

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETON YAPI ELEMANLARININ CAM ELYAF  
SARMA YÖNTEMİYLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tuba UYGUN**

**Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK**

**Haziran 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**BETON YAPI ELEMANLARININ CAM ELYAF  
SARMA YÖNTEMİYLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**Tuba UYGUN**

**Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ**

Bu tez 17/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
**Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ**  
**Jüri Başkanı**

  
**Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK**  
**Üye**

  
**Yar. Doç. Dr. Ömer ÖZKAN**  
**Üye**

## ÖNSÖZ

Son yıllarda hasarlı yapıların güçlendirilmesi oldukça önem kazanmıştır. Betonarme yapılarda, projesinde veya yapımında hata oluşumu, yapıda kullanılan malzemelerin zaman içinde işlevini kaybetmesi, depremin yapıdaki etkisini azaltmak, yapıların kullanım amaçlarının değiştirilmesi gibi sebeplerden dolayı güçlendirme ihtiyacı duyar. Bu konuyla ilgili birçok güçlendirme yöntemi vardır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan yöntemlere ilave olarak elyaf sarma yöntemi geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında cam elyaf sarma yöntemiyle sargılanan üç farklı sınıftaki beton numunelerinin basınç dayanımına etkileri ve cam elyaf-epoksi malzemelerinin davranışları araştırılmıştır.

Bu çalışmada başta tez çalışmamı yönlendiren Sayın Doç.Dr. Mehmet SARIBIYIK' a teşekkürlerimi sunarım. Cam lif dokuma ve epoksi reçineyi sağlayan Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'e, beton numunelerin malzeme temini ve çalışma ortamını sağlayan Akar Hazır Beton'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneysel çalışmalarda yardımcı olan Kalite Kontrol Müdürü Duran MERCAN' a ve manevi desteklerinden dolayı İstanbul İl Özel İdaresi İmar Yatırım Daire Başkanı Ertuğrul GÜNDÜZ ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan çok değerli aileme şükranlarımı sunarım.

Tuba UYGUN

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BETONARME ELEMANLARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ.....	3
2.1. Onarım ve Güçlendirme.....	4
2.1.1. Onarım ve güçlendirme ilkeleri.....	4
2.1.2. Onarım ve güçlendirme esasları.....	7
2.1.3. Onarım ve güçlendirme düzeyinin seçilmesi.....	8
2.2. Betonarme Binalarda Güçlendirme Kararının Verilmesi ve Minimum Koşulları.....	11
2.3. Betonarme Yapılardaki Hasar Türleri.....	13
2.3.1. Taşıyıcı olmayan elemanlardaki çatlaklar-duvar çatlakları	14
2.3.2. Taşıyıcı elemanlardaki çatlaklar-hasarlar.....	20
2.4. Betonarme Yapılardaki Deprem Hasar Düzeyleri.....	27
BÖLÜM 3.	
ONARIMVE GÜÇLENDİRMEDE KULLANILAN MALZEMELER.....	29
3.1. Uygun Onarım Malzemelerinin Seçiminde Aranılan Özellikler.....	29
3.2. Yerinde Döküm Normal Beton .....	30
3.3. Büzülmesi Telafi Edilen-Genleşen Çimento.....	31
3.4. Polimerli Beton.....	31
3.5. Reçine Betonları .....	31
3.6. Püskürtme Beton.....	32
3.7. Reçineler.....	33
3.8. Harçlar.....	34
BÖLÜM 4.	
BETONARME YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ-YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	35
4.1. Sistem Bazında Güçlendirme.....	35
4.2. Eleman Bazında Güçlendirme.....	37

BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	47
5.1. Deney Elemanları ve Özellikleri.....	47
5.1.1. Beton.....	47
5.1.2. Cam elyaf.....	54
5.2. Deneysel Çalışma.....	63
5.2.1. Deneyde kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	63
5.2.2. Beton numunelerin hazırlanması.....	67
5.2.3. Cam elyaf yapıştırma işlemleri.....	73
5.2.4. Beton numunelere basınç deneyi uygulaması.....	76
5.2.5. Deney sonuçları.....	77
5.2.5. Deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	98
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	109
KAYNAKLAR.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	116

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C-1	: 1. grup beton numuneleri
C-2	: 2. grup beton numuneleri
C-3	: 3. grup beton numuneleri
Ş.N.	: Şahit numune
1D	: 1 kat düz GFRP sargılı numune
2D	: 2 kat düz GFRP sargılı numune
1D+1E	: 1 kat düz + 1 kat eğimli yönde GFRP sargılı numune
1D+2E	: 1 kat düz + 2 kat farklı yönlerde eğimli yönde GFRP sargılı numune
LP	: Lifli polimerle sargılı
CFRP	: Karbon elyaf
GFRP	: Cam elyaf
TOC	: Organik karbon
CaO	: Kalsiyummonoksit
SiO <sub>2</sub>	: Silicondioksit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Demiroksit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Aliminyumoksit
S	: Kıvam sınıfı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Dolgu duvarda elektrik tesisatı borusu üzerindeki sıva çatlağı.....	14
Şekil 2.2.	Dolgu duvar, çerçeve arasında sıva çatlağı.....	14
Şekil 2.3.	Dolgu duvar, çerçeve arasında sıva çatlağı.....	15
Şekil 2.4.	Dolgu duvarda sıva ve duvar hasarı başlangıcı.....	15
Şekil 2.5.	Dolgu duvarda ileri düzeyde hasar.....	15
Şekil 2.6.	Yüksek dolgu duvarda üst sıraların devrilmesi.....	15
Şekil 2.7.	Pencere boşluğu olan dolgu duvarda hasar.....	16
Şekil 2.8.	Boşluklu dolgu duvarda değişik hasar.....	16
Şekil 2.9.	Çerçeve tarafından tam olarak sınırlanmamış duvarın yana kayması.....	17
Şekil 2.10.	Betonarme çerçeve tarafından sınırlanmamış duvarlarda hasar.....	17
Şekil 2.11.	Betonarme yapılarda oturma hasarlarının dolgu duvarlarda oluşturduğu çatlakları.....	18
Şekil 2.12.	Konsol çıkmalarda aşırı uç sehinden dolayı oluşan çatlaklar.....	19
Şekil 2.13.	Kolon uçlarında oluşan mafsallaşma noktası.....	20
Şekil 2.14.	Kolonda olan değişiklikler.....	20
Şekil 2.15.	Kolonda oluşan basınç çatlakları.....	21
Şekil 2.16.	Kolonda oluşan burulma çatlakları.....	21
Şekil 2.17.	Kısa kolon çatlakları.....	22
Şekil 2.18.	Kolon oturması çatlakları.....	22
Şekil 2.19.	a-b Kolon-kiriş bağlantı çatlakları.....	23
Şekil 2.20.	Akma bölgesi.....	23
Şekil 2.21.	Kiriş mesnetlerinde oluşan eğik kayma çatlakları.....	24
Şekil 2.22.	Betonarme perdelerdeki kesme çatlakları.....	24
Şekil 2.23.	Çok katlı Perdelerde görülen çatlaklar.....	25
Şekil 2.24.	Burulma etkisiyle oluşan çatlaklar.....	25
Şekil 4.1.	Çelik çaprazlarla güçlendirme.....	36
Şekil 4.2.	Mantolanmış kiriş.....	38

Şekil 4.3.	Mantolanmış kolon.....	38
Şekil 4.4.	Çelik levha ile güçlendirilmiş kolon ve kiriş.....	40
Şekil 4.5.	Kirişlerin LP sargı ile güçlendirilmesi.....	42
Şekil 4.6.	Kolonların LP sargı ile güçlendirilmesi.....	42
Şekil 4.7.	Doldu duvarların LP sargı ile güçlendirilmesi.....	43
Şekil 5.1.	Betonu oluşturan malzemelerin hacimsel dağılımı.....	47
Şekil 5.2.	Cam elyaf ham maddelerinin yüksek sıcaklıkta sıvı hale geçmesi....	55
Şekil 5.3.	Cam liflerin bobinlere sarılması işlemi.....	55
Şekil 5.4.	Cam liflerin bobinlere sarıldıktan sonraki işlemleri.....	56
Şekil 5.5.	Direk sarma fitil – Bileşik fitil.....	58
Şekil 5.6.	Cam elyafı iplik.....	59
Şekil 5.7.	Dokunmuş fitiller.....	59
Şekil 5.8.	Dokunmuş cam kumaş.....	60
Şekil 5.9.	Dikilmiş kumaşlar.....	60
Şekil 5.10.	Tek yönlü fitil kumaş çeşitleri (1- İkili açılı 2- Üç açılı 3- Dört açılı 4- İkili açılı ve keçe).....	61
Şekil 5.11.	Devamlı demetli keçe.....	61
Şekil 5.12.	Kırılmış demetten keçeler.....	62
Şekil 5.13.	Kırılmış demetler.....	62
Şekil 5.14.	Öğütülmüş lifler.....	62
Şekil 5.15.	Deneyde kullanılan agregalar.....	63
Şekil 5.16.	Cam elyaf.....	66
Şekil 5.17.	Epoksi.....	66
Şekil 5.18.	Granülometri eğrisi.....	68
Şekil 5.19.	Numune kalıplarının hazırlanması.....	69
Şekil 5.20.	Mikserde karıştırılan beton.....	70
Şekil 5.21.	Beton sıcaklığının tespiti.....	70
Şekil 5.22.	Slump deneyi.....	71
Şekil 5.23.	Vibrasyon işlemine tutulan numuneler.....	71
Şekil 5.24.	24 saat laboratuvar ortamında bekletilen numuneler.....	72
Şekil 5.25.	Cam elyafın hazırlanışı.....	72
Şekil 5.26.	Sikadur 330 A-B bileşenlerinin karışıma başlamadan önceki hali....	73
Şekil 5.27.	Spiral uçlu elektrik matkapla iki bileşenin karıştırılması.....	73



Şekil 5.28.	Silindir numunelerin etrafındaki mevcut boşlukların epoksi harç ile kapatılması.....	74
Şekil 5.29.	a-b 1D- 2D uygulaması.....	74
Şekil 5.29.	c-d 1D+1E – 1D+2E uygulaması.....	74
Şekil 5.30.	Silindir numunelerin etrafındaki olası hava kabarcıkların rulo ile alınması.....	75
Şekil 5.31.	Çimento başlık üzerine cam plaka uygulaması.....	76
Şekil 5.32.	Çimento başlıkların priz almaları için bekletilmesi.....	76
Şekil 5.33.	Basınç deneyine tabi tutulan numune örnekleri.....	77
Şekil 5.34.	C1 Şahit numuneler için yük- zaman grafiği.....	78
Şekil 5.35.	Şahit numunenin deney sonucunda kırılmış hali.....	78
Şekil 5.36.	C1-1D Numunelerinin yük-zaman grafiği.....	79
Şekil 5.37.	C1-1Dkodlu deney numunelerinin deney sonucundaki kırılmış hali.....	79
Şekil 5.38.	C1-2D numunelerinin yük- zaman grafiği.....	80
Şekil 5.39.	C1-2D kodlu deney numunelerinin deney sonucunda kırılmış hali.....	81
Şekil 5.40.	C1-1D+1E numunelerinin yük- zaman grafiği.....	82
Şekil 5.41.	C1-1D+1E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	82
Şekil 5.42.	C1-1D+2E numunelerinin yük- zaman grafiği.....	83
Şekil 5.43.	C1-1D+2E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	84
Şekil 5.44.	C2-Şahit numunelerinin yük- zaman grafiği.....	85
Şekil 5.45.	C2-Ş.N kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	85
Şekil 5.46.	C2-1D numunelerinin yük- zaman grafiği.....	86
Şekil 5.47.	C2-1D kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	86
Şekil 5.48.	C2-2D numunelerinin yük- zaman grafiği.....	87
Şekil 5.49.	C2-2D kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	88
Şekil 5.50.	C2-1D+1E numunelerinin yük- zaman grafiği.....	89
Şekil 5.51.	C2-1D+1E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	89

Şekil 5.52.	C1-1D+2E numunelerinin yük- zaman grafiği.....	90
Şekil 5.53.	C2-1D+2E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	91
Şekil 5.54.	Şahit numunelerinin yük- zaman grafiği.....	92
Şekil 5.55.	C3-Ş.N kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	92
Şekil 5.56.	C3-1D numunelerinin yük- zaman grafiği.....	93
Şekil 5.57.	C3-1D kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	93
Şekil 5.58.	C3-2D numunelerinin yük- zaman grafiği.....	94
Şekil 5.59.	C1-2D kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	95
Şekil 5.60.	C3-1D+1E numunelerinin yük- zaman grafiği.....	96
Şekil 5.61.	C3-1D+1E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	96
Şekil 5.62.	C3-1D+2E numunelerinin yük- zaman grafiği.....	97
Şekil 5.63.	C3-1D+2E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali.....	98
Şekil 5.64.	C1 deney numunelerinin ağırlıklarının karşılaştırılması.....	98
Şekil 5.65.	C1 deney numunelerinin mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	99
Şekil 5.66.	C1 deney numunelerinin mukavemet yüzdelerinin karşılaştırılması	100
Şekil 5.67.	C2 deney numunelerinin ağırlıklarının karşılaştırılması.....	102
Şekil 5.68.	C2 deney numunelerinin mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	103
Şekil 5.69.	C2 deney numunelerinin mukavemet yüzdelerinin karşılaştırılması	104
Şekil 5.70.	C3 deney numunelerin ortalama ağırlıklarının karşılaştırılması.....	105
Şekil 5.71.	C3 deney numunelerinin mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	106
Şekil 5.72.	C3 deney numunelerinin mukavemet yüzdelerinin karşılaştırılması	107
Şekil 5.73.	C1-C2-C3 deney elemanlarının ortalama kırılma süreleri.....	108

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1.	Beton basınç dayanımları.....	53
Tablo 5.2.	Beton kıvam sınıfları.....	54
Tablo 5.3.	Cam elyafların mekanik özellikleri ve katkı madde yüzdeleri.....	56
Tablo 5.4.	Çimento özellikleri.....	64
Tablo 5.5.	Suyun özellikleri.....	65
Tablo 5.6.	Katkı malzemesinin özellikleri.....	65
Tablo 5.7.	GFRP özellikleri.....	66
Tablo 5.8.	Epoksi özellikleri.....	67
Tablo 5.9.	Beton karışım hesabı.....	67
Tablo 5.10.	Numune kodları.....	68
Tablo 5.11.	1. grup şahit numune sonuçları.....	77
Tablo 5.12.	C1-1D sonuçları.....	79
Tablo 5.13.	C1-2D sonuçları.....	80
Tablo 5.14.	C1-1D+1E sonuçları.....	81
Tablo 5.15.	C1-1D+2E sonuçları.....	83
Tablo 5.16.	C1-1D+2E numunelerin çapında meydana gelen genişleme miktarları.....	84
Tablo 5.17.	C2-Ş.N sonuçları.....	84
Tablo 5.18.	C2-1D sonuçları.....	86
Tablo 5.19.	C2-2D sonuçları.....	87
Tablo 5.20.	C2-1D+1E sonuçları.....	88
Tablo 5.21.	C2-1D+2E sonuçları.....	90
Tablo 5.22.	C2-1D+2E basınç deneyi sonucunda numunelerde meydana gelen genişleme miktarları.....	90
Tablo 5.23.	C3-Ş.N sonuçları.....	91
Tablo 5.24.	C3-1D sonuçları.....	93
Tablo 5.25.	C3-2D sonuçları.....	94

Tablo 5.26.	C3-1D+1E sonuçları.....	95
Tablo 5.27.	C3-1D+2E sonuçları.....	97
Tablo 5.28.	C3-1D+2E basınç deneyi sonucunda numunelerde meydana gelen genişleme miktarları.....	97
Tablo 5.29.	1. grup sargılı ve sargısız numunelerdeki deformasyonlar.....	101
Tablo 5.30.	2. grup sargılı ve sargısız numunelerdeki deformasyonlar.....	104
Tablo 5.31.	3. grup sargılı ve sargısız numunelerdeki deformasyonlar.....	107

## ÖZET

Anahtar Sözcükler: Güçlendirme, güçlendirmede kullanılan malzemeler, beton, cam elyaf, beton basınç dayanımı

Güçlendirme yöntemlerinden biri olan elyaf sarma yöntemi uygulama kolaylığı ile hızlı bir yöntemdir. Güçlendirilen elemanın boyutlarında büyük bir değişiklik olmaması, kalıp, beton, çelik yapım ve sökümü gibi gereklerinin olmaması, malzemenin alkali dayanımının olması, korozyona karşı dayanıklı olması, bakım masrafının düşük olması tercih sebeplerindedir. Bu yöntemde en sık tercih edilen karbon elyafıdır. Fakat karbon elyafın maliyeti oldukça yüksektir. Bu çalışmada karbon elyafa alternatif maliyeti daha uygun ve yine dayanımı oldukça iyi olan cam elyaf tercih edilmiştir.

Bu çalışmada üç farklı sınıfta toplamda 60 adet 150x300 mm boyutlu silindir numuneleri üretilmiştir. Numuneler tek kat, çift kat, tek kat + tek kat 45° eğimli ve tek kat + farklı yönlerde 2 kat 45° eğimli olacak şekilde cam elyaf ile sarılmıştır. Tüm numuneler 28.gününde basınç deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar dahilinde şahit numunelerin ortalama basınç dayanımları ile farklı şekillerde sarılı numunelerin ortalama basınç dayanımları karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Tüm numunelerin ortalama yük zaman değerleri, test sırasında FRP malzemenin davranışı incelenmiştir.

Sonuç olarak sarılarak güçlendirilen numunelerin basınç dayanımları artmıştır. Sarım şekline bağlı olarak numunelerin şahit numunelere oranla performans yüzdeleri ve yüzey deformasyonları farklı şekillerde oluşmuştur. Sargılı numunelerin kırım süreleri şahit numuneye göre daha uzun sürede gerçekleşmiştir.

# **GLASS FIBRE CONCRETE BUILDING ELEMENTS WRAPPED WITH THE STRENGTHENING**

## **SUMMARY**

Key Words: Empowerment, used to strengthen materials, concrete, fiberglass, concrete compressive strength

One method for strengthening the filament winding method is a method for fast easy application. Strengthened staff size of a big change is not the mold, concrete, steel, construction and dismantling of such requirements is not, the material alkali resistance to the corrosion resistant, maintenance costs low profile because of the. This method is most often the preferred carbon fibers. But the cost of carbon fiber is very high. In this study, carbon fiber and still more convenient alternative to the cost of resistance is quite good for the glass fiber is preferred.

In this study, a total of 60 pieces of three different classes of 150x300 mm size cylindrical samples were produced. Samples with a single layer, dual-layer, single-floor + one floor and one floor + 45 ° inclined 45 ° slope in different directions to be two floors were covered with fiberglass. 28.gününde all samples subjected to compression test. The results obtained within the mean compressive strength of specimens with witnesses in different ways, wrapped in a comparative strengths of the samples are presented as mean pressure. When the average load values of all samples, were examined during the test the behavior of FRP materials.

As a result, the compressive strength of specimens reinforced by hug increased. Winding depends on the performance as compared to the percentage of witness samples and samples of surface deformation in different shapes were formed. Wrapped sample period witnessed the carnage took place in the long run compared to the sample.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Zamana ve dış etkenlere bağı olarak mukavemetini kaybeden yapı sistemlerinin veya yapı elemanlarının performanslarını iyileştirmek amacıyla yapılan müdahalelere güçlendirme denir. Yapısal olarak güçlendirmenin tarihi betonarme yapıların yapım tarihi kadar eskiye dayanmaktadır.

Ülkemizde birçok yapı betonarmeden oluşmaktadır. Deprem yönetmeliğine uymayan veya deprem sonrasında hasar gören birçok yapı bulunmaktadır. Bir yapıya güçlendirme yapmadan önce; ilk olarak hasar tespit raporu yapılır. Hasar tespit raporunun sonucuna bağı olarak yapının onarım ve güçlendirmeye elverişli olması durumunda yapının rehabilitasyonuna gidilir.

Güçlendirme projesinin hazırlanıp, uygulanması bilgi ve tecrübe gerektirmektedir. Aksi takdirde mevcut yapıdaki riskler azalacağı yerde artabilir ve gereksiz yere maddi zarar oluşarak milli gelir heba edilmiş olur.

Yapıların güçlendirilmesinde birçok yöntem olmasına rağmen bu yöntemlerin uygulanmasında üç tip malzeme kullanılmaktadır. Bunlar; beton, çelik ve FRP malzemelerdir. Her malzemenin kendine göre avantaj ve dezavantajı bulunmaktadır. Malzemeler içinde en sık kullanılanları beton ve çeliktir. Beton ve çeliğin tercih edilmesinin en önemli sebebi malzeme bedellerinin düşük olmasıdır. Fakat beton; birim ağırlığı yüksek ve sünek olmayan bir yapı malzemesidir. Hava şartlandırılan olumsuz etkilenen çelik ise ucuz bir malzeme olmasına rağmen montaj ve daha sonraki bakım maliyeti oldukça yüksektir.

Günümüz teknolojisinin gelişmesiyle FRP malzemeler onarım ve güçlendirmede kullanılmaya başlanmıştır. FRP malzemelerin hava şartlarına karşı dayanıklı olması, uygulama kolaylığı, düşük bakım masrafı, yüksek çekme dayanımı ve

dayanım/ağırlık oranının iyi olması gibi etkenler tercih sebeplerindedir. En çok kullanılan FRP malzemeler; karbon, aramid ve cam elyafıdır.

Elyaf sarma yöntemi uygulama esasları bulunmaktadır. İlk olarak uygulama yüzeyi düzgün olmalıdır. Yüzeyde herhangi bir pürüz veya bozukluk varsa yüzey ıslak kumlama ya da başka sistemle kumlanmalı ve özel tamir harçları ile tamir edilmelidir. Yüzeyde bulunan kir, pas vb atıklar yüzeyden temizlenmelidir. Epoksi astar yüzeye fırça ile uygulandıktan sonra bir sonraki katman için belli bir süre bekletilir. Mevcut durumda boşluklar varsa epoksi harcı ile doldurulur. Daha sonra yapıştırma düzgün yüzeye sürülür. Epoksinin kalınlığı 1-1,5 mm arasında olmalıdır. Son olarak elyaf, uygun bir rulo kullanarak sabit bir basınçla malzemeyi fiber yönünde gererek ve yüzeye oturması sağlanır.

Bu tez çalışmasının üç farklı sınıfta üretilen beton elemanlarının cam elyaf ile sarılarak güçlendirilmesini konu alan deney sonuçlarını sunmaktadır ve çalışmada elemanların basınç altında dayanım ve davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı beton sınıflarından yirmişer adet silindir numune laboratuvar ortamında üretilip, 21. gününde epoksi harcı ile cam elyaf takviyeli kompozit farklı katlar ile sarılıp 28. gününde basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur. Bu numunelerin;

- 4 adet şahit numune
- 4 adet tek kat düz cam elyaf ile sarılmış
- 4 adet çift kat düz cam elyaf ile sarılmış
- 4 adet tek kat düz ve tek kat 45° eğimli sarılmış
- 4 adet tek kat düz ve çift kat farklı yönlerde 45° eğimli sarılmış

Elde edilen sonuçlara göre, şahit numuneler ile GFRP sarılı numuneler arasındaki;

- Çatlak oluşumunda GFRP-epoksi harcın gösterdiği davranış
- Numune ağırlıkları
- Basınç dayanımları
- Yük-zaman değerleri incelenmiştir.



## **BÖLÜM 2. BETONARME ELEMANLARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRMESİ**

Yapılar söz konusu olduğunda; inşa edilişlerinde, kendilerinde değişiklik yapılmasında, inşaattan sonraki devam ettiriliş, kullanım ve bakımlarında, toplumun ve fertlerin güvenliklerinin ve sağlıklarının tehlikeye girmemesi, duruma göre içlerindeki malların da riske girmemesi esas alınır. Çeşitli ülkelerde bunlarla ilgili yönetmelikler ve standartlar yürürlüğe konulmuştur.

Bütün bunlara rağmen uygulama da yapıların hasara uğradıklarına çok rastlanır. Esasen deprem için projelendirmede hiç hasar olmaması şart koşulmaz [3]. Deprem için yapılan projelendirmede yapıda hiç hasar olmaması koşulu, nükleer santraller gibi çok özel yapılar dışında, ekonomik nedenlerle aranmaz. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelikte ön görüldüğü gibi depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabılır düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir [4].

Buna göre; yapıyı korumak ve hasarlı bölgelerini tamir ederek kullanılabilir duruma getirmek gerekir. Bu bölümde;

- Onarım ve güçlendirme arasındaki fark
- Onarım ve güçlendirme ilkeleri
- Onarım ve güçlendirme esasları
- Betonarme binalarda güçlendirme kararının verilmesi ve minimum koşulları incelenecektir.

## 2.1. Onarım ve Güçlendirme

Onarım; görünüş veya kullanım bakımından hasar görmüş bir yapıda veya onun birkaç elemanında önceki haline getirmek için yapılan çalışma ve değişikliktir. Bu önceki haline getiriş onun görünüşü ve kullanımı (yük taşıma kapasitesi, rijitliği, duktilitesi ve dayanıklılığı dahil) bakımlarından olabilir [4].

Güçlendirme; bir yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, duktilitesini ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını önceki veya mevcut durumunun üzerine çıkarmak amacı ile yapılan değişikliklerdir [4].

Onarımda amaç önceki durumu (kullanım bakımından olduğu gibi, mekanik anlamda da olabilir) geri getirmektir. Güçlendirmede ise amaç, mukavemet gibi mekanik anlamda karakteristik özelliklerini önceki düzeyin üstüne çıkarmaktır. Onarım hasar görmüş bir yapıda yapılırken, güçlendirme için yapının hasar görmüş olması gerekmez. Hasar görmemiş bir yapının da takviyesi söz konusu olabilir.

### 2.1.1 Onarım ve güçlendirme ilkeleri

Onarım ve güçlendirme ilkeleri hasarın nedeni ile bağlantılıdır. Amaç, alınacak önlemin belirlenmesidir. Hemen hemen her durumda kullanılacak ortak önlemler bulunmaktadır. Termoplastiklerin molekülleri birbirlerine zayıf olan Van der Waals bağları ile bağlıdır. Bu önlemler depreme dayanıklı yapı ile de bağlantılıdır.

a) Yapının ağırlığı azaltılmalıdır:

Anadol ve Diğerleri; Herhangi bir yapı elemanı yükünü taşıırken çatlamış ise yükü gerektiğinden fazla demektir. Bu durumda yük azaltılırsa çatlama duracağından hasar etkisi ortadan kalkacaktır. Depremde yapıya gelen kuvvet yapının ağırlığı ile orantılı olduğu için yapının ağırlığında yapılacak bir azaltma aynı oranda yapıya gelebilecek deprem kuvvetinin de azalmasını sağlayacaktır. Yapıyı hafifletmek için tuğla bölme duvarların yerine daha hafif alçı, gazbeton ya da ahşap panolu bölme duvarlar

yapılabilir. Yapı üst katlarından bir ya da birkaçı yıkılabilir. Yapıda yalıtım için konulmuş ağır malzemeler daha hafifleri ile değiştirilebilir.

Yapıdaki dış sıvalar ve ağır kaplamalar kaldırılabilir. Yapıyı hafifletme olanağı her zaman olmayabilir. Ancak bu olanaktan yararlanma yolları aranmalıdır. Merdivenlerden taşıyıcı sisteme gelen yükleri azaltmak için merdivenlerin yüklerini doğrudan zemine aktaran düzenlemeler yapılabilir.

b) Yapının sünekliğinin artırılması:

Bayülke; Süneklik yapının enerji tüketme gücüdür. Betonarme yapılar rijit kolon-kiriş biresimlerinin çatlayıp hasar görerek mafsallı birleşim yerine dönüşmesi ile depremin enerjisini tüketirler. Mafsallaşan ek yerinin yük taşıma gücünde önemli bir kayıp olmamalıdır. Yapıların deprem sonrası onarımlarında çoğunlukla kesitlerin genişletilmesi, çerçeve boşluklarına perde duvar konulması gibi önlemler kullanılmaktadır. Bunlar ise genellikle yapının dayanımını artıran fakat sünekliği artırmayan uygulamalardır. Rijitliği yüksek elemanların sünekliği azdır. Ayrıca mantolama biçimindeki güçlendirmelerde çok miktarda donatı kullanılacağından süneklik yine azalacaktır. Donatı oranı yükseldikçe süneklik azalmaktadır. Yapılan onarım ve güçlendirme de sünekliğin ne yönde değiştiğini belirlemek kolay değildir. Genellikle onarım ve güçlendirme yapının sünekliğini azaltmaktadır.

c) Yapının taşıma gücü artırılmalıdır:

Yapıda oluşan hasar gelen kuvvetlere karşı dayanımın az olmasının sonucudur. Gelen kuvvetlere karşı yeterli dayanımın sağlanması ile hasar durdurulacak ya da bir daha olmayacaktır. Bunun gerçekleşmesi için yapının gelen ya da gelebilecek yüklere karşı dayanımın, eğer yetersiz ise, artırılması gerekir.

Deprem hasarına karşı yapının özellikle yatay kuvvet taşıma gücü artırılmalıdır. Çünkü yapı hasar gördüğü depremin sonunda, deprem öncesindeki yetersiz olduğu bu depremde kanıtlanmış olan eski taşıma gücünden bile, daha az olan bir taşıma

gücündedir. Özellikle bu durum yatay kuvvetlere karşı dayanım için geçerlidir. Bu arada yapının düşey yükleri değişmemiştir. Ancak yatay yüklerin etkisi ile olan hasar yapının düşey yük taşımadaki güvenliğini de azaltmıştır. Özellikle kalıcı yatay ötelemelerin oluşturduğu ikinci mertebe momentler ve çatlayıp zayıflamış olan kolon ve kiriş en kesitleri dolayısı ile yapı güvenliği azalmaktadır. Yapı hasar altında düşey yüklerini düşük bir güvenlik payı ile taşımaktadır. Kuvvetli bir artçı depremde yıkılabilir. Yapının onarımının ilk aşaması zayıflamış düşey yük taşıma kapasitesinin artırılması, yapının askıya alınması ile, ikinci aşamada da yatay yüklere, deprem yüklerine, karşı olan dayanımın artırılması gerekir. Taşıma gücünün artırılması yapıya yatay ve düşey yükleri alacak yeni elemanlar eklenmesi, mevcut elemanların en kesitlerinin genişletilmesi ile yapılır. Genellikle yapılan onarım ve güçlendirme ile yapının daha büyük deprem yüklerine karşı elastik bölgede kalarak, hasar olmadan, karşı koymasını sağlamaktır [6].

d) Yapının dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi:

Yapıdaki hasar, asal 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 sağlanabilir. Bunun için zeminin dinamik özellikleri de belirlenmelidir. Daha sonra yapı periyodunun uzatılması ya da kısaltılması, yapının daha esnek ya da rijit bir konuma sokulmasıyla yapı periyodu zemin hakim periyodundan uzaklaşabilir.

Yapının yükü artırılırsa periyodu uzar, ancak aynı zamanda yapıya gelen deprem yükü artar ve yapının taşıma gücünün de artırılması gerekir. Yapının rijitliği artırılırsa periyodu kısalır. Yapıya yeni elemanlar eklenmesi ve kesitlerin genişletilmesi yapının hem rijitliğini hem de taşıma gücünü arttıracaktır.

Yapının sönüm oranının artırılması ve yapıdaki katlar arasında 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 ya da zemin katta yapılan perde duvarların üst katlarda kesilmiş olması gibi, yapının dinamik özelliklerini iyileştiren önlemlerdir [6].

e) Burulma etkisi azaltılmalıdır:

Birçok yapıda hasar yapının katlarındaki ağırlık ve rijitlik merkezlerinin birbirinden uzak olmasının ortaya çıkardığı burulma etkisi ile oluşmaktadır. Örneğin perde duvarların yapının bir yanında toplanmış olması burulma oluşturacağı gibi, taşıyıcı olmayan bölme duvarların katlarda dengeli bir biçimde yerleştirilmemiş olması da, yapının ağırlık ve rijitlik merkezleri arasında fark oluşturarak, yapıda burulma etkisi ortaya çıkarabilmektedir. Burulma sonucu yapının bazı elemanlarına gelen yatay kuvvetler, burulma etkisi oluşmayacağı varsayımına göre yapılan hesaplarla, elemanda sağlanan dayanımdan büyük olur ve hasar yapar. Onarım sırasında eklenen perde duvarların da bir burulma etkisi yaratabilecekleri göz önünde tutulmalı ve yerleştirilmeleri sırasında rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe olabildiğince az tutulmalıdır [6].

f) Yükleri taşıyacak yeni elemanlar yerleştirilmelidir:

Yapıda depremde gelen yatay, yükleri taşıyacak elemanlar yetersiz ise ya bu elemanların yatay yük taşıma güçleri arttırılır ya da yeni yük taşıyacak elemanlar yerleştirilir [5].

### **2.1.2. Onarım ve güçlendirme esasları**

Yapının tamamı göz önüne alınarak onarım ve güçlendirme işlemi yapılmalıdır. Aksi halde binaya yarar yerine zarar verilebilir.

a) Eleman rijitliğinde değişme:

Betonarme yapı elemanlarının güçlendirilmesi yapının eğilme rijitliğinde önemli artışlara neden olabilir. Böylece elemanlar arasındaki moment dağılımında değişikliğe neden olabilir. Güçlendirme işlemi yapılırken bu etkiler mutlaka göz önüne alınmalıdır.

b) Ankastrelik derecesinde değişme:

Onarım ve güçlendirme işlemleri hem yapı elemanlarının kendisinin hem de diğer elemanlarının sınır koşullarını değiştirebilir. Yapı istenmeyen zorlama artışlarıyla sorun yaşayabilir.

c) Yapı geometrisinde değişme:

Onarım ve güçlendirme yapı taşıyıcı sisteminin geometrisini değiştirebilir. Kirişlerin mevcut donatıları yeni durum için uygun olmalıdır aksi halde problem yaşanabilir.

d) Donatı yüzdesinin artması:

Kirişlerin eğilme için güçlendirilmesi ile çekme donatısının artırılması sonucu donatı yüzdeleri yönetmeliklerce yasaklanmıştır. Bu kontrollerin yapılması gerekmektedir [6].

### **2.1.3 Onarım ve güçlendirme düzeyinin seçimi**

Hasar gören bir yapı üzerinde bir muamele yapmak gerekli görülebilir. Fakat onarımın veya güçlendirmenin düzeyleri farklı olabilir. Yapıdaki hasarlar, yapının taşıyıcı olan veya taşıyıcı olmayan kısımlarında olabilir. Taşıyıcı elemanlardaki hasarlar, yapının mukavemeti ve stabilitesi açısından son derece önemlidir. Taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarlar ise yapının dayanımı açısından bir problem çıkarmaz. Fakat yapının içindekiler veya çevresindekiler için tehlikeli olabilecekleri gibi maddi zarara da sebep olabilir.

Yapıdaki hasara karar verebilmek için;

- Hasarın sebebi araştırılmalıdır.
- Binanın gerekli bilgileri doküman halinde toparlanmalıdır.
- Bina içinde kuvvet taşıma yörüngeleri belirlenmelidir.
- Yapıda bazı elemanlar hasar görmemiş olabilir. Bu durumda diğer elemanlar niçin zarar gördüğü açıklanmalıdır.

Buna sebep verebilecek bazı durumlar;

- Yapının mukavemet veya rijitlik süreksizlikleri dolayısı ile
- Yapıda oluşan burulma momentleri nedeni ile
- Bitişik yapılarla aralarındaki tokmaktama etkisi ile
- Uygun olmayan birleşim veya detayları sebebi ile olabilir.

Ayrıca elemanların kesme, basınç, çekme, eğilme, çubuk ankrajı ve benzeri sebeplerden dolayı olabilir. Bina yapımında kullanılan malzemelerden örnekler alınarak malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmelidir.

Taşıyıcı sistemdeki muhtemel zayıf halkaların bilinmesiyle, teknik eleman ileride olabilecek depremlerde davranışını iyileştirecek şekilde yapının onarım ve güçlendirilme projesini yapabilir.

Onarım ve güçlendirme projesinin hazırlanmasında;

- Planda düzensizlikler düzenli hale getirilmelidir.
- Kesme etkilerine maruz kalan elemanlar ile döşemeler arasındaki rijitlikteki ani değişikliklerden sakınarak sismik davranışı iyi bir taşıyıcı sistem ortaya çıkarılmalıdır.
- Takviyeler iyi değerlendirilmelidir ki; olabilecek bir depremde hasarın artması önlenmelidir.
- Deprem perdeleri eklenecekse yeni temeller gerekli olur. Bunun sebebi perdelerle etkiyen devirme momentlerini karşılamak ve güvenceye almak bakımındandır.

- Geçmişte yapılan çalışmalara göre; onarım ve güçlendirme yapının bir kısmına değil tamamına yapılmalıdır.
- Çözümün yapının fonksiyonel gereksinimleri ile uyuşmalıdır.
- Malzemelerin, inşaat ekipmanın ve özel eğitim görmüş personelin temin edilebilirliği ve çözümün gerçekleştirilebilirliğini de kapsamak üzere inşaatın çeşitli bakımlardan fizibilitesi, ekonomik düşünceleri, sosyal ve politik düşünceleri, estetiği incelenmelidir [2].

Binan ile ilgili gerekli bilgiler toplandıktan sonra güçlendirme düzeyi belirlenir. Binanın taşıyıcı sisteminin durumu, hasarı ve deprem hasarı incelenir. Bu incelemede her kattaki kolonların sayısı ve dizaynına iyice dikkat edilmez. Taşıyıcı sistemin depremde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı ölçütlerine göre orta hasar görmüş olması veya mevcut sistemde yüklerin iletilmesinde açıkça belirlenen önemli bir eksiklik (taşıyıcı sistem elemanların birinin kaldırılması) güçlendirme kararının verilmesi için yeterli olabilir. Ayrıca, beton kalitesi kabul edilebilir sınırın altındaysa bina güçlendirmeye ihtiyacı vardır. Aynı şekilde bina projesinde tasarlanandan fazla katlı yapılmış ise güçlendirilmesi gerekir.

Deprem yönetmeliği 1998’inde tanımlanan deprem kuvvetlerinin karşılanması ve bu yükler altında kesitlerin ve donatılarının yeterliliğinin kontrolü esnasında taşıyıcı sisteme duyulan güven oranında, öngörülen deprem yükleri en fazla %25 oranında azaltılarak, hesap edildiği geçerli yüklerden az olmamak koşulu ile hesaba katılır. Aksi takdirde deprem yüklerinin taşınmasında mevcut sistemde belirsizlikler varsa, mevcut taşıyıcı sistemin kapasitesi 0,85 katsayı ile azaltılabilir.

Taşıyıcı sistemin durumuna ve kabul edilebilecek süneklik düzeyine bağlı olarak yapılacak kontrollerde, kirişlerde mesnet ve açıklık kesitlerinin aralarında yardımlaşmaları ile aynı katta bulunan kolonların yardımlaşmaları (denge koşulu korunarak momentlerin kesitler veya elemanlar arasında aktarılması) hususları da göz önüne alınabilir. Bu kontrol sırasında taşıyıcı sistemin düzenlik durumu, beton kalitesi, beton kalitesi, kolon ve kirişlerdeki etriye durumu göz önüne alınarak, deprem yükü azaltma kat sayısı süneklik düzeyi normal ve yüksek olan sistemlere ait kat sayıları arasında seçilebilir. Süneklik düzeyi yüksek duruma karşı gelen davranış



kat sayısının seçilebilmesi için Deprem Yönetmeliği 1998'deki koşulların tamamen sağlanması gerekir. Güçlendirilen binaya ilişkin güçlendirme esasları ile ilgili bir değerlendirme raporu verilir.

Güçlendirme maliyetinin binanın yeniden yapılması bedelinin önemli bir oranını (örneğin %40) geçmesi durumunda, önemli güçlendirme gerektiren ve ekonomik ömrünün önemli bir kısmını tamamlamış (1970 yılından önce yapılmış binalar) olan ve herhangi bir tarihi değeri veya prestiji olmayan binalar ile Bayındırlık ve İskan Bakanlığı ölçütlerine göre ağır hasarlı sınıfına giren binalar için yıkım kararı verilebilir.

## **2.2. Betonarme Binalarda Güçlendirme Kararının Verilmesi ve Minimum Koşulları**

Güçlendirme, taşıyıcı sistemde ek perde öngörülmesi, kolonların mantolanması, kirişlerin ve temelın güçlendirilmesi olarak yapılabilir. Zemin seviyesinden itibaren üç veya daha az katlı ve önem kat sayısı  $I = 1$  olan binalarda, deprem yükünün karşılandığının gösterilmesi koşuluyla, sadece kolon mantolanması ile güçlendirme yapılabilir. Dört katlı ve daha yüksek binalarda perde eklenmesi ile güçlendirme yapılması uygundur. Perde alanları hesapla belirlenebilir. Bu amaçla yapılacak bir hesapta herhangi bir azaltılma yapılamadan Deprem Yönetmeliği (1998)'nde verilen deprem yükleri göz önüne alınarak konulan perdelerin her iki doğrultuda toplam devrilme momentinin en az %70 ini taşıdığı gösterilecektir. Güçlendirilecek binada eklenen perdeler yüksek süneklikte olacaktır. Güçlendirilmiş taşıyıcı sistemde deprem yükü azaltma katsayısı süneklik düzeyi normal ve yüksek olan sistemlere ait katsayı arasında seçilecektir (bu değer 5 ila 6 arasında seçilebilir). Bu seçimde; eklenen perdenin durumu, taşıyıcı sistemin düzenlilik durumu, beton kalitesi, kolon ve kirişlerdeki etriye durumu göz önüne alınacaktır.

Mevcut kolonların yalnızca düşey yükleri yeterli güvenlikte taşımaları yeterlidir. Bu değer TS500'de ön görülen değer olarak alınabilir ( $N_{rmax} = 0.6 f_{ck} A_c$ ). Düşey yüklerini yeterli güvenlikle taşıyamayan kolonlar yalnızca düşey yükleri taşımada yetersiz oldukları katlarda, çelik veya betonarme mantolama yoluyla

güçlendirilebilir. Yerel olarak ağır hasarlı olan kolonlar da mantolanmalıdır. Mantolama işleminde plandaki simetri korunmalıdır. Manto kalınlığı 12cm den az yapılmamalı, mantoya en az alanının %1'i oranında ve betonun işlenmesine izin verecek çapta boyuna donatı konulmalı, yönetmelikte öngörülen miktar ve sıklıkta etriye yerleştirilmelidir. Betonun yerleşimi düşünülerek kalınlığı 15cm ve daha az olan mantolamalarda dışta tek etriye konulması uygun olur. Mantolanan kolonlarda manto donatısının yeterli miktarının, özellikle köşe donatılarının, kattan kata geçişi sağlanmalı, manto ilgili kattan temele kadar inmeli ve manto donatılarının temele kenetlenmesi sağlanmalıdır.

Malzeme dayanımlarının belirlenmesinde yeteri kadar karot alınmış ise, mevcut elemanların tahkikinde, karakteristik beton basınç dayanımlarından hesap dayanımlarına geçişte malzeme güvenliğine ait katsayı (gmc) için 1.5 yerine daha küçük bir değer ( $\gg 1.25$ ) alınabilir.

Yeni perdeler, mevcut çerçeveler içine ve en az bir kolona komşu olacak şekilde yerleştirilecektir. Mevcut beton dayanımlarının yeterli görülmesi halinde mevcut kolon ile yeni perdenin bütünleşmesi dikiş donatıları ile sağlanarak, kolon donatısı perde başlık donatısına dahil edilebilir. Aksi halde perdeye komşu kolonun mantolanması gerekir.

Perde uç kuvvetlerinin katlar arası geçişi için gerekli donatı düzeni yapılacaktır. Perde gövde donatısının sürekliliği, kolonu ve kirişi geçen veya delen tek sıra, kolonlarda ve kirişlerde minimum f16/300mm donatı ile sağlanacaktır. Perdede her iki yüzde ve her iki doğrultuda minimum f10/200mm gövde donatısı bulunacaktır. Perde uç bölgesinde perde kritik yüksekliği boyunca en az f10/100mm ve diğer katlarda en az f10/200mm etriye yerleştirilecektir.

Güçlendirilmiş binada, mevcut kolon ve kiriş gibi mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının kontrolünde, aşağıda verilen koşulların sağlanmaması durumunda kolon ve kirişlerin güçlendirilmesi gerekecektir [7].

### 2.3. Betonarme Yapılardaki Hasar Türleri

Yapılardaki hasarın belirtisi fazla sehim, çatlak ve bazen titreşimdir. Genellikle ilk aşamada aşırı sehim göze çarpar. Bazen aşırı sehimden elemanın kendisinde çatlak olmaz fakat taşıdığı başka elemanda çatlak oluşur. Çatlama hızla girilen ikinci aşamadır. Çatlağın niteliğini belirleyen üç parametre vardır. Bunlar; çatlağın yeri, çatlağın genişliği ve çatlağın yaşıdır [1].

#### a) Çatlağın Yeri ve Genişliği:

Çatlaklar önce gevrek elemanlarda oluşur. Çatlak, sehim ve deformasyon o elemanın elastik yük taşıma limitinin üzerinde zorlanmakta olduğunu gösterir. Çatlak taşıyıcı ya da taşıyıcı olmayan elemanlarda olacaktır. Çatlağın olduğu yerde elastik olarak taşınabilen büyük bir çekme kuvveti etkimektedir. Basınç etkisi altındaki hasar ezilme şeklindedir. Ancak bu etkiye dik yönde yine de çekme kuvvetleri olduğundan yine çatlak ve çekme kuvveti vardır. Beton ve yığma kagir yapı malzemesinin basınç dayanımı çekme dayanımının çok üzerinde olduğu için önce çekme çatlakları görülecektir.

Taşıyıcı olmayan elemandaki çatlak genellikle bu elemanın üzerinde oturduğu ya da taşındığı elemanda aşırı deformasyon ya da sehim sonucudur. Eğer bu taşıyıcı elemandaki sehim ve deformasyon daha da artarsa taşıyıcı elemanın kendisinde de çatlama olacaktır. Bu nedenle taşıyıcı elemandaki çatlak her zaman daha ileri bir hasar aşamasıdır ve daha tehlikelidir [1].

#### b) Çatlağın Yaşı:

Çatlağı oluşturan etkinin varlığının bir göstergesidir. Çatlakların yabancı maddelerle dolmuş olması ve çatlağın her iki kenar yüzünün oksitlenmiş oluşu çatlağın yaşlı olduğunu belirler. Ancak eski bir çatlağın deprem ya da başka nedenlerle yeniden genişlemesi ya da ilerlemesi de sık görülen bir olaydır.

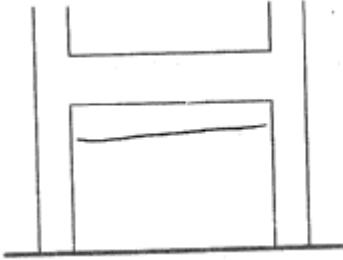
Çatlakların oluş nedenleri, biçimleri ve zamana bağlı olarak değişimleri gözlenerek, yapıdaki hasarlar değerlendirilmelidir. Betonarme yapılarıdaki çatlaklar; taşıyıcı elemanlardaki çatlaklar ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki çatlaklar olmak üzere iki grupta incelenecektir [2,1].

### 2.3.1. Taşıyıcı olmayan elemanlardaki çatlaklar – duvar çatlakları

Taşıyıcı olmayan yapı elemanı olarak tanımlanan, tuğla ya da başka malzemeden yapılmış duvarlardır. Hasar oluşan etkiye göre oturma hasarı ve deprem etkisi altındaki hasardır.

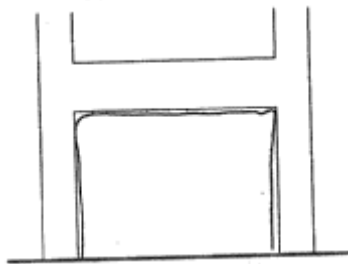
#### a) Deprem hasarı:

Betonarme yapılarda deprem hasarı sıva çatlakları ile başlamaktadır. Sıva çatlakları eğer su ve elektrik tesisat boruları üzerinde oldukça ince (1-2 cm) bir sıva tabakası varsa ilk olarak buralarda görülmektedir (Şekil 2.1).



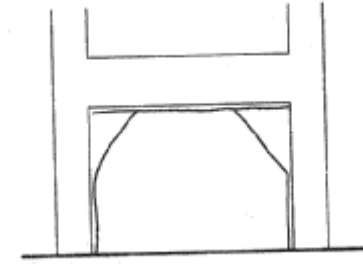
Şekil 2.1. Dolgu duvarda elektrik tesisatı borusu üzerindeki sıva çatlakları [1]

Daha sonra betonarme çerçeve ile dolgu duvarları arasındaki yüzeylerde sıva çatlakları oluşmaktadır (Şekil 2.2).



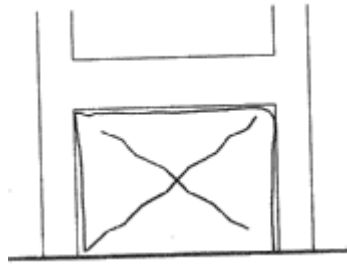
Şekil 2.2. Dolgu duvar, çerçeve arasında sıva çatlakları [1]

Bu çatlaklar önce kiriş ile dolgu duvarın üst yüzeyi arasında olurken daha sonra dolgu duvarları arasında ortaya çıkmaktadır. Yapıda hasar bu tür sıva çatlakları düzeyinde ise genellikle yapının taşıyıcı elemanlarında hasar bulunmamaktadır (Şekil 2.3).



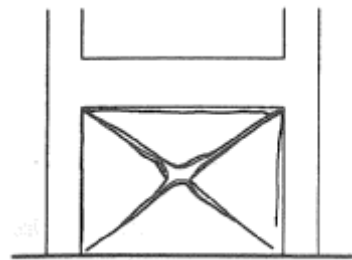
Şekil 2.3. Dolgu duvar, çerçeve arasında sıva çatlağı [1]

Daha şiddetli depremlerde ya da dolgu duvarın boşluklu beton briket gibi nispeten düşük dayanımlı malzemeden yapılmış olduğu yapılarda dolgu duvarda X biçiminde hasar başlamaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Dolgu duvarda sıva ve duvar hasarı başlangıcı [1]

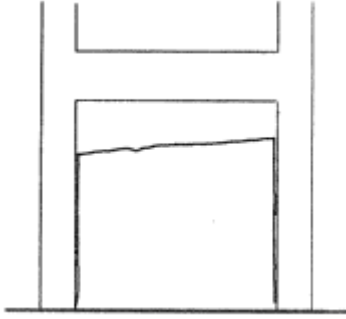
Bu durumda çatlağın dolgu duvar içinde de sürdüğü kesindir. Dolgu duvar hasarı ile kolonlarda ileride anlatılacak mafsallaşma hasarı da başlayabilmektedir. Dolgu duvarı hasarının ileri aşamasında duvardan kırılmış ve ezilmiş tuğla ya da briket parçaları düşmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Dolgu duvarda ileri düzeyde hasar [1]

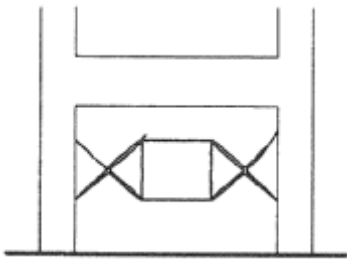
Kolonlarda gözlenen mafsallaşma hasarı yapının önce bazı kritik kolonlarında olur, dolgu duvar hasarının daha ileri bir düzeye ulaşması ile birlikte yapının hemen bütün zemin kat kolonlarına da yayılırken, kritik kolonlarda ise en ileri düzeylere ulaşmaktadır. Genellikle dolgu duvarın ileri düzeyde paralanıp tuğla ve sıva parçalarının dökülmeye başlaması ile kolon mafsallaşma hasarı da ileri boyutlara ulaşmaktadır.

Bazen çok yüksek dolgu duvarlarında (3.00 mt ve daha yüksek) duvarın üst bölümü duvar düzlemi dışına yayılmaktadır. (Şekil 2.6)

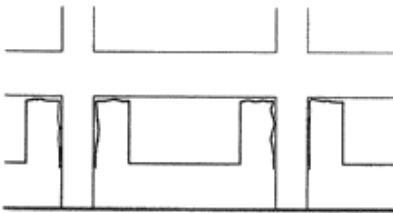


Şekil 2.6. Yüksek dolgu duvarda üst sıraların devrilmesi [1]

Bu durum duvarda düzlemine dik yönde kuvvetlerin daha önemli boyutta olmasının sonucudur. Dolgu duvarlarda kapı ve pencere boşlukları varsa hasar değişik olmaktadır (Şekil 2.7 ve 2.8).

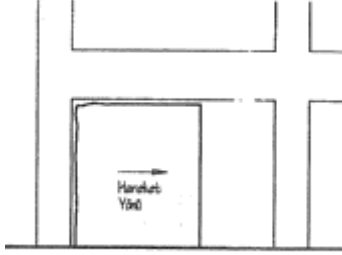


Şekil 2.7. Pencere boşluğu olan dolgu duvarda hasar [1]

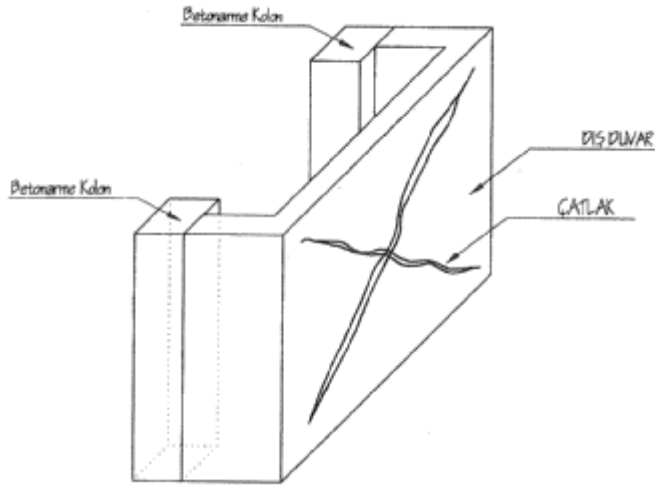


Şekil 2.8. Boşluklu dolgu duvarda değişik hasar [1]

Dolgu duvarlar betonarme çerçeve tarafından tüm olarak çevrelenmemiş ise (Şekil 2.9 ve 2.10) duvarın çatlama kayması ya da burulma etkileri ile zorlanması beklenebilir. Öte yandan betonarme çerçeve ile çerçevelenmiş dolgu duvarlarının bir bütün olarak düzlemleri dışına devrilme olasılığı çok yüksektir [1].



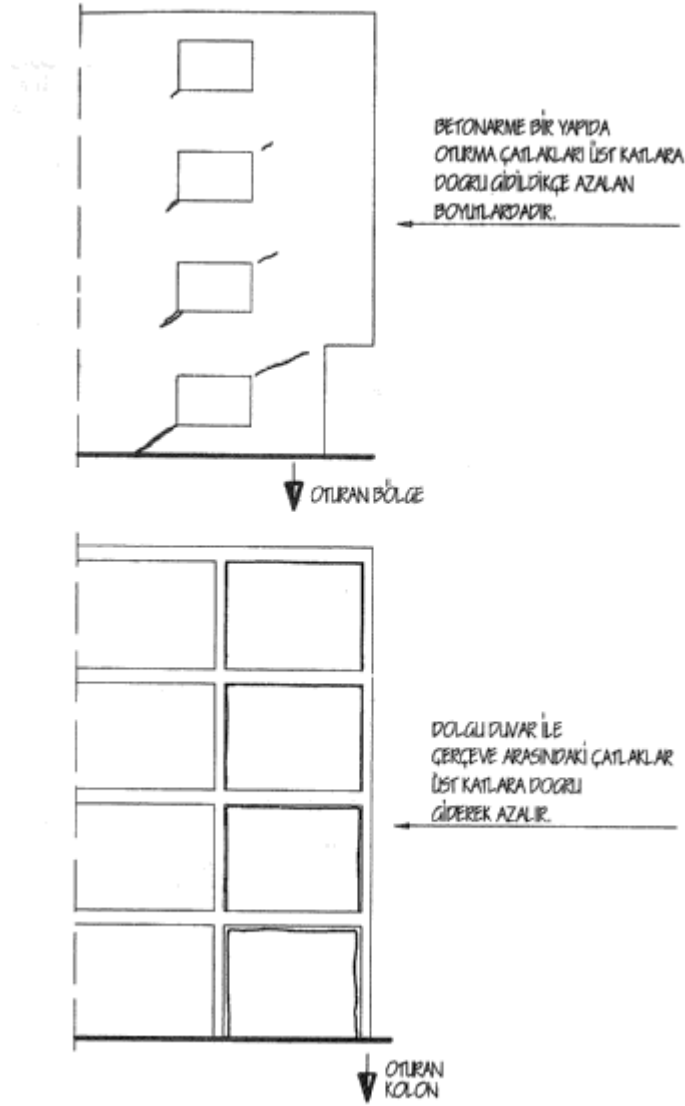
Şekil 2.9. Çerçeve tarafından tam olarak sınırlanmamış duvarın yana kayması



Şekil 2.10. Betonarme çerçeve tarafından sınırlanmamış duvarlarda hasar

#### b) Oturma ve aşırı sehim hasarları:

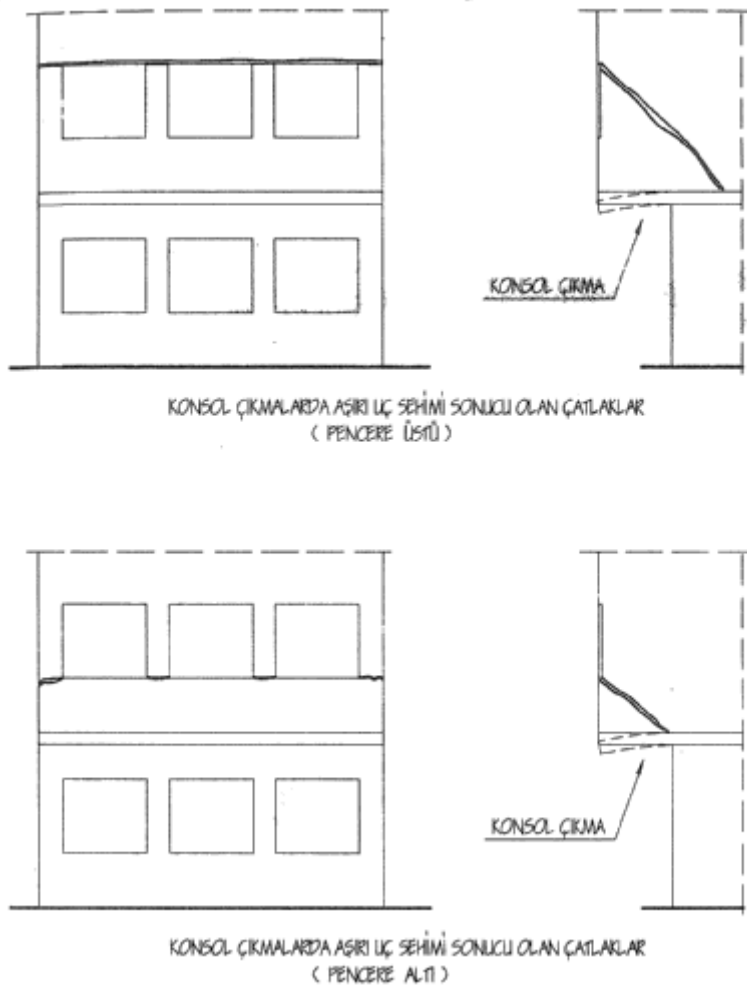
Betonarme yapılarda temellerdeki aşırı oturmaların bölme duvarları üzerindeki etkileri Şekil 2. 11' de gösterilmektedir. Betonarme bir yapıda oturma hasarının oluşturduğu çatlaklar üst katlara doğru giderek azalır. Özellikle oturan çerçevelerin içinde yer alan dolgu duvarlarının dörtkenarında çerçeveden ayrışmalar olur. Bu ayrışmanın miktarı yine üst katlara doğru azalır [1].



Şekil 2.11. Betonarme yapılar da oturma hasarlarının dolgu duvarlarda oluşturduğu çatlakları

Şekil 2.12' de betonarme yapıların konsol çıkmalarının aşırı uç sehimleri sonucu dış cephe duvarlarında görülen çatlaklar verilmektedir. Konsol çıkmaların uçlarında oluşan büyük sehimler bu konsolun ucuna oturan dış cephe duvarında pencerelerin alt ya da üst seviyelerinde boydan boya uzanan çatlaklar yaparken, yan duvarlarda da eğik çekme çatlakları oluşur. Bu çatlaklar ayrıca yapı içinde benzer yönde uzanan başka duvarlar varsa onlarda da görülür. Genellikle bu tür hasarı konsol çıkmanın kalıbının "iyi" yapılmadığına bağlama eğilimi vardır. Ancak gerçek neden konsol uçlarının büyük sehim yapabilme gücünden kaynakla bilmektedir.





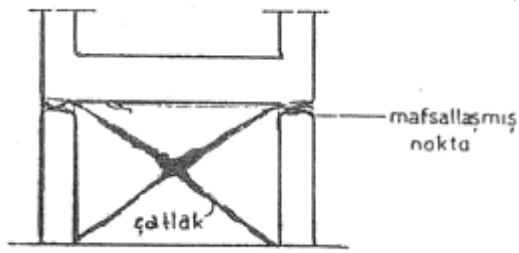
Şekil 2.12. Konsol çıkmalarda aşırı uç sehimden dolayı oluşan çatlaklar

Sünme, betonarme de zamana bağlı deformasyon artışıdır. Betonun erken yüklenmesine bağlıdır. Eğer konsol çıkmanın kalıbı erken sökülmiş ise, beton tam dayanıma ulaşmadan yüklenmiş olacağından, zaman içinde uç sehimleri artabilmektedir. Konsol çıkmanın tam ankastre olarak kolona ya da kirişe bağlı olmaması ve beton dayanımının projede öngörülenden daha düşük olması da bu tür çatlakları oluşturan aşırı uç sehimlerine yol açmaktadır.

Zaman içinde uç sehimini artmayan konsol çıkmaları olduğu gibi, bu sehimler giderek artarak tehlikeli boyutlara ulaşan yapılar da vardır. Konsol uçlarının kolonlarla desteklenerek bu sehim artışı önlemek istenmektedir. Bu tür hasar hem betonarme karkas hem de tuğla yığma duvarlı yapıların konsol çıkmalarında görülebilmektedir. Bu tür hasarın daha kritik ileri aşamasında konsol çıkmanın mesnetinde üst yüzeyde sürekli çatlak oluşur.

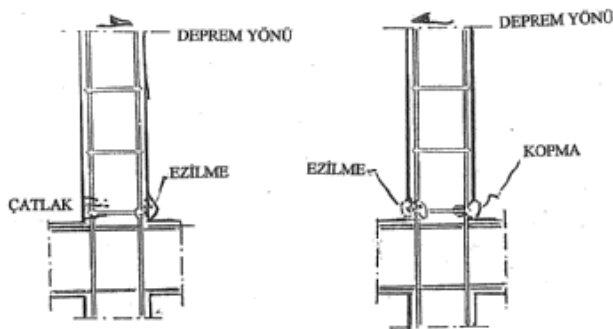
### 2.3.2 Taşıyıcı elemanlardaki çatlaklar – hasarları

Betonarme çerçevelerde, kolonlar kirişlere oranla depremden daha çok etkilenirler. Kolonların yapımında daha az bir özen gösterildiğinden daha çok hasar kolonlarda meydana gelir. Betonarme çerçevelerde hasar, öncelikle dolgu duvarlarda başlar. Sonra kolon uçlarında çekme ve basınç hasarları gelişir. Son olarak kolon uçlarında mafsallaşmalar başlar (Şekil 2. 13).



Şekil 2.13. Kolon uçlarında oluşan mafsallaşma noktası [2]

Bu durumda kolon-kiriş rijit birleşimleri, mafsallı birleşimlere dönüşerek deprem enerjisi harcanmış olunur. Öncelikle kolonun bir yanında, depremin etkiye yönüne göre, çekme çatlakları oluşur. Bu durumda diğer yanda da basınç etkisiyle eğilmeler görülür. Deprem yönünün değişmesiyle çekme olan yerde ezilme ve ezilme olan yerde de çekme etkisi ile beton dökülmeleri meydana gelir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Kolonda olan değişiklikler [2]

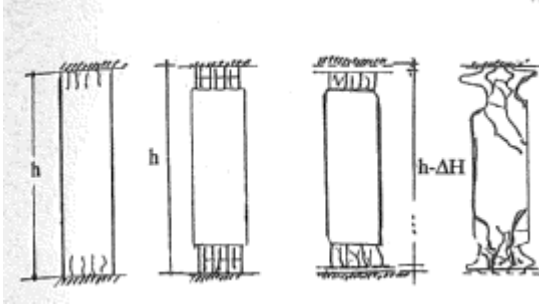
a) Kolonlar oluşan kesme çatlakları:

Kolonlarda kesmeye karşı betonun taşıma gücü yetersiz ise kolonlarda yatayla  $45^\circ$  lik açılarla çatlaklar oluşur. Burada önemli olan kısım donatı ile betonun arasındaki

aderansın iyi olmasıdır. Aksi takdirde donatı akma gerilmelerine ulaşmadan beton sıyrılacaktır.

b) Kolonlarda oluşan basınç çatlakları:

Bir kolona gelen aksenal yük, kolon taşıma yükünün 1,5 katından büyük ise, deprem süresince kolonda basınç kırılmaları olur. Basınç kırılması ani ve gevrekçtir. (Şekil 2.15.)



Şekil 2.15. Kolonda oluşan basınç çatlakları [2]

c) Kolonda oluşan burulma çatlakları:

Yapı ağırlık merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmadığı durumlarda kolonlarda burulma momentleri oluşur. Burulma momentleri etkisi ile kolonun bir tarafında diyagonal olarak uzayan çatlaklar olur. Bu çatlaklar boyunca betonda dökülmeler meydana gelir (Şekil 2.16).

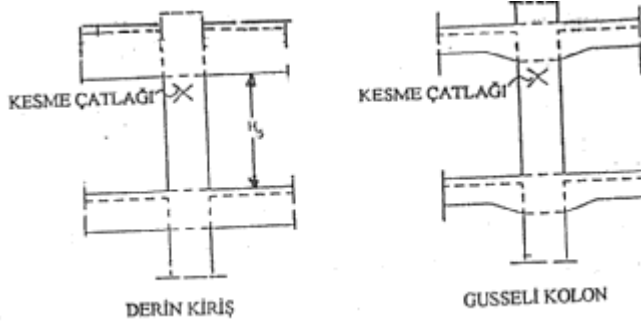


Şekil 2.16. Kolonda oluşan burulma çatlakları [2]

d) Kısa kolon çatlakları:

Kolon boyunun projede öngörülen boydan daha kısa olması halinde, depremin oluşturduğu büyük kesme kuvveti kolonu çatlatır. Yüksek gövdeli kiriş, guseli

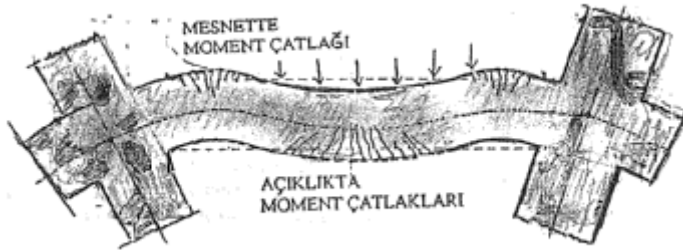
kirişler, bölme duvarları ve lentolar projede kabul edilen boydan daha kısa olmasını zorunlu kılar. Bu durumda kolonun yatay deplasman yapmasının önlenmesi kolon rijitliğinin öngörülenden daha büyük olmasını sağlar ve kolon sonuçta daha büyük kesme kuvvetleri ile zorlanır ve kolonda çatlaklar meydana gelir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Kısa kolon çatlakları [2]

e) Kolon oturması çatlakları:

Bir aks üzerindeki bir kolonun diğer kolona oranla düşey bir deplasman yapması sonucu, kolonları birbirine bağlayan kirişlerde çatlamlar oluşur ve kiriş uçları mafsallaşır (Şekil 2.18).

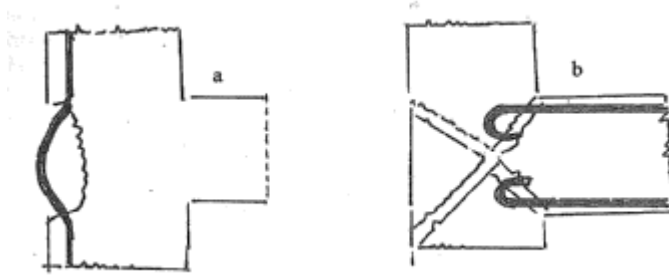


Şekil 2.18. Kolon oturması çatlakları [2]

f) Kolon - kiriş bağlantısı çatlakları:

Kolon kiriş ek yerlerinde kolonlara kiriş genişliğince etriye yerleştirilmez ise, düşey yük etkisi ile boyuna kolon donatısı dışarı doğru burkulur ve üzerindeki kabuk betonun kopmasına neden olur (Şekil 2.19a). Ayrıca, kirişteki boyuna donatılarının kolon-kiriş ek yerinde yeterli olarak ankre edilemez ise, kiriş donatıları sıyrılır. Bu durumda kiriş kesiti tam olarak moment taşıma gücüne ulaşmadan kiriş ucu

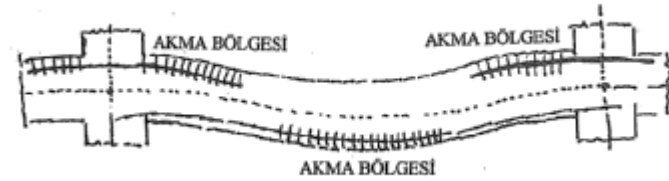
mafsallaşır. Bu durumda kolonlar büyük yatay deplasmana zorlanır ve yıkılma tehlikesi gösterir (Şekil 2.19b).



Şekil 2.19. a-b Kolon-kiriş bağlantı çatlakları

g) Kirişlerdeki çatlaklar:

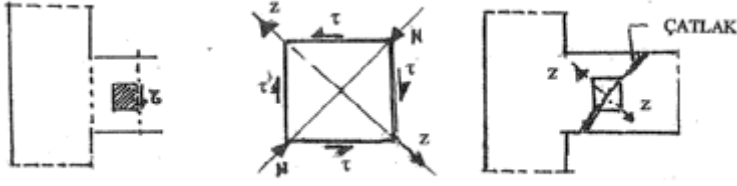
Betonarme kirişlerde düşey etkisi ile kiriş açıklığında eğilme çatlakları meydana gelir. Kiriş açıklığına yerleştirilen donatı yetersiz ise, bu bölge de donatıdaki gerilmeler “akma limitini” aşması durumunda betonda çatlamlar başlar (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Akma bölgesi [2]

Bazı durumlarda bir kirişin mesnetlerine yakın yerlerde başka kirişler saplanır. Bu saplanma noktalarında bu kirişlerden tekil yük etkisi ile ana kirişte pozitif momentler oluşur. Bu noktadaki kesitler negatif momentlere göre hesap edildikleri için donatı kirişin üstüne yerleştirilmiş olup, alt tarafında yeterli donatı bulunmaz ve ana kiriş bu noktada çatlar.

Bir betonarme çerçevede düşey yüklerden ve depremden meydana gelen momentler etkisi ile kiriş açıklığının orta noktasına yakın bir yerde “büküm noktası” oluşur. Büküm noktasının her iki yanındaki kiriş parçaları (konsol kiriş) gibi davranış gösterir. Kiriş uçlarındaki momentlerin negatif ve pozitif momentler etkisinde kalması sonucu bu noktalarda mafsallar oluşur. Ayrıca kiriş mesnetlerine yakın kesitlerde kayma gerilmeleri etkisi ile beton çekme taşıma gücünün aşılması gibi durumlarda eğik kayma çatlakları oluşur ( Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Kiriş mesnetlerinde oluşan eğik kayma çatlakları [2]

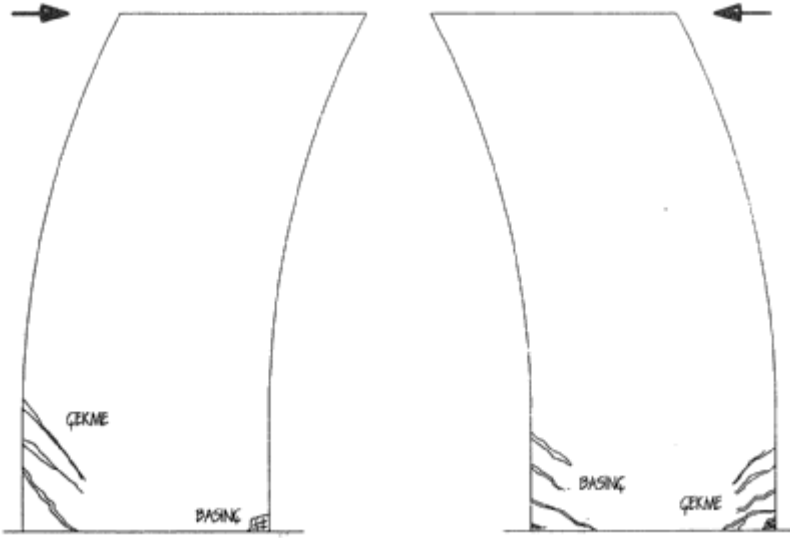
#### h) Betonarme Perdelerdeki Çatlaklar:

Perde duvarları hasarı yapının kat sayısına göre değişmektedir.



Şekil 2.22. Betonarme perdelerdeki kesme çatlakları

Birkaç katlı alçak yapıların perde duvarlarında Şekil 2.22' de görülen kesme çatlakları oluşur. Çünkü gelen yatay deprem kuvvetlerini yapı yüksekliği ile çarpımı ile oluşan eğilme momenti etkileri, yapı alçak olduğu için duvarın moment taşıma kapasitesinden daha az olur ve eğilme kırılması oluşmaz. Çatlaklar düşey ve yatay ile  $45^\circ$  ye yakın bir açı yaparlar. Eğer düşey yük miktarı önemli ise daha dik açılı çatlaklar oluşabilir.

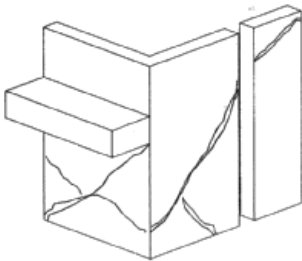


Şekil 2.23. Çok katlı Perdelerde görülen çatlaklar

Çok katlı perde duvarlı yapılarda ise zemin ve zemine yakın katlarda Şekil 23' te görülen cinsten eğilme çatlakları oluşur. Bu tür hasar pencere ve kapı boşluğu olmayan perde duvarlarda görülmektedir.

Uç elemanı olan kolonlar zayıfsa ve etriye sıklaştırması yoksa kolonlarda, perdenin dönmesi ile oluşan büyük basınç kuvvetleri kolonların boyuna donatılarının burkulmasına ve betonun basınçtan ezilmesi biçiminde kırılma olur.

Perde duvarların yapı içinde simetrik bir konumda olmamaları onların depremde burulma etkilerine maruz kalmalarına yol açar (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Burulma etkisiyle oluşan çatlaklar

Boşluklu perde duvarların deprem hasarı değişiktir. Boşluklu perde duvar birbirine kat düzeyinde bağ kirişleri ile bağlanmış iki dolu perde duvar gibi davranmaktadır. Önce iki dolu perdeyi birbirine bağlayan bağ kirişlerinin uçlarında kesme ya da

eğilme kırılması olmaktadır. Bu hasar aşaması sonunda boşluklu perde duvar iki bağımsız dolu perdeye dönüşür.

Bağ kirişlerinin kırılma biçimi içindeki donatıların yerleşme biçimine bağlı olmaktadır. Bağ kirişleri derin kiriş gibi donatılmış ise eğik çekme çatlaklı kesme hasarı olur. Bağ kirişine sık aralıklarla etriye konulması eğik çatlaklarını önlemekte, kiriş ucundaki kesme hasarına engel olamamaktadır. Bağ kirişine eğik yerleştirilmiş boyuna donatılar hasarın sünek olan eğilme kırılması biçiminde olmasını sağlamaktadır.

Perdeli çerçeveli yapılarda ise önce perde duvar hasarı beklenir. Perde duvarın hasarından sonra yaptığı ötelenmeler artacağından çerçeve elemanlarında hasar başlar.

#### 1) Döşeme çatlakları:

Deprem yüklerinin kolon ve perdelerine iletilmesinde, döşeme etken bir rol oynar. Deprem kuvvetleri yapıya kat düzlemleri boyunca döşemeye dik doğrultuda etkiler. Bu durumda döşeme rijitlikleri büyük olduğu için deformasyon yapmadıklarından, yükleri kolon ve perde rijitlikleri ile orantılı olarak bu elemanlara ilettikleri varsayılır. Döşemelerde oluşan çatlakların çoğu döşeme ortalarındaki aşırı sehim çatlaklarıdır. Döşeme boyutları aşırı sehim oluşmayacak açıklığının 200’de birini geçmesi durumda oluşur. Döşeme boyutları aşırı sehim oluşmayacak durumlara göre belirlenmelidir. Ayrıca döşeme mesnetlerinde donatının yetersiz oluşu veya donatının döşeme üst yüzeyine yakın konmayışı gibi durumlarda mesnetlerin üst yüzeylerinde mesnet boyunca çatlama oluşur.

Betonarme perdeli yapılarda, perdelerin yatay deprem yükleri ile dönmesi ile döşemelerde oluşan eğilme sonucu çatlama oluşur. Döşemelerde aşırı sehim ve titreşimin önlenmesiyle “çatlama” olayı da önlenmiş olur. Gerçekte hesapta kabul edilen yükler gelen yüklerden çok fazladır. Ancak bu yüklerle göre döşeme tasarlanıp projelendirilirse aşırı sehim ve titreşim önenebilir. Döşemelerde uygulanan minimum kalınlık boyutu bu mantığa uygun olarak getirilmiştir. Bir döşemede çatlak



olmasa bile aşırı sehım ve titreşim yapıda yaşayanları huzursuz eden bir durumdur. Bu tür döşemelerin takviye edilmesi gerekir.

Döşemelerde aşırı sehım ve çatlağa neden olan diğer hususlardan biri de beton taşıma gücünün hesapta kabul edilen değerden düşük olmasıdır. Ayrıca döşeme kalıbının erken sökülmesi sonucu, beton mukavemetini kazanmadan döşeme yüklenir ve zamana bağlı sünme sehımleri oluşur.

Döşeme çatlamlarınının diğer bir nedeni de eksik donatı konması ve özellikle mesnetlerdeki üst donatılara beton dökümü süresince basılarak döşeme kesitlerinin moment kollarınının azaltılmasıdır.

#### **2.4. Betonarme Yapılarda Deprem Hasar Düzeyleri**

Yapı hasar düzeyi dört ana gruba ayrılabilir:

a) Hasarsız ya da az hasarlı yapılar:

Bu yapılar herhangi bir depremden sonra herhangi bir onarım gerektirmeden kullanılabilir yapılardır.

b) Az hasarlı yapılar:

Bu yapılar da kullanılabilir düzeyde hasar oluşmuştur. Ancak yapının mimari görüntüsünde değişiklik olabilir. Sıva çatları, pencere cam kırılmaları vb. Konfor açısından kullanıcıları rahatsız eden bu ayrıntıların giderilmesi gerekir. Bu tür onarımlar yapıda kullanım aksamadan da yapılabilir.

c) Taşıyıcı sistemin onarım ve güçlendirilmesi gereken hasarlı yapılar:

Bu düzeyde hasar gören yapılarda mimari ve taşıyıcı sistem hasarı vardır. Yapı da hasar çeşitli düzeylerde olabileceğinden yapılması gereken onarım ve güçlendirme

çeşitli düzeylerde olabilir. Yapı güvenliği ciddi ölçü de azalmıştır. Tehlikeli bölümler askıya alınır ve desteklenir

d) Onarılamaz yapılar:

Bu grupta nitelenen yapılarda hasar ağırdır. Ancak yapı tamamen göçmemiş, yapı içinde yaşayan insanlarda can kaybı olmadan boşaltılmışlardır. Yapıya hiçbir şekilde giriş için izin verilmez. Yapının etrafı geniş ise depremden sonra yapının yıktırılması gerekir. Onarılmaları fiziki olarak olanak dışı ya da çok masraflı olacağından onarılmaz [1].

## **BÖLÜM 3. ONARIM VE GÜÇLENDİRMEDE KULLANILAN MALZEMELER**

Binaların hasar düzeyinin tespiti için çok sayıda akademik çalışmanın olduğu bilinmektedir. Onarım ve güçlendirme işlemini uygulayacak mühendis bu çalışmalardaki metotlardan birini kullanarak, binanın hasar sınıfını tespit etmelidir. Binanın hasar sınıfının tespiti kolay bir iş değil, aksine birçok parametreye bağlı oldukça karışık bir çalışmadır. Onarım ve güçlendirme işleminin bu temel basamağını yanlış veya eksik yapmak, istenmeyen sonuçlara yol açar. Eğer ağır hasarlı bir binaya hafif hasarlı denilirse, olası ikinci bir depremde daha çok can ve mal kayıpları olacaktır. Hafif hasarlı bir binaya ağır hasarlı denilirse, maliyet istenmeyen değerlere ulaşacak ve maddi yük artacaktır. Görüldüğü gibi hasar tespiti, onarım ve güçlendirme işleminin temel basamağıdır.

Hasar tespiti eldeki imkanlar nispetinde en iyi şekilde yapıldıktan sonra sıra onarım ve güçlendirme işlemlerine gelmektedir. Uygun proje ve uygulama planı yapılırken onarım ve güçlendirmede kullanılacak malzemeler seçilmelidir. Her malzemenin özellikleri araştırılıp, uygulama yapılmadan önce gerekli deneylere tabi tutulup, malzemenin uygun olup olmadığı araştırılmalıdır.

Bu bölümde onarım ve güçlendirme de kullanılacak malzemeler hakkında bilgi verilecektir.

### **3.1. Uygun Onarım Malzemelerinin Seçiminde Aranılan Özellikler**

Genel prensip, özellikleri onarılacak alt tabakaya en yakın olan malzemeyi seçmektir. Onarım malzemesi aşağıdaki özellikleri taşımalıdır:

- Alt tabaka ile yaklaşık eşit elastisite modülü

- Alt tabaka ile yaklaşık eşit termal katsayı
- Çok düşük kuruma rötresi
- Yüksek eğilme dayanımı ve aderansı
- Termal değişmelere dayanıklılık
- Düşük geçirimsizlik
- Karbondioksit, klor, sülfat ve benzeri kimyasallara dayanıklılık
- Kullanım kolaylığı

### **3.2. Yerinde Döküm Normal Beton**

Yerinde döküm beton onarım ve güçlendirme işlerinde çok kullanılır. Fakat sonuçlar tatmin edici değildir. Karşılaşılan en büyük problem; çimento betonunun hacim değişikliği ve büzülmesidir. Hacim değişikliği eski elemanla yeni beton arasındaki iyi temasın kaybolmasına sebep olur. Bu sebepten dolayı temas yüzeyinde sağlıklı gerilme geçişi azalır.

Aderans karakteristiklerini iyileştirmek ve büzülmeyi minimuma indirmek için;

- Slampı düşük ve minimum su ihtiva eden yüksek mukavemetli betonlar kullanılabilir.
- Süper akışkanlaştırıcı kullanılabilir.
- Yeni dökülecek betonla temas edecek elemanların yüzeyi tamamen pürüzlendirilmeli ve temizlenmelidir.
- Ankrajlar yerleştirildikten sonra istenilen yüzeylere göre hazırlanmış kalıplar yapılmalıdır.
- Beton dökümünden hemen önce temizlik işlemleri yapıldıktan sonra mevcut beton veya kagir yüzeyler iyice ıslatılmalıdır.
- Beton vibrasyon ile sıkıştırılmalıdır.
- Betona gerekli kür yapılmalıdır.

### 3.3. Büzülmesi Telafi Edilen – Genleşen Çimento

Betona normal çimento yerine genleşen çimentolarla yapılır. Genleşen katkı maddeleri (pudra gibi ince demir veya alüminyum tozu) da çimento, su, kum ve çakıl ile karıştırılarak bu tür betonlar üretilir. Başlangıçta oldukça büyük bir hacim artması gösterirler. Bu da sonra olacak büzülmeyle hemen hemen telafi edecektir. Herhangi bir problemle karşılaşılması için laboratuvar ortamında gerekli tüm tahkikler yapılmalıdır.

### 3.4. Polimerli Beton

Betona bağlayıcı olarak kullanılacak çimentonun bir kısmının yerine bazı polimerler konularak elde edilir. Piyasa da suda dağılmış olarak bulunan polimerler farklı özelliklere sahiptirler. Amaç karma suyunu azaltmaktır. Daha iyi bir işlenebilirlik özelliği elde etmek ve su/çimento oranını azaltarak rötresi daha küçük olan betonlar üretilebilir.

Polimerli beton;

- Kürde yardımcı olurlar. Fakat kür ihtiyacını ortadan kaldırmazlar.
- Betonun bazı kimyasal etkenlere karşı dayanımlarını arttırabilirler.
- Polimerler özellikleri değiştirilmiş betonlar bu türlü kazanılmış ilave özelliklerini yangında kaybetmeye müsaittirler. Alkali özellikleri normal betona göre çok daha zayıftır.

### 3.5. Reçine Betonları

Reçine betonlarında çimento yerine iki bileşenli bir sistem vardır. Bu sistemde bileşenlerden biri; epoksi, polyester, poliüretan, akrilik ve benzeri sıvı reçine esaslıdır. Diğer kısım sertleştiricidir. Reçine betonlarının özellikleri, kullanılan reçine kadar çeşitlidir. Reçine betonları;

- Reçine betonları kırılmış küçük beton alanların yamanmasında kullanılabilirler. Fakat büyük miktarda beton olarak kullanılmazlar.

- İstenilen özelliklerde reçine betonu elde etmek için sadece özel ve uygun bir agrega karışımı değil, özel çalışma şartları gerektirir. Çünkü her iki bileşende hem rutubete hem de sıcaklığa karşı duyarlıdır.

### 3.6. Püskürtme Beton

Püskürtme beton, gronülometresi 0-15 mm arasında olan geçici veya kalıcı kaplama betonudur. Püskürtme beton işinde malzemenin normal akışı her çeşit ekipman halinde standart bir kalıba uyar. Malzemenin iyi harmanlanması gerekir. Harmanlandıktan sonra malzeme, çeşitli tiplerden mikser veya konveyörle karıştırılabilir. Karıştırılmış malzeme, basınçlı hava ile hava içinde askıda olarak, bir hortum vasıtasıyla hortum burnuna gönderilir. Hortumda su fıskiye den çıkarcasına müteaddit delikten malzemenin içersine enjekte edilir. Malzeme ve su akımı hortum burnundan geçerken malzeme ve su karışımı devam eder ve yerine çarpması ile tamamlanır.

Onarım ve güçlendirme işleri için yaygın olarak püskürtme beton kullanılmasının avantajları;

- Zeminin iyi hazırlanması ve püskürtmenin iyi uygulanmış olması gerekmektedir.
- Püskürtülen beton yeni beton ile mevcut beton arasında iyi bir aderans temin edilir.
- Aderansın arttırılması için mevcut beton yüzeyi pürüzlendirilmelidir.
- Püskürtme betonun rötre özelliği bulunmaktadır. Bu çatlamalara karşı önlemler alınmalıdır.
- Püskürtme beton püskürtüldüğü gibi bırakılabilir.
- Eğer pürüzsüz bir yüzey isteniliyorsa sertleşmiş beton üzerine ince bir tabaka püskürtülür ve bu tabaka üzerinde işlenerek istenilen hale getirilir.

### 3.7. Reçineler

Reçineler iki bileşenden oluşur. Birincisi sıvı reçine, ikincisi ise sertleştiricidir. Reçineler enjeksiyon ve ince levhaların yapıştırılması için kullanılır.

Onarım ve güçlendirme işi için kullanılacak reçineler amaca uygun özelliklere sahip olmalıdır.

- Uygun donma süresi olmalıdır.
- İşlenebilirliği iyi olmalıdır.
- Kür gereksinimleri, rutubet ve sıcaklıkla uyumlu olmalıdır.
- Rötrelere az ve ihmal edilebilecek derecede olmalıdır.
- Sünme deformasyonlarının zararlı olduğu yerlerde kullanılmamalıdır.
- İnşaat işlerinde kullanılan reçineler 100°C üzerindeki sıcaklıklarda mukavemetini kaybederler. Bu yüzden yangın için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.
- Kullanılacak yere göre viskozitesi uygun reçine seçilmelidir.

### 3.8. Harçlar

Kum, çimento veya kireç gibi bağlayıcı ile suyun birlikte karıştırılarak plastik kıvamına getirilmesi ile elde edilen malzemeye harç denir. Birçok harç çeşidi bulunmaktadır. Bunlar; geleneksel harçlar, hazır tamir harçları, genişleyen harçlar, yapıştırma harçları, kısa sürede dayanım kazanan harçlar, polimer modifiye çimento harçları, beton onarım ve güçlendirmesinde kullanılan harçlardır.

Onarım ve güçlendirmede kullanılan harçlar epoksi reçinesi ile yapılan harçlardır. Sertleştirici, reçine ve özel kuvars kumundan oluşur. Güçlendirmede kum kullanılmaz. Demirlerin betona yapıştırılmasında solventsiz, tiksotropik, iki bileşenli epoksi yapıştırma harçları kullanılır. Uygulamayı yapacak olan mühendis uygulamaya uygun harcı seçmelidir.

- Normal harçlar büzülmeden ileri gelecek çatlakların kabul edileceği durumlarda kullanılmalıdır.
- Normal harçların büzülmesi süper akışkanlaştırıcı kullanılarak azaltılabilir.
- Çimento şerbeti çok küçük çatlaklara yerleştirilmek için bir sıvı oluşturmak üzere çimentonun su ile karıştırılmasıyla oluşturulur.
- Su miktarını azaltabilmek için süper akışkanlaştırıcı kullanılmalıdır.
- Piyasa da çeşitli büzülmeyen harçlar bulunmaktadır. Fakat bu harçların fiyatı yüksektir. Bu yüzden kullanılmadan önce maliyetine iyi karar verilmelidir.
- Epoksi veya reçine harçları bir aralıkta boşlukta yüksek kesme mukavemetinin söz konusu olduğu durumlarda kullanılır. Kesin adersans sağlanır.

Harçların enjeksiyonu epoksi reçinelerin enjeksiyonun da olduğu gibi eğitilmiş ve yetiştirilmiş personele ve özel donatım gerekir. Bu yöntem derzleri, çatlakları veya aralıkları doldurmak suretiyle basınca maruz kalacak elemanların onarımında kullanılır.

Harç enjeksiyon yöntemi reçine enjeksiyonuna benzer. Harç enjeksiyonu genellikle geniş çatlakları ve boşlukları doldurmak için kullanılır. Bu genişlik reçine ile doldurmak için genişleten genişlikten daha büyüktür.

Birçok hallerde bir boşluğu akıcı harçla doldurmak uygun değildir. Böyle durumlarda, kum ve çimentodan oluşan kuru malzemeyi ıslatmak için az miktarda su ilave edilir. Bu malzeme boşluğa iyice doldurulur. (Mesela hafif darbelerle yerleştirilir.) Buna kuru doldurma yöntemi denir. Yeterli büyüklükteki boşluklarda kullanılmalıdır. Çünkü tam sıkıştırma ancak o zaman gerçekleştirilir. Su miktarının az olması sebebi ile düşük büzülme olacaktır.



## **BÖLÜM 4. BETONARME YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ-YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Son depremlerden sonra yapılan araştırmalarda Türkiye'deki betonarme yapıların önemli bir kısmı onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu yapılarda, yapılarla ilgili tüm bilgiler toplanıp hasar tespiti yapıldıktan sonra yapının hangi tür yöntem ile güçlendirileceğine karar verilmelidir. Uygun yöntem ve doğru uygulama ekonomik olması ile beraber yapının ömrünü uzatacaktır.

Bu bölümde betonarme yapıların güçlendirilmesi iki başlık altında incelenmiştir. Bunlar;

- Sistem bazında güçlendirme
- Eleman bazında güçlendirme

### **4.1 Sistem Bazında Güçlendirme**

Sistem iyileştirilmesi yapının yanal rijitliğinin artırılması ile özdeştir. Yapıda, çok sayıda elemanın güçlendirilmesi gerekiyorsa, yeterli yanal rijitlik yoksa gevrek kırılmaya neden olacak detay hataları varsa, yumuşak kat, kısa kolon durumları varsa sistem iyileştirilmesi gereklidir [15]. Bu amaçla kullanılan güçlendirme yöntemleri;

- Betonarme dolgu perdeler
- Çelik çaprazların kullanılması

a) Betonarme dolgu perdeler:

Bu yöntemle, kolonlar arasındaki bir çerçeve açıklığının betonarme perde ile doldurularak ek yanal rijitlik elde edilmesi sağlanır. Perde donatılarının bağlandığı

kolonlara aderansı yüksek dayanımlı kimyasal dübeller kullanılarak yerleştirilen filizler ile gerçekleştirilir.

K.Burak GÜROL [8]; Bu çalışmada; mevcut bir yapıya 25x300cm ve 25x600 cm ölçülerinde perdeler yerleştirilerek doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi ile yapının performansı incelenmiştir. Ele alınan yapı depreme maruz kalmış ve yapısal olmayan hasarlar meydana gelmiştir. ABYYHY-2006 uyarınca yapılan kontroller sonucunda sistem bazında aşımalar ve ötelenme sorunları bulunmuştur. Mevcut yapının güçlendirilmeden önceki dayanım azaltma kat sayısı  $R=5,1$  bulunmuştur. Sonuç olarak yeni perde ekleyerek ve mantoloma yapılarak güçlendirilen yapının  $R=3$  bulunmuştur.

Hüseyin AKYILDIZ [9]; Bu çalışmada Bağcılar Hoca Ahmet Yesevi İ.Ö.O. binasının deprem yönetmeliğine uygun olmadığı tespit edilip, ilave perde eklenmesi modeli ile güçlendirilmesi incelenmiştir. İlave perdelerin beton sınıfı BS30 ve donatıları BCIII olarak seçilmiştir. SAP2000 programında mevcut kat planının uygun yerlerine perdelerin ilavesi yapıp, sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, seçilen yöntem başarılı bulunmuştur.

#### b) Çelik çaprazların kullanılması:

Bu yöntemle, kolonlar arasındaki bir çerçeve açıklığının içerisine çelik çaprazlar yerleştirilerek ek yanal rijitlik elde edilmesi sağlanır (Şekil 4.1). Çelik çaprazların kolon-kiriş birleşimlerinde oluşturduğu gerilme birikimleri ise çelik çerçeveler kullanılarak dağıtılır.



Şekil 4.1. Çelik çaprazlarla güçlendirme

Bilal YÖRÜKCÜ [10]; Bu çalışmada, ETİ fabrikasının güçlendirilmesi, tercih edilen yöntem SAP2000 programında test edilmiştir. Yapı kullanım amacının değişiminden kaynaklanan döşeme sehimlerinin giderilmesi için, normal yapıdaki betonarme döşeme üzerine çelik bir döşeme sistemi oluşturulmuştur. Fakat bu yöntem yapının toplam ağırlığını arttırmaktadır. Bunun için çelik çapraz sistemler kullanılarak yapının yanal rijitliğinin ve olası depreme karşı performansın artırılması amaçlanmıştır. İki yöntem arasında seçim yapılmak istenmiştir. Birincisi farklı şekillerde dizayn edilen çelik çaprazlama yöntemleri, diğeri ise yatay yüklere karşı C20 betonu kullanılarak perde yapılması. Çalışma sonucunda çelik çaprazlamanın uygun olduğu seçilmiştir.

#### 4.2 Eleman Bazında Güçlendirme

Yapım hataları, detaylandırma hataları, eksik malzeme ve deprem gibi zorlamalar sonucunda hasar gören betonarme kolon, perde ve kirişlerin onarımı amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklere, genellikle kalıcı deformasyon yapmamış olan elemanların rijitliğinin ve sünekliğinin artırılması amacıyla başvurulmaktadır. Kullanılan yöntemler;

- Betonarme mantolama
- Çelik levha ile güçlendirme
- Lifli polimer sarılması

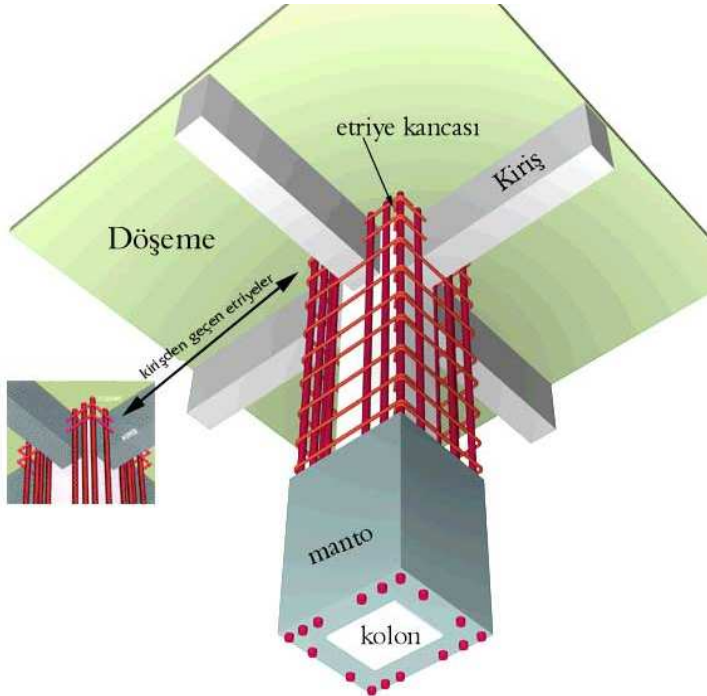
a) Betonarme mantolama:

Bu metot, mevcut kiriş (Şekil 4.2) veya kolon (Şekil 4.3) yeni donatı ve etriyeler ekleyip en kesit alanının genişletilmesiyle uygulanır. Eklenen donatılar mevcut taşıyıcı elemanın kesme ve eğilme kapasitesini artırır. Bu uygulamanın performansı iki duruma bağlıdır [16].

- Birincisi eski ve yeni kesitin birlikte çalışıp, kuvvet aktarımının sağlanabilmesi için yüzey hazırlığı çalışması yapılmasıdır.
- İkincisi ise uygulama tipi ve ankraj detaydır.



Şekil 4.2. Mantolanmış kiriş



Şekil 4.3. Mantolanmış kolon

Barış YILDIZLAR[11]; İstanbul Üniversitesi Cerrah Paşa Tıp Fakültesi Eğitim Hastanesi A3 Bloğu örnek gösterilerek, betonarme yapıların güçlendirilmesi incelenmiştir. Güçlendirme yöntemi olarak mevcut kolonların bir kısmının

mantolanması, öngörülen açıklıklara ve dış akslarda bina dışına doğru her iki yönde betonarme perde duvar ilavesi tercih edilmiştir. SAP2000 programı kullanılarak birçok modellemeler yapılmıştır.

Sonuç olarak; seçilen onarım ve güçlendirme yöntemi oldukça yararlı bulunmuştur. Yer değiştirmeler mevcut yapıya oranla her iki yönde yaklaşık %80 oranında azalmıştır. Güçlendirilmiş durumlar arasında, manto veya ilave perde duvarların farklı elemanlar olarak ve monolitik olarak modellendiğinde bilgisayar modellerinden elde edilen maksimum deplasman değerleri hem x hemde y doğrultusunda artış göstermiştir.

Yağmur KOPRAMAN [12]; Bu çalışmada, mantolama yöntemi ile kesitleri büyütülmüş kolonların davranışı incelenmiştir. Mevcut kolonun köşelerine ilave boyuna donatı ve kolon boyunca yalın kolon donatısı ile aynı sargı donatısı konularak betonarme bir kabuk oluşturulup, üç farklı oranda büyütülmüştür. Her bir kesit için, üçer adet yalın dikdörtgen ve kare kesitli kolonlar üretilmiştir.

Sonuç olarak; kiriş kesitinin dikdörtgen veya kare olması davranış değişikliği göstermemiştir. Güçlendirilmiş elemanlar monolitik elemanın dayanımının ortalama olarak %97'sine ulaşırken onarılmış elemanlar %92'sine ulaşabilmiştir. Eksenel kuvvet altında deney elemanlarının sünek davranış göstermesi beklenmemiştir. Bu görüş göz önünde bulundurulurken, güçlendirilmiş elemanların monolitik elemanlara göre yaklaşık olarak %10 daha fazla sünek davranış gösterirken, onarılmış elemanlarda %90'a ulaşabilmiştir. Tüm elemanların deformasyon enerji tüketimi açısından yeterli bulunmuştur.

M. Fatih ERDEM [13]; Bu çalışmada, Konya-Akşehir İHL binasının 2007 birim fiyatları ile yaklaşık maliyeti hesaplanmıştır. Aynı binaya perde duvar ve betonarme mantolama yöntemi uygulanarak tekrar maliyeti hesaplanıp güçlendirmenin uygun olup olmayacağına karar verilmiştir. Sonuç olarak güçlendirme maliyeti yapım maliyetinin %50'si olarak hesaplanmıştır. Bu oran da güçlendirme maliyetine uygun görülmüştür.

b) Çelik levha ile güçlendirme:

Bu yöntem ile kolon ve kiriş içinde olması gereken sargı donatısı, bantlar kullanılarak elemanın dışında sağlanıyor. Bu şekilde kolonun hem eksenel yük kapasitesi arttırılıyor hem de daha yüksek süneklik elde ediliyor. Çelik manto (Şekil 4.4) , katlar arası süreklilik sağlanamadığı için kolonun eğilme kapasitesine bir katkı sağlamamaktadır.



Şekil 4.4. Çelik levha ile güçlendirilmiş kolon ve kiriş

Mehmet ARSLAN [14]; Bu çalışmada, simetrik yerleştirilmiş eşit iki tekil yük altında denenen kirişler 15cmx25cm dikdörtgen kesitli ve daha sonra 0.2cmx15cm kesitli ya da 0.4cmx15cm kesitli çelik levhalarla güçlendirilmiş ve yüksüz olarak ya da yük altında onarılmıştır. Dokuz kirişten teki referans kiriş olup diğerleri;

- Levha kalınlığı ince, boyu kısa olan çelik levhalarla güçlendirilmiş (yüksüz, başlıksız, kaynaklı)
- Levha kalınlığı ince, boyu uzun olan çelik levhalarla güçlendirilmiş (yüksüz, başlıksız, kaynaklı)

- Levha kalınlığı ince, boyu uzun olan elik levhalarla güçlendirilmiş (yüksüz, başlıksız, kaynaklı)
- Levha kalınlığı ince, boyu uzun olan elik levhalarla güçlendirilmiş (yüksüz, eğik başlıklı, kaynaksız)
- Levha kalınlığı ince, boyu uzun olan elik levhalarla güçlendirilmiş (yüksüz, dik, başlıklı, kaynaksız)
- Levha kalınlığı kalın, boyu uzun olan elik levhalarla güçlendirilmiş (yüksüz, dik, başlıklı, kaynaksız)
- Onarım yapılmış, levha kalınlığı ince, boyu uzun olan elik levhalarla güçlendirilmiş (yüksüz, dik, başlıklı, kaynaksız)
- Onarım yapılmış, levha kalınlığı ince, boyu uzun olan elik levhalarla güçlendirilmiş (yüklü, dik, başlıklı, kaynaksız)

Sonuç olarak, kısa levhayla güçlendirilmiş kirişlerde başarısız olunmuştur. Plaka boyu hem uzatılmasıyla beraber uçlarının da tutturulması gerekmektedir. Levhaların iki ucunun da eski donatıya kaynaklanıp ya da başlık yapılarak tutturulduğunda çok başarılı dayanımlar sağlanmıştır. Levha kalınlığı arttıca dayanım artmamakla birlikte tehlikeli davranışlara yol açabilmektedir. İşçiliğin ncem taşıdığı yöntemlerden biri olduğu ortaya çıkmıştır. İyi düzenlenmiş, iyi yapıştırılmış levha çok iyi çatlak kontrolü yapmaktadır. Fakat levhaların korozyona karşı iyi bir şekilde korunması gerekmektedir. Levhaların açıkta kalması yangın sırasında olumsuz sonuçlar doğuracağı belirtilmiştir.

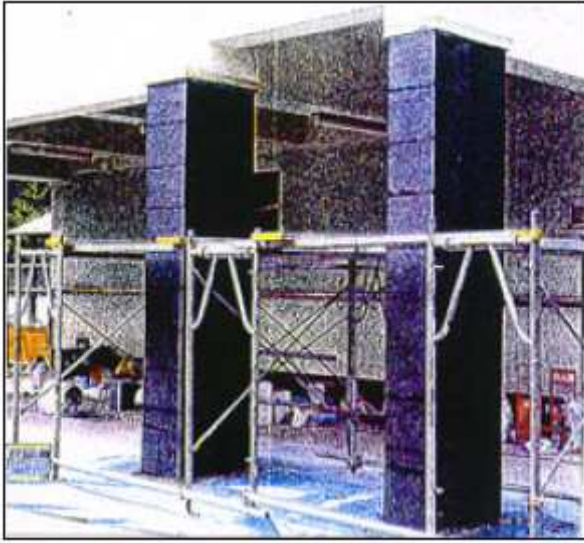
#### c) Lifli polimerler ile sargılanması

LP tabakasının kolon, kiriş ve perdelerin çevresine, lifler enine donatılara paralel olacak şekilde, sarılması ve yapıştırılması ile sargılama sağlanır (şekil 4.5, 4.6, 4.7). LP sargısı ile betonarme elemanın süneklik kapasitesi, kesme ve basınç dayanımları ile boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda donatı kenetlenme dayanımı arttırılır. LP sargılama ile yapılan güçlendirmelerde tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalı ve sargı sonunda en az 200 mm bindirme

yapılmalıdır. LP sargısı dikdörtgen yapı elemanlarında köşelerinin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanır. LP uygulaması üretici firma tarafından önerilen yöntemle uygun olarak gerçekleştirilmelidir.



Şekil 4.5. Kirişlerin LP sargı ile güçlendirilmesi



Şekil 4.6. Kolonların LP sargı ile güçlendirilmesi





Şekil 4.7. Dolgu duvarların LP sargı ile güçlendirilmesi

H.Murat TANARSLAN [18]; Bu çalışmada CFRP şeritlerle güçlendirilmiş kirişlerin, depremi benzeştiren tersinir tekrarlanan yükleme altındaki davranışları incelenmiştir. 3/5 geometrik ölçekli T kesitli 11 adet kesme donatısı olmayan kiriş kullanılmıştır. Deney elemanlarının teki referans numune olarak seçilip, diğerleri sırasıyla;

- Şerit şeklinde 50 mm genişliğinde, 285 mm uzunluğunda 60 mm aralıklarla epoksi harcı ile yapıştırılmıştır
- Şerit şeklinde 50 mm genişliğinde, 285 mm uzunluğunda 30 mm aralıklarla epoksi harcı ile yapıştırılmıştır
- Şerit şeklinde 100 mm genişliğinde, 285 mm uzunluğunda 30 mm aralıklarla epoksi harcı ile yapıştırılmıştır
- Şerit şeklinde 100 mm genişliğinde, 285 mm uzunluğunda 60 mm aralıklarla epoksi harcı ile yapıştırılmıştır
- U biçimli 50 mm genişliğinde, 690 mm uzunluğunda 60 mm aralıklarla epoksi harcı ile yapıştırılmıştır
- L biçimli 50 mm genişliğinde, 405 mm uzunluğunda 60 mm aralıklarla epoksi harcı ile yapıştırılıp, ankraj ile sabitlenmiştir.
- U biçimli 50 mm genişliğinde, 690 mm uzunluğunda 30 mm aralıklarla epoksi harcı ile yapıştırılıp, ankraj ile sabitlenmiştir.

- L biçimli 100 mm genişliğinde, 405 mm uzunluğunda 60 mm aralıklarla epoksi harcı ile yapıştırılıp, ankraj ile sabitlenmiştir
- U biçimli 50 mm genişliğinde, 930 mm uzunluğunda 30 mm aralıklarla epoksi harcı ile yapıştırılıp, ankraj ile sabitlenmiştir.

Sonuç olarak; kirişlerin yan yüzeylerini tamamen kaplamayan CFRP şerit uygulaması etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Referans kirişe göre kesme dayanımındaki artış, 1,49-2,36 kat aralığında artış göstermiştir. 50 mm şerit genişliğinin, 100 mm çıkartılmasında kesme dayanımındaki artış 1,11-1,14 kat aralığında artış göstermiştir. Şerit aralıklarının 60 mm'den 30 mm'ye düşürülmesi çatlak sayısını ve genişliğini azaltmakla birlikte kesme dayanımını 1,03-1,24 aralığında arttırmıştır. 10 numaralı deney elemanı ile 8 numaralı deney elemanından %31 daha fazla dayanım göstermiştir. Ankraj uygulanmayan kirişlerde CFRP şeritler betonarme yapıdan kolayca ayrılmıştır. Ankraj uygulanan elemanlarda max yük dayanımına ulaşılırken rijitliği %19 azaltıp, çatlak sayısı artmıştır. Max yüke ulaştığı için CFRP şeritlerde kalıcı deformasyonlar oluşmuştur.

Nihat ÇETİNKAYA [19]; Bu 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 CFRP ile sargılama yöntemiyle güçlendirilmiştir. Hasar görmüş deney elemanlarının her çatlağın üst ve alt bölgelerine ikişer adet matkapla delik açılmıştır. Deliklerin içi iyice temizlendikten sonra özel enjeksiyon dübeli yerleştirilip, çatlaklar özel epoksi reçinesi ile kapatılmıştır. 0.13 mm kalınlığında tek yönlü elyaf ile sarılmıştır numuneler. Taşıma gücünü kaybeden elemanların FRP kullanılarak onarım güçlendirilmesi halinde, başlangıç dayanımlarının 2,5-4 kat artmıştır.

Zuhal YAZGI [20]; Bu çalışmada; betonarme kirişlerin CFRP ve GFRP güçlendirilerek yük altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Dokuz adet kirişten üçü referans kiriş seçilmiş, üçü çift kat CFRP ikinci katı her iki baştan 38 cm eksik olacak şekilde güçlendirilmiş ve son üçlüde çift kat GFRP ikinci katı her iki baştan 38 cm eksik olacak şekilde güçlendirilmiştir. Sonuç olarak iki malzemede de ikinci kat yapıştırılan malzemenin bitiş noktasında çatlaklar meydana gelmiştir.

Kirişlerin yer değiştirme değerleri tanık 43,8 mm, CFRP 22,8 mm ve GFRP 32 mm olarak gerçekleşmiştir. Her iki yöntemde başarılı bulunmuştur. Fakat karbon elyafın maliyetinin daha yüksek olmasından dolayı cam elyafın tercih edilmesi önerilmiştir.

İ.Murat CILIZ [21]; Bu çalışmada kesme dayanımı yetersiz, düşük beton dayanımlı betonarme kirişlerin dıştan CFRP levha ve şeritler yapıştırılarak güçlendirilen 6 adet T kesitli kiriş elemanlarının davranışları incelenmiştir. Bu kirişlerden teki referans numune olup diğerleri;

- 50 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin “U” şeklinde 80 mm aralıklarla yapıştırılıp, ankraj sistemi ile kirişe sabitlenmiştir.
- 100 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin “U” şeklinde 130 mm aralıklarla yapıştırılıp, 2 adet ankraj yan yana gelecek şekilde kirişe sabitlenmiştir.
- Bu kirişten farklı olarak kirişin yan yüzeylerinin CFRP levhalar ile güçlendirilmesi
- Yan yüzeylere yapıştırılan CFRP levhaların 16 adet ankraj ile sabitlenmiş olması.
- 100 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin “U” şeklinde 130 mm aralıklarla yapıştırılıp, ankraj ile sabitlenmemiştir.

Sonuç olarak, düşük beton dayanımı CFRP elemanların beton yüzeyinden daha kolay soyulmasına neden olmuştur. Dayanımı en düşük olan betonarme kiriş ankraj sistemi olmayan kiriş olmuştur. Bu deney elemanın dayanımı %26 gibi düşük bir dayanım göstermiştir. Aynı özelliklere sahip ankraj uygulaması yapılan kirişlerde 2,42 kat daha büyük dayanım gösterilmiştir. Yan yüzeylere yapıştırılan CFRP levhalarda dayanımları 1,90 ile 2,39 kat daha fazla dayanım göstermiştir. Uygulanan yöntemle elemanlar sünek bir davranış gösterememiş ve beklenen deplasman değerlerine ulaşamamıştır. Uygulanan ankraj sistemi oldukça iyi bir performans sergilemiştir.

## **BÖLÜM 5. DENEY ÇALIŞMASI**

Yapıların güçlendirilmesi sadece deprem sonrası hasar gören yapılar için değil, aynı zamanda kullanım amacı değişen ve özellikle korozyon nedeniyle taşıma gücünü kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya gelen yapılar içinde gereklidir [22].

Güçlendirme için betonarme, yeni teknoloji malzemeleri olan karbon elyaf ve cam elyaf kullanılabilir. Elyaf sarma yöntemiyle betonarme elemanın davranışı iyileştirilebilir.

Bu çalışmada farklı beton sınıflarına ait beton numunelerinin 4 farklı şekilde (tek kat, çift kat, tek kat + 45° eğimli, tek kat + 45° farklı yönlerde eğimli) sarılarak kendi aralarında ve şahit numuneler ile arasındaki;

- Çatlak oluşumunda GFRP ve epoksi harcın gösterdiği davranış
- Basınç dayanımları
- Gerilme-zaman değerleri
- Yük-zaman değerlerinin farkları incelenmiştir.

### **5.1 Deney Elemanları ve Özellikleri**

#### **5.1.1 Beton**

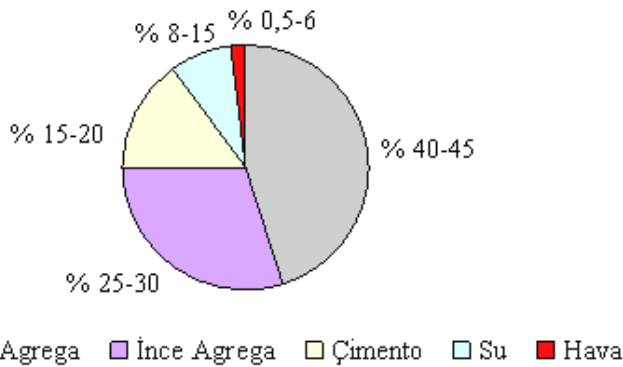
Çimento, su, agrega, ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karılmalarıyla elde edilen beton, bu malzemelerin karılmasını takip eden üç-dört saat gibi kısa bir süre içerisinde, plastik (şekil verilebilir) bir karışım durumundadır; zaman ilerledikçe, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların daha çok gelişmesiyle, katılaşp sertleşmektedir. Betonun plastikliğini koruduğu süredeki durumu, “taze

beton”, katılaşma olayından sonraki safhadaki durumu ise,”sertleşmiş beton” olarak adlandırılır [23].

Çağdaş günlük yaşamda, betonla karşılaşmayan veya betondan yapılmış yapılardan yararlanılmayan tek bir gün dahi yoktur. Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en yaygın ve en popüler malzeme durumundadır. Bunun nedeni, diğer yapı malzemelerine göre betonun sahip olduğu üstünlüklerden ileri gelmektedir:

- Karıldıktan sonra bir süre şekil verilebilir durumunu koruyan beton,
- İstenilen şekil ve boyutlardaki kalıplara yerleştirilebilmekte ve böylece,
- İstenilen şekil ve boyutlarda beton elde edilebilmektedir.
- Sertleşmiş beton ahşap gibi yanmamakta, çelik gibi kolayca korozyona uğramamakta, kısacası, çevrede oluşan yıpratıcı etkenlere karşı daha büyük dayanıklılık göstermektedir [24].

Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak hacimsel dağılımı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Betonun oluşturan malzemelerin hacimsel dağılımı

### Agregat

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak %60–75 civarında yer işgal eden agregat önemli bir bileşendir.

Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri ( deniz kabuğu, odun, kömür... gibi)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir [26].

Çimento;

Çimento esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içersinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir.

Diğer bağlayıcı maddeler gibi çimentolar da, CaO, MgO gibi alkalın öğeler ve SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi hidrolik öğelerden oluşur. Alkalın ve hidrolik öğelerin oranları da bağlayıcı maddenin niteliğini belirler [25].

Çimento tipleri:

Yeni genel çimentolar TS EN 197-1'de "CEM çimentosu" olarak adlandırılıyorlar. Ayrıca bir klinker standardı olmadığı için klinkerde aranan özellikler de çimento standardının içine alınmıştır. İlgili tanımlamalar şöyle özetlenebilir:

CEM Çimentosu: Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO<sub>2</sub> toplamının kütlece en az % 50 olması gereken çimentodur. Bileşimi portland çimentosu klinkeri, alçı ve çeşitli mineral katkılardan oluşabilir.

Portland Çimentosu Klinkeri: Kalker ve kil gibi hammaddelerin CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi oksitlerini içeren, hassas bir orantı ile birleştirilip ince öğütülmüş karışımının (farinin) döner fırında 1400 –1500 C sıcaklıkta pişirilmesi sonucu elde edilen yaklaşık 1 cm çapında topaklıklardır. Kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikat içermeli, CaO/SiO<sub>2</sub> oranı 2,0 dan az olmamalıdır. Ayrıca MgO içeriği en fazla % 5 olmalıdır.

TS EN 197-1 standardı genel amaçlı çimentoları (CEM çimentoları) 5 ana tip içerisinde toplamaktadır.

- CEM I Portland çimentosu
- CEM II Portland –kompoze çimento
- CEM III Portland yüksek fırın cürüflü çimento
- CEM III Portland yüksek fırın cürüflü çimento
- CEM V Kompoze çimento

Su

Beton üretiminde kullanılan suyun değişik işlevleri vardır. Bunlar;

1. Karışım suyu olarak nitelendirilen suyun;

- Kuru haldeki çimento ve agregayı işlenebilir hale getirmek.
- Çimento ile kimyasal reaksiyona girerek plastik kütlede serleşmesini sağlar.

2. Kür suyu olarak nitelendirilen suyun;

- Yerine yerleştirilen betonun yüzeyini ıslak tutarak içerisindeki suyun buharlaşmasını önlemek.
- Beton içerisinde kimyasal reaksiyonların gelişebilmesi için yeterli miktarda suyun bulunabilmesini sağlamak.

3. Yıkama suyu olarak nitelendirilen suyun;

- Beton karışımına girecek agregaların yıkanmasını ve betonun karılma işlemi tamamlandıktan sonra betonyerin temizlenmesini sağlamak.

Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanımı uygun olmasına rağmen aranan şartlardan değildir. Birtakım ön deneyler yapılması şartıyla, içilemeyen sularla da gayet kaliteli beton üretilebilir [23].

Karışım suyunun uygun kalitede olup olmadığını araştırmak için üç değişik yöntem uygulanmaktadır. Bunlar;

- Kimyasal analiz yöntemi
- Karışım suyunun çimento priz süresine etkisinin araştırılması yöntemi
- Karışım suyunun beton dayanımına etkisinin araştırılması yöntemi [23].

#### Katkı Malzemesi

Betonun özelliklerini geliştirmek için üretim sırasında veya dökümden önce transmiksere az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerinin kökenine göre; kimyasal ve mineral olmak üzere ikiye ayrılır.

#### 1) Kimyasal katkılar;

Kimyasal katkılar, TS EN 934-2'ye göre belirlenir. Belli çeşitleri aşağıda sıralanmıştır.

#### Su azaltıcılar ( Akışkanlaştırıcılar )

Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper olarak ayrılırlar.



### Priz geciktiriciler

Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdırlar.

### Priz Hızlandırıcılar

Priz geciktiricilerin aksine, bu katkılar betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

### Antifrizler:

Suyun donmasını zorlaştırır ve don neticesi çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamaya engel olurlar. Bu katkıların betondaki miktarı hava sıcaklığına göre ayarlanabilir.

### Hava Sürükleyici Katkılar:

Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.

### Su Geçirimsizlik Katkıları:

Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir. Kimyasal katkılar, yukarıda bahsedilen etkilerinden dolayı bütün inşaat sektöründe betonun ayrılmaz parçası olmuştur

## 2) Mineral Katkılar:

Çimentoda kullanılan mineral katkı türleri ve TS EN 197-1 de ön görülen bileşimler aşağıdaki gibidir.

**Doğal puzolan:** Doğada bulunan puzolanik özellikte madde ve kayalardır. Genellikle volkanik kökenlidir. “Tras” olarak adlandırılır. Doğal puzolanlarda standartlara göre silis miktarı en az %25 olmalıdır.

**Kalsine edilmiş doğal puzolan:** Puzolanik özellikleri ısı işlem uygulanarak kazandırılmış olan doğal madde ve kayalardır. Reaktif silis içerikleri en az %25 olmalıdır.

**Granüle yüksek fırın cürufu:** Yüksek fırında pik demir elde edilirken demir cevheri içindeki  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeren gayrisafıklar yumşatıcı olarak katılan kalkerdeki  $\text{CaO}$  tarafından bağlanır. Bu şekilde oluşan cürufun bileşimi portland çimentosunda büyük benzerlik gösterir. Fırın çıkışında hızla soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca içindeki  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  ve  $\text{SiO}_2$  miktarları toplamı yine en az 2/3 oranında olmalıdır.  $(\text{CaO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$  oranının ise 1,0 den fazla olması istenmektedir.

**Uçucu kül:** Çok ince öğütülmüş kömür yakan fırınların baca gazlarına karışan ve çoğunlukla çimentodan ince olan kül tanecikleri elektrostatik yöntemlerle tutularak ayrılırlar. Genellikle kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde elde edilir. Kızdırma kaybı 1 saatte %5'i geçmemelidir. Kızdırma kaybı %5-7 arasında ise kül koşulu çimentoda kullanılabilir.

**Silisli uçucu kül:** Reaktif  $\text{CaO}$  oranı %10'dan az olan puzolanik özellikli uçucu küldür. Serbest  $\text{CaO}$  içeriği %1'den fazla olmamalıdır. Serbest  $\text{CaO}$  değeri %2,5'e kadar olan küller koşullu olarak kullanılabilirler. Reaktif  $\text{SiO}_2$  %25'e kadar olan küller koşullu olarak kullanılabilirler. Reaktif  $\text{SiO}_2$  %25'den fazla olmalıdır.

Kalkersi uçucu kül: Reaktif CaO oranı % 10'dan fazla olan bağlayıcı ve/veya puzolanik özellikli uçucu küldür. Reaktif CaO miktarı % 15'e kadar olan küllerde reaktif SiO<sub>2</sub> % 25'den fazla olmalıdır. Reaktif CaO miktarı % 15'den fazla olan küller koşullu olarak kullanılabilirler. Hacim genişmesi 10 mm'yi geçmemelidir.

Pişmiş şist: Yaklaşık 800 °C da pişirilen şist bileşimi itibarı ile puzolanik ve bağlayıcı özellikler gösterir. Çimento gibi denendiğinde 28 günlük basınç dayanımı en az 25 MPa olmalıdır. Hacim genişmesi 10 mm'yi geçmemelidir.

Kalker: CaCO içeriği en az % 75 olmalıdır. Kil içeriği % 1,2 'yi geçmemelidir. Standartta toplam organik karbon (TOC) değerinin en fazla %0,2 (LL) ve %0,5 (L) olarak sınırlandırıldığı iki sınıfa ayrılmıştır.

Silis dumanı: Silisyum ve ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsın kömürle indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli baca tozudur. Reaktif silis içeriği en az %85 olup BET özgül yüzeyi en az 15 m/g olmalıdır. Kızdırma kaybı 1 saatda %4'ü geçmemelidir.

#### Basınç dayanım sınıfları

Betonun basınç mukavemeti standart kür koşullarında saklanmış (20 °C ±2°C kirece doymun su içerisinde), 28 günlük silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küp (15 cm kenarlı) numuneler üzerinde ölçülür.

Hazır betonda basınç dayanımı sınıfları, karşılığı silindir ve küp mukavemetleri aşağıdaki Tablo 5.1.' de özetlenmiştir (TS 11222).

Tablo 5.1. Beton basınç dayanımları

Basınç Dayanım Sınıfı	Fck Silindir (N/mm <sup>2</sup> )	Fck Küp (N/mm <sup>2</sup> )
C 14	14	16
C 16	16	20
C 18	18	22
C 20	20	25
C 25	25	30

Tablo 5.1.'in devamı:

C 30	30	37
C 35	35	45
C 40	40	50
C 45	45	55
C 50	50	60
C 55	55	67
C 60	60	75
C 70	70	85
C 80	80	95
C 90	90	105
C 100	100	115

### Kıvam sınıfları

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Kıvam, betonun kullanım yerine (kalıp geometrisi, demir sıklığı, eğim), betonu yerleştirme, sıkıştırma, mastarlama imkanlarına ve işçiliğine, şantiyede beton iletim imkanlarına (pompa, kova) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Hazır Beton Standardı TS EN 206' da beton kıvamı çökme, vebe, sıkıştırılabilme ve yayılma sınıflarına göre belirlenir. Çökme sınıfları S1, S2, S3, S4 ve S5 sembolleri ile tanımlanan bu kıvamlar çökme (slump) konisi deneyi ile ölçülmektedir (Tablo 5. 2).

Tablo 5.2. Beton kıvam sınıfları

Kıvam Sınıfı	Çökme ( mm )
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	≥220

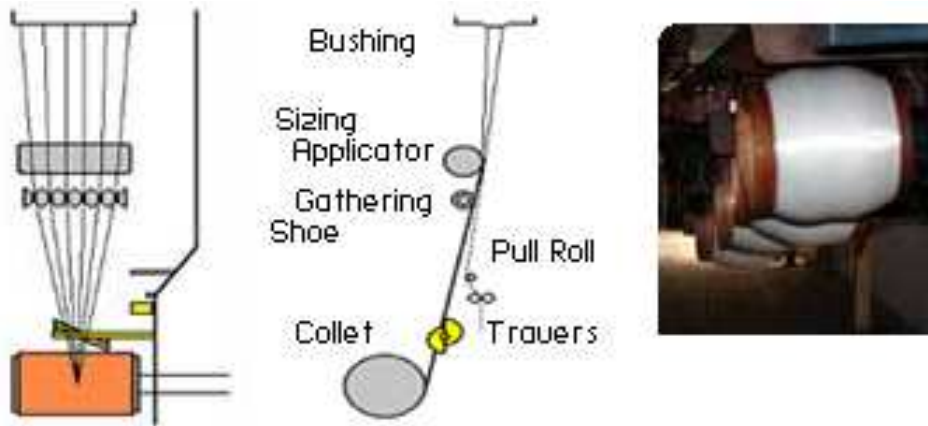
### 5.1.2 Cam elyaf

Cam elyafı kolemanit, silika, alüminyum gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Ham madde bileşimi, çok ince öğütülerek karıştırılıp, homojen bir karışım elde edilir. Yaklaşık 1600 °C sıcaklıkta çalışan bir ergitme fırınına beslenir. Fırın içinde, karışım yavaşça sıvı hale geçer (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. Cam elyaf ham maddelerinin yüksek sıcaklıkta sıvı hale geçmesi

İşleme uygun olarak yerleştirilmiş bir sarma sistemi ile 50 m/sn gibi yüksek bir hız ile daha sonraki uygulama türüne bağlı olarak 5 ile 20 mikron çapında çekilen cam lifleri bir mandal üzerine sarılarak “kek” adı verilen bir bobin üzerinde toplanır (Şekil 5.3).

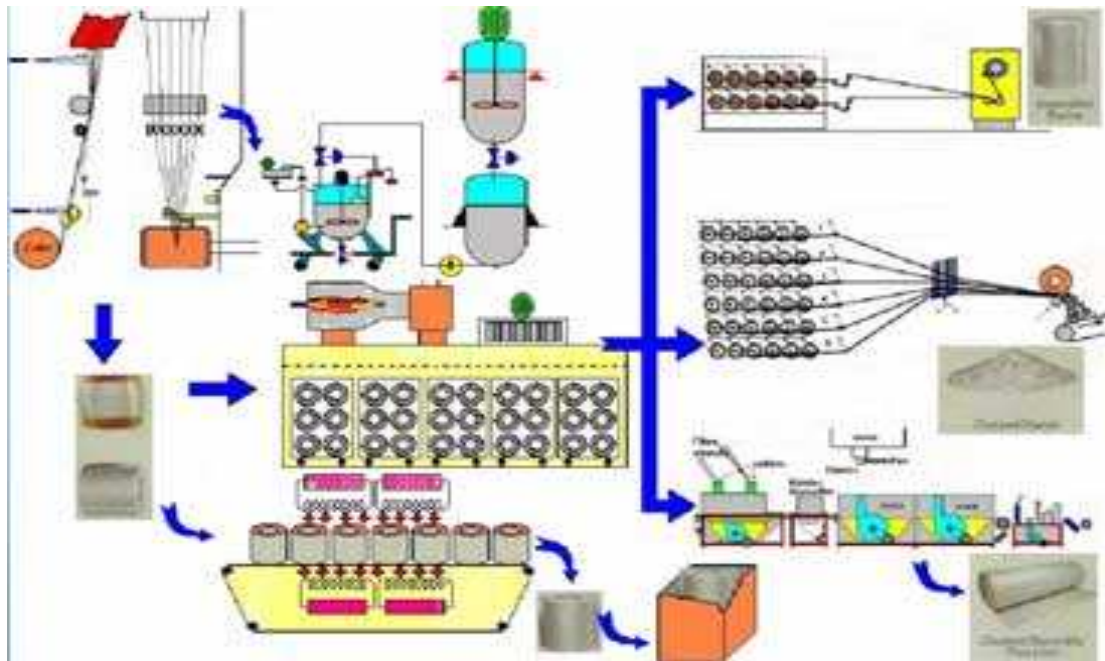


Şekil 5.3. Cam liflerin bobinlere sarılması işlemi

Cam lifleri, demet haline getirilmeden önce, bağlayıcı adı verilen bir kimyasal bileşim ile kaplanır. Bağlayıcı cinsi, kompozit malzeme içinde cam elyafının performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Kompozit mukavemeti, reçine-cam bağının kuvveti ile doğru orantılıdır. Bu bağın kuvveti, kullanılan bağlayıcı içindeki bağlama gruplarının cinsine bağlıdır. Bağlayıcı, “film oluşturucu”, “bağlama grupları”, “antistatik katkı”, “plastifiyan”, “lübrikant” adı verilen malzemelerin karışımından oluşmaktadır.

Kek adı verilen bir bobin üzerine sarılan cam lifleri kurutulduktan sonra, kırılmış demetten keçe, çok uçlu fitil, kırılmış demetler gibi cam elyafı ürünlerinin elde edilmesi amacıyla işleme tabi tutulur (Şekil 5.4.).

Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımının artması için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Cam elyafı ile matris arası yapışma gücünü arttıran “silan” bazlı ve elyaf üzerinde ince film oluşturan kimyasalların sonra kullanım alanları artmıştır. Kompozisyonlarına bağlı olarak, değişik cam elyafı çeşitleri vardır. Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri Tablo 5.3.’ te verilmiştir.



Şekil 5.4. Cam liflerin bobinlere sarıldıktan sonraki işlemleri

Tablo 5.3. Cam elyafların mekanik özellikleri ve katkı madde yüzdeleri

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik Modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme Mukavemeti (MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl Genleşme Katsayısı (m/m/Cx10 <sup>6</sup> )	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama Sıcaklığı ( C )	727.0	749.0	841.0	970.0
Katkı Malzemeleri ( % )				
SiO <sub>2</sub>	72.0	64.4	52.4	64.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na <sub>2</sub> O,K <sub>2</sub> O	14.2	9.6	0.8	0.3

Tablo 5.3.'ün devamı:

B2O3	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

A Cam- A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksektir. Pencerelede ve şişelerde en çok kullanılan cam çeşididir. Kompozitlerde çok fazla kullanılmaz.

C Cam- Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir. Depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.

E Cam- Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suyu karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.

S + R Cam- Yüksek mukavemetli ve yüksek maliyetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar [28].

Cam elyafların genel özellikleri:

- Çekme mukavemeti yüksektir. Birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
- Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
- Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyaflı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemim etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri bu etkiyi ortadan kaldırabilir.
- Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyaflı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanırırlar.

Cam elyaf çeşitleri:

Cam lifi kullanım amacına uygun ticari ürünler halinde üretilmektedir. Bunlar; sürekli cam lifi demeti ve kırılmış cam lifi demeti olmak üzere ikiye ayrılır.

Fitil

Devamlı yapıya sahip bir cam elyafı takviye malzemesidir. Çok sayıda delik içeren kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan doğruya sarılması ile “Direkt Sarma Fitol” olarak üretilbildiği gibi, daha az sayıda delik içeren kovanlardan üretilen cam elyafı demetlerinin birbirine paralel olarak bükülmeden sarılması ile “Bileşik Fitol” olarak ta üretilabilir ( Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Direk sarma fitil – Bileşik fitil

Fitol ürünleri 10-24 mikron çapında liflerden oluşur ve genellikle 1000 metre uzunluğu 600,1200,2400 ve 4800 gram ağırlığında olacak şekilde üretilir. Kullanım yeri ve prosesine bağlı olarak, sertlik, lifler arasında eş gerilim, kayganlık ve kolay kırılabilme gibi farklı özellikler fitillere kazandırılabilir.

Özel olarak üretilen ve “Spun roving” adı verilen düğümlü fitilde ana doğrultuya dik yönde takviye sağlayan ilmekler bulunmaktadır. Bunun amacı; tek yönde takviye edilmiş pultruzyon ürünleri gibi kompozitlerde yanal mukavemeti arttırmaktır. Genellikle “R” camı elyafından yapılmış fitillere en yaygın olarak epoksi reçine emdirilerek yapılan “Stratipreg veya Prepreg” ismi verilen bir diğer cam elyafı takviye malzemesi de elyaf sarma metodu ile yüksek mekanik dayanım aranan depo ve borularda otoklavda kalıplanmak üzere kullanılmaktadır.



### Cam elyafı iplik

Cam elyafı demetlerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen takviye çeşididir (Şekil 5.6). Genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılır [29].



Şekil 5.6. Cam elyafı iplik

### Dokunmuş fitiller

Dokuma amacı ile üretilmiş fitillerin belirli bir düzen içinde dokunması ile yapılan cam elyafı takviye malzemesidir. Dokunmuş fitiller, birbirlerine 90 derecelik açı ile ve atkı ve çözgüsünde aynı teksde fitillerin kullanıldığı kumaşlar olarak tanımlanmaktadır. Farklı ağırlık (300-1200 gr/m<sup>2</sup>) ve enlerde (125-300 cm) üretilen kumaşlar, cam tülü veya keçe ile dikilerek kombine ürün haline getirilerek de kullanılmaktadır ( Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Dokunmuş fitiller

Dokunmuş fitiller; otomotiv, denizcilik gibi sektörlerde el yatırması uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca, özel dokuma tipleri ile fenolik reçine emdirilerek kesme taşlarının üretiminde de kullanılmaktadır.

### Dokunmuş cam kumaş

Cam elyafı ipliklerinden dokunmuş kumaşlardır (Şekil 5.8). Başlıca uygulamaları, baskılı devre üretimi, devre kesici tüpleri üretimi gibi elektrik araç gereç üretimidir.



Şekil 5.8. Dokunmuş cam kumaş

### Dikilmiş kumaşlar

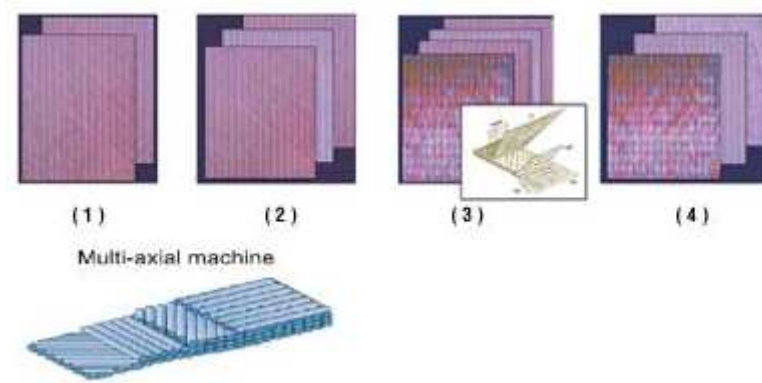
Diğer türlerine göre pazara yeni katılmış bir takviye türüdür. Dokuma prosesi söz konusu olmadığından yüzey performansı yüksektir. Takviye için kırılan elyaflar, takviye performansına katkıda bulunmayan polyester iplik ile dikilerek bir arada tutulmaktadır. Aynı ağırlıktaki bir dokuma ile karşılaştırıldığında daha iyi mekanik değerler elde edilmektedir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Dikilmiş kumaşlar

### Tek yönlü fitil kumaşlar

Çok yönlü mukavemet sağlaması amacıyla dokunmamış fitiller ile devamlı fitillerin iki (biaxial) veya üç katlı (triaxial) oluşturulması ve sonrasında bu katların polyester iplik ile dikilmesi ile elde edilen dokunmamış (non-woven) fitil ürünüdür. Bu kumaşlarda, 45 veya 90 derecelik açılarının birarada kullanılmasının yanısıra keçe ile de dikilmesi mümkündür (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Tek yönlü fitil kumaş çeşitleri (1- İkili açılı 2- Üç açılı 3- Dört açılı 4- İkili açılı ve keçe)

### Devamlı demetli keçe

Kovandan akan liflerin, düzgün dağılımlı tabakalar oluşturacak şekilde, yayılmasından oluşan cam elyafı takviye çeşididir. Bu şekilde yayılan lifler, ikinci bir bağlayıcı kullanılarak bir arada tutulur. Bağlayıcı cinsi ve miktarı öngörülen uygulama alanına bağlıdır. Başlıca kullanım alanları; önceden şekillendirilerek (preform) veya şekillendirilmeden maçalı kapalı kalıplama, pultruzyon, devamlı levha ve baskılı devre plakası üretimleridir. Ayrıca köpük takviyesinde de kullanılır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Devamlı demetli keçe

### Kırılmış demetten keçeler

Bu cam elyafı takviye çeşidi, 50 mm uzunluğunda kırılmış cam elyafı demetlerinin, stirende çözünür bir bağlayıcı ile birarada tutulmasından oluşmaktadır (Şekil 5.12.). Kullanılan bağlayıcı miktarı, proses gereklerine ve bitmiş ürün özelliklerine bağlı olarak % 3-10 arasında değişmektedir. Kırılmış demetten keçeler, açık kalıplama uygulamaları ve levha üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 5.12. Kırılmış demetten keçeler

### Kırılmış demetler

Cam elyafı demetlerinin 3-12 mm uzunluğunda kırılmış şeklidir (Şekil 5.13.). Termoplastik granüllerin ve termoset esaslı kalıplama yöntemlerinden, BMC üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 5.13. Kırılmış demetler

### Öğütülmüş lifler

Öğütme işlemi sonucunda, uzunlukları, 0.1 -0.2 mm'ye düşürülmüş cam elyafı takviye malzemesidir (Şekil 5.14). Bu liflerin çapları 10-17 mikron arasında değişir. Öğütülmüş liflerin başlıca kullanım alanı termoplastik reçinelerin ve poliüretan reçinenin takviyesidir. Kompozit'in rijitlik, boyut stabilitesi ve darbe dayanımı gibi özelliklerini yükseltmek için öğütülmüş lif boyu çok kısa olduğundan, bu takviye malzemesi, diğer kompozitlerin takviyesinde kullanılmaz [29].



Şekil 5.14. Öğütülmüş lifler

## 5.2 Deneysel Çalışma

### 5.2.1 Deneyde kullanılan malzemeler ve özellikleri

Deney numuneleri basınç dayanımlarına göre 3 grupta toplanmıştır. Bu amaçla ortam sıcaklığı 26 °C olan laboratuvar da üç farklı beton sınıfında, toplam 60 adet silindir numune üretilmiştir. Her beton sınıfa ait 20'şer adet silindir numunelerinin 1/5'i şahit numune olmak üzere kalan numuneler, Epoksi harç ve cam elyaf kullanılarak, farklı sarım şekillerin de sarılmışlardır.

Bu deneyde ki, beton üretiminde kullanılan; Agregat, çimento, su, katkı malzemesi ile sarım aşamasında kullanılan cam elyaf ve epoksinin özellikleri, beton karışım miktarları ve silindir numunelerin üst başlıklarına, Çimento / su karışımdan yapılan başlıklama harcı miktarı aşağıda ki tablolarda verilmiştir.

#### Agregat Özellikleri

Beton karışımında agregat olarak 1 ve 2 No'lu mıcır, taş tozu ve kum kullanılmıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Deneyde kullanılan agregatlar

## Çimento özellikleri

Beton karışımında PÇ 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun üretici Nuh Çimento firması tarafından sağlanan fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 5.4' te verilmiştir. Kullanılan çimento TS EN 197-1 CEM I 42.5 R uygundur.

Tablo 5.4. Çimento özellikleri

Kimyasal Analiz Sonuçları %		Standartlar	
SiO <sub>2</sub>	20,36		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,56		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5		
CaO	64,77		
MgO	1,06		
SO <sub>3</sub>	2,79	≤4.0	
Çözünmeyen Kalıntı	0,64	≤5.0	
Kızdırma Kaybı	1,89	≤5.0	
Serbest Kireç	1,00		
Toplam Alkali	0,56		
Klorür	0,0079	≤0.10	
Minerolojik Bileşim %			
C <sub>3</sub> S	61,28		
C <sub>2</sub> S	12,15		
C <sub>3</sub> A	6,16		
C <sub>4</sub> AF	10,65		
Fiziksel Analiz Sonuçları %		Standartlar	
Özgül Ağırlık ( g /cm <sup>3</sup> )	3,14		
Kıvam (Su/Çimento)	27,3		
Donma Süresi (Dak.)	Başlangıç	158	≥ 60
	Son	220	
Hacim Sabitliği (mm)	1	≤ 10	
İncelik %			
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3122		
200 µm elek bakiye			
90 µm elek bakiye	0,2		
45 µm elek bakiye			
32 µm elek bakiye	14,3		
Dayanım Sonuçları MPa		Standartlar	
2.gün	28,4	≥ 20,0	
7.gün	49,0		
28.gün	57,8	≥ 42,5 ≤ 62,5	

## Su Özellikleri

Beton karışımında kullanılan suyun özellikleri Çam Su firmasından alınmıştır (Tablo 5.5.). Kullanılan suyun TS EN 1008: 2003 uygundur.

Tablo 5.5. Suyun özellikleri

Deney Adı	Sonuç
Sülfat Muhtevası ( SO42- )	15 ppm ( mg / L )
Klorür Muhtevası ( Cl )	43 ppm ( mg / L )
Sodyum Oksit ( Na2O ) Miktarı	44 ppm ( mg / L )
Potasyum Oksit ( K2O ) Miktarı	4 ppm ( mg / L )
Toplam Alkali Muhtevası	47 ppm ( mg / L )
Ph değeri	7,7
Koku	YOK
Renk	BERRAK
Askıda Katı Madde İçeriği	< 4 ml ( çökelti miktarı 4 ml'den azdır.)
Deterjanlar	YOK
Sıvı ve Katı Yağlar	YOK
Organik Madde	Oluşan renk Standart renkten açıktır.
Kurşun ( Pb2+ )	< 0.05 ppm ( mg / L )
Fosfat ( P2O5 )	< 1.5 ppm ( mg / L )
Çinko ( Zn2+ )	< 10 ppm ( mg / L )
Nitrat ( NO3- )	< 0.1 ppm ( mg / L )

### Katkı Malzemesi Özellikleri

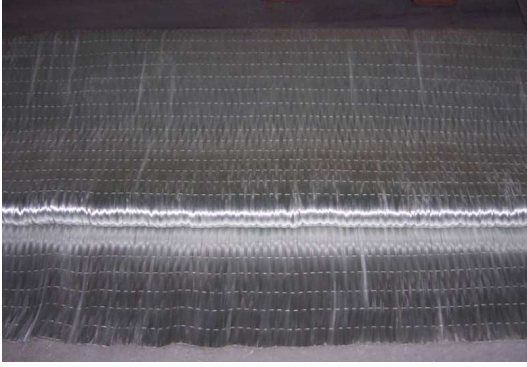
Beton karışımında kullanılan katkı malzemesinin özellikleri Basf Yapı Kimyasalları San. A.Ş firmasından alınmıştır (Tablo 6). Kullanılan katkı malzemesi TS EN 934 – 2 uygundur.

Tablo 5.6. Katkı malzemesinin özellikleri

Özellik	Test Sonucu
Homojenlik	Ayrışmadı
Renk	Kahverengi Sıvı
Etkin Bileşen	Her seviyatta değil ilk seviyatta verilir
Bağıl Yoğunluk ( g / ml )	1160
Katı Madde (%)	30,41
Ph	5,79
Suda Çözünen Klorür (%)	0,0257
Alkali Miktarı (Na2O eqv.)	2983

### Cam Elyaf Özellikleri

GFRP, cam liflerden meydana gelen metre karesi 430 gr olan tek yönlü, 60 cm eninde ve 50 m boyunda Sika Wrap – 430 G/25 kullanılmıştır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Cam elyaf

GFRP'nin özelliği Tablo 5.7.' de verilmiştir.

Tablo 5.7. GFRP özellikleri

Rulo Eni (cm)	60 cm
Rulo Boyu (m)	50 m
Kopma Uzaması	0,048
Çekme Kopma Sınırı (MPa)	3300-4500 MPa
Ağırlığı (gr/m <sup>2</sup> )	430 gr/m <sup>2</sup>

### Epoksi Özellikleri

GFRP sargılarının deney elemanlarına yapıştırılmasında Sikadur 330 yapıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 5.17). Sikadur 330 iki bileşenli suya dayanıklı, yüksek mukavemetli solventsiz yapıştırma harcıdır. Karışımında; yapıştırıcı olan epoksi malzemesi ve priz süresini düzenleyen sertleştirici bulunmaktadır.



Şekil 5.17. Epoksi

Sika Wrap sistemi ile uyumludur. Sikadur 330 'un üretici firma tarafından belirtilen özellikleri Tablo 5.8.' de verilmiştir.



Tablo 5.8. Epoksi özellikleri

Sikadur 330 Doyurma Reçinesi	
Yoğunluk	1,31 kg/l
Görünüm	Reçine: Beyaz Sertleştirici : Gri
Karışım Oranı	Reçine (A) / Sertleştirici (B)=4/1
Viskozite	Boyacı rulosu ile sürülebilecek kıvam
Çekme Mukavemeti	30 N / mm <sup>2</sup> (+23 C° 7 gün kür kullanıldıktan sonra )
Uygulama Sıcaklığı	+10 C° - + 35 C°
Eğilmede Elastisite Modülü	3800 N/mm <sup>2</sup> (+23 C° 7 gün kür aldıktan sonra )

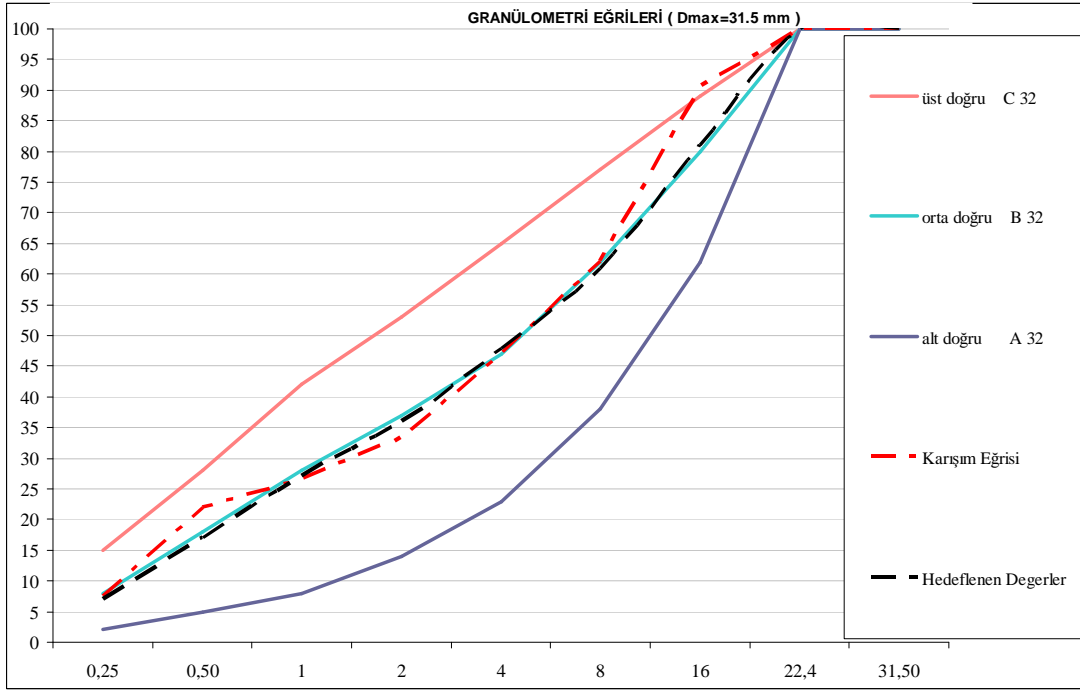
### 5.2.2 Beton numunelerin hazırlanması

Beton karışımları Akar Beton firmasının hazır beton üretimin de kullandığı karışımlardan oluşmuştur. Firma tarafından yapılan mukavemet hesaplamalarında her beton sınıfı için + 6 Mpa emniyet farkı göz önünde bulundurularak beton karışım miktarları gerçekleştirilmiştir. Karışım hesapları her beton sınıfı için 1 m<sup>3</sup>'lük mutlak hacim esasına göre yapılmıştır.

Deney de kullanılan üç farklı sınıftaki hazır betonun 1 m<sup>3</sup>'ünde kullanılan malzemelerin ağırlık cinsinden miktarları Tablo 5.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9. Beton karışım hesabı

Malzeme Adı	Miktarı ( kg/m <sup>3</sup> )		
	C 1	C 2	C3
Çimento	210	215	240
Su	125	130	120
Katkı Malzemesi	2,10	2,10	2,40
Kum	415	410	405
T.Tozu	565	545	530
1 No'lu Agregası	515	525	520
2 No'lu Agregası	520	525	535
Toplam	2352,1	2352,15	2352,40



Şekil 5.18. Granülometri eğrisi

Üretilen betonda kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi Şekil 5.18’de verilmiştir.

### Cam elyaf

Silindir numunelerin yüzeyine sarılan cam elyafların basınç dayanımına etkilerini tespit edebilmek için 4 farklı sarım şekli uygulanmıştır. Sarım şekline verilen isim kısaltmaları ve her bir sarım için harcanan elyaf miktarı Tablo 5.10’da gösterilmiştir.

Tablo 5.10. Numune kodları

Sarım Şekli	Numune Kod Adı		
	1.Grup	2.Grup	3.Grup
Tek kat düz sarım	C 1-1D	C 2-1D	C 3-1D
Çift kat düz sarım	C 1-2D	C 2-2D	C 3-2D
Tek kat + tek kat 45° eğimli sarım	C 1-1D+1E	C 2-1D+1E	C 3-1D+1E
Tek kat + çift kat 45° eğimli sarım	C 1-1D+2E	C 2-1D+2E	C 3-1D+2E
Her sarım şeklinde 10cm bindirme yapılmıştır.			

Epoksi:

Cam elyafın silindir numunelere yapıştırma işleminin gerçekleştirilmesin de çift bileşenli Sikadur 330 epoksi yapıştırıcısı kullanılmıştır. Epoksi harç A ve B bileşenlerinin karışımıyla elde edilmiştir. Üretici firmanın önerisi üzerine karışım oranı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

A Bileşeni / B Bileşeni = 4 / 1 ağırlıkça

Başlıklıma harcı:

Silindir numuneleri basınç deneyine tabi tutmadan önce tek taraflı çimento başlık uygulaması yapılmıştır. Çimento başlık uygulamasında S/Ç oranı %31'dir.

Beton numunelerin hazırlanması:

Akar beton laboratuvarında standartlara uygun olarak 3 farklı beton sınıfın da beton üretilmiştir. Numuneler 14 gün süre ile laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Beton üretim aşamasında aşağıdaki işlem basamakları takip edilmiştir.

- Numune kalıpları temizlendikten sonra kalıp ayırıcı yağ sürülüp alt zemine yönü dışa bakacak şekilde konulan numarator kâğıtlar ile numaralandırılmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Numune kalıplarının hazırlanması

- Beton karışım hesabına göre kullanılacak her bir malzeme tek tek kalibrasyonu yapılmış dijital teraziler de tartılarak karışıma, hazır hale getirilmiştir.

- İnce / Toz malzemeler karıştırıcı / mikser teknesine yapışmaması için mikser teknesi karma suyunun çok az bir miktarı ile ıslatılmıştır. Agregaların karıştırıcı / mikser teknesine yerleştirilmesinden sonra çimento ve bir miktar karma suyu ilave edilip, karıştırma işlemi başlatılmıştır. Karışım da kullanılan katkı bir miktar beton karma suyu ile karıştırılarak kademeli olarak karıştırıcı / mikserde ilave edilmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Mikserde karıştırılan beton

- Hava sıcaklığı 24 °C olan ortamda beton sıcaklığı 26 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 5.21). TS EN 206-1' e göre taze betonun sıcaklığı ortam sıcaklığından + 5 °C'den fazla olmamalıdır. Buna göre üretilen beton sıcaklığının standartlara göre uygun olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.21. Beton sıcaklığının tespiti

- Homojen karışımın elde edilmesinden hemen sonra Slump / Çökme kıvam deneyi yapılarak kıvamı ölçülmüştür ( Şekil 5.22). Her üç kalitedeki betonun kıvamı 150 - 170 mm arasında ölçülmüştür. TS EN 206-1' e göre; S 3 kıvam sınıfın da beton üretilmiştir.



Şekil 5.22. Slump deneyi

- Karıştırma işlemi tamamlanan beton numuneleri yağlanmış ve etiketlerle numaralandırılmış silindirik kaplarına 3 aşamada doldurularak vibrasyon masasında sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.23).



Şekil 5.23. Vibrasyon işlemine tutulan numuneler

- Numuneler 24 saat laboratuvar ortamında kalıpta bekletildikten (Şekil 5.24) sonra kalıptan çıkarılmışlardır.



Şekil 5.24. 24 saat laboratuvar ortamında bekletilen numuneler

### Cam elyaf ve epoksi harcın hazırlanması

Prizini alan, silindir numunelerin 14. Günün de cam elyaf sargılama işlemi yapılacağı için cam elyaf ve epoksi harcı hazırlanmıştır.

Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra cam elyaf düzgün bir zemine serilip, kesilecek olan miktar kalem ile işaretlenir. İşaretlenen cam elyaf makas ile kesilir ( Şekil 5.25).



Şekil 5.25. Cam elyafın hazırlanışı

Epoksi harcın priz süresi çabuk gerçekleştiği için ikişer adet silindir numuneyi sarmaya yetecek miktarda epoksi harç oluşturulmuştur. Kullanılacak Sikadur 330 A ve B bileşenleri kalibrasyonlu dijital terazide tartılıp karıştırma kabına dökülmüştür (Şekil 5.26).



Şekil 5.26. Sikadur 330 A-B bileşenlerinin karışıma başlamadan önceki hali

A+B bileşenleri en az 4 dakika boyunca düşük hızlı elektrikli matkap ucuna takılmış spiral tipli karıştırıcı vasıtasıyla malzeme uygun kıvamlı ve homojen gri renkli (Ürünün üzerindeki kullanım talimatının da belirtildiği üzere) olana kadar karıştırılmıştır (Şekil 5.27). Karıştırma işlemi sırasında hava sürüklenmemesine dikkat edilmiştir.



Şekil 5.27. Spiral uçlu elektrik matkapla iki bileşenin karıştırılması

### 5.2.3. Cam elyaf yapıştırma işlemi

Silindir numunelerinin üretim tarihinden sonraki 14. Günün de yapıştırma işlemine başlanmıştır. Yapıştırma işlemin de aşağıdaki işlem basamakları takip edilmiştir.

Uygulama öncesi numuneler kir, toz vb atıklardan temizlenmiştir. Fırça yardımı ile epoksi harç silindir numunenin her tarafına eşit miktarda sürülmüştür (Şekil 5.28). Numunenin etrafındaki mevcut, olası boşluklar epoksi harç ile kapatılmıştır.



Şekil 5.28. Silindir numunelerin etrafındaki mevcut boşlukların epoksi harç ile kapatılması

Cam elyaf, lifleri doğrultusun da silindir numunenin etrafına içinde hava kalmayacak şekilde sarılmıştır. Uygulama yapılırken sarıma başlanan noktadan başlayıp tekrar aynı noktaya gelindiğinde 10 cm bindirme yapılarak sarım işlemi noktalandırılmıştır. Silindir numunelerin; 12'si tek kat GFRP ile düz sarım (Şekil 5.29a) , 12'si çift kat GFRP ile düz sarım (Şekil 5.29b),12'si tek kat GFRP ile düz sarım + tek kat 45° eğimli GFRP ile sarım (Şekil 60c), 12'si tek kat GFRP ile düz sarım + çift kat 45° eğimli GFRP ile (Şekil 60d) sarılmıştır.



Şekil 5.29. a-b 1D- 2D uygulaması



Şekil 5.29. c-d 1D+1E – 1D+2E uygulaması



Sarım işleminin sonunda epoksi harcın liflerin arasından çıkması ve mevcut hava kabarcıklarının alınması için rulo elyaf yönünde gezdirilmiştir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30. Silindir numunelerin etrafındaki olası hava kabarcıkların rulo ile alınması

İlk 24 saat numuneler yerlerinden kıpırdatılmadan Laboratuvar / kuru ortamda ilk prizini alması sağlanmıştır. Daha sonra 7 gün boyunca tam prizinin gerçekleşmesi beklenmiştir.

#### Çimento başlık yapılması:

Silindir numunelerin üretim tarihinden sonraki 18. Günlerin de çimento başlık yapma işlemine başlanmıştır. Uygulamanın bu aşamasın da aşağıdaki işlem basamakları takip edilmiştir.

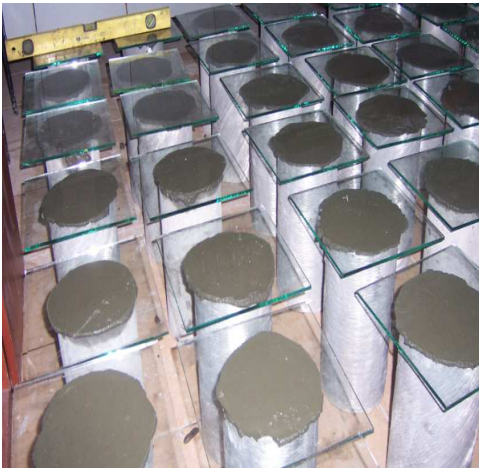
Su/Çimento oranı %31 olacak şekilde ölçülen su ve çimento bir kabın içinde homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Başlık yapılacak numunelerin yüzeyleri ıslak sünger ile nemlendirilmiştir. Karışım mala ile numunelerin yüzeyine göz kararıyla eşit miktarlarda dökülmüştür.

Başlık harcının üzeri, Cam plaka ile kapatılıp, hava kabarcığı kalmayacak şekilde düzgün bir yüzey elde edilinceye kadar bastırılmıştır (Şekil 5.31). Su terazisi ile yüzeyin düzgünlüğü kontrol edilmiştir.



Şekil 5.31. Çimento başlık üzerine cam plaka uygulaması

Prizinin alması için iki gün (48 saat) süresince cam plakalar kaldırılmamıştır. İki günden sonra cam plakalar kaldırılmıştır (Şekil 5.32).



Şekil 5.32. Çimento başlıkların priz almaları için bekletilmesi

#### **5.2.4. Beton numunelere basınç deneyi uygulanması**

Numuneler 28. güne geldiğinde deney presi ile üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmuştur (Şekil 5.33). Deney/Kırım süresi numune üretim süresine eş değer olarak 3 gün sürmüştür.



Şekil 5.33. Basınç deneyine tabi tutulan numune örnekleri

### 5.2.5. Deney sonuçları

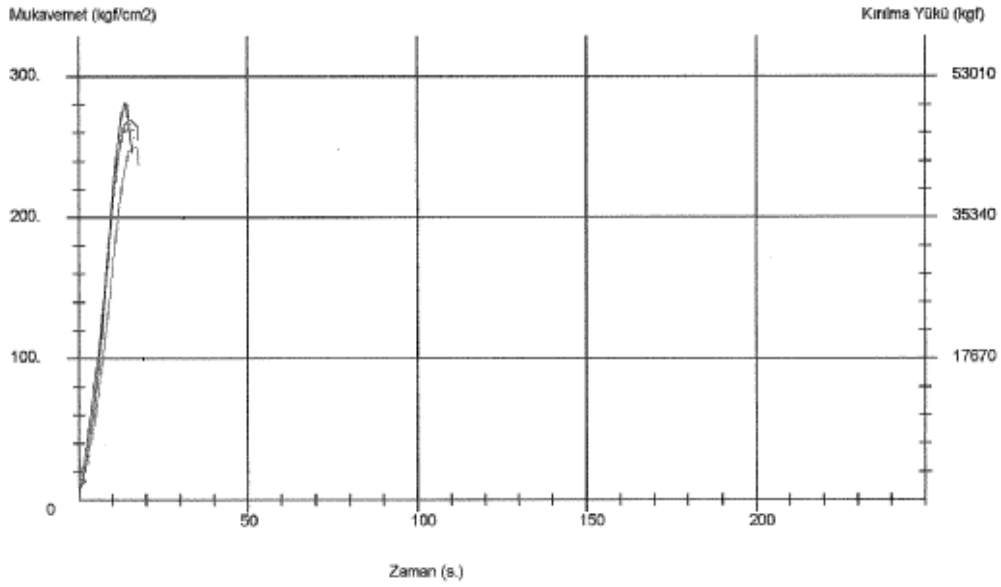
#### 1. Grup için şahit numune sonuçları

Beton sınıfına ait şahit numune sonuçları ve ortalaması aşağıdaki Tablo 11’de verilmiştir. Bu tabloya göre kesit alanı  $176,7 \text{ cm}^2$  ve hacmi  $5301,43 \text{ cm}^3$  olan, numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri ( Tablo 5. 11) hesaplanmıştır. Şahit numunelerin ortalama mukavemet değeri  $258,10 \text{ Kgf/cm}^2$ ’dir.

Tablo 5.11. 1. grup şahit numune sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı ( $\text{cm}^2$ )	Hacim ( $\text{cm}^3$ )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ )	Kırılma Yüğü (Kgf)	Mukavemet ( $\text{Kgf/cm}^2$ )
1	176,7	5301,43	12.844	2,4	47025	266,13
2	176,7	5301,43	12.678	2,39	44346	250,97
3	176,7	5301,43	12.736	2,4	46464	262,95
4	176,7	5301,43	12.686	2,39	44589	252,34
Ortalama	176,7	5301,43	12.736	2,395	45606	258,10

1. grupta üretilen 4 adet şahit numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.34. C1 Şahit numuneler için yük- zaman grafiği

Deney sonunda; basınç presi düşey (y) doğrultusunda da basınç uyguladığınız da dış kabuk çevresinde; yatay (x) doğrultusunda kılcal, düşey (y) doğrultusunda ise belirgin çatlaklar ile dış cidarda basınç uygulanan istikamette çatlaklar oluşmuştur (Şekil 5.35).



Şekil 5.35. Şahit numunenin deney sonucunda kırılmış hali

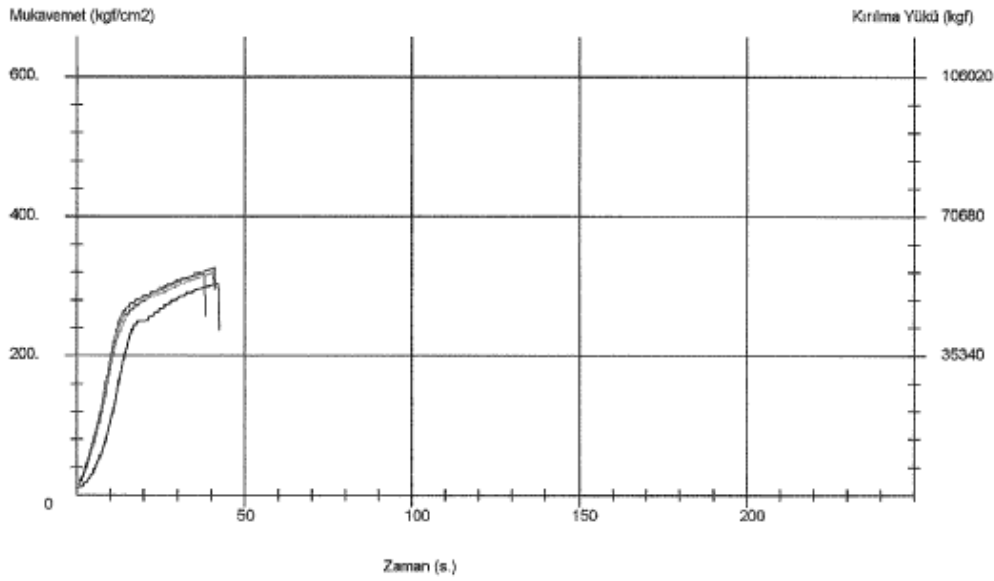
#### 1. Grup için tek kat GFRP/ cam elyaf sargılı numune sonuçları

1. grup için tek kat GFRP/ Cam elyaf sargılı numune sonuçları ve ortalaması Tablo 12'de verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı  $176,7 \text{ cm}^2$  ve hacmi  $5301,43 \text{ cm}^3$  olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri ( Tablo 5. 12.) hesaplanmıştır. C1-1D numunelerinin ortalama mukavemet değeri  $320,66 \text{ Kgf/cm}^2$ ' dir.

Tablo 5.12. C1-1D sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü (Kgf)	Mukavemet (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	12.990	2,45	55627	314,81
2	176,7	5301,43	13.034	2,46	56634	320,51
3	176,7	5301,43	13.008	2,45	57934	327,87
4	176,7	5301,43	13.136	2,48	56446	319,45
Ortalama	176,7	5301,43	13.042	2,460	56660,25	320,66

1. grupta üretilen 4 adet tek kat GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.36. C1-1D Numunelerinin yük-zaman grafiği

C 1-1D deneyinin sonunda; basınç presi düşey (y) doğrultu da basınç uyguladığın da dış kabuk çevresinde; yatay (x) doğrultusunda silindir numunenin çapında lif doğrultusunda elyaf silindir numuneden koparak ayrılmıştır (Şekil 5.37).



Şekil 5.37. C1-1D kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki kırılmış hali

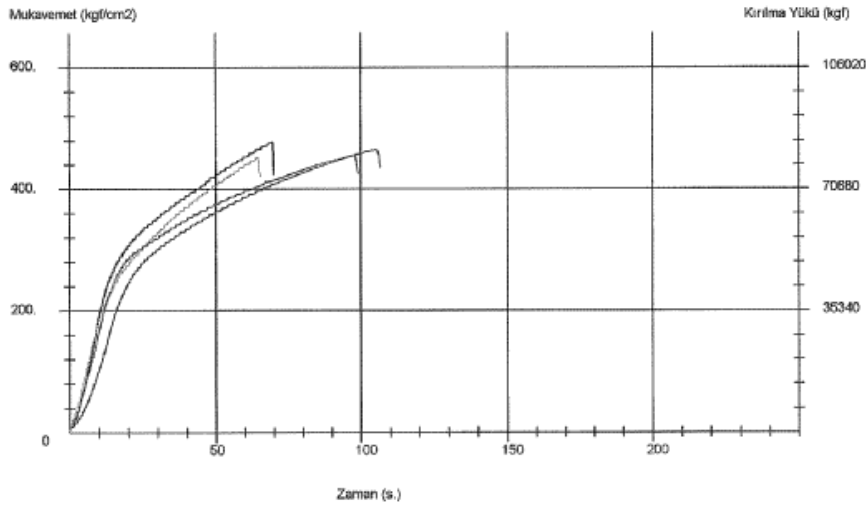
### 1. Grup için çift kat GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

C1-2D deneyinin sonuçları ve ortalaması Tablo 13'te verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı 176,7 cm<sup>2</sup> ve hacmi 5301,43 cm<sup>3</sup> olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5.13) hesaplanmıştır. C1-2D numunelerinin ortalama mukavemet değeri 432,70 Kgf/cm<sup>2</sup>'dir.

Tablo 5.13. C1-2D sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü (Kgf)	Mukavemet (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	13.326	2,51	74871	423,70
2	176,7	5301,43	13.250	2,50	77640	439,30
3	176,7	5301,43	13.184	2,49	75933	429,73
4	176,7	5301,43	13.226	2,49	77405	438,06
Ortalama	176,7	5301,43	13.246,5	2,4975	76462,25	432,70

1. grupta üretilen 4 adet çift kat GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiğı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.38. C1-2D numunelerinin yük- zaman grafiğı

Basınç deneyi sonucunda 1D uygulamasında oluşan şekil değıştirme 2D uygulamasında da aynı şekildedir (Şekil 5.39).



Şekil 5.39. C1-2D kodlu deney numunelerinin deney sonucunda kırılmış hali

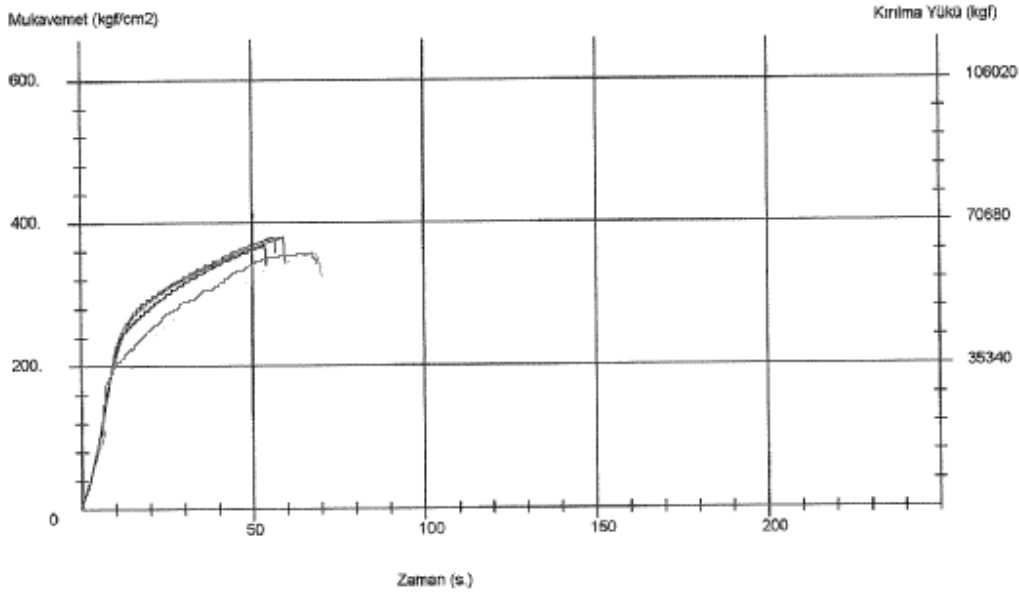
### 1. Grup için tek kat + bir kat 45° GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

C 1-1D + 1E deneyinin sonuçları ve ortalaması Tablo 14.'te verilmiştir. Bu tabloya göre kesit alanı 176,7 cm<sup>2</sup> ve hacmi 5301,43 cm<sup>3</sup> olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 14) hesaplanmıştır. C1-1D+1E numunelerinin ortalama mukavemet değeri 377,12 Kgf/cm<sup>2</sup>'dir.

Tablo 5.14. C1-1D+1E sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü ( Kgf)	Mukavemet ( Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	13.290	2,51	65428	370,28
2	176,7	5301,43	13.434	2,53	66423	375,91
3	176,7	5301,43	13.476	2,54	67296	380,85
4	176,7	5301,43	13.340	2,52	67402	381,45
Ortalama	176,7	5301,43	13.385	2,525	66637,25	377,12

1. grupta üretilen 4 adet tek kat + 1 kat 45° GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiğı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.40. C1-1D+1E numunelerinin yük- zaman grafiği

C1- 1D + 1E - deney sonucuna göre; basınç presi düşey (y) doğrultu da basınç uyguladığın da dış kabuk çevresinde; her iki katta elyaf yönünde 45° eğimli olacak şekilde kopmalar meydana gelmiştir (Şekil 5. 41).



Şekil 5.41. C1-1D+1E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

#### 1. Grup için tek kat + iki kat 45° GFRP sargılı numune sonuçları

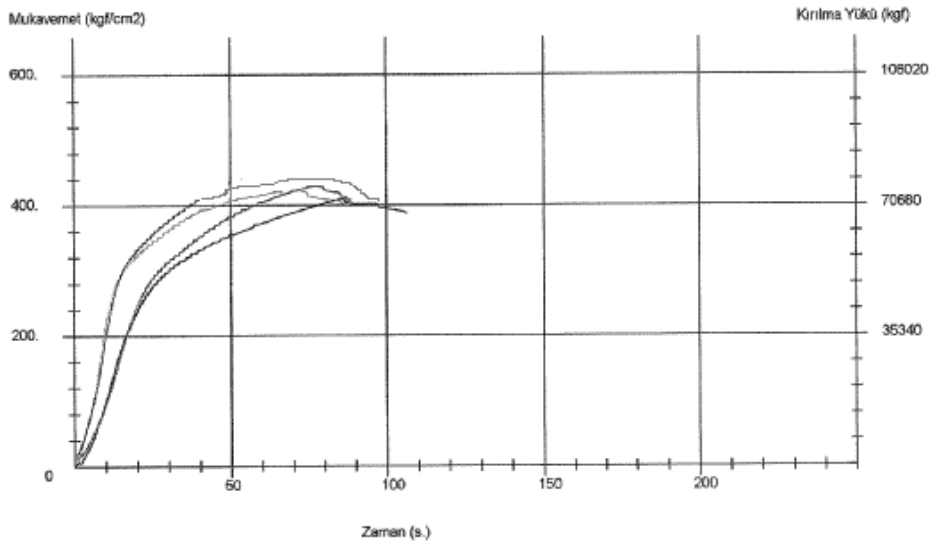
C1-1D + 2E deneyinin sonuçları ve ortalaması Tablo. 15.'de verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı 176,7 cm<sup>2</sup> ve hacmi 5301,43 cm<sup>3</sup> olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5.15.) hesaplanmıştır. C1-1D+2E numunelerinin ortalama mukavemet değeri 422,85 Kgf/cm<sup>2</sup>' dir.



Tablo 5.15. C1-1D+2E sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü (Kgf)	Mukavemet (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	13.528	2,55	75796	428,95
2	176,7	5301,43	13.528	2,55	73836	417,86
3	176,7	5301,43	13.670	2,58	75239	425,80
4	176,7	5301,43	13.674	2,58	77795	428,95
Ortalama	176,7	5301,43	13.600	2,565	75666,50	422,85

1. grupta üretilen 4 adet tek kat + 2 kat 45° GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.42. C1-1D+2E numunelerinin yük- zaman grafiği

C 1-1D + 2E deney sonunda; basınç presi düşey (y) doğrultu da basınç uyguladığın da dış kabuk çevresinde gözle görülür büyük değişiklik (herhangi bir kopma, betondan ayrışma vb.) gözlenmez iken, numunenin ağırlık merkezinde bir genişleme meydana gelmiştir (Şekil 5.43). Bu artışın miktarını belirlemek için bir ip ile numunelerin önceki ve son hallerinin çevresi ölçülmüştür (Tablo 5.16). Bu elde edilen sonuçlara göre 0,7-1,1 cm arasında bir genişleme oluşmuştur.



Şekil 5.43. C1-1D+2E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

Tablo 5.16. C1-1D+2E numunelerin çapında meydana gelen genleşme miktarları

Numune Adı	İlk hal ( cm )	Son hal ( cm )
Numune 1	50,5	51,2
Numune 2	50,5	51,2
Numune 3	50,5	51,6
Numune 4	50,5	51,6

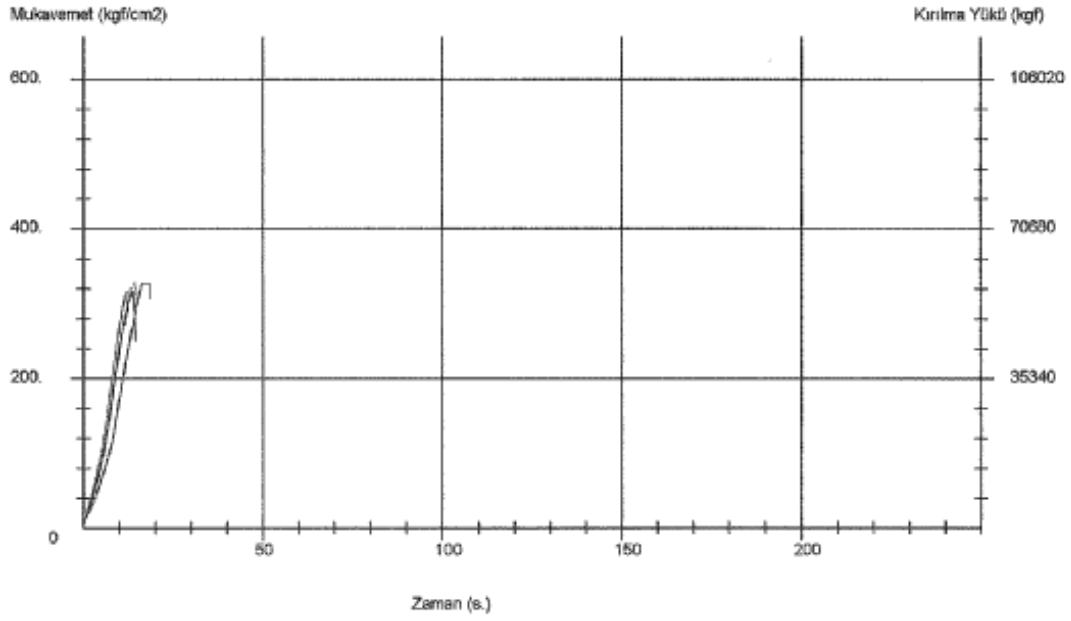
## 2. Grup için şahit numune sonuçları

Beton sınıfına şahit numune sonuçları ve ortalaması aşağıdaki Tablo 17’de verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı  $176,7 \text{ cm}^2$  ve hacmi  $5301,43 \text{ cm}^3$  olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5.17.) hesaplanmıştır. Şahit numunelerin ortalama mukavemet değeri  $281,25 \text{ Kgf/cm}^2$  dir.

Tablo 5.17. C2-Ş.N sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü ( Kgf)	Mukavemet ( Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	12.508	2,36	50222	284,22
2	176,7	5301,43	12.684	2,39	49950	282,68
3	176,7	5301,43	12.654	2,39	48750	275,89
4	176,7	5301,43	12.598	2,38	49865	282,20
Ortalama	176,7	5301,43	12.611	2,380	49696,75	281,25

2. grupta üretilen 4 adet şahit numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.44. C2-Şahit numunelerinin yük- zaman grafiği

1. grup şahit numunelerde meydana gelen şekil değiştirme 2. grup şahit numunelerde de aynı şekildedir (Şekil 5.45).



Şekil 5.45. C2-Ş.N kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

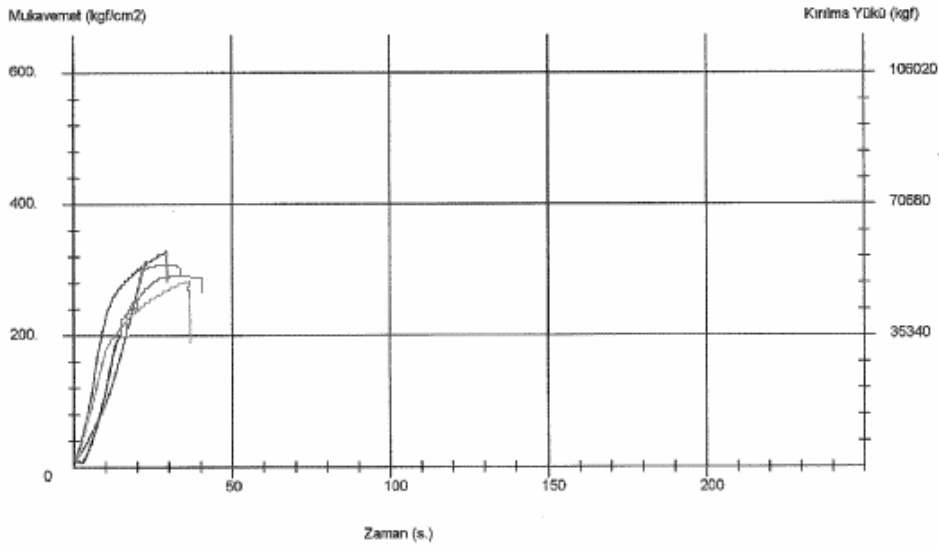
2. Grup için tek kat GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

C 2-1D- numune sonuçları ve ortalaması Tablo 18.'da verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı  $176,7 \text{ cm}^2$  ve hacmi  $5301,43 \text{ cm}^3$  olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5.18.) hesaplanmıştır. C2-1D numunelerinin ortalama mukavemet değeri  $346,49 \text{ Kgf/cm}^2$ 'dir.

Tablo 5.18. C2-1D sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü (Kgf)	Mukavemet (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	13.070	2,47	60052	339,85
2	176,7	5301,43	12.896	2,43	61988	350,81
3	176,7	5301,43	12.800	2,41	61071	345,62
4	176,7	5301,43	12.886	2,43	61225	349,68
Ortalama	176,7	5301,43	12.913	2,444	61084,00	346,49

2. grupta üretilen 4 adet tek kat GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiğı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.46. C2-1D numunelerinin yük- zaman grafiğı

Basınç deneyi sonucunda 1. grup 1D numunelerin gösterdiği şekil değışikliği ile aynıdır (Şekil 5.47).



Şekil 5.47. C2-1D kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değıştirmiş hali

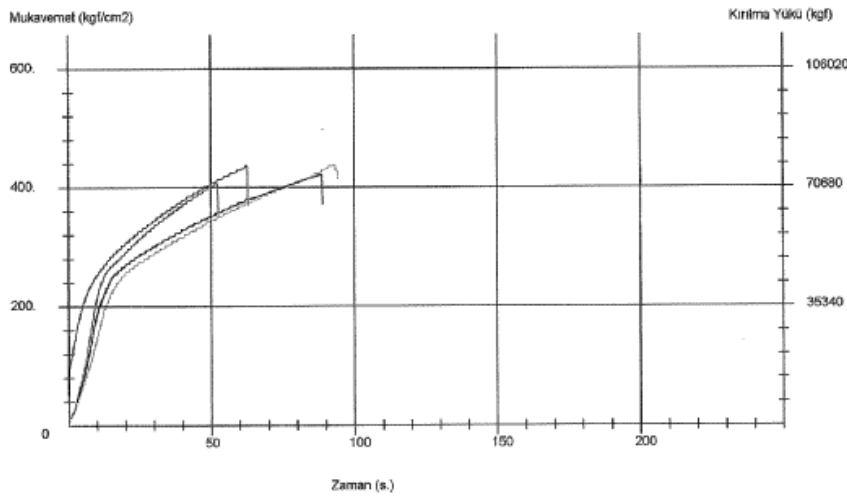
## 2. Grup için çift kat GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

C 2-2D- deneyinin sonuçları ve ortalaması Tablo 5.19'da gösterilmiştir. Bu tabloya göre Bu tabloya göre; kesit alanı  $176,7 \text{ cm}^2$  ve hacmi  $5301,43 \text{ cm}^3$  olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5.19.) hesaplanmıştır. C2-2D numunelerinin ortalama mukavemet değeri  $461,58 \text{ Kgf/cm}^2$  dir.

Tablo 5.19. C2-2D sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı ( $\text{cm}^2$ )	Hacim ( $\text{cm}^3$ )	Ağırlık ( $\text{kg/Adet}$ )	Birim Ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ )	Kırılma Yüğü ( $\text{Kgf}$ )	Mukavemet ( $\text{Kgf/cm}^2$ )
1	176,7	5301,43	13.180	2,49	82388	466,26
2	176,7	5301,43	13.334	2,52	80786	457,19
3	176,7	5301,43	13.304	2,51	80159	453,64
4	176,7	5301,43	13.344	2,52	82913	469,23
Ortalama	176,7	5301,43	13.290,5	2,510	81561,50	461,58

2. grupta üretilen 4 adet çift kat GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.48. C2-2D numunelerinin yük- zaman grafiği

Basınç deneyi sonucunda 1. grup 2D numunelerin gösterdiği şekil değişikliği ile aynıdır (Şekil 5.49).



Şekil 5.49. C2-2D kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

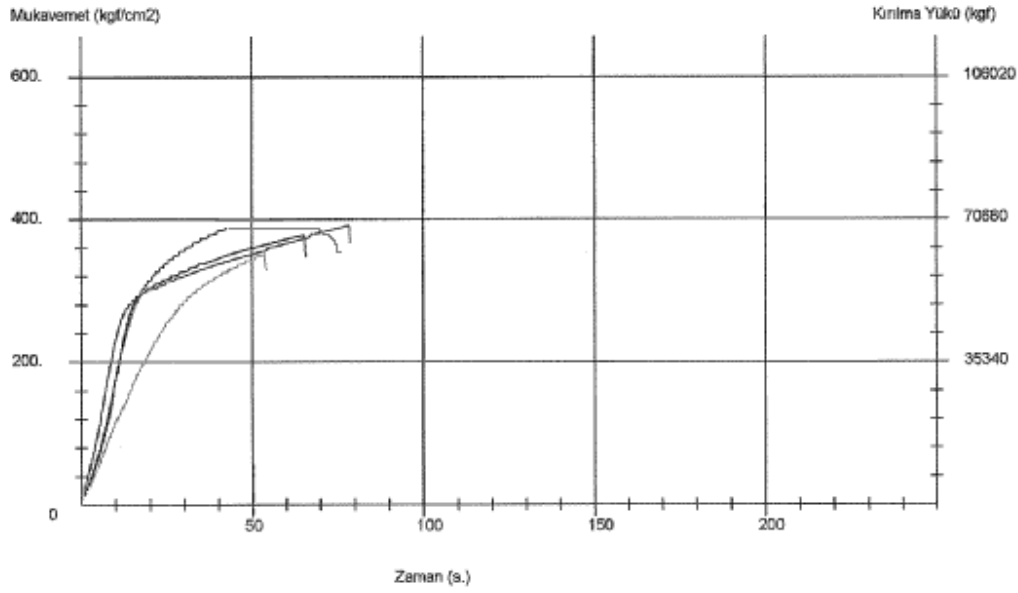
## 2. Grup için tek kat + bir kat 45° GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

C 2-1D + 1E deneyinin sonuçları ve ortalaması Tablo 5.20’de gösterilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı 176,7 cm<sup>2</sup> ve hacmi 5301,43 cm<sup>3</sup> olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5.20) hesaplanmıştır. C2-1D+1E numunelerinin ortalama mukavemet değeri 388,55 Kgf/cm<sup>2</sup>’dir.

Tablo 5.20. C2-1D+1E sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü ( Kgf)	Mukavemet ( Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	13.410	2,53	67121	379,86
2	176,7	5301,43	13.522	2,55	68077	385,27
3	176,7	5301,43	13.320	2,51	69457	393,08
4	176,7	5301,43	13.304	2,51	69970	395,98
Ortalama a	176,7	5301,43	13.389	2,525	68656,25	388,55

2. grupta üretilen 4 adet tek kat + 1 kat 45° GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki Şekil 5.50.’de verilmiştir.



Şekil 5.50. C2-1D+1E numunelerinin yük- zaman grafiği

Basınç deneyi sonucunda 1.grup 1D + 1E numunelerinin gösterdiği şekil değişikliği ile aynıdır (Şekil 5.51).



Şekil 5.51. C2-1D+1E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

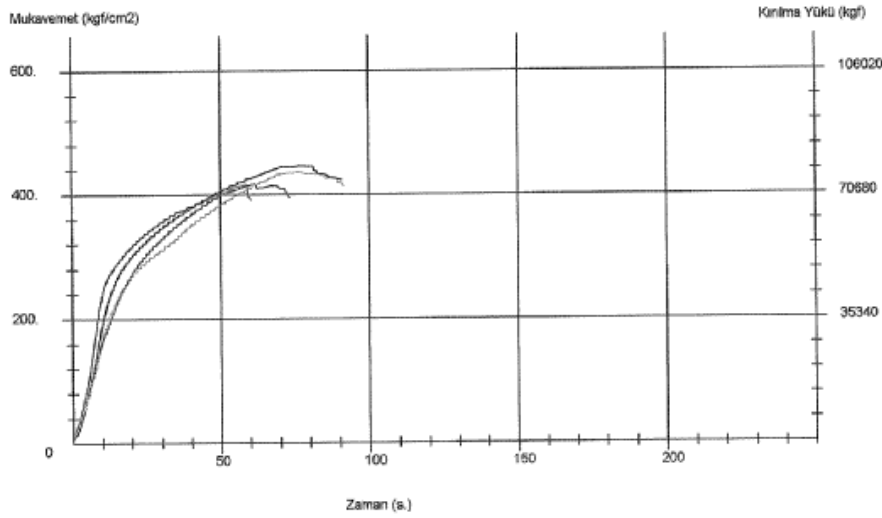
## 2. Grup için tek kat + iki kat 45° GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

C2-1D +2E deneyinin sonuçları ve ortalaması Tablo 5.21'de verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı 176,7 cm<sup>2</sup> ve hacmi 5301,43 cm<sup>3</sup> olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 21.) hesaplanmıştır. C2-1D+2E numunelerinin ortalama mukavemet değeri 430,70 Kgf/cm<sup>2</sup>'dir.

Tablo 5.21. C2-1D+2E sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü (Kgf)	Mukavemet (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	13.760	2,53	79528	448,55
2	176,7	5301,43	13.800	2,55	77360	437,80
3	176,7	5301,43	13.850	2,51	73826	417,86
4	176,7	5301,43	13.704	2,51	74002	418,80
Ortalama	176,7	5301,43	13.778,5	2,525	76179	430,70

2. grupta üretilen 4 adet tek kat + 2 kat 45° GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.52. C1-1D+2E numunelerinin yük- zaman grafiği

C2-1D + 2E- deney sonunda; basınç presi düşey (y) doğrultu da basınç uyguladığın da dış kabuk çevresinde gözle görülür büyük değişiklik gözlenmez iken, numunenin ağırlık merkezinde bir genleşme meydana gelmiştir (Şekil 5.53). Bu artışın miktarını belirlemek için bir ip ile numunelerin önceki ve son hallerinin çevresi ölçülmüştür (Tablo 5.22.). Bu elde edilen sonuçlara göre 0,4-1,4 cm arasında bir genleşme oluşmuştur.

Tablo 5.22. C2-1D+2E basınç deneyi sonucunda numunelerde meydana gelen genleşme miktarları

Numune Adı	İlk hal ( cm )	Son hal ( cm )
Numune 1	50,5	51,4
Numune 2	50,5	51,6
Numune 3	50,5	50,9
Numune 4	50,5	51,9





Şekil 5.53. C2-1D+2E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

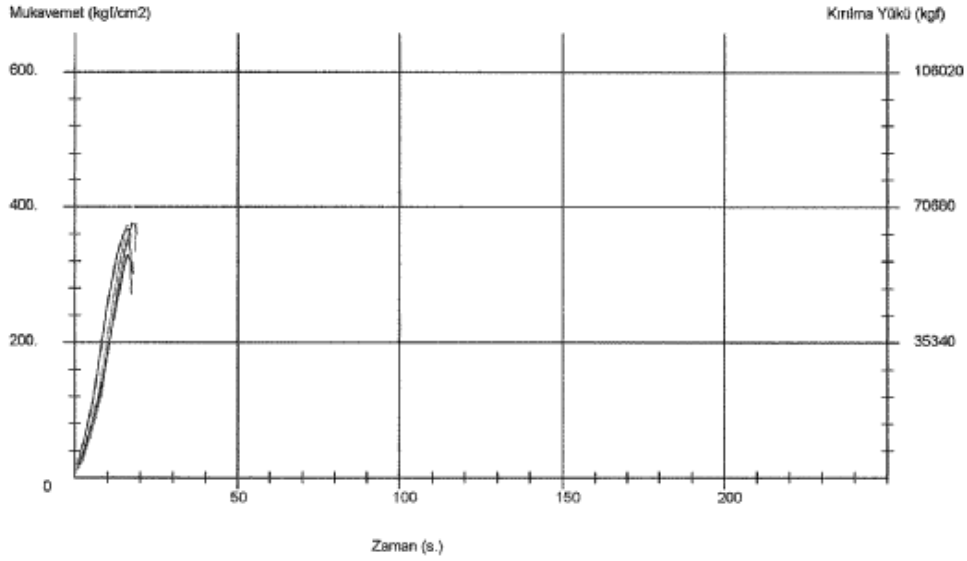
### 3. Grup için şahit numune sonuçları

Beton Sınıfı için şahit numune sonuçları ve ortalaması Tablo 23.'te verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı  $176,7 \text{ cm}^2$  ve hacmi  $5301,43 \text{ cm}^3$  olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5.23.) hesaplanmıştır

Tablo 5.23. C3-Ş.N sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı ( $\text{cm}^2$ )	Hacim ( $\text{cm}^3$ )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ )	Kırılma Yüğü (Kgf)	Mukavemet ( $\text{Kgf/cm}^2$ )
1	176,7	5301,43	12.878	2,43	55976	316,79
2	176,7	5301,43	12.770	2,41	58086	328,73
3	176,7	5301,43	12.930	2,44	56120	317,60
4	176,7	5301,43	12.848	2,42	58021	328,36
Ortalama	176,7	5301,43	12.856,5	2,425	57050,70	322,87

3. grupta üretilen 4 adet şahit numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.54. Şahit numunelerinin yük- zaman grafiği

Deney sonunda 1. ve 2. grup şahit numunelerin gösterdiği şekil değişikliği ile aynıdır (Şekil 5.55).



Şekil 5.55. C3-Ş.N kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

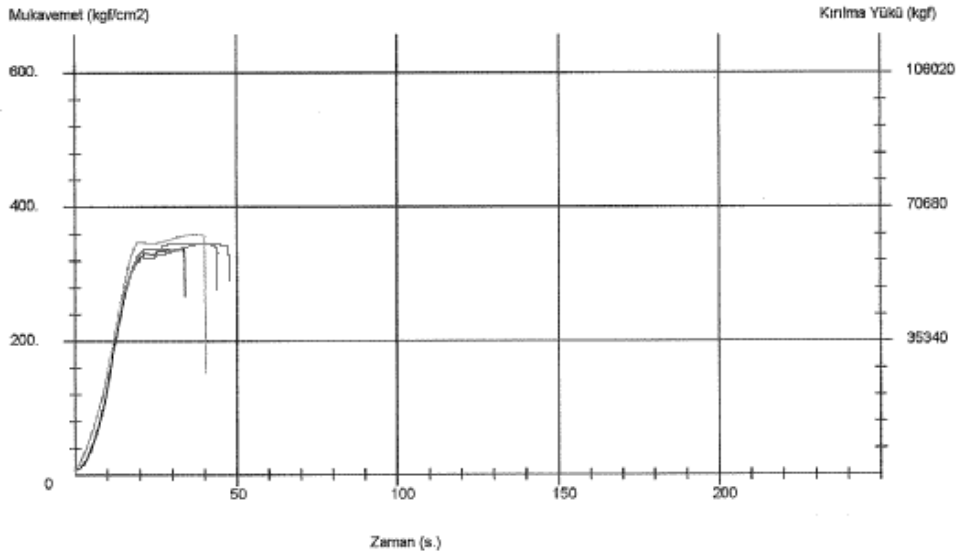
### 3. Grup için tek kat GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

C 3-1D Beton Sınıfı numune sonuçları ve ortalaması Tablo 5.24'te gösterilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı  $176,7 \text{ cm}^2$  ve hacmi  $5301,43 \text{ cm}^3$  olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5.24.) hesaplanmıştır. C3-1D numunelerinin ortalama mukavemet değeri  $374,42 \text{ Kg/cm}^2$ 'dir.

Tablo 5.24. C3-1D sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü ( Kgf)	Mukavemet ( Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	13.134	2,51	67088	379,67
2	176,7	5301,43	13.050	2,50	64755	366,47
3	176,7	5301,43	13.085	2,46	67723	383,27
4	176,7	5301,43	13.106	2,47	65072	368,26
Ortalama	176,7	5301,43	13.093,75	2,485	66159,50	374,42

3. grupta üretilen 4 adet tek kat GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.56. C3-1D numunelerinin yük- zaman grafiği

Deney sonunda 1D sargılı numunelerin hepsinde (her üç grupta da) aynı şekilde şekil değişikliği meydana gelmiştir (Şekil 5.57).



Şekil 5.57. C3-1D kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

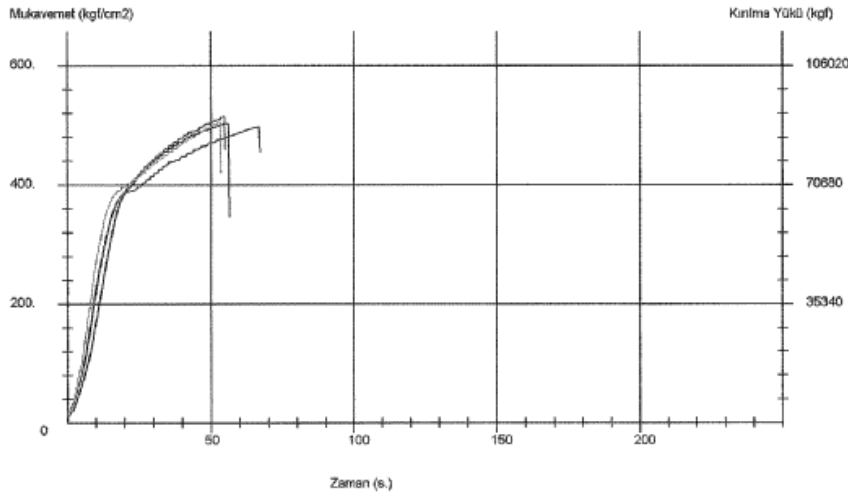
### 3. Grup için çift kat GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

Beton Sınıfı deneyinin sonuçları ve ortalaması Tablo 25'te verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı  $176,7 \text{ cm}^2$  ve hacmi  $5301,43 \text{ cm}^3$  olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5.25) hesaplanmıştır. C3-2D numunelerinin ortalama mukavemet değeri  $507,77 \text{ Kg/cm}^2$ 'dir.

Tablo 5.25. C3-2D sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı ( $\text{cm}^2$ )	Hacim ( $\text{cm}^3$ )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ )	Kırılma Yüğü (Kgf)	Mukavemet ( $\text{Kg/cm}^2$ )
1	176,7	5301,43	13.214	2,49	89270	505,21
2	176,7	5301,43	13.270	2,50	89980	509,22
3	176,7	5301,43	13.328	2,51	91318	516,80
4	176,7	5301,43	13.240	2,50	88324	499,85
Ortalama	176,7	5301,43	13.263	2,50	89700,50	507,77

3. grupta üretilen 4 adet çift kat GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.58. C3-2D numunelerinin yük- zaman grafiği

Deney sonunda 2D sargılı numunelerin tümünde aynı şekilde şekil değişikliği meydana gelmiştir (Şekil 5.59).



Şekil 5.59. C1-2D kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

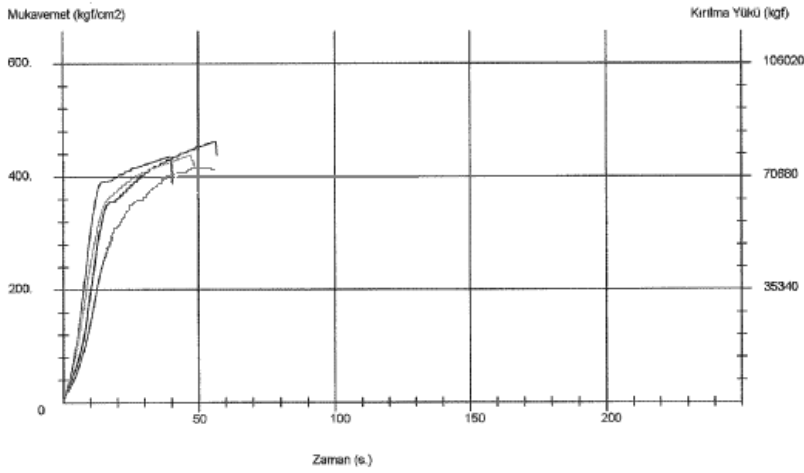
### 3. Grup için tek kat + bir kat 45° GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

C3-1D +1E deneyinin sonuçları ve ortalaması Tablo 5. 26'da verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı 176,7 cm<sup>2</sup> ve hacmi 5301,43 cm<sup>3</sup> olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5. 26.) hesaplanmıştır. C3-1D+1E numunelerinin ortalama mukavemet değeri 441,23 Kgf/cm<sup>2</sup>'dir.

Tablo 5.26. C3-1D+1E sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü ( Kgf)	Mukavemet ( Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	13.334	2,52	78503	444,77
2	176,7	5301,43	13.440	2,54	77828	440,45
3	176,7	5301,43	13.542	2,55	77474	438,45
4	176,7	5301,43	13.460	2,54	77971	441,26
Ortalama	176,7	5301,43	13.444	2,538	77944,00	441,23

3. grupta üretilen 4 adet tek kat + 1 kat 45° GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.60. C3-1D+1E numunelerinin yük- zaman grafiği

Deney sonunda 1D +1E numunelerin şekil değişikliği her üç grupta da aynıdır (Şekil 5.61).



Şekil 5.61. C3-1D+1E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

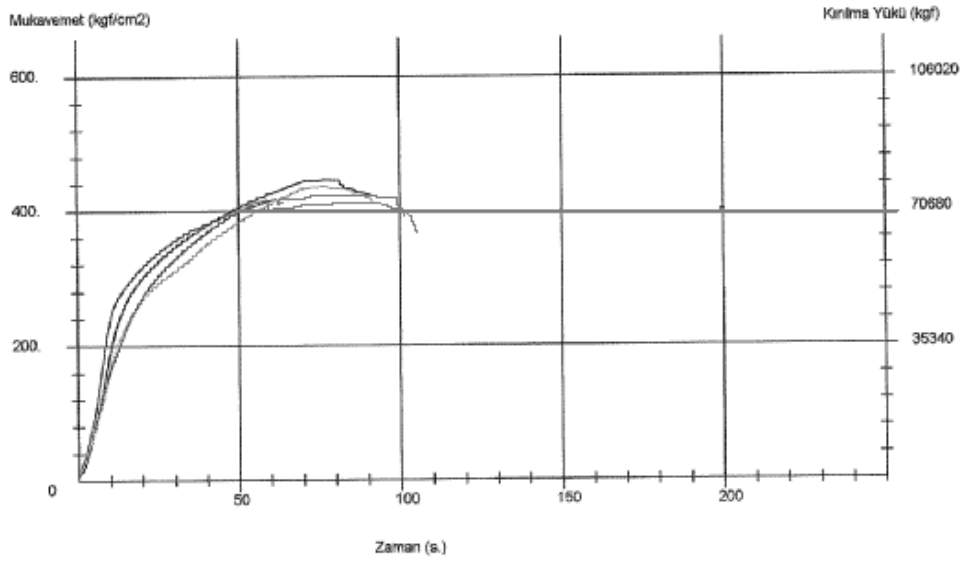
### 3. grup için tek kat + iki kat 45° GFRP/cam elyaf sargılı numune sonuçları

C3-1D+2E deneyinin sonuçları ve ortalaması Tablo 5.27'de verilmiştir. Bu tabloya göre; kesit alanı 176,7 cm<sup>2</sup> ve hacmi 5301,43 cm<sup>3</sup> olan numunelerin 28 günlük basınç mukavemet değerleri (Tablo 5. 27) hesaplanmıştır. C3-1D+1E numunelerinin ortalama mukavemet değeri 477,83 Kgf/cm<sup>2</sup>'dir.

Tablo 5.27. C3-1D+2E sonuçları

Sıra No	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg/Adet)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü (Kgf)	Mukavemet ( Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	176,7	5301,43	13.628	2,57	83560	472,89
2	176,7	5301,43	13.750	2,59	84719	479,45
3	176,7	5301,43	13.806	2,60	85092	481,56
4	176,7	5301,43	13.690	2,58	84357	477,40
Ortalama	176,7	5301,43	13.718,5	2,585	84432,00	477,83

3. grupta üretilen 4 adet tek kat + 2 kat 45° GFRP/Cam elyaf sargılı numunelerin yük-zaman grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.62. C3-1D+2E numunelerinin yük- zaman grafiği

C 3 -1D + 2E- deney sonunda; basınç presi düşey (y) doğrultu da basınç uyguladığın da dış kabuk çevresinde gözle görülür büyük değişiklik (herhangi bir kopma, betondan ayrışma vb.) gözlenmez iken (Şekil 5. 6), numunenin ağırlık merkezinde de herhangi bir genişleme meydana gelmemiştir (Tablo 5. 28.).

Tablo 5.28. C3-1D+2E basınç deneyi sonucunda numunelerde meydana gelen genişleme miktarları

Numune Adı	İlk hal ( cm )	Son hal ( cm )
Numune 1	50,5	50,5
Numune 2	50,5	50,5
Numune 3	50,5	50,5
Numune 4	50,5	50,5

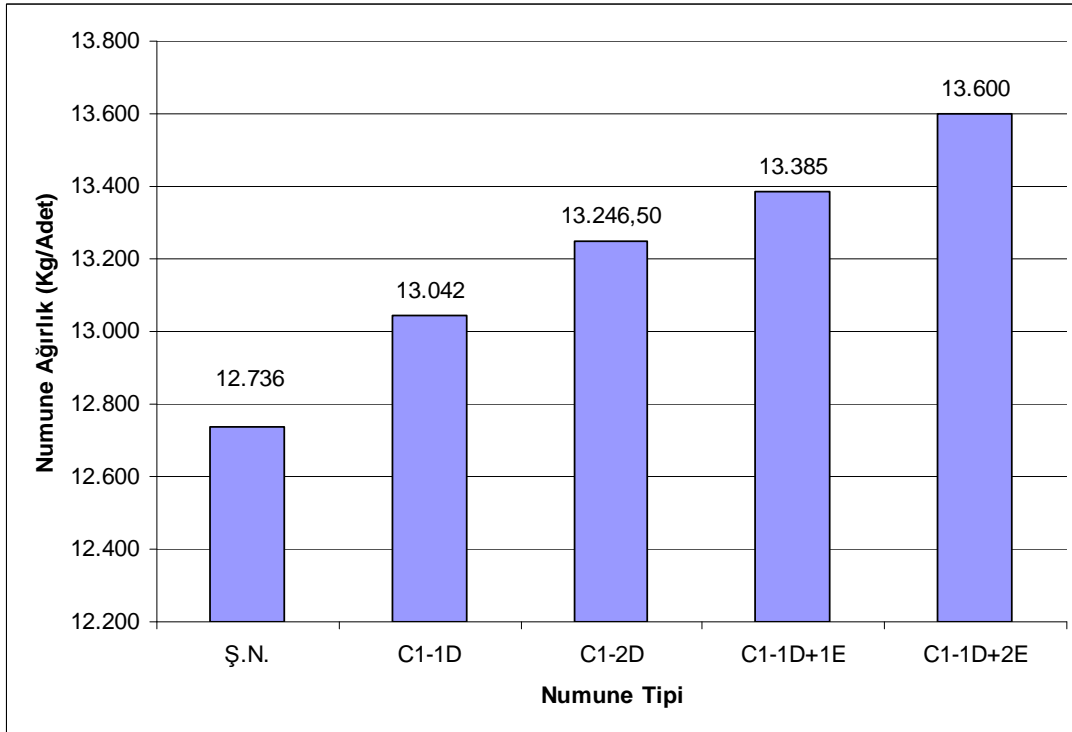


Şekil 5.63. C3-1D+2E kodlu deney numunelerinin deney sonucundaki şekil değiştirmiş hali

### 5.2.6. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

1. Grup GFRP/cam eiyaf sargılı numuneler ile şahit numunelerin karşılaştırılması

a) Numune ağrlıklarının karşılaştırılması



Şekil 5.64. C1 deney numunelerinin ağrlıklarının karşılaştırılması

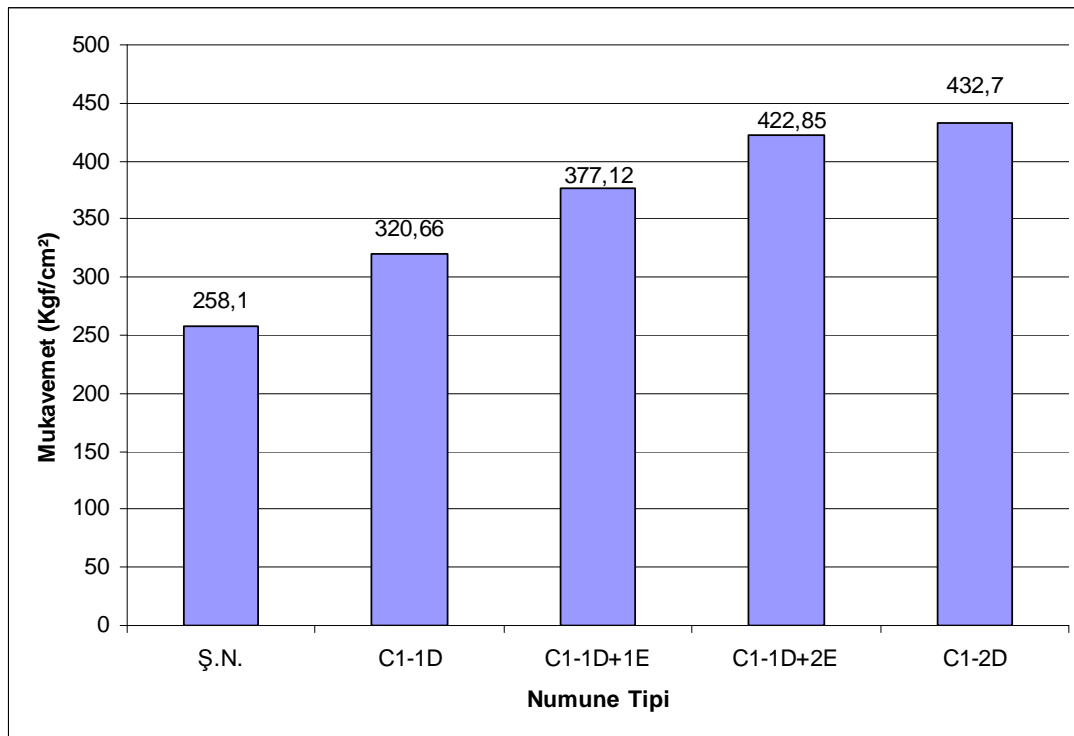


Birinci grup beton örneklerinden; GFRP sargılı numuneler ile şahit numunelerin ortalama ağırlıklarının karşılaştırılması amacıyla oluşturulan grafik Şekil 5.64'te verilmiştir.

Grafikten yapılan çıkarıma göre katman sayısı arttıkça ilave yük artmaktadır. İlave yük ( cam elyaf + epoksi ) en az C1-1D numunelere gelmişken, en fazla yük ise C1-1D+2E numunelere gelmiştir. C1-2D numuneler ile C1-1D+1E numunelere bakıldığında her ikisi de iki kat GFRP' den oluşmasına rağmen ağırlıkları birbirinden farklıdır. Aradaki farkın oluşmasının sebebi, C1-1D+1E numuneler de daha fazla bindirme payının olmasıdır.

Grafikten yapılan diğer bir çıkarıma göre sarılacak cam elyaf katmanı artsa bile gelen yük miktarı azdır. Cam elyaf sargılı numuneler ile şahit numuneler arasında %2-7 ilave yük gelmiştir.

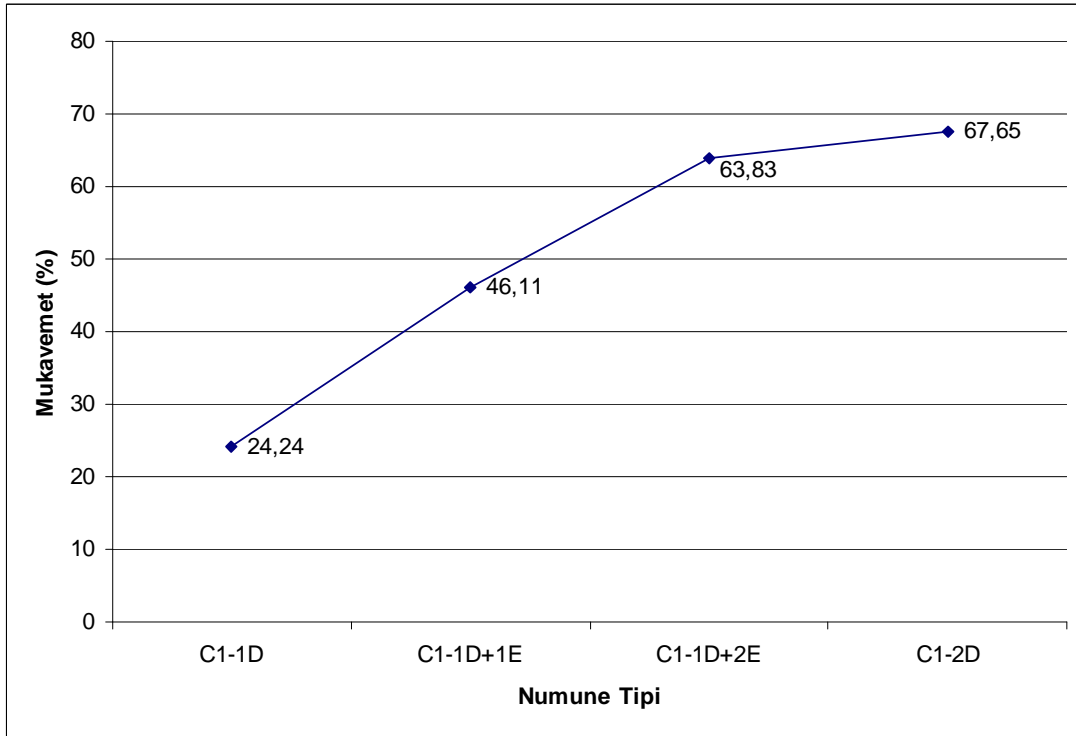
#### b) Mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.65. C1 deney numunelerinin mukavemetlerinin karşılaştırılması

Birinci grup beton örneklerinden; GFRP sargılı numuneler ile şahit numunelerin mukavemetlerinin karşılaştırılması amacıyla oluşturulan grafik Şekil 5.65'te verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi beton yüzeyine sarılan GFRP katman sayısı arttıkça mukavemet artmamaktadır. Ayrıca sarım şekline göre mukavemet değişmektedir. Bunun sebebi ise cam elyaf dokumasındaki liflerin birbirlerine yük aktarımı sarım şekline bağlıdır.

En az dayanımı C1-1D numunesi karşılarken, en fazla C1-2D numunesi karşılamıştır. Fakat C1-2D numune ile C1-1D+2E numune arasında büyük bir fark ortaya çıkmamaktadır.



Şekil 5.66. C1 deney numunelerinin mukavemet yüzdelerinin karşılaştırılması

Yapılan C1 deneysel çalışmalar beton yüzeyine sarılan GFRP malzemenin beton basınç dayanımının arttırdığını göstermektedir. Yapılan 1D sargısı ile mukavemette %24'lük bir artış elde etmektedir. Aynı grupta 2D sargısı ile mukavemette %67'lik bir artış elde edilmiştir. 1D+1E sargılı numunelerin mukavemetinde % 46'luk bir artış elde edilmiştir. Son olarak 1D+2E sargılı numunelerin mukavemetinde ise %63'lük bir artış elde edilmiştir (Şekil 5.66).

## c) Şekil deformasyonlarının karşılaştırılması

Tablo 5.29. 1. grup sargılı ve sargısız numunelerdeki deformasyonlar

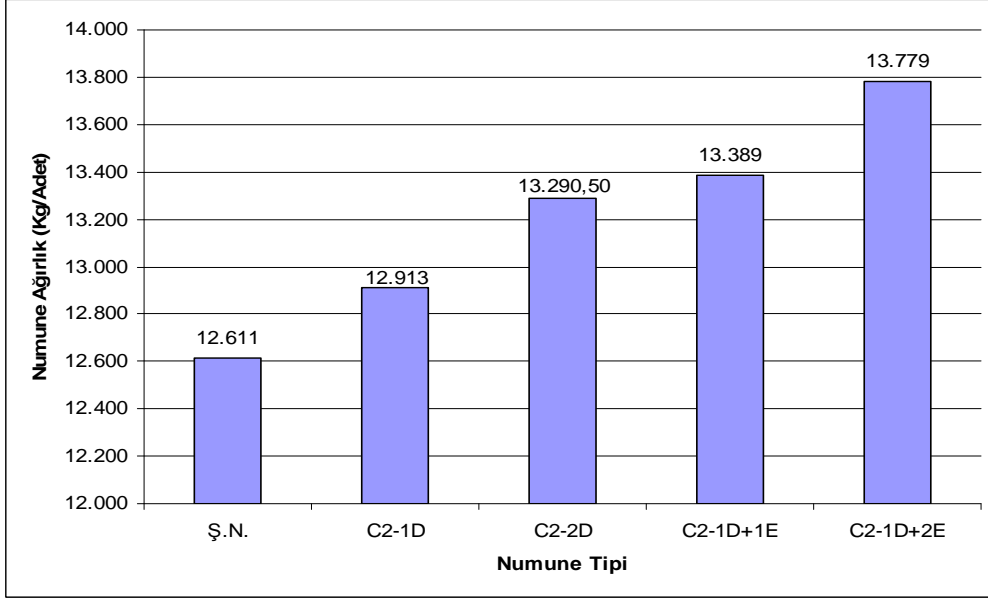
	X Yönünde Değişim	Y Yönünde Değişim	45° Açı Yönünde Değişim	Çapta Genleşme
Ş.N.	+	+	+	-
C12-1D	+	-	-	-
C12-2D	+	-	-	-
C12-1D+1E	+	-	+	-
C12-1D+2E	-	-	-	+

Ş.N numunelerinde; yatay (x) ve 45° 'lik açı yönlerinde kılcal çatlaklar oluşurken, düşey (y) yönünde ise belirgin çatlaklar oluşmuştur. Numuneye gelen yük arttıkça numune basınç deneyi sonucunda kırılmıştır.

Şahit betonların kırılma tipleri dikkate alındığında; C1-1D ve C2-2D numunelerinde; yatay (x) yönünde ağırlık merkezinden itibaren başlayarak betondan kabuk halinde sıyrılmıştır. C1-1D+1E numunelerinde; hem yatay (x) hem de 45°'lik açı yönünde GFRP sargı numuneden kabuk halinde sıyrılmıştır.C1-1D+2E numunelerinde ise yatay (x), düşey (y) ve 45°'lik açı yönünde bir değişiklik gözlenmemiştir. Fakat numunelere dikkatli bir şekilde bakıldığında numunenin çapında % 1–2,5 arasında bir genleşme meydana gelmiştir. Fakat cam elyafta herhangi bir kopma meydana gelmemiştir.

## 2. Grup GFRP/cam elyaf sargılı numuneler ile şahit numunelerin karşılaştırılması

### a) Numune ağırlıklarının karşılaştırılması



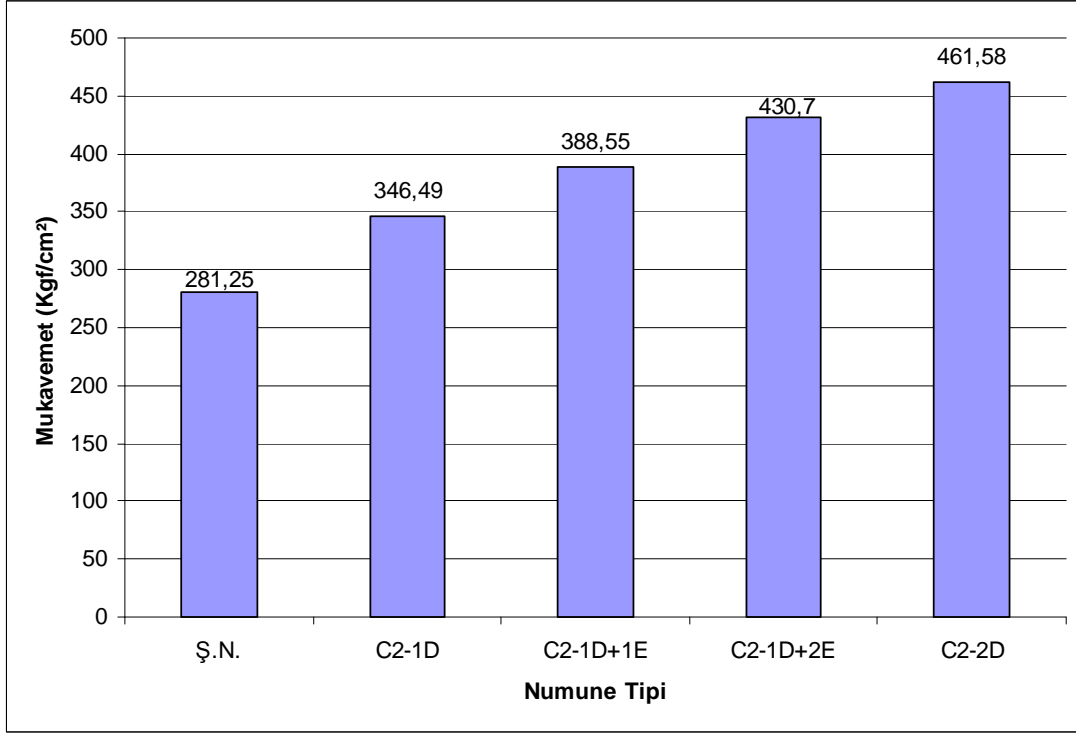
Şekil 5.67. C2 deney numunelerinin ağırlıklarının karşılaştırılması

İkinci grup beton örneklerinden; GFRP sargılı numuneler ile şahit numunelerin ortalama ağırlıklarının karşılaştırılması amacıyla oluşturulan grafik Şekil 5.67’de verilmiştir.

Grafikten yapılan çıkarıma göre katman sayısı arttıkça ilave yük artmaktadır. İlave yük ( cam elyaf + epoksi ) en az C2-1D numunelere gelmişken, en fazla yük ise C2-1D+2E numunelere gelmiştir. C2-2D numuneler ile C2-1D+1E numunelere bakıldığında her ikisi de iki kat GFRP’ den oluşmasına rağmen ağırlıkları birbirinden farklıdır. Aradaki farkın oluşmasının sebebi, C2-1D+1E numuneler de daha fazla bindirme payının olmasıdır.

Grafikten yapılan diğer bir çıkarıma göre sarılacak cam elyaf katmanı artsa bile gelen yük miktarı çok değildir. Cam elyaf sargılı numuneler ile şahit numuneler arasında %2-10 ilave yük gelmiştir.

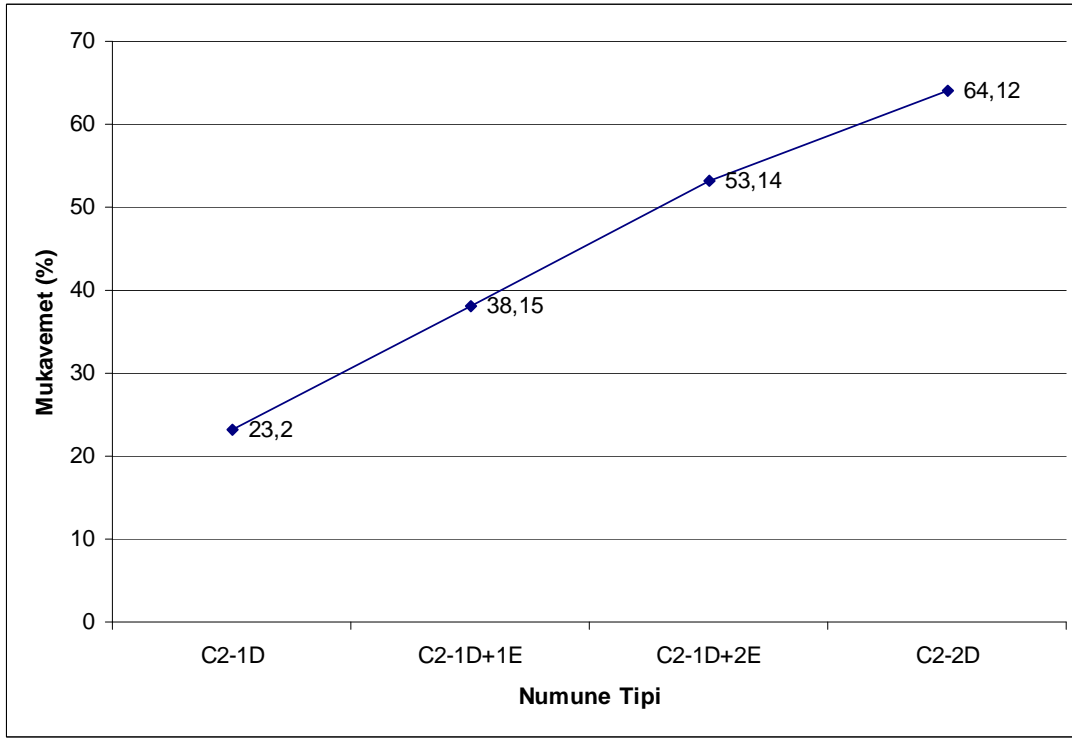
## b) Mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.68. C2 deney numunelerinin mukavemetlerinin karşılaştırılması

İkinci grup beton örneklerinden; GFRP sargılı numuneler ile şahit numunelerin mukavemetlerinin karşılaştırılması amacıyla oluşturulan grafik Şekil 98'de verilmiştir.

En az dayanımı C2-1D numune karşılarken, en fazla C2-2D numune karşılamiştir. Fakat C2-2D numune ile C2-1D+2E numune arasında büyük bir fark ortaya çıkmamaktadır.



Şekil 5.69. C2 deney numunelerinin mukavemet yüzdelerinin karşılaştırılması

Yapılan C2 deneysel çalışmalar beton yüzeyine sarılan GFRP malzemenin beton basınç dayanımının arttırdığını göstermektedir. Yapılan 1D sargısı ile mukavemette %23'lük bir artış elde etmektedir. Aynı grupta 2D sargısı ile mukavemette %64'lük bir artış elde edilmiştir. 1D+1E sargılı numunelerin mukavemetinde % 38'lik bir artış elde edilmiştir. Son olarak 1D+2E sargılı numunelerin mukavemetinde ise %53'lük bir artış elde edilmiştir (Şekil 5.69).

### c) Şekil deformasyonlarının karşılaştırılması

Tablo 5.30. 2. grup sargılı ve sargısız numunelerdeki deformasyonlar

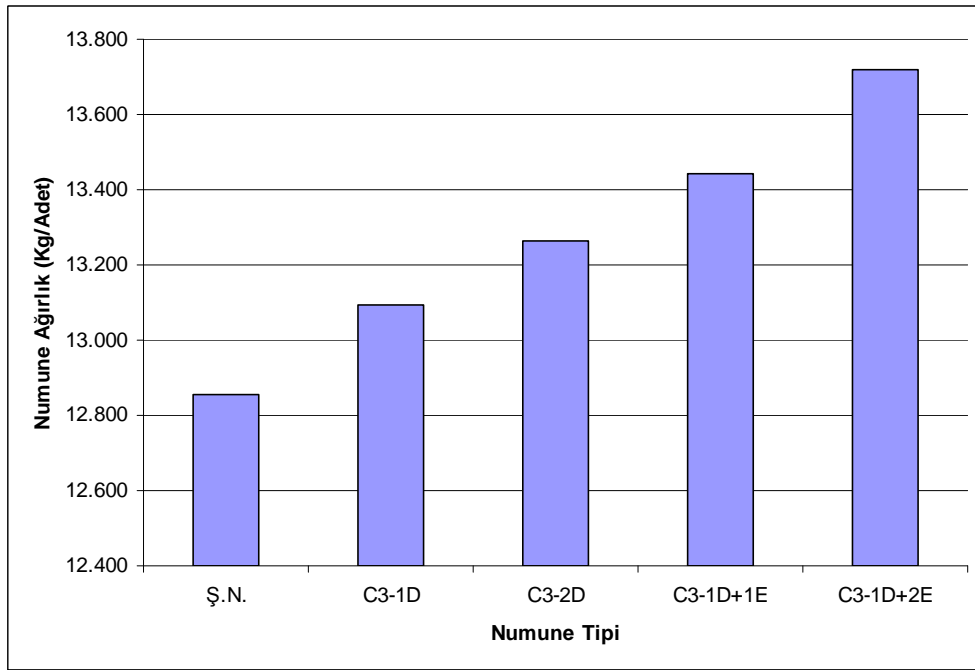
	X Yönünde Değişim	Y Yönünde Değişim	45° Açı Yönünde Değişim	Çapta Genleşme
Ş.N.	+	+	+	-
C16-1D	+	-	-	-
C16-2D	+	-	-	-
C16-1D+1E	+	-	+	-
C16-1D+2E	-	-	-	+

Ş.N numunelerinde; yatay (x) ve 45° 'lik açı yönlerinde kılcal çatlaklar oluşurken, düşey (y) yönünde ise belirgin çatlaklar oluşmuştur. Numuneye gelen yük arttıkça numune basınç deneyi sonucunda kırılmıştır.

Şahit betonların kırılma tipleri dikkate alındığında; C2-1D ve C2-2D numunelerinde; yatay (x) yönünde ağırlık merkezinden itibaren başlayarak betondan kabuk halinde sıyrılmıştır. C2-1D+1E numunelerinde; hem yatay (x) hem de 45°'lik açı yönünde GFRP sargı numuneden kabuk halinde sıyrılmıştır. C2-1D+2E numunelerinde ise yatay (x), düşey (y) ve 45°'lik açı yönünde bir değişiklik gözlenmemiştir. Fakat numunelere dikkatli bir şekilde bakıldığında numunenin çapında % 1–3 arasında bir genişleme meydana gelmiştir. Fakat cam elyafta herhangi bir kopma meydana gelmemiştir.

### 3. Grup GFRP/cam elyaf sargılı numuneler ile şahit numunelerin karşılaştırılması

#### a) Numune ağırlıklarının karşılaştırılması



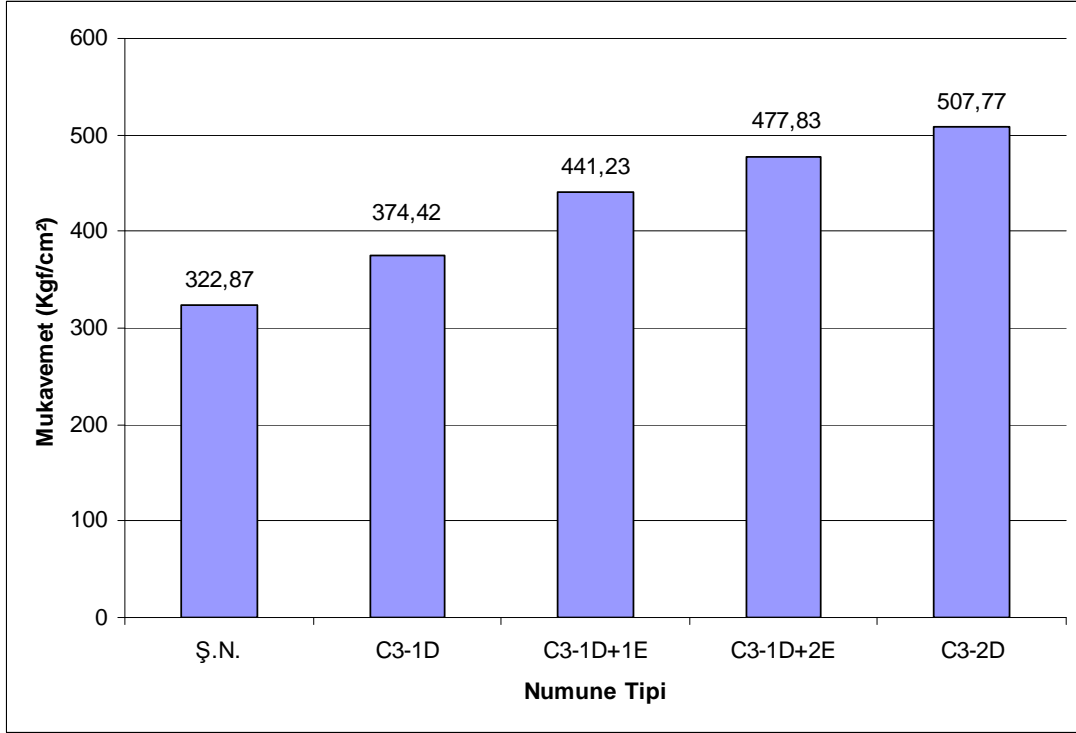
Şekil 5.70. C3 deney numunelerin ortalama ağırlıklarının karşılaştırılması

Üçüncü grup beton örneklerinden; GFRP sargılı numuneler ile şahit numunelerin ortalama ağırlıklarının karşılaştırılması amacıyla oluşturulan grafik Şekil 5.70'de verilmiştir.

Grafikten yapılan çıkarıma göre katman sayısı arttıkça ilave yük artmaktadır. İlave yük ( cam elyaf + epoksi ) en az C2-1D numunelere gelmişken, en fazla yük ise C2-

1D+2E numunelere gelmiştir. C2-2D numuneler ile C2-1D+1E numunelere bakıldığında her ikisi de iki kat GFRP' den oluşmasına rağmen ağırlıkları birbirinden farklıdır. Aradaki farkın oluşmasının sebebi, C2-1D+1E numuneler de daha fazla bindirme payının olmasıdır.

b) Mukavemetlerinin karşılaştırılması

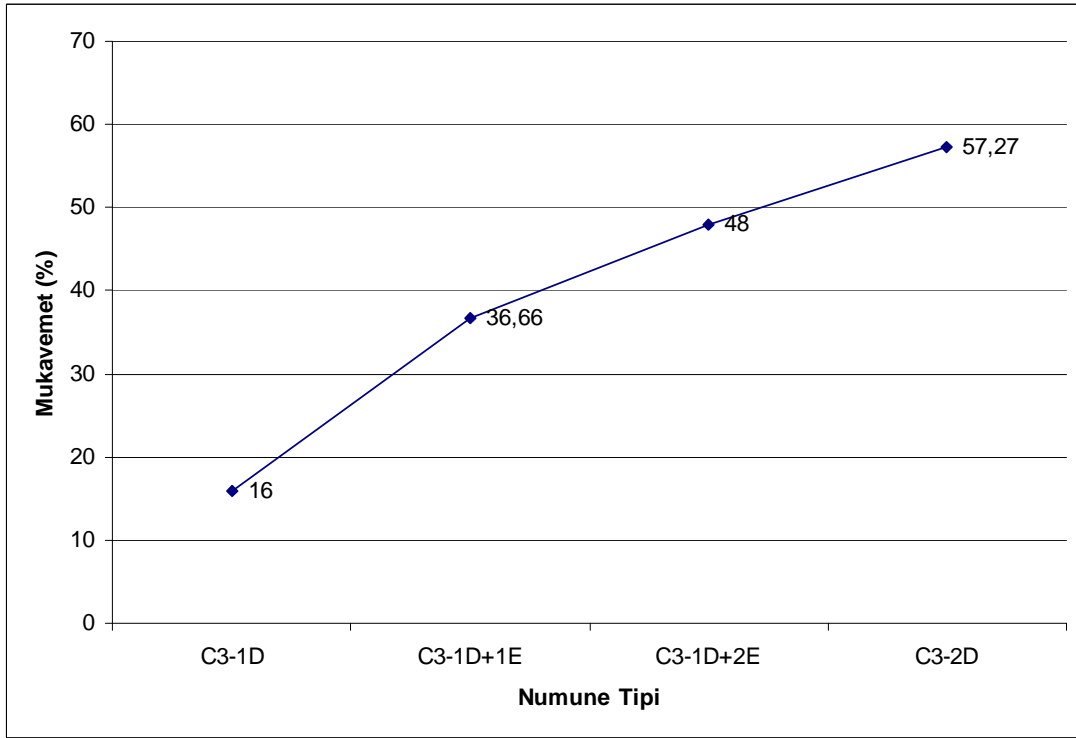


Şekil 5.71. C3 deney numunelerinin mukavemetlerinin karşılaştırılması

Üçüncü grup beton örneklerinden; GFRP sargılı numuneler ile şahit numunelerin mukavemetlerinin karşılaştırılması amacıyla oluşturulan grafik Şekil 5.71'de verilmiştir.

En az dayanımı C3-1D numune karşılarken, en fazla C3-2D numune karşılamıştır. Fakat C3-2D numune ile C3-1D+2E numune arasında büyük bir fark ortaya çıkmamaktadır.





Şekil 5.72. C3 deney numunelerinin mukavemet yüzdelerinin karşılaştırılması

Yapılan C3 deneysel çalışmalar beton yüzeyine sarılan GFRP malzemenin beton basınç dayanımının arttırdığını göstermektedir. Yapılan 1D sargısı ile mukavemette %16'lık bir artış elde etmektedir. Aynı grupta 2D sargısı ile mukavemette %57'lik bir artış elde edilmiştir. 1D+1E sargılı numunelerin mukavemetinde %36'lık bir artış elde edilmiştir. Son olarak 1D+2E sargılı numunelerin mukavemetinde ise %57'lik bir artış elde edilmiştir (Şekil 5.72).

### c) Şekil deformasyonlarının karşılaştırılması

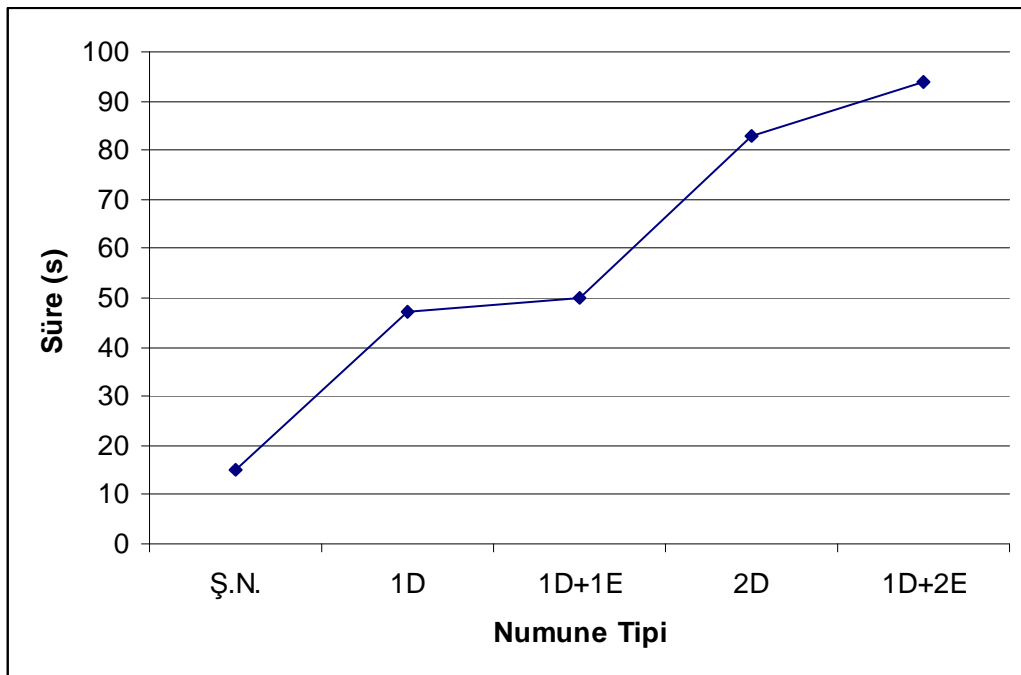
Tablo 5.31. 3. grup sargılı ve sargısız numunelerdeki deformasyonlar

	X Yönünde Değişim	Y Yönünde Değişim	45° Açılı Yönünde Değişim	Çapta Genleşme
Ş.N.	+	+	+	-
C3-1D	+	-	-	-
C3-2D	+	-	-	-
C3-1D+1E	+	-	+	-
C3-1D+2E	-	-	-	-

Ş.N numunelerinde; yatay (x) ve 45° 'lik açılı yönlerinde kılcal çatlaklar oluşurken, dikey (y) yönünde ise belirgin çatlaklar oluşmuştur. Numuneye gelen yük arttıkça numune basınç deneyi sonucunda kırılmıştır.

Şahit betonların kırılma tipleri dikkate alındığında; C3-1D ve C3-2D numunelerinde; yatay (x) yönünde ağırlık merkezinden itibaren başlayarak betondan kabuk halinde sıyrılmıştır. C3-1D+1E numunelerinde; hem yatay (x) hem de 45°'lik açı yönünde GFRP sargı numuneden kabuk halinde sıyrılmıştır. C3-1D+2E numunelerde ise yatay (x), düşey (y) ,45°'lik açı yönünde herhangi bir değişiklik ve çapında bir genişleme gözlenmemiştir.

### 1.-2.-3. Grupların kırılma sürelerinin karşılaştırılması



Şekil 5.73. C1-C2-C3 deney elemanlarının ortalama kırılma süreleri

Beton sınıflarına ait numunelerin ortalama kırılma süreleri Şekil 5.73'te gösterilmiştir. Grafikten yapılan çıkarıma göre en erken sürede kırılan Ş.N iken, en geç 1D+2E numunedir.

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yüzeylere farklı şekil ve katlarda sarılan cam liflerinin ile beton basınç dayanımına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen 3 farklı dayanım sınıfına sahip beton numuneler, basınç deneyine tabi tutulmuştur. Beton basınç dayanımı sonucunda elde edilen değerlerde; şahit numuneler ile yüzeylere farklı şekil ve katlarda sarılan numuneler karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonuçları aşağıda verilmiştir.

Ortalama basınç dayanımı 258 Kgf/cm<sup>2</sup> olan grupta GFRP sargılı numunelerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında; tek kat düz GFRP sargılı numunelerin ortalama basınç dayanımında %24,24' lük bir artış elde edilmiştir. Tek kat düz ve ikinci katı 45° eğimli olacak şekilde sargılı numunelerde %46,11' lik bir artış elde edilmiştir. Tek kat düz ve iki kat farklı yönlerde 45° eğimli olacak şekilde sargılı numunelerde %63,83' lük bir artış elde edilmiştir. Çift kat düz GFRP sargılı numunelerin ortalama basınç dayanımında %67,65' lik bir artış elde edilmiştir.

Şahit numune sonuçlarının ortalama basınç dayanımı 281 Kgf/cm<sup>2</sup> olan grupta GFRP sargılı numunelerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında; tek kat düz GFRP sargılı numunelerin ortalama basınç dayanımında %23,20' lik bir artış elde edilmiştir. Tek kat düz ikinci katı 45° eğimli olacak şekilde sargılı numunelerde %38,15' lik bir artış elde edilmiştir. Tek kat düz ve iki kat farklı yönlerde 45° eğimli olacak şekilde sargılı numunelerde % 53,14' lük bir artış elde edilmiştir. Çift kat düz GFRP sargılı numunelerin ortalama basınç dayanımında %64,12' lik bir artış elde edilmiştir.

Ortalama basınç dayanımı 322 Kgf/cm<sup>2</sup> olan grupta GFRP sargılı numunelerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında; Tek kat düz GFRP sargılı numunelerin ortalama basınç dayanımında %16' lük bir artış elde edilmiştir. Tek kat düz ikinci katı 45° eğimli olacak şekilde sargılı numunelerde %36,66' lük bir artış elde edilmiştir. Tek

kat düz ve iki kat farklı yönlerde 45° eğimli olacak şekilde sargılı numunelerde % 48' lik bir artış elde edilmiştir. Çift kat düz GFRP sargılı numunelerin ortalama basınç dayanımında %57,27' lik bir artış elde edilmiştir.

Her üç grupta da en düşük dayanımı; Tek kat düz GFRP sargılı numunelerde gözlenirken, en yüksek dayanımı; Çift kat düz GFRP ve ile tek kat düz ve iki kat farklı yönler de 45° eğimli GFRP sargılı numunelerde gözlenmiştir. Çift kat ve ile tek kat düz ve tek kat 45° eğimli sargılı numunelere bakıldığında her ikisi de çift kat olmasına rağmen performansları aynı değildir. Bunun sebebi ise tek kat düz ve tek kat 45° eğimli sargılı numuneler de, ise iki katın sarım şeklinin farklı olduğundan yük aktarımı farklı yönde olmuştur. Çift kat düz GFRP sargılı numuneler de lifler her iki katta aynı yönde yük aktarımı yaptığından daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Ortalama numune ağırlığı 12,736 kg olan birinci grupta GFRP sargılı numunelerin numune ağırlıkları karşılaştırıldığında elyaf sargılı numunelerin numune ağırlığı % 2 ila 7 arasında bir artış elde edilmiştir.

Ortalama numune ağırlığı 12,611 kg olan ikinci grupta GFRP sargılı numunelerin numune ağırlıkları karşılaştırıldığında elyaf sargılı numunelerin numune ağırlığı %2 ila 10 arasında bir artış elde edilmiştir.

Ortalama numune ağırlığı 13,263 kg olan üçüncü grupta GFRP sargılı numunelerin numune ağırlıkları karşılaştırıldığında elyaf sargılı numunelerin numune ağırlığı %2 ila 8 arasında bir artış elde edilmiştir.

Her üç grupta da silindir numunelerin geometrik şekilleri değişmezken numune ağırlıkları elyaf ve epoksi miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Ayrıca; görülen bu artışların elyaf ve epoksi miktarına bağlılığının yanında uygulamanın da ne kadar hassas yapıldığının da bir göstergesidir. Fakat cam elyafın numune ağırlığı düşük olduğundan numunelerin sarım katmanları artsa bile kayda değer büyük bir artış oluşmamıştır.

Her üç grupta da şahit silindir numunelerin basınç deneyinde yüklemeye başlandığında ilk olarak çatlak oluşumu gözlenirken yüklemeye devam edildiğinde küçük çaplı kopmalar meydana gelmiştir.

Tek kat düz ve çift kat düz GFRP sargılı numunelerin hepsinde silindirin ağırlık merkezinde cam elyaf, lif doğrultusunda yatay (x) yönünde betondan sıyrılıp kopmuştur.

Tek kat düz ikinci katı 45° eğimli olacak şekilde sargılı numunelerin hepsinde cam elyaf numunenin 2. katını oluşturan 45° açılı yönündeki lif yönünde betondan sıyrılıp kopmuştur.

Çift kat ve tek kat düz, ikinci katı 45° eğimli olacak şekilde sargılı numunelerin ikisi de 2 kat sargılı olmasına rağmen deney sonucunda farklı şekillerle lifler kopmuştur. Çünkü liflerin yük aktarımı birbirinden farklıdır.

Çift kat GFRP sargılı numunelerin her iki katın lif yönü yatay (x) yönünde olup, her iki katta da yatay yönde lif yük aktarımı yapmaktadır. Tek kat düz ikinci katı 45° eğimli olacak şekilde sargılı numunelerde ise ilk kat yatay (x) yönde çalışırken ikinci kat 45° eğimli yönde çalışmaktadır ve ikinci katın yönünde elyaf numuneden sıyrılıp kopmuştur.

Ortalama basınç dayanımı 422 Kgf/cm<sup>2</sup> olan, tek kat düz ve iki kat farklı yönlerde 45° eğimli yönde sargılı olan grupta numunelerin deney sonucunda gözle görünür bir değişiklik olmaz iken, orta bölgesinde gözle görülür bir atış oluşmuştur. Çapta meydana gelen bu değişiklik, metre ile ölçüldüğünde numunenin ilk çevresi 50,5 cm olarak ölçülmüş iken. Deney sonunda çapta 0,7 ila 1,1 cm arasında genleşme oluşmuştur.

Ortalama basınç dayanımı 430 Kgf/cm<sup>2</sup> olan tek kat düz ve iki kat farklı yönlerde 45° eğimli yönde sargılı olan grupta numunelerin deney sonucunda gözle görünür bir değişiklik olmaz iken numunenin orta bölgesinde gözle görülür bir atış oluşmuştur. Çapta meydana gelen bu değişiklik, metre ile ölçüldüğünde numunenin ilk çevresi

50,5 cm olarak ölçülmüşken deney sonunda çevresi 0,4 ila 1,4 cm arasında genişleme oluşmuştur.

Ortalama basınç dayanımı 477 Kgf/cm<sup>2</sup> olan tek kat düz ve iki kat farklı yönlerde 45° eğimli yönde sargılı olan grupta numunelerin deney sonucunda deney sonucunda gözle görülür hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. Metre ile ölçüldüğünde numunenin deney öncesi ve sonrasındaki çevresi 50,5 cm olarak ölçülmüştür. Herhangi bir genişleme tespit edilmemesine rağmen numunenin iç kırımının olduğu deney sonunda gözlemlenmiştir.

Her üç grupta da şahit, silindir numunelerin ortalama kırılma süresi; 10-20 sn arasında gerçekleşmiştir. Sargılı numunelerin performansı arttığı gibi kırılma süreleri de uzamıştır. Şahit numuneye göre 1D sargılı numunelerin ortalama kırılma süresi 3 katı, 2D sargılı numuneler 8 katı, 1D+1E sargılı numuneler 5 katı ve 1D+2E sargılı numuneler de ise 10 katı uzun süre de kırılmıştır.

Elyaf ve epoksi katmanları arttıkça maliyette aynı oranda artmaktadır. En düşük maliyet 1D uygulamasında görülürken, en yüksek maliyet 1D+2E uygulamasında görülmüştür.

#### **Yapılan çalışma sonuçlarına göre öneriler aşağıda verilmiştir.**

Epoksi bileşenleri çabuk katılaştığından sarılabilecek yüzey kadar epoksi karıştırılmalıdır.

GFRP sarımı yapılmadan önce numune yüzeyi iyice temizlenip, sarım sırasında ve sonrasında GFRP ile epoksi arasında herhangi bir hava veya uygulama boşluğu kalmamalıdır. Uygulama sonrasında silindir fırça ile meydana gelebilecek olası boşluklar çıkartılmalıdır.

Frp sargılama yöntemiyle aynı zamanda betonarme elemanı dış etkenlerden de korunmaktadır. GFRP malzemesinin alkali, korozyon, kısacası çevre koşullarından etkilenmediğinden tercih edilebilir.

Sargılama işlemi sonucunda performansın arttığı gibi şekil değişikliği olmamıştır. Bu özelliği nedeniyle; tarihi yığma yapılarda bu tip bir güçlendirme uygulanabilir.

Farklı Dayanımlara sahip daha düşük dayanımlı betonlar üzerinde araştırma yapılabilir.

Ankraj sistemi geliştirilerek GFRP' nin performansı ve betonarme elamanların performansları araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] BAYÜLKE N., Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:15, İzmir, 1999.
- [2] ÇAMLİBEL N., Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi, Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Bilim Dalı Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [3] DEMİR H., Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Emlak Pazarlama Proje Yönetimi ve Servisi A.Ş., İstanbul
- [4] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yönetmelikler- 1998
- [5] <http://www.kalitekontrol.org..>,08.2009
- [6] <http://www.sismiktasarim.com>, 09.2009
- [7] <http://www.inaatmuhendisligi.net>, 08.2009
- [8] GÜROL K.B., Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Binaları Güçlendirme Yöntemleri, İzmir, 2007.
- [9] AKYILDIZ H., Betonarme Bir Yapının Güçlendirme Öncesi ve Sonrası Yapı Performansının İncelenmesi, Sakarya, 2007.
- [10] YÖRÜKCÜ B., Hasarlı Yapıların Onarım ve Güçlendirme İlkeleri, 2007
- [11] YILDIZLAR B., İstanbul Üniversitesi Nadir Eserler Kütüphanesi'nde Uygulanmakta Olan Onarım ve Güçlendirme Tekniği , Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar I. Kongresi MBGAK'2003, İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü, İstanbul, 2004
- [12] KOPRAMAN Y., Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kolonlarda Manto Alanının Davranışına Etkisi, Ankara, 2003
- [13] ERDEM M.F., Perde Duvar ve Betonarme Mantolama Yöntemleriyle Güçlendirme Maliyetinin İncelenmesi Akşehir İHL Örneği, Ankara, 2008
- [14] ARSLAN M., Betonarme Kirişlerin Epoksi Yapıştırılan Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi, Ankara, 1991



- [15] <http://www.prota.com.tr>, 04.2010
- [16] <http://www.depremlesavas.com>,04.2010
- [17] <http://www.osmanmidilli.com>,04.2010
- [18] TANARSLAN H.M., CFRP Şeritlerle Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Tersinir- Tekrarlı Yükler Altında Davranışı, İzmir, 2007.
- [19] ÇETİNKAYA N., Betonarme Yapı Elemanlarının FRP Malzemelerle Onarım ve Güçlendirilmesi, Denizli, 2002.
- [20] YAZGI Z., Dikdörtgen Kesitli Basit Mesnetlenmiş Kirişlerin Eğilme Yönünde Karbon ve Cam Liflerle Güçlendirilmesi, Ankara, 2007
- [21] CILIZ İ.M., Düşük Dayanımlı Betonla Üretilmiş T Kesitli Betonarme Kirişlerin CFRP ile Güçlendirilmesi, Ankara, 2007
- [22] ÖNEN H.Y., Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışları Ve Güçlendirilmesi İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi
- [23] ERDOĞAN T.Y., Beton ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, 2003
- [24] <http://www.teknolojikaestirmalar.com>, 08,2008
- [25] <http://www.tcma.org.tr>, 08.2009
- [26] <http://www.as-beton.com.tr>, 08.2009
- [27] <http://www.as-beton.com.tr>, 09.2009
- [28] [http:// www.kompozit.net](http://www.kompozit.net),01.2010
- [29] <http://www.camelyaf.net>, 01.2010

## ÖZGEÇMİŞ

Tuba UYGUN, 21.05.1984 de Van'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2003 yılında başladığı Süleyman Demirel Üniversitesi, Yapı Öğretmenliği bölümünü 2007 yılında bitirdi. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalına girdi. 2008 yılından İstanbul İl Özel İdaresi, İmar Yatırım Daire Başkanlığı'nda çalışmaya başladı. Halen aynı alanda çalışmaktadır.