

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON YÜZEYLERİNE SARILAN LİFLİ
KOMPOZİTLERİN BASINÇ DAYANIMINA
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer BAŞTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK

Mayıs 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

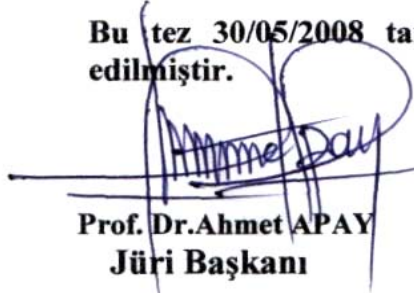
**BETON YÜZEYLERİNE SARILAN LİFLİ
KOMPOZİTLERİN BASINÇ DAYANIMINA
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer BAŞTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Bu tez 30/05/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Ahmet APAY
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK
Üye


Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ
Üye

ÖNSÖZ

Her geçen gün ilerleyen teknoloji sayesinde inşaat sektörüne birçok yenilikler girmektedir. Lifli kompozit malzemeler de bu yeniliklerden bir tanesidir. Bu malzemelerin yapılarda kullanıldığı başlıca alanlardan biride onarım ve güçlendirme projeleridir. Güçlendirme projelerin içinde kompozit malzemelerden olan karbon elyaf-epoksi ve cam elyaf-epoksi malzemelerin kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte güçlendirme projeleri daha kısa zamanda tamamlanabilmektedir. Bu çalışmada yüzeylere sarılan karbon elyaf-epoksi ve cam elyaf-epoksi malzemelerinin beton basınç dayanımına etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada başta tez çalışmamı yönlendiren Sayın Yrd.Doç.Dr.Mehmet SARIBIYIK'a şükranlarımı sunarım. Karbon lifli dokuma ve epoksi reçineyi sağlayan Sika Yapı Kimyasalları A.Ş'ne ve cam elyaf malzemesinin teminini sağladığım İstanbul Teknik İnşaat Mühendislik Sanayi ve Ticaret Ltd.şti'ne sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneyleri gerçekleştirmek için bana malzeme ve çalışma ortamı sağlayan Merve İnşaat taah.müh. ve nak.tic.ltd.şti'ne ve değerli çalışanı kalite sorumlusu Ramazan ÖZDURDABAK'a ve değerli dostlarım Arş. Gör. Tahir AKGÜL, Arş. Gör. İsa VURAL 'a yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim ve her zaman maddi ve manevi desteklerini karşılıksız sunan değerli aileme ve desteğini gördüğüm sevgili eşime şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BETONUN TANIMI VE TARİHÇESİ.....	3
2.1. Betonun Tanımı.....	3
2.2. Betonun Tarihçesi.....	3
2.3. Betonun Bileşenleri.....	4
2.3.1. Agregalar.....	5
2.3.1.1. Agregaların özellikleri.....	6
2.3.1.2. Agreganın fiziksel özellikleri.....	6
2.3.1.3. Agreganın mekanik özellikleri.....	10
2.3.1.4. Agregaların sınıflandırılması.....	11
2.3.1.5. Agreganın granülometrisi.....	15
2.3.1.6. Granülometrinin belirlenmesi.....	17
2.3.1.7. Granülometri eğrileri.....	19
2.3.1.8. Agreganın yüzey şekli ve biçimi.....	22
2.3.1.9. Agregada bulunabilecek zararlı madde ve taneler.....	23

2.3.2. Çimentolar.....	28
2.3.2.1. Çimentonun fiziksel özellikleri ve kontrol sistemleri.....	31
2.3.3. Beton karışım ve temas suyu.....	34
2.3.4. Beton katkı maddeleri.....	36
2.3.5. Betonda basınç mukavemeti.....	37
2.3.6. Konuyla ilgili yapılmış çalışmalar.....	38

BÖLÜM 3.

MALZEME METOT.....	40
3.1. Giriş.....	40
3.2. Agregası ve Su Özellikleri.....	40
3.3. Çimento ve Özellikleri.....	45
3.4. Sertleşmeyi Hızlandırıcı Beton Katkısı ve Özellikleri.....	46
3.5. Karbon Lifli Dokuma ve Özellikleri.....	47
3.6. Cam Elyaf ve Özellikleri.....	50
3.6.1. Cam elyafı ve üretimi.....	52
3.6.2. Cam elyafın tarihçesi.....	52
3.6.3. Piyasadaki cam elyafı takviye malzemeleri ve çeşitleri.....	53
3.6.3.1. Fıtil	53
3.6.3.2. Cam elyafı iplik	54
3.6.3.3. Kumaşlar	55
3.6.3.4. Dokunmuş fitiller	55
3.6.3.5. Dokunmuş cam kumaş.....	55
3.6.3.6. Dikilmiş kumaşlar.....	56
3.6.3.7. Tek yönlü fıtil kumaşlar	56
3.6.3.8. Devamlı demetli keçe.....	57
3.6.3.9. Kırpılmış demetten keçeler.....	57
3.6.3.10. Kırpılmış demetler	58
3.6.3.11. Öğütülmüş lifler.....	58
3.6.4. Cam elyafı üretimindeki başlıca cam cinsleri.....	59
3.7. Takviye Türlerinin Karşılaştırılması.....	62
3.8. Doyurma Reçinesi ve Özellikleri.....	62

3.9. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	65
3.9.1. Beton karışım hesapları.....	65
3.9.2. Deneyde kullanılan alet ve makineler.....	67
3.9.3 Beton dökümü.....	67
3.9.4. Karbon lifli dokuma ve cam elyafın sarılması.....	68
BÖLÜM 4.	
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	73
4.1. Deneyde Uygulanacak Basamaklar.....	73
4.2. Şahit Numunelerin Basınç Dayanımı Deneyi.....	74
4.3. Karbon Lifli Dokuma ve Cam Elyaf Sarılı Numunelerin Basınç Dayanımı Deneyi	75
4.4. 150 x300 mm Boyutlu Şahit ve Kompozit Numunelerin Deney Grafikleri.....	76
4.4.1. C16 beton sınıflı şahit numunelerin basınç deneyi grafikleri.	77
4.4.2. C16 beton sınıflı tek kat cam elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği.....	78
4.4.3. C16 beton sınıflı çift kat cam elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği.....	79
4.4.4 .C16 beton sınıflı tek kat karbon elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği.....	79
4.4.5. C16 beton sınıflı çift kat karbon elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği.....	80
4.4.6. C20 beton sınıflı şahit numunelerin basınç deneyi grafikleri.....	81
4.4.7. C20 beton sınıflı tek kat cam elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği.....	82
4.4.8. C20 beton sınıflı çift kat cam elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği.....	83
4.4.9. C20 beton sınıflı tek kat karbon elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği	84
4.4.10. C20 beton sınıflı çift kat karbon elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği.....	85

4.5. Sonuçların Karşılaştırılması.....	86
4.5.1. Sonuçların şahit numunelerle karşılaştırılması.....	86
4.5.2. C16 beton sınıflı numunelerin şahit numune ile kıyaslanması.....	87
4.5.3. C20 beton sınıflı numunelerin şahit numune ile kıyaslanması.....	92
4.5.4. C16 ve C20 beton sınıflı numunelerin kendi aralarında karşılaştırılması.....	97
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	103

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C.E	:Cam elyaf
Ç.S	:Çift sargılı sistem
T.K	:Tek sargılı sistem
E	: Elâstik modül
D	: Max. dane boyutu
d_1 ve d_2	: Alt ve üst elek boyutları
f_{ck}	: Karakteristik dayanım
f_{cm}	: Ortalama dayanım
FRP	: Karbon lifli dokuma
LTP	: Cam lifli takviyeli polimer esaslı kompozit
ρ	: Agreganın porozitesi
YKSD	: Kuru yüzeyli doygun taneler
k	: Agreganın kompasitesi
N	: Kıvama bağlı katsayı
q	: İki elek arasındaki (d_1 ve d_2) agrega miktarı
I_m	: İncelik modülü
n	: Agregada kullanılan elek sayısı
K.E	:Karbon elyaf
Ş.N	:Şahit numune
Ş.ORT	:Şahit numunelerin basınç dayanımı ortalamaları
$\sum M_i$: Elek üstünde yığılımlı % kalan agrega
W_0	: Kurutulan agreganın ağırlığı
W_1	: Agregaların tane ağırlığı
δ	: Agreganın özgül ağırlığı
Δ	: Agreganın birim ağırlığı
W	: Su miktarı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Beton bileşenleri	5
Şekil 2.2.	Agrega su bağıntısı.....	8
Şekil 2.3.	Maksimum tane büyüklüğü 8,0 mm olan karışık agreganın granülometri eğrileri.....	22
Şekil 2.4.	Maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan karışık agreganın granülometri eğrileri.....	22
Şekil 2.5.	Maksimum tane büyüklüğü 32 mm olan karışık agreganın granülometri eğrileri.....	23
Şekil 2.6.	Maksimum tane büyüklüğü 63 mm olan karışık agreganın granülometri eğrileri.....	23
Şekil 3.1.	Agreganın hazırlanması.....	44
Şekil 3.2.	Agrega karışımının granülometri eğrisi ve TS707 sınır değerleri	47
Şekil 3.3.	Karbon lifli kumaş ve uygulamaya hazırlanması.....	53
Şekil 3.4.	Direk sarma fitil ve bileşik fitil.....	57
Şekil 3.5.	Cam elyaf iplik.....	58
Şekil 3.6.	Dokunmuş fitil	59
Şekil 3.7.	Dokunmuş cam kumaş.....	59
Şekil 3.8.	Dikilmiş kumaş.....	60
Şekil 3.9.	Tek yönlü fitil kumaş çeşitleri.....	60
Şekil 3.10.	Devamlı demetli keçe.....	61
Şekil 3.11.	Kırılmış demetten keçe.....	62
Şekil 3.12.	Kırılmış demetler.....	62
Şekil 3.13.	Öğütülmüş lif.....	63
Şekil 3.14.	Alkali dayanımlı cam elyaf ve uygulamaya hazırlanması.....	65
Şekil 3.15.	Doyurma reçinesinin hazırlanması.....	68
Şekil 3.16.	Deneyde kullanılan alet ve makineler.....	72

Şekil 3.17.	Betonun dökümü ve kürü.....	73
Şekil 3.18.	Silindir numuneye tek kat karbon lifli kumaşın sarılması ve doyurma reçinesinin uygulanması.....	75
Şekil 3.19.	Silindir numuneye çift kat karbon lifli kumaşın sarılması ve doyurma reçinesinin uygulanması.....	76
Şekil 3.20.	Silindir numuneye tek kat cam elyafın kaplanması ve doyurma reçinesinin uygulanması.....	77
Şekil 3.21.	Silindir numuneye çift kat cam elyafın kaplanması ve doyurma reçinesinin uygulanması.....	78
Şekil 4.1.	150 x300 mm boyutlu silindir şahit numunelerin preste kırılması	80
Şekil 4.2.	Cam elyaf sarılı silindir numunelerin preste kırılması	81
Şekil 4.3.	Karbon elyaf sarılı silindir numunelerin preste kırılması.....	82
Şekil 4.4.	C16 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	84
Şekil 4.5.	Tek kat cam elyaf sarılı C16 beton sınıflı silindir numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	85
Şekil 4.6.	Çift kat cam elyaf sarılı C16 beton sınıflı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	86
Şekil 4.7.	Tek kat karbon elyaf sarılı C16 beton sınıflı silindir numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	87
Şekil 4.8.	Çift kat karbon lif sarılı C16 beton sınıflı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	88
Şekil 4.9.	C20 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	89
Şekil 4.10.	Tek kat cam elyaf sarılı C20 beton sınıflı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	90
Şekil 4.11.	Çift kat cam elyaf sarılı C20 beton sınıflı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	91
Şekil 4.12.	Tek kat karbon lif sarılı C20 beton sınıflı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	92
Şekil 4.13.	C20 beton sınıflı çift kat karbon lif sarılı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği.....	93

Şekil 4.14.	C16 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin basınç dayanımları	90
Şekil 4.15.	C20 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin basınç dayanımları	90
Şekil 4.16.	C16 tek kat cam elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	91
Şekil 4.17.	C16 çift kat cam elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	91
Şekil 4.18	C16 tek kat ve çift kat cam elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.19.	C16 tek kat karbon elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.20.	C16 çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	93
Şekil 4.21.	C16 tek kat ve çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	94
Şekil 4.22.	C16 tek kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	94
Şekil 4.23.	C16 çift kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması....	95
Şekil 4.24.	Tek sargılı ve çift sargılı C16 beton sınıflı kompozit numunelerin, şahit numuneye kıyasla basınç dayanımları.....	95
Şekil 4.25.	C20 tek kat cam elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.26.	C20 çift kat cam elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.27.	C20 tek kat ve çift kat cam elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	97
Şekil 4.28.	C20 tek kat karbon elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	97
Şekil 4.29.	C20 çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	98
Şekil 4.30.	C20 tek kat ve çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	98

Şekil 4.31.	C20 tek kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması.....	99
Şekil 4.32.	C20 çift kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması....	100
Şekil 4.33.	Tek sargılı ve çift sargılı C20 beton sınıflı kompozit numunelerin, şahit numuneye kıyasla basınç dayanımları.....	100
Şekil 4.34.	Şahit numuneler ile farklı elyaf malzeme sarılı C16 ve C20 beton sınıflı kompozit silindir numunelerin basınç dayanımlarının yüzdesel değişimleri.....	101

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Agrega tane boyutlarına göre sınıflandırma.....	18
Tablo 2.2.	NaOH eriyiği ile karıştırılan agrega kullanım durumu.....	23
Tablo 2.3.	Agregalarda kil ve siltin bulunma limitleri.....	24
Tablo 2.4.	Sağlam olmayan agrega elemanları ve oranları.....	26
Tablo 3.1.	Kullanılan malzemelerin elek analizi ve TS 707 değerleri.....	42
Tablo 3.2.	Agregaların fiziksel özellikleri.....	43
Tablo 3.3.	Agrega su emme değerleri.....	43
Tablo 3.4.	Deneyde kullanılacak agrega yüzdeler.....	44
Tablo 3.5.	PÇ 42.5 Çimentosunun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri	45
Tablo 3.6.	Deneyde kullanılan karbon lifli dokumanın özellikleri.....	49
Tablo 3.7.	Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri.....	51
Tablo 3.8.	Çeşitli cam tipleri ve özellikleri.....	60
Tablo 3.9.	Başlıca cam elyafı cinslerinin kompozisyonları (% olarak).....	60
Tablo 3.10.	Deneyde kullanılan cam elyafının teknik özellikleri(E camı).....	61
Tablo 3.11.	Takviye türleri ve özellikleri.....	62
Tablo 3.12.	Doyurma reçinesi özellikleri.....	62
Tablo 3.13.	C20 beton sınıfı 1m ³ beton dizaynı.....	65
Tablo 3.14.	40 dm ³ lük C16 beton sınıfı beton dizaynı.....	66
Tablo 3.15.	40 dm ³ lük C20 beton sınıfı beton dizaynı.....	66
Tablo 3.16.	C16 beton sınıfı 1m ³ beton dizaynı.....	66
Tablo 4.1.	C16 Beton sınıfı silindir şahit numunelerin basınç dayanımları ve kırılma yükleri.....	77
Tablo 4.2.	C20 Beton sınıfı silindir şahit numunelerin basınç dayanımları ve kırılma yükleri.....	81
Tablo 4.3.	C20 ve C16 Beton sınıfı silindir şahit numunelerin basınç dayanımları ve kırılma yükleri.....	85
Tablo 4.4.	C16 ve C20 beton sınıfı elyaf malzeme sarılı numunelerin basınç dayanımlarının yüzdesel karşılaştırılması.....	97

ÖZET

Anahtar kelimeler: Beton, kompozit malzemeler, FRP(Karbon elyaf dokuma), cam elyaf, beton basınç dayanımı

Betonun en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Bunun nedeni; betonun gevrek bir malzeme oluşudur. Betonun basit mukavemet değerleri arasında en yüksek olanı basınç dayanımı, en düşük olanı da çekme gerilmesidir. Pratikte betonun hiç çekme gerilmesi olmadığı, hemen çatladığı varsayılır ve beton sadece basınca çalıştırılır. Bu sebepten dolayı yapılarda kullanılacak betonun basınç dayanımının, ihtiyacı karşılayacak yeterlilikte ve düzeyde olması istenir. Betonun basınç dayanımını arttırmak içinde geçmişten günümüze kadar birçok araştırma ve deneyler yapılmıştır.

Gelişen teknoloji ve bilimin inşaat sektörüne belki de en güzel armağanlarından biri de elyaf takviyeli kompozitlerdir. Bu çalışmada, C20 ve C16 beton sınıflı malzeme kullanılarak hazırlanan 14 adet 150x300 mm boyutlu silindir numunelere elyaf takviyeli kompozitler (karbon elyafı ve cam elyafı) tek kat ve çift kat olarak sarılmıştır. Oluşturulan lifli kompozit malzemeler ile şahit numunelerin basınç dayanımları, gerilme-zaman, yük-zaman değerleri yapılan deneylerle belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar dahilinde, şahit numunelerin ortalama basınç dayanımları ile kompozit sarılı beton numunelerin basınç dayanımları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

INVESTIGATION OF COMPRESSIVE STRENGTH WITH FIBROUS COMPOSITES WRAPPED TO SURFACE OF CONCRETE

SUMMARY

Keywords: Concrete, Composite materials, FRP , Fiber Glass, Compressive strength

The most important mechanical specification of the concrete is compressive strength because concrete is a brittle material. In the basic endurance criteria, tensile strength has the lowest and pressure has the highest priority. In practice, it is assumed that concrete has no tensile strain and it cracks immediately thus concrete has tested only for pressure. In this context concrete which will be used in constructions must meet the desired requirements. Many researches and studies conducted at this topic.

The most important achievement of the scientific and technological developments is the fiber strengthened composites. In this study 150 x 300 mm sized 14 samples which prepared by C20 and C16 class concrete; wrapped single and double coat. In this framework fiber composites and control samples compared by compressive strength and strain-burden relations. The average outcomes compressive strength of the control samples and composite materials have been presented.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hasar görmüş betonarme elemanlara başlangıçtaki mukavemetlerini kazandırmak veya güçlendirmek amacıyla karbon lifi veya cam lifi takviyeli polimer esaslı kompozit (LTP) malzemeler, çelik plakalarla yapılan geleneksel güçlendirme sistemlerine alternatif olarak geliştirilmişlerdir. Çekme dayanımları çelikten fazla olan bu tür kompozit malzemelerin en büyük avantajları; hafif olmaları, korozyona uğramamaları, şeritler ve rulolar halinde saklanabilmeleri ve kolaylıkla uygulanabilmeleridir. Polimer esaslı bu tür malzemelerin göreceli olarak pahalı olması, yangına ve UV ışınlarına dayanıksız olmaları dezavantajlarıdır. Polimerlerin uzun süreli sabit yükler altında sünme deformasyonlarının yüksek oluşu dikkate alınması gereken bir diğer problemdir. LTP'ler sadece lif eksenine paralel çekme kuvvetlerini karşılayabildikleri için uygulama yönü önemlidir. Eleman eksenini boyunca ve ona dik yönde olmak üzere iki yönlü tabakalar halinde uygulandığında kırışılarda eğilme ve kesme taşıma kapasitesinin, kolonlarda eğilme ve sargılama etkisiyle aksel yük taşıma kapasitesinin artırılması mümkündür. Ancak bu tür bir uygulama için onarılacak veya güçlendirilecek elemanın beton kalitesinin düşük olmaması gereklidir. Genellikle betonun en az 14 kgf/cm² çekme dayanımı olması istenir ki bu değer C16 ve üzerindeki bir beton sınıfını işaret eder [1,2].

LTP'ler esas itibarıyla, karbon lifi veya alkalilere dayanıklı tabaka halinde cam lifi ve epoksi esaslı yapıştırma maddeleri olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Ancak ticari adla piyasada bulunan LTP malzemelerinin uygulama sırası ve tekniklerinin markalara göre farklılıkları arz edeceği unutulmamalıdır.[2] İlk olarak onarıma hazır hale getirilmiş beton yüzeyine aderansı arttırmak üzere epoksi esaslı bir astar tabakası fırça ile sürülerek uygulanır. Bu tabakanın üzerine yüzeyi tesviye etmek ve küçük (en fazla 5mm derinliğe kadar) boşlukları doldurmak için yine epoksi esaslı bir macun mala ile uygulanır. Ancak yüzeyin durumu çok iyi ise bu tabakanın kullanımı gerekli olmayabilir.

Yüzeyde büyük boşluklar varsa bu kısımlara uygulamadan önce tamir harçları ile doldurulması gereklidir. Yüzeyin tesviyesinden sonra, epoksi esaslı bir yapıştırıcı yüzeye fırça ile uygulanır ve LTP dokuma veya şerit (laminat) yapıştırılır. Aynı yapıştırıcı LTP dokumanın üzerine de fırça ile uygulanır. Yapıştırıcı tabakanın aynı zamanda kuru lifleri doygun hale getirmek, lif tabakalarını dış etkilerden ve aşınmadan korumak, lifleri istenen yönde tutmak ve gerilmeleri liflere dağıtmak gibi işlevleri de vardır. Son olarak UV dayanıklı bir boya ile yüzey sonlandırılır.

Yapılan bu çalışmada, yüzeylere sarılan lifli kompozit malzemelerin beton basınç dayanımına etkilerinin araştırılması amacı ile ilgili; karbon elyaf ve alkali dayanıklı cam elyaf (takviye elemanı) kullanılmış, matris malzeme olarak da epoksi esaslı bir yapıştırıcı kullanmıştır. 150x300 mm boyutlu silindir numunelere elyaf malzemeler tek veya çift kat sarılarak kompozit malzeme haline getirilmiş ve beton basınç dayanımları ölçülmüştür. Alınan sonuçlarla kompozit malzemeler, kendi aralarında ve şahit numunelerin ortalama basınç dayanımları ile karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2. BETONUN TANIMI VE TARİHÇESİ

2.1. Betonun Tanımı

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşır, istenilen kalıbın şeklini alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir.

Betonu günümüzde önemli bir yapı malzemesi yapan özellikler şöyle sıralanabilir [1].

1. Ekonomik olması,
2. Yüksek basınç dayanımına sahip olması,
3. Çok düşük olan çekme dayanımının tasarım ve uygulamada çelik donatı ile dengelenebilmesi (Betonarme),
4. Dayanıklı olması,
5. Diğer yapı malzemelerine göre daha az enerji ile üretilebilmesi,
6. Şekil verilebilme kolaylığına sahip olması,
7. İstenen her yerde üretilebilir olması

2.2. Betonun Tarihçesi

Betonun ilk bulunuş tarihi kesin olarak bilinmemekle beraber beton teknolojisinin tarihi yaklaşık 1850 yıllarına kadar gitmektedir. İlk betonarme yapının 1852 yılında yapıldığı bilinmektedir. Çimentonun patenti ise 1825 yıllarında alındığı tahmin edilmektedir. İlk beton şartnamesi ABD'de 1904 ve Almanya'da 1906 yılında hazırlanmıştır. Türkiye'de ilk betonarme yapı 1920 yılında inşa edilmiştir. Yapılan

araştırmalara göre Avrupa'da 1920-1940 yılları arasında beton şartnamelerinin geliştirildiği görülmüştür.

Beton malzeme üzerine en ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesapları için esasların geliştirilmesi 1950-1960 yılları arasına rastlamaktadır. Daha sonraki yıllarda, betonun uzun sredeki davranışı, döküm tekniği, ekipman kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomiyi artırma, daha zor şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri, iç programlaması yöntemi ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur.

Son yıllarda kimyasal katkı maddesi, lif ve taze betona vakum uygulayarak betonun mekanik ve fiziksel özellikleri oldukça geliştirilmiştir. Bazı katkı maddesi kullanarak cm^2 ye 1500 kgf yk taşıyabilecek beton üretilmekte ve 208 m. yükseklikte binalar inşa edilebilmektedir [2].

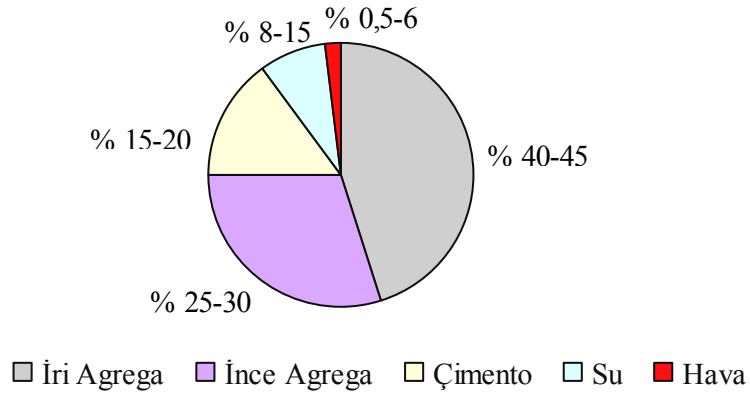
2.3. Betonun Bileşenleri

Betonu oluşturan hammaddeler imento, su, ince agrega, iri agrega ve gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkılardır. Bu hammaddelerden imento+su (gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkılar) imento hamuru; ince ve iri agrega ise agrega bileşeni olmak üzere betonun iki bileşenini oluştururlar.

Dolayısıyla bir betonun dayanımı;

- Çimento hamurunun dayanımına,
- Agrega tanelerinin dayanımına,
- Çimento hamurunun agrega tanelerini birbirlerine yapıştırmasının gücüne, yani aderansa bağlıdır.

Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak hacimsel dağılımı Şekil 2.1'de gösterilmiştir [1].



Şekil 2.1. Beton bileşenleri

Hammaddelerin karıştırılmasından sonra oluşan çimento hamuru, zamanla katılaşıp sertleşir ve agrega tanelerini birbirine yapıştırarak betonun dayanım kazanmasını sağlar.

2.3.1. Agregalar

Betonun mutlak hacminin yaklaşık % 75'ini oluşturan agregalar, mineral kökenli ve 100 mm'ye kadar çeşitli tane büyüklüklerinde kırılmamış veya kırılmış tanelerin yığılıdır.

Agregalar:

- Kaynaklarına göre, doğal ve yapay olmak üzere iki,
- Özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre normal, hafif ve ağır agregalar olmak üzere üç,
- Tane büyüklüklerine göre ise ince ve iri agrega olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar.

Doğal agrega, taş ocaklarından, nehirlerden, denizlerden, teraslardan ve göllerden elde edilen kırılmış veya kırılmamış yoğun yapıli agregadır.

Yapay agrega ise yüksek fırın cürufu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregalardır.

Yoğunluğu 2000 ile 3000 kg/ m³ arasında olan agregalar Normal agrega, yoğunluğu 2000 kg/ m³'den küçük olanlar hafif agrega, yoğunluğu 3000 kg/ m³' den büyük olan agregalarda ağır agrega şeklinde tanımlanır.

Tane büyüklüğü 4 mm'den küçük olan agregalar "ince agrega", tane büyüklüğü 4 mm'den büyük olan agregalar ise "iri agrega" olarak tanımlanır.

2.3.1.1. Agregaların özellikleri

İyi bir beton üretimi için agregalarda bulunması gereken şartlar şunlardır [1].

1. Tane dağılımı (granülometrik bileşim) TS 706'nın gereklerini yerine getirmelidir. Boşluksuz bir beton karışımı elde edilmesine elverişli olmalıdır.
2. Tane şekli kübik olmalıdır. Şekilce kusurlu (yassı ve uzun) taneler içermemelidir.
3. Tane dayanımı, istenen özellikte bir betonun yapımı için yeterli olmalıdır. Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalıdır. Aşınmaya dayanımlı olmalıdır.
4. Sık sık donma-çözülme etkisinde kalan betonlar için kullanılan agrega, dona dayanıklı olmalıdır.
5. Kil, silt, mil ve toz gibi beton dayanımını ve aderansı olumsuz etkileyen zararlı maddeler içermemelidir.
6. Organik kökenli ve hafif maddeler içermemelidir.
7. Beton ve betonarmenin durabilitesini olumsuz yönde etkilememelidir. Agregalar sertleşmiş betonda zararlı hacim artışına ve bu nedenle tahribata neden olabilen sülfatlar, donatı korozyonuna neden olabilecek bazı tuzlar ve klorür içermemelidir.
8. Betonda alkali silika reaksiyonuna neden olabilecek aktif silisleri içermemelidir

2.3.1.2. Agreganın fiziksel özellikleri

Agreganın Porozitesi : Agrega tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Agrega tanelerindeki boşluk su emme deneyi yapılarak belirlenir. Buna göre kurutulmuş iri agrega tanelerinden W ağırlığında (2-5 kg arasında) malzeme alınarak 24 saat su içinde bırakılır. Bir havlu ile tanelerin yüzeyinden su alınır ve taneler

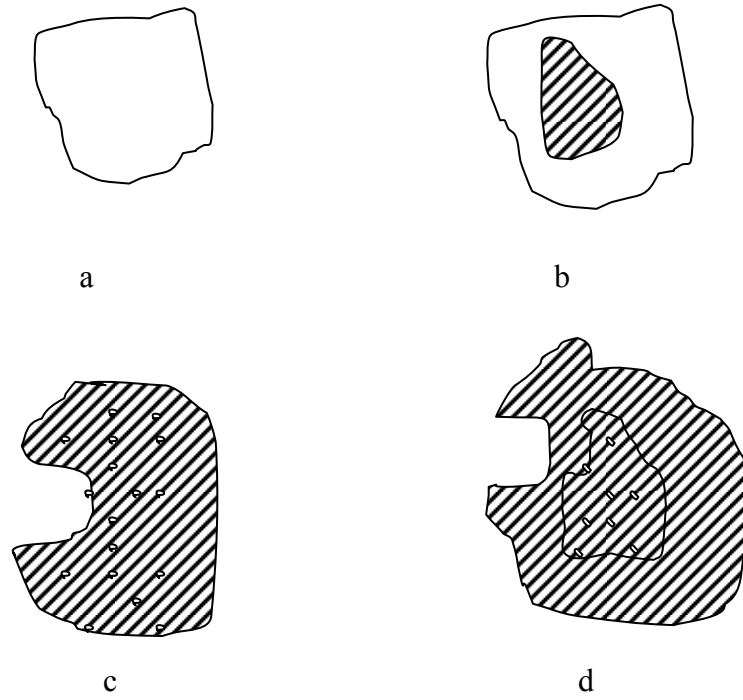
böylelikle kuru yüzey doymun duruma getirilir. Bu tanelerden W_1 ağırlığında malzeme alınarak etüvde kurutulur. Kurutulan malzemenin W_0 ağırlığı bulunur.

O halde agreganın ağırlıkça su emme miktarı $(W_1 - W_0) / W_0$ ifadesiyle % cinsinden bulunur. Agreganın porozitesi (P) ise, agreganın gr/cm^3 cinsinden özgül ağırlığı, W_1 ve W_0 gr. cinsinden ağırlıklar olduğuna göre; $P = ((W_1 - W_0) / W_0) * 100$ olarak ifade edilir. İri agrega tanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır. Mukavemeti yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik mukavemeti de artırılabilir [2].

Agrega - Su Bağıntısı: Agreganın emdiği su miktarı tanelerin kökenine, yapısına ve granülometri bileşimine bağlıdır.

Agrega taneleri arasındaki boşluklarda su dört şekilde bulunur (Şekil 2.2).

- a) Tamamen kuru taneler: Agregada tanelerinde herhangi bir şekilde hiç su bulunmamaktadır.
- b) Kuru yüzeyli taneler: Tanelerin içindeki boşluğun bir kısmı su ile doludur, fakat tanelerin yüzeyi tamamen doludur.
- c) Kuru yüzeyli doymun taneler (YKSD): Tanelerin boşluklarının su ile dolması ve yüzeyinin tamamen kuru olması halidir.
- d) Islak taneler: Agregadaki boşluklar su ile dolu olduğu gibi yüzeyde de su vardır.



Şekil 2.2. Agregada su bağıntısı (Postacıoğlu 1987)

Agregadaki su miktarı agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Birim ve özgül ağırlık doygun kuru yüzey hal için verilir. Agregada boşlukların fazla olması agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. Agregada su emme yüzdesinin limiti kum ve çakıl için % 1'dir. Su emme yüzdesi yüksek olan agreganın betonda kullanılması beton dayanımını ve dayanıklılığını azaltır.

Agregaların birim ağırlığı, özgül ağırlığı ve kompasitesi ;

Birim Ağırlık: Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa "gevşek birim ağırlık" ve yine kuru iken belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise "sıkışık birim ağırlık" denir.

Birim ağırlıktan agregada içindeki boşluk miktarı hesaplanabildiği gibi, özel amaçlar için agreganın uygun olup olmadığı da değerlendirilebilir. Ayrıca agreganın granülometri bileşimi ve kusurlu malzemenin varlığı hakkında fikir vermektedir.

Birim ağırlığa etki eden faktörler ;

1. Agreganın granülometrisine bağlı olarak boşluk miktarı değişmektedir. Boşluk miktarının az olması birim ağırlığı artırır.
2. Kusurlu malzemenin fazla miktarda olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürecektir.
3. Agreganın hacmine sahip bir kalıba yerleştirilirken sarsıntıya maruz bırakılırsa ve çubukla şişenirse kabı az boşluk bırakarak doldurur. Bu da birim ağırlığın büyük bir değer almasıdır.
4. Agreganın özgül ağırlığının fazla olması agreganın ağırlığının büyük olduğunu gösterir. Dolayısıyla birim ağırlık artar.

Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Beton agregalarının birim ağırlığı 1300 – 1850 kg/m³ arasında değişir. Agreganın sıkışma oranı ne kadar yüksek olursa basınç dayanımı ve dış etkilere dayanımı da o kadar yüksek olur.

Özgül Ağırlık : Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agreganın kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır. Betonda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının 2,2 – 2,7 kg/dm³ arasında olması istenir.

Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar. Özgül ağırlık beton karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgül ağırlık agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir.

Agreganın Kompasitesi : Agreganın kompasitesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle kompasitesi hesaplanabilir. Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgül ağırlıktan küçüktür. Dolayısıyla kompasite birden küçüktür. V toplam hacim, V_d dolu hacim olmak üzere, birim ağırlık, $\Delta = W/V$ ve özgül ağırlık $\delta = W/V_d$ olduğuna göre kompasite $k = \Delta/\delta$ den V_d/V özgül ve birim ağırlık cinsinden hesaplanabilir. (Δ) birim ağırlık ve (δ) özgül ağırlıktır. Agreganın sıkıştırma işlemine

tabi tutulmadan yerleştirilmesi sonucunda kompasite 0,40 – 0,70 arasında değer alır [2].

Agreganın kompasitesinin küçük olması şu zararları meydana getirir ;

1. Üretilen betonun kompasitesi ve mukavemeti düşük olur.
2. Kullanılan çimento miktarı artar.
3. Betonun maliyeti yükselir.
4. Kusurlu malzeme miktarı artar. Bu da işlenebilme özelliğine etki yaparak mukavemetin düşmesine neden olur.
5. Dış etkilere karşı dayanıklılık azalır.

2.3.1.3. Agreganın mekanik özellikleri

Agregalarda aranılan en önemli özelliklerinden biri mekanik mukavemetleri içerisinde özellikle basınç mukavemetinin yüksek olmasıdır.

Agreganın basınç mukavemeti : Basınç mukavemetinin malzemenin porozitesi ile yakın ilişkisi vardır. Porozitenin küçük olması agrega mukavemetini artırır. Agreganın jeolojik bakımdan durumu bize mekanik mukavemeti ile ilgili kuvvetli fikirler verir. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımlarının en az 600 kgf/cm² olması istenir.

Agreganın aşınmaya mukavemeti : Yol ve hava meydanlarındaki beton çarpma ve aşınma etkisi altındadır. Betonun bu etkilere dayanabilmesi için yapımında kullanılan iri agreganın aşınmaya ve çarpmaya karşı büyük mukavemete sahip olması gerekir.

Basınç dayanımının 1000 kgf/cm² den az olması halinde, kuşkulu durumlarda veya yapay agregalarda aşınmaya dayanıklılık deneyleri sonuçlarına bakılır. Bilyalı Tanburla (Los angles aşınma cihazı) yapılan aşınmaya dayanıklılık tayini deneyinde 100 devir sonunda %50'den az, darbe ile aşınmaya dayanıklılık tayini deneyinde aşınmaya maruz beton yapımında kullanılacak agregalar için %30'dan, diğer agregalar için ağırlıkça %45'en az kayıp bulunmuş ise, agrega yeterli olarak kabul edilebilir.

DeneYler sonunda saptanan kayıpların bu değerlerden büyük olması halinde söz konusu agrega ile beton yeterlik deneyi yapılmalıdır.

Camsı agregalar, şistler, marnlı kireçtaşları, iri kristalli taşlar aşınmaya mukavemet gösteremezler. Özgöl ağırlığı fazla ve sert olan taşların (bazalt) ise aşınmaya mukavemetleri yüksektir. Aşınmaya karşı mukavemetleri yüksek olan agregaların basınç mukavemetleri de yüksek olur.

Agreganın çarpmaya dayanıklılığı: Betonun çarpmaya dayanıklı olmasında, kullanılan agreganın önemli etkisi vardır. Bu nedenle kullanılmadan önce kontrol edilmelidir. Basınç deneyinden pek farklı olmayan çarpma deneyinde agrega çelik bir silindir içine yerleştirilir ve belirli bir mesafeden belirli bir ağırlık belirli sayıda düşürülmek suretiyle malzeme çarpma etkisi altında tutulur. Elekten elenmek suretiyle çarpma etkisi altında agreganın dayanıklılığı hakkında fikir edinilebilir [2].

2.3.1.4. Agregaların sınıflandırılması

Betonun ana iskeletini oluşturan agrega beton hacmi içinde yaklaşık olarak % 60 – 80 yer işgal eder. Betonda kullanılacak agregaların bazı önemli özelliklere sahip olması zorunludur.

Agrega suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasına tehlikeye düşürülmemelidir. Agrega kullanma şekli ve amacına göre, granülometrisi, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, donmaya dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından standartlarda öngörülen limitler içerisinde olmalıdır. O halde bu özellikleri sağlaması açısından agrega çeşitlerini tanımada fayda vardır. Agregalar genel olarak, elde edilmiş şekillerine, birim ağırlıklarına, boyutlarına, tane şekline, yüzey dokusuna, kaynaklarına, jeolojik ve mineralojik yapılarına göre sınıflandırılabilir[2].

1. Elde Ediliş Şekillerine Göre Agregalar

Doğal Agregalar; Akarsu yatağı, deniz, buzul ve teras agregaları olarak gruplandırılırlar. Bu agrega grupları içinde en yaygın kullanılan akarsu yatağından elde edilen agregalardır.

a) Dere agregaları : Akarsu yataklarındaki agrega ocakları en çok rastlanan ve en fazla arzu edilen kaynaklardır. Çünkü;

- Taneler genellikle yuvarlaktır.
- Aşınma sırasında malzeme içindeki yumuşak ve zayıf taneler elemine edilir.
- Sürüklenme ile meydana gelen aşınma neticesinde ufalanan tanelerden sadece geriye sert, sağlam ve dayanıklı taneler kalır.

Doğal agregalardan en iyi malzemeler derelerden elde edilir. Bunlar temiz, düzgün tanelerden oluşur. Kompozitesi yüksek olduğundan beton dayanımına etkileri fazladır.

Bazı akarsu yataklarından çıkarılan malzeme beton agregası olarak o kadar iyi kaliteye sahiptir ki, uygun granülometrik dağılım olarak şartnamelerde istenen derecelenmeyi tam olarak sağlar.

b) Deniz Agregası : Deniz ve göllerden elde edilen agregaların içinde tuz bulunduğu gibi su canlılarının kabukları da bulunmaktadır. Bunlar tekdüze taneli genellikle ince malzemelerdir. Tuzların agrega veya harç içerisinde aşırı miktarda bulunması çatlamaya ve parçalanmaya neden olur. Deniz kenarlarındaki midye, istiridye kabukları bazı durumlarda sorunlar çıkarırlar. Bunlar agreganın yerleşmesini güçleştirir, don dayanıklılığını düşürür, bazen de düşük dayanımlı taneler oluştururlar. Deniz ve göllerden elde edilen agregalar istenmeyen maddelerden arındırıldıktan sonra beton üretiminde kullanılabilirler. Arındırma işlemi ayrı bir harcama getireceği için ekonomik değildir.

c) Teras Agregası : Yamaç birikintileri dik ve yüksek yamaçlardan kayan ve kopan kaya parçalarının dipte birikmesiyle meydana gelir. Bu tip agregada, derecelenme

pek iyi olmaz, agrega şeklen köşeli tane yapısı gösterir. Kırma ve eleme işlemlerinden sonra beton agregası olarak kullanılabilir.

Rüzgarların sürüklemesi sonucunda meydana gelmiş birikinti malzemesi çok ince kum tanelerinden oluşmuştur. Normalde rüzgarın şiddetli aşındırma etkisiyle az dayanıklı parçalar ayrılmış olduğundan genellikle kuvarz taneciklerinden oluşmaktadır.

Betonda tek başına veya tane çapı dağılımında ince malzeme eksikliği gösteren agregaya karıştırılarak kullanılır. Betonda yalnız başına ince agrega olarak kullanıldığında karışımdaki yüzdesine çok dikkat edilmelidir. Miktarın gerekenden az veya çok oluşu, çok kötü neticeler verebilir.

d)Yapay Agregalar : Yapay agregaların bir diğer adı da sanayi ürünü agregalarıdır. İkinci bir işlem sonucu beton yapımında kullanılır hale getirilebilir. Bunlar yüksek fırın curufu, uçucu kül veya yüksek fırın curuf kumu sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış yoğun yapıli agregalardır. Yapısal, fiziksel ve şekilsel değişiklikler gösterir. Özel amaçlar için ihtiyaç duyulduklarından, kullanılma yerleri sınırlıdır.

Genel olarak yapay agregalar gözenekli bir yapıya sahip olduklarından ses ve ısı yalıtımı ile hacimleri bölme amacıyla üretilen betonlarda kullanılır. Bu agregalar arasında kırılmış kiremit veya tuğla, rende talaşı, hızar talaşı vb. sayılabilir. İyi kalite tuğlaların kırıklarıyla yapılan beton yangına karşı dayanıklı olur [2].

2. Birim Ağırlıklarına Göre Agregalar

Hafif Agregalar : Betonun birim ağırlığını azaltmak, betona ses ve ısı yalıtım özelliği kazandırmak için veya atık maddeleri değerlendirmek amacıyla kullanılan agregalardır. Genellikle gözenekli bir yapıya sahiptirler, su emmeleri ve boşluk oranları yüksektir. Basınç, çarpma ve aşınma dayanımı oldukça düşüktür. Birim ağırlıkları 2000 kg/m^3 'den küçük olan agregalardır. Doğadan doğrudan elde edilebildiği gibi dolaylı olarak da elde edilmeleri mümkündür. Bu agregalar sünger

taşı (ponza, bims), volkan tüfleri, diyatomit, yüksek fırın curufu, hızar talaşı, rende talaşı ve genleştirilmiş kil, perlit, şist vb. isimler altında sıralanmaktadır.

Hafif agrega betonu normal agrega betonundan daha pahalıya mal olmaktadır. Çünkü karışımın hazırlanmasında daha fazla çimentoya ihtiyaç duyulmaktadır. Betonun dökülmesinde de özel itina gerekmektedir.

Ağır Agregalar: Bunlar ağır beton elde etmek için kullanılır. Birim ağırlıkları 3200 kg/m^3 ' den büyüktür. Genel olarak nükleer santral ve (Stratejik Askeri) özellik taşıyan inşaatların betonlarında kullanılır. Doğal ağır agregalardan bazıları basit, manyetit, hematit, limonit vb. Yapay ağır agregalara ise çelik ve demir hurdası gösterilebilir. Ağır agregalarla üretilen betonların karıştırılması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması ayrı bir işçilik ister [2].

3. Tane Boyutlarına Göre Agregalar

Boyutlarına göre, ince agrega (kum), iri agrega (çakıl) ve Tüvenan (karışık) agrega olmak üzere üç sınıfa ayırmak mümkündür [2].

İnce agrega (kum) : İnce agrega doğal kum, kırma kum (ince mıcır) veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklıklı kare gözlü elekten geçen agregadır. İnce agrega taneleri sert ve sağlam olmalıdır.

İri agrega (çakıl) : Doğal çakıl, kırma taş (iri mıcır) veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

Tüvenan (karışık) agrega : Doğal agrega ocağından doğrudan doğruya elde edilen elenmemiş ince ve iri agrega kullanılması istenmemektedir.

4. Tane Şekline Göre Agregalar

Doğal agrega ocağından çıkan malzemeler genel olarak, yuvarlak, yassı, uzun ve keskin köşelidirler ve bu şekillerine göre sınıflandırılır. Aynı zamanda kırma agregada keskin köşeli agrega grubuna girer.

5. Yüzey Dokusuna Göre Agregalar

Agregaları yüzey dokusuna göre düzgün, granüler, prüzlü, kritalli ve petekli olmak üzere beş grubta sınıflandırabilir.

6. Jeolojik Orijinlerine Göre Agregalar

Agregalar jeolojik orjinlerine göre, volkanik, tortul ve metamorfik şekilde sınıflandırılır.

7. Mineralojik Yapısına Göre Agregalar

Agregalar mineralojik yapılarına göre silis mineralli, karbonat mineralli ve mika mineralli olarak genelleştirilebilir.

2.3.1.5. Agreganın granülometrisi

Agreganın yığındaki taneler çeşitli boyutlardadır. Granülometrik bileşim, agreganın numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin ne miktarda agreganın içinde bulunduğunu ortaya koyar. Bu da agreganın üzerinde granülometri deneyi yapılarak bulunur. Agreganın granülometrisinin üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır. Granülometri betonun kompozitesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle betonda kullanılacak agregaların, özelliği olmayan işlerde kullanılmalarında dahi granülometrik bileşimleri mutlaka belirlenmelidir.

Agreganın tane boyutunun ayarlanmasında; çimento kumun boşluklarını, kumda çakılın boşluklarını dolduracak şekilde olmalıdır. Beton mukavemetini dolaylı şekilde etkilerken, işlenebilmeyi doğrudan etkilemektedir. Agreganın granülometrisi ile beton karışım elemanları ve betonun fiziksel özellikleri arasında şu bağıntılar mevcuttur [2].

Granülometri bileşimi ile su miktarı arasındaki bağıntı :Beton üretiminde kullanılan yoğurma suyu miktarı mukavemet üzerine çok büyük etki yapmaktadır. Belli bir değerden sonra su miktarı arttıkça beton mukavemetinde önemli azalmalar görülür.

Betona konulan su öncelikle çimentonun hidratasyonunu sağlar, sonra kum ve çakıl tanelerini ıslatır ve taze betonun kalıba yerleştirilmesini kolaylaştırır. Agregatanelerini ıslatmak için kullanılan su agreganın granülometrik bileşimine bağlı bulunmaktadır.

Agregatanelerini ıslatmak için kullanılan su miktarını tanelerin boyutu ne olursa olsun aynı kalınlıkta su filmiyle kaplı bulunduğunu kabul edilerek hesaplamak doğru değildir. Taneler irileştikçe daha büyük kuvvetlerin etkisi altında bulunmalarından dolayı daha kalın bir su filmiyle çevrelenmesi gerekir.

Agrega için gerekli olan su miktarı incelik modülüne bağlı olarak da hesaplanabilir.

İncelik modülü (I_m) hesaplanmasında $I_m = \frac{\sum M_i}{100}$ eşitliği kullanılır. Burada $\sum M_i \rightarrow$ Elek üstünde yığılımlı % kalan agregadır.

Agrega için su miktarı ise ; $E = \alpha(n - I_m)$ şeklinde hesaplanabilir. Burada;

$E \rightarrow$ Su miktarı

$\alpha \rightarrow$ Bir katsayı

$n \rightarrow$ Agregada kullanılan elek sayısı

Eşitlik sonucunda su miktarının arttığı ortaya çıkacaktır. O halde incelik modülü küçüldükçe karışıma girecek su miktarı artacaktır. Bu da gösterir ki gerek BOLEMEY gerek İNCELİK modülüne göre su miktarı agregat boyutuyla ters orantılıdır [2].

Granülometri bileşimi ile karışımın kompasitesi arasındaki bağıntı;

FERET'in yapmış olduğu araştırmaya göre şu sonuçları çıkarmak mümkündür.

- Agreganın kompasitesi granülometrik bileşimi değiştirmektedir. Agreganın kompasitesini karışımın bir fonksiyonu olarak almak gerekir. Granülometri bileşimin üniform bir hal alması, diğer bir ifade ile karışımda aynı çapa sahip tanelerin miktarının fazlalaşması kompasitenin azalmasına neden olmaktadır.

- Orta kum miktarının artması genel olarak kompasiteyi önemli ölçüde azaltmaktadır. Yapılan deneylerde maksimum kompasite karışımında orta kum bulunmaması durumunda elde edilmiştir. Agregayı meydana getiren tanelerin boyutu ne kadar büyük ise kompasite o kadar büyük değer almaktadır.

Agrega kompasitesi üzerine etki yapan önemli bir faktör tanelerin şeklidir. Yuvarlak taneli karışımların kompasitesi, köşeli taneli karışımların kompasitelerinden büyüktür[2].

Granülometri bileşimi ile işlenebilme özelliği arasındaki bağıntı;

Betonda aranan önemli özelliklerden biride işlenebilme özelliğidir. Bu özelliğe sahip olmasında, o betonun yapımında kullanılan agreganın granülometri bileşiminin rolü büyüktür. Düşük dozajlı betonlarda işlenebilmenin sağlanabilmesi için 0,25 mm'den küçük tanelerin bulunmasında büyük yararlar vardır. Yüksek dozajlı betonlarda ise bu ince agregaya gerek yoktur. Amaç betonun işlenebilirliğinin sağlanmasıdır. Düşük dozajlı betonlarda ekonomik bir beton elde edebilmek için çimento hamurunun boşluk doldurmada yetersiz kaldığı yerlerde 0,25 mm'den küçük kum, taş unu, mermer tozu ve uçucu kül kullanılması yoluna gitmekte büyük yarar vardır.

Granülometrik bileşim bakımından işlenebilme özelliğine etki yapan önemli bir faktör agreganın en büyük tane boyutu D 'nin değeridir. D değerinin artması işlenebilirlik özelliğinin azalmasına sebep olabilir. İşlenebilirlik özelliği yapı şartlarına bağlıdır. Bu sebepten dolayı D 'nin değerleri yapı şartları ve yapı türleri göz önüne alınarak seçilmelidir [2].

2.3.1.6. Granülometrinin belirlenmesi

Bir agregada içindeki tanelerin büyüklüklerine göre kısımlara nasıl dağıldığı, her kısımda ne oranda malzeme bulunduğu deneysel olarak belirli miktardaki agregada çeşitli eleklerden elenerek belirlenir. Deneylerin yapılabilmesi için ayırım yapmaya uygun göz açıklığına sahip elek takımları gerekir. En büyük göz açıklığına sahip elek

en üste gelecek şekilde üst üste yerleştirilir. Agreganın örneği en üstteki eleğe dökülerek elendiğinde taneler büyüklüklerine göre çeşitli eleklerle takılır kalır. Elek üstünde kalan agreganın miktarı tartılarak toplam agreganın miktarına oranı hesaplanabilir.

Tane boyutlarına göre yapılan bu sınıflandırma ve adlandırma Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Agreganın tane boyutlarına göre sınıflandırma

Elek Üst ve Alt Boyutları	Malzeme Adı
63 mm – 31,5mm	Balast
31,5 mm – 4 mm	İri agreganın
4 mm – 60 mikron	İnce agreganın
60 mikron – 2 mikron	Silt
2 mikron ve altı	Kil

Normal beton agregaları 60 mikrondan 31,5 mm’ye kadar olan taneleri içerir. Özel kütle betonlarında (baraj, yol vb.) daha büyük çaplı tanelerde kullanılmaktadır.

Beton agreganın granülometrisinin düzenlenerek sınırlandırılması şu amaçlara yöneliktir.

a) Maksimum kompakte sağlamak

Agreganın düzenlenmesi sonucunda taneler arasındaki boşluklar minimuma indirilerek en yüksek doluluk oranı sağlanmış olur. Böylece çok küçük çaptaki boşlukları daha az çimento hamuru ile doldurmak mümkün olur.

b) En az su miktarı ile kalıba iyi yerleştirilebilecek kıvamı sağlamak

Agreganın özgül yüzey alanı küçüldükçe bu yüzeyleri ıslatmak için daha az suya ve bağlamak için daha az çimento hamuruna ihtiyaç duyulacaktır.

c) Taze betonda ayrışmayı önlemek ve yapışkanlığı sağlamak

Ayrışmayı önlemek için granülometri ayarlarken, agregada içerisinde yeteri kadar orta ve ince büyüklükte malzeme kalacak şekilde düzenleme yapılır. Agregada içinde en küçük tane boyutu çok büyük olursa taneler arası boşlukların boyutu da oldukça büyük olur. Çimento harcı bu boşluklardan geçerek kütlede ayrıılır.

d) Taze betonun iyi ve kolay yerleşmesini sağlamak

e) Taze betonda terlemenin azalmasını sağlamak

Taze beton kalıba yerleştirilince ağır olan agregada taneleri yavaş yavaş dibine oturur. Oturma sırasında karma suyunun bir kısmı dengeyi sağlamak üzere yüzeye doğru hareket ederek betonun yüzeyinde ince bir su tabakası meydana getirir.

Terlemeyi önlemek için granülometri düzenlemesi yapılırken agregada içerisinde yeteri miktarda ince tane kalacak şekilde düzenleme yapılırsa ince taneler yukarı doğru hareket eden bu suyu yüzeylerinde tutarak terlemeyi önlerler. Bu hususlara uyulmadığı takdirde;

- İşlenebilmeyi sağlamak için gerekli olan su miktarı artar. Dolayısıyla su/çimento oranı artarak dayanım ve dayanıklılık yönünden zayıf bir beton ortaya çıkar.
- Maksimum kompakteyi sağlamak güçleşir ve boşluklu bir beton meydana gelir. Bunun sonucunda ekonomik olarak pahalı bir üretim ortaya çıkar.
- Ayrışma kolaylaşır ve kohezyonu zayıf bir beton ortaya çıkar.
- Terleme dediğimiz olay ortaya çıkar ve sonuç olarak zayıf geçirgenliği ve porozitesi yüksek dayanıksız bir beton ortaya çıkar.

2.3.1.7. Granülometri eğrileri

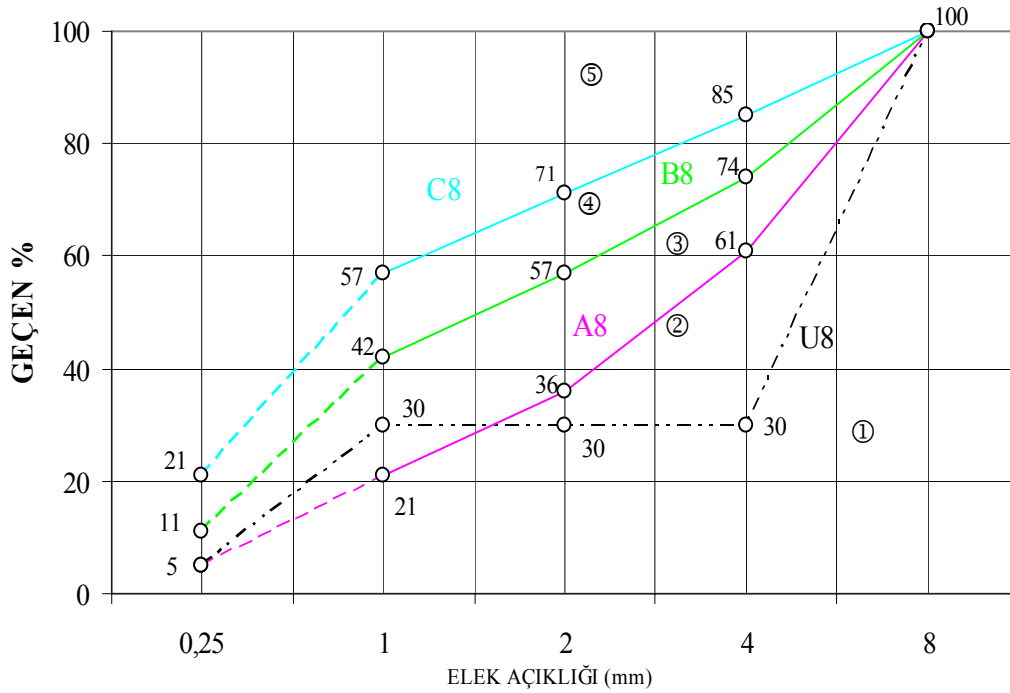
Karışık agregaların granülometri eğrileri sürekli ve kesik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

a) Sürekli Granülometri Eğrileri: Agreganın (0)'dan belirli bir büyüklüğe kadar bütün taneleri içeren agreganın kümülatif (yığışimli) % geçeniyle elde edilen sürekli

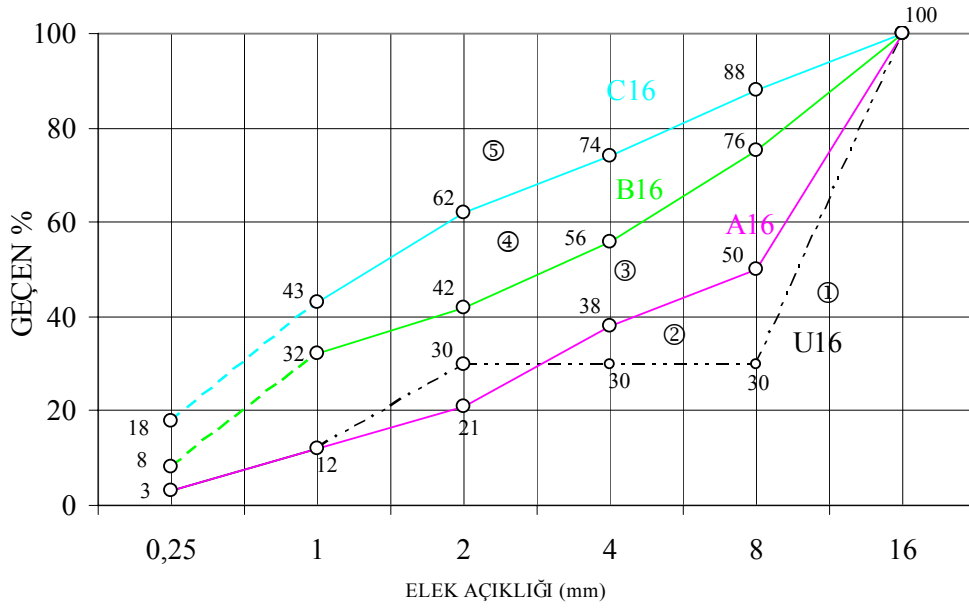
eğridir. TS 706’da belirtildiği gibi Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da gösterilen 3 numaralı bölgeye düşecek tane dağılımları uygun bölge olduğu için kabul edilmelidir. Agrega eğrisi x eksenine yakınsa kum oranı fazla, y eksenine yakınsa çakıl oranı fazladır. Eğer eğri köşegenden köşegene doğru bir eğri oluşturuyorsa ince ve iri agrega oranı birbirine yakın ve uygun olduğu söylenebilir. Genel olarak iri agreganın % 50’nin üstünde, ince agreganın ise % 50’nin altında olması arzu edilir. Şekilde görülen A, B, C eğrileri sürekli granülometri sınır eğrileridir [2, 4].

Agrega granülometrisinin A ile C eğrisi arasında olması istenir. A ile B eğrisi arasındaki 3. bölge, B ile C eğrisi arası 4. bölge kullanılabilir bölge adını alır. A ile C eğrisi dışındaki 1 ve 5 nolu bölgelere düşen granülometri eğrilerine sahip alanda ki agregalar kesinlikle beton yapımında kullanılmamalıdır.

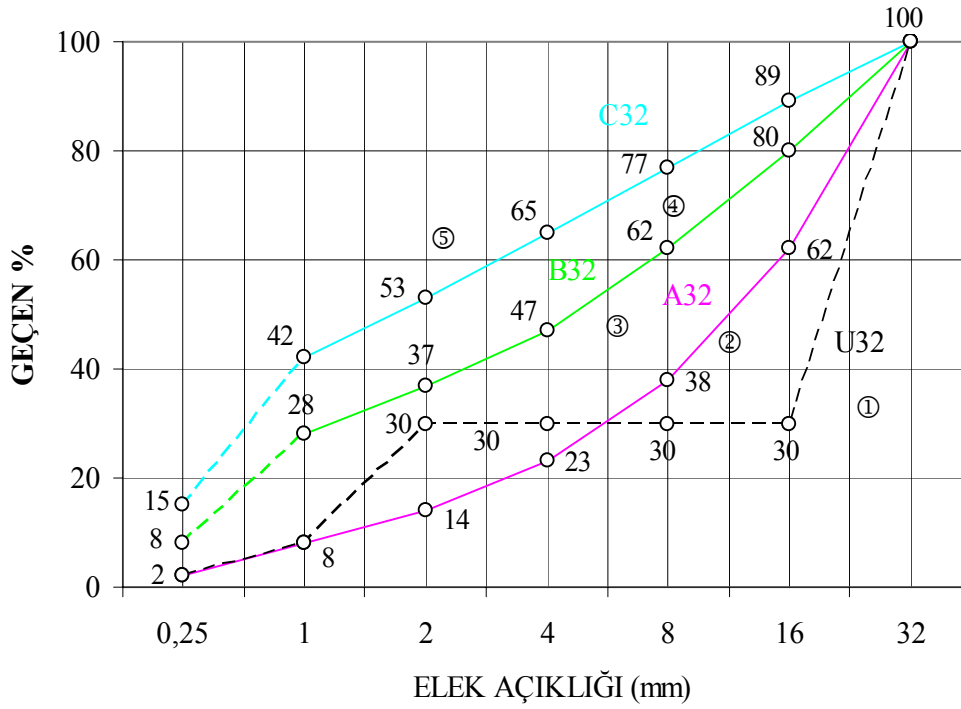
b) Kesik Granülometri Eğrisi : Orta büyüklüklerdeki taneleri içermeyen kesikli granülometri eğrileri, alt sınırı oluşturan U eğrisi ile A eğrisi arasında bulunmalıdır. Kesikli granülometri elde etmek için en az iki tane sınıfı karıştırılmalıdır. [2, 4].



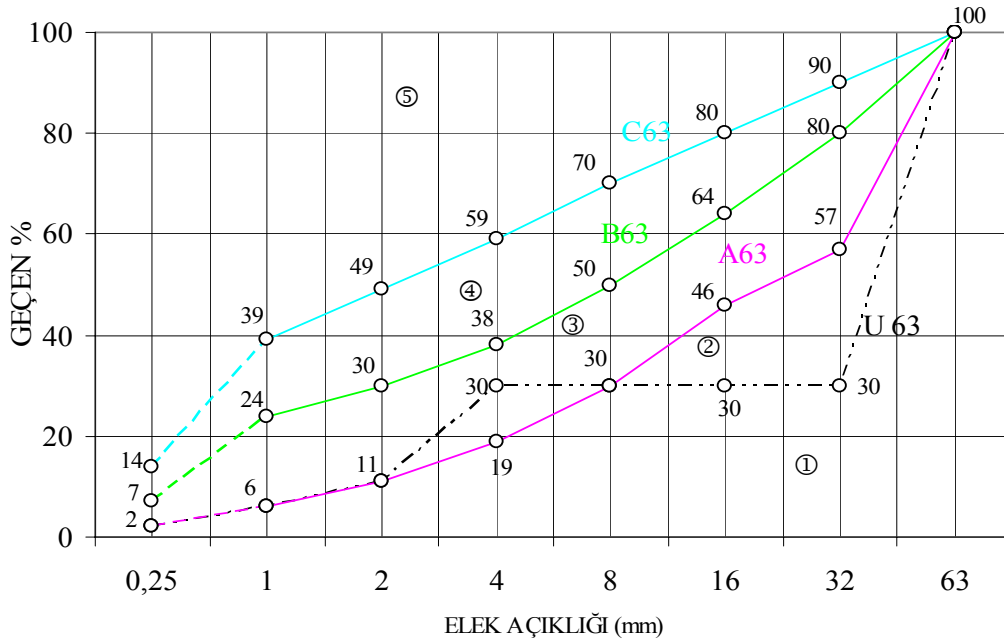
Şekil 2.3. Maksimum tane büyüklüğü 8,0 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri



Şekil 2.4. Maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri



Şekil 2.5. Maksimum tane büyüklüğü 32 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri



Şekil 2.6. Maksimum tane büyüklüğü 63 mm olan karışık agreganın granülometri eğrileri

2.3.1.8. Agreganın yüzey şekli ve biçimi

Agreganın tanelerinin şekli olabildiğince yuvarlak (küresel, kübik) olmalıdır. Doğal agregaların oluşumları gereği dış tesirlerin etkisi ile yuvarlaklaşmışlardır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'ten büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun) oranı, 8mm tane büyüklüğündeki agreganın içinde ağırlıkça % 50 den fazla olmamalıdır. Kusurlu tanelerin önemli etkisi agreganın yığınının boşluklu olması ve bu boşluğun çimento hamuru ile doldurulamamasıdır. Sonuçta taşıyıcı iskeleti sağlam olmayan bir yapı meydana gelir.

Yuvarlak doğal agreganın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kırmaya agregaya göre) daha küçük olduğundan dolayı işlenebilirlik için az su gerektirir. Kırmaya agregaları köşeli, kenarlı ve yüzeyleri pürüzlüdür. Kırmaya agregaları konkasörlerin ayarsızlığına bağlı olarak yassı ve çivi türü biçimsiz taneler içerirler. Bunun mahsuru ise betonun yerleşmesi sırasında işlenebilirliğin güçleşmesidir. İşlenebilirliği sağlamak için daha çok su gerekecektir. Kaliteli beton yapımında kusurlu tanelerin hiç bulunmaması arzu edilir.

Dokunun camsı, parlak oluşu agreganın çimento ile aderansını büyük ölçüde etkiler. Agregada yüzeyinde kapiler su emmenin meydana gelmesi aderansı kuvvetlendirir [2].

2.3.1.9. Agregada bulunabilecek zararlı madde ve taneler

Agregada içinde bulunabilen zararlı maddelerin bir kısmı bağlayıcı maddenin ayrışmasına veya genişlemesine neden olur. Betonun parçalanmasına yol açar. Bir kısmı da agregada ile çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderansın oluşmasına engel olur ve beton dayanımı düşer. Şeker vb. maddeler betonun prizini geciktirici etki yapar. Nitrat gibi tuzlar donatının korozyonuna yol açan olumsuz etkiler meydana getirebilir.

Agregalarda Organik Maddelerin Bulunması;

Organik maddeler zayıf asit karakterindedirler. Agregada içerisindeki bitki artıkları ve humus gibi bazı organik maddeler çimentonun hidrasyon reaksiyonuna etki eden organik asitleri içerirler. Bunun yanında agregada içerisinde sülfat, klorit, karbonat ve fosfat tuzları gibi maddelerde değişik formlarda bulunabilirler.

Agregalarda organik madde içeriği basit bir asit-baz reaksiyonu ile denetlenir. Düşük konsantrasyonlu %3'lük NaOH eriyiği ile karıştırılan agregada, eriyik rengini 24 saat içinde değiştirir (Tablo 2.2). Bir süre sonra eriyiğin aldığı renge göre şu sonuçlar çıkartılır.

Tablo 2.2. NaOH eriyiği ile karıştırılan agregada kullanım durumu (Simşek 1997)

Eriyik Rengi	Organik Madde	Agreganın Kullanımı
Renksiz veya çok açık sarı	Hiç yok veya çok az var	Kaliteli beton üretiminde kullanılabilir.
Safran sarısı	Az miktarda var	Normal işler için uygun
Belirgin kırmızı	Var	Önemsiz işlerde kullanılabilir
Belirgin kahverengi	Çok var	Kullanılmaz

Organik maddelerin zararlı etkisi; organik maddelerin hidrofob (suyu iten) olması ve çimentoda hidrote kristallerin oluşmasına engel olması ile meydana gelir. Bu etkiler;

- Beton dayanımının çok fazla düşmesine neden olur.
- Sertleşmesine zarar verir ve mukavemetinde azalmalar olur.
- Agregalarda organik maddelerin fazla miktarda olması betonun prizini geçiktirir.
- Çiçeklenmeye ve korozyona neden olabilir.

Organik kökenli maddelerin yoğunluğu, mineral kökenli agrega tanelerinin yoğunluğundan genellikle daha düşük olur. Yoğunluğu 2.00 kg/dm^3 olan sıvılarda yüzdürülerek bulunan taneli organik madde miktarı ağırlıkça % 0,5 den fazla olmamalıdır. Sonuçlar TS 3528/1980 de öngörülen limitlerle karşılaştırılmalıdır [2].

Aregalarda Kil ve Siltin Bulunması;

Yıkabilir maddeler agrega içinde ince halde dağılmış veya topaklar halinde veya agrega tanelerine yapışık olarak bulunabilirler. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur. TS 3527'ye göre 63 mikron (200 nolu) elek üstünde yıkama metoduyla yapılan test sonucuna göre maksimum aşağıdaki limitler içinde bulunmalıdır(Tablo 2.3).

Tablo 2.3. Agregalarda kil ve siltin bulunma limitleri

Agrega tane sınıfı (mm)	Ağırlıkça % maksimum
0/1, 0/2, 0/4	4,00
1/2, 1/4, 2/4	3,00
2/8, 4/8	2,00
4/16, 4/32, 8/16	0,50

Bu limitlerin üzerindeki kil ve silt bulunan agregalar kesinlikle kullanılmamalıdır. TS 3527'ye göre 0,05-0,005 mm irilikteki malzeme silt, 0,005 mm'den küçük malzeme de kil olarak adlandırılırlar. Koloidal yapılı kil, silt ve taşunu tanelerinin fazla miktarda bulunması betona şu yönlerden zararlıdır.

- İri agrega ve çimento hamuru arasındaki aderansı zayıflatırlar.
- Agreganın özgül yüzey miktarını artırır. Bunun sonucunda beton için gerekli karma suyu miktarı artar. (su/çimento oranı büyür.) Dolayısıyla dayanıklılık ve dayanım yönünden zayıf bir beton elde edilir.
- Kil ve siltin önemli özelliklerinden biride su tutma (emme) kabiliyetlerinin olmasıdır. Su emme sonucunda hacim genişlemesine neden olur ve büzölmelerin meydana getireceği gerilmeler oluşur.
- Çimento ile reaksiyona girerek aderansı önler, hidrasyonu ve prizi geciktirir. Bunun yanında kil, mil ve silt oranının az miktarları betonun işlenebilirliğini ve su geçirmezliğini arttırırlar. Olumsuz etkileri nedeniyle mümkün olduğu kadar az bulunmaları tercih edilir.

Beton agregası içerisinde limitler üzerinde ince agrega varsa, agreganın yıkanarak kullanılması zorunluluğu vardır [2, 3].

Aregalarda Sağlam Olmayan Maddelerin Bulunması;

Kömür, fosil, linyit taneleri ve hayvan kabukları normal agregaya oranla hafif olurlar. Mekanik dayanım yönünden yetersizdirler ve beton içinde bulunmaları istenmez. Kömür varlığı kükürtün varlığına gösterge sayılabilir. Kükürt ise beton için zararlı sülfat etkisine yol açar. Sağlam olmayan agrega elemanları ve oranları Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Sağlam olmayan agrega elemanları ve oranları

Yumuşak eleman cinsi	İzin verilen yumuşak eleman yüzdeleri	
	Kumlarda	İri Agregalarda
Kil toprakları	1,0	0,25
Kömür ve linyit	1,0	1,00
Yumuşak taneler	-	5,00
Çakmak taşı	-	2,00

Hafif maddelerin miktarı agrega numunesi yoğunluğu 2.0 kg/dm^3 olan bir sıvıda yüzdürülerek saptanır. Ancak sıvıyı hazırlamak için kullanılan malzeme çok pahalıdır, bu yüzden gözlemlerle saptanır.

Agregada aşırı miktarda bulunursa betonun sağlamlığı etkiler. Betonun yüzeyinde veya yüzeye yakın kısımlarda bulunursa betonun yüzeyinde küçük patlamalara ve lekelerin oluşmasına neden olurlar. Mukavemetleri çok düşüktür, su miktarının azalıp çoğalması ile hacimlerinde büyük değişiklikler olur. Donma çözülme olaylarında kolay parçalanırlar ve çimento için zararlı maddeleri içerirler [2,3].

Sülfatların Varlığı;

Sülfatların agregalar içinde bulunması bu maddenin çimento ile sülfo-alüminat denilen genişleyen bir tuzun oluşmasına neden olması bakımından zararlıdır. Zamanla büyüyen kristaller şeklinde gelişen bu olay sonucu beton parçalanabilir. Bu bakımdan sülfat (SO_3) miktarının ağırlıkça %1 den fazla olmamasına dikkat edilmelidir. 1 dm^3 betonda 1,4 gr'dan az olacak şekilde sülfat bulunmasına izin verilebilir. Barit (BaSO_4) rutubetli ortamda yapısını değiştirmedikinden, beton agregası olarak kullanılabilir.

Agrega- Alkali Reaksiyonu Oluşturan Maddeler ;

Betonlarda içsel korozyon denilen bir hasar türüdür. Bu olay yavaş bir şekilde gelişerek zararlı etkileri beton yapımında bir iki sene sonra ortaya çıkmaktadır.

Alkali-agrega reaksiyonunun zararlı bir etki yapması bazı koşullara bağlı bulunmaktadır.

a) Çimento içindeki alkali oksit miktarı:

Çimentodaki alkali oksit ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) % 0,6'dan büyük ve agregadaki alkalilik reaktivitesine duyarlı opal, riyolit, tridimit ve riyolit tüfleri, dazit ve dazit tüfleri, andozit tüfleri ve fillatlar gibi mineraller bulunuyorsa alkali agregada reaksiyonu ortaya çıkar.

b) Çevre şartları:

Alkali agregada reaksiyonu, sıcaklığın yaklaşık olarak + 10 ile + 60°C arasında bulunduğu durumlarda ve rutubetli ortamda meydana gelmektedir. Çevre şartlarının en önemlisi rutubettir.

c) Alkaliye duyarlı agregada tanelerinin bulunması:

Agregalar, reaksiyon yapabilen silisli bileşikler içerebilirler. Bu bileşikler, beton boşluk suyunda çözünen alkalihidroksitler ile şiddetli kimyasal reaksiyona girerler. Berrak, yüksek konsantrasyonlu ve yüksek vizkoziteli alkali silikat çözeltisi meydana getirirler. Duyarlı agregada bileşenleri bu sırada yumuşar ve çözünür.

Agregada böyle bir özellikten kuşku duyulursa TS 3322'de ön görülen "Harç çubuğu" adı verilen deneyler yapılır. Standartlara uygun olarak hazırlanan harç çubuklar 6 ay ve 1 yıl süreyle sabit bağıl nemde ve sıcaklıkta tutulur. Çubukların boy uzaması 6 ayda %0,5 ve 1 yılda %1 den fazla olmamalıdır.

Zorunlu olarak kullanılmak zorunda kalırsa, bağlayıcıya bir miktar puzolanik madde ilave edilmelidir. Puzolan alkali-agregada reaksiyonunu azaltır. Reaksiyon sonunda oluşan jel şişme ve genişleme eğilimindedir. Betonun hacim sabitliğini bozar ve ağ şeklinde sık çatlaklar meydana getirerek hasara neden olur.

d) Çeliğe zarar veren maddeler:

Donatılı betonda kullanılacak agregalarda, donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye sokan, örneğin Nitrotlar, Molojenürler (Plorürler hariç) gibi tuzlar zararlı miktarda bulunmamalıdır. Ön gerilmeleri beton için kullanılacak agregalarda, suda çözünen klorürler, klor olarak hesaplandığında ağırlıkça % 0,2'den fazla bulunmamalıdır [2].

2.3.2. Çimentolar

Çimentolar, CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve az miktardaki MgO içeren uygun hammaddelerin, sinterleşme temperaturüne (~ 1400 °C) kadar yakıldıktan ve uygun bir soğutma işleminden sonra elde edilen klinkerlerin alçı ve gereğinde yapay (uçucu kül, Curuf) yada doğal (Trans) puzolan maddelerle beraber belirli inceliğe kadar öğütülmesiyle meydana gelen hidrolik bağlayıcıdır.

Çimento aslında alçı katılmamış hali ile klinker, çeşitli minerallerin oluşturduğu kompleks bir bileşiktir. Hammadde gibi CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve MgO 'in homojen bir karışımı değildir. Sinterleşme temperaturünde (~1400°C) bu oksitler arasında kimyasal birleşmeler olur ve çimentonun esasını teşkil eden bileşik maddeler meydana gelir. Soğutma işlemi sırasında ise bu bileşik maddeler soğutma işleminin şekil ve süresine bağlı olarak değişik biçimde kristallenirler.

Çimento hammaddesinin seçimi, karışım oranlarının belirlenmesi, farin denen ayarlı ham karışımın inceliği ne kadar önemli ise pişme olayı ve soğutma süreci de o kadar önemlidir. Aynı farin farklı sıcaklıkta ve fırın alevinde pişirilir, farklı soğutmaya tabi tutulursa birbirinden değişik iki klinker elde edilebilir.

Betonun en önemli maddesi çimentodur. Bozuk bir betonda ilk akla gelen çimentonun hatalı olduğudur. Ancak çimentonun görüldüğü gibi pek kaçamağı yoktur. Bir kontrolden geçse diğerinde tutulur. Bu nedenle bozuk beton oluşumunda sabit fikir halinde çimento üzerinde ısrar etmemelidir. Agregası, kum, su, oranlar ve

katkı maddesi miktarları üzerine de aynı özenle eğilmelidir. Bununla birlikte bozuk çimento olamaz gibi bir iddiada da bulunulmamalıdır [6].

Karma oksitlerin çimentoya kazandırdıkları önemli özellikleri şunlardır.

1. Çimentonun en önemli bileşiği C_3S 'dir. Çimentoyu ilk dayanımını veren ve basınç dayanımı yüksek bir çimento sağlayan C_3S dir.
2. C_2S nin dayanıma katkısı ileriki zamanda kendini gösterse de ilk günlerde pek yoktur, ancak ötektik oluşturucu bir özelliği vardır.
3. C_3A ve C_4AF 'in de çimentoya olumlu ve olumsuz katkıları vardır. Bu bileşik maddelerin oranlarına, kristal şekillerine ve bu kristaller içerisinde kalan minör elemanlara bağlı olarak çimentonun özellikleri değişir.

Çimentoda adı geçen maddelerin dışında billuri alçı taşı ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ve serbest halde CaO ile MgO ve alkali oksitler (Na_2O , K_2O , Cl) bulunur. Çimentoyu oluşturan bütün bu maddelerin beton yapısı üzerine olumlu ve olumsuz etkileri vardır.

1. C_3S ve C_2S su ile birleştiğinde hızla sertleşir, dayanım kazanır. C_3S nin hidrasyonu daha çabuktur, oran arttıkça özellikle ilk günlerde dayanım kazandırır. C_3S ve C_2S hidrasyonu sırasında $Ca(OH)_2$ oluşur. Bu çelik, demir iskeletlerin paslanmasını geciktirir. Bu bakımdan yararlı ise de zamanla yıkanarak akar, beton geçirimli hale gelir.
2. C_3A ilk dayanımlarda olumlu rol oynarsa da ancak C_3S ile kıyaslanamaz. C_3A 'nın hidrasyonu sırasında büyük ısı çıkar ve sülfat iyonları ile büyük hacimli ETRENJİT (Candlot tuzu) oluşturur. Bu iki olay betonu olumsuz etkiler. Kütle betonu (baraj vs.) ve agresif sularla temastaki betonlarda (kuyu, rıhtım, iskele, köprü ayağı gibi) genleşme ve çatlaklara neden olur. Bu tür yerlerde kullanılacak betonların çimentolarında C_3A oranının düşük olması istenir. (C_3A 3-5 gibi). Veya puzolonik çimentolar tercih edilmelidir.
3. C_4AF çimento içerisinde en az etkinliği olan bileşendir. Bu az etki de C_3A 'nın etkisine benzer.

Yararı; klinkerin pişme süresince yumuşamasını, pişme yetkinliği kazanmasını sağlar.

Serbest CaO ve MgO fazla oranlarda olduğu zaman betona olumsuz etkiler yapar. Su ile Ca(OH)_2 ve Mg(OH)_2 olur. Zamanla havadan CO_2 alır, CaCO_3 , MgCO_3 oluşur. Böylece ince yüzey çatlaklarının genişlemesine, derinleşmesine neden olurlar.

Klinkerin soğuması sırasında hızlı soğutma ile cam faz oranı artırılır. MgO cam fazda kalırsa etkinliği az olur. Kristal fazda kalan MgO'nun reaksiyonlar zinciri hızla devam eder. Alkalilerin (Na_2O , K_2O) alkali agrega reaktivitesi nedeniyle betona olumsuz etkileri vardır. Opal, riyolit gibi aktif silis içeren agregalarla reaksiyona girerler, hacim artışlarına, betonda genişlemelere neden olurlar. Alkali agrega reaktivitesi uzun yıllar sonra dahi ortaya çıkabilir ve önemli hasarlara neden olur.

Katkılı çimentolarda durum farklıdır. Kendileri bağlayıcı özellik taşımayan yapay ve doğal puzolonik maddeler çimento ile birleştiğinde, su ortamında hidrolik bağlayıcı özelliği kazanırlar. Pişme olayına girmediğinden bu tür maddelerin klinkere katılmasıyla büyük ekonomi sağlanır.

Çelik sanayi atık maddesi curufun ani soğutulması ile elde edilen yüksek fırın curufu ile ülkemizde bol bulunan puzolonik maddeler (çeşitli traslar) çimento üreticileri tarafından çok kullanılmaktadır.

Puzolonik maddeler kendi aktif silislerinin, hidratasyon ürünü Ca(OH)_2 ile birleşmesi sonucu sertleşir ve dayanım kazanırlar. Bu özellikleri betonun geçirimsizliğini olumlu yönde etkilerse de kirecin demir aksamı koruyuculuğunu azaltır. Puzolonik maddeler ülkemizde bol miktarda bulunurlar ve çok çeşitlidirler. Bazaltik, riyolit vs. gibi türleri, aynı türün ince, kaba kristal yapıları ve farklı aktif silis oranları vardır. Farklı özelliklerin çimentoların dayanım ve değişik ortamlarda değişik davranışlarına olumlu yada olumsuz katkıları olur [2, 6, 7].

2.3.2.1.Çimentonun fiziksel özellikleri ve kontrol sistemleri

Priz Olayı; Çimentonun sıvı kıvamdan katı duruma geçmesidir. Normal priz dışında Ani priz ve yalancı priz vardır. Ani priz C_3A bileşeninin alçı ile denetlenememesi sonucu ortaya çıkar. C_3A ortamdaki tüm suyu aniden çeker, böylece silikatların hidrasyonunu önler, çimento sertleşir ama normal priz kimyasal reaksiyonlarını tamamlayamaz ve düşük dayanımlı sert bir kütle oluşur. İşlenebilirlik çok azalır. Çimento öğütme sırasında alçı katkısının ayarlanması olayı önler. Yalancı priz ise değirmende öğütme sırasında yükselen ısı nedeniyle kristalize alçı taşı $\frac{1}{2}$ billur suyunu kaybeder hemihidrat olur. Su ile karşılaşınca alçı kaybettiği suyu alır ve sertleşir. Çimento reaksiyona giremez. Betonyerde karıştırma işlemi uzatılırsa önlenemez.

Priz olayı priz başlama ve sonu ile belirlenir. Vikat deneyinde önce çimentonun karışımdaki su miktarı belirlenir. Bu su oranı da betoncular için önemlidir. Normal Portland çimentolarında %26-28 olan bu oran katkılı çimentolarda % 36'ya kadar yükselir ve beton dizaynına etkili olur. Sonra priz başlangıcı ve sonu süresini tayin eder. Standartlarda genellikle priz başlangıcı 1 saatten az, priz sonu 10 saatten fazla olmayacak şekilde priz olayı sınırlanmıştır.

Çimentonun yoğunluğu (litre ağırlığı); Doğal akışı sağlanan çimentonun bir litresinin (kaba) ağırlığıdır. Katkılı çimentolarda bu değer 850gr/Lt ye kadar düşer, Portland çimentolarında 1200gr/Lt ye kadar yükselebilir. Beton dizaynı için önem taşır.

İncelik; Çimento inceliği önemli bir husustur. İncelik artırılarak, yani ince taneciklerin oranı artırılarak çimentoya aktivite kazandırılır. Yüzey ne kadar büyürse reaksiyona giriş hızı o oranda artar. Ancak kalitesi düşük normal Portland çimentosuna inceliğini artırarak büyük ölçüde dayanım kazandırılmaz. Aynı çimentonun inceliği daha düşük olanına göre bir ölçüde dayanımı artar. Bu konu Portland çimentolarda da geçerlidir. Puzolonik aktivitesi yüksek katkı maddeleri katılmış çimentolarda durum farklıdır. Katkısız çimentolarda ince fraksiyonları

klinker oluşturur. Bu ince klinker hidrati olurken hidrasyon ısı yükselir. (Klinkerin C_3S , C_3A oranına bağlı özellikler).

Katkılı çimentolarda , özellikle Tras katkılılarda ince fraksiyonu tras oluşturur. Bu da hidrasyon ısısının düşmesine neden olur.(Kütle betonu dökümlerindeki yarar.İncelik önceleri 90 ve 200 μ elek kalıntıları ile ifade ediliyordu. Genellikle 200 μ üstü %1'i geçmemesi isteniyordu.Özgül yüzey (Blaine) elek inceliğinin yerini aldı . Blaine, özgül yüzey tayini belirli bir porozitede (0.5 gibi) sıkıştırılmış çimento pastilinin hava geçirgenliği ölçülerek yapılır. 1gr ağırlığındaki çimento tanelerinin yüzey toplamıdır, cm^2/gr . olarak ifade edilir. Şimdilerde ise GRANÜLOMETRİ deneyi önem kazanmıştır. Çimento taneciklerinin incelik dağılımı ölçülerek daha hassas bir yaklaşım elde edilmektedir.

Hidrasyon Isısı; Çimentonun sertleşmesi görünüşte fiziksel bir olay gibi nitelenirse de, aslı kimyasal bir reaksiyona dayanır. Bu hidrasyon olayıdır. Hidrasyon ekzotermiktir. Isı çıkışı olur.

Çimentoyu oluşturan bileşik maddelerin her birinin su ile kimyasal olarak reaksiyona girmesine hidrasyon olayı, bu olay sonucu açığa çıkan ısı toplamına da "Hidrasyon ısısı"adı verilir. Karma oksit bileşenlerinin çıkardığı hidrasyon ısıları şöyledir.

C_3S	7 günde	53 cal/gr.
C_2S	7 günde	10 cal/gr.
C_3A	7 günde	372 cal/gr.
C_4AF	7 günde	118 cal/gr.
MgO	7 günde	204 cal/gr.
Serbest CaO	7 günde	279 cal/gr.

Görüldüğü gibi, hidrasyon ısısı çimentonun kimyasal bileşimine bağlıdır. C_3A en yüksek ısıyı vermektedir. Çimentonun kullanılacağı yere göre seçilmesinde hidrasyon ısısının rolü büyüktür.

Beton dökümlerinde ısı yükseldikçe iç sıcaklık artar. Baraj vs. gibi kütle betonu dökümlerinde, dökümden sonra ilerleyen zaman içinde soğuma ile birlikte betonda hacim küçülmesi olur. Beton katılaştır ama yeterince dayanım kazanmaz (Yeşil beton). Ayrıca yüksek ısı ile hava kabarcıkları çıkar. Termik rötre ismi verilen bu olaylar çatlamalara neden olur. Hidratasyon ısısu çimentonun kimyasal yapısı kadar inceliğine su/çimento oranına da bağlıdır. C_3A , C_3S oranı yüksek portland çimentolarında Hidratasyon ısısu da yüksektir.

Puzolonik madde katkısı önleyici etki yapar. Hidratasyon ısısu 3 yolla tayin edilir:

1. Çözünme ısısu metodu
2. Kapalı şişe
3. Adyabatik kalorimetre

Deneyin esası, kuru çimentonun çözünme ısısu ile 7 ve 28 günde kısmen hidrate olmuş çimentonun çözünme ısısu arasındaki farktan, çimentonun istenen periyotta hidratasyon ısısu bulmaktadır.

Dayanım Deneyleri; Çimentolar, su ve standart kumla karıştırılarak harç yapılır. Kalıplara dökülür, 2-7-28 gün su havuzlarında bekletilir. Eğilme ve basınç aparatlarında numuneler kırılarak dayanımları saptanır.

Her ülkenin değişik standardı vardır. Su /çimento oranı, standart kumu, harcın hazırlanma ve kalıplanma işlemleri, kalıp şekilleri farklı standartlara göre değişir. Yeni standartlarda eğilme dayanımına yer verilmemiştir. Dayanımlarda çimentonun kompleks bileşenlerinin oranı kadar, kristal şekilleri ve yapıları da önem taşır. Örneğin üst üste plakalar halinde kristallenmiş C_3S içeren çimentoların basınç dayanımları yüksek olur. Prizmatik iğneler halindeki C_3S kristallerini içeren çimentoların ise çekme dayanımları daha yüksektir.

Hammaddeden gelen Cr_2O_3 , P_2O_5 gibi eser maddelerin C_3S yada C_2S kristallerinin bünyesine girmeleri dayanımları değişik şekillerde etkiler. Hammadde dizaynı kadar

pişirim ve soğutma işlemleri de dayanım üzerinde rol oynamaktadır. Soğutma hızlı olmalıdır.

Sonuç olarak, çimento bileşenlerinin oranları, kristal yapıları ve şekilleri, sonradan katılan katkı maddeleri ve incelikleri ile çeşitli çimento tipleri ortaya çıkmaktadır. Kullanılma yerlerine ve amaçlarına göre değişik çimentoların tercihi gerekmektedir [2, 6, 7].

2.3.3. Beton karışım ve temas suyu

Beton karma suyu, betonda işlenebilirliği ve çimento hidrasyonunu sağlamak için kullanılan çok hassas ve önemli bir hammaddedir. Hassas ve önemli olmasının nedeni, su miktarının, taze ve sertleşmiş betonun tüm önemli olmasının nedeni, su miktarının, taze ve sertleşmiş betonun tüm özelliklerini etkileyebilmesidir.

Beton karma suyu, mümkün olabildiği kadar temiz, içinde zararlı etki gösterebilecek kadar klorür, sülfat, asit, şeker, organik madde, endüstriyel atık, yağ, kil ve silt gibi maddeler olmamalıdır.

Çimento, hidrasyon için ağırlığının % 25'i kadar su miktarına ihtiyaç duyar. Bu miktarın üzerinde kullanılan su miktarı sadece işlenebilirliği artırma amacına yöneliktir. Bu zamanla betonun bünyesini terk ederek yerini boşluklara bırakmaktadır. Karma suyu miktarı ne kadar fazla olursa boşluklar da o kadar fazla olur ve bu durum sadece dayanımı olumsuz yönde etkilemekle kalmaz, betonun durabilitesini de olumsuz yönde etkiler.

%10 eksik su, basınç dayanımını %10

%20 fazla olması ise %30 azalmaya neden olur.

Beton karışım dizaynı hesabında, hedeflenen ve üretimde gerçekleştirilen kıvamı daha da arttırmak için, betona fazladan su ilave etmek ise hem dayanımı hem de dayanıklılığı (durabiliteyi) yok eder [1].

Beton, büyük bir mekanik kuvvete sahip olup, dış zorlamalardan çok bazı zararlı maddelerin kimyasal etkisi ile kısmen bozulabilir. İnşaata başlamadan önce, beton ile temas edecek olan suyun kimyasal analizi yapıp gerekli koruyucu tedbirler alınmalıdır.

Temas suyunun kimyasal etkisi ;

- Suda bulunan zararlı madde konsantrasyonu,
- Betonun bünyesi ve bileşimindeki maddelerin oranı,
- Kullanılan çimento ve agrega tipi,
- Suyun betonla temas müddeti, alanı ve durumuna bağlıdır.

Temas suyu olarak betona etkili sular, betonu kimyasal yönden etkileyerek onun başta mukavemet olmak üzere diğer özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek kalitesini düşürür ve hizmet süresini azaltır [2].

Betonda kullanılacak sularda aranacak özellikler konusunu maddeler halinde özetleyecek olursak, şu sonuçlara ulaşabiliriz; [8]

- Magnezyum sülfat miktarı fazla olan sular karışımda kullanıldığı zaman çimentonun serbest kireciyle reaksiyona girerek alçı taşı oluşturduğu için zararlıdır.
- % 1’den fazla sülfat ihtiva eden (SO_3) sular kullanılmamalıdır.
- Kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) ve MgO_3 magnezyum oksit suda çözülmedikleri zaman beton mukavemetini etkilemez.
- Magnezyum bi karbonat $MgCO_3$ miktarı 4/10000 değerinden fazla olduğu zaman beton mukavemetini etkiler.
- Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) çimento ağırlığına oranla %2’ye kadar prizi hızlandırmak ve mukavemet kazandırmak amacıyla kullanılabilir.
- %3’den fazla sodyum klorür (NaCl) ihtiva eden sular beton mukavemetine önemli tesir ettiği için zararlıdır.
- Endüstriyel artık suları beton karışım suyu olarak kullanılamaz, bunların dışında; deniz suyunun da gerektiği zaman karışım suyu olarak kullanılabilirliği

araştırılmıştır. Deniz suyu zorunlu durumlarda beton karışım suyu olarak kullanılabilir. Deniz suyuyla üretilen harcın ilerde nem tutması olasılığı vardır. Yapı sürekli rutubetli kalabilir ve çiçeklenmelere rastlanabilir.

- Karışım suyunda çözülmüş halde en çok 15 gr/lt tuz ve 3 gr/lt SO₃ bulunabilir. pH değeri ise 7'den küçük olmalıdır.

2.3.4. Beton katkı maddeleri

Beton katkı maddeleri; su, agrega ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Çimentonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirirler [9].

Mineral ve kimyasal olarak iki guruba ayrılırlar. Kimyasal katkı betonun akışkanlığının artırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşılması, geçirimsizliği ve donda dayanımın sağlanması yanında priz sürelerini değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar. Akışkanlaştırıcılar, uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlayabilmek ve kolay yerleşmeyi sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar. Akışkanlaştırıcılar su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir ve beton içine hava sürükleyerek çimento topaklaşmasını önleyerek etkili olmaktadır. Su indirgeyiciler negatif elektriksel yüke sahip olup, su yüzeyinde hareket etme eğilimindedirler. Su ve çimento reaksiyona girdiğinde çimento taneleri su moleküllerini çevreleyerek flokül bir yapı oluştururlar. Suyun bu şekilde kapanması istenen akışkanlığa ulaşabilmek için daha fazla su ilavesini gerektirir. Akışkanlaştırıcı madde ilave edildiğinde çimento tanecikleri tarafından adsorbe edilerek negatif yüklü katkı partikülleriyle birleşirler ve aynı yüklü olduklarından birbirlerini iterler. Sonuçta kapanmış olan su açığa çıkar. Katkının defloküller etkisi sonunda çimento flokülleşmesi önlenmekte ve açığa su çıkmaktadır. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştırarak yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltmakta ve işlenebilirliği artırmaktadır.

Çok düşük sıcaklıklarda yüksek kalitede beton dökümünü sağlayan özellikle hafif don halinin gün boyu devam ettiği durumlarda, gece boyunca don olması ve ani sıcaklık düşüşü beklenen hallerde, dondan koruyan katkı kullanılmaktadır. Beton antifrizi olarak kullanılan bu katkıların özeliği betonun donma noktasını düşürmeleridir. Antifriz sıvısı olarak çoğunlukla alkol, alkol esaslı sıvılar ve etilen glikol kullanılmaktadır. Etilen glikol cinsi bir antifriz suyun içine edildiğinde oluşan çözeltinin birim yüzeyindeki su molekülü sayısı dolayısıyla da buhar faza geçen su molekülü miktarı azaltılmaktadır. Kolligatif özellik olarak bilinen bu durumda suyun buhar basıncı buna paralel olarak da suyun donma noktası düşmekte, suyun buharlaşma ısısı yükselmektedir.

Katkının cinsi ve miktarı donma noktasındaki değişimi etkilemektedir. Kullanılan katkının su miktarını artırmadan işlenebilirliği artırdığı, işlenebilirliği azaltmadan su miktarını azalttığı ve dona karşı dayanımı ve basınç dayanımını artırdığı belirtilmektedir. Kışın -10°C ısıya kadar beton dökümünde kalıp ve donatı suya, kara ve buza karşı korunarak gerektiğinde ısıları önceden 0°C 'ye getirilerek ve beton ısısı en az 5°C 'de tutularak kullanılması öngörülmektedir [10].

Bu gün beton sektöründe bir çok değişik katkı maddesi kullanılmaktadır. Bunlar sektörün hizmetini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Bundan dolayı beton katkıları, beton bileşenleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır.

2.3.5. Betonda basınç mukavemeti

Betonun en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Bunun nedeni; beton gevrek bir malzemedir. Basit mukavemet değerleri arasında en yüksek olanı basınç, en düşük olanı çekmedir. Oranları %8 ile %14 arasındadır. Pratikte betonun hiç çekme gerilmesi olmadığı, hemen çatladığı varsayılır ve beton sadece basınca çalıştırılır.

Betonun basınç dayanımı, diğer beton nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanır ve aşınmaz.

Basınç dayanımı standart silindir(15 cm çap,30 cm yükseklik) veya küpler (20 cm kenarlı) üzerinde belirlenir. Basınç dayanımı, laboratuvar koşullarında olgunlaştırılan

28 günlük beton örnekleri üzerinden değerlendirilir. Pratik yönden dayanım 7. ve 90. günlerde de tayin edilebilir.

Projede öngörülen beton basınç dayanımı (karakteristik dayanım) f_{ck} ile ifade edilir. Beton karışım hesabında esas alınacak ortalama dayanım f_{cm} ile gösterilir. f_{cm} standart sapma bilinmediği durumlarda $f_{cm} = f_{ck} + \Delta f$ eşitliği ile bulunur. Burada Δf , beton sınıfına göre değişmektedir.

2.3.6. Konuyla ilgili yapılmış çalışmalar

Yalçın ve Kaya [17]; mevcut betonarme kolonların güçlendirilmesinde uygulanan yöntemlere alternatif olacak bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu teknikte kolonların karşılıklı uzun yüzeyine çelik köşe profilleri ve kolon içinden geçen bulonlarla yanal bir germe vererek kolonun dağılması engellenmiştir. Ayrıca iki adet kolon da FRP ile güçlendirilmiştir. Bindirmeli ekli boyuna donatı bu uygulanan güçlendirme tekniğinin kolon performansına etkisi parametre olarak incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre bindirmeli ekli olmayan kolonlarda her iki güçlendirme tekniği de kolon sünekliğinde artış sağlamıştır. Bindirmeli ekli boyuna donatılı kolonlar ise güçlendirmeden önce ve sonra aynı şekilde davranış göstermiştir.

Yazıcı ve arkadaşları [18]; değişik boyut ve formdaki (silindir, küp) beton örneklerine karbon lifi takviyeli polimer (KLTP) dokuma tek ve çift katlı olarak sarılmış ve örneklerin basınç dayanımının değişimi belirlenmiştir. Ayrıca, beton kirişlerin çekme bölgesine KLTP şeritler yapıştırılmış ve kirişlerin taşıma gücündeki artışlar gözlenmiştir. Buna göre sargı etkisiyle basınç dayanımındaki artış silindir formundaki örneklerde köşeleri yuvarlatılmış küp örneklerle kıyasla daha fazladır. Sargı katmanının sayısının artırılması basınç dayanımını arttıran önemli bir faktördür. KLTP şeritlerin beton kirişlerin çekme bölgesinde kullanılması halinde kirişlerin taşıma gücünde büyük artışlar sağlanmıştır. Ancak, çekme bölgesine KLTP şerit yapıştırılmış kirişlerin aynı zamanda KLTP dokuma ile sarılması durumunda ise taşıma gücündeki artış çok daha büyük mertebededir. KLTP malzemeler ile güçlendirilmiş elemanların aşırı gevrek kırılma göstermemesi için betonarme elemanlarınkilere benzer şekilde titizlikle tasarlanması gerekmektedir.

Çetinkaya ve arkadaşları [19]; betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesinde (O/G) Lifli Polimer (FRP) malzemenin kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmaya başlanmıştır. FRP malzemelerin, yüksek çekme mukavemeti, korozyona karşı dayanıklılığı ve bu malzeme ile yapılan O/G'nin, yapının işleyişini çok fazla etkilememesi gibi nedenlerle tercih edilen bir malzeme olmaktadır.

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı laboratuvarlarında yapılan bu çalışmada dört adet betonarme kirişin FRP malzemelerle onarım ve/veya güçlendirilmesi yapılmıştır. Her deney kirişi için yük deplasman eğrisi elde edilerek elemanların statik yük altında O/G'den önceki ve sonraki davranışı karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda FRP malzemelerle yapılan O/G'nin betonarme kirişlerin taşıma gücünü çok büyük ölçüde arttırdığı görülmüştür.

Gençoğlu ve arkadaşları [20]; hasarlı kenar kolon birleşim numuneleri, üç farklı yöntemle güçlendirilmiş ve her bir yöntemde farklı güçlendirme malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemeler, epoksi reçinesi enjeksiyonu, karbon elyafli laminantlar (CFRP) ve tekstiller ile çelik lamalardır. Güçlendirilen numuneler, güçlendirme öncesindeki yükler gibi tersinir tekrarlı yüklere maruz bırakılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar, numunelerin dayanımlarına, oluşan çatlak dağılımlarına, enerji yutma miktarlarına ve güçlendirme maliyetlerine ve imalat süresine göre değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 3. MALZEME METOT

3.1. Giriş

Karbon lifi takviyeli polimer dokuma ve alkali dayanıklı olması için yüksek mukavemetli saf camdan üretilmiş ve yeterli şekilde aprelenmiş birinci sınıf cam olan (E camı)cam elyafı malzemeler silindir örneklerle tek kat ve çift kat sarılarak liflerin beton basınç dayanımına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla 14 adet 150x300 mm boyutlu silindir numuneler kullanılmıştır. 7 adet C20 beton sınıfı silindir numunelerin 3 adeti şahit numune, 1 adetine çift kat karbon lifi, 1 adetine tek kat karbon lifi, 1 adetine çift kat cam elyafı, 1 adetine tek kat cam elyafı sarılmıştır. Aynı işlemler 7 adet C16 beton sınıfı silindir numunelere ; 3 adeti şahit numune, 1 adetine çift kat karbon lifi, 1 adetine tek kat karbon lifi, 1 adetine çift kat cam elyafı, 1 adetine tek kat cam elyafı olacak şekilde sarılmış ve oluşturulan kompozit malzemeler beton basınç deneyine tabii tutulmuştur.

3.2. Agrega ve Su Özellikleri

Beton karışımında agrega olarak 0-3 mm doğal kum (Şekil 3.1), 0-5 mm kırma kum(Şekil 3.1), 5-12 mm kırmataş 1 (Şekil 3.1) ve 12-22 mm kırmataş 2 (Şekil 3.1) kullanılmıştır.

Agregaların hazırlanışı Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Deneyde kullandığımız su ise şebeke suyudur.



Şekil 3.1. Agreganın hazırlanması

Kullanılan agregaların elek analizi ve TS 707 değerleri Tablo 3.1' de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Kullanılan malzemelerin elek analizi ve TS 707 değerleri

Malzeme		Doğal Kum		Kırma Kum		1 Nolu Agreg		2 Nolu Agreg	
Deney Tarihi		10.01.2008		10.01.2008		10.01.2008		10.01.2008	
Ocak Adı		İnce kum		Kaba kum		1 nolu agrega		2 nolu agrega	
Ocak Bölgesi		Merve		Merve		Tempo		Tempo	
Kuru Ağırlık		1200		1200		1300		1500	
Elek		Kümülatif		Kümülatif		Kümülatif		Kümülatif	
Numarası	Açıklığı (mm)	Kalan gr	Geçen %	Kalan gr	Geçen %	Kalan gr	Geçen %	Kalan gr	Geçen %
	63		100		100		100	0	100
	3/4"		100		100		100	0	100
	5/8"		100		100		100	304	80
	5/16"		100		100	267	79	1488	1
	No:5	45	96	25	98	1097	16	1494	
	No:10	55	95	243	80	1238	5		
	No:18	295	75	570	53	1266			
	No:35	494	59	898	25				
	No:60	1122	7	1106	8				
İncelik Mod.		1,7		2,4					
Karışımın İncelikModülü:		2,11							

Beton dizaynında kullanılan agreganın granülometri eğrisi ve TS 707 sınır değerleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Agregaların fiziksel özellikleri ise Tablo 3.2’de verilmiştir.

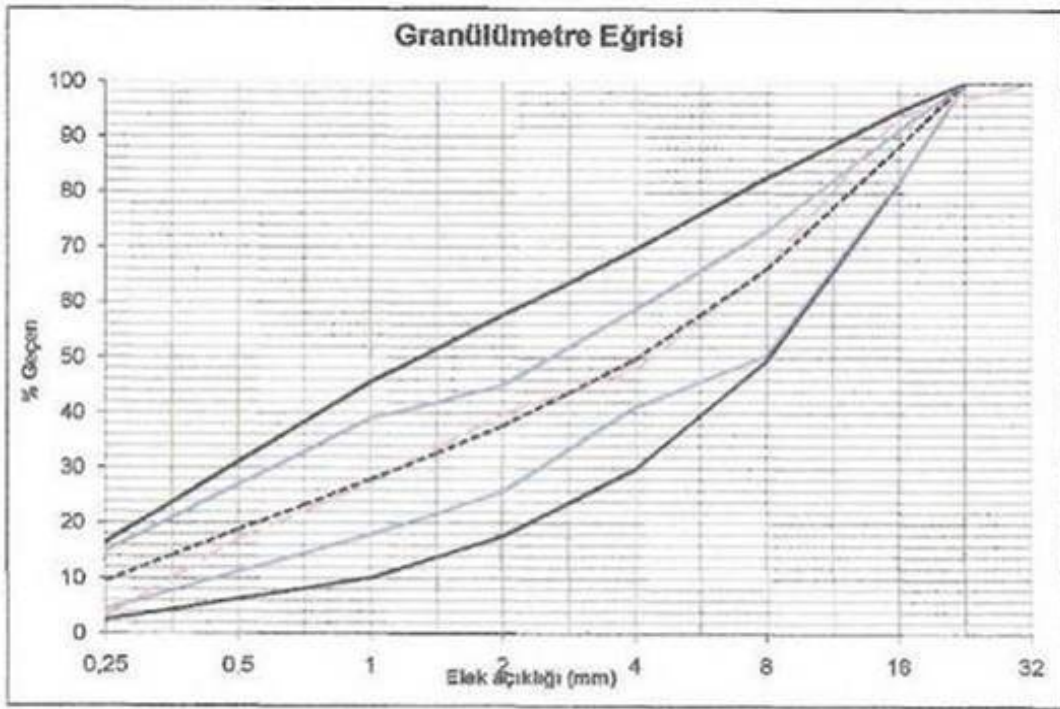
Tablo 3.2. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega Özgül Ağırlıkları				
MALZEME ADI	DKY Numune ağı. (gr)	Denet kabı+Lam+Su ağı. (gr)	Deney kabı+Lam+Su+DKY Num. Ağı.(gr)	DKY Özgül ağı. (gr/cm³)
İNCE KUM	130	530	609,65	2,58
KABA KUM	150	530	623,00	2,63
1 NUMARA	145	530	621,60	2,72
2 NUMARA	165	530	634,30	2,73

Buna göre ağırlıkça % 17 doğal kum, % 28 kırma kum, % 27 1 nolu agreganın, % 28 2 nolu agreganın kullanılarak oluşturulan karışımın granülometri eğrisi kullanım sınırları içindedir ve ideal granülometriye yakındır. Agregalarda ki nem durumu dökümden önce belirlenerek gerekli düzeltmeler yapılmıştır ve Tablo 3.3’de sunulmuştur.

Tablo 3.3. Agreganın su emme değerleri

MALZEME ADI	OCAK ADI	TARİH	AGREGA SU EMME		
			DKY Numune ağı. (gr)	Etüv Num. ağı.(gr)	Kurusu SU EMME %
İNCE	MERVE	10.01.2008	130	127	1,2
KABA KUM	MERVE	10.01.2008	150	148	1,4
1 NUMARA	TEMPO	10.01.2008	145	143	0,5
2 NUMARA	TEMPO	10.01.2008	165	163	0,3



Şekil 3.2. Agrega karışımının granülometri eğrisi ve TS707 sınır değerleri

Deneyde kullanılacak agrega yüzdeleri Tablo 3.4’de sunulmuştur.

Tablo 3.4. Deneyde kullanılacak agrega yüzdeleri

DOĞAL KUM	KIRMA KUM	1 NOLU AGREGA	2 NOLU AGREGA
17%	28%	27%	28%

3.3. Çimento ve Özellikleri

Karışımlarda PÇ 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun üretici Çimentaş firması tarafından sağlanan fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. PÇ 42.5 Çimentosunun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

	01.01.200	02.01.200	03.01.200	04.01.200	ORTALAMA
SiO ₂ (%)	24,83	24,09	22,61	23,08	23,59
Al ₂ O ₃ (%)	6,12	5,95	5,68	5,76	5,85
Fe ₃ O ₃ (%)	3,69	3,69	3,76	3,74	3,73
CaO (%)	58,37	57,10	60,47	59,01	58,48
MgO (%)	1,04	1,03	1,05	1,04	1,04
SO ₃ (%)	2,67	2,66	2,75	2,60	2,65
Kızdırma Kaybı (%)	3,75	3,73	4,01	4,56	4,18
Klor (%)	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011
Ölçülemeyen					
Serbest CaO (%)	2,62	2,02	1,72	1,92	2,18
Alümin Modülü (%)	1,66	1,61	1,54	1,54	1,57
Silikat Modülü (%)	2,53	2,50	2,40	2,43	2,46
BETON NO:	2221	2229	2238	2245	
Dayanımlar 2 günlük	31,7	33,4	31,4	29,9	31
7 günlük					
28 günlük					
Özgül Ağırlık (g / cm)	2,94	2,94	2,94	3,03	2,98
Litre Ağırlık (gr)	1050	1060	1045	1050	1054
Özgül Yüzey (Blaine)(cm ² /g)	4798	4863	51,04	5379	5137
0,09 mm elek	1,0	0,8	1,1	1,0	1,1
0,032 mm elek	17,6	15,5	17,4	16,5	17,3
Hacim Sabitliği(mm)	2	2	2	2	2
Donma Başlangıç (saat)	02:40	02:40	02:20	02:35	02:35
Donma Bitiş(saat)	03:20	03:15	03:00	03:55	03:22
Toplam Katkı	17,54	17,17	15,39	19,41	17,6
Vicat Suyu (%)	28,4	28,8	28,4	28,8	28,6

3.4. Sertleşmeyi Hızlandırıcı Beton Katkısı ve Özellikleri: (CHRYSOXEL AH-50 TS EN 934-2 Ç7)

Chrysoxel AH-50 ;suda eriyen organik ve mineral tuz esaslı özellikle kış şartlarında betonun dondan korunması için üretilen bir beton antifrizidir.

Chrysoxel AH-50 çimentonun hidrasyonunu hızlandırarak betonun daha erken priz almasını sağlar.İkincil fonksiyonu ise karışımdaki suyun donma derecesini düşürmesidir. Özellikle düşük sıcaklıklarda betonun donmasını engeller, çimento ve kum moleküllerini bağlayıcı pastası içerisinde mükemmel dağıtır. Bu mükemmel dağılım, hidrasyonun daha geniş yüzeyde gerçekleşmesini sağlar ve özellikle ilk yaş basınç mukavemetlerini önemli ölçüde yükseltir.

Chrysoxel AH-50 prekast uygulamalarında, erken kalıp alınması, soğuk derz ihtimalinin azaltılması, kohezif ve akışkan beton üretiminde kullanılır.

Chrysoxel AH-50 kullanımı sayesinde erken mukavemetler artar.

Chrysoxel AH-50, CHRYSO'nun ürettiği normal ve süper akışkanlaştırıcılarla beraber kullanılabilir.

Teknik Özellikleri:

Görünüm: Sıvı

Yoğunluk: 1.375 ± 0.03 gr/cm³

Renk: Açık Kahverengi

Ph: $5,50 \pm 1$

Katı madde: $\%48,50 \pm \%5$

Klorür içeriği: $<\%0,1$

Kullanım Alanları:

Beyaz dahil her tip çimento ile(alüminli hariç); soğuk havalarda dökülen betonlarda, ön gerilmeli ve vakumlu betonlarda, çok donatılı betonlarda prefabrikasyon betonlarında, erken mukavemet isteyen betonlarda kullanılabilir.

Uygulama:

Dozaj : 100 kg çimento için 0,8 kg ile 3,0 kg arasındadır. Genelde kullanma dozajı, karışım içerisindeki çimento ağırlığının % 1,0'dır.

Chrysoxel AH-50 optimum dozajı, betondan beklenen mekanik özellikler ve karışımın akışkanlığı göz önüne alınarak şantiyenizde kendi malzemelerinizle yapacağınız deneyler sonucu kesinlik kazanacaktır.

Chrysoxel AH-50 suda tamamen çözünür. Beton karma suyuna karıştırma öncesi katılmalıdır.

3.5. Karbon Lifli Dokuma ve Özellikleri

Karbon lifi ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Cam elyafının metale göre sertliğinin çok düşük olmasından dolayı sertliğin 3-5 kat artırılması çok belirgin bir amaçtı. Karbon elyafları çok yüksek ısı işlem uygulandığında elyaflar tam anlamıyla karbonlaşırlar ve bu elyaflara grafit elyafı denir. Günümüzde ise bu fark ortadan kalkmaktadır. Artık karbon elyafıda grafit elyafı da aynı malzemeyi tanımlamaktadır. Karbon elyafı epoksi matrisler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbon fiber üreticileri devamlı bir gelişim içerisinde çalışmalarından dolayı karbon elyaflarının çeşitleri sürekli değişmektedir. Karbon elyafının üretimi çok pahalı olduğu için ancak uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır.

Karbon elyafları piyasada 2 biçimde bulunmaktadır:

Sürekli Elyaflar = Dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında, tek yönlü bantlarda, ve prepreg'lerde kullanılmaktadır. Bütün reçinelerle kombine edilebilirler

Kırılmış Elyaf = Genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal kimyasal valf yapımında kullanılırlar.

Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorulma dayanımının yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler.

Karbon elyafının üretim süreci;

Karbon elyafı çoğunlukla iki malzemeden elde edilir;

- Zift
- PAN (Poliakrilonitril)

Zift tabanlı karbon elyafları göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. PAN tabanlı karbon elyafları kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir. PAN'ın karbon elyafına birbirini takip eden dört aşamada dönüştürülmektedir;

1. Oksidasyon: Bu aşamada elyaflar hava ortamında 300 derecede işitilir. Bu işlem, elyaftan H'nin ayrılmasını daha uçucu olan O 'nin eklenmesini sağlar.Ardından karbonisazyon aşaması için elyaflar kesilerek graphite teknelerine konur. Polimeri, merdiven yapısından kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında elyafın rengi beyazdan kahverengiye, ardından siyah olur.
2. Karbonizasyon: Elyafların yanıcı olmayan atmosferde 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100% karbonlaşma sağlanması aşamasıdır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafının sınıfını belirler;
3. Yüzey İyileştirmesi karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın kompozit malzemenin reçinesine daha iyi yapışabilmesi için elektrolitik banyoya yatırılır.
4. Kaplama; Elyafı sonraki işlemlerden (prepreg gibi) korumak için yapılan nötr bir sonlandırma işlemidir. Elyaf reçine ile kaplanır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır. Kompozit malzemede kullanılacak olan reçine ile elyaf arasında bir ara yüz görevi görür.

Deneyde kullanılan karbon lifli dokumanın özellikleri Tablo 3.6’da sunulmuştur.

Tablo 3.6. Deneyde kullanılan karbon lifli dokumanın özellikleri

FRP Malzeme	<i>Sika Wrap 230C</i>
Lif tipi	<i>Yüksek dayanımlı karbon lifleri</i>
Lif doğrultusu	<i>0°C(çift yönlü)Dokuma,ipliklerin gevşemesini önleyen özel örgü lifleriyle donatılmıştır.</i>
Dokuma ağırlığı	<i>225 g/m²</i>
Dokuma tasarım kalınlığı	<i>0,13 mm (karbon liflerin toplam alanı esas alınarak</i>
Liflerin çekme dayanımı	<i>3500 N/mm²</i>
Liflerin çekme E-modülü	<i>230000 N/mm²</i>
Kopmadaki uzama	<i>%1,5</i>
Dokuma uzunluğu/rulo	<i>50 m</i>
Dokuma genişliği	<i>30/60 cm</i>
Raf ömrü	<i>Sınırsız</i>
<i>Ambalaj</i>	<i>Sert karton kolide 1 rulo</i>

*Mekanik değerler liflerin yönü doğrultusundaki değerlerdir.

Karbon elyafının tüm diğer elyaflara göre en önemli avantajı yüksek modülüs özelliğidir. Karbon elyafı bilinen tüm malzemelerle eşit ağırlıklı olarak karşılaştırıldığında en sert malzemedir.

Deneyde kullanılan karbon lifli kumaş ve uygulamaya hazırlanışı Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Deneyde kullanılan karbon elyafın ve matris malzemenin yani epoksi

yapıştırıcısının temini Sika Yapı Kimyasalları A.Ş'den sağlanmıştır.



Şekil 3.3. Karbon lifli kumaş ve uygulamaya hazırlanması

3.6.Cam Elyaf ve Özellikleri

Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılanıdır. Cam elyafı özel olarak tasarlanmış ve dibinde küçük deliklerin bulunduğu özel bir ocaktan eritilmiş camın itilmesiyle üretilir .

Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir. Özellikle cam elyafı ile matris arası yapışma gücünü arttıran "silan" bazlı ve elyaf üzerinde ince film oluşturan kimyasalların sonra kullanım sahaları artmıştır.

Elyaf lar işlem sırasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Cam elyafı halen aramid ve karbon elyaf larından daha yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptir. Elyaf kumaş ları genellikle sürekli cam elyaf ının

lifleri ile üretilmektedir. İşlemler sırasında değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı özel üretim yöntemleri ile farklı türde cam elyafı üretilmektedir. Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri Tablo 3.7 'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	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 ⁶)	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	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 ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3
B ₂ O ₃	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

A Cam - Pencerelerde ve şişelerde en çok kullanılan cam çeşididir. Kompozitlerde çok fazla kullanılmaz.

C Cam - Yüksek kimyasal direnç gösterir. Depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.

E Cam -Takviye elyaflarının üretiminde en çok kullanılan cam türüdür. Düşük maliyet, iyi yalıtım ve düşük su emiş oranı özelliklerine sahiptir.

S + R Cam - Yüksek maliyetli ve yüksek performanslı bir malzemedir. Yalnız uçak sanayisinde kullanılır.

Elyaf içindeki tellerin çapları E Cam'ın yarısı kadardır, böylelikle elyaf sayısı fazlalaşır dolayısıyla birleşme özelliklerinin daha güçlü olması anlamına gelen daha sert yüzey elde edilebilmektedir

Cam elyafının kullanım amacına bağlı olarak elyaf sarma biçimleri farklı olabilir. Elyaf çapı ve demetteki lif sayısı farklılaşabilir. Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımının artması için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genellikle elyafın kompozit malzemeye uygulanmasından önce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla çözülebilen polimerler kullanılmaktadır. Elyaf ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir. İyi yapışmamaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matris, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için elyaf kimyasallarla kaplanır.

3.6.1. Cam elyafı ve üretimi

Cam elyafı, dünyanın her yerinde kullanım amacına uygun nitelikteki alkalisiz düşük "E" camının, 5-20 mikron çaplarında devamlı proses ile ince lifler halinde çekilmiş türüdür[21].

1940'lı yıllardan bu yana, değişik cam elyafı tipleri plastiklerin takviyesinde kullanılmaktadır. Bu şekilde, kırılğan bir yapıya sahip olan plastiklerin çekme ve eğilme dayanımları, rijitlik ve darbe dayanımları gibi fiziksel özellikleri arttırılabilmektedir.

Cam elyafı başlangıçta sadece Termoset yapıdaki plastiklerin takviyesinde kullanılırken, günümüzde termoplastiklerin de takviyesinde hızlı bir büyüme göstermektedir.

3.6.2. Cam elyafın tarihçesi

Tarihte cam elyafının ilk kez Fenikeli ve Mısırlı sanatçılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. O zamanlarda, lifler, cam çubukların ısıtılması sonucunda, yumuşatılarak akıtılması şeklinde elde ediliyordu. Kullanım yeri ise yine takviye amacına yönelikti ve çanak, çömlek, amfor gibi ürünlerin sağlamlaştırılmasını sağlıyordu. Bugün bildiğimiz devamlı cam elyafının geliştirilmesi 1930'lu yılların sonlarına doğru yapılabildiği [21].

3.6.3. Piyasadaki cam elyafı takviye malzemeleri ve çeşitleri

Cam elyafı takviye malzemelerini öncelikle bir taslak halinde sunup, daha sonra her bir ürün çeşidini ayrıntılı bir şekilde açıklayalım [21].

Cam Elyafı Takviye Malzemeleri

Devamlı Cam Elyafı Takviyeleri	Kesikli Cam Elyafı Takviyeleri
• Fitol	- Kırılmış demetten keçeler *
- Tek Uçlu Fitol (Direkt Sarma Fitol)	- Kırılmış demetler
- Çok Uçlu Fitol (Bileşik Fitol)	- Öğütölmüş Lifler
• Cam elyafı iplik (Tekstil ipliğı – Yarn)	
• Kumaşlar (Fabric-Cloth)	
- Dokunmuş Fitiller	
- Dokunmuş Cam Kumaş	
- Dikilmiş Kumaşlar (Dokunmamış)	
- Tek Yönlü Fitol Kumaşlar (Dokunmamış Fitol)	
- Devamlı Demetli Keçe (Dokunmamış)	
- Yüzey Tülü (Dokunmamış)	

* Kırılmış demetten keçelerde bir kumaş (Fabric- Cloth) türü olup, Kesikli Cam elyafı Takviyeleri grubunda yer almaktadır.

3.6.3.1. Fitol

Devamlı yapıya sahip bir cam elyafı takviye malzemesidir. Çok sayıda delik içeren kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan doğruya sarılması ile “Direkt Sarma Fitol” olarak üretilebildiğı gibi, daha az sayıda delik içeren kovanlardan üretilen cam elyafı demetlerinin birbirine paralel olarak bükölmeden sarılması ile “Bileşik Fitol” olarak ta üretilebilir. (Şekil 3.4)



Direk Sarma Fitol



Bileşik Fitol

Şekil 3.4. Direk sarma fitil ve 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. 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 yanıl mukavemeti arttırmaktır. Genellikle “R” camı elyafından yapılmış fitillere en yaygın olarak epoksi reçine emdirilerek yapılan “Stratipreg veya Prepreg” ismi verilen bir diğler cam elyafı takviye malzemesi de elyaf sarma metodu ile yüksek mekanik dayanım aranan depo ve borularda otoklavda kalıplanmak üzere kullanılmaktadır.

3.6.3.2. Cam elyafı iplik

Cam elyafı demetlerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen takviye çeşididir. Genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılır. (Şekil 3.5)



Şekil 3.5. Cam elyaf iplik

3.6.3.3. Kumaşlar

Dokunmuş veya dokunmamış halde, farklı elyaf türlerinden elde edilebilen,uluslararası tanımlarda, yassı veya rulo haline getirilmiş, tüm takviye malzemelerinin genel adı Kumaş anlamında “Fabric veya Cloth” olarak geçmektedir. Kumaş ürünlerini, cam elyafı, aramid, karbon elyafı gibi takviye malzemelerinin, tek yada birbirleriyle hibrid olarak biraraya getirilmesi ile oluşturmak mümkündür. Başlıca kumaş tipleri şunlardır.

3.6.3.4. Dokunmuş fitiller

Dokuma amacı ile üretilmiş fitillerin belirli bir düzen içinde dokunması ile yapılan cam elyafı takviye malzemesidir.Dokunmuş fitiller, birbirlerine 90C’lik açı ile ve atkı ve çözgüsünde aynı teksde fitillerin kullanıldığı kumaşlar olarak tanımlanmaktadır. Farklı ağırlık (300-1200 gr/m2) ve enlerde (125-300 cm) üretilen kumaşlar, cam tülü veya keçe ile dikilerek kombine ürün haline getirilerekte kullanılmaktadır. Dokunmuş fitiller; otomotiv, denizcilik gibi sektörlerde el yatırması uygulamalarında kullanılmaktadır.

Ayrıca, özel dokuma tipleri ile, fenolik reçine emdirilerek kesme taşlarının üretiminde kullanılmaktadır. (Şekil 3.6)



Şekil 3.6. Dokunmuş fitil

3.6.3.5. Dokunmuş cam kumaş

Cam elyafı ipliklerinden dokunmuş kumaşlardır. Başlıca uygulamaları, baskılı devre üretimi, devre kesici tüpleri üretimi gibi elektrik araç gereç üretimidir. (Şekil 3.7)



Şekil 3.7. Dokunmuş cam kumaş

3.6.3.6. 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 birarada tutulmaktadır. Aynı ağırlıktaki bir dokuma ile karşılaştırıldığında daha iyi mekanik değerler elde edilmektedir. (Şekil 3.8)

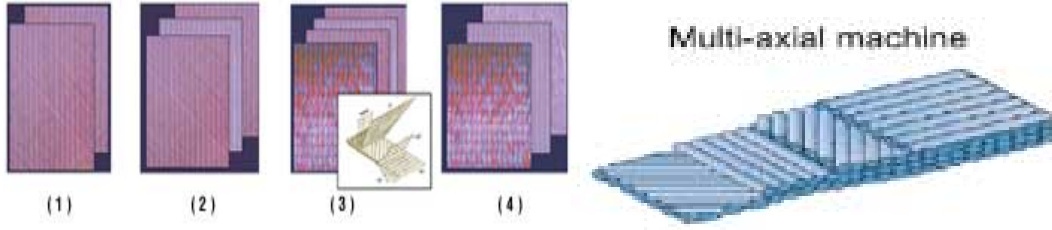


Şekil 3.8. Dikilmiş kumaş

3.6.3.7. 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 açılar birarada kullanılmasının yanısıra keçe ile de dikilmesi mümkündür. (Şekil 3.9)



Şekil 3.9. Tek yönlü fitil kumaş çeşitleri
(1- İki yönlü açılı 2- Üç yönlü açılı 3- Dört yönlü açılı 4- İki yönlü açılı ve keçe)

3.6.3.8. 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 birarada tutulur. Bağlayıcı cinsi ve miktarı öngörülen uygulama alanına bağlıdır.

Başlıca kullanım alanları; önceden şekillendirilerek (preform) veya şekillendirilmeden maçalı kapalı kalıplama, pultrüzyon, devamlı levha ve baskılı devre plakası üretimleridir. Ayrıca köpük takviyesinde de kullanılır. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10. Devamlı demetli keçe

3.6.3.9. Kırpılmış demetten keçeler

Bu cam elyafı takviye çeşidi, 50 mm uzunluğunda kırılmış cam elyafı demetlerinin, stirende çözünür bir bağlayıcı ile birarada tutulmasından oluşmaktadır. Kullanılan bağlayıcı miktarı, proses gereklerine ve bitmiş ürün özelliklerine bağlı olarak % 3-10 arasında değişmektedir.

Kırpılmış demetten keçeler, açık kalıplama uygulamaları ve levha üretiminde kullanılmaktadır. (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Kırpılmış demetten keçe

3.6.3.10. Kırpılmış demetler

Cam elyafı demetlerinin 3-12 mm uzunluğunda kırpılmış şeklidir. Termoplastik granüllerin ve termoset esaslı kalıplama yöntemlerinden, BMC üretiminde kullanılmaktadır. (Şekil 3.12)



Şekil 3.12. Kırpılmış demetler

3.6.3.11. Öğütülmüş lifler

Öğütme işlemi sonucunda, uzunlukları, 0.1 -0.2 mm'ye düşürülmüş cam elyafı takviye malzemesidir. 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. (Şekil 3.13)



Şekil 3.13. Öğütülmüş lif

3.6.4. Cam elyafı üretimindeki başlıca cam cinsleri

Kompozisyonlarına bağlı olarak, değişik cam elyafı cinsleri Tablo 3.8'de sunulmuştur. Bunlar içinde "E" camı elyafının en başta geldiği görülmektedir. Elektrik ve mekanik özellikleri ile maliyetinin iyi bir denge oluşturması sonucu, bu kalsiyum alüminosilikat bileşiminin, kullanılan toplam cam elyafı takviye malzemeleri içinde %90 pazar payına sahip olduğu görülmektedir. "E-CR" camı, "E" camının modifiye edilmiş şekli olup, asitlere karşı dayanım sağlamak amacı ile kompozisyonunda bor içermemektedir. "E-CR" camı elyafı, genellikle kimyasal dayanım istenen tank ve boru imalatında kullanılmaktadır.

Tablo 3.8. Çeşitli cam tipleri ve özellikleri

Cam Tipi	Özellikleri
A-camı	Yüksek alkali oranı-düşük maliyet
C-camı	Kimyasal dayanım (Yüzey tülleri)
E-camı	Elektriksel özellikler
L-camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M-camı	Yüksek elastik modül
S-2 camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2 camı	Paneller için yarı şeffaf
AR-camı	Alkali dayanım
R-camı	Yüksek çekme dayanımı

Yüksek mekanik dayanım aranan ürünler için kullanılan cam elyafi cinsleri Amerika’da “S” CAMI; Avrupa’da “R” camı olarak nitelenmektedir. Kompozitin mukavemetini ve rijitliğini arttıran bu cins cam elyafi havacılık, uzay ve askeri alanlarda, yüksek teknik performans gereksinimi nedeni ile kullanılmaktadır. Ayrıca, nakliye, spor ve dinlenme alanlarında da bazı ürünler için kullanıldığı görülmektedir. Bunların dışında, mükemmel dielektrik özellikler taşıyan ve elektronik endüstrisinde sıkça kullanılan, “D” camı elyafi ve özellikle yüzey tüllerinde kullanılan kimyasal dayanımlı “C” camı elyafi da bulunmaktadır.

Başlıca cam elyafi cinslerinin kompozisyonları (% olarak) Tablo 3.9’da sunulmuştur.

	A	C	E	R	S
SiO ²	72.0	64.6	52.4	60.0	64.4
Al ₂ O ₃	1.5	4.1	14.4	25.0	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	9.0	---
MgO	2.5	3.3	4.6	6.0	10.3
Na ² O,K ² O	14.2	9.6	0.8	---	0.3
B ² O ³	---	4.7	10.6	---	---
BaO	---	0.9	---	---	---

Tablo 3.9. Başlıca cam elyafi cinslerinin kompozisyonları (% olarak)

Alkali dayanımlı cam elyaf ve uygulamaya hazırlanması Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Alkali dayanımlı cam elyaf ve uygulamaya hazırlanması

Deneyde kullanılan alkali dayanıklı cam elyaf, İstanbul Teknik İnşaat mühendislik sanayi ve ticaret ltd.şti. tarafından karşılanmıştır ve teknik özellikleri Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Deneyde kullanılan cam elyafının teknik özellikleri (E camı)

Çekme Mukavemeti(Mpa)	TS 8933(Alkali dayanıklı)	1900
Tex(g/1000m-2 split)	TS 4998	400
Çözü ve atkı sayısı(adet/10 mm)	TS 3328	1,8
Rulo boyutları	120/100 cm x 50 cm	60 m ² veya 50 m ²

3.7. Takviye Türlerinin Karşılaştırılması

Yaygın kullanımı olan kompozit takviye türleri arasındaki bazı temel farklılıkları belirtmek amacıyla aşağıdaki tablo düzenlenmiştir. (Tablo 3.11)

Tablo 3.11. Takviye türleri ve özellikleri

Takviye Türleri	Gerilme Dayanımı (MPa)	Gerilme Modülü (GPa)	Özgül Ağırlık	Özellikler
Cam	3000 5000	72 - 82	2.48 - 2.60	Yüksek mukavemet, İyi kalıplama özellikleri, Düşük maliyet
Karbon Grafit	2500 3000	200 - 700	1.75 - 1.96	Yüksek modül, Elektriksel iletkenlik, Yüksek maliyet

3.8. Doyurma Reçinesi ve Özellikleri

Kullanılan doyumra reçinesinin(Elyaf yapıştırma malzemesi) özellikleri Tablo 3.12’de verilmektedir.

Tablo 3.12. Doyurma reçinesi özellikleri

Epoksi Yapıştırıcı Malzeme	Sikadur-330
Görünüm	A Bileşeni:beyaz B Bileşeni:gri
Yoğunluk	1,31 kg/l(karışım)
Karışım oranı	A:B=4:1(Ağırlıkça)
Kullanım süresi	15°C’de en az 90 dak.(5 kg) 35°C’de en az 30 dak.(5 kg)
Viskozite	Boyacı rolesi ile sürülebilecek kıvam
Uygulama sıcaklığı	+15°C/+35°C(yüzey ve ortam sıcaklığı)
Eğilme Modülü	3800 N/mm ²
Betona yapışma dayanımı	> 4 N/ mm ² (Beton kırılması)

Uygulamanın yapılacağı beton yüzeyi temiz olmalı, yağ, kir ve oynak parçacıklardan arındırılmalıdır. İklim şartına bağlı olarak, betonun min. 3-6 haftalık olması gerekmektedir. Yüzey hazırlığı aşamasında kumlama, taşlama gibi yöntemlerle mekanik olarak temizleme yapılmalıdır.

B bileşenini A bileşenine ekleyerek; düşük hızlı el mikseriyle yaklaşık 3 dk.boyunca, uniform görünüm elde edinceye kadar karıştırılmalı, mümkün olduğu kadar az hava sürüklenmesine dikkat edilmelidir. Gerekli kadar malzeme kullanımı için karışım oranları (ağırlıkça ve hacimce) dikkate alınmalıdır.

Doyurma reçinesinin hazırlanması Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Doyurma reçinesinin hazırlanması

Sistem uygulaması

Malzemenin; karbon ve cam elyaf sisteme uygulaması aşağıda aşama aşama özetlenmiştir.

- Karıştırılan doyum reçinesi hazırlanan yüzeye mala veya fırça yardımıyla yüzey pürüzlüğüne bağlı olarak yaklaşık 0,7-1,2 kg/m² olacak şekilde uygulanır.
- Karbon lifli dokuma ve cam elyaf istenilen doğrultuda olacak şekilde yüzeye uygulanan reçine üzerine yerleştirilmeli, yedirme rulosunu hafifçe bastırarak

elyaf ve lifli dokuma üzerinde lif doğrultusunda hareket ettirilir. Lifler ve elyaf arasından doyurma reçinesi dışarı doğru fışkıracaktır. Bu işlemi yaparken çok bastırmadan, karbon lifli dokumanın ve cam elyafın gergin, pot yapmadan yerleşmesi sağlanır.

- Bir kattan fazla uygulanması (en çok 3 kat): Yaklaşık 0,5 kg/m² sarfiyatla biraz daha doyurma reçinesi uygulanır. Bu işlem bir önceki katın uygulanmasından sonra yaklaşık 60 dakika (20°C’de) içinde yapılır. İkinci kat için tekrar ikinci adım uygulanır.
- Karbon lifli dokumanın ve cam elyafın üzerine sıva gibi bir kaplama katı uygulanacaksa, kaplama sonrası sürülen doyurma reçinesinin üzerine kuvars kumuyla pürüzlendirme yapılır. Bu şekilde hazırlanan yüzey, üzerine gelecek çimentolu katlarla iyi bir aderans sağlamaktadır.

Uygulamada dikkat edilecek önemli noktalar şu şekilde sıralanabilir.

- Lif ve elyaf doğrultusundaki birleşim yerlerinde, minimum 100 mm olacak şekilde üst üste bindirme yapılmalıdır.
- Liflere paralel doğrultuda yerleştirilen karbon kumaşlarda üst üste bindirme şart değildir.
- Karbon lifli malzeme direk güneş ışığıyla temastan korunmalıdır.

Ayrıca, bütün ekipmanlar kullanımdan hemen sonra epoksi tiner ile temizlenmelidir. Kürünü almış doyurma reçinesi ancak mekanik yolla yapıştığı yerden uzaklaştırılabilir. Uygulama sırasında insan sağlığı açısından gerekli tedbirler ise şöylece özetlenebilir.

Çalışmaya başlamadan önce eller, çıplak kalan cilt koruyucu kremle kremelenmelidir. Koruyucu ekipman (eldiven, gözlük v.b) kullanılmalıdır. Göz veya yumuşak dokuyla temasla ılık, temiz su ile yıkayıp, derhal bir doktora başvurulması gerekmektedir.

3.9. DeneY Numunelerinin Hazırlanması

3.9.1. Beton karışım hesapları

DeneYlerin C16-C20 kalitesinde ki beton örnekler ile gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla hazırlanacak betonun S/Ç oranı yaklaşık 0,7 , çimento miktarları ise 240 ve 260 Kg/m³ olarak seçilmiştir. Beton dizaynları Tablo 3.13 ve Tablo 3.16’ da gösterilmiştir. DeneYde C20 beton sınıfında 40 dm³ hacminde beton ve C16 beton sınıfında 40 dm³ hacminde beton dökülmüştür..

Tablo 3.13. C20 beton sınıflı 1m³ beton dizaynı

Malzeme	Kaynak	Cinsi	Geliş	Öz. Ağ.	Dozaj	DÜZELTME		kg/m ³
						RUTUBET	SU	
Çimento	ÇİMENTA	PÇ 42,5	08.01.08	3,16	260			260
Su	Lab.	Şebeke suyu		1,00	179			175
Mineral katkı 1		Uçucu Kül		2,12				0
Mineral katkı		Silis Dumanı		2,35				0
Mineral katkı				2,85				0
Katkı 1		Chrysoxel		1,375	%1,0			2,60
Katkı 2				1,200				0,00
Katkı 3				1,000				0,00
Agrega 0-3	MERVE	İNCE KUM	08.01.08	2,58	%17		%1,2	316
Agrega 0-5	MERVE	KABAKUM	08.01.08	2,63	%28		%1,4	531
Agrega 5-12	TEMPO	Kırmataş 1	08.01.08	2,72	%27		%0,5	529
Agrega 12-22	TEMPO	Kırmataş 2	08.01.08	2,73	%28		%0,3	551
						Teorik Birim		2364 kg/m ³

Tablo 3.14 ve Tablo 3.15’de dökümde kullanılan 80 dm³’lük hacim için gerekli malzeme ağırlıkları sunulmuştur

Tablo 3.14. 40 dm³ lük C16 beton sınıflı beton dizaynı

40	dm ³ için Malzeme Ağırlıkları(kg)			
	İnce Kum	Kaba Kum	1 Numara Agregası	2 Numara Agregası
Agrega Ağırlığı	13,600	20,800	20,720	23,200
Su hacmi	6,8			
Çimento	9,600			
Katkı	0,096			
Toplam	94,81			

Tablo 3.15. 40 dm³ lük C20 beton sınıflı beton dizaynı

40	dm ³ için Malzeme Ağırlıkları(kg)			
	İnce Kum	Kaba Kum	1 Numara Agregası	2 Numara Agregası
Agrega Ağırlığı	12,640	21,240	21,160	22,040
Su hacmi	7,0			
Çimento	10,400			
Katkı	0,104			
Toplam	94,58			

Tablo 3.16. C16 beton sınıflı 1m³ beton dizaynı

Malzeme	Kaynak	Cinsi	Geliş Tarihi	Öz. Ağ. gr/cm ³	Dozaj	DÜZELTME		kg/m ³
						RUTUBET	SU	
Çimento	ÇİMENTAŞ	PÇ 42,5	08.01.08	3,16	240			240
Su	Lab.	Şebeke suyu		1,00	170			170
Mineral katkı 1		Uçucu Kül		2,12				0
Mineral katkı		Silis Dumanı		2,35				0
Mineral katkı				2,85				0
Katkı 1		Chrysoxel		1,375	%1,0			2,40
Katkı 2				1,200				0,00
Katkı 3				1,000				0,00
Agrega 0-3	MERVE	İNCEKUM	08.01.08	2,58	%18		%1,2	340
Agrega 0-5	MERVE	KABAKUM	08.01.08	2,63	%27		%1,4	520
Agrega 5-12	TEMPO	Kırmatas 1	08.01.08	2,72	%26		%0,5	518
Agrega 12-22	TEMPO	Kırmatas 2	08.01.08	2,73	%29		%0,3	580
Teorik Birim								2369kg/m ³

3.9.2. Deneyde kullanılan alet ve makineler

Deneyde 14 adet 150x300 mm boyutlu silindir kap, klasik betonyer, pres makinesi ve elek seti kullanılmıştır.(Şekil 3.16)



Şekil 3.16. Deneyde kullanılan alet ve makineler

3.9.3. Beton dökümü

Betonun karıştırılmasında klasik betonyer kullanılmıştır. Öncelikle agregalar ve çimento kuru olarak karıştırılmış, daha sonra da su ve katkı malzemeleri eklenmiştir. Bu şekilde yaklaşık 5 dakika karıştırdıktan sonra taze beton betonyerden alınmıştır. Taze beton, kalıplarına sarsma tablası kullanılarak yerleştirilmiştir. Sarsma süresi bir dakikadır.

Taze betondan 14 adet silindir örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler 1 gün sonra kalıptan çıkarılmış ve 21 gün kirece doymun suda kür edilmiştir. Kür sürecini tamamlayan numuneler, epoksi esaslı yapıştırıcıların nemli yüzeylerde yapışma problemlerine yol açmaları sebebi ile karbon ve cam elyaf uygulaması öncesi numuneler laboratuvar ortamında bir hafta havada bekletilerek epoksi esaslı yapıştırıcıların dayanım kazanması sağlanmıştır. Basınç deneyleri 28.günde gerçekleştirildi. Betonun dökümü ve kürü Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17.Betonun dökümü ve kuru

3.9.4. Karbon lifli dokuma ve cam elyafın sarılması

Kompozit lif takviyeli polimer malzeme sarılacak olan elemanların çevre ölçüleri ve uygulanacak olan bindirme boyları hesaplanarak, kullanılacak malzemeler özel bir makas ile kesilerek hazırlanmıştır. (Bkz. Şekil 3.3) (Bkz. Şekil 3.5)

Kompozit lif takviyeli malzemenin basınç elemanına tatbiki esnasında kullanılacak olan doyumma reçinesinin A ve B kompenantı kullanılacak doyumma reçinesinin gerekli miktarı hacimce orantılı olarak düşük devirli bir karıştırıcı ile homojen bir görünüm alana kadar karıştırılmıştır.

(Bkz. Şekil 3.6)

Beton karışım hesabı yapılmış ve dökülmüş 14 adet silindir numuneden , 4 adet C20 ve 4 adet C16 beton sınıflı numuneler kompozit lif takviyeli polimer malzeme sarılmak için ayrıldı. 2 adet C20 beton sınıflı numunenin 1 adetine çift kat karbon elyaf ve 1 adetine tek kat karbon elyaf sarılması; 2 adet C16 beton sınıflı numunenin de 1 adetine çift kat karbon elyaf ve 1 adetine tek kat karbon elyaf sarılması planlandı. 2 adet C20 beton sınıflı numunenin 1 adetine çift kat cam elyaf ve 1

adetine tek kat cam elyaf sarılması; 2 adet C16 beton sınıflı numunenin de 1 adetine çift kat cam elyaf ve 1 adetine tek kat cam elyaf sarılması planlandı. Hazırlanan doyurma reçinesinin (epoksi yapıştırma harcının) boyacı rulosu ile silindir numunelere tatbik edilmesi planlanmıştır. Epoksi yapıştırma harcı numunelere homojen şekilde ve orantılı olarak uygulandı. Daha önceden kesilip hazırlanmış olan kompozit lif takviyeli polimer malzemeler(karbon lif ve cam elyaf) doyurma reçinesi sürülen silindirik basınç elemanına tek kat veya çift kat yapıştırıldı. Doyurma harcı lifler arasından sızmaya başlayana kadar kompozit lif takviyeli polimer malzeme üstüne el ile bastırıldı. Kompozit lif takviyeli polimer malzemenin elemana daha iyi yapışması için üstüne tekrar doyurma harcı sürüldü ve böylelikle tek kat sistem tatbik edilmiş oldu. Çift kat sistemi uygulamak içinde; bir katı yapıştırılan kompozit lif takviyeli polimer malzeme üstüne ikinci kat sargıyı yapabilmek için birinci katın üstüne tekrar doyurma reçinesi sürüldü. İkinci katı yapıştırılan lifli malzeme ilk katta olduğu gibi gergin ve düzgün olarak yapıştırıldı. İkinci katı yapıştırılan kompozit lif takviyeli polimer malzeme birinci katta olduğu gibi bindirme boyları dikkate alınarak hazırlandı ve yapıştırıldı. En son kata da doyurma harcı sürüldü. Böylelikle sarma işlemi bitirilmiş oldu. Silindir numuneye karbon lifli kumaşın tek kat sarılması ve doyurma reçinesinin uygulanması Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Silindir numuneye tek kat karbon lifli kumaşın sarılması ve doyurma reçinesinin uygulanması

Kompozit takviyeli polimer malzeme kaplama işi biten silindir eleman kürünü alması için(ortam sıcaklığına göre)12-24 saat bekletildi

Silindir numuneye çift kat karbon lifli kumaşın sarılması ve doyurma reçinesinin uygulanması Şekil 3.19'da sunulmuştur. Aynı uygulamalar cam elyaf içinde yapılmıştır.



Şekil 3.19. Silindir numuneye çift kat karbon lifli kumaşın sarılması ve doyurma reçinesinin uygulanması



Şekil 3.20. Silindir numuneye tek kat cam elyafın kaplanması ve dourma reçinesinin uygulanması

Silindir numuneye tek kat cam elyafın kaplanması ve dourma reçinesinin uygulanması Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Silindir numuneye çift kat cam elyafın kaplanması ve doyurma reçinesinin uygulanması

Silindir numuneye çift kat cam elyafın kaplanması ve doyurma reçinesinin uygulanması Şekil 3.21’de gösterilmiştir.

BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneyde Uygulanacak Basamaklar

- 1) 7 Adet C16 Beton sınıflı silindir numunenin hazırlanması
- 2) 7 Adet C20 Beton sınıflı silindir numunenin hazırlanması
- 3) 3 hafta suda kür
- 4) 1 Hafta havada bekleme
- 5) 1 adet C16 Beton sınıflı silindir numunenin tek kat cam elyaf ile sarılması
- 6) 1 adet C16 Beton sınıflı silindir numunenin çift kat cam elyaf ile sarılması
- 7) 1 adet C16 Beton sınıflı silindir numunenin tek kat wrap (karbon lif) ile sarılması
- 8) 1 adet C16 Beton sınıflı silindir numunenin çift kat wrap (karbon lif) ile sarılması
- 9) 1 adet C20 Beton sınıflı silindir numunenin tek kat cam elyaf ile sarılması
- 10) 1 adet C20 Beton sınıflı silindir numunenin çift kat cam elyaf ile sarılması
- 11) 1 adet C20 Beton sınıflı silindir numunenin tek kat wrap (karbon lif) ile sarılması
- 12) 1 adet C20 Beton sınıflı silindir numunenin çift kat wrap (karbon lif) ile sarılması
- 13) 3 adet C16 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin basınç deneyi
- 14) 3 adet C20 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin basınç deneyi
- 15) Liflerle sarılı numunelerin basınç deneyleri

4.2. Şahit Numunelerin Basınç Dayanımı Deneyi

Daha önceki bölümlerde gerçekleştirilen beton dökümü ve beton kürünün ardından beton numuneler preste kırılmak için hazırlandı. İlk önce şahit numuneler kırılmaya başlandı. Deneyde kullanılmak üzere dökülen 3 adet C20 beton sınıflı silindir şahit numene ile 3 adet C16 beton sınıflı silindir şahit numene preste basınç deneyi yapılarak yüklendi ve her 50 kg da kompaktör okuması yapıldı. Deneyde gerilme yükleme hızı $2 \text{ gf/cm}^2/\text{sn}$ dir. Yükleme hızı da 440 kgf/sn 'dir. Şahit numunelerin basınç dayanımlarının ortalamaları ise C20 için $20,64 \text{ MPa}$, C16 için $16,19 \text{ Mpa}$ çıkmış istenilen standartlara ulaşılmıştır. Bu değerler kompozit malzemelerin basınç dayanımlarıyla karşılaştırılacaktır. $150 \times 300 \text{ mm}$ boyutlu silindirik şahit numunelerin preste kırılması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. $150 \times 300 \text{ mm}$ boyutlu silindirik şahit numunelerin preste kırılması

4.3. Karbon Lifli Dokuma ve Cam Elyaf Sarılı Numunelerin Basınç Dayanımı Deneyi

Preste kırılacak olan karbon lif ve cam elyaf lifleriyle güçlendirilmiş silindir kompozit elemanlarının üst kısmına; kalıp üstündeki perdahlarında olabilecek pürüzlükten dolayı karton başlık konuldu. Preste basınç deneyi yapılarak yüklendi ve her 50 kg da kompaktör okuması yapıldı. Deneyde gerilme yükleme hızı 2 Kgf/cm²/sn dir. Yükleme hızı da 440 kgf/sn'dir. Preste kırılan basınç elemanında kompozit lif takviyeli polimer malzemelerin çift doğrultularından yatay veya dikey olarak betondan ayrıldığı gözlemlendi. Cam elyaf sarılı silindir numunelerin kırılması Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Cam elyaf sarılı silindir numunelerin preste kırılması



Şekil 4.3. Karbon elyaf sarılı silinindir numunelerin preste kırılması

Karbon elyaf sarılı silinindir numunelerin kırılması Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere kompozit malzemenin yükleme altında yatay ve dikey olarak betondan ayrıldığı ve patladığı görüldü.

4.4. 150 x300 mm Boyutlu Şahit ve Kompozit Numunelerin Deney Grafikleri

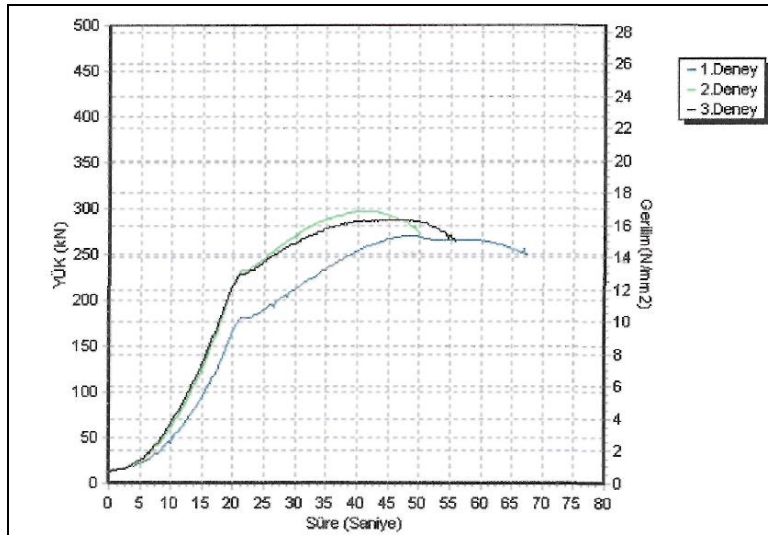
150 x300 mm boyutlu silindir elemanlar üzerinde yapılan deneyler sonucu basınç dayanımı değerleri bulunmuştur. 3 adet şahit C20 ve 3 adet şahit C16 numuneler basınç deneyine tabii tutulmuştur. Şahit numunelerin basınç dayanımı değerleri deneylerle belirlenerek, çıkan sonuçların ortalama değerleri bulunmuştur. Şahit numunelerin ortalama basınç dayanımları değerleri ile de kompozit malzemelerin basınç dayanım değerleri karşılaştırılmıştır. Karbon elyaf ve cam elyaf sarmak için 4 adet C20 ve 4 adet C16 beton sınıfı numuneler hazırlanmıştır.

Kompozit malzeme sarımları C16 beton numunesi üzerine tek kat karbon elyaf ve C16 beton numunesi üzerine tek kat cam elyaf sarımı, C16 beton numunesi üzerine çift kat karbon elyaf ve C16 beton numunesi üzerine çift kat cam elyaf sarımı olmak, C20 beton numunesi üzerine tek kat karbon elyaf ve C20 beton numunesi üzerine

tek kat cam elyaf sarımı, C20 beton numunesi üzerine çift kat karbon elyaf ve C20 beton numunesi üzerine çift kat cam elyaf sarımı olmak üzere toplam 8 adet silindir numune hazırlanmıştır.

Silindir elemanlar için ölçülen gerilme-zaman, yük-zaman değerleri ayrı şekillerde gösterilmiştir. C16 ve C20 beton sınıfıyla oluşturulmuş karbon ve cam elyaf lifleriyle bir kat ve çift kat sarılmış örneklerin gerilme-zaman, yük-zaman değerleri tek eksenli basınç deneyi ile ölçülmüştür.

4.4.1. C16 beton sınıflı şahit numunelerin basınç deneyi grafikleri



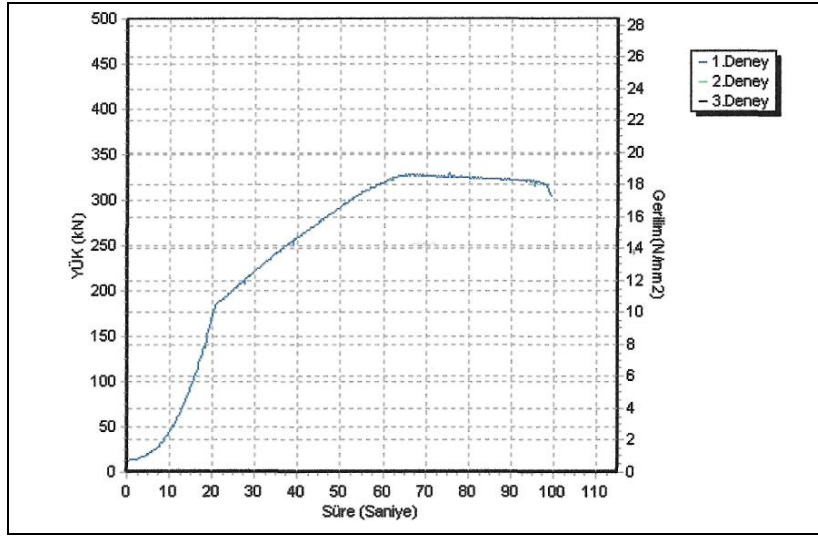
Şekil 4.4. C16 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

Tablo 4.1. C16 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin basınç dayanımları ve kırılma yükleri

Numune No	Çap (cm)	Kesit Alanı (cm ²)	Basınç Dayanımı(N/mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)
1	15	176,71	15,37	270,60
2	15	176,71	16,89	297,26
3	15	176,71	16,33	287,39

C16 Beton sınıfı silindir şahit numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.4 'de gösterilmiştir. Karşılaştırmaların yapılabilmesi açısından 3 adet C16 beton sınıfı silindir şahit numune hazırlanmıştır. C16 beton sınıfı şahit numunenin ortalama basınç dayanımı 16,19 Mpa olarak uygun düzeyde çıkmıştır. Karşılaştırmalar ortalama basınç dayanımına göre yapılacaktır.

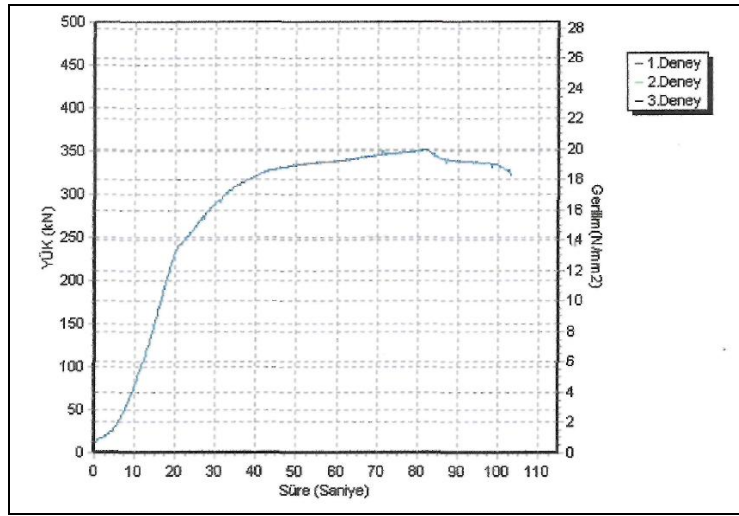
4.4.2. C16 beton sınıfı tek kat cam elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği



Şekil 4.5. Tek kat cam elyaf sarılı C16 beton sınıfı silindir numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

Tek kat cam elyaf sarılı C16 beton sınıfı silindir numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.5'de , C16 beton sınıfı tek kat cam elyaf sarılı silindir numunenin deney sonucu sayısal verileri ise basınç dayanımı 18,74 N/mm²'dir. Numune 329,85 kN'da kırılmıştır.

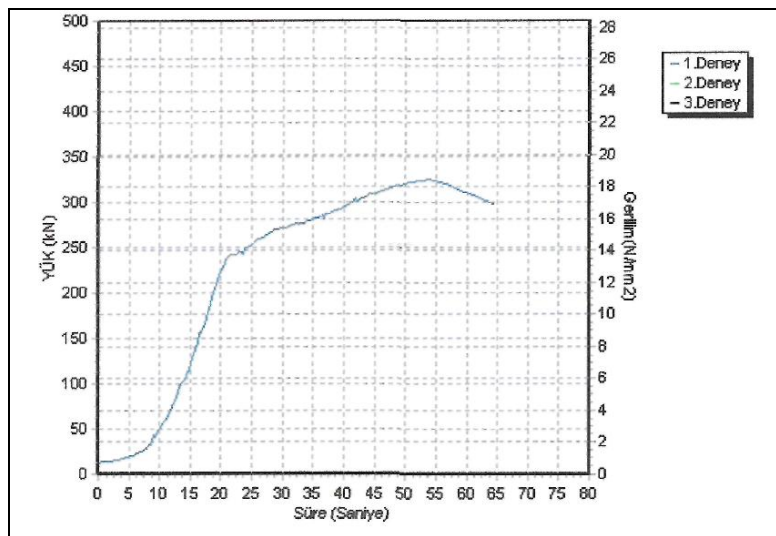
4.4.3. C16 beton sınıfı çift kat cam elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği



Şekil 4.6. Çift kat cam elyaf sarılı C16 beton sınıfı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

Çift kat cam elyaf sarılı C16 beton sınıfı silindir kompozit numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.6 'da gösterilmiştir. C16 beton sınıfı çift kat cam elyaf sarılı silindir numunenin deney sonucu sayısal verileri ise basınç dayanımı $19,95 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Numune $351,08 \text{ kN}$ 'da kırılmıştır.

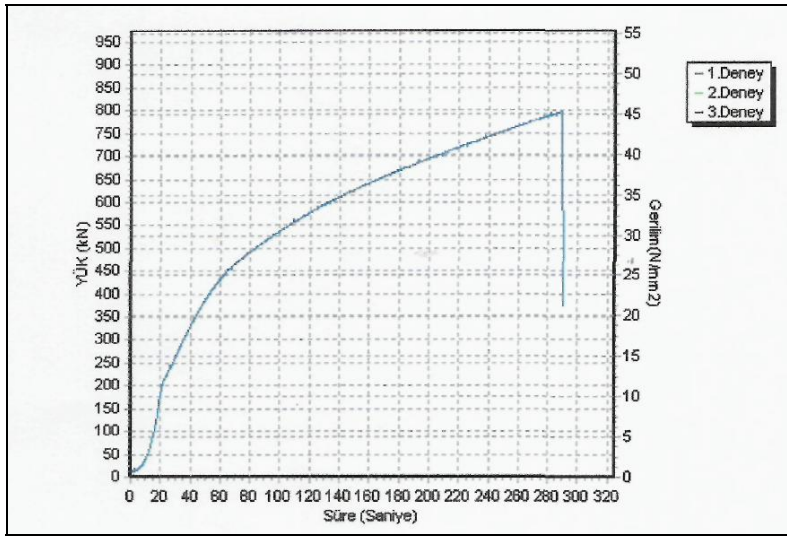
4.4.4. C16 beton sınıfı tek kat karbon elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği



Şekil 4.7. Tek kat karbon elyaf sarılı C16 beton sınıfı silindir numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

C16 beton sınıfı tek kat karbon lif sarılı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.7 'de verilmiştir. C16 beton sınıfı tek kat karbon elyaf sarılı silindir numunenin deney sonucu sayısal verileri ise basınç dayanımı 18,43 N/mm²'dir. Numune 324,42 kN'da kırılmıştır.

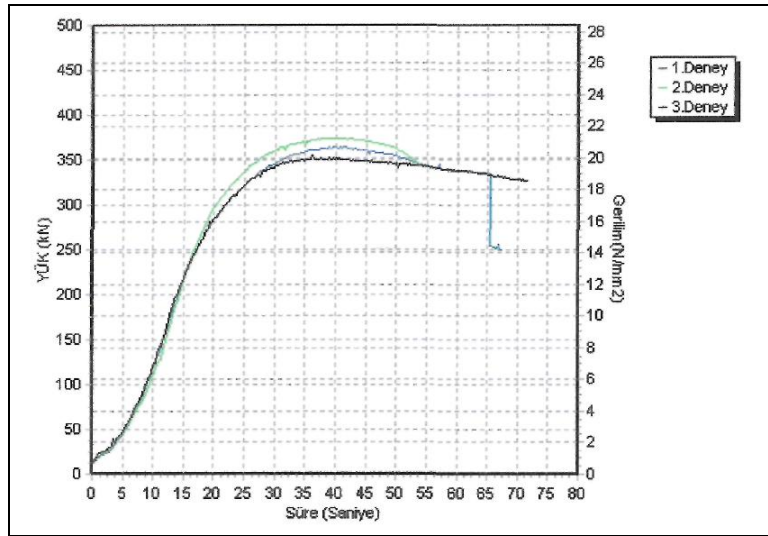
4.4.5. C16 beton sınıfı çift kat karbon elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği



Şekil 4.8. Çift kat karbon lif sarılı C16 beton sınıfı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

C16 beton sınıfı çift kat karbon elyaf sarılı silindir numunenin deney sonucu sayısal verileri ise basınç dayanımı 45,37 N/mm²'dir. Numune 798,46 kN'da kırılmıştır. Çift kat karbon lif sarılı C16 beton sınıfı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.8 sunulmuştur.

4.4.6. C20 beton sınıflı şahit numunelerin basınç deneyi grafikleri



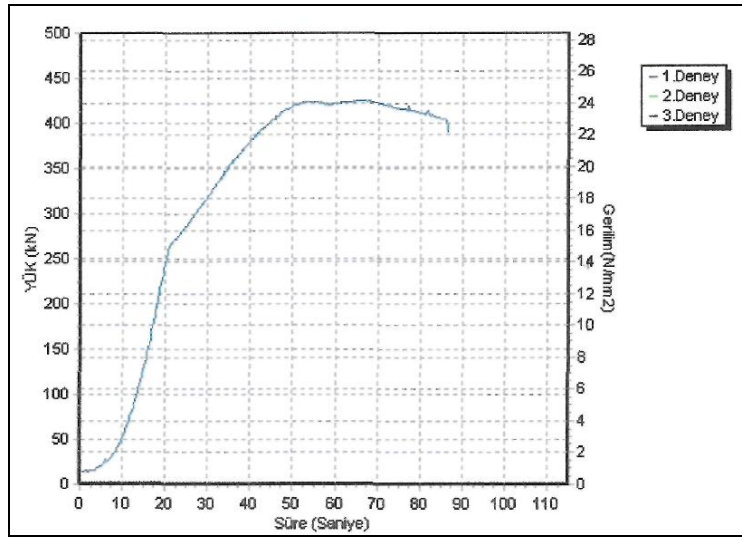
Şekil 4.9. C20 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

Tablo 4.2. C20 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin basınç dayanımları ve kırılma yükleri

Numune No	Çap (cm)	Kesit Alanı (cm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)
1	15	176,71	20,63	363,00
2	15	176,71	21,19	373,00
3	15	176,71	20,11	354,00

C20 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Karşılaştırmaların yapılabilmesi açısından 3 adet C20 beton sınıflı silindir şahit numune hazırlanmıştır. C20 beton sınıflı şahit numunenin ortalama basınç dayanımı 20,64 Mpa olarak uygun düzeyde çıkmıştır. Karşılaştırmalar ortalama basınç dayanımına göre yapılacaktır.

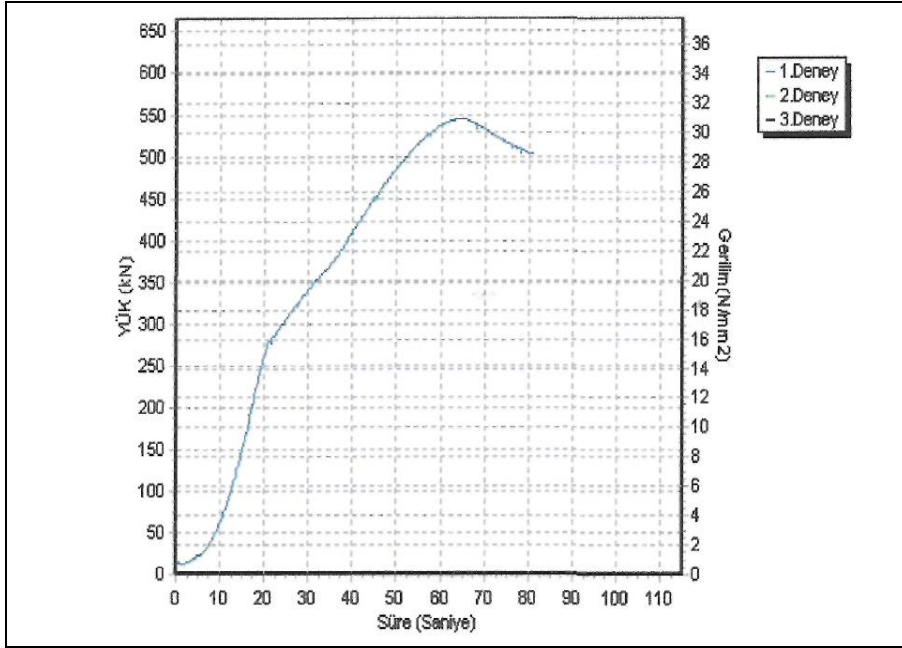
4.4.7. C20 beton sınıfı tek kat cam elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği



Şekil 4.10. Tek kat cam elyaf sarılı C20 beton sınıfı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

C20 beton sınıfı tek kat cam elyaf sarılı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir. C20 beton sınıfı tek kat cam elyaf sarılı silindir numunenin deney sonucu sayısal verileri ise basınç dayanımı 24,16 N/mm²'dir. Numune 425,15 kN'da kırılmıştır.

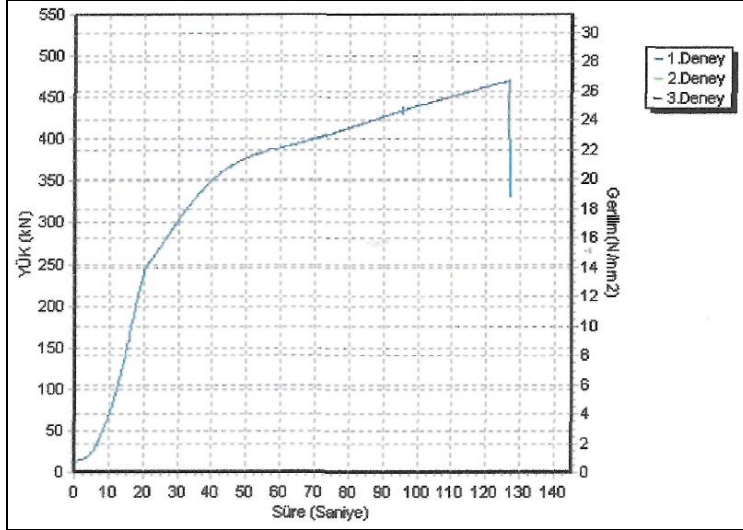
4.4.8. C20 beton sınıflı çift kat cam elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği



Şekil 4.11. Çift kat cam elyaf sarılı C20 beton sınıflı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

C20 beton sınıflı çift kat cam elyaf sarılı silindir numunenin deney sonucu sayısal verileri ise basınç dayanımı 31 N/mm^2 'dir. Numune $545,64 \text{ kN}$ 'da kırılmıştır. C20 beton sınıflı çift kat cam elyaf sarılı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.11' de verilmiştir.

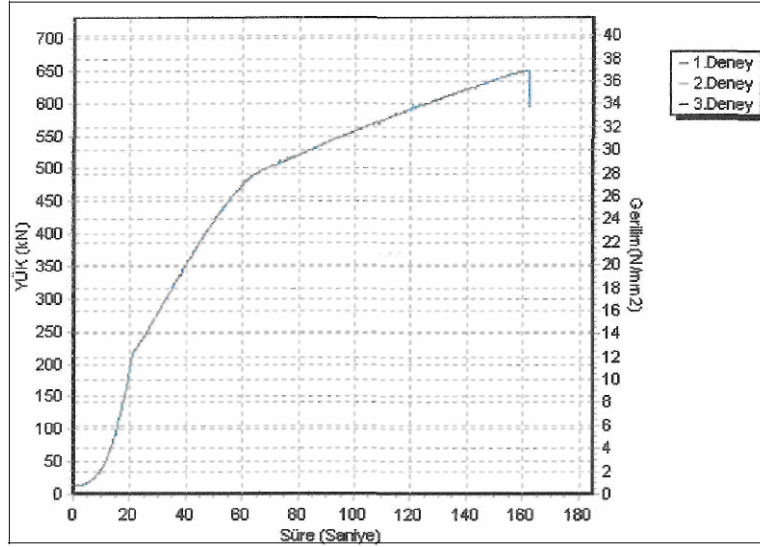
4.4.9. C20 beton sınıfı tek kat karbon elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği



Şekil 4.12. Tek kat karbon lif sarılı C20 beton sınıfı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

C20 beton sınıfı tek kat karbon elyaf sarılı silindir numunenin deney sonucu sayısal verileri ise basınç dayanımı $26,71 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Numune $470,09 \text{ kN}$ 'da kırılmıştır C20 beton sınıfı tek kat karbon lif sarılı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir.

4.4.10. C20 beton sınıflı çift kat karbon elyaf sarılı numunenin basınç deneyi grafiği



Şekil 4.13. C20 beton sınıflı çift kat karbon lif sarılı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği

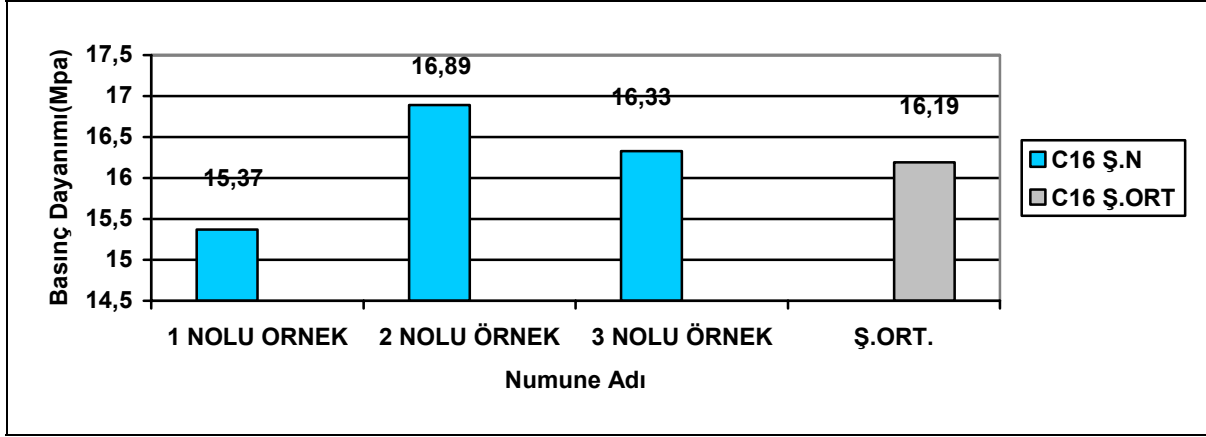
C20 beton sınıflı çift kat karbon lif sarılı silindir numunenin gerilme-zaman, yük-zaman grafiği Şekil 4.13’de verilmiştir. C20 beton sınıflı çift kat karbon elyaf sarılı silindir numunenin deney sonucu sayısal verileri ise basınç dayanımı 36,98 N/mm²’dir. Numune 650,81 kN’da kırılmıştır.

Tablo 4.3. C20 ve C16 Beton sınıflı silindir şahit numunelerin basınç dayanımları ve kırılma yükleri

Numune Adı	Kesit Alanı (cm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)
C16 Tek Kat C.E	176,71	18,74	329,85
C16 Çift Kat C.E	176,71	19,95	351,08
C16 Tek Kat K.E	176,71	18,43	324,42
C16 Çift Kat K.E	176,71	45 , 37	798 , 46
Numune Adı	Kesit Alanı (cm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)
C20 Tek Kat C.E	176,71	24,16	425,15
C20 Çift K. C.E	176,71	31,00	545,64
C20 Tek kat K.E	176,71	26 , 71	470 , 09
C20 Çift Kat K.E	176,71	36 , 98	650 , 81

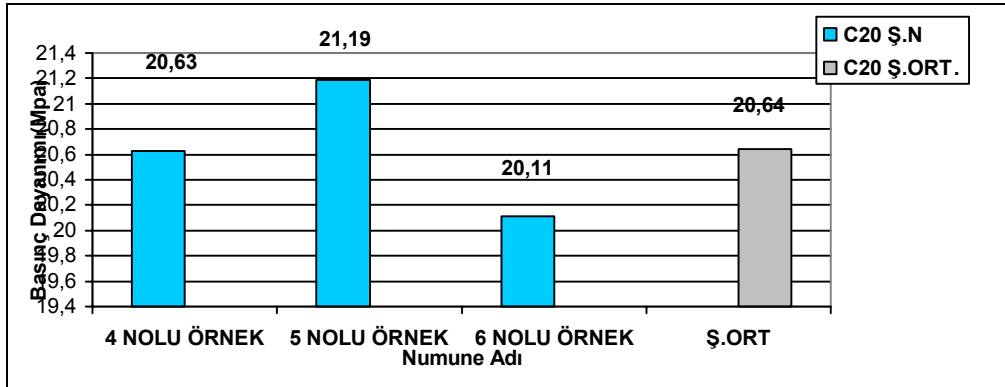
4.5. Sonuçların Karşılaştırılması

4.5.1. Sonuçların şahit numunelerle karşılaştırılması



Şekil 4.14. C16 Beton sınıfı silindir şahit numunelerin basmaç dayanımları

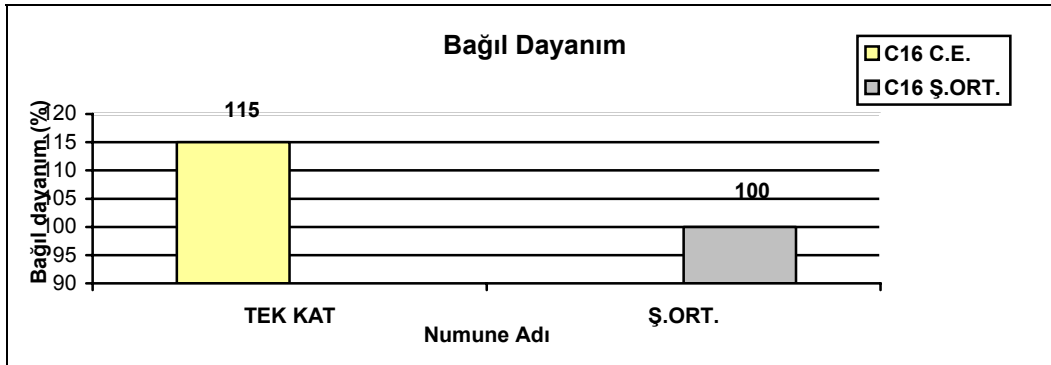
C16 Beton sınıfı silindir şahit numunelerin basmaç dayanımları Şekil 4.14'te görülmektedir. Daha önceden belirlenip, beton karışım hesapları sonucu 3 şahit numunenin ortalama değeri 16,19 Mpa bulunmuştur.



Şekil 4.15. C20 Beton sınıfı silindir şahit numunelerin basmaç dayanımları

C20 Beton sınıfı silindir şahit numunelerin basmaç dayanımları Şekil 4.15'de görülmektedir. Daha önceden belirlenip, beton karışım hesapları sonucu 3 şahit numunenin ortalama değeri 20,64 Mpa bulunmuştur.

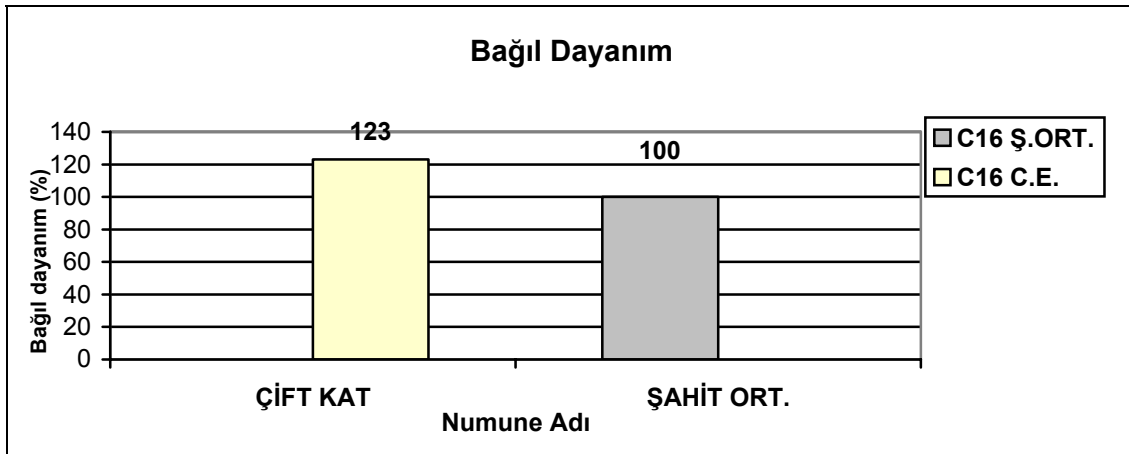
4.5.2. C16 beton sınıflı numunelerin şahit numune ile kıyaslanması



Şekil 4.16. C16 tek kat cam elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

C16 tek kat cam elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.16’da sunulmuştur.

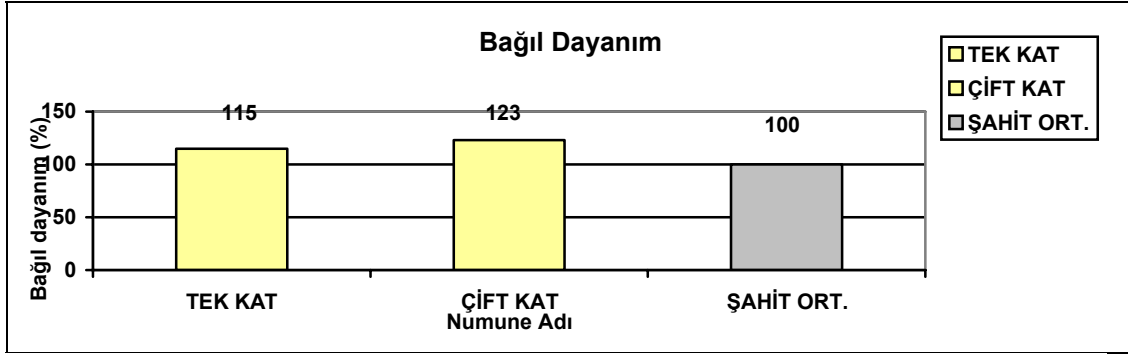
C16 numune üzerine sarılı tek katlı cam elyaf malzemenin basınç dayanımı 18,74 Mpa olarak okundu. Yani epoksi reçine ile sarılı cam elyaf , basınç dayanımına %15 lik bir artış sağlamış oldu.



Şekil 4.17. C16 çift kat cam elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

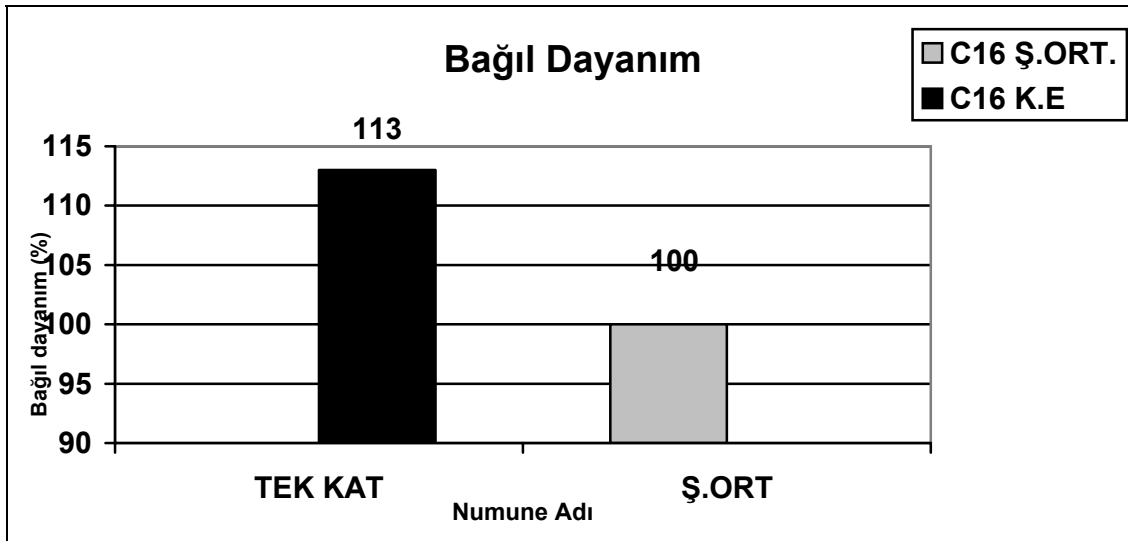
C16 çift kat cam elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.17’de sunulmuştur.

C16 şahit numunelerin ortalama basınç değeri 16,19 Mpa'dır. C16 numune üzerine sarılı çift katlı alkali dayanıklı cam elyaf malzemenin basınç dayanımı 19,95 Mpa olarak okundu. Yani epoksi reçine ile sarılı cam elyaf, basınç dayanımına %23 lük bir artış sağlamış oldu.



Şekil 4.18. C16 tek kat ve çift kat cam elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

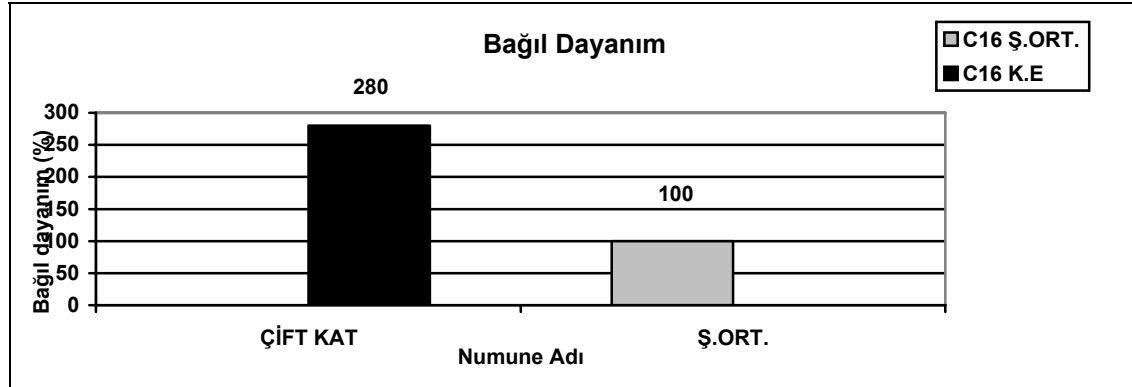
C16 tek kat ve çift kat cam elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.18'de sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi numuneler tek ve çift sarımda şahit numunelerin ortalama basınç dayanımlarından fazla çıkmıştır.



Şekil 4.19. C16 tek kat karbon elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

C16 tek kat karbon elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.19’da sunulmuştur.

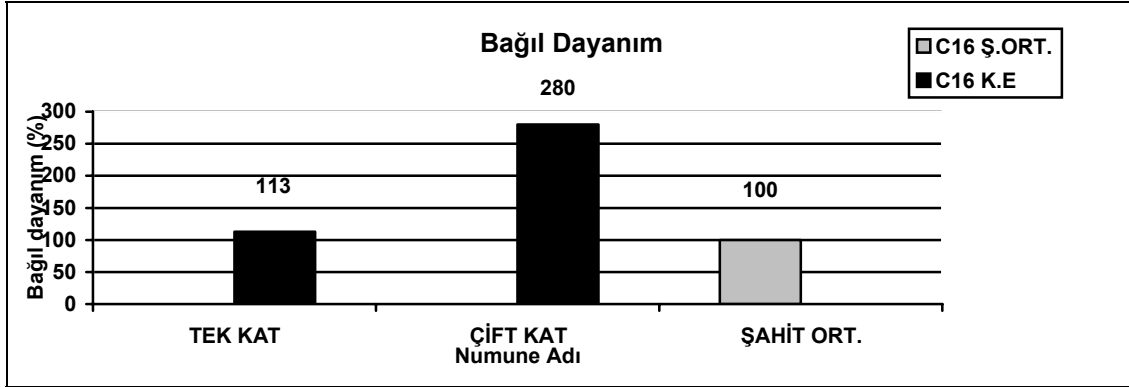
Şahit numunelerin ortalama basınç dayanımı 16,19 Mpa iken, tek kat sargı durumunda bu değer %13 artışla 18,43 Mpa’ya çıkmıştır.



Şekil 4.20. C16 çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

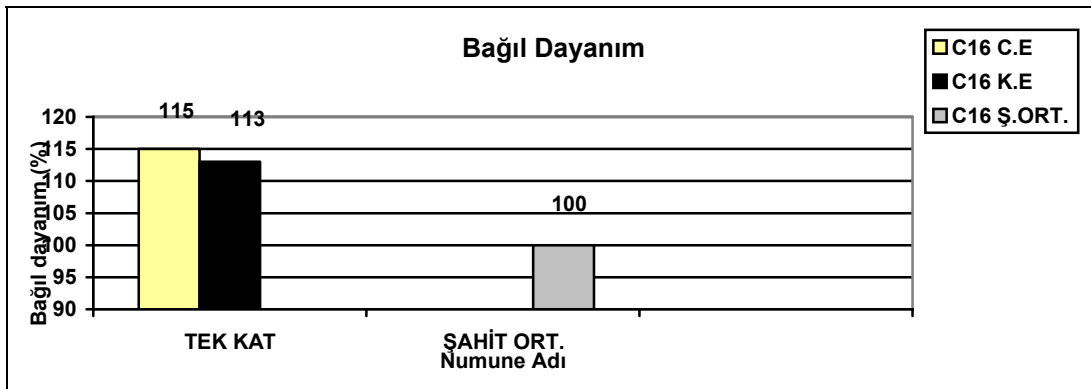
C16 çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.20’de sunulmuştur.

C16 Beton sınıfı 3 şahit numunenin basınç dayanımları 16,19 Mpa olarak okundu. Aynı C16 numune üzerine sarılı çift katlı karbon elyaf malzemenin basınç dayanımı 45,37 Mpa olarak okundu. Epoksi reçine kullanılarak sarılan karbon elyaf, basınç dayanımına %180’lik ciddi ve büyük bir artış sağladığı görüldü. Buna göre kullanılan karbon elyaf malzemesi, çift kat uygulamaya sistemi ve iyi bir vibrasyon basınç dayanımını önemli ölçüde etkilemiştir. C16 beton sınıfı çift kat karbon lif sarılı bu malzeme 798,46 kN gibi yüksek bir değerde kırılmıştır.



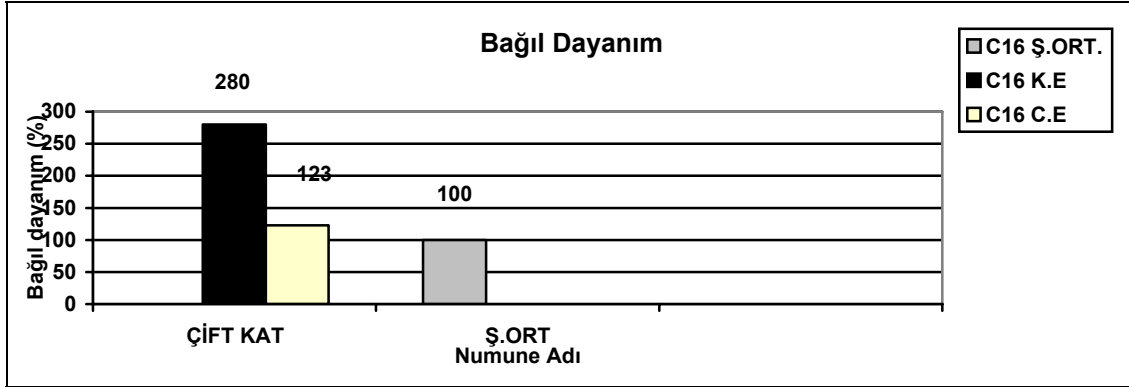
Şekil 4.21. C16 tek kat ve çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

C16 tek kat ve çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.21'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde çift kat karbon elyaf sarılı malzemenin basınç dayanımı, tek kat sarıma oranla yüksek çıkmıştır.



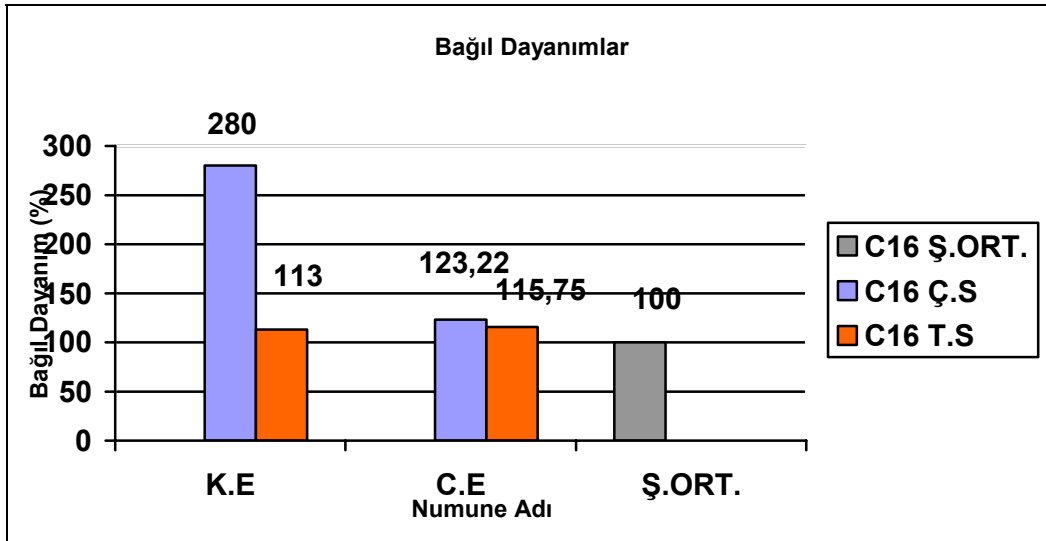
Şekil 4.22. C16 tek kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

C16 tek kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.22'de sunulmuştur.



Şekil 4.23. C16 çift kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

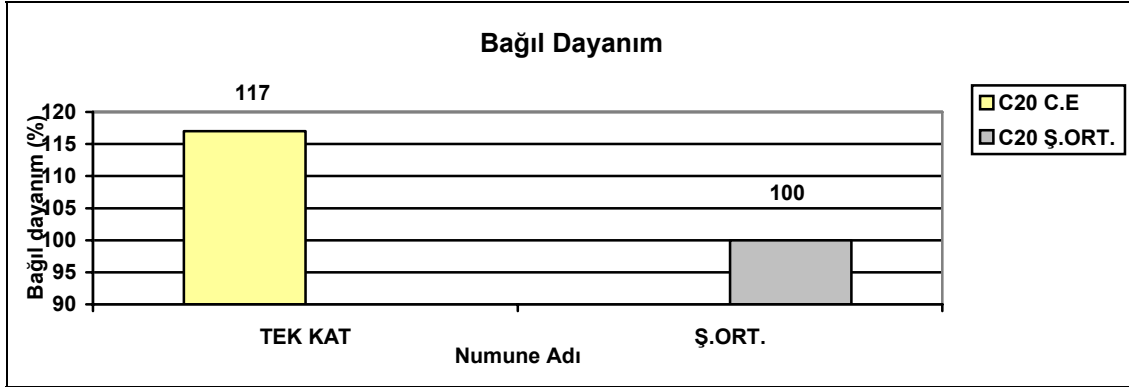
C16 çift kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C16 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.23'te sunulmuştur.



Şekil 4.24. Tek sargılı ve çift sargılı C16 beton sınıfı numunelerin, şahit numuneye kıyasla basınç dayanımları

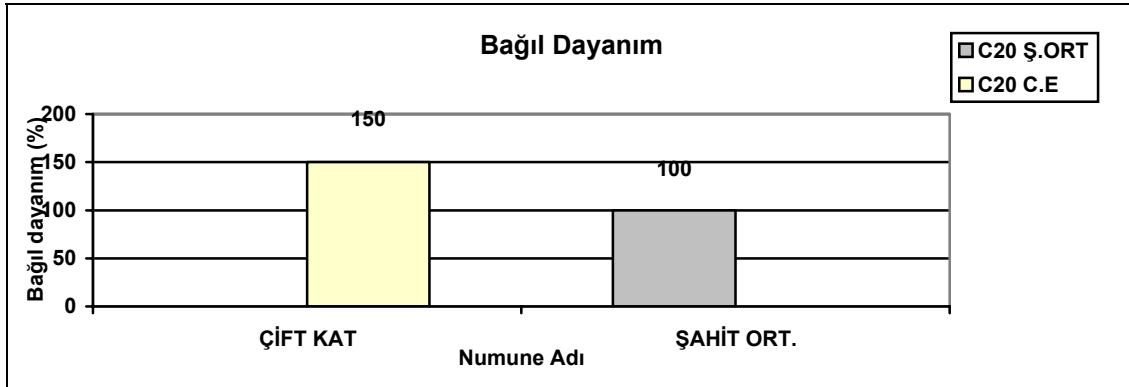
C16 sınıfı silindir numuneleri kendi aralarında incelediğimizde, karbon elyaf malzemenin cam elyaf malzemeye göre daha etkili olduğunu görebiliriz. İki malzemede şahit numuneden fazla dayanım vermiştir. Tek sargılı ve çift sargılı C16 beton sınıfı numunelerin, şahit numunelere kıyasla basınç dayanımları bağıl dayanım olarak Şekil 4.24'te verilmiştir.

4.5.3. C20 beton sınıflı numunelerin şahit numune ile kıyaslanması



Şekil 4.25. C20 tek kat cam elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

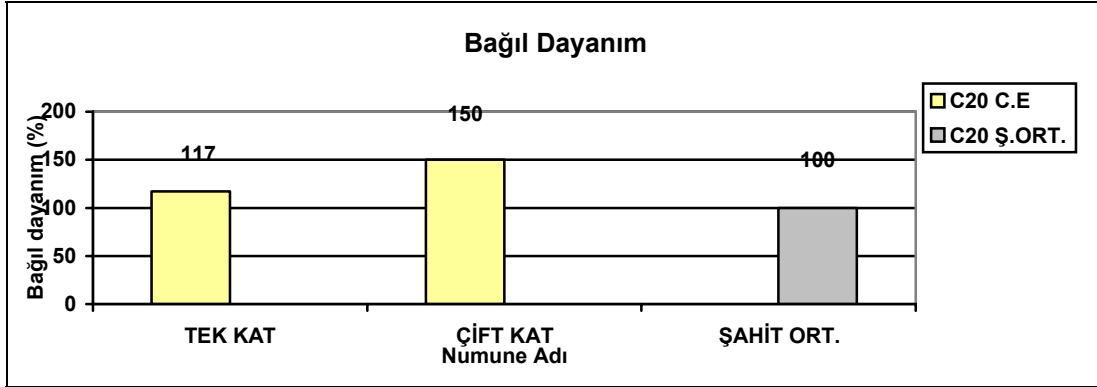
C20 tek kat cam elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.25’de sunulmuştur.Şahit numunelerin ortalama basınç dayanımı 20,64 Mpa iken, tek kat sargı durumunda bu değer %17 artışla 24,16 Mpa’a çıkmıştır.



Şekil 4.26. C20 çift kat cam elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

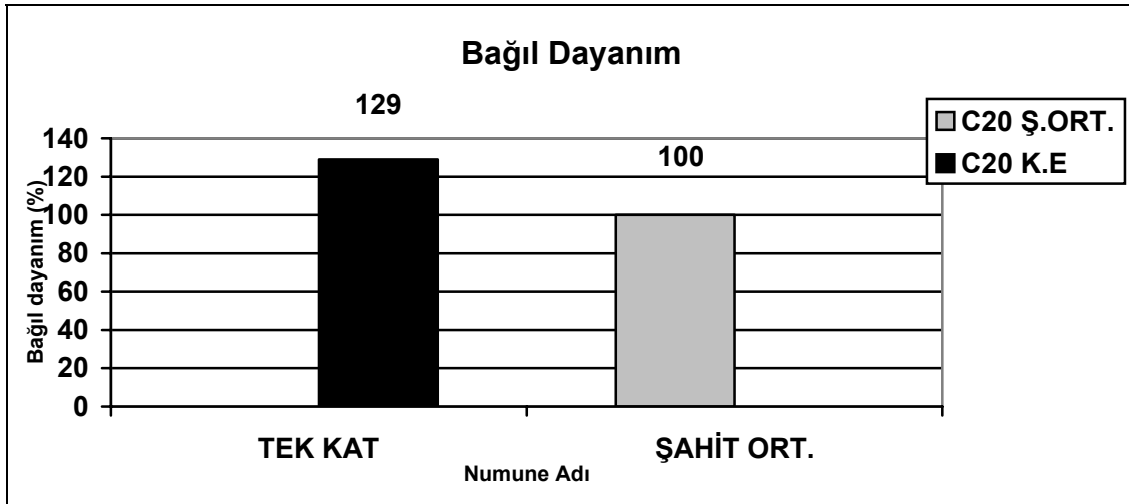
C20 çift kat cam elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.26’da sunulmuştur.

Şahit numunelerin ortalama basınç dayanımı 20,64 Mpa iken, çift kat sargı durumunda bu değer %50 artışla 31 Mpa’a çıkmıştır.



Şekil 4.27. C20 tek kat ve çift kat cam elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

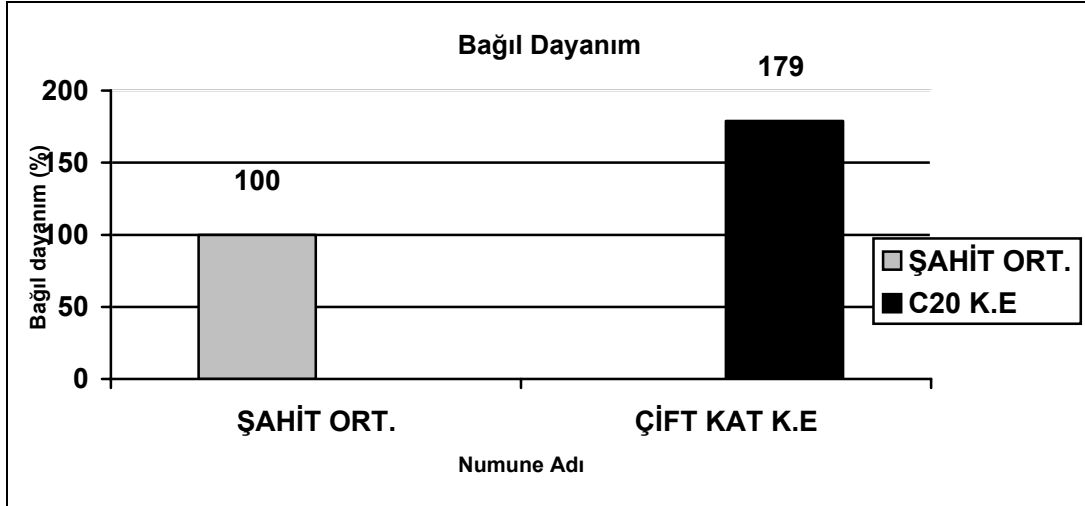
C20 tek kat ve çift kat cam elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.27’de sunulmuştur.



Şekil 4.28. C20 tek kat karbon elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

C20 tek kat karbon elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.28’de sunulmuştur.

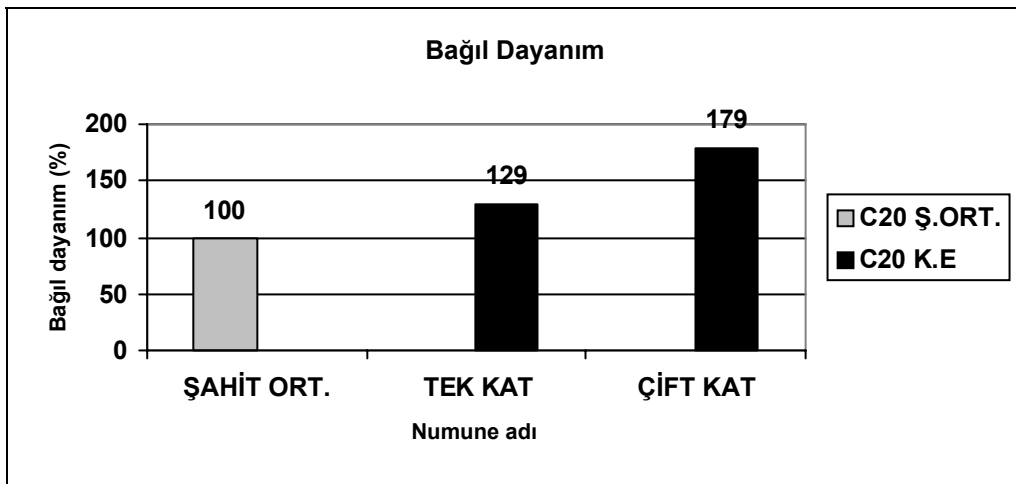
Şahit numunelerin ortalama basınç dayanımı 20,64 Mpa iken, tek kat sargı durumunda bu değer %29 artışla 26,71 Mpa’ya çıkmıştır. C20 beton sınıflı tek kat karbon lif sarılan numune 470,09 kN’da kırılmıştır.



Şekil 4.29. C20 çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

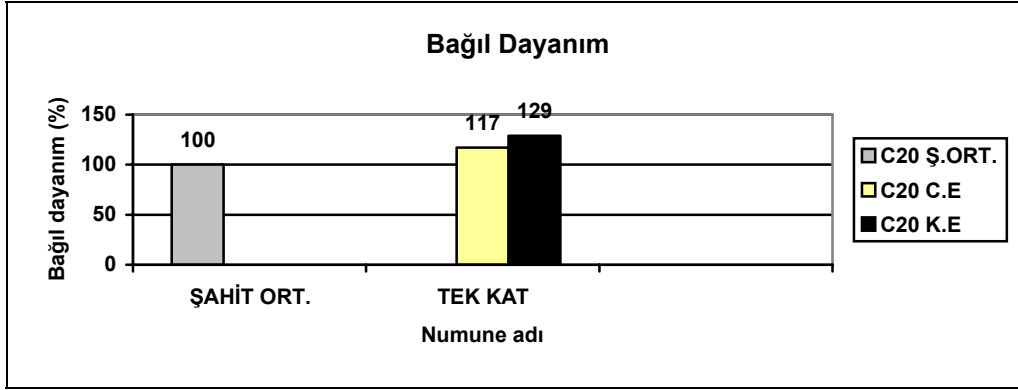
C20 çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağıl dayanım olarak Şekil 4.29'da verilmiştir.

Şahit numunelerin ortalama basınç dayanımı 20,64 Mpa iken, çift kat sargı durumunda bu değer %79 artışla 36,98 Mpa'a gibi oldukça yüksek bir değere ulaşabilmektedir. Bu durumun sebebi sargı adeti ve kullanılan kompozit polimerdir. C20 beton sınıfı çift kat sarılan numune 650,81 kN'da kırılmıştır.



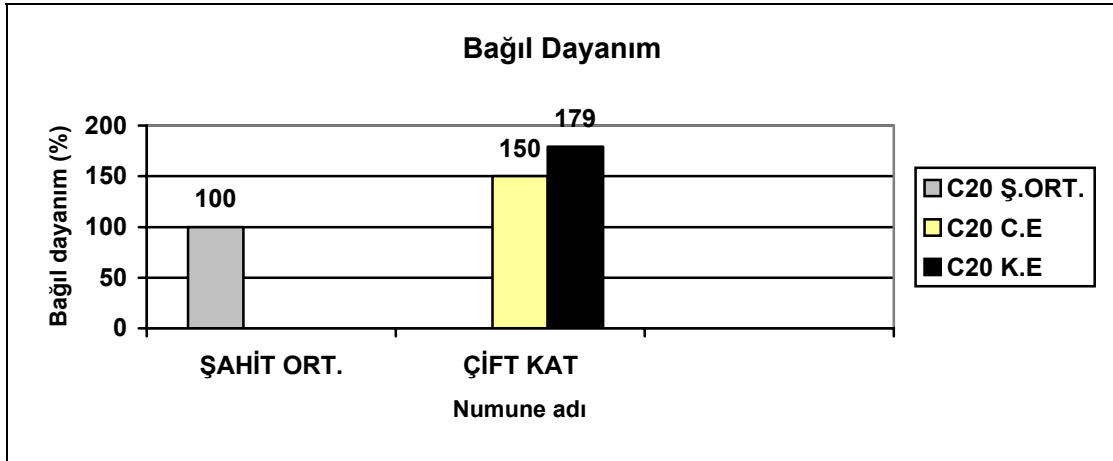
Şekil 4.30. C20 tek kat ve çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

C20 tek kat ve çift kat karbon elyaf sarılı numune ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağlı dayanım olarak Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.31. C20 tek kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

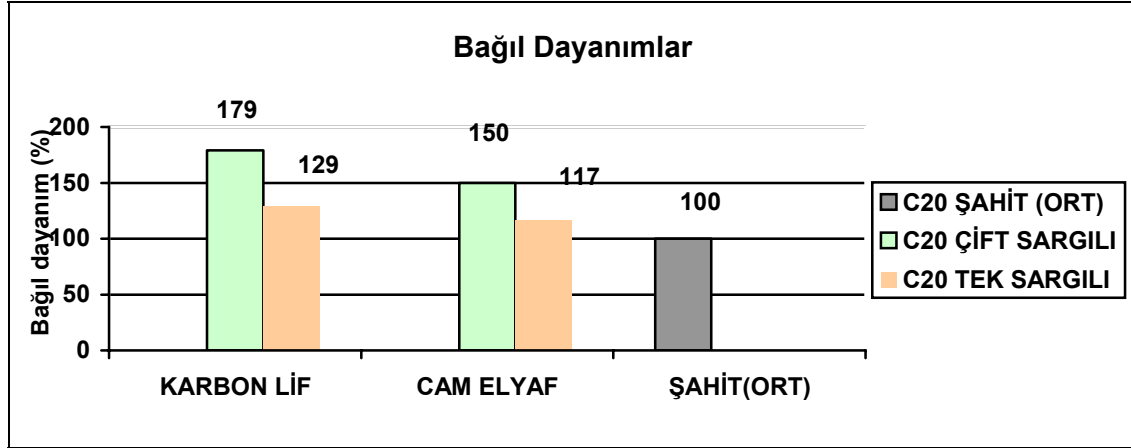
C20 tek kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağlı dayanım olarak Şekil 4.31'de sunulmuştur.



Şekil 4.32. C20 çift kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması

C20 çift kat cam elyaf ve karbon elyaf sarılı numuneler ile C20 şahit numunelerin ortalama basınç değerinin karşılaştırılması bağlı dayanım olarak Şekil 4.32'de

verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere çift kat sistem basınç dayanımının artırılmasında olumlu etki yapmıştır.

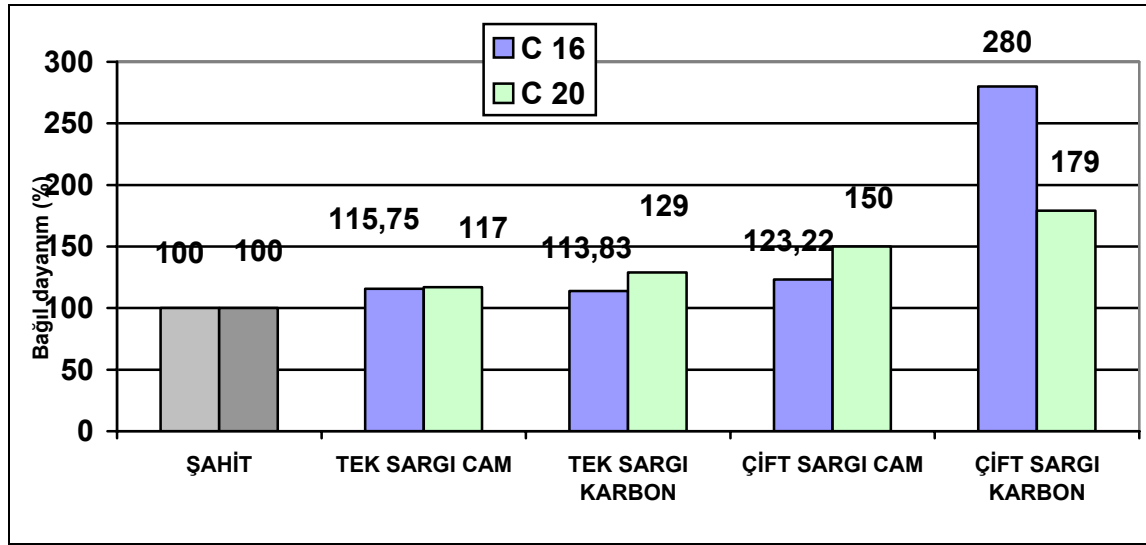


Şekil 4.33. Tek sargılı ve çift sargılı C20 beton sınıfı numunelerin, şahit numuneye kıyasla basınç dayanımları

Şekil 4.33’de tek kat sargılı ve çift kat sargılı C20 beton sınıfı karbon lif ve cam elyaf sarılı örneklerin şahit (sargısız) örneklere kıyasla basınç dayanımları bağıl dayanım olarak gösterilmiştir.

Buna göre; C20 sınıfı kompozit malzeme sarılı numuneler ile şahit numuneleri karşılaştırdığımızda, karbon elyaf malzemenin cam elyaf malzemeye göre daha etkili olduğunu görebiliriz. İki malzemede şahit numuneden fazla dayanım vermiştir. Kompozit elyaflar basınç dayanımını ciddi şekilde arttırmıştır. Karbon elyafın çekme E-modülü 230000 N/mm² dir. Karbon elyafın çekme dayanımı ise 3500 N/mm² dir. Bu özellikler çift sargı sistemiyle daha da büyüyerek silindir numunenin basınç dayanımının artmasında etkili olmuştur.

4.5.4. C16 ve C20 beton sınıflı numunelerin kendi aralarında karşılaştırılması



Şekil 4.34. Şahit numuneler ile farklı elyaf malzeme sarılı C16 ve C20 beton sınıflı silindir numunelerin basınç dayanımlarının yüzdesel değişimleri

Şahit numuneler ile farklı elyaf malzeme sarılı C16 ve C20 beton sınıflı silindir numunelerin basınç dayanımlarının yüzdesel değişimleri Şekil 4.34’de sunulmuştur.

Tablo 4.4. C16 ve C20 beton sınıflı elyaf malzeme sarılı numunelerin basınç dayanımlarının yüzdesel karşılaştırılması

Silindir Numuneler	Şahit(Ort)	Tek Kat	Artış(%)	Çift Kat	Artış(%)
C 20 KARBON LİF	20,64	26,71	%29	36,98	%79
C20 CAM ELYAF	20,64	24,16	%17	31	%50
C16 KARBON LİF	16,19	18,43	%13	45,37	%180
C16 CAM ELYAF	16,19	18,74	%15	19,95	%23

C16 ve C20 beton sınıflı elyaf malzeme sarılı numunelerin basınç dayanımlarının yüzdesel karşılaştırılması ise Tablo 4.4’de sunulmuştur. C20 Beton sınıflı 3 şahit numunenin ortalama basınç dayanımları 20,64 Mpa dır. Tek kat karbon lif sarılı C20 beton sınıflı numune, şahit numuneye oranla %29 artarak 26,71 Mpa olmuştur. Çift kat karbon lif sarılı C20 beton sınıflı numune ise, şahit numuneye oranla %79 artarak

36,98 Mpa olmuştur. Tek kat cam elyaf sarılı C20 beton sınıflı numune, şahit numuneye oranla %17 artarak 24,16 Mpa olmuştur. Çift kat cam elyaf sarılı C20 beton sınıflı numune ise, şahit numuneye oranla %50 artarak 31 Mpa'A çıkmıştır.

C16 Beton sınıflı 3 şahit numunenin ortalama basınç dayanımları 16,19 Mpa dır. Tek kat karbon lif sarılı C16 beton sınıflı numune, şahit numuneye oranla %13 artarak 18,43 Mpa olmuştur. Çift kat karbon lif sarılı C16 beton sınıflı numune ise, şahit numuneye oranla %180 artarak 45,37 Mpa olmuştur. Tek kat cam elyaf sarılı C16 beton sınıflı numune, şahit numuneye oranla %15 artarak 18,74 Mpa olmuştur. Çift kat cam elyaf sarılı C16 beton sınıflı numune ise, şahit numuneye oranla %23 artarak 19,95 Mpa'a çıkmıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, yüzeylere sarılan lifli kompozit malzemelerin beton basınç dayanımına etkilerinin araştırılması amacı ile ilgili; karbon elyaf ve alkali dayanıklı cam elyaf (takviye elemanı) kullanılmış, matris malzeme olarak da epoksi esaslı bir yapıştırıcı kullanmıştır. 150 x 300 mm boyutlu silindir numunelere elyaf malzemeler tek veya çift kat sarılarak kompozit malzeme haline getirilmiş ve beton basınç dayanımları ölçülmüştür. Alınan sonuçlarla kompozit malzemeler, kendi aralarında ve şahit numunelerin ortalama basınç dayanımları ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen verileri kısaca özetlersek;

- Karbon lifli dokuma kumaşın ve cam elyafın 150x300 mm boyutlu silindir örneklerine tek sargı ve çift katlı sargı şeklinde uygulandığında basınç dayanımlarında büyük artışlar elde edilmiştir. Örneğin; C16 beton sınıfı çift kat karbon elyaf sargılı silindir örneğin basınç dayanımı şahit örneklerle kıyasla % 180 daha fazladır. Çift kat karbon elyaf sarılı numune 798 kN'da ani kırılmaya uğramıştır. Aynı şekilde C20 beton sınıfı çift kat cam elyaf sargılı silindir örneğin basınç dayanımı şahit örneklerle kıyasla % 50 daha fazladır.
- C16 Beton sınıfı 3 adet şahit silindir numunenin ortalama basınç dayanımları 16,19 Mpa çıkarak istenilen sonuca ulaşılmıştır.
- C20 Beton sınıfı 3 adet şahit silindir numunenin ortalama basınç dayanımları 20,64 Mpa çıkmıştır.
- C16 beton sınıfı tek kat karbon elyaf sargılı numunenin basınç dayanımı şahit örneklerle kıyasla % 13 daha fazladır. Tek kat karbon elyaf sarılı numunenin gerilme kuvveti 18,43 N/mm² çıkmıştır.

- C16 beton sınıflı çift kat cam elyaf sargılı numunenin basınç dayanımı şahit örneklere kıyasla % 23 daha fazladır. Çift kat cam elyaf sarılı numunenin gerilme kuvveti 19,95 N/mm² çıkmıştır.
- C16 beton sınıflı tek kat cam elyaf sargılı örneğin basınç dayanımı şahit örneklere kıyasla %15 daha fazladır. Tek kat cam elyaf sarılı numunenin gerilme kuvveti 18,74 N/mm² çıkmıştır. Cam elyaf malzemesi de karbon elyafa göre yakın sonuçlar vermiştir.
- C20 beton sınıflı çift kat karbon elyaf sargılı numunenin basınç dayanımı şahit örneklere kıyasla % 79 daha fazladır. Dayanımdaki artış son derece önemlidir. Karbon kompozitin bina güçlendirilmelerinde kullanılması son derece yararlı olacaktır.
- C20 beton sınıflı tek kat karbon elyaf sargılı örneğin basınç dayanımı şahit örneklere kıyasla % 29 daha fazladır. Tek kat karbon elyaf sarılı numunenin gerilme kuvveti 26,71 N/mm² çıkmıştır.
- C20 beton sınıflı tek kat cam elyaf sargılı örneğin basınç dayanımı şahit örneklere kıyasla %17 daha fazladır. Tek kat cam elyaf sarılı numunenin gerilme kuvveti 24,16 N/mm² çıkmıştır. Cam elyaf malzemesi de bina güçlendirilmelerinde rahatlıkla kullanılabilir.
- Karbon elyafın birim maliyeti cam elyafa göre yaklaşık 30 kat daha fazladır. Karbon elyaf malzemesinin yerine cam elyaf kullanılabilir.
- Bu deneyde C16 ve C20 beton sınıflı malzeme kullanılmıştır. Daha düşük ve daha yüksek dayanımlı betonlarda, aynı deneylerin yapılması düşünülebilir.
- Farklı takviye malzemeleri kullanılarak, farklı dayanımlı betonlar elde edilebilir.
- Cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli malzemeler kirişlere sarılarak eğilme dayanımları ölçülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ERBAKAN, S., Batı Beton, Hazır Beton El Kitabı, İzmir , 2001.
- [2] Yrd. Doç. Dr. SİMŞEK, O., Beton Teknolojisi, Ankara, 1997.
- [3] Prof. POSTACIOĞLU, B., Beton Cilt 2 , İstanbul , 1987.
- [4] TS 706, Beton Agregaları Türk Standartları Enstitüsü , Ankara 1978.
- [5] TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, TSE , Ankara, 1985.
- [6] ERDOĞAN, T., Betonu Oluşturan Malzemeler Çimentolar , İstanbul, 1995.
- [7] TS 24, Çimentoların Fiziksel Muayene Metodları , TSE, Ankara , 1978.
- [8] Yrd. Doç. Dr. ÜNAL, O., Beton Teknolojisi ve Yapı Laboratuvarı Ders Notları , Afyon, 2002.
- [9] Beton Katkı Bülteni, Yıl:1, Sayı:2, Haziran, İst. 1999.
- [10] TMMOB İnş. Müh. Od. 4. Ulusal Beton Kongresi , İst. 1996.
- [11] Sika Ürün Kılavuzu, İstanbul , 1998.
- [12] T.S. 3452, Beton Kimyasal Katkı Maddeleri , (Priz Süresini Ayarlayan ve Karışım Suyunu Azaltan) Şubat , 1984 (Tadil-1/Şubat 88)
- [13] Prof. POSTACIOĞLU, B., Beton Cilt 1 , İstanbul , 1986.
- [14] T.S. 3456, Betona Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri , Şubat, 1984.
- [15] Prof. Dr. ÖZKUL, H., Her Yönüyle Beton , İstanbul ,1999.
- [16] Doç.Dr. ASLAN, M., BETON (Dökümü, Kalıpları, Kusurları, Dayanıklılığı), Atlas yayın dağıtım, Ağustos, 2001
- [17] YALÇIN, K., Halihazırdaki Betonarme Kolanlarının Yeni Yöntemle Güçlendirilmesi, 1999.

- [18] YAZICI, H., TÜRKEK, S., ÖZDEN, M., SOY, Ö., Karbon Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Beton Elemanlarının Güçlendirilmesinde Kullanımı, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.Fak.İnşaat Mühendisliği Böl.; Buca, İzmir; 2004.
- [19] ÇETİNKAYA, N., KAPLAN, H., MURAT, Ş., Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (FRP)Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi; Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı /Denizli, 2003.
- [20] GENÇOĞLU, M., EREN, İ., T., ATINÇ, Hasarlı Betonarme Kenar Kiriş-Kolon Birleşimleri İçin Farklı Güçlendirme Yöntemlerinin İncelenmesi, İstanbul, 2001.
- [21] www.camelyaf.com.tr, 03. 2008

ÖZGEÇMİŞ

Ömer BAŞTÜRK, 03.12.1982 de Kütahya' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kütahya 'da tamamladı. 2000 yılında Kütahya Teknik Lisesi, Elektrik Bölümünden mezun oldu. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Yapı Öğretmenliği bölümünü kazandı. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi Yapı Öğretmenliği bölümüne yatay geçiş yaptı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Yapı Öğretmenliği bölümünden mezun oldu. 2004 yılında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi programında yüksek lisansa başladı.