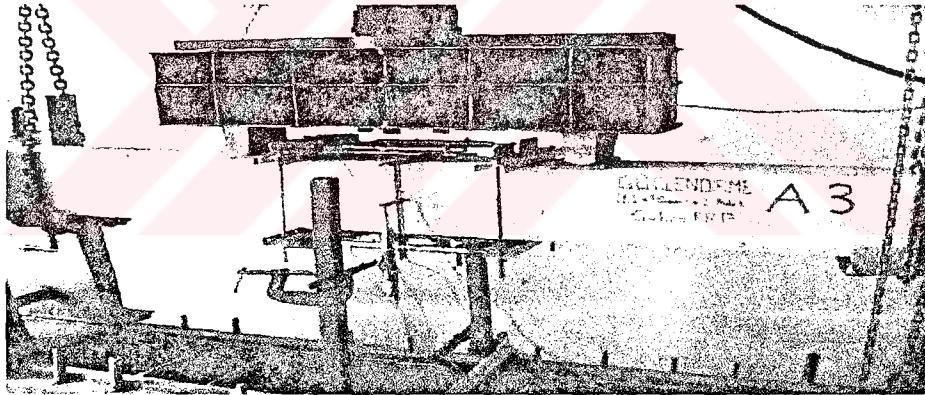
Bu sonuçtan hareket ile deney kirişlerinde, beton basınç dayanımını ve srekliği arttırmak için FRP dokuma malzeme ile sarılmıştır. Elemanın eğilme bölgesine yapıştırılan FRP malzemenin çatlakların açılmasını önlemesi için eğilme yüzeyinin %80 kaplaması gerekmektedir(M.H. ÖZKUL, H. YILDIRIM). Bu durumda deney kirişinde çok yüksek yük değerlerine ıkılacağından, kirişte kesme kırılmasını önlemek için kesme bölgesi de FRP dokuma malzeme ile kiriş eksenine dik olarak sarılmıştır.

5.4.7.1 1.Deney, Güçlendirme (A3 Numunesi)

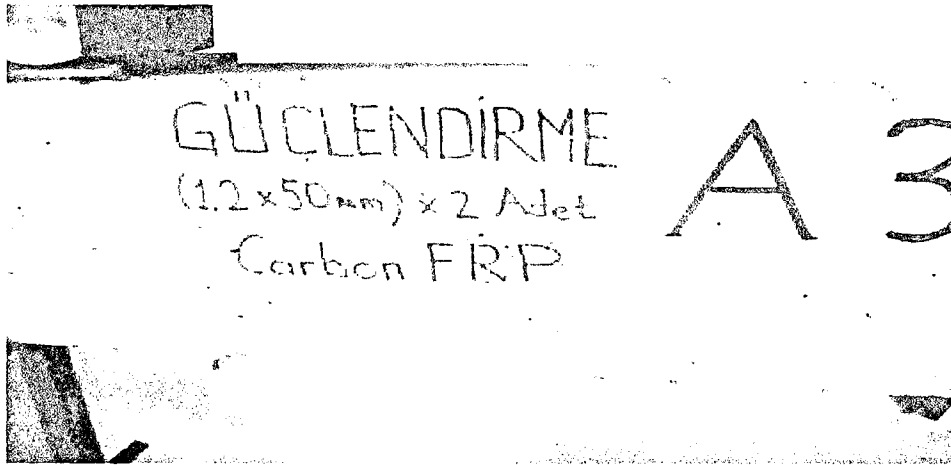
Deney kirişlerin bir tanesi A3, sadece kiriş alt yüzeyine, 2 adet 1,2 mm x 50 mm CFRP şerit yapıştırılarak güçlendirilmiştir.

Deneylerin tamamı kamera ile kaydedilmiş olup, diğital kamera ile tüm safhalar görüntülenmiştir.

Deney kirişi test çerçevesine taşındıktan sonra yatay ve düşey deplasman ölçüm düzeneği yerleştirilmiştir. (şekil 5.42, 5.43)



şekil. 5.42:Alt yüzüne FRP plaka yapıştırılarak güçlendirilen kiriş



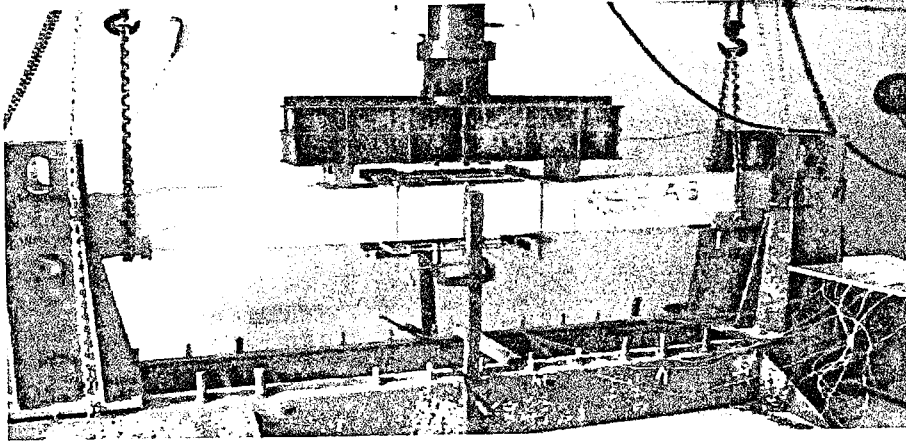
Şekil 5.43 :FRP plaka ile güçlendirilen kiriş (A3)

Yüksek yük değerlerine çıkılması, kesme kırılması CFRP sıyrılma veya beton pas payının sıyrılması durumları olabileceği göz önüne alınarak, test çerçevesinden mümkün olduğunca uzakta durulmaya çalışılmıştır. Deney 5 mm düşey deplasman artırımları ile tekrarlı yükleme olarak yapılmıştır.

Deney başladıktan sonra, çitirtılar başlamış, bu da uygulanan epoksi reçine yapıştırıcının yük aktarmaya başladığını göstermiştir. Yalın kirişteki taşıma gücü aşıldıktan sonra yavaş yavaş yükleme bölgesi dışında, kesme bölgesinde, kesme çatlakları oluşmaya başlamıştır. (Şekil 5.44) Yüklemeye devam edilmiş ve kesme çatlaklarının açılması devam etmiştir.(Şekil 5.45)

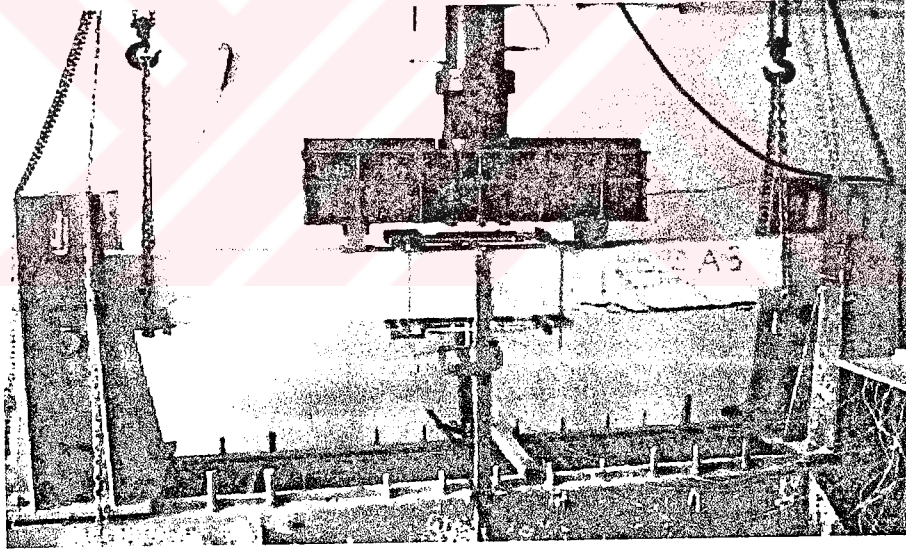


Şekil 5.44:FRP plaka ile güçlendirilen kirişte kesme çatlakları

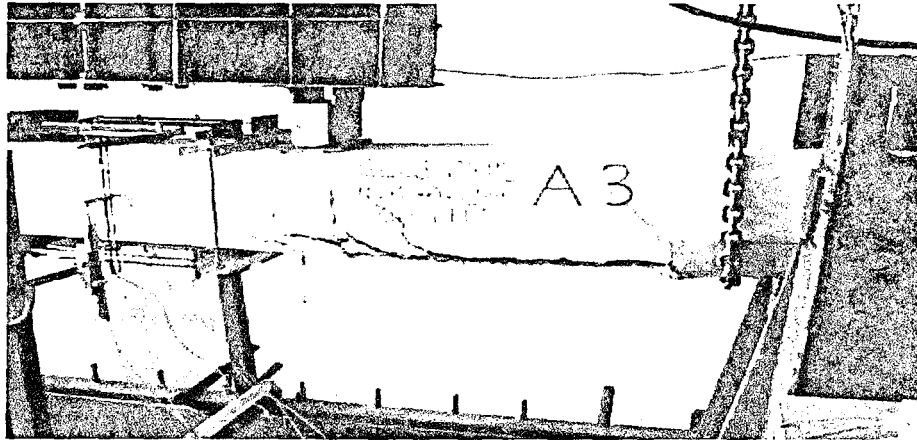


Şekil 5.45:FRP plaka ile güçlendirilen kirişin deney sonları

Eleman P = 11,5 ton, yükte kesme bölgesindeki çatlakların iyice açılması(Şekil 5.46) ve kiriş alt bölgesindeki beton pas payının sıyrılması ile sesli bir şekilde taşıma gücünün sonuna varmıştır. (Şekil 5.47, 48)



Şekil 5.46:FRP plaka ile güçlendirilmiş kiriş son durumu



Şekil 5.47:FRP plaka ile güçlendirilmiş kiriş-kesme çatlakları ve pas payının kopması

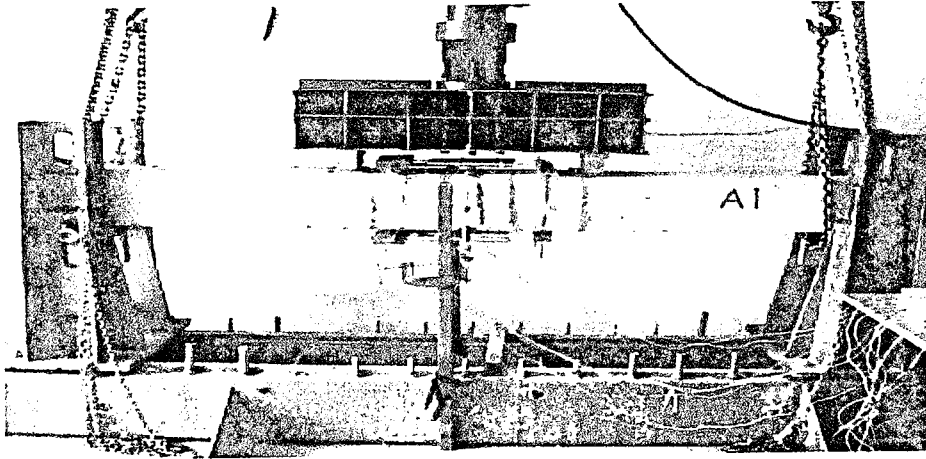


Şekil 5.48: FRP plaka ile güçlendirilmiş kiriş-kesme çatlakları-detay

5.4.7.2 2.Deney, A1, Onarım ve Güçlendirme :

Daha önce eğilme testi sonucu çatlamış, deformasyonları geri alındıktan sonra çatlaklara epoksi enjeksiyonu ile alt yüzeyine 2 adet doldurulmuş 1,2 x 50 mm CFRP şerit yapıştırılmış numunedir.

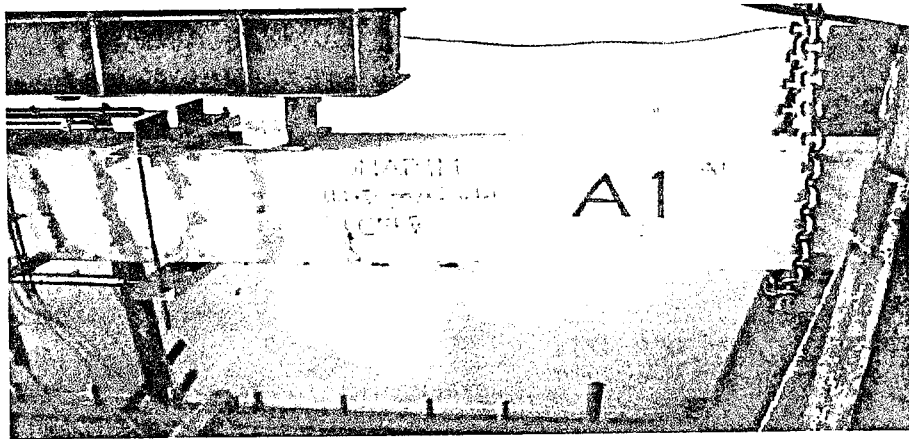
Onarılıp güçlendirilen deney numunesi test çerçevesine yerleştirildikten sonra, epoksi reçine çapakları zımpara ile alınmış ve ölçüm düzeneği monte edilmiştir. (Şekil 5.49)



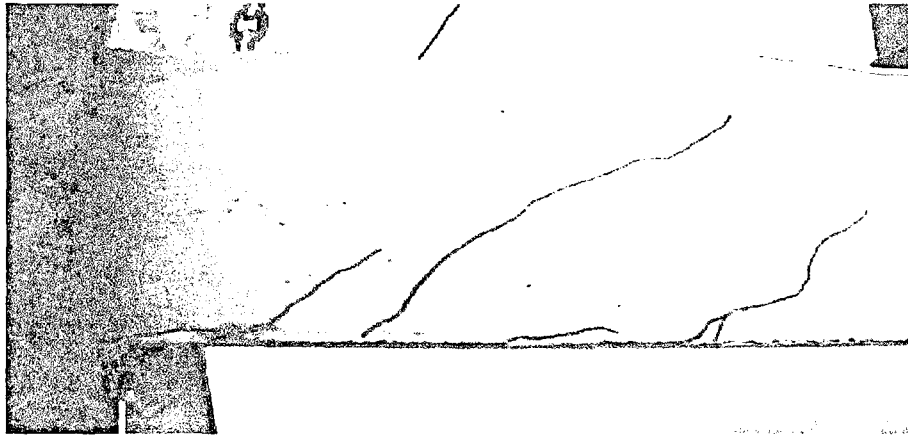
Şekil 5.49:FRP plaka ile onarım ve güçlendirilmiş kiriş test başlangıcı

Yüklemeye deplasman kontrollü olarak ve tekrarlı yüklemeye şeklinde yapılmış, böylece oluşan çatlakların dijital fotoğraf makinasına alınması, deney kirişinin ve test çerçevesinin gözlenmesi sağlanmaktadır.

Elemanın test sırasındaki davranışı, önceki deneydeki davranışa çok benzemektedir. Yüklemeye bölgesi dışındaki kesme çatlakları oluşmaya başlamıştır. Bu deney kirişindeki çatlaklara basılan epoksi reçinesi betondan çok daha dayanıklı olduğu için, oluşan kesme çatlakları epoksi enjeksiyon yapılan çatlaklarda yön değiştirmiştir.(Şekil 5.50, 5.51)



Şekil 5.50:FRP plaka ile onarım ve güçlendirilmiş(O/G) kiriş testi



Şekil 5.51:FRP plaka ile O/G yapılmış kiriş testi-kesme çatlakları

Onarılan eleman, güçlendirilen eleman ile yaklaşık olarak aynı taşıma gücüne çıkmış ve benzer bir mekanizma ile taşıma gücünün sonuna ulaşmıştır. Şekil 5.52



Şekil 5.52: FRP plaka ile O/G yapılmış kirişin testindeki son durumu

5.4.7.3 3.Deney, A2, Onarım ve Güçlendirme :

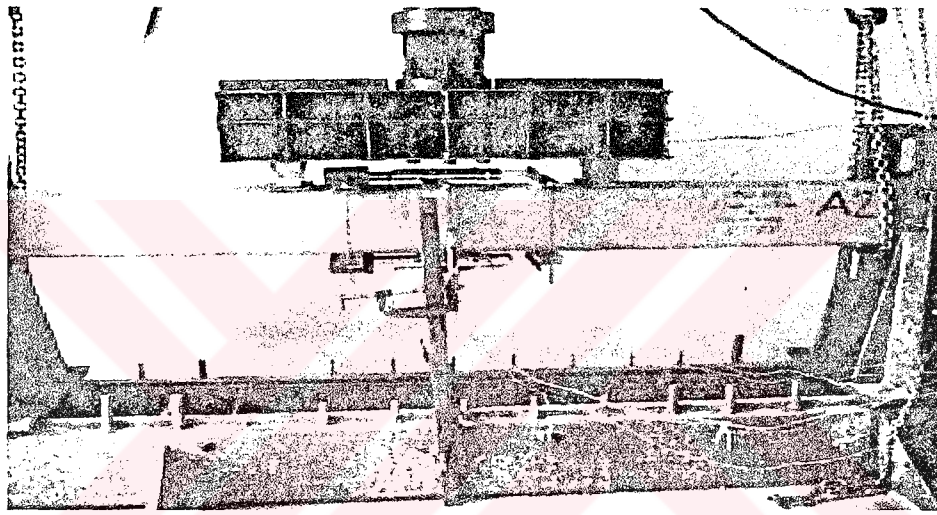
Daha önce eğilme testine tabi tutulmuş, deformasyonları geri alındıktan sonra, çatlaklara epoksi enjeksiyonu sıkılarak tamir edilmiştir.

Yapılan tamirattan sonra kiriş alt yüzüne 2 adet 1,2 x 50 mm CFRP şerit yapıştırılmıştır. Daha sonra kirişin bütün yüzeyi CFRP Wrap, dokuma, 0,13 mm, tek yönlü, ile liflerin yönü kiriş eksenine dik olarak, etriye gibi, sarılmıştır.

Bu deneyde, önceki deneylerdeki kesme, pas payı sıyrılması gibi problemlere önlem

olarak kirişin alt yüzündeki CFRP şeritlere ek olarak elemanın tamamını sarılmıştır. Böylece kesme bölgesinde kesmeye karşı önlem alınmış, orta bölgede sargı etkisi ile beton dayanımı ve sürekliliği arttırılmış, alttaki FRP şeritlerinde kirişin yan yüzlerine ankre edilerek CFRP' nin ve pas payı betonunun sıyrılması önlenmiştir. Bu şekilde deney kirişinin daha yüksek taşıma gücüne erişirken, daha süreklilik davranması amaçlanmıştır.

Hazırlanan deney numunesi test çerçevesine yerleştirildikten sonra, yatay ve düşey deplasman ölçüm düzeneği monte edilmiştir (Şekil 5.53)

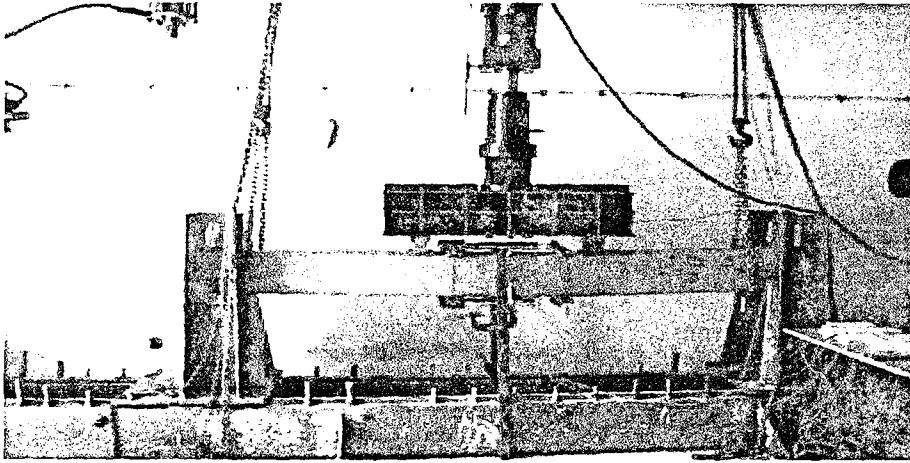


Şekil 5.53: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi

Yalın kirişin çok üstünde yük değerlerine ulaşılması beklendiğinden, bütün çalışanlar, mümkün olduğunca test çerçevesinden uzakta durmaları konusunda uyarılmıştır.

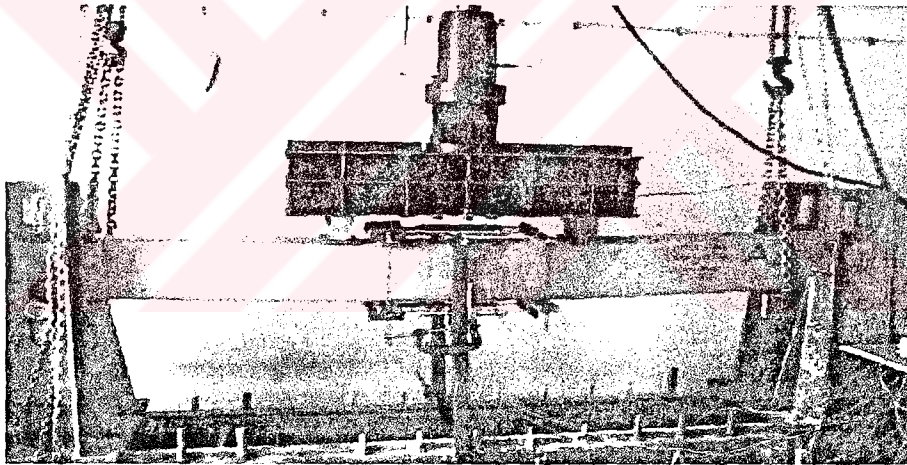
Yüklemeye 5 mm artırımlı düşey deplasman kontrollü tekrarlı yükleme olarak yapılmıştır.

10 mm düşey deplasman seviyesinde çitirtılar gelmeye başlamıştır. (Bu durum epoksi reçinenin CFRP malzemeye yük aktardığını ve kesitin normal kompozit kesit olarak çalıştığını göstermektedir.). 25 mm düşey deplasman seviyesinde, numunede eğilme çatlakları başlamıştır. Şekil 5.54, 5.55

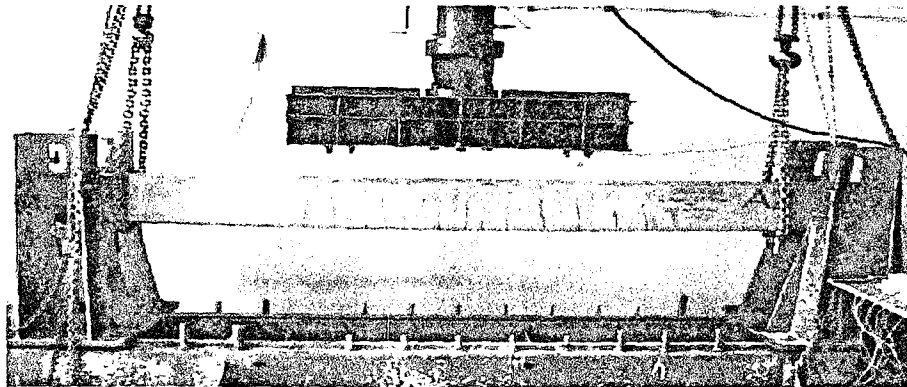


Şekil 5.54: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi

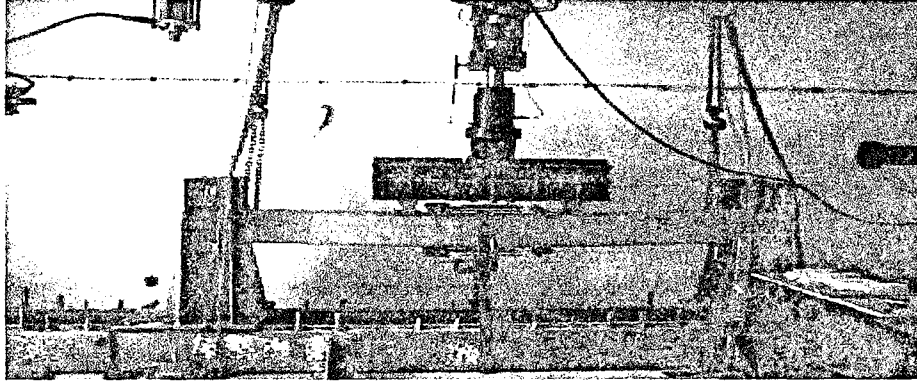
Deneye 50 mm düşey deplasman ve $P = 16,7$ ton yük seviyesine kadar devam edilmiş ve dolay durdurulmuştur. (Şekil 5.56, 5.57)



Şekil 5.55: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi



Şekil 5.56: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi:

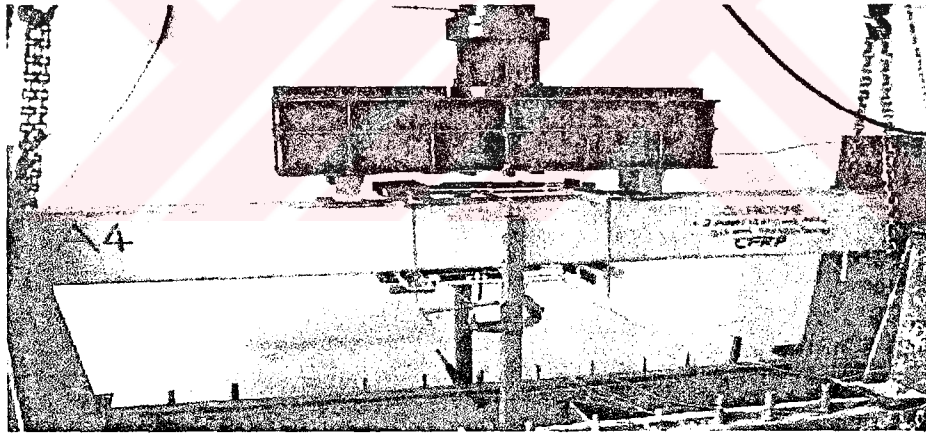


Şekil 5.57: FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş testi

5.4.7.4 4.Deney, A4, Güçlendirme :

Kırılmamış kirişin alt yüzeyine 2 adet 1,2 x 50 mm CFRP şerit epoksi reçinesi ile yapıştırılmış. Kirişin bütün yüzeyleri 0,13 mm' lik CFRP Wrap, dokuma, ile liflerin yönü kiriş eksenine dik olarak sarılmıştır.

Hazırlanan deney kirişi test çerçevesine yerleştirilip, yatay ve düşey deplasman ölçüm düzeneği monte edilmiştir. (Şekil 5.58)



Şekil 5.58: FRP plaka ve FRP dokuma ile güçlendirilmiş kiriş testi

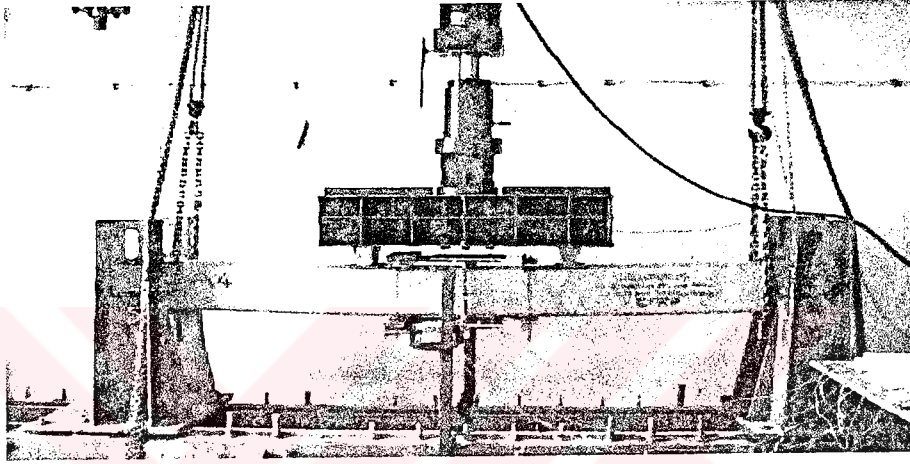
Bu deneyde daha önce test çerçevesinde denenmiş olan en yüksek yük değerinin üstüne kadar yüklemeyi denemek için çalışan elemanlar uyarılmış, deneyin tamamı kamera ile kaydedilmiştir.

Yükleme 5 mm artırımlı düşey deplasman kontrollü çok düşük hızda ve tekrarlı olarak yapılmıştır.

Deney sırasında elemanın davranışı, önceki deneydeki, onarılıp güçlendirilen, numune davranışına çok benzemektedir.

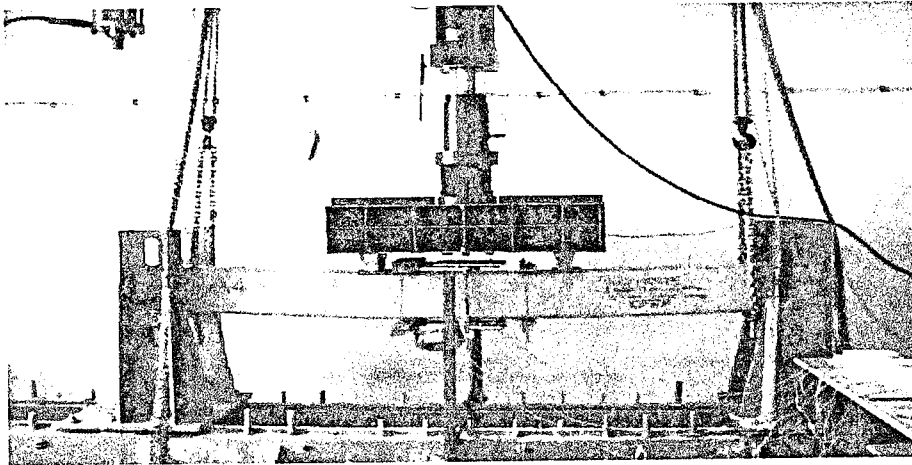
- 10 mm düşey deplasman seviyesinde çitirtılar başlamıştır.
- 25 mm düşey deplasman seviyesinde eğilme çatlakları başlamıştır.(Şekil 5.60)

Çitirtı şeklinde sesler gelmeye devam etmiştir.



Şekil 5.60: FRP plaka ve FRP dokuma ile güçlen. kiriş testi(-25 mm düş.depl.)

Yükün artmasına paralel olarak çatlaklar genişlemiş fakat 55 mm düşey deplasman, $P = 18,3$ ton yük seviyesinde deney durdurulmuştur.(Şekil 5.61)



Şekil 5.61: FRP plaka ve FRP dokuma ile güçlendirilmiş kiriş testi son durumu

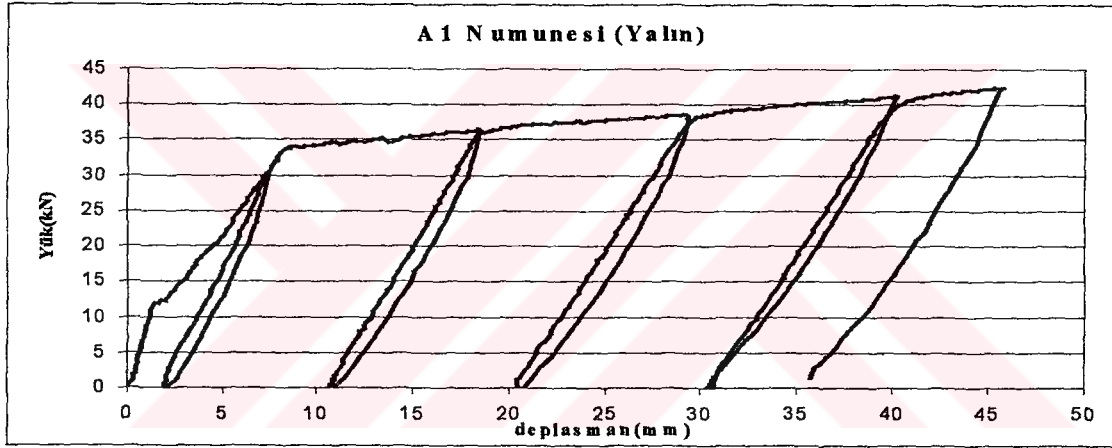
Bu deneyde de deney kirişinde yalnız kiriş taşıma gücünün yaklaşık 4 atına çıkılmış, sünek davranış elde edilmiş, kesme çatlakları oluşmamıştır.

ALTINCI BÖLÜM

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

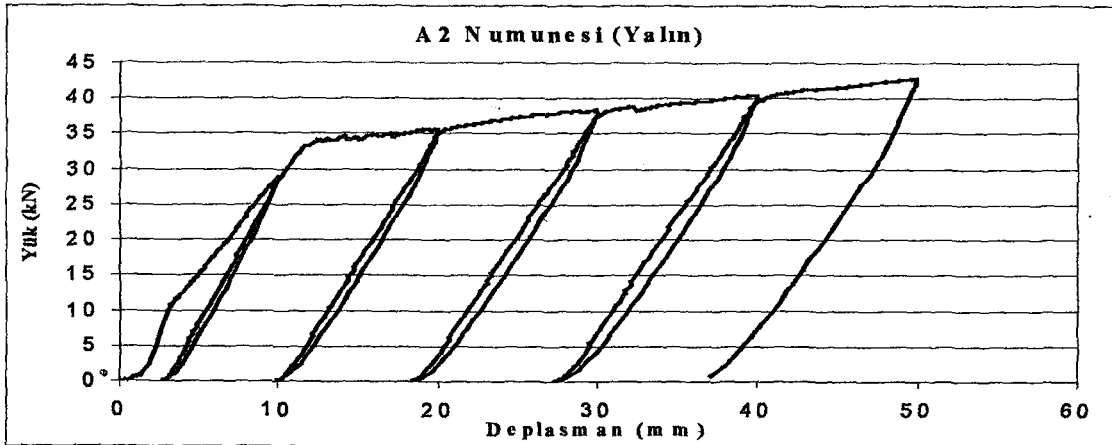
6.1 Yalın Kirişler İle İlgili Sonuçlar

Yapılan deneylerde önce yalın kirişler eğilme testine tabi tutulmuş ve yük-deplasman değerleri elde edilmiştir(Şekil 6.1 ve 6.2) Yalın kiriş deney sonuçlarına göre, oluşan çatlaklar tamamen beklenen şekilde oluşmuştur. Nervürlü donatılı kirişlerdeki tipik eğilme çatlakları şekli görülmüştür. Sünek bir davranış elde edilmiştir.



Şekil 6.1: Yalın kiriş testi (A1)

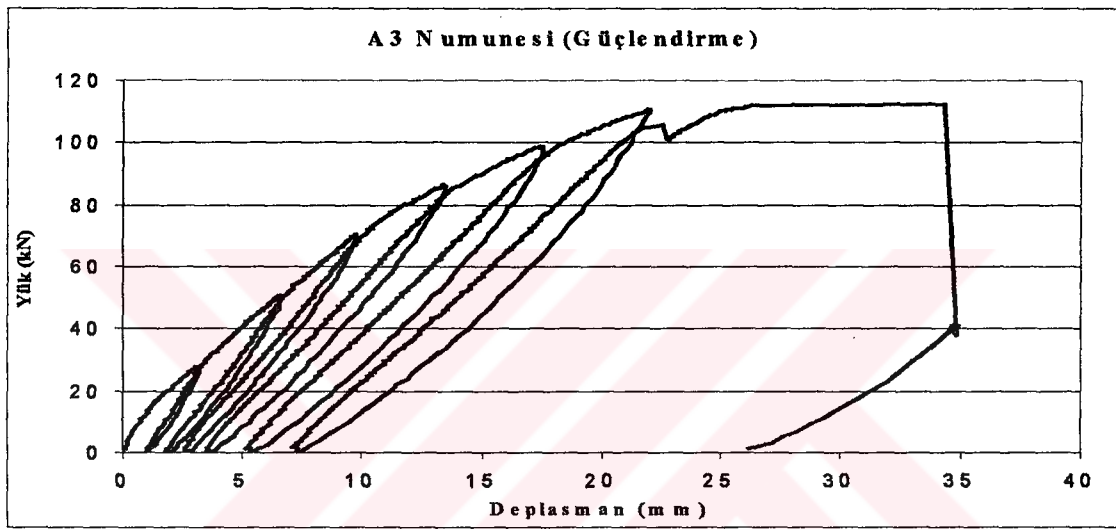
2. Yalın kiriş testinin yük-deplasman grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.



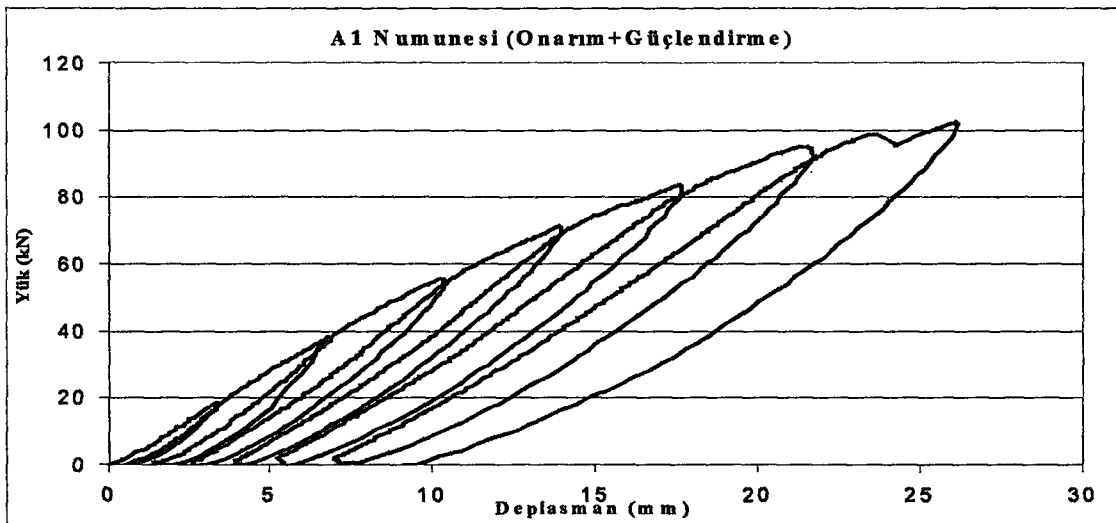
Şekil 6.2: Yalın kiriş testi (A2)

6.2 Kiriş Alt Yüzüne CFRP Şeritlerle Yapılan Onarım ve Güçlendirme İle İlgili Sonuçlar

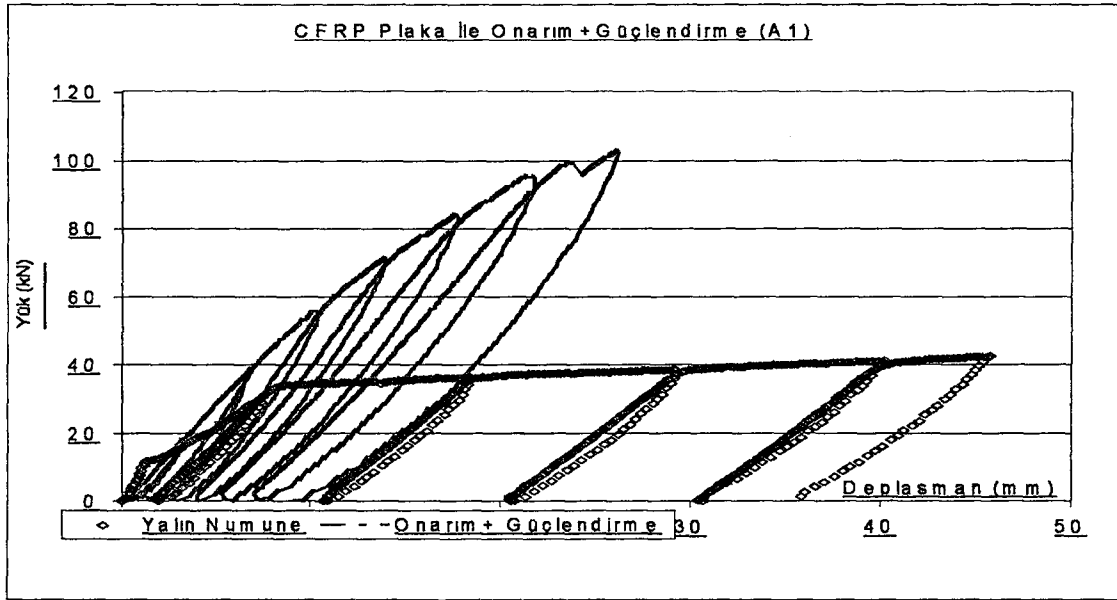
Deney kirişlerinin alt yüzüne, mesnetten mesnede, CFRP şerit, 1,2x50 mm, yapıştırılarak yapılan onarım ve güçlendirme test sonuçları karşılaştırılmıştır. Onarılıp güçlendirilen deney kirişi ile doğrudan güçlendirilen deney kirişinin davranışı yaklaşık olarak aynı olmuştur. Şekil 6.3, 6.4, 6.6



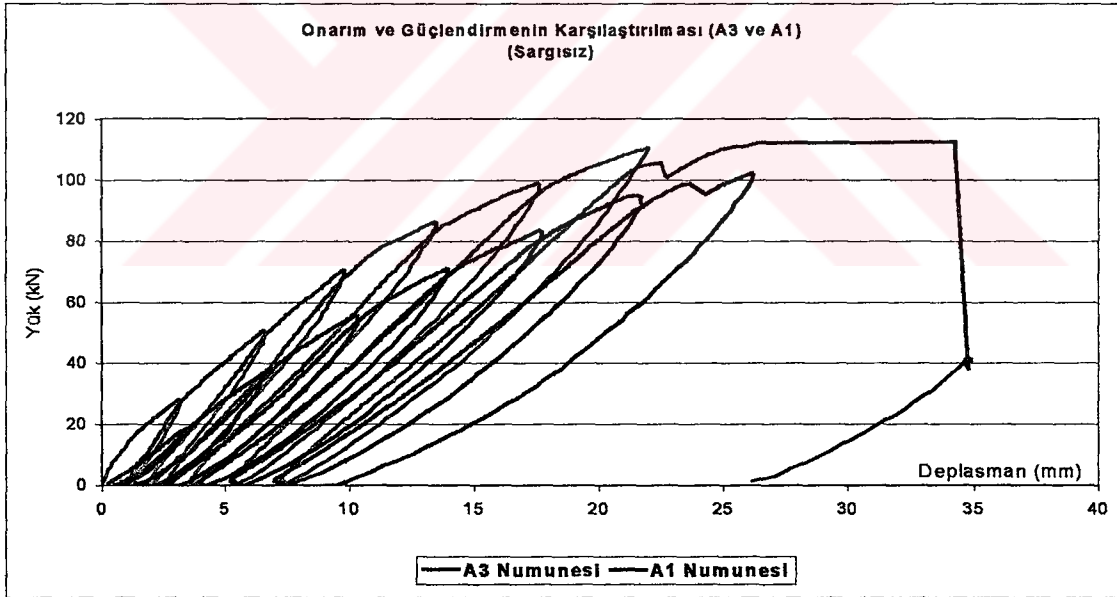
Şekil 6.3:FRP plakalarla güçlendirilmiş kiriş testi



Şekil 6.4: FRP plakalarla O/G yapılmış kiriş testi



Şekil 6.5:Yalın kiriş ve FRP plaka ile O/G yapılmış kiriş test sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.6:FRP plaka ile yapılan onarım ile güçlendirme test karşılaştırılması

Yapılmış olan güçlendirme yöntemi ile kiriş taşıma gücünün 2,5 kat arttığı görülmüştür.(Şekil 6.5) Yalın kirişlerden farklı olarak, kesme çatlakları oluşmuş ve kiriş sünekliği azalmıştır(Şekil 6.5)

6.3 Kiriş Alt Yüzüne CFRP Şeritler ve Yan Yüzlerine CFRP Wrap, Sargı Yapıştırılarak Yapılan Onarım ve Güçlendirme İle İlgili Sonuçlar

Bu grup deney kirişlerinde, alt yüzlerine CFRP şeritler yapıştırmaya ek olarak kiriş yüzeyi CFRP Wrap, sargı, lifler kiriş eksenine dik olarak, sarılarak daha sünek bir davranış elde edilmiştir.

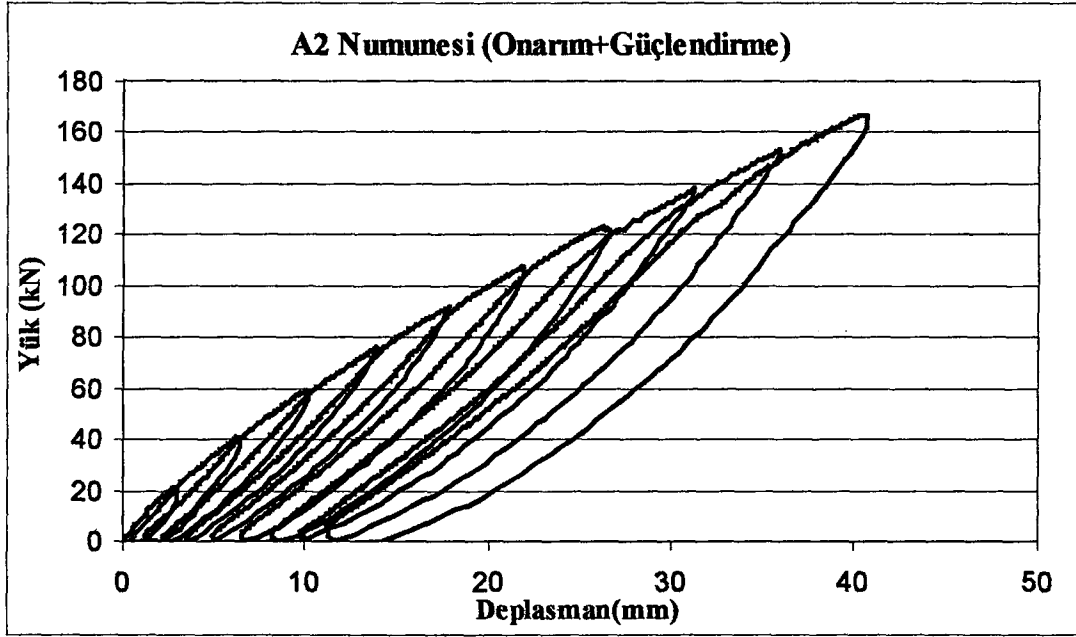
Bu grup numunelerin taşıma gücü, yalın kirişlerin yaklaşık 4 katına çıkmıştır.(Şekil 6.7, 6.9) CFRP Wrap, sargı, malzeme ile yapılan sargılama elemanın sünekliğini arttırmıştır.(Şekil 6.10) Kesme çatlakları oluşmamış, sadece eğilme çatlakları oluşmuştur.

6.4 Kiriş Alt Yüzüne FRP Şeritler ve Kesit Çevresine FRP Dokuma Sargı ile Güçlendirme Sonuçları

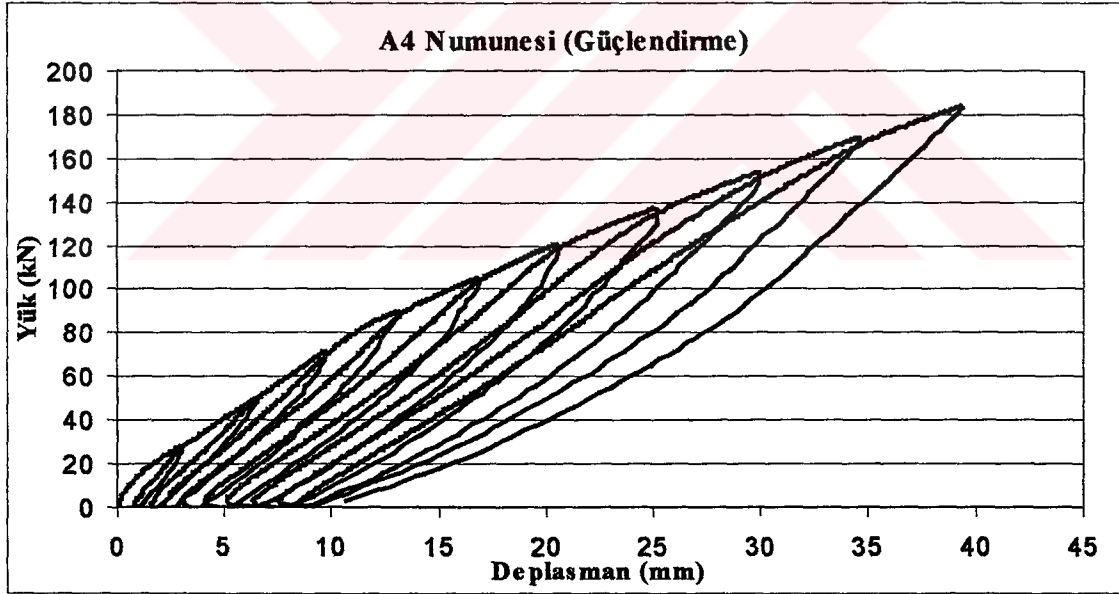
Bu kirişlerde de taşıma gücü yalın kirişlerin yaklaşık 4 katına çıkmıştır.(183 kN). (Şekil 6.8) Yalnızca kiriş alt bölgesine FRP şerit yapıştırma ile güçlendirmeye göre kirişin yük taşıma kapasitesi ve sünekliği çok büyük ölçüde artmıştır.(Şekil 6.12)

Hasar gördükten sonra onarılıp güçlendirilen kiriş testi ile hasar görmeden güçlendirilen kiriş test sonuçları yaklaşık olarak aynıdır. (Şekil 6.11)

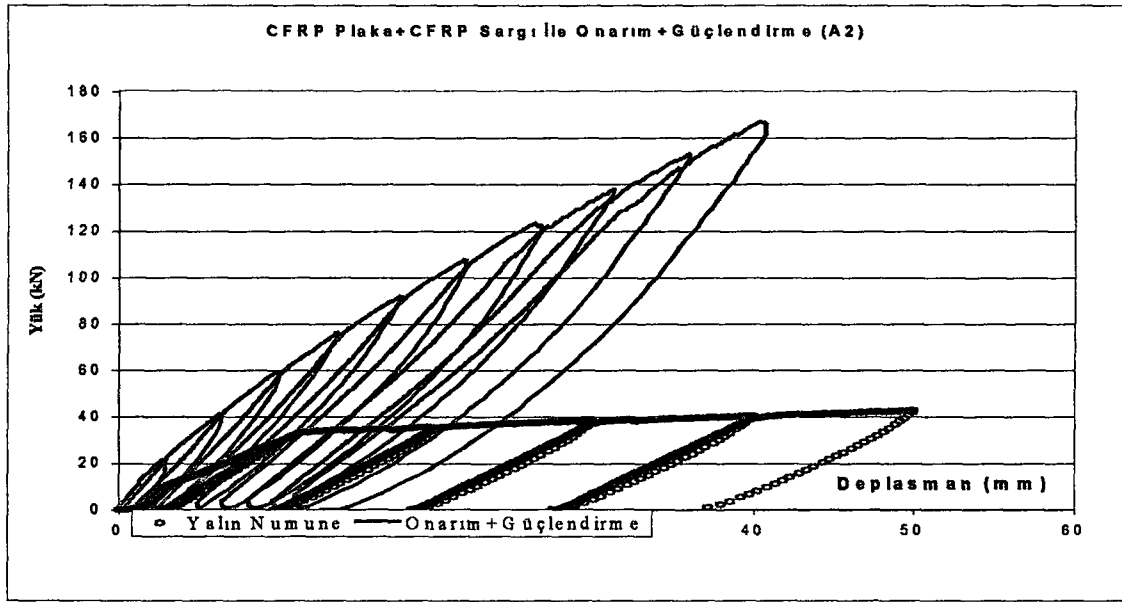
Bütün deney sonuçlarının yük deplasman değerleri Çizelge 6.1 de görülmektedir.



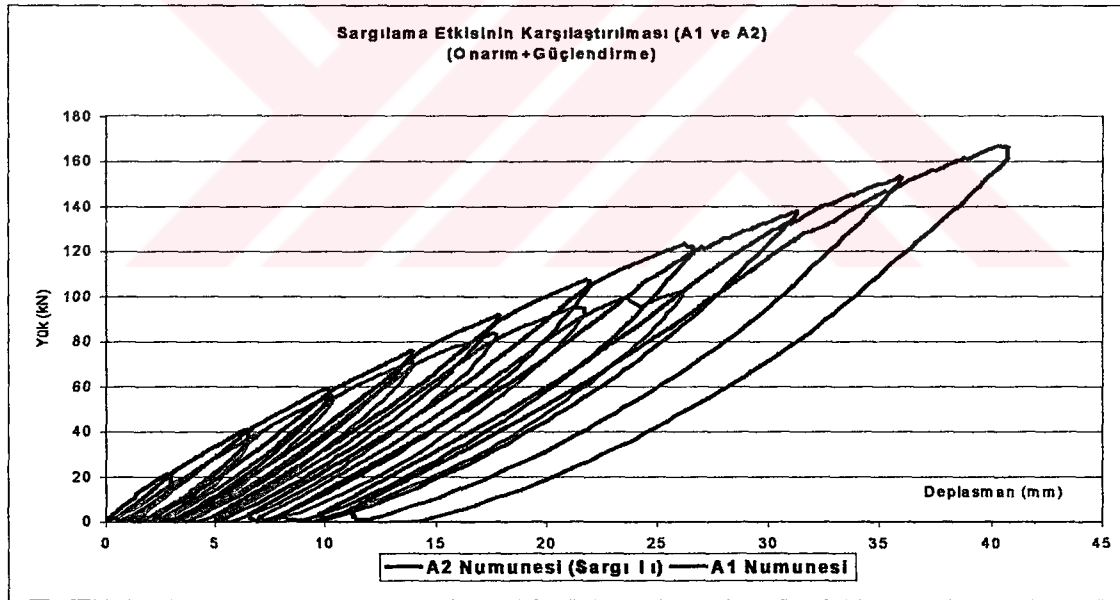
Şekil 6.7:FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş test sonuçları



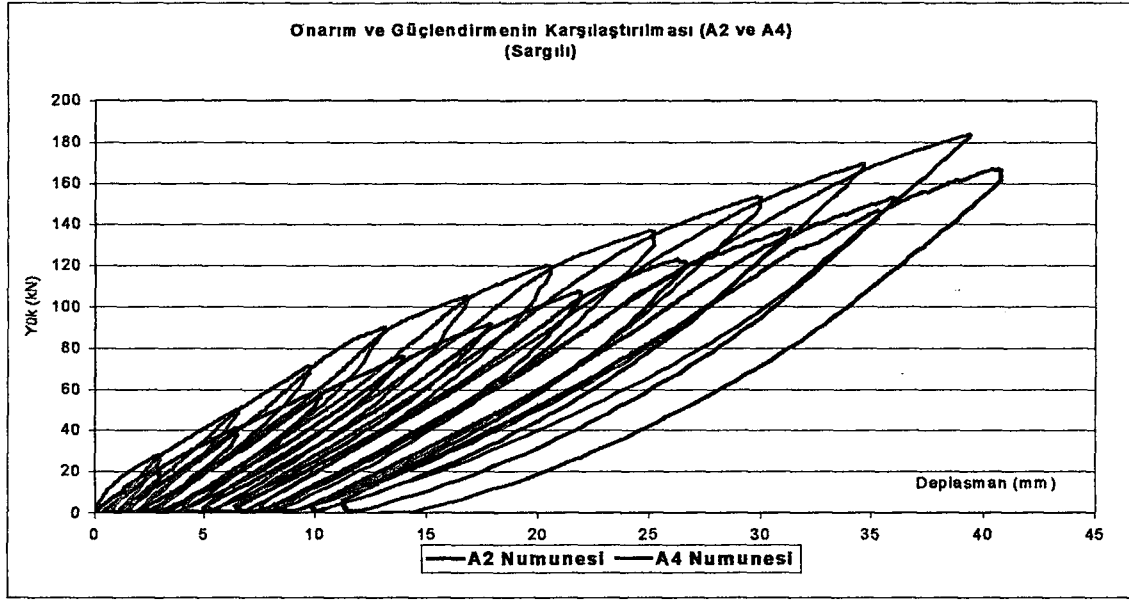
Şekil 6.8: FRP plaka ve FRP dokuma ile güçlendirilmiş kiriş test sonuçları



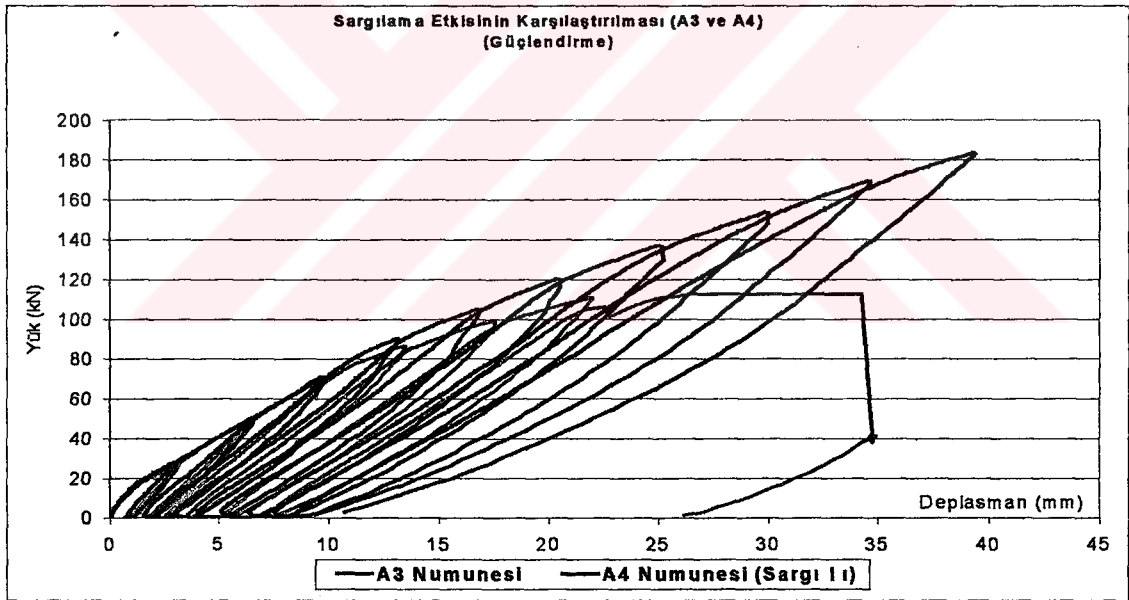
Şekil 6.9: Yalın kiriş ve FRP plaka ve FRP dokuma ile O/G yapılmış kiriş test sonuçları



Şekil 6.10: Sargılamanın etkisi (O/G)



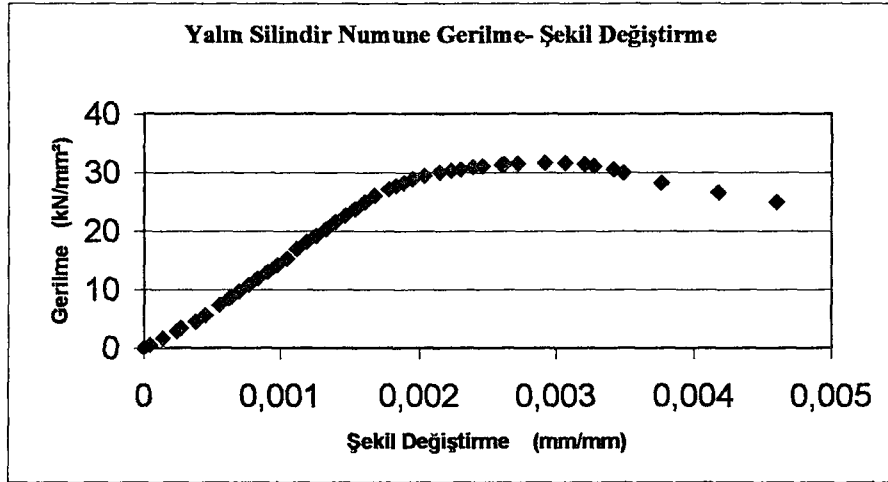
Şekil 6.11: Onarım ile güçlendirmenin karşılaştırması (FRP plaka +FRP sargı)



Şekil 6.12: Sargılama etkisi (Güçlendirme)

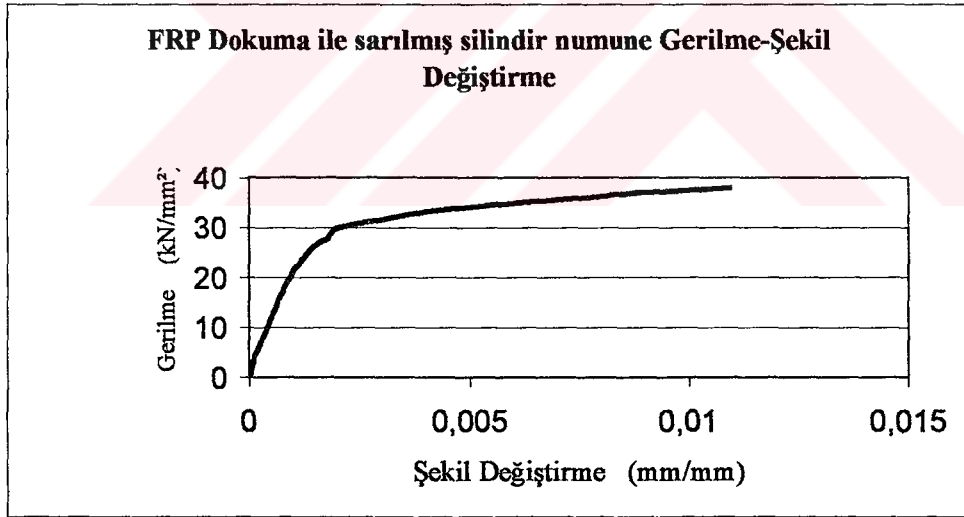
6.5 Silindir Beton Numunelerin FRP Dokuma ile Sargılanması Deneyleri ile İlgili Sonuçlar

Yalnız silindir beton numune basınç deneylerinden elde edilen Gerilme – Şekil Değiştirme sonuçları Şekil 6.13 de görülmektedir. Beton basınç dayanımı 31,7 Mpa ve buna karşılık gelen Şekil Değiştirme ise 0.003 mm/mm elde edilmiştir.



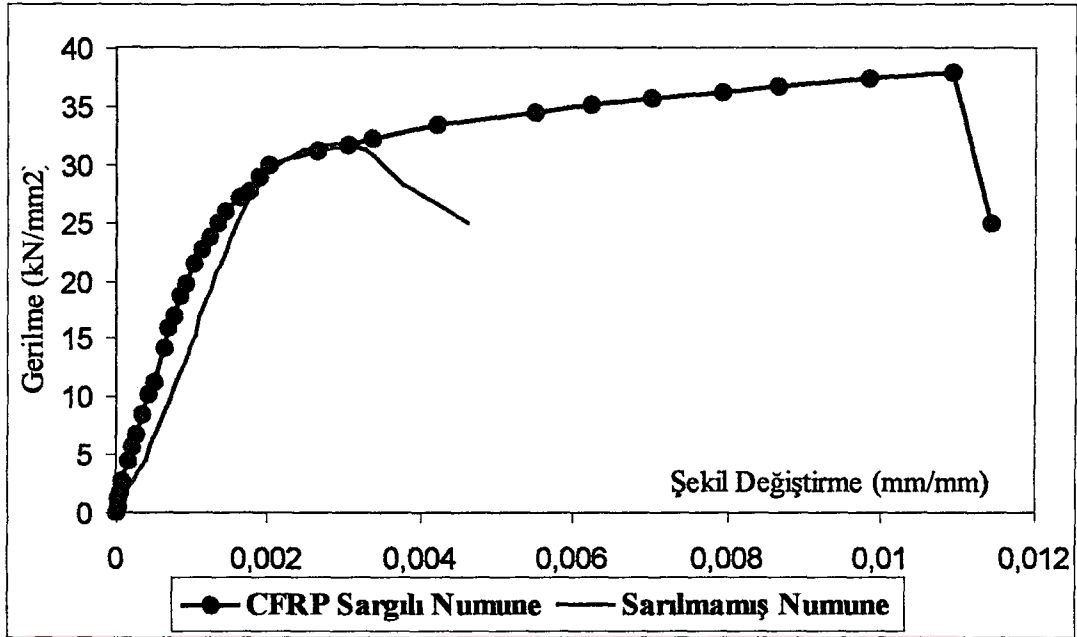
Şekil 6.13 :Yalın Silindir numune Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi

FRP dokuma ile sarılmış silindir beton numunelerinin basınç deneyinden elde edilen Gerilme-Şekil Değişirme değerleri Şekil 6.14 de görülmektedir. Beton basınç dayanımı 37,9 Mpa ve Şekil Değişirme olarak 0.011 mm/mm elde edilmiştir.



Şekil 6.14:FRP Dokuma ile sarılmış silindir numune Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi

Silindir beton numunelerin basınç deneylerden elde edilen sonuçlara göre FRP dokuma ile sargılama beton basınç dayanımını yaklaşık olarak %20 artırırken Şekil Değişirme kapasitesini (enerji emme kapasitesi) yaklaşık olarak 3,5 kat artırmıştır. Şekil 6.15.



Şekil 6.15 : Yalın ve FRP ile sarılmış silindir numuneler

Çizelge 6.1 : Bütün deneylerin yük-deplasman /Ger.-Şek. Değ. değerleri

No	Deney	Yük (kN)	Deplasman (mm)
1	Yalın kiriş 1	42,4	45,6
2	Yalın kiriş 2	42,8	50
3	FRP Plakalar,1,2*50 mm,ile onarım ve güçlendirme	98,9	23.Oca
4	FRP Plakalar,1,2*50 mm,ile güçlendirme	110,2	22,5
5	FRP Plakalar ,1,2*50mm,ile boyuna ve FRP dokuma ile enine O/G	166,3	40,7
6	FRP Plakalar ,1,2*50mm,ile boyuna ve FRP dokuma ile enine güçlendirme	183,3	39,3
		Gerilme	Şekil Değ.
7	Yalın silindir numune	31,7Mpa	0,003mm/mm
8	FRP Dokuma ile sarılmış silindir numune	37,9Mpa	0,011mm/mm

6.6 Sonuçlar

Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, FRP malzemelerle; betonarme elemanların hızlı ve güvenli bir şekilde onarım ve güçlendirilmesinin yapılabileceği görülmüştür. Taşıma gücünü kaybeden elemanların FRP kullanılarak onarım güçlendirilmesi halinde, başlangıç dayanımlarının 2.5-4 kat artırıldığı görülmüştür. Bu çalışmada Sargı malzemesinin kalınlığı 0.13 mm alınmıştır. Bu değer artırılarak da, kapasitenin artırılabilceği bir gerçektir.

Ülkemizdeki yapı stokunun büyük bir çoğunluğu onarım ve güçlendirme gerektirmektedir. Yapılar önem sırasına göre ele alınarak incelenmeli ve uygun bir yöntemle onarım ve güçlendirme uygulanmalıdır. Bu çalışma ile özellikle yığma tarzındaki tarihi yapıların, FRP sarma yöntemi ile kolayca iyileştirilebileceği görülmüştür(silindir numunelerdeki sonuçlar).

FRP malzemeler uygun şekilde kullanıldığında, elemanların yük taşıma kapasitesini ve sünekliğini çok büyük ölçüde arttırmaktadır. Bu tür malzemelerde dışa bağımlıktan dolayı maliyet artmaktadır. Ülkemizdeki bazı tesislerde, üniversitelerin de katkısıyla bu ve benzeri malzemeler kolayca imal edilebilir.Böylece maliyet düşürülebilir. Depreme dayanıksız ve olası bir depremde yıkılmayı bekleyen yapı miktarımız dikkate alındığında; bu tür bir projenin acil olarak başlatılması gerekmektedir.

Deneysel çalışma esnasında karşılaşılan bazı durumlar aşağıda verilmiştir.

- FRP malzeme ile onarım ve güçlendirme yöntemine karar verirken, elemanın kesme güvenliği mutlaka kontrol edilmelidir.
- Kiriş eğilme taşıma gücünü arttırmak için alt yüzüne yapıştırılan FRP şeridin açıklığın tamamına yapıştırılması daha uygundur.
- FRP malzeme uygulanacak yüzey, epoksi harcının aderansını attırmak için, pürüzlendirilmelidir. Bu işlem elektrik çelik tel fırça, matkap veya kumlama ile yapılabilir.
- FRP malzemeyi uygulamadan hemen önce yüzey iyice temizlenmelidir. (Toz

kalmamalıdır.)

- Çatlakların epoksi reçine enjeksiyonu yapılırken enjeksiyon dübeli için açılan delikler hava ile iyice temizlenmelidir.
- Yapıştırıcıda kullanılan epoksi reçineler, yerinde kullanım hızına göre, uygun miktarlarda hazırlanmalıdır. Çok hızlı katılaşmaktadır.



KAYNAKLAR

- A. İlki ve N. Kumbasar, Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılması, Yapı Mek. Lab. Kongresi. TUBİTAK
- ACI, Committee 440. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete. Str., Sept. 2000 (document under review)
- Bayülke, N., Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi, 3. Baskı, İMO İzmir Şubesi.
- Benmokrane, Brahim; Rahman, Habib; Mukhopadhyaya, Phalguni, and others, Use of fiber reinforced polymer reinforcement integrated with fiber optic sensors for concrete bridge deck slab construction, Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 928-940
- CEB, Bulletin Information No. 162, 1983. Assessment of Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading (Redesign)
Carbon Reinforced Plastics, Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering. February 1998, Istanbul
- Demers, M., Neale, K., Confinement of reinforced concrete columns with reinforced-reinforced composite sheets – an experimental study, Canadian Journal of Civil Engineering, 26, (April, 1999): 226-241
- Deniaud, Christophe; Cheng, J., Shear rehabilitation of G-Girder bridges in Alberta using fiber reinforced polymer sheets, Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 960-971
- Deniaud, Christopher; Cheng, JJ., Review of shear design methods for reinforced concrete beams strengthened with fiber reinforced polymer sheets, Canadian

Journal of Civil Engineering 28 (April, 2001):271-281

Drimoussis, Efrosini H., Shear strengthening of concrete girders using carbon fiber reinforced plastic sheets. 1964-Publication, Ottawa, National Library of Canada=Bibliotheque nationale du Canada, 1995.

Ersoy, U.,Betonarme Temel İlkeler Ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Yayınevi,Ankara.

Fam, Amir Zakaria Yassa Hanna, Carbon fiber reinforced plastic prestressing and shear reinforcements for concrete highway bridges, 1969- Publication, Ottawa, National Library of Canada = Bibliotheque nationale du Canada, 1996.

Fema, (1989), A Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings (Preliminary) Earthquake Hazard Reduction Series 47, FEMA-178, June 1989

H. Özkul, H. Yıldırım, Strengthening of Steel Reinforced Concrete Beams with FRP.,Second Japan-Turkey Workshop on Repair And Strengthening.

İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi,Depremde Hasar Görmüş Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İzmir.

İTÜ,Yüksek Lisans Tezi, Hasar Gören Yapı Elamanlarının Polimer Enjeksiyonu Yöntemi ile Onarımı

Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA), Seismic Retrofitting Design and Constr. Guidelines for Existing R.C. Buildings with FRP Materials, September 1999 (in Japanese)

Japanese Government, Guidelines for Post Earthquake Damage Inspection and Restoration Techniques of Reinforced Concrete Buildings

Labossire, P; Neale, K; Rochette, P, and others, Fibre reinforced polymer strengthening of the Sainte-marie-de-l'energie bridge; design, instrumentation, and field testing,

Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 916-927

Lee, C; Bonacci, J; Thomas, M, and others, Accelerated corrosion and repair of reinforced concrete columns using carbon fiber reinforced polymer sheets, Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 941-948

Myers, J. J., Murthy, S., Micelli, F., Effect of Combined environmental cycles on the bond of FRP sheets to concrete., Proceedings-Composites In Construction, 2001 International Conference, Porto, Portugal, October 10-12, 2001.

Nanni, A., Alkhrdaji, Chan, G., Bosko, M., Xinhao, Y., and Mayo, R., Overview of testing to failure Program of a Highway Bridge Strengthened with FRP composites, Selected proc., 4 th Int. Symp on PRP for Reinforcement of Concr Str. (FRPRCS4), Baltimore, MP, Nov, 1999, pp. 67-80

P. Gülkan, Quantification of Seismic Damage and Structural Intervention, Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering., Feb 1998, Istanbul

Prof.Dr.Halit DEMİR, Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul,1992.

Proto, A., Nanni, Manfredi, G., and Cosenza, E., Selective Upgrade of Beam-Column Joints with Composites., Proceedings of the Int. Conf. on FRP Composites in Civil Eng., Dec. 2001, Hong Kong.

Shehata, Emile; Morphy, Ryan; Rizkalla, Sami, Fibre reinforced polymer shear reinforcement for concrete members; behavior and design guidelines, Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 859-872

Soudki, Khaled; Sherwood, Ted, Behavior of reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber reinforced polymer laminates subjected to corrosion damage, Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 1005-1010

UNDP/UNIDO, Repair and Strengthening of Reinforced Concrete. Stone and Brick-Masonry Buildings, 1983

Yang, X., A. Nanni, and G. Chan, Effect of Corner radius on Performance of Externally Bonded FRP Reinforcement, Non-Metallic Reinf.for Concrete Structures-FRP RCS-5, Cambridge, July 16-18, 2001, pp. 197-204

Yong, X., and A. Nanni, Concrete Beams strengthened with misaligned CFRP laminates, Non-Metallic Reinforcement for Concrete Structures-FRPRCS-5, Cambridge, July 16-18, 2001, pp. 79-85



EKLER



EK-1
ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı : Nihat ÇETİNKAYA

Ana adı : Ümmü

Baba adı : Emin

Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi : ODTÜ, Müh. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, 1984.

Çalıştığı yer : Pamukkale Üniversitesi, Yapı İşl.ve Teknik Daire Başkanlığı, Denizli.

Bildiği yabancı dil, aldığı belgeler : İngilizce, KPDS.



EK-2

FRP İLE O/G HESAP YÖNTEMLERİ**1.Giriş**

FRP malzemelerle onarım ve güçlendirme hesap yöntemleri, mukavemet denklemleri ve deneysel çalışma sonuçlarına göre yapılabilmektedir. Malzemenin orijinal elastik özellikleri ve rijitliği analizlerde aynen kullanılabilir.

1.1. Kolon Kesme Dayanımı İyileştirmesi

Kolonların kesme mukavemeti FRP malzemenin lifleri kolon aksına dik yönde sarılması ile artırılabilir. Dikdörtgen kolonların köşeleri güçlendirmeden önce en az 20 mm yarıçapında ovalleştirilmelidir.

FRP malzeme ile sağlanan kesme mukavemeti iyileştirmesi, V_j , aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_j = 2,86 \cdot f_j \cdot t_j \cdot H \quad \text{-Dikdörtgen kolonlar için}$$

$$V_j = 2,25 \cdot f_j \cdot T_j \cdot D \quad \text{-Dairesel kolonlar için}$$

T_j =FRP malzeme kalınlığı

V_j =FRP malzemenin sağladığı kesme mukavemeti artışı

f_j =FRP malzemenin hesap emniyet gerilmesi ($\leq 0,75 f_{uj}$)

f_{uj} =FRP malzemenin çekme mukavemeti

H =Dikdörtgen kolon eni

D =Dairesel kolon çapı

FRP ile sargı tüm kolon yüksekliği boyunca olmalıdır.

1.2. Kolon Sünekliğini İyileştirme

Kolon kenarlarının oranı 1,5'den az olduğu durumlar da FRP malzemeyi kolon eksenine dik yönde sarma ile kolonun sünekliği artırılabilir. Dikdörtgen kolonların köşeleri en az 20 mm yarıçapında ovalleştirilmelidir.

En büyük beton basınç birim şekil değiştirmesi ϵ_{cu} aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Dikdörtgen Kolonlar:

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,25 \cdot \rho_s \cdot f_{uj} \cdot \epsilon_{uj}}{f_{cc}^l}$$

$$\rho_s = 2t_f \frac{b+h}{bh}$$

Dairesel Kolonlar:

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{2,5 \rho_s f_{uj} \cdot \epsilon_{uj}}{f_{cc}}$$

$$\rho_s = \frac{4t_f}{D}$$

ϵ_{uj} = FRP malzemenin kopma birim şekil değiştirmesi

f_{cc}^l = Sargılı beton dayanımı

ρ_s = Sargılama oranı

b,h= Kolon ebatları

D= Dairesel kolon çapı

Kolon muhtemel plastik mafsallık bölgesi tamamen sarılmalıdır.

1.3. Kiriş Kesme Dayanımı İyileştirmesi

FRP malzemeler kiriş eksenine dik yönde sarılarak kirişin kesme mukavemeti artırılabilir. Kesit köşeleri en az 20 mm yarıçapında yuvarlatılmalıdır.

$$V_{sj} = 2 \cdot f_j \cdot D \cdot t_j$$

V_{sj} =FRP malzeme tarafından sağlanan kesme mukavemeti iyileştirmesi.

F_j =FRP malzemenin çekme gerilmesi

D =Kiriş derinliği

1.4. Kiriş / Döşeme Eğilme Momenti Taşıma Gücü İyileştirmesi:

Kesit analizleri normal kompozit kesit teorisine göre, beton, donatı ve FRP malzeme, şekil değiştirme bağıntılarına göre yapılabilir.

FRP malzeme ile güçlendirilen elemanın taşıma gücü orijinal elemanın taşıma gücünün 1,5 katından fazla olmamalıdır.

$$A_j = M_j / f_j \cdot jd$$

A_j = FRP malzeme alanı (FRP eni X katman sayısı X FRP malzeme kalınlığı)

F_j = FRP çekme gerilmesi

jd =Kesit moment kolu