

**YANGIN HASARINA UĞRAMIŞ BETONUN
GFRP ve EPOKSİ ENJEKSİYONU ile
ONARIM ve GÜÇLENDİRİLMESİ**

Mehmet Akif KAYGUSUZ

**Y. Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç. Dr. Ramazan DEMİRBOĞA
2008**

Her Hakkı Saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Y. LİSANS TEZİ

YANGIN HASARINA UĞRAMIŞ BETONUN GFRP ve EPOKSİ
ENJEKSİYONU ile ONARIM ve GÜÇLENDİRİLMESİ

Mehmet Akif KAYGUSUZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

ERZURUM
2008

Her Hakkı Saklıdır

Doç. Dr. Ramazan DEMİRBOĞA danışmanlığında, Mehmet Akif KAYGUSUZ tarafından hazırlanan bu çalışma 17/07/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Ramazan DEMİRBOĞA

İmza :



Üye : Doç. Dr. Ensar OĞUZ

İmza :



Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim TÜRKMEN

İmza :



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YANGIN HASARINA UĞRAMIŞ BETONUN GFRP ve EPOKSİ ENJEKSİYONU ile ONARIM ve GÜÇLENDİRİLMESİ

Mehmet Akif KAYGUSUZ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ramazan DEMİRBOĞA

Yapılan bu çalışmanın amacı, yangın hasarı oluşan farklı karışım türlerindeki betonların GFRP ve epoksi enjeksiyonu ile onarım ve güçlendirilmesinin sağlanmasıdır. Beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda, numunelerin ağırlıkça su emme oranı ve basınç dayanımı değerleri tespit edilmiştir.

Giriş bölümünde konuyla ilgili gerekli açıklayıcı bilgiler verildikten sonra, kaynak özetleri bölümünde konu ile ilgili olarak daha önceden yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Devamında materyal ve yöntem bölümüne geçilmiştir. Materyal kısmı; beton üretiminde kullanılan malzemeler ile onarım ve güçlendirme işleminde kullanılan malzemelere ait bilgileri içermektedir. Deneylerde kullanılan aletlerde bu kısımda tanıtılmıştır. Yöntem kısmı ise; agrega deneylerini, karışım oranı hesaplarını, taze beton üzerinde yapılan deneyleri, sertleşmiş beton üzerinde gerçekleştirilen; basınç dayanımı, yangın hasarı, onarım ve güçlendirme uygulamaları ile deney bulgularının irdelenmesinde kullanılan 'Karşılaştırma Metodu'nu içermektedir. Araştırma bulguları ve tartışma bölümünde; yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular sunulmuş, akabinde sonuçlar üzerinde değerlendirmelerde bulunulmuştur. Sonuçlar ve öneriler bölümünde ise, tez çalışmasından elde edilen sonuçlar özlü bir şekilde belirtilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Sonuç olarak; her üç w/c oranı içinde, karışım içerisindeki GPA ve PA miktarı arttıkça ağırlıkça su emme oranları artmış bunun yanında basınç dayanım değerleri azalmıştır. Numunelerin w/c oranı yükseldikçe; su emme oranlarındaki artış ve basınç dayanımındaki azalış, artmaktadır. Bu durum yangın öncesi ve sonrası için geçerlidir. Yangın hasarına uğramış numunelere uygulanan tamir yöntemleri sonucu, beton basınç dayanımlarında iyileşme görülmüştür. GFRP ile onarım sonrasında, yangın hasarı sonrası basınç dayanımlarına göre %348-1403 arasında artış gözlenmiştir. Onarım uygulaması sonrası, yangın hasarı öncesi basınç dayanımlarının %78-122'si oranlarında değerler elde edilmiştir. Böylelikle hasara uğramış numunelerin onarımının yanında güçlendirilmesi de gerçekleştirilmiştir. Yangın hasarına uğramış numunelerde epoksi enjeksiyonu sonrası gerçekleşen iyileşme, onarım öncesine göre %2-123 arasında kalmıştır.

2008, 111 sayfa

Anahtar Kelimeler: Basınç dayanımı, beton, epoksi enjeksiyonu, genleştirilmiş perlit, GFRP, güçlendirme, hasar, onarım, pomza, yangın

ABSTRACT

MS Thesis

REPAIR AND STRENGTHENING OF FIRE DAMAGED CONCRETE WITH GFRP AND EPOXY INJECTION

Mehmet Akif KAYGUSUZ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan DEMİRBOĞA

The aim of this made study is to supply repair and strengthening of fire damaged concrete that produced in different mixture types, with GFRP and epoxy injection. After tests that carried out on concrete specimens, the absorption water ratio and the compressive strength was obtained.

Related knowledge about subject was given in introduction chapter, after that earlier workings summarized in the abstract of literature. After then passed to the material and method chapter. Material part contains information about materials that used to produce concrete and repairing and strengthening. Also testing apparatus introduced in this part. Method part contains; aggregate tests, calculation of mix ratios and fresh concrete tests; fire damage and repair-strengthening and compressive strength of hardened concrete. This part also contains comparison method that used to evaluate the test results. In research evidences and discussion chapter; evidences that obtained from experimental works presented, afterwards assessment made on test results. At conclusions and proposes chapter, the results that obtained from thesis study were indicated clearly and proposed.

As a result; absorption water ratio increased and compressive strength reduced with quantity augmentation of GPA and PA, for all of three w/c ratios. W/C ratio of specimens as long as rises, the increase of absorption water ratio and reduction of compressive strength rose too. This state is valid for both pre fire and post fire. Improvement of compressive strength seen on fire damaged concrete specimens after repairing methods. After repair with GFRP, rise on compressive strength seen between %348-1403 ratios as per post fire. About %78-122 strength ratios gained after this repair method, as per pre fire. So in addition to repair, the strengthening of damaged specimens achieved. The rise of compressive strength ratios remained between %2-123 at fire damaged specimens for pre repair, after epoxy injection.

2008, 111 pages

Keywords: Compressive strength, concrete, epoxy injection, expanded perlite, GFRP, strengthening, damage, repair, pumice, fire

TEŞEKKÜR

T.C. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Mekanięi Laboratuvarında; 106M230 ve 106M014 nolu TÜBİTAK projelerinden yararlanılarak yapılan bu tez çalışmasında, danışmanlığımı yürüten, her zaman ilgi ve desteğini gördüğüm Sayın Doç. Dr. Ramazan DEMİRBOğA'ya, deneysel çalışmalarında kullanılmak üzere malzemeleri temin eden; Cam Elyaf Sanayi A.Ő., Sika Yapı Kimyasalları A.Ő. ve Kóster Yapı Kimyasalları A.Ő.'ye, ayrıca Sayın Arő. Gör. M. Burhan KARAKOÇ'a teşekkür ederim.

Ayrıca bana her türlü desteği veren; baőta őube müdürüm Sayın Hamdi ÇAKICI olmak üzere mesai arkadaşım Sayın Atila KUMBASAROğLU ve DSİ 8. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına, deneysel çalışmalarda benden yardımını esirgemeyen kardeőlerim İbrahim Ethem ve Fahri KAYGUSUZ'a ve aileme teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mehmet Akif KAYGUSUZ

Temmuz 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Onarım ve Güçlendirme	1
1.1.1. Onarım ve güçlendirme ilkeleri	3
1.2. Yapılarda Oluşan Hasarlar ve Nedenleri	5
1.3. Yangın Hasarı	7
1.3.1. Yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkileri	9
1.3.1.a. Yüksek sıcaklığın betonun fiziksel özelliklerine etkileri	10
1.3.1.b. Yüksek sıcaklığın betonun mekanik özelliklerine etkileri	11
1.4. Onarım Yöntemleri	13
1.4.1 Çatlakların onarımı	14
1.4.1.a. Çatlakların onarım yöntemleri	15
1.4.1.b. Epoksi reçineleri ve epoksi enjeksiyonu	19
1.5. FRP İle Onarım ve Güçlendirme	22
1.5.1. Kompozitler	22
1.5.2. Reçineler	24
1.5.3. Fiber takviyeli polimerler (FRP)	25
1.5.3.a. FRP çeşitleri ve genel özellikleri	26
1.5.3.b. Cam fiberler (GFRP)	29
1.5.3.c. FRP'lerin üretim yöntemleri	30
1.5.3.d. FRP ile güçlendirmenin tipik nedenleri	32
1.5.3.e. FRP'nin uygulanması	34
2. KAYNAK ÖZETLERİ	38
3. MATERYAL ve YÖNTEM	45

3.1. Materyal.....	46
3.1.1. Beton numunelerin hazırlanmasında kullanılan malzemeler.....	46
3.1.2. Onarım uygulamasında kullanılan malzemeler.....	52
3.1.3. Deneyleerde kullanılan aletler.....	56
3.2. Yöntem.....	59
3.2.1. Agrega deneylelerinde uygulanan yöntemler.....	59
3.2.2. Beton karışım seçenekleri ve oranlarının belirlenmesi.....	60
3.2.3. Beton üretimi.....	66
3.2.4. Taze beton deneylelerinde uygulanan yöntemler.....	66
3.2.5. Sertleşmiş beton deneylelerinde uygulanan yöntemler.....	67
3.2.6. Onarım ve güçlendirmede uygulanan yöntemler.....	69
3.2.7. Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan yöntem.....	76
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	78
4.1. Agregalar Deneylelerinde Elde Edilen Bulgular ve Tartışma.....	78
4.2. Taze Beton Deneylelerinde Elde Edilen Bulgular ve Tartışma.....	81
4.3. Sertleşmiş Beton Deneylelerinde Elde Edilen Bulgular ve Tartışma.....	82
4.3.1. Su emme oranı tayini deneyi bulguları.....	83
4.3.2. Basınç dayanımı deneyi bulguları.....	94
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	107
KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	112

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A_0	Numunenin Yük Uygulanan Yüzey Alanı
m	İnce Madde Oranı
m_1	Ağırlıkça Su Emme Oranı
P_{ort}	Kırılan Numunenin Ortalama Kırılma Yüğü
w_1	Deney Öncesi Kuru Ağırlığı
w_2	Deney Sonrası Kuru Ağırlığı
σ	Basınç Dayanımı
ε	Şekil Değiştirme
γ_d	Doygun Kuru Yüzey Özgöl Ağırlık
γ_k	Kuru Özgöl Ağırlık
γ_g	Görünen Özgöl Ağırlık

Kısaltmalar

FRP	Fiber Takviyeli Polimer
GFRP	Camelyaf Takviyeli Polimer
GPa	Gigapascal
GPA	Genleştirilmiş Perlit Agregası
HSK	Hava Sürükleyici Katkı
MPa	Megapascal
PA	Pomza Agregası
SAK	Süper Akışkanlaştırıcı Katkı
SD	Silis Dumanı
w/c	Su/Çimento

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Standart sıcaklık-zaman eğrisi.....	8
Şekil 1.2. Çatlakların donatılarla tutturulması.....	16
Şekil 1.3. Çatlakların genişletilerek doldurulması.....	17
Şekil 1.4. Delerek tamirat uygulaması.....	18
Şekil 1.5. Donatı ilavesi ile çatlak tamiri.....	19
Şekil 1.6. Uygulama elemanına yapıştırıcı tatbiki ve yerine yerleştirilmesi.....	21
Şekil 1.7. Çatlakların kapatılması ve epoksinin uygulanması.....	22
Şekil 1.8. Uygulamanın kesit olarak görünümü.....	22
Şekil 1.9. Yaygın elyaf türleri (karbon, aramid ve cam).....	26
Şekil 1.10. FRP'lere ait gerilme - şekil değiştirme grafiği.....	27
Şekil 1.11. Çekerek şekillendirme yöntemi.....	30
Şekil 1.12. Örme yöntemi.....	31
Şekil 1.13. İplik sarma yöntemi.....	32
Şekil 1.14. FRP uygulaması öncesi yapılan hazırlıklar.....	35
Şekil 1.15. FRP uygulaması yapılan bir kolon.....	36
Şekil 1.16. FRP uygulaması yapılan bir giriş.....	36
Şekil 3.1. Beton test presi.....	57
Şekil 3.2. Yangın hasarında kullanılan fırın.....	58
Şekil 3.3. Fırına ait sıcaklık-zaman grafiği.....	58
Şekil 3.4. Çelik kutular içine yerleştirilmiş beton numuneler.....	69
Şekil 3.5. Camelyaf dokumanın kesilerek hazırlanması.....	70
Şekil 3.6. Reçinenin beton yüzeyine tatbiki.....	71
Şekil 3.7. Camelyafın reçineye doyurulması.....	71
Şekil 3.8. GFRP'nin beton yüzeyine sarılması.....	72
Şekil 3.9. GFRP sargılı beton yüzeyine reçine tatbiki.....	72
Şekil 3.10. Epoksi esashlı malzemenin beton yüzeyine tatbiki.....	74
Şekil 3.11. Epoksi enjekte edilen numune detayı.....	74
Şekil 3.12. Numunelerin delinmesi ve kompresör ile temizlenmesi.....	75
Şekil 3.13. Epoksi enjekte edilen numune.....	76

Şekil 4.1. Doğal agreganın düzeltilmiş granülometri eğrisi	78
Şekil 4.2. Numunelere ait çökme değerleri	82
Şekil 4.3. Yangın sonrası beton yüzeyinde oluşan çatlaklar	83
Şekil 4.4. W/C oranı = 0,30 için ağırlıkça su emme oranı	84
Şekil 4.5. W/C oranı = 0,35 için ağırlıkça su emme oranı	85
Şekil 4.6. W/C oranı = 0,40 için ağırlıkça su emme oranı	86
Şekil 4.7. Her üç w/c oranına ait karşılaştırmalı ağırlıkça su emme oranları	88
Şekil 4.8. Numunelerde yangın sonrası ölçülen ağırlık kayıpları	89
Şekil 4.9. Yangın sonrası numunelerin ağırlıkça su emme oranı W/C oranı = 0,30 için	92
Şekil 4.10. Yangın sonrası numunelerin ağırlıkça su emme oranı W/C oranı = 0,35 için	92
Şekil 4.11. Yangın sonrası numunelerin ağırlıkça su emme oranı W/C oranı = 0,40 için	93
Şekil 4.12. Her üç W/C oranına ait karşılaştırmalı yangın sonrası ağırlıkça su emme oranları	93
Şekil 4.13. Yangın öncesine göre su emme oranlarında yaşanan artış oranları	94
Şekil 4.14. Yangın öncesi her üç W/C oranı için basınç dayanımı sonuçları	95
Şekil 4.15. Yangına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları	98
Şekil 4.16. GFRP uygulanmış numunelere ait basınç dayanımı grafiği	101
Şekil 4.17. GFRP uygulanmış numunelerde gerçekleşen sünme kırılması	103
Şekil 4.18. Epoksi enjeksiyonu uygulanmış numunelere ait basınç dayanımı değerleri	104
Şekil 4.19. Ağırlıkça epoksi emme miktarları (%)	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Değişik yapı türleri için izin verilebilen çatlak değerleri.....	15
Çizelge 1.2. FRP'lerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	27
Çizelge 1.3. FRP'leri oluşturan matrislerin özellikleri.....	28
Çizelge 1.4. FRP'lerin ve çeliğin yoğunlukları.....	28
Çizelge 3.1. GPA'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	47
Çizelge 3.2. PA'ya ait fiziksel analiz sonuçları.....	48
Çizelge 3.3. PA'ya ait kimyasal analiz sonuçları.....	48
Çizelge 3.4. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	49
Çizelge 3.5. Çimentonun kimyasal özellikleri.....	49
Çizelge 3.6. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesine ait özellikler.....	50
Çizelge 3.7. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve elek analizi.....	51
Çizelge 3.8. Hava sürükleyici katkı maddesine ait özellikler.....	52
Çizelge 3.9. Enjeksiyon reçinesinin özellikleri.....	53
Çizelge 3.10. Tamirat epoksisinin özellikleri.....	54
Çizelge 3.11. Camelyafın özellikleri.....	55
Çizelge 3.12. Polyester reçinenin özellikleri.....	55
Çizelge 3.13. 1 m ³ hacim için hesaplanan malzeme miktarları (w/c oranı 0,30).....	63
Çizelge 3.14. 1 m ³ hacim için hesaplanan malzeme miktarları (w/c oranı 0,35).....	64
Çizelge 3.15. 1 m ³ hacim için hesaplanan malzeme miktarları (w/c oranı 0,40).....	65
Çizelge 4.1. GPA'nın özellikleri.....	79
Çizelge 4.2. İri agrega için ince madde oranı tayini.....	80
Çizelge 4.3. İnce agrega için ince madde oranı tayini.....	80
Çizelge 4.4. Agregaların özgül ağırlık ve su emme oranı tayini.....	81
Çizelge 4.5. Numunelere ait çökme değerleri.....	81
Çizelge 4.6. Numunelerin yangına maruz kalmadan önceki ağırlıkça su emme oranları.....	87

Çizelge 4.7. Yangın sonrası yaşanan ağırlık kayıpları.....	89
Çizelge 4.8. Yangın sonrası numunelerin ağırlıkça su emme oranları.....	90
Çizelge 4.9. Numunelere ait yangın öncesi basınç dayanımı sonuçları.....	96
Çizelge 4.10. Numunelere ait yangın sonrası basınç dayanımı sonuçları.....	97
Çizelge 4.11. GFRP uygulanmış numunelere ait basınç dayanımı test sonuçları.....	100
Çizelge 4.12. Epoksi enjeksiyonu uygulanmış numunelere ait deney sonuçları.....	106

1. GİRİŞ

Yapı hizmet ömrü boyunca birçok dış etkene maruz kalır. Bu etkenler fiziksel, kimyasal, biyolojik, insan etkenli, vb. olabilir. Betona zarar veren bu etkenlerden biride yangındır. Yangın etkisi yapıda kalıcı hasarlar oluşmasına, yapının hizmet dışı kalmasına ve bunların yanında da en önemlisi, can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Yangın sonrası hasar oluşan betonun onarımı büyük önem arz eder. Bu çalışmada yangın hasarı oluşan betonun onarımı ve güçlendirilmesi incelenmiştir.

Çok geniş bir yelpaze teşkil eden onarım ve güçlendirme yöntemlerinden, epoksi enjeksiyonu yöntemi ve GFRP sargı uygulaması seçilmiştir. Her ne kadar epoksi enjeksiyonunun ülkemizde uygulanan bir yöntem olmasına karşın, onarım için GFRP uygulanması bir ilki teşkil etmektedir. Pek çok sektörde kullanılan GFRP'nin inşaat sektöründe de kullanılabilirliğini gösterecek çalışma bu yüzden önem arz etmektedir. Yapılan deneysel çalışmaların öncelikli hedefi yangın hasarına uğramış betonun onarılması ve akabinde güçlendirilmenin de sağlanmasıdır. GFRP yoluyla güçlendirilmenin sağlanacağı yönündeki kanaat söz konusu malzemenin sahip olduğu yüksek çekme ve basınç dayanımıdır.

Aşağıda; yapılacak olan deneysel çalışmanın temelini oluşturan onarım ve güçlendirme hakkında öncelikli olarak tanımlar verilmiş, akabinde çatlak onarımında uygulanan yöntemlere değinilmiş ve epoksi reçineleri ile epoksi enjeksiyonu hakkında geniş bilgi verilmiştir. Devamında FRP kompozitler ve tez çalışmasında kullanılacak olan GFRP detaylı bir şekilde işlenmiştir. Yapılan anlatımlar ve deneysel çalışmanın aşamaları şekiller ve grafiklerle desteklenmiştir.

1.1. Onarım ve Güçlendirme

Onarım ve güçlendirilmenin net bir şekilde algılanabilmesi için bu iki tanımın açıklanması gerekmektedir.

Onarım; görünüş veya kullanım bakımından hasar görmüş bir yapıda veya onun bir veya birkaç elemanında, önceki haline getirmek için yapılan uygulama ve değişikliktir. Bir önceki haline getirme; onun görünüşü, kullanımını, yük taşıma kapasitesi, rijitliği, sünekliği ve dayanımı bakımlarından olabilir. Onarımda amaç önceki duruma geri getirmektir.

Güçlendirme ise bir yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını önceki veya mevcut durumunun üzerine çıkarmak amacıyla yapılan değişikliktir. Güçlendirmede amaç, dayanım ve benzeri karakteristikleri hasardan önceki veya mevcut düzeyin üzerine çıkarmaktır. Bunun için yapının hasar görmüş olması gerekmez (Keskin 2005).

Yapıda herhangi bir onarım işlemine başlamadan önce, ortaya çıkan hasarın nedeni iyice araştırılmalıdır. Yapılacak onarımın amacı iyi bir şekilde saptanmalıdır. Yapıda yapılacak onarımın amaçları şunlar olabilir;

- a) Yapıyı kullanılabilir bir hale getirmek,
- b) Yapının dayanımını artırmak,
- c) Yapının görünümünü düzeltmek,
- d) Yapısal dayanım sağlamak (Dörttepe 2001).

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

Onarım ve güçlendirme teknik ve ekonomik açıdan zor ve maliyetli bir işdir. Bu sebeplerden dolayı, uygun onarım ve güçlendirme yönteminin seçilmesi çok önem taşımaktadır. Bunun için hedeflenen güvenlik düzeyi, şartnameler, yapının mevcut durumu, hasar derecesi ve tipi, çalışmanın yapılacağı saha, ekipman ve personel, maliyet, işin bitiş tarihi ve mevsim göz önüne alınarak en uygun yöntem seçilmelidir. Bu etkenler işin sürekliliği ve geleceği açısından çok önemlidir.

Onarım iki grup altında sınıflandırılabilir,

- Taşıyıcı yapı onarımı
- Taşıyıcı olmayan onarımı

Taşıyıcı olmayan onarımda asıl amaç görünüm ve kullanımın düzeltilmesidir. Dayanım, süneklik ve rijitlikle ilgisi yoktur. Taşıyıcı olmayan onarım, taşıyıcı sistemi hasar görmemiş yapılar için önemli olmasa da içinde yaşayan insanların huzuru için son derece gereklidir.

Taşıyıcı yapı onarımında ise asıl amaç yapısal davranışı ve dayanımı iyileştirebilmektir (Uzel 1998).

1.1.1. Onarım ve güçlendirme ilkeleri

Onarım ve güçlendirme ilkeleri hasarın nedeni ile bağlantılıdır. Amaç, hasar nedenlerini giderecek önlemlerin belirlenmesi, hasarın ortaya çıkardığı direnç kaybının giderilmesi veya bir daha olmaması için gerekli güçlendirme önlemlerinin belirlenmesidir. Farklı hasar nedenleri, değişik onarım ilkelerinin uygulanmasını gerektirir, fakat hemen her durumda kullanılacak ortak önlemler de vardır.

Onarım ve güçlendirmenin ilk aşaması olan yapıdaki hasarın belirlenebilmesi için çeşitli tip yapılarda ve elemanlarında çeşitli etkilerin yarattığı hasar biçimlerinin bilinmesi gerekir. Hasarın düzeyi, yapının fiziksel olarak onarılıp onarılamayacağı konusunda kararın alınmasında yardımcı olur. Yapının onarım ve güçlendirilmesindeki diğer bir aşama da yapının mevcut o andaki taşıyıcı sistemiyle ne miktarda güvenlik sınırlarında olduğunun bilinmesidir. Hasarlı yapıların onarım ve güçlendirilmesi için yapılacak eklentilerin, yapının diğer elemanlarıyla beraber çalışabilmesi, yük taşıma kapasitesinin ne düzeyde artabileceği, yani, onarım ve güçlendirmenin etkinliği, kullanılacak onarım yönteminin belirlenmesinde etkili olmaktadır (Yılmaz 2006).

Yapıların onarım ve güçlendirilmesine karar verilirken göz önünde tutulması gereken bir nokta da yapının bulunduğu yerdeki olanaklardır. Nitelikli malzeme ve işçiliğin bulunmaması ile istenilen ve beklenen düzeyde onarım ve güçlendirme yapılamaz.

Onarım ve güçlendirme uygulamasının projeyi hazırlayanlarca denetlenip yaptırılması önerilmektedir. Çünkü onarım ve güçlendirme işinde ayrıntılar çok önemli yer tutar. Bu ayrıntıları da en iyi, şüphesiz projeyi yapan ve hazırlayan kişi bilmektedir.

Onarım ve güçlendirme işlerinde alınabilecek başlıca önlemlere aşağıda değinilmiştir.

Yapı ağırlığının azaltılması: Bir yapı elemanı yükünü taşıırken çatlamışsa, o eleman için o yük fazla demektir. Bu durumda, elemana gelen yük azaltılırsa çatlama duracak ve eleman üzerindeki hasar etkisi de ortadan kalkacaktır.

Yapı sünekliğinin artırılması: Rijitliği yüksek elemanın sünekliği azdır. Bundan dolayı onarım ve güçlendirmeyi, bütün elemanların onarım ve güçlendirilmesi şeklinde algılamak hatalı bir yaklaşımdır. Binanın davranış tarzını tahmin edip, bazı elemanların zayıflatılması da onarım ve güçlendirmenin kimi zaman bir parçası olmaktadır.

Yapının taşıma gücünün artırılması: Yapının taşıma gücü ve güvenliği artırılırken öncelikle yapı askıya alınarak düşey yük taşıma kapasitesi, daha sonra da yatay yük taşıma kapasitesi artırılmalıdır. Yapının taşıma gücünün artırılması,

- Mevcut taşıyıcı elemanların en kesitlerinin artırılması,
- Yeni taşıyıcı eleman ilave edilmesi,
- Çelik levha ile sarma gibi yöntemlerle yapılmaktadır.

Yapının dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi: Yapıda hasara sebep olan en önemli etkenlerden biri de, yapı asal titreşim periyodu ile zemin hakim periyodunun birbirine yakın olması neticesinde yapının rezonans durumuna gelmesidir. Zeminin dinamik

özellikleri belirlendikten sonra yapının asal titreşim periyodunu zemin hakim periyodundan uzaklaştırmaya çalışmak da bir çeşit güçlendirme sayılmaktadır.

Yapıda katlar arasında rijitlik değişiminin uyumlu olması, yapı rijitliğinin alt katlara inildikçe kademeli olarak artması gibi özellikler, yapının dinamik özelliklerini iyileştiren önlemlerdendir (Çetinkaya 2002).

1.2. Yapılarda Oluşan Hasarlar ve Nedenleri

Yapılarda mekanik, fiziksel ya da kimyasal etkiler sonucunda çeşitli hasarlar meydana gelir. Bu hasarlar farklı şekillerde gruplandırılabilirler. Şiddetine göre, hafif, orta ve ağır hasarlar, hasar meydana getiren etkenlere göre mekanik ve fizikokimyasal hasarlar, ortaya çıkma hızına göre ani ve uzun sürede oluşan hasarlar gibi (Çelik 2001).

Hasarın saptanmasında ve onarımında izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir;

- Hasarı saptama,
- Sebebi belirleme,
- Güncel durumuna göre yapının dayanımını değerlendirme,
- Onarıma ve onarım türüne karar verme,
- Onarım için bir yöntem seçme ve uygulamaya geçme (Akman 2000)

Zarar verici bu etkilerin tümü yapıyı oluşturan malzemelerin deformasyonu sonucunda gerçekleşir. Malzeme deformasyonu olmadan binanın hasar görmesi çok nadirdir. Bu durum ancak zemin sıvılaşması, binanın batması veya tamamen devrilmesi gibi çok nadir durumlarda görülebilir (Sipahioğlu 2006).

Hasarların türünü en açık şekilde, çatlak ve kırıklar belirler.

Hasarlar meydana geliş şekline göre kesme, eğilme ve basınç hasarları olarak

gruplandırılabilirler. Burkulma ve burulma ise dolaylı olarak kendini kesme, eğilme veya basınç hasarı olarak gösterir.

En tehlikeli hasarlar gevrek kırılmalardır. Bunlar genelde kesme ve basınç kuvvetleri limiti aştığında meydana gelir.

Beton yapılarıdaki hasar incelemeleri, sebep ve sonuç arasındaki ilişkinin kesinlikle ortaya çıkmasını amaçlar. Aynı sebeplerin farklı semptomlara, yol açtığı ve aynı semptomun farklı sebeplerden doğabileceği unutulmamalıdır. Bir diğer husus da pek çok sebebin veya semptomun da bir arada bulunmasının mümkün olmasıdır (Akman 2000).

Yapılarda meydana gelen hasarlar aşağıda belirtildiği gibi ani etkilere veya sürekli etkilere bağlı olabilir.

— Yerbilimsel Etkenler: Deprem, sel, çökmeler, göçükler, yıldırım düşmesi, çığ düşmesi, don olayları, toprak kayması, erozyon, hortum, gel-gitlerin yapıların altını oyması gibi,

— Hava Koşullarına Bağlı Etkenler: Sıcaklık ile soğukluk arasında büyük farkların, genişleme ve büzülmenin sürekli tekrarlanması, nem oranı, ısınım koşulları gibi,

— Fiziksel Etkenler: Çarpma, vurma, aşırı yükleme, patlama, yüksek sıcaklık (yangın) gibi.

— Kimyasal Etkenler: Paslanma, çürüme, oksitlenme, tuzların, bazların ve asitlerin yapı öğelerini bozması gibi,

— Biyolojik Etkenler: Mantarlar, likenler, küfler, kara ve su yosunları, çatlaklara kaçan tohumlar, bitki köklerinin zarar vermesi gibi,

— İnsana Bağlı Etkenler: Yanlış bakım ve koruma önlemleri, kötü kullanma, çevrede yapılan bayındırlık çalışmaları, kazık çakma çalışmaları, hatalı hafriyat çalışmaları gibi,

— Yapının Yerine Bağlı Etkenler: Zemin hareketleri, yapıda farklı temel oturmaları gibi (Keskin 2005).

1.3. Yangın Hasarı

Yanma, yakacakların oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girerek, yakacak içinde depolanmış bulunan enerjinin, ısı enerjisi biçiminde açığa çıktığı kimyasal bir işlemdir.

Yanma, yanıcı maddelerin oksijen ile kimyasal reaksiyon hızına, oksijen miktarına ve yanma bölgesindeki sıcaklığa bağlıdır.

Yüksek sıcaklığa sebep olan yangın ise katı, sıvı ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması olayıdır (Mahsanlar 2006).

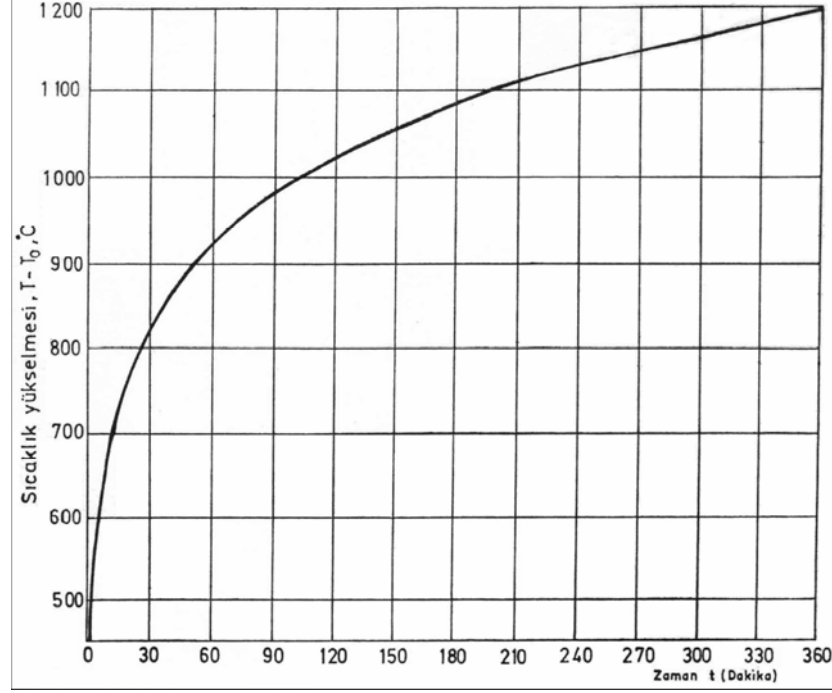
Şekil 1.1.'de verilen standart sıcaklık-zaman eğrisinde, sıcaklığın 10 dakika gibi kısa bir zamanda yaklaşık 600⁰C'ye hızla yükseldiği ve yangın süresince de 1200⁰C'ye ulaşabileceği görülmektedir.

Betonun yüksek sıcaklıklardan etkilenmesi çimento hamuru fazı ve agrega türlerine bağlı olarak gelişir.

Çimento hamuru jel yapıdadır. Jel yapıyı oluşturan CSH (kalsiyum silikat hidrat) katı öğeleri adsorbsiyon suyu vasıtasıyla birbirine bağlanmışlardır. Jel adsorbe suyu ve CSH'ların içindeki hidrat suları kolaylıkla buharlaşmayan türdendir. Buna karşılık nispeten daha geniş olan kılcal boşluklardaki serbest su 100⁰C civarında buharlaşıp uçabilir.

Yangının ilk aşamasında buharlaşan bu su, betonun rötre yapmasına neden olur. Çimento türüne, üretim sırasındaki w/c (su/çimento) oranına bağlı olarak serbest su, beton hacminin %4'üne kadar varan değerler alır. Bu mertebede bir suyun kaybı ile oluşacak büzülme ve beton içinde beliren buhar basıncı, donatı beton örtüsünün

çatlama ve parçalanarak kopmasına yol açarlar. Böylece çelik daha yangının başında sıcakla direkt temas haline geçer.



Şekil 1.1. Standart sıcaklık-zaman eğrisi (TS 1263, 1983)

Çimento hamurunda CSH yanında bulunan diğer önemli bileşen Ca(OH)_2 dir. 300°C 'den itibaren CSH'in kimyasal bağlı suyu ve jel suyu kaybolmaya başlar. Ca(OH)_2 'nin sönmemiş kirece (CaO) dönüşmesi ise 530°C civarında meydana gelir. Bu dönüşüm yaklaşık olarak %33'e varan bir büzülme ile gerçekleşir.

Betonun 300°C 'e kadar yangına dayandığı kabul edilir. Serbest suyun aşırı olmadığı durumlar için bu yargı doğrudur. Ancak 300°C 'lik bir sıcaklık yükselmesinin üç defadan fazla tekrar etmesi durumunda mikro çatlakların arttığı gözlenmiştir. 300°C 'den itibaren CSH kristallerinin parçalanması betonda geri dönüşü olmayan bir hasara yol açmaktadır.

Öte yandan Ca(OH)_2 'nin yapısının bozulması ve hacim büzülmesi ise, hasarı 530°C 'den

sonra büyük boyutlara yükseltmektedir. Yangın sırasında sıkılan su, oluşan CaO'nun tekrar Ca(OH)₂'ye dönüşmesine sebep olur. Bu olay ise %44 mertebesinde bir hacim artışını doğurur. Boşluklu bir yapıya dönüşmüş olan beton Ca(OH)₂'in süzülmesine imkân verir ve yangın sonrası yapılan incelemede gözlenen kireç lekeleri 550⁰C'nin aşıldığını kanıtlar (Akman 2000).

1.3.1. Yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkileri

Beton, yanmayan madde oluşu, belirli bir süre için önemli bir zarar görmemesi ve zehirli duman çıkarmaması ile yangın direnci yüksek bir malzemedir (Neville 2000). Ancak bu dayanıklılık, sınırlı süre ve belirli sıcaklıklar için geçerlidir (Baradan vd 2002).

Yüksek sıcaklığın betona etkisi, betonun maruz kaldığı sıcaklık ve sürenin yanı sıra çimento hamuru fazı ve agrega türüne bağlı olarak da değişir ve bu etki betonun basınç dayanımının belirgin bir şekilde azalması ile sonuçlanır (Riley 1991; Akman 2000).

Beton, farklı termal karakteristiklere sahip bileşenleri, nem ve poroziteden dolayı yüksek sıcaklık karşısında karmaşık bir davranış sergiler (Li *et al.* 2004).

Beton agregalarının yangın sırasındaki etkileri ısınma sürecinde belirmeye başlar. Çimento hamur fazından daha farklı bir termik genişleme katsayısına sahip olan agregalar bu faz içinde kayma gerilmeleri oluştururlar ve betonun çatlayarak sürekliliğini kaybetmesine neden olurlar. Agregaların asıl önemli etkisi mineral yapılarından kaynaklanır. Kumların büyük çoğunluğunu teşkil eden kuvarz, 570⁰C'de polimorfik bir değişime uğrar, alfa kuvarzdan beta kuvarza dönme olayı %15 mertebesinde bir hacim genişlemesi ile vuku bulur. Doğal olarak bu genişleme betonda hasara sebep olur (Akman 2000).

1.3.1.a. Yüksek sıcaklığın betonun fiziksel özelliklerine etkileri

Yüksek sıcaklık, betonun; ısı yayınımına, ısı iletkenliğine, ısıl genişmesine, özgül ısısına, birim ağırlığına ve rengi gibi fiziksel özelliklerine etki etmektedir. Bu fiziksel değişimler sırasında betonun mekanik özelliklerinde de değişiklikler meydana gelir.

a. Isı yayınım katsayısı

Isı yayınım katsayısı, sıcaklık arttıkça azalmaktadır (CEB 1991). Bu azalma özellikle 100°C civarında betonun bünyesinde bulunan suyun buharlaşması nedeniyle daha da belirginleşmektedir.

b. Isı iletim katsayısı

Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonun; gözeneklerinden su kaybettiği, çimentonun dehidratasyonu sonucunda boşluklu bir yapıya dönüştüğü ve bu değişimler sonucunda ısı iletim katsayısının azaldığı bilinmektedir (Aköz ve Yüzer 1994).

c. Genleşme katsayısı

Betonun genleşme katsayısı, üretimde kullanılan agregaların genleşmesine bağlıdır. Çimento hamurunun genleşme katsayısı agregalarınkinden büyüktür. Genleşme katsayısı en düşük olan doğal taş kalkerdir. Sıcaklık arttıkça genleşme katsayısı artmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda termik genleşmelerdeki farklılıklardan dolayı oluşan gerilmeler çimento hamuru ile agrega ara yüzünde çatlamalara neden olur (Postacıoğlu 1987; CEB 1991).

d. Özgül ısı

Betonun özgül ısısı, diğer bir deyişle bir gramının sıcaklığını 1°C arttırmak için gerekli olan ısı enerjisi, sıcaklıkla çok az değişir (Aköz ve Yüzer 1994; Aköz vd 1995).

e. Birim hacim ağırlığı

Sıcaklığın artması ile boşluklardaki suyun buharlaşması sonucu ağırlık azalır, genişleme nedeniyle hacim artar. Isıtma sırasında betondaki ağırlık kaybı genellikle porozitenin artmasıyla sonuçlanır. Yinede birim hacim ağırlıktaki bu azalma ihmal edilebilir düzeydedir (Aköz vd 1995).

d. Renk

Yüksek sıcaklığın etkisinde kalan betonun renginde bazen önemli değişiklikler meydana geldiği, bu değişikliklere bakılarak kalker ve silis esaslı agregalı betonun maruz kaldığı maksimum sıcaklığın tahmin edilebileceği belirtilmiştir. Özellikle silisli nehir agregaları ile üretilen betonlarda renk değişiminin belirgin olarak görüldüğü; örneğin renk pembe veya kırmızı ise sıcaklığın $300\text{--}600^{\circ}\text{C}$ 'ye, gri ise $600\text{--}900^{\circ}\text{C}$ 'ye yükseldiği, yapılan çalışmalarda ifade edilmiştir (Neville 2000; Cioni *et al.* 2001).

1.3.1.b. Yüksek sıcaklığın betonun mekanik özelliklerine etkileri

Beton; yangın, termal şok, endüstriyel uygulamalar vb. durumlarda yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Çoğu durumda yüksek sıcaklık beton elemanlarda ve taşıyıcı duvarlarda önemli hasarlara yol açmaktadır (Cülfik ve Özturan 2001).

Betonarme yapılarda ana taşıyıcının beton olduğunu düşünürsek, betonun yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Yüksek sıcaklığın

betonun basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi özelliklerine etkisi aşağıda açıklanmıştır.

a. Basınç dayanımı

Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun basınç dayanımına, çimento tipi, agrega türü, w/c oranı gibi kullanılan malzeme özellikleri ve sıcaklığa maruz kalınan süre, nem durumu, ısınma ve soğuma hızı, yükleme durumu gibi çevresel faktörler etken olmaktadır (Neville 2000).

Soğutma türünün de yüksek sıcaklığa maruz betonun basınç dayanımına etkisi vardır. Su ile soğutulan numunelerin basınç dayanımlarındaki azalma havada soğutulan numunelere nazaran daha fazladır (Neville 2000).

Shoaib *et al.* (2001) tarafından agrega olarak ayrı ayrı kum ve iki farklı cüruf kullanılarak üretilen farklı w/c oranlarına sahip 7,5x15 cm boyutlu silindir numuneler 600⁰C'ye kadar ısıtılmış ve bu sıcaklıkta iki saat bekletilmiştir. Numunelerde havada soğutulan grupların basınç dayanımındaki azalmanın suda ve fırında soğutulanlardan daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni atmosferik ortama maruz kalan betonda CaO'nun CaCO₃'e dönüşmesiyle ve bunun hacim değişimine ve çatlaklara neden olmasıyla açıklanmıştır.

b. Çekme dayanımı

Silindir numunelerde değişik sıcaklık etkisinde iken ve soğutulduktan sonra yapılan yarma deneyi ile elde edilen çekme dayanımlarında 100⁰C'den itibaren önemli düşüşler olmakta ve 600⁰C'de kayıp %70'e varmaktadır (CEB 1991).

Yüksek sıcaklık etkisinin araştırıldığı silis dumanı katkılı ve katkısız harçlar üzerinde

yapılan diğer bir deneysel çalışmada, harçların eğilme dayanımı 100⁰C'den itibaren bütün gruplarda azalmaya başlamış, suda soğutulanlardaki kayıp, 300⁰C'de yaklaşık %40'a varmıştır (Aköz vd 1995).

c. Elastisite modülü

Yüksek sıcaklıklar elastisite modülü üzerinde etkin olurlar. Hemen hemen bir lineer azalma olur. Bu azalma betondaki mikro çatlakların ve boşluk oranının artmasına ve malzemenin yumuşamasına yol açar (Akman 2000).

Kütle halinde kr edilmiş betonlarda 21⁰C ile 96⁰C'ler arasında elastisite modülünün değerinde herhangi bir değişiklik yoktur. Ancak sıcaklık 121⁰C'ye ulaştığında elastisite modülünün değer azalmaktadır. Su betondan uzaklaştığında, 50⁰C ile 800⁰C'ler arası elastisite modülündeki azalma giderek artmaktadır. Genel olarak dayanımdaki azalma ile elastisite modülündeki azalma benzer eğilim göstermektedir (Neville 2000).

Savva *et al.* (2005) tarafından yapılan deneysel çalışmada farklı tür ve oranda puzolan katkılı silis esaslı ve kalker esaslı agrega ile üretilen betonlarda tüm sıcaklıklarda elastisite modülünde devamlı bir azalma gözlenmiştir. Bu azalma kalker esaslı agrega ile üretilen gruplarda daha fazladır.

1.4. Onarım Yöntemleri

Hasarlı yapıda, her hangi bir tamirat işlemine başlamadan önce, ortaya çıkan hasarın nedeni araştırılmalıdır. Daha sonra tamiratın amacı dşnlmelidir. Bu amaç, genellikle aşağıdakilerden biri olabilir:

- a) Yapının dayanıklılığını sağlamaya yönelik bir tamirat.
- b) Yapısal dayanım sağlamaya yönelik bir tamirat.

- c) Yapısal dayanımı artırmaya yönelik bir tamirat.
- d) Yapının görünümünü düzeltmeye yönelik bir tamirat.
- e) Yapıyı kullanılabilir bir hale getirmeye yönelik tamirat (Alçıçek 2000).

1.4.1 Çatlakların onarımı

Betonda çatlak oluşumu beklenmesi gereken bir olaydır. Beton elemanlar detaylandırılırken oluşabilecek çatlak genişlikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Oluşan çatlaklar şartnamelerde belirtilen değerleri geçmemelidirler. Şartnamelerde belirtilen sınırları geçmeyen çatlaklar sorun yaratmayan küçük çatlaklardır. Çatlaklar aşağıda belirtilen durumlarda sorun haline gelirler;

- Yapının dayanımını etkilediği durumlarda
- Yapının su geçirimsizliğini bozduğu durumlarda
- Yapısal açıdan kabul edilemez olduğu durumlarda
- Yapının görünümünü bozduğu durumlarda

Yapılarda oluşabilecek çatlaklar üç çeşit olarak incelenebilir.

- Aktif olmayan çatlaklar
- Aktif çatlaklar
- Genişleyen çatlaklar (Uzel 1998).

Aktif olmayan çatlaklar, yapım sırasında veya daha sonra rötre, erken yükleme gibi çeşitli nedenlerle ortaya çıkmış ve herhangi bir şekilde ilerlemesini sürdüremeyen çatlaklar olup, bu gibi çatlakların onarımında rijit dolgu malzemeleri kullanılabilir.

Aktif çatlaklar, termal etkileri ya da yapı hareketli yükleri gibi sebeplerden dolayı açılıp kapanabilen çatlaklar olup, bu gibi çatlakların onarımında esnek onarım malzemelerinden yararlanılmaktadır. Genişlemekte olan çatlaklar ise, zeminde devam eden oturmalar, korozyon gibi etkiler nedeniyle, sürekli genişleyen türde çatlaklardır.

Bunların onarımı için yapılacak tek şey, bu hasarı doğuran sebepleri tespit edip, ortadan kaldırmaktır (Mailvaganam 1992).

Islanma ve akabinde kurumaya maruz yapılarda, endüstri ve deniz yapılarında çatlak genişlikleri 0,1 mm'yi aşmamalıdır. Normal iklim şartlarına maruz bölgelerde çatlak genişlikleri 0,2 mm olabilir. Eğer donatılar her hangi bir şekilde korunuyorsa izin verilebilecek maksimum çatlak genişliği 0,3 mm dir. İnce çatlaklar genellikle sorun yaratmazlar (Aksöz 1995).

Çizelge 1.1. Değişik yapı türleri için izin verilebilen çatlak değerleri (Dörttepe 2001)

Yapılar	İzin Verilen Max. Çatlak Genişliği (mm)
Deniz Yapıları	$\leq 0,1$
Endüstri Yapıları	$\leq 0,1$
Diğer Yapılar	$\leq 0,2 - 0,3$

Çatlaklar ancak, durmuş ise onarılabilir. Çatlağın onarımı kendi başına bir olay değildir. Çatlak, etkiyen bir kuvvetin ya da bir dayanım yetersizliğinin ifadesidir. Bundan dolayı çatlak, kendisini doğuran etkinin ortadan kaldırılmasından sonra onarılmalıdır.

Çatlakların onarımında, genişliklerine göre değişik yöntemler kullanılmaktadır. Kılcal çatlaklar, gözle ancak ayırt edilen çatlak ile genişliği 1–2 mm'ye kadar olan çatlaklardır. Bunların örtülmesinin nedeni, zamanla bu çatlaklardan sızan nemin betonarme donatısında paslanmaya yol açabilmesi, çatlak kesitli betonarme elemanların rijitliklerinin azalması ve dolayısı ile yapının dinamik özelliklerinin değişmesini önlemektir (Dörttepe 2001).

1.4.1.a. Çatlakların onarım yöntemleri

Hasarın doğasına bağlı olarak, bir veya daha fazla tamir yöntemi seçilebilir. Örneğin; çekme dayanımı, çatlak boyunca Epoksi enjekte edilerek veya başka bir yüksek

dayanımlı bağlayıcı madde ile sağlanabilir.

Çatlak oluşmuş yapının değerlendirilmesini müteakiben, uygun bir tamir yöntemi seçilebilir. Tamir işleminin kusursuz bir şekilde gerçekleşmesi ve yarar sağlaması çatlamanın sebep veya sebeplerine bağlıdır. Örneğin; çatlak esas olarak kuruma rötresi sonucu oluşmuşsa, muhtemelen bir dönem sonra çatlaklar sabitlenecektir. Diğer yandan, eğer çatlaklar sürekli bir temel oturması sonucu oluşuyorsa, oturma problemi halloluncaya kadar tamirat işlemi bir sonuca varamayacaktır (ACI Committee 1998).

a. Çatlakların donatılarla tutturulması

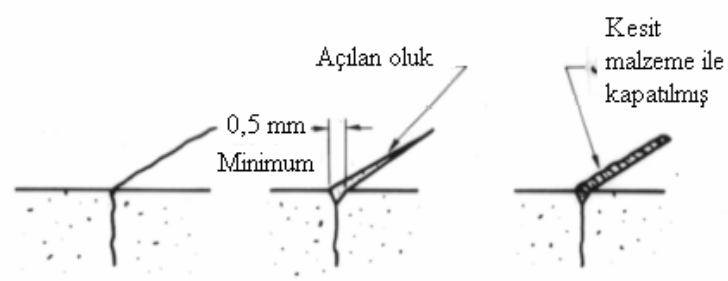
Çatlaklar U şeklindeki donatılarla çatlak boyunca tutturularak sabitleştirilir. Bu yöntem hareketli çatlaklara uygulanan bir yöntemdir. Yapıyı kısmen de olsa rijitleştirdiği için hareketli olmayan çatlaklara uygulandığında yeni çatlaklar oluşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Çatlakların donatılarla tutturulması

b. Çatlakların genişletilerek doldurulması

Yapısal önemi olmayan hareketsiz çatlaklar için çok pratik olan ve uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde çatlaklar 10–12 mm. kadar genişletilir ve uygun tamirat malzemesiyle doldurulur (Şekil 1.3.). Malzemenin seçiminde, malzemenin elastik kalması, sabit kalması veya mimari görünüş gibi kriterler göz önüne alınır. Genellikle epoksi bileşimleri tercih edilir. Poliüretanlar ise elastik kalabilme özelliğine sahiptirler.



Şekil 1.3. Çatlakların genişletilerek doldurulması

c. Çimento şerbeti ile tamirat

Çimento standardı (TS-24) e göre çimento tanelerinin %95'i 200 ile 325 nolu eleklerden geçmelidir. Buna göre çimento taneciklerinin 0,074 mm'den daha büyük olması gerekir. Kılcal çatlaklara çimento şerbeti ancak basınç altında doldurulabilir.

Çimento şerbeti ya da harç yapımında, ilk dayanımı yüksek portland çimentosu ve genişleyen çimento kullanımı, onarımın yapılmasını sağlar. Genleşen çimento çatlakların içine giren harcın ya da şerbetin genişleyip bütün boşlukları doldurulmasını sağlar (Alçıçek 2000).

d. Delerek tamirat

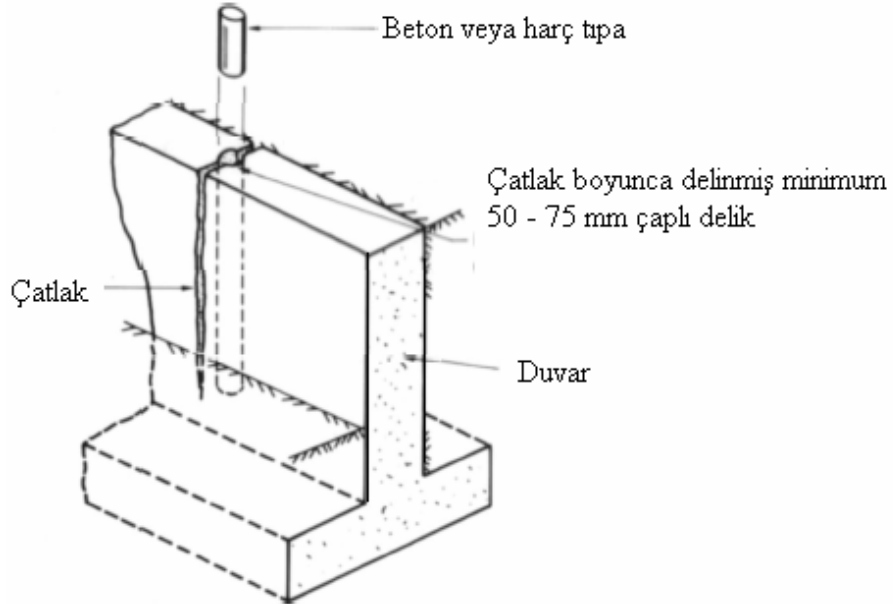
Özellikle düşey doğrultuda düzgün bir şekilde ilerleyen ve bir noktada biten çatlakların

tamiratında kullanılan bir yöntemdir. Perdelerde veya benzer yapılarda büzülme veya sıcaklık değişiminden bu tip çatlaklar oluşabilir.

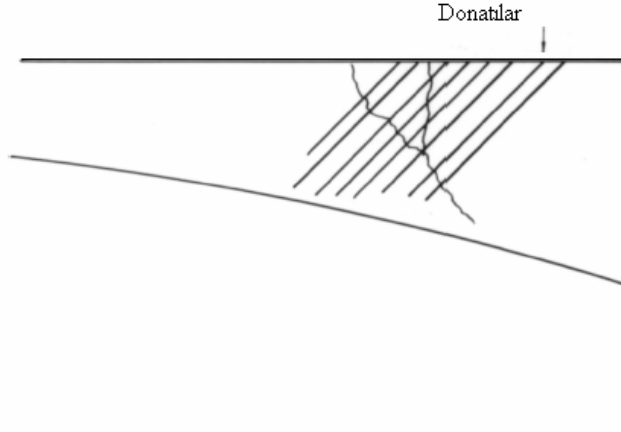
Bu yöntem uygulanırken 50–75 mm. çaplı bir delik delinir ve bu delik yeterince dolgu malzemesiyle doldurularak kapatılır (Şekil 1.4.). Bu yöntemde kullanılan dolgu malzemesi genellikle çimentolu veya polimerli şerbetlerdir (Uzel 1998).

e. Donatı ilavesiyle çatlak tamirâtı

Bu yöntemde çatlak doğrultusuna dik doğrultuda delinen deliklere epoksi enjeksiyonu yapılır. Daha sonrada deliklere donatılar yerleştirilir (Şekil 1.5.). Tamirattan iyi bir sonuç alabilmek için geçici elastik bir dolgu malzemesine ihtiyaç vardır. Silikon esaslı dolgu malzemeleri bunun için uygundur.



Şekil 1.4. Delerek tamirat uygulaması



Şekil 1.5. Donatı ilavesi ile çatlak tamiri

1.4.1.b. Epoksi reçineleri ve epoksi enjeksiyonu

Epoksi reçineleri, yapıştırma özelliği çok iyi olan sentetik reçinelerdendir. Suya, aside ve alkaliye karşı dayanımları çok yüksektir. Zamanla bu özelliklerini yitirmezler.

Epoksi reçinelerinin çekme gerilmeleri 5–10 MPa arasındadır. Kopma birim uzamaları %15 ile %50 arasında değişmektedir. Epoksi reçineleri, çatlaktaki süreksizlik ortamını sürekli duruma getirir. Çatlağın her iki yüzünü çatlak boyunca birbirine bağlar ve gerilme birikimlerini önler. Sentetik reçineler kimyasal moleküler yapışma sağlar. Kimyasal moleküler yapışma yüzeylerin pürüzlülüğü ile artar. Bunun sebebi kuvvet aktarımında daha büyük bir alanın çalışmasıdır. Epoksi reçinelerine katkı maddesi olarak polisülfid eklenmesi, onların daha elastik bir yapıştırıcı haline dönüşmesini sağlar. Bu sayede çekme dayanımları 20 MPa'a kadar çıkabilmektedir. Bu malzemenin dezavantajı ise yüksek ısılara karşı direncinin az olmasıdır (Bayülke 1995).

Epoksi enjeksiyonu binalardaki, köprülerdeki, barajlardaki ve diğer beton yapılarıdaki çatlakların tamiratında mükemmel bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, çatlağı oluşturan sebep ortadan kaldırılana kadar, orijinal çatlağın yakınında tekrar çatlak oluşumu söz konusu olacaktır.

Epoksi enjeksiyonu tatminkâr bir uygulama için yüksek derecede işçilik ister ve işlemin uygulanması ortam sıcaklığından ötürü kısıtlanabilir (ACI Committee 1998).

Genel olarak reçineler 100⁰C nin üzerinde dayanımlarını kaybederler. Bu sebeple kullanımları sınırlı kalabilir veya yangına karşı korunmaları gerekebilir. Viskozitelerin enjekte edilecek çatlak kalınlığına uygun olması zorunludur.

Uygulamaya önce çatlakın basınçlı hava ile veya emerek temizlenmesiyle başlanır. Çatlak epoksi macunu ile kapatılır. İç kısımdaki çatlakları epoksi ile doldurmak gayesi ile çatlak uzunluğuna bağlı olarak araları 0,15–1,00 m olan delikler açılarak basınçlı uygulama için dübeller veya plakalar yerleştirilir. Bu küçük elemanların kenarlarının sızdırmaz bir şekilde kapatılması önemlidir.

Uygulamaya en düşük seviyedeki dübele epoksi enjeksiyonu ile başlanır ve komşu dübellerden çıkması beklenir. Bu durumda ele alınan dübel ucu kapatılarak daha üstteki dübeller geçilir. Bu yöntem genellikle genişliği 0,5–5,0 mm. arasındaki çatlaklar için başarı ile uygulanır. Çatlak genişliğinin küçük olduğu durumlarda (0,1–0,5 mm) epoksi doldurucu bir madde olmadan kullanılır. Daha genişlerde, rötre sünme ve ısı etkilerini azaltmak için ek bir doldurucu malzemenin kullanılması önerilir. Çok geniş çatlaklarda çatlak ince kumla doldurulduktan sonra epoksi enjeksiyonu uygundur.

Her bir enjeksiyon tekniği o sisteme uygun bir reçine gerektirir. Bazı enjeksiyon donanımında reçine ve sertleştirici (hardener) karıştırmanın olduğu baş kısımlara ayrı hortumlardan gönderilir ve orada iki bileşen otomatik olarak doğru oranlarda karıştırılır ve basınç altında çatlakla enjekte edilir.

Epoksi enjeksiyonu esnasında uyulması gereken hususlardan bazılarını şöyle sıralayabiliriz;

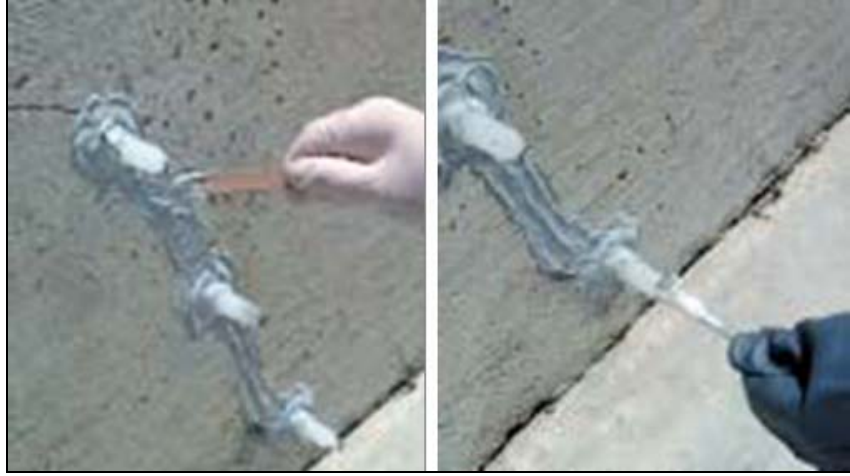
- Bileşenlerin doğru oranlarda karıştırılması elbette ki son derece önemlidir ve üzerinde titizlikle durulmayı gerektirir.
- Çatlak genişliği az (0,1–0,5 mm arasında) olduğu zaman dolgu malzemesiz (fillersiz) bir reçine kullanılır.
- Daha geniş çatlaklar halinde büzülme, sünme ve sıcaklık etkileri nedeni ile filler ilave etmek tavsiye olunur.
- Çatlak genişliğinin 1–1,5 mm den fazla olmadığı durumlarda cam veya kuvars (silis cinsi malzeme) kullanılabilir.
- Fakat bu sınırın ötesinde ve 4–5 mm ye kadar kum kullanılmalıdır. Burada dikkat edilecek bir husus şudur: Tane iriliği çatlağın minimum genişliğinin yarısından fazla olmamalıdır. Ayrıca ne olursa olsun 1 mm yi de geçmemelidir.
- Reçine/filler oranı da 1 civarında alınır.

Reçine enjeksiyonu ile veya reçineye doyurularak onarılan elemanlar sıcaklık değişimlerine, özellikle de yangına karşı önlemlerle korunmalıdır.

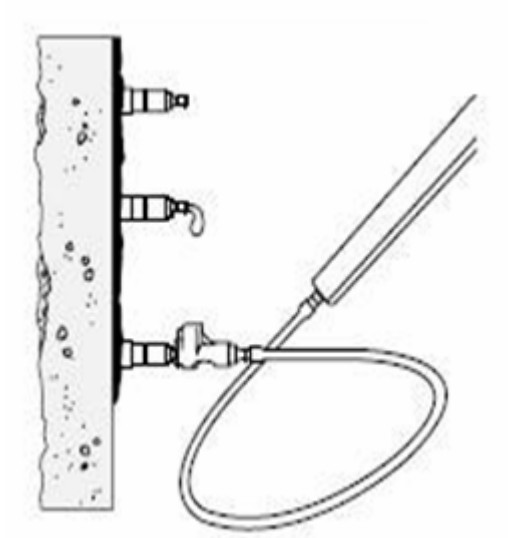
(Alçıçek 2000).



Şekil 1.6. Uygulama elemanına yapıştırıcı tatbiki ve yerine yerleştirilmesi



Şekil 1.7. Çatlakların kapatılması ve epoksinin uygulanması



Şekil 1.8. Uygulamanın kesit olarak görünümü

1.5. FRP İle Onarım ve Güçlendirme

1.5.1. Kompozitler

Kompozitler birbiri ile uyum sağlayacak ara yüzeye sahip iki ya da daha farklı malzemenin fiziksel olarak karıştırılması ile elde edilen ve başlangıçtaki malzemelerden daha iyi özelliklere sahip olan kombinasyonların herhangi biridir.

Kompoziti oluşturan her bir ara yüze “faz” adı verilir. Mesela beton, harç ve agrega fazından, harç da çimento ve kum fazından oluşur. Betonarme ise beton ve çelik fazından oluşur. Kompozitler daima bir ana faz (matris) ve onun içerisine dağılmış fazlardan oluşur.

Kompozit malzemeler; daneli, lifli ve tabakalı olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir.

Daneli kompozitler, irili ufaklı tane parçaların bağlayıcı bir madde ile sarılması sonucu oluşan asfalt benzeri kompozitlerdir.

Lifli kompozitler, fiberler boylarına oranla çapları çok küçük olan malzemelerdir. Bunlar lif ya da çoğul olduğunda elyaf olarak adlandırılır. Malzemenin mekanik dayanımını arttırmak, gevrek kırılmasını önlemek için lifler ve çubuk şeklinde donatılarla asıl malzeme takviye edilerek oluşturulan sistemlere de lifli kompozitler denir.

Tabakalı kompozitler, aynı cins ya da daha başka cinsten parçaların eklenerek istenilen şekil ve boyutlarda yeni parçaların elde edilmesidir. Örneğin; çelik plaka ve ahşap plaka vb. (Çelik 2001; Ersoy 2001).

Kompozit malzemelerin genel avantajları;

1. Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı kombinasyonlarla kompozit malzeme inşa edilebilir,
2. Kompozit malzemeler kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklılık gösterir,
3. Karmaşık parçaların tek olarak üretilebilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlarlar. Böylece ara birleştirme detay ve parçalarının azalmasıyla üretim süresi kısalmaktadır,

4. Yüksek dayanıklılık/yoğunluk oranı,
5. Yüksek elastisite modülü/ağırlık oranı (Enşici 2004).

1.5.2. Reçineler

Reçineler, beton ile FRP malzemeleri birbirine bağlayan kompozit malzemenin oluşmasını sağlayan en önemli öğelerden biridir.

Reçinelerin en önemli özellikleri;

- Fiberleri birbirine bağlar,
- Fiberler arasında üniform olarak yük transferini sağlar,
- Fiberi, çevrenin zararlı etkilerinden ve mekanik hasarlardan korur (Çelik 2001).

Reçineler iki gruba ayrılır;

- Termoplastikler
- Termosetler

Termoplastik reçineler ısıtıldıklarında yumuşarlar ve ısıtılmış yarı sıvı haldeyken şekillendirilebilir veya kalıplanabilirler. Termoset reçineler bunun aksine ilk hallerinde genelde sıvıdır veya düşük ergime noktasında katıdır. Son ürüne yönelik olarak kullanıldığında termoset reçineler bir katalizörün, ısının ya da her ikisinin yardımıyla sertleşme aşamasına geçerler. Sertleşme tamamlandıktan sonra katı termoset reçineler orijinal sıvı hallerine döndürülemezler.

Termoplastik reçinelerin aksine, sertleşme reaksiyonuna giren termosetler ısıtıldıklarında ergimeyecek ve akmayacaklardır. Bir kez şekillendiğinde bir daha, yeniden şekillendirilemezler (Enşici 2004).

En yaygın kullanılan iki türü vardır;

- Doymamış Polyester
- Epoksiler

Doymamış polyester reçineler, kompozit yapı elemanının üretiminde en yaygın kullanılan reçinelerdir. Piyasadaki kompozit ürünlerinin %80-%85'ini oluştururlar.

1.5.3. Fiber takviyeli polimerler (FRP)

FRP (Fiber Reinforced Polymers), Fiber Takviyeli Polimerler manasına gelir. Yukarıda bahsi geçen lifli kompozitler grubuna girer. Her tabaka farklı doğrultuda dizilerek farklı fiziksel ve mekanik özellikler elde edilebilir (Çelik 2001).

Kompozit malzemelerde kullanılan elyafların fiziksel biçimleri, oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Fiberler en yüksek mekanik özelliklerini enlerinden daha çok boylarına gösterirler. Bazı durumlarda malzemenin dayanımı artırmak, tüm yönlerde eşit dayanım elde etmek için elyaflar kumaş olarak dokunurlar.

Cam elyafın günümüzde en çok kullanılan ve geçerli takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbonun fiberi kullanılmaktadır. Karbon fiber, cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif olmasına rağmen üretim maliyeti daha fazladır. Karbon fiberden daha güçlü ve aynı zamanda daha pahalı olan ise bor fiberdir (Sipahioğlu 2006).

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca fiber türleri;

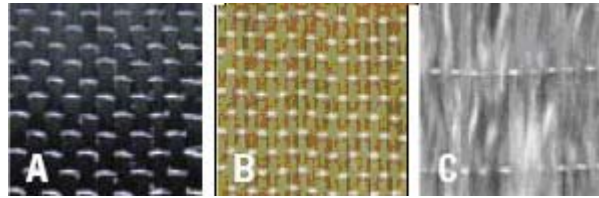
- Cam fiber
- Karbon fiber,
- Aramid fiber,
- Bor fiber

- Oksit fiber
- Yüksek yoğunluklu polietilen fiber
- Poliamid fiber
- Polyester fiber
- Doğal organik fiberler

Bu elyaflar arasında en çok karbon, cam ve aramid fiberler kullanılmaktadır. Yapı alanında da bu durum geçerlidir. Bu üç elyaf türü de güçlü, sert ve sürekli biçimde üretilmektedirler (Ersoy 2001).

Fiber kompozitlerin çalışmasını etkileyen ana faktörler şunlardır;

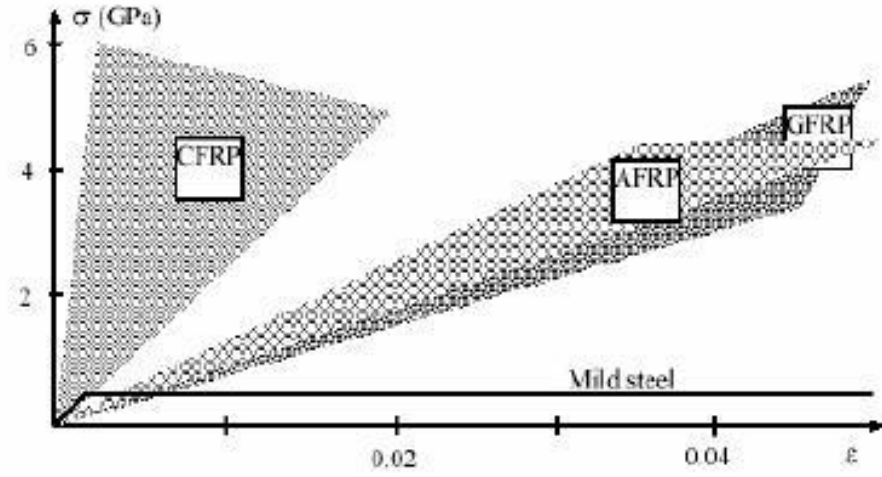
- Fiber Doğrultusu
- Uzunluk
- Fiberlerin mekanik ve fiziksel özellikleri
- Reçinelerin mekanik özellikleri
- Reçineler ve fiber arasındaki aderans ve yapışma kuvveti (Çelik 2001).



Şekil 1.9. Yaygın elyaf türleri (karbon, aramid ve cam)

1.5.3.a. FRP çeşitleri ve genel özellikleri

Daha önceden anlatıldığı gibi yapıda en çok kullanılan FRP çeşitleri; karbon fiber, aramid fiber, glass (cam) fiber adıyla 3 başlık altında toplanabilmektedir. FRP'lere ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 1.10.'da verilmiştir.



Şekil 1.10. FRP'lere ait gerilme - şekil değiştirme grafiği

FRP'lerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1.2.'de, verilmektedir (ACI Committee 2001).

Çizelge 1.2. FRP'lerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiber Tipi	Elastisite Modülü GPa	Sınır Gerilme MPa	Uzama Miktarı (%)
Karbon			
Genel Amaçlı	220–240	2050–3790	1,2
Yüksek Dayanımlı	220–240	3790–4820	1,4
Aşırı Yüksek Dayanımlı	220–240	4820–6200	1,5
Yüksek Modül	340–520	1720–3100	0,5
Aşırı Yüksek Modül	520–690	1380–2400	0,2
Glass			
E-glass	69–72	1860–2680	4,5–5,4
S-glass	86–90	3440–4140	
Aramid			
Genel Amaçlı	69–83	3440–4140	2,5
Yüksek Performans	110–124	3440–4140	1,6

FRP Matrislerinin tipleri ve özellikleri Çizelge 1.3.'de görülmektedir.

Çizelge 1.3. FRP'leri oluşturan matrislerin özellikleri

	Matris Tipleri			
	Polyester	Fenolik	Vinylester	Epoksi
Yoğunluk (kg/m ³)	1200	1200	1150	1100–1400
Çekme Dayanımı (MPa)	50–60	50–40	70–80	50–90
Elastisite Modülü (GPa)	3,0	3,0	3,5	3,0
Kırılmadaki Uzama (%)	2,0–3,0	1,0–2,0	4,0–6,0	2,0–8,0

Çizelge 1.4. FRP'lerin ve çeliğin yoğunlukları (kg/m³)

Çelik	GFRP	CFRP	AFRP
7900	1200 – 2100	1500 – 1600	1200 – 1500

Yapılacak uygulamalara göre kullanılacak liflerin seçiminde çeşitli faktörler rol oynar. Bunlar; yapımı tipi, beklenen yükleme, çevre koşulları olarak özetlenebilir. Kısaca açıklamak gerekirse;

- Cam lifleri çok kullanılan güçlendirme lifleridir. Diğer liflere göre ucuz olmasına karşılık işlenme karakteristikleri de çok iyidir.
- Karbon lifleri yüksek dayanım ve yüksek rijitlik elde edebilmek için en çok kullanılan takviye malzemesidir.
- Aramid lifleri çok sıkı organik sentetik liflerdir.
- Karbon ve aramid lifleri birçok kimyasal etkiye karşı direnç gösterirlerken, cam lifleri alkaliler tarafından çeşitli etkilere maruz kalırlar.
- Cam ve karbon lifleri ultraviyole ışımdan etkilenmezler. Ancak aramid lifleri, ultraviyole ışık altında renk değişimine ve dayanım azalmasına maruz kalırlar.
- Aramid ve cam lifleri iletken değildirler. Karbon lifinin ise iletkenliği söz konusudur. Karbon ve cam liflerinin basınç dayanımı, çekme dayanımlarına çok yakındır. Aramid'in basınç dayanımı ise çekme dayanımından oldukça düşüktür.
- Karbon, aramid ve cam lifleri toksik etkisi olmayan ve kirlilik açısından tehlikeli sayılmayacak malzemelerdir.

1.5.3.b. Cam fiberler (GFRP)

Cam izotropik bir maddedir ve hammaddesi kalsiyum oksit, boron, sodyum, demir ve alüminyum gibi eklentilerle beraber silika (SiO_2) ya dayanır. Cam lifler karbon ve aramid liflerden daha ucuzdur.

Cam liflerin çeşitli türleri vardır. E-glass (elektrik geçirmez), S-glass (çok güçlü) ve AR-glass (alkali geçirmez). Lif çeşidine göre elastisite modülü 70–85 GPa arasında ve en yüksek uzama miktarı da %2–5 arasında değişir. Bunların arasında en çok kullanılanı E-glass cam lifleridir.

E-glass silis, alümin ve kireçten, S-glass ise silis alümin ve magneziden oluşmuştur. Cam lifleri bükülmüş iplik, dokuma, keçe şeklinde satışa sunulur (Keskin 2005).

Cam fiberi halen aramid ve karbon fiberlerinden daha yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptir. Fiber kumaşları genellikle cam elyafının lifleri ile üretilmektedir. İşlemler sırasında değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı özel üretim yöntemleri ile farklı türde cam elyafı üretilmektedir.

Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımının artması için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genellikle fiberin kompozit malzemeye uygulanmasından önce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla çözülebilen polimerler kullanılmaktadır. Fiber ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir.

İyi yapışmaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matris, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için fiber kimyasallarla kaplanır (Sipahioğlu 2006).

Cam elyaflar birçok inşaat mühendisliği uygulamalarında ekonomikliği ve spesifik

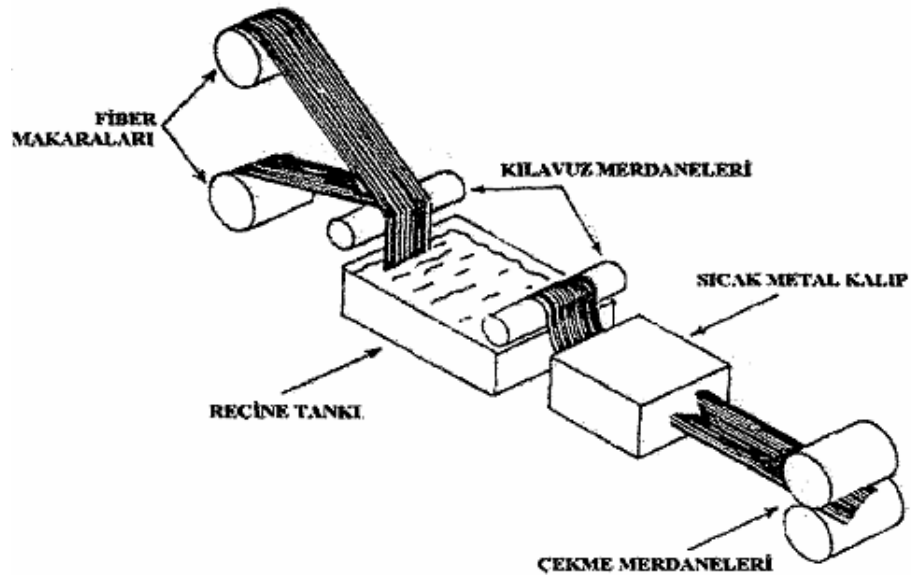
dayanım özellikleri sebebiyle hakim fiber sınıfıdır (Çelik 2001).

1.5.3.c. FRP'lerin üretim yöntemleri

FRP'lerin üretiminde önemli bir aşama liflerin matris malzemesi ile bir araya getirilme operasyonudur. FRP elde etmek için uygulanan yöntemlere aşağıda değinilmiştir.

Çekerek şekillendirme yöntemi

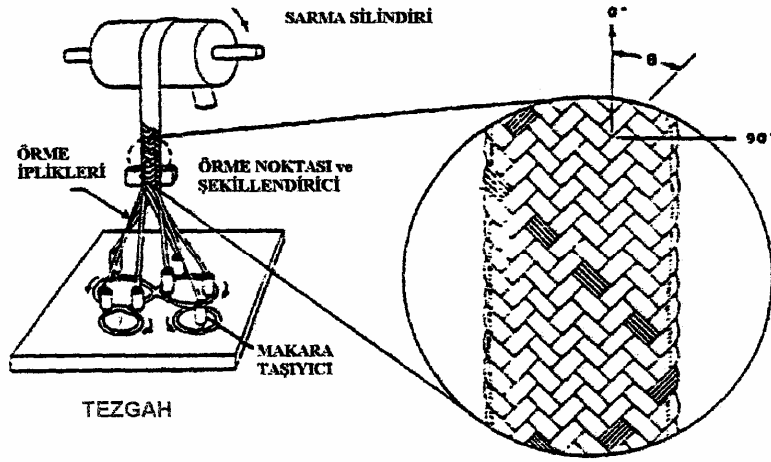
Fiber hasır veya lif tutamları, termoset reçine (sertleştirici ve katkılarıyla beraber) banyosuna sokulur. Daha sonra reçineyi emmiş olan fiberler şekil verme kılavuzlarından geçerek, sıcak metal kalıba girerler. Burada sıcaklık verilerek kür uygulanır. Sertleşerek çıkan parçalar istenilen uzunlukta, keskin makaslar yardımıyla kesilirler.



Şekil 1.11. Çekerek şekillendirme yöntemi

Örme

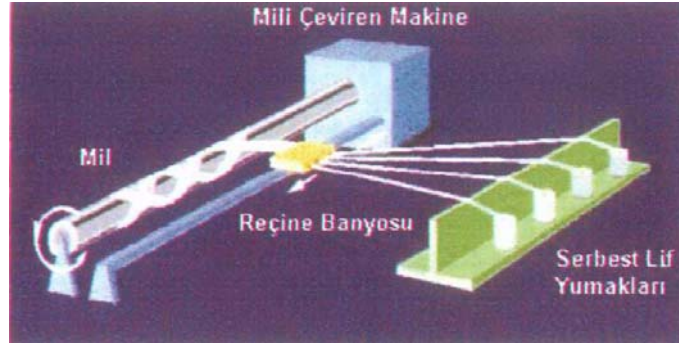
Entegre bir yapı oluşturmak için iki veya daha fazla ipliğin beraber örülmesi yöntemidir. İki veya üç boyutlu örgü mümkündür. Kompleks şekiller için üç boyutlu örgüler kullanılabilir (Çelik 2001).



Şekil 1.12. Örme yöntemi

İplik sarma

İplik sarma yöntemi, emdirilmiş paralel ve sürekli liflerin dönen bir lifin üzerine sardırılmasına dayanır. Reçineyle emdirilmiş lif telleri milin uzunluğu boyunca öne ve arkaya hareket ettirilir. Böylece mili çıkarmadan önce lifle güçlendirilmiş reçinenin kürlenmesi ve kabuk oluşturması engellenir. İplik sarma yöntemiyle kompozit borular, depolama tankları, tüpler üretilir (Keskin 2005).



Şekil 1.13. İplik sarma yöntemi

Wet lay up (Islak Yapıştırma)

Çeşitli açılarda dokunmuş veya örülmüş kuru halde rulolarda sarılı bekleyen fiber kumaşlar uygulanacak yüzeye göre kesilip hazırlanırlar. Bu malzemelerin içerisine yine şantiyede hazırlanmış reçine emprenye edilir (yedirilir). Bu arada uygulama yapılacak yüzeye de yapıştırıcı reçine sürülür. Daha sonra kumaş, ıslak halde uygulama yüzeyine el ve rulo yardımıyla bastırılarak yapıştırılır. Bir saat içerisinde malzeme sertleşir böylece FRP, uygulandığı yerde meydana gelmiş olur.

1.5.3.d. FRP ile güçlendirmenin tipik nedenleri

Sismik ve rüzgâr yükleri

Deprem veya güçlü rüzgâr etkisi altında bir yapının hareketi emebilmesi için yeterince esnek olması gerekir. Yapıya ağırlık eklemek kütleyi ve dolayısıyla yıkılma ihtimalini artırır. Bu da çok ince olan (0,5 mm) ve yapıya ağırlık getirmeyen FRP' yi en ideal çözüm yapar.

Fonksiyon değişimi

Bazen bir yapı tasarlanma amacından farklı kullanılabilir, bu durumda da ilave edilmiş

veya değişmiş yükleri karşılayacak şekilde takviye edilmesi gerekir. Çatıya daha sonradan yerleştirilen çok ağır bir makine buna örnek olarak verilebilir.

İnşaat ve tasarım hataları

Bazen bir iş tamamlandıktan sonra proje yapım hataları ya da betonun istenilen kalitede olmaması nedeniyle güçlendirme gerekmektedir. FRP, eksik olan çeliğin 'yerini tutması' için veya düşük beton gücünü dengelemek için kullanılabilir.

Onarımlar

Bazı yapılar zaman ve çevre faktörlerinden dolayı aşınmaya uğrar ve hasar görür. Bu yapılar özenli bir çalışmayla orijinal hallerine geri döndürülebilirler. FRP kompozitlerinin tuzlu suya %100'e varan dayanımı olduğundan su altında da kullanımda mükemmel sonuç verirler.

Patlama etkisini azaltma

FRP ürünleri, yapıları bomba ve endüstriyel kazalar gibi patlamalardan korumada, yapıların mermilerden zarar görmesini engellemekte mükemmeldir. Bu uygulama farklı fiber ve reçinelerden oluşan özel bir tasarım gerektirir.

Korozyon

FRP ürünleri kimyasal bozulmaya karşı yüksek derecede dirençlidir. Bu özelliklerinden ötürü yapı elemanlarını zararlı kimyasal ve çevresel saldırılardan koruma ve onarmada kullanılabilirler.

1.5.3.e. FRP'nin uygulanması

FRP uygulaması için yüzey hazırlığı

FRP malzemeler için yüzey hazırlığı çok önemlidir. Betonarme yapılarda çelik, betonun içerisinde kaldığı için sıyrılma ve betonla farklı hareket etme eğilimi göstermez. Fakat FRP malzemeler için en korkulan husus malzemenin sıyrılması veya beton paspayı tabakasını da alarak ayrılmasıdır.

Malzeme uygulanmadan önce yapılması gereken işlemler sırasıyla şunlardır:

- 1- Hasar görmüş beton yapılar FRP uygulanmadan önce tamir edilmelidir. Eğer beton paspayı tabakası korozyon sonucu hasar görmüş veya karbonatlaşmaya uğramış ise bu tabaka tamamen kazınıp kaldırılmalıdır.
- 2- Yüzeydeki yapışmayı engelleyici toz, yağ, kir gibi tabakalar kumlama ve yüksek basınçlı su püskürtme yöntemiyle kaldırılmalıdır.
- 3- Köşeler ve keskin kenarlar yuvarlanmalıdır, çünkü bu bölgeler laminasyonun ve sürekliliğin bozulmasına sebep olur. Keskin köşelerde yük aktarımı olmaz. Dış açılar 1–3 cm yarıçaplı bir kavis oluşacak şekilde törpülenir, iç açılar ise epoksi harç ile doldurularak yuvarlatılır.
- 4- Temiz yüzeye fırça veya rulo ile epoksi astar sürülmelidir. Eğer yüzeyde nem varsa ve giderilemiyorsa neme dayanıklı astar kullanılmalıdır. Astar kuruyunca, yüzeydeki hafif girintiler epoksi dolgu malzemesiyle doldurulmalıdır, o da kuruduktan sonra yüzey, ilk reçine katının sürülmesine ve FRP tabakanın kaplanmasına hazırdır.



Şekil 1.14. FRP uygulaması öncesi yapılan hazırlıklar

FRP malzemenin uygulanması

Yapılan proje sonucu ve uygulanacağı yapı elemanının durumuna da bağlı olarak FRP sistemlerin hangisinin, ne şekilde kullanılacağına karar verilir. Bu uygulamaların tümünde değişmeyen reçinelerin karıştırılarak uygulanacak yere veya malzeme yüzeyine sürülmesidir. Reçineler belli ısı derecesine ulaşmadan reaksiyona girmezler. Çok sıcak ortamlarda ise reaksiyonlarını hızlı tamamlayarak kristalleşirler. Beton tam normal hava şartlarında (+20⁰C) dayanımını 28 günde alırken reçineler, 7 günde tamamlarlar. Ortam sıcaklığına göre 30 dakika ile 1 saat arasında kristalleşirler.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, reçine ve sertleştirici karıştırıldıktan sonra kristalleşmeye başlamadan FRP'nin tatbik edilmesidir. Bu uygulamalar esnasında gözlerin ve ellerin korunması için gerekli tedbirler alınmalıdır (Çelik 2001).

Yüzey hazırlığı yapılmış bölgeye polyester sürülürken, bir taraftan da FRP kumaş polyestere doyurulur. Bu işlem sert rulolarla polyester dolu yayvan bir kap içerisinde bastırarak yapılır. Kumaş ve polyesterin kompozit bir malzeme oluşturması ve yekpare hareket etmesi için kumaş içerisinde hiç hava boşluğu kalmamasına özen gösterilir.



Şekil 1.15. FRP uygulaması yapılan bir kolon



Şekil 1.16. FRP uygulaması yapılan bir kiriş

Daha sonra kumaş, yapıştırılacağı bölgeye yerleştirilip tekrar üzerinden ruloyla bastırılır. Polyesteri iyi emmediği hissedilen yerlere ilave polyester sürülür. Tüm işlemler polyester kristalleşme süresi dolmadan tamamlanmalıdır. Bu yüzden kristalleşme süresince ne kadar yere uygulama yapılacaksa sadece oraya yetecek kadar polyester hazırlanmalıdır.

Dikkat edilmesi gereken hususlar

FRP uygulaması sırasında kesinlikle maske gözlük ve plastik eldiven gibi koruyucu donanım ve giysilerin giyilmesi gereklidir. İşin yapıldığı bölge çok iyi bir şekilde havalandırılmalıdır ve hiçbir durumda uygulama çıplak alevle karşılaştırılmamalıdır.

Ortam ısısının düşük olduğu durumlarda astar ve reçinenin her ikisinin de viskozitesi yükselir veya polimerizasyon hızı düşer. FRP uygulaması 5⁰C altında yapılmamalıdır. Ortamda ıslaklık ya da nem olması astar veya reçinenin sertleşmesini olumsuz yönde etkiler. Herhangi bir şekilde nemin ortamdan uzaklaştırılması ve suyun drene edilmesi gereklidir. Yağmur altında veya çığ oluşması durumunda FRP uygulaması yapılması sakıncalıdır. Herhangi bir yüzey bozukluğu ya da keskin köşeler uygulama esnasında FRP'nin yüzeyden ayrılmasına sebep olabilir (Sipahioğlu 2006).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde; GFRP, epoksi enjeksiyonu, su emme oranı ve yangın hasarıyla ilgili daha önceden yapılmış çalışmaların kısaca özetleri verilmiştir.

Mahsanlar (2006), yüksek sıcaklığın ve söndürme türünün betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla CEM I 42,5 R çimentosu, silis esaslı agregalar ve %10 ikameli olarak katılan silis dumanı, uçucu kül, cüruf gibi farklı puzolanlar kullanılarak beton üretimi gerçekleştirilmiş ve üretilen betonlar 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200⁰C gibi farklı sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Soğutma işlemi havada ve suda olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinden sonra suda soğutmanın zararlı etkisi tüm gruplarda havada soğutmaya nazaran daha fazla olmuştur.

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonların birim ağırlıklarında önemli bir değişiklik olmadığı ancak 900⁰C'de birim ağırlıklarda azalma olduğu gözlenmiştir. Hacimce su emme oranları özellikle 600⁰C ve daha yüksek sıcaklıklarda ani artışlar göstermiştir. Sıcaklık arttıkça çekme dayanımı değişimi her grupta farklı gözlenirken suda soğutulan grupların çekme dayanımları genel olarak sıcaklık artışıyla düşmüştür. Betonların mekanik özelliklerindeki değişim, bazı farklılıklar olsa da sıcaklık artışı ile dayanımların azalması şeklinde görülmüştür.

Arıöz (2007), yüksek sıcaklığın; içerisinde portland çimentosu, kireçtaşı kırığı ve dere agregası kullanılan farklı karışım oranlarındaki betonların, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Numuneler 200⁰C ila 1200⁰C arasında yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Daha sonra yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki ağırlık kayıpları ölçülmüş ve akabinde basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Sıcaklık arttıkça numunelerde tedricen artan ağırlık kayıpları gözlenmiş, bu kayıplar 800⁰C'nin üzerinde aşırı derecede artmıştır. Numune ağırlıklarında yaşanan bu düşüş üzerinde w/c oranının ve agrega türünün önemli bir etkisi olmadığı belirtilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ayrıca maruz kalınan sıcaklık arttıkça, betonun sahip olduğu rölatif dayanımında azaldığını göstermiştir. Yüksek sıcaklığın beton dayanımı üzerindeki etkisi dere agregası ile hazırlanan numunelerde daha belirgin olarak gözlenmiştir. Buda dere agregası içerisindeki silika bileşenlere bağlanmıştır. Beton yüzeyinde oluşan çatlaklar; ilk olarak 600⁰C civarında ortaya çıkmaya başlamış, 800⁰C sıcaklıkta dikkat çekecek derecede artış göstermiş ve 1000⁰C’de ise nihai hallerini almıştır. 1200⁰C sıcaklığa maruz kalan numuneler ise tamamen dağılmıştır.

Bir başka çalışmada üzerindeki trafiğin artması sonucu kesme dayanımı istenen seviyede gerçekleşmeyen bir köprünün onarılması irdelenmiştir (Kachlakev and McCurry 2000). Söz konusu çalışmada köprü üzerindeki dört kiriş esas alınarak, 1:1 ölçülerinde laboratuvar ortamında kopyaları üretilmiştir. Numuneler üzerinde; eğilme kapasitesinin artırılması için CFRP, kesme hasarını azaltmak içinde GFRP sargılama işlemi uygulanmıştır.

Yapılan çalışmanın sonucunda FRP ile güçlendirilen kiriş numunelerinin yükleme kapasitelerinde %150 düzeyinde artış gözlenmiştir. Tek başına GFRP’nin uygulandığı kirişlerde GFRP, etriyelerin yokluğunda onların yerini almış ve kirişin ideal şekilde kırılmasını sağlamıştır. Böylelikle kirişte çekme kopmasının meydana gelmesine kadar sehim oranının güvenli bir şekilde %100 artması sağlanmıştır.

Papakonstantinou *et al.* (2001), GFRP uygulamasının betonarme kirişlerin yorulma performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneyler çekme yüzeyi GFRP kaplı ve kaplı olmayan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler kesme hasarına karşı yeterli miktarda enine donatı ile güçlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, aynı tekrarlı yükler altında GFRP kaplama uygulandığında numunelerin yorulma ömürlerinin önemli miktarda genişleyeceği görülmüştür. Yorulma hasarı mekanizması GFRP üzerinde bir etki ortaya çıkarmadığı için, GFRP sargı kirişin dayanımını ve rijitliğini artırarak donatı üzerindeki gerilmeyi de azaltmıştır.

Dolgu duvarların GFRP ile güçlendirilmesinin incelendiği çalışmada kil ve beton tuğladan mamul numuneler, GFRP ile güçlendirilmeden önce ve sonra deneye tabi tutulmuştur (Stratford *et al.* 2004). GFRP kaplama uygulaması numunelerin tek yüzeylerine uygulanmıştır. Numunelere düşey önyüklemeye ve yanal kesme yüklemesinden oluşan birleşik testler uygulanmıştır. Yapılan bu testler sonucunda dolgu duvarların GFRP ile kaplanması sonucu yanal kesme kapasitesinde muazzam bir artış olduğu gözlenmiştir.

Bir üniversite kampüsünün içerisindeki öğrencilerin kullandığı binanın beton kirişlerinde çatlaklar gözlenmiş ve bunların nedenleri araştırılmıştır. Söz konusu çatlakların yapının inşasından sonraki altı aylık süre içerisinde görüldüğü ve son bir ay içerisinde de artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Kirişlerden karotlar alınarak basınç dayanımı testine tabi tutulmuş ve dayanımlarının yapı için tasarlanan (21 MPa) dayanım değerinden düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan öninceleme sonucu onarım için iki alternatif belirmiştir. Bunlardan birincisi epoksi enjeksiyonu, ikincisi ise kiriş kesitlerinin artırılmasıdır. Kiriş kesitlerinin genişletilmesine alternatif olarak ta kirişlerin alt kısımlarına çelik plakaların epoksi ile yapıştırılması önerisi getirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda epoksi enjeksiyonuna karar verilmiş ve hasarlı kirişler enjeksiyon yöntemiyle onarılmıştır. Daha sonra kirişler üzerinde yüklemeye deneyi yapılarak sehim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sehim değerinin (2,0 mm), ACI 318'e göre kabul edilebilir değerlerde kaldığı görülmüştür (Shash 2005).

Antoniades *et al.* (2005), 1:25 ölçekli ve en-boy oranı 1,5 olan duvar numuneleri öncelikli olarak sismik yükler altında hasara uğratmış; akabinde tamir uygulaması olarak öncelikle ağır hasarlı beton parçalarını uzaklaştırmış, daha sonra hasara uğrayan donatılara kısa donatılar kaynatmış ve yeni kuşaklar eklemiştir. Tamir işlemleri bittikten sonra numuneler kesme dayanımı ve düktilitenin yanında eğilme dayanımının da artması için GFRP sargı ve şeritlerle güçlendirilmiştir. Test sonuçları, GFRP ile güçlendirilen numunelerin eğilme ve kesme dayanımının arttığını göstermiştir.

Güçlendirilen duvar numunelerinin akma noktası sonrasındaki rijitliğinin kontrol numunelerine göre %15 dolayında daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Başka bir çalışmada; en-boy oranı yüksek (duvar benzeri) kolonlarda, tek yönlü ve dört yönlü GFRP sargıların davranışı incelenmiştir (Prota *et al.* 2006). Elde edilen test sonuçları, GFRP sargılama uygulamasının dayanımı ve duktiliteyi önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Ayrıca hasar şekillerin değerlendirilmesi sonucunda, GFRP sargılı kolonlarda oluşan hasar şeklinin, kolonun sahip olduğu kesit şekline bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Issa and Debs (2007), hazırladıkları beton küp numuneler üzerinde basınç dayanımı testi gerçekleştirmiştir. Söz konusu on beş numunenin; üçü herhangi bir çatlak hasarına maruz bırakılmadan, altısında var olan çatlaklar epoksi ile doldurularak, geriye kalan çatlak içeren numuneler ise herhangi bir onarıma tabi tutulmadan basınç dayanımı değerleri ölçülmüştür. Beton numunelerdeki çatlakların basınç dayanımında %40,93'lere varan azalmalara sebep olduğu gözlenmiştir. Söz konusu çatlaklara epoksi reçine uygulandığında ise bu azalma %8,23 seviyelerinde kalmaktadır. Yapılan bu deneysel çalışmada beton üzerindeki çatlaklar numune kalıpları vasıtasıyla oluşturulmuştur.

Betonarme çerçeve ile çevrili donatısız dolgu duvarların, sismik ve tekrarlı yükler altında güçlendirilmesinde FRP kullanımının uygunluğunun ve yeterliliğinin araştırıldığı çalışmalarında, (Almusallam and Al-Salloum 2007), GFRP sargı kullanmıştır. Test sonuçları, güçlendirme malzemesi olarak GFRP'nin kullanıldığı dolgu duvarlarda, bir dereceye kadar gelişme gözlemlendiği; deformasyon kapasitesinin arttığı ve dolgu duvarın tek parçaymış gibi hareket ettiği gözlenmiştir. Ayrıca sonuçlar ışığında GFRP'nin dayanımı ve duktiliteyi önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Güçlendirilmemiş kontrol numunelerine göre deformasyon kapasitesi, üç katına çıkmıştır.

Almusallam (2007), normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı betonlar üzerinde çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında beton numuneleri GFRP ile birden fazla kat olacak şekilde kaplamıştır. Söz konusu uygulama yapıldığında, silindir numunelerin aksenal ve yanal dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış uygulanan GFRP sargı katı sayısına ve beton numunelerin ait olduğu basınç dayanımı sınıfına göre değişmektedir. Öyle ki basınç dayanımında yaşanan artış; normal dayanımlı betonda, yüksek dayanımlı betona göre daha yüksek seviyelerde gerçekleşmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında GFRP kaplamanın duktilite üzerindeki etkisi araştırılmış ve GFRP sargı uygulamasının yalnızca dayanımı değil duktiliteyi de önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Duktilite; üç kat GFRP uygulamasında tek kata göre, normal dayanımlı betonda da yüksek dayanımlı betona göre daha yüksek değerlerdedir.

Kumutha *et al.* (2007), aksenal basınca maruz dikdörtgen kolonların GFRP ile güçlendirilmesini incelemiştir. Çalışmanın hedefi olarak; GFRP'nin dikdörtgen kolonların güçlendirilmesindeki etkinliğini, uygulanan GFRP sargı kat sayısının nihai yükleme ve duktilitenin üzerindeki etkisini belirlemek ve kolon kesitinin sahip olduğu en-boy oranının söz konusu özellikler üzerindeki etkisini değerlendirmek şeklinde belirlemiştir. Kesitlerin en-boy oranı olarak üç oran seçilmiştir. Bunlar; $a/b = 1-1,25$ ve $1,66$ 'dır. Söz konusu kolonlara GFRP uygulanırken bir kat ve iki kat uygulanmıştır. Kontrol numunelerine sargılama uygulanmamıştır. Yapılan deneylerin sonucunda; GFRP sargı katsayısı arttıkça; kolonun yük taşıma kapasitesi artmakta, bunun yanında duktilitede iyileşme görülmüştür. Ayrıca kolon kesitinin en-boy oranı arttıkça, söz konusu kolonların yük taşıma kapasitelerinde de azalma görülmüştür.

Akman ve Taşdemir (1979), perlit betonu ile ilgili yaptıkları çalışmalarında, perlit ile üretilen betonların ağırlıkça su emme oranlarının %50'nin üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada çimento dozajı ve kullanılan agregalar göz önünde bulundurulduğunda, perlitin ağırlık olarak su emme oranları üzerinde çok az etki gösterdiği gözlemlenmiştir.

Şahin vd (2003) yaptıkları çalışmada, betonun ağırlıkça su emme oranı, karışımdaki hafif agrega oranının artmasıyla artmıştır. Tamamıyla hafif agrega ile üretilen betonların ağırlıkça su emme oranı %16,7 olarak bulunmuştur.

Uyan vd (2003), akışkanlaştırıcı katkı ve kür koşullarının betonun geçirimsizlik özellikleri üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında; dayanıklı bir beton üretiminde, göz önüne alınan en önemli faktörün betonun geçirimsizliği olduğundan bahsedilmiştir. Çalışmada akışkanlaştırıcı katkıların ve değişik kür koşullarının; betonun su emmesi, kılcal geçirimsizliği ve basınç dayanımına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla 260, 280, 300 ve 340 kg/m³ çimento dozajlı katkısız ve katkılı betonlar havada ve su içinde tutulmuştur. Deneysel çalışma sonunda; havada kür edilmiş betonların su emme ve kılcallık miktarının, suda kür edilenlere göre daha da arttığı belirtilmiştir.

Kadiroğlu (2004), Kayseri bölgesinden temin edilen pomza taşı agregaları kullanılarak kendiliğinden yerleşen Normal Dayanımlı Hafif Betonun üretilebilirliği konusunda, laboratuvar bazında deneysel araştırmalar yapmıştır. Çalışmasında 1400, 1500, 1600 ve 1700 kg/m³ etüv yoğunluklarında hafif, aynı zamanda kendiliğinden yerleşen özelliklere sahip betonlar üretmiştir.

1400–1700 kg/m³ yoğunluğa sahip betonlardan elde edilen su emme oranlarının, yoğunluğun artmasıyla azaldığı görülmüştür. Kyhb (Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton) 1,4'ün ağırlıkça su emme oranı %13,5 olarak tespit edilirken, Kyhb 1,7'de bu oran %8,1 olarak elde edilmiştir. Su emme oranları normal ağırlıklı betonlara göre, beklenildiği gibi, bir hayli yüksek çıkmıştır.

Topçu ve Canbaz (2004), İçinde %5, 10, 15 oranlarında silis dumanı (SD) ile süper akışkanlaştırıcı kullanarak PKÇ/B 32,5/R ve KÇ 32,5 cinsi iki farklı çimento ile betonlar üretmiştir. Üretilen betonlar üzerinde su emme ve donma-çözülme deneyleri yapılarak, su emme oranları, donma-çözülme deneyi sonundaki ağırlık kayıpları hesaplanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; PKÇ/B 32,5R ile üretilen 400 dozajlı betonlara %15 SD katılması durumunda ağırlıkça su emme oranında %2 azalma gözlenmiştir. KÇ 32,5 ile üretilen 350 dozajlı betonlarda %5 SD katılması durumunda ağırlıkça su emme oranı %6, 400 dozajlı betonlarda %10 SD kullanılması durumunda ise ağırlıkça su emme oranı %17 azalmıştır. SD katılması ile beton numunelerinin su emmeleri azalmıştır.

Dursun vd (2005), yaptığı çalışmada Yeniköy cürufunu ve Ergani trasını %2 ile %10 arasında değişen oranlarda Portland çimentosunun yerine kullanarak beton numuneler üretmiş ve söz konusu numuneler üzerinde basınç, çekme dayanımı ve donma-çözölmeye dayanıklılık deneyleri yapmıştır. Ağırlıkça su emme oranlarının tayini sonucunda, karışımdaki puzolan miktarı artışına rağmen su emme oranında önemli bir artış gözlemlenmemiştir. Bunun yanında; su emme miktarının, trasın %8 ve cürufun %6 oranında kullanılması halinde daha az arttığı görülmüştür. Ancak puzolan kullanımının beton içerisindeki kılcal boşlukları doldurarak geçirgenliği azalttığı sonucuna varmıştır.

Sancak ve Şimşek (2006), pomza agregası ile üretilen taşıyıcı hafif beton (HB) ve normal yoğunluklu agrega ile üretilen normal betonların (NB) karşılaştırmalı olarak yüksek ısıya (20⁰C, 100⁰C, 400⁰C, 800⁰C, 1000⁰C) maruz kaldıktan sonraki ağırlık kaybı ve kalan basınç dayanımlarını araştırmıştır. Bu amaçla, Silis Dumanı (SD), mineral katkı olarak %0, %5 ve %10 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Kalan beton grupları, SD'lı karışımlara, çimento ağırlığının %2'si oranında Süper Akışkanlaştırıcı (SA) katkı eklenerek elde edilmiştir. NB'larda, SA'nın tek başına ve SD ile birlikte kullanımı, su emme oranlarını azaltmıştır. Bunların içinde, en düşük su emme oranı %2,84 olarak; %10 SD - %2 SA'lı NB'larda görülmüştür. HB'larda ise; en yüksek su emme oranı değeri, %10 SD'lı HB'larda rastlanmıştır.

HB'larda SD'nın, birim ağırlığı ve yoğunluğu azaltırken, su emme oranında bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. SA katkı kullanıldığında ise betonda su emme oranında bir azalma ve yoğunlukta SD'lı betonlara göre artış söz konusudur. Buna neden olarak ise SA katkının betonun sıkışmasında olumlu etkisinin olması gösterilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal kısmında çalışmanın amacı doğrultusunda öncelikli olarak beton numunelerin üretilmesinde kullanılan; doğal agrega, GPA (Genleştirilmiş Perlit Agregası), PA (Pomza Agregası), HSK (Hava Sürükleyici Katkı), çimento, SD (Silis Dumanı), karma suyu, SAK (Süper Akışkanlaştırıcı Katkı) maddesi ve kullanılan diğer malzemeler anlatılmış. Devamında onarım uygulamasında kullanılan; epoksi reçineleri, cam elyaf, polyester ve diğer malzemeler hakkında bilgiler verilecektir. Ayrıca deneysel çalışmalarda kullanılan aletler hakkında bilgilerde bu kısımda bulunacaktır.

Yöntem kısmı ise; agrega özelliklerini belirlemek için kullanılan yöntemler, söz konusu agregalar ile üretilen betonların karışım hesaplarının belirlenmesi, taze betonun üretimi ve sertleşmiş betonun üzerinde yapılacak uygulamaları kapsamaktadır.

Agrega deneyleri, beton üretimi, taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneyler Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik laboratuvarında yapılmıştır.

Gerek agrega deneylerinde gerekse beton deneylerinde TSE (Türk Standartları Enstitüsü) standartları dikkate alınmıştır.

Betonun, yüksek sıcaklık karşısındaki davranışını irdelemek ve onarım uygulamaları sonrası davranışını karşılaştırmak amacıyla; 0,30, 0,35 ve 0,40 w/c oranına sahip, karışımdaki ince agreganın yerine hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranlarında GPA ve PA kullanılacaktır. Ayrıca karışıma beton hacminin %0,1'i kadar HSK katılacaktır. Numuneler 9 ay boyunca havada kür edilmiştir. Onarımdan önce ve sonraki Basınç dayanımlarının tayini ve su emme oranının belirlenmesi için her gruptan 10x20 cm'lik silindirik numunelerden üçer adet üretilmişlerdir. Üretilen numune sayısı, 24 gruptan oluşan ve 4 uygulama için toplam 288 adettir.

3.1. Materyal

3.1.1. Beton numunelerin hazırlanmasında kullanılan malzemeler

Agrega

Betonu oluşturan agregaların tane dağılımı en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak TS 802 (1985)'de belirtildiği gibi gösterilen ideal bölgeye düşecek şekilde seçilmiştir. Bu açıdan araştırma da agregalar ayarlanmış granülometri eğrisine uygun olarak kullanıldığından agregalar 2, 4, 8 ve 16 mm'lik eleklerden elenmiştir. Eleklerden elenerek elde edilen agregalar kum için 0–2 ve 2–4, iri dere agregası için 4–8 ve kırmataş için ise 8-16'lık tane sınıfları halinde kullanılmak üzere muhafaza edilmiştir.

Numunelerin üretiminde kullanılan dere agregası Erzurum ili sınırları içerisinde temin edilen doğal, kırılmamış agregadır. Kırılmamış, doğal agrega dere malzemesi olup kullanımdan önce yıkanmış halde temin edilmiştir.

Çalışmada 8–16 tane sınıfı için dere agregası yerine Erzurum-Erzincan il sınırındaki Karayolları tesislerinden temin edilen bazalt türü kırma taş su ile yıkanarak temizlenmiş ve karışımlarda kullanılmıştır. Bu agregalardan alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerle ortaya çıkan malzeme özellikleri Araştırma Bulguları bölümünde verilmiştir.

Genleştirilmiş perlit agregası

Perlit; ağırlığının %2-6'sı kadar su ihtiva eden ve ortak merkezli tabakalardan oluşan yapısı ile doğal olarak meydana gelmiş silisli volkanik bir camdır.

Perlit, genellikle 870⁰C ile 1150⁰C'lik ani sıcaklıklara maruz bırakılır. Böylece perlit, içerdiği suyun buharlaştırılmasıyla hacimce 30 kata kadar genleştirildikten sonra

kullanılmaktadır.

Genleştirilmiş perlit agregası, İzmir Cuma Ovası Etibank Perlit Genleştirme Tesislerinden sağlanmıştır. Genleştirilmiş perlit agregası karışımlarda 0–2 tane sınıfı ince agrega yerine, toplam agrega hacminin %10, %20 ve %30 oranlarına karşılık gelecek şekilde kullanılmıştır. Genleştirilmiş perlit agregasının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. GPA'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellikleri		Kimyasal Özellikleri	
		Bileşen	(%)
Yoğunluk (kg/m ³)	32–200	SiO ₂	71 – 75
Renk	Beyaz	Al ₂ O ₃	12 – 16
Ergime Noktası (°C)	1300	Na ₂ O	2,9 – 4,0
Isı İletkenliği (W/mK)	0,034–0,045	CaO	0,2 – 0,5

Pomza agregası

Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş, dış etkenlere karşı dayanıklı, camsı volkanik bir kayadır. Gözenekler arasındaki boşluklar genellikle bağlantısız olduğundan, bu agreganın permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Boşluk miktarı oldukça yüksektir (%75).

Günümüzde en çok bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomzadır ve bu pomza beyaz kirli görünümde ve grimsi beyaz renktedir. İnşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilen asidik pomzalarda silis oranı daha yüksektir. Bazik karakterli pomzalar ise alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenlerinin daha yüksek oranda bulunması nedeniyle diğer endüstriyel alanlarda kullanılabilir.

Deneylerde kullanılan pomza agregası Van-Erçiş mevkiinden alınmıştır. Karışımlarda 0–2 tane sınıfı ince agrega yerine, toplam agrega hacminin %10, %20 ve %30'u

oranlarında kullanılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. PA'ya ait fiziksel analiz sonuçları

Özgül ağırlık	Kuru özgül ağırlık	0,74
	Doygun Kuru Yüzey ağırlık	1,08
	Görünen özgül ağırlık	1,13
Su emme %		46
Klorür muhtevası %		0,0037
Asitte çözünebilen sülfat %		0,182
Toplam kükürt muhtevası %		0,033
Magnezyum sülfat %		1,41

Çizelge 3.3. PA'ya ait kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal bileşen	Yüzde miktarı (%)
SiO ₂	69,78
Al ₂ O ₃	11,16
F ₂ O ₃	2,11
CaO	2,47
MgO	0,6
SO ₃	0,06
Kızdırma kay.	4,66
Na ₂ O	4,33
K ₂ O	2,87
Cl	0,0496
Toplam	98,04
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,35
Özgül yüzey (cm ² /g)	6010
45 Mikron elek kalıntısı (%)	10,20

Çimento

Bu çalışmada, Aşkale Çimento Fabrikasının 2007 yılında üretmiş olduğu portland çimentosu (PÇ 42,5) kullanılmıştır. Bu çimentonun yine aynı fabrikada yaptırılan

fiziksel, mekanik ve kimyasal analizlerinin sonuçları Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 4. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Özgül Kütle (g/mL)		3,13
Litre kütlesi (g/L)		1110
Priz Başlangıcı (saat)		2,10
Priz Sonu (saat)		3,15
Hacim Genleşmesi (mm)		3
Basınç dayanımı (MPa)	2 gün	23,5
	7 gün	35,3
	28 gün	47,0
Eğilme dayanımı(MPa)	2 gün	5,0
	7 gün	6,2
	28 gün	7,7

Çizelge 3. 5. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşen	Oran (%)
SiO ₂	19,94
Al ₂ O ₃	5,28
Fe ₂ O ₃	3,45
CaO	62,62
MgO	2,62
SO ₃	2,46
Kızdırma Kaybı	1,99
Na ₂ O	0,23
K ₂ O	0,83
Cl	0,0107
Tayin Edilemeyen	0,08
Toplam	100
Serbest CaO	0,51
Çözünmeyen Kalıntı	0,70
Fe ₂ O ₃	3,45

Karma Suyu

Beton üretiminde kullanılacak suyun temiz olması ve betona olumsuz bir etki yapmaması gerekmektedir. Çalışmada karma suyu olarak Atatürk Üniversitesi içme suyu kullanılmıştır.

Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi

Akışkanlaştırıcı katkı maddesi olarak Sika firmasının ürettiği Sikament FFN adlı ürün kullanılmıştır. Bu ürün betonun karma suyunu yüksek oranda azaltarak erken ve son dayanımını artıran veya aynı miktarda su ile betona yüksek oranda akışkanlık özelliği kazandıran süper akışkanlaştırıcı katkı maddesidir. Su azaltıcı özelliği olarak katkısız betona göre 1 günlük dayanımı %40, 28 günlük dayanımı ise %15 artırmaktadır. Karışıma çimento ağırlığının %2'si kadar katılmıştır. Dona ve geçirimsizliğe karşı etkilidir. Karışımında kullanılan suyun dozaja bağlı olarak %20'nin üzerinde azaltır. Süper akışkanlaştırıcı katkının bazı özellikleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3. 6. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesine ait özellikler

Adı	Sikament FFN
Tipi	Melamin sülfonat polimeri esaslı sıvı
Renk	Kahverengi, homojen ve sıvı
Yoğunluk (kg/m ³)	1220±20

Silis dumanı

SD; silisyum ve silisyum alaşımlarının elektrik ark fırınlarından, üretim sırasında açığa çıkan dumanın bacalarda filtre edilerek tutulan, çimentodan 30–100 kat daha ince, yaklaşık %90 oranında amorf silis içeren endüstriyel bir atıktır. Silis dumanı (SD), çok ince cam gibi parçacıklardan ibaret olup 20,000 m²/kg yüzey alanına sahiptir.

SD, beton dayanımı ve agrega-çimento aderansını önemli ölçüde arttırmakla birlikte, çözücü tuzları içeren kimyasal maddelere ve sülfata karşı da dayanıklılığı arttırmıştır. Segregasyon, terleme, hidratasyon ısı, geçirimsizlik, alkali agrega reaksiyonlarını azalttığı belirtilmiştir (Demirboğa 1999).

Beton içindeki boşlukları doldurduğundan SD, yüksek dayanım ve düşük permeabilite sağlamaktadır. Permeabilitenin düşmesi, betonun suya doygunluğunu azaltacağından, donmaya karşı iyi bir dayanım sağlayacaktır.

Antalya Elektrometalürji İşletmesinde Silico Ferrokrom üretimi esnasında baca gazları ile beraber ortamı terk eden tozlar elektro filtrede toplanmaktadır. Tozların toplanmasının ilk amacı çevre kirliliğini önlemek içindir. Bu çalışmada söz konusu tesisten sağlanan SD kullanılmıştır. SD'nin kimyasal bileşimi Çizelge 3.7.'de verilmiştir. Karışımlarda çimento ağırlığının %7 si kadar kullanılmıştır.

Çizelge 3.7. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve elek analizi

Kimyasal Bileşim		Elek Analizi	
Madde	Miktar (%)	mm	Kalan (%)
Cr ₂ O ₃		+0,250	0,3 – 1
SiO ₂	85–95	+0,125	0,8 – 2,5
Fe ₂ O ₃	0,5–1,0	+0,074	0,5 – 2,5
Al ₂ O ₃	1,0–3,0	+0,044	1,0 – 7,5
MgO	1,0–2,0	+0,038	3,0 – 7,0
CaO	0,8–1,2	-0,038	92 – 80
C	0,5–1,0		
S	0,1–0,3		
Kızdırma Kaybı	0,5–1,0		

Hava sürükleyici katkı

Hava sürükleyici katkı olarak; Sika firmasının ürettiği Sika Aer adlı; kullanıma hazır

ASTM C 260 standardına ve TS EN 934–2 özelliklerine uygun katkı karışımına %0,1 oranında kullanılmıştır.

Çizelge 3.8. Hava sürükleyici katkı maddesine ait özellikler

Adı	Sika AER
Kimyasal Yapı	Özel yüzey aktif maddelerden oluşan sıvı
Renk	Renksiz, şeffaf, homojen sıvı
Yoğunluk (kg/m ³)	1010±10
pH değeri	3–7

Katkı maddesinin özellikleri; donma-çözülme direncini artırır, buz çözücü tuzların etkilerine karşı direnci artırır, işlenebilmeyi iyileştirir, durabilite de artış sağlar ve işlenebilme kaybı olmaksızın su miktarında azalma sağlar. Daha çok donma-çözülmeye maruz beton yollar, havaalanları, pist ve taksi yollarındaki betonlarda kullanılır. Hava sürükleyici katkının bazı özellikleri çizelge 3.8’de verilmiştir.

3.1.2. Onarım uygulamasında kullanılan malzemeler

Epoksi reçineleri

Enjeksiyon uygulamasında; enjeksiyon ve çatlakların kapanması için olmak üzere, iki tür epoksi reçine kullanılmıştır. Bunlardan enjeksiyon için olanı, Sika firmasının ürettiği Sikadur-52 adlı enjeksiyon reçinesidir. Söz konusu ürün iki bileşenlidir. Bu bileşenler A ve B bileşenleri olarak adlandırılmış ve özellikleri şu şekilde bildirilmiştir.

- Solventsizdir
- Kuru ve rutubetli ortamlarda uygulanabilir
- Düşük sıcaklıklarda kullanılabilir
- Rötresiz kür alır

- Yüksek mekanik ve yapışma dayanımlarına sahiptir
- Serttir ama kırılğan değildir
- Düşük viskozitelidir
- Tek bileşenli pompalarla enjekte edilebilir.

Enjeksiyon reçinesinin fiziksel ve diğer özellikleri Çizelge 3.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Enjeksiyon reçinesinin özellikleri

Kimyasal Yapı	Modifiye edilmiş solventsiz iki bileşenli epoksi reçine.
Yoğunluk	A+B bileşenleri karışımı (2 : 1): 1085 kg/m ³ (+20 ⁰ C'de)
Viskozite	450 cp (+20 ⁰ C'de)
Basınç Dayanımı	53 MPa (10 gün sonunda +20 ⁰ C)
Çekme Dayanımı	25 MPa (10 gün sonunda +20 ⁰ C)
Yapışma Dayanımı	Betona: > 4 MPa (beton kırılması) (+23 ⁰ C'de 7 gün sonunda) Çeliğe: ~10 MPa (DIN 53232)

Enjeksiyon uygulamasında, uygulama öncesi çatlakların kapatılması için yine aynı firmanın Sikadur-31 adlı ürünü kullanılmıştır. Söz konusu malzemenin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Karıştırması ve uygulaması kolaydır.
- Kuru ve rutubetli beton yüzeylerde kullanılabilir
- Pek çok yapı malzemesine çok iyi aderansa sahiptir
- Yüksek dayanımlı bir yapıştırıcıdır
- Tiksotropiktir: düşey ve baş üstü uygulamalarda sarkma yapmaz
- Solventsizdir
- Büzülme yapmadan sertleşir
- Farklı renkli bileşenlere sahiptir (karışım kontrolü için)
- Astar kullanımı gerekmez
- Yüksek ilk ve son dayanımlara sahiptir
- İyi aşınma dayanımı

- Sıvıları ve su buharını geçirmez
- İyi kimyasal dayanıma sahiptir.

Adı geçen malzemenin özellikleri Çizelge 3.10.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Tamirat epoksisinin özellikleri

Kimyasal Yapı	Epoksi reçine			
Yoğunluk	1900 + 100 kg/m ³ (A+B bileşenleri) (+23 ⁰ C'de)			
Akma Dayanımı	Düşey yüzeylerde uygulamada 15mm kalınlığa kadar sarkma yapmaz.			
Basınç Dayanımı	Kür Süresi	+10 ⁰ C	+23 ⁰ C	+30 ⁰ C
	1 gün	25–35 MPa	45–55 MPa	50–60 MPa
	3 gün	40–50 MPa	55–65 MPa	60–70 MPa
	7 gün	50–60 MPa	60–70 MPa	60–70 MPa
Eğilme Dayanımı	Kür Süresi	+10 ⁰ C	+23 ⁰ C	+30 ⁰ C
	1 gün	11–17 MPa	20–30 MPa	20–30 MPa
	3 gün	20–30 MPa	25–35 MPa	25–35 MPa
	7 gün	25–35 MPa	30–40 MPa	3–40 MPa
Çekme Dayanımı	Kür Süresi	+10 ⁰ C	+23 ⁰ C	+30 ⁰ C
	1 gün	2–6 MPa	6–10 MPa	9–15 MPa
	3 gün	9–15 MPa	17–23 MPa	17–23 MPa
	7 gün	14–20 MPa	18–24 MPa	19–25 MPa
Yapışma Dayanımı	Kür Süresi	Sıcaklık	Yüzey	Yapışma Dayanımı
	1 gün	+10 ⁰ C	Kuru beton	> 4 MPa
	1 gün	+10 ⁰ C	Rutubetli beton	> 4 MPa
	1 gün	+10 ⁰ C	Çelik	6–10 MPa
	3 gün	+10 ⁰ C	Çelik	10–14 MPa
	3 gün	+23 ⁰ C	Çelik	11–15 MPa
	3 gün	+30 ⁰ C	Çelik	13–17 MPa
E-Modülü	Çekme: ~ 5,000 MPa (14 gün, +23 ⁰ C'de) (ISO 527) Basınç: ~ 4,600 MPa (14 gün, +23 ⁰ C'de)			
Kopma Uzaması	0,4 + 0,1% (7 gün, +23 ⁰ C'de)			

Cam elyaf

Onarım işleminde Cam elyaf Sanayi A.Ş. tarafından üretilmiş, Cam Elyaf Dokuma ürünü kullanılmıştır. Ürün E-glass elyafından tek uçlu fitillerin dokunması ile elde

edilmektedir. Söz konusu malzeme; kalıba kolay yatma, çabuk ıslanma, düşük polyester tüketimi ve sahip olduğu yüksek mekanik özellikler nedeniyle tercih edilmiştir. Kullanılan ürüne ait özellikler Çizelge 3.11.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. Cam elyafın özellikleri

Birim Alan Ağırlığı (gr/m ²)	300
Çekme Dayanımı (MPa)	3000–5000
Elastisite Modülü (GPa)	72–82

Polyester reçine

Cam elyafı beton yüzeyine uygulamak için seçilen Polyester Reçine ise Cam Elyaf Sanayi A.Ş.'nin CE 266 N12 kodlu ürünüdür. Adı geçen reçine asidik ortamlara dayanıklıdır ve yüksek mekanik dayanım değerleri sağlar. Polyester Reçinenin sertleştikten sonra kazandığı dayanım özellikleri Çizelge 3.12.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Polyester reçinenin özellikleri

Eğilme Dayanımı (MPa)	min. 100
Çekme Dayanımı (MPa)	min. 55

Deneylerde kullanılan diğer malzemeler

GFRP uygulamasında kullanılan Polyester reçinenin polimerizasyonu için; sertleştirici olarak %6'lık kobalt Naftanat ve hızlandırıcı olarak %50 aktif Metil Etil Keton Peroksit kullanılmıştır. Basınç Dayanımı deneyine tabi tutulacak numunelerin başlıklanması içinde %99 saflıkta kükürt ve kalıpların iç yüzeyine de düşük viskoziteli hidrolik yağ kullanılmıştır.

3.1.3. Deneylerde kullanılan aletler

Elekler

Deneylerde; TS 1227-ISO 3310–1 (1996)'ye uygun toplama kabı ile TS 1226-ISO 3310–2 (1996) ye uygun 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

Betonyer

Beton numunelerin hazırlanmasında Fore firmasının ürettiği 56 litre kapasiteli, tekerlekli ve boşaltma mekanizmalı laboratuvar tipi betonyer kullanılmıştır.

Kalıplar

Beton numunelerin kalıplanması esnasında, 10 cm çapa ve 20 cm yüksekliğe sahip olan plastik silindirik kalıplar kullanılmıştır.

Pres

Sertleşmiş betonun Basınç dayanımı deneylerinde Yüksel Kaya Makinenin 3000 kN kapasiteli presi kullanılmıştır. Söz konusu Beton test presinin hızı otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Şekil 3.1.'de Beton test presi görülmektedir.

Fırın

Numunelerin yüksek sıcaklığa maruz bırakıldığı fırın Tahya Makine tarafından üretilmiştir. Fırın kapasite olarak 1000⁰C sıcaklığa çıkabilmektedir (Şekil 3.2.).

Fırına ait sıcaklık-zaman grafiği Şekil 3.3.'de görülmektedir.



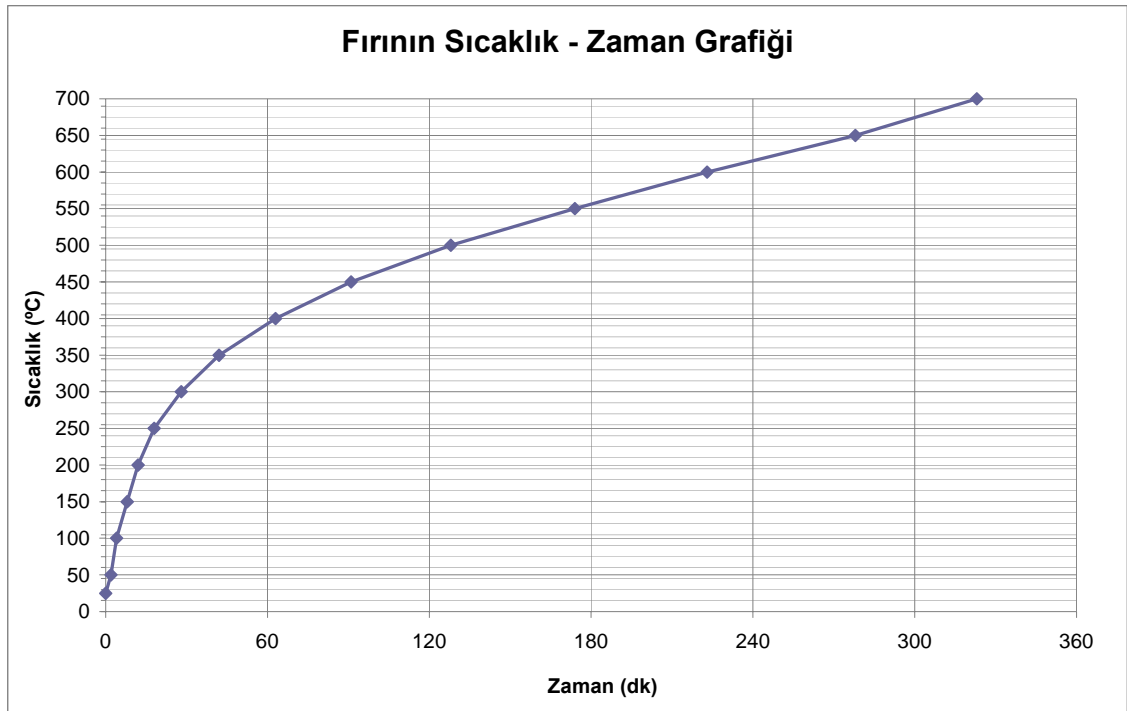
Şekil 3.1. Beton test presi

Diğer aletler

Onarım uygulamasında, epoksi enjeksiyonu için Kster firmasının üretmiş olduğu manüel enjeksiyon tabancası kullanılmıştır. Enjeksiyon elemanı olarak ta 8 mm çapa sahip tek yönlü çekvalfler kullanılmıştır. Ayrıca enjeksiyon için gerekli olan deliklerin aılmasında deveboynu matkap ve deliklerin basınçlı hava ile temizlenmesinde de kompresör kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Yangın hasarında kullanılan fırın



Şekil 3.3. Fırına ait sıcaklık–zaman grafiği

3.2. Yöntem

3.2.1. Agregada deneylerinde uygulanan yöntemler

Agregada deneylerinde kullanılmak üzere numune alınmasında TS 1114 EN 13055-1'de belirtilen dörde bölerek küçültme (çeyrekleme) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde belirtildiği gibi, laboratuardaki malzemenin tümünü temsil etmesi için yığının her tarafından alınan örnekler düz bir zemin üzerine her tarafı eşit ve çapı yüksekliğinin dört katı olan bir daire oluşturacak şekilde serilmiştir. Daha sonra bu dairesel yığın kürekle dörde bölünmüş, karşılıklı iki parçası atılıp, deneyler için yeterli miktarda örnek kalıncaya kadar çeyrekleme işlemine devam edilmiştir.

Her bir deney için, numuneler üzerinde üçer defa agregada deneyleri yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Bu değerler Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde verilmiştir.

Numune üretiminde kullanılacak agregaların tane büyüklüğü dağılımı TS 3530 (1999)'a göre belirlenmiştir. Deneylerde TS 1227-ISO 3310-1 (1996)'e uygun toplama kabı ile TS 1226 ISO 3310-2 (1996)'ye uygun 4 mm, 8 mm, 16 mm göz açıklığına sahip kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

Her üç w/c oranına sahip numune betonlarda %55 iri, %45 ince agregada oranları kullanılmıştır. İri agreganın %35'i 8-16 mm, %20'si de 4-8 mm arasındaki agregalardan alınmıştır. İnce agreganın %15'i 2-4 mm, %30'u ise 0-2 mm arasında olacak şekilde granülometri düzeltilmiştir. Agregalarının tane büyüklüğü dağılımı TS 3530 prEN 933-1(1997)' a göre belirlenmiştir.

Hafif agregada olan GPA ve PA için beton karışım hesaplarında kullanılan özgül ağırlık faktörü deneyi, agreganın kullanıldığı andaki nem durumuna göre, TS 3234 (1978)'e

göre piknometre yöntemi ile belirlenmiştir. Piknometre olarak 1000 ml'lik cam mezür kullanılmış olup 10 dakikalık su emme süresi esas alınmıştır.

Bu deneyde, agreganın içinde bulunan ve tane büyüklüğü 0,063 mm den küçük olan ince maddelerin oranı, tane büyüklüğüne bağlı olarak, aşağıdaki yöntemlerden biri ile belirlenir. Deneylerde, iri agregaya için yıkama yöntemi, ince agregaya için ise çökeltme yöntemi kullanılmıştır. TS706 EN 12620 (2003)'e göre 0-4 mm, 1-4 mm, 2-8 mm ve 4-63 mm agregaya gruplarında bulunabilecek ince maddelerin maksimum miktarı (agrega numunesinin ağırlıkça %'si olarak), sırasıyla, %4, %3, %2 ve %0,5 olmalıdır.

TS 1744-1' e göre deney numunesi 8 mm göz açıklı kare gözlü tel elekten geçen agregaya ölçü silindirinin 130 ml işaret çizgisine kadar doldurulmuştur. Üzerine 200 ml'lik işaret çizgisine ulaşıncaya kadar %3'lük sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ilave edilerek iyice karıştırılmıştır. 24 saat bekletildikten sonra numuneler üzerindeki sıvının rengine bakarak agregaya da zararlı organik madde olup olmadığına karar verilmiştir.

Bu standart, deneylerde beton yapımında kullanılacak doğal ve yapay agregaların kuru veya doymun kuru yüzey özgül ağırlıklarını ve görünen özgül ağırlığı ile su emme oranını belirlemek üzere uygulanan deney yöntemlerini içermektedir (Anonim 1980). Agregaların kuru özgül ağırlığı, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı ince ve iri agregalara ayrı ayrı uygulanan deneylerle TS EN 1097-6' ya uygun olarak tayin edilmiştir.

3.2.2. Beton karışım seçenekleri ve oranlarının belirlenmesi

Beton karışım hesabı; istenen kıvam, işlenebilme, dayanım, dayanıklılık, hacim sabitliği ve diğer aranan özelliklere sahip en ekonomik betonu elde etmek amacıyla gerekli agregaya, çimento, su, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarını tespit etmek için yapılan hesaptır. Beton karışım hesaplarının amacı, sonunda elde edilecek, yerine dökülmüş 1 m³ beton için gerekli bileşenlerin önceden tahmin edilmesidir.

Uygulamada genellikle en büyük tane boyutlu 16 mm olan agregâ için kum yüzdesi, kuru gevşek hacim esasına göre, %40 ile %60 arasında olmalıdır. İnce agregâ olarak tabii kum kullanıldığında, kumun kuru gevşek hacminin toplam agreganın %40'ının üstüne çıktığı enderdir. Agreganın en büyük tane boyutu azaldıkça ince agregâ oranı artar.

Beton karışımlarında kullanılan agreganın en büyük tane boyutu 16 mm olarak alınmıştır. Agreganın tane dağılımı ise en büyük tane çapına bağılı olarak TS 706 (2003)'da verilen sınır değerler içinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Bu ayarlama sonucu tane sınıflarının oranları, 0-2 için %30, 2-4 için %15, 4-8 için %20, 8-16 için %35 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.1. incelendiğinde seçilen bu eğri de TS 706 (2003)'da, maksimum tane çapı 16 mm için verilen standart eğrilerde "uygun bölge (3. bölge)"ye düşmektedir.

Yukarıda açıklandığı şekilde çalışmada ayarlanmış granülometri eğrisi kullanılmıştır. Bu sebeple agregalar karışımlara doğal halleri ile değil tane sınıflarına ayrılmış olarak katılmışlardır. Ayırma işleminde 0-2 mm ince agregâ için; hem dere agregası, hem GPA, hem de PA, 2-4 mm'lik ince ve 4-8 mm'lik iri agregâ için dere agregası, 8-16 mm'lik iri agregâ için kırmataş agregâ kullanılmıştır.

Üretilen betonlarda w/c oranı; 0,30, 0,35 ve 0,40 olarak seçilmiştir. Ayrıca karışımlarda çimento ağırlığının %7'si kadar SD kullanılmıştır.

Karışımlarda, karışımdaki (0-2) aralığındaki toplam agregâ hacminin %10, %20, %30 oranlarında GPA ve PA; toplam karışım hacminin %0,1'i kadar HSK kullanılmıştır. Ayrıca mukayese amaçlı olarak her üç w/c oranı içinde kontrol numuneleri üretilmiştir. Böylelikle toplam 24 grup karışım yapılmıştır.

Karışım hesapları yapılırken TS 802 (1985)'den yararlanılmıştır. Genellikle hafif agregalı betonların tam olarak w/c oranı karışım hesabı için yeterli doğrulukta

saptanamadığı için hafif agregalı beton karışımları öngörülen kıvamdaki çimento dozu esasına göre bir seri ön deney yapılarak, deneme karışımları üretilerek hesaplanmıştır.

Deney karışımlarında w/c oranı 3 farklı değerde olup, dozaj sabittir. Hava hacmi %2 olarak alınmıştır. Bu değerler 1 m³'den çıkarılarak toplam agregata hacmi bulunmuştur. Elde edilen agregata hacmi tane sınıflarına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Karışıma giren agregaların ağırlıkları bulunurken; hafif agregata için hacim özgül ağırlık faktörüyle, dere agregası ve kırmataş agregata için ise hacimler özgül ağırlık ve nem yüzdeleri ile çarpılmıştır. Hafif agregata için özgül ağırlık faktörleri, dere agregası ve kırmataş agregata için özgül ağırlık ve nem yüzdeleri iri ve ince tane sınıfları için ayrı ayrı bulunmuştur.

Agregata tane sınıflarının oranları belirlenirken ayarlanmış granülometri eğrisi kullanılmıştır. Buna göre 0-2 tane sınıfı ince agregadan %30, 2-4 tane sınıfı ince agregadan %15, 4-8 tane sınıfı iri agregadan %20 ve 8-16 tane sınıfı iri agregadan %35 oranlarında malzeme karışıma ilave edilmiştir.

Her üç w/c oranı durumunda 1 m³ hacim için beton karışımlarında kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.13.–3.14. ve 3.15'de verilmiştir.

3.2.3. Beton üretimi

Beton karışımı için malzeme miktarları ağırlık olarak alınıp yeterli miktarda taze beton harcı hazırlanmıştır. Bunun için, karışımı oluşturan malzemelerin muhtemel malzeme zayıfları düşünülerek yaklaşık %10 daha büyük oranda üretim gerçekleştirilmiştir.

Beton üretimi için yapılan çalışmada, karışım oranları belirlenen malzemeler 1 gr hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra betonyere konulmuştur. İlk etapta betonyere sırasıyla kırma taş, çakıl, kum ve karışım suyu ile ıslatılmış; karışım grubuna göre GPA, PA veya HSK (karışım suyu içerisinde), SD ve çimento konarak yaklaşık 0,5 dakika karıştırılmıştır. Sonra SAK içeren su, ağır ağır ilave edilmiştir. Böylece toplam 3,5 dakika karıştırma işlemi yapılmıştır. Betonyere malzeme konmadan önce her seferinde iç yüzey ve kanatlar beton harcı kalıntılarında ve diğer yabancı maddelerden temizlenip ıslak bezle nemlendirilmiştir.

Karışımlar hazırlanırken laboratuvar tipi bir betonyer kullanılmıştır. Betonyere her seferde bir gruptaki malzeme konulmuş olup, karıştırma sonunda elde edilen karışım 6 adet 10x20 cm'lik silindirik kalıplara dökülmüştür. Kalıpların içi daha önceden yağlanmış olup harcın yerine yerleştirilmesinin akabinde mala ile üst yüzeyler düzeltilerek etiketlenmiştir. Beton numuneler laboratuvar ortamında açık yüzeyleri naylon örtü ile kaplı olarak 24 saat bekletilmiştir. Laboratuvar koşullarında 24 saat bekletilen numuneler kalıpları söküldükten sonra; havada küre bırakılmışlardır. Her grubun numuneleri 9 ay boyunca kürede kaldıktan sonra laboratuvar şartlarında deneylere tabi tutulmuşlardır.

3.2.4. Taze beton deneylerinde uygulanan yöntemler

Taze beton deneyi olarak, numuneler üzerinde kıvam deneyi yapılmıştır. Deneyin uygulaması TS EN 12350-2'de tarif edildiği üzere gerçekleştirilmiştir.

Taze beton standarda uygun huniye üç tabaka halinde ve her tabaka huninin yaklaşık üçte birini dolduracak şekilde yerleştirilmiştir. Her tabaka 16 mm çapında ve 60 cm uzunluğundaki şişleme çubuğu ile 25'er defa kenarlardan ortaya doğru dairesel olarak düşey bir şekilde şişlenmiştir. Daha sonra huni yavaşça düşey olarak yukarı doğru çekilerek yığından ayrılmıştır. En sonunda huninin üst yüzeyi ile taze betonun üst yüzeyi arasındaki yükseklik farkı okunarak numune gruplarına ait çökme değeri bulunmuştur.

3.2.5. Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler

Su emme oranı tayini

Numune gruplarına ait ağırlıkça su emme oranları, TS 3624 (1981)'de belirtilen şekilde belirlenmiştir. Deney her gruptan 3 numune üzerinde yapılmıştır. Öncelikle numuneler 24 saatlik periyotlar halinde etüvde tutulmuş ve oda sıcaklığına geldikten sonra ağırlıkları tayin edilmiştir. Bu ölçülen ağırlıklar arasındaki fark en düşük olan ağırlığın %0,5'inden az olduğunda numunenin etüv kuru su ağırlığı kabul edilmiştir.

Etüv kuru haline gelen numuneler daha sonra $21^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki kür havuzuna bırakılıp 24 saat sonra çıkarılarak yüzey ıslaklıkları havlu ile alınarak tartılmıştır. Akabinde numuneler tekrar 24 saatliğine kür havuzuna bırakılmıştır. Sonrasında havuzdan çıkarılarak yüzey ıslaklığı alınan numuneler tartılarak, birbirini izleyen iki tartım arasındaki fark büyük ağırlığın %0,5'inden az oluncaya kadar bu döngüye devam edilmiş ve doymuş kuru yüzeyli numune ağırlıkları kaydedilmiştir. Yangına maruz kalan numunelerin su emme oranının belirlenmesinde de yukarıda belirtilen yöntem kullanılmıştır. Bu durumda farklı olarak, fırından çıkarılan numuneler tekrar etüvde kurutulmamış, bunun yerine oda sıcaklığına getirilerek tartım işlemi yapılmıştır.

Etüv kuru ağırlık (A) ve doymuş kuru yüzey ağırlıklar (B) tayin edildikten sonra aşağıdaki formüle göre numunelerin ağırlıkça su emme oranları tayin edilmiştir.

$$m_1 = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (3.1.)$$

Burada m_1 =Ağırlıkça su emme oranıdır (%).

Basınç dayanımı

Numunelerin basınç dayanımının ölçümü 300 ton kapasiteli Yüksel Kaya Makinenin ürettiği hidrolik presle gerçekleştirilmiştir. Hidrolik presin hızı 0,4 MPa/s olacak şekilde sabitlenmiştir. Basınç dayanımına tabi tutulmadan önce basınç yükünün numuneye üniform bir şekilde dağılması için numuneler başlıklanmış ve bunun içinde kükürt kullanılmıştır.

Numunelerin her iki yüzeyi başlıklandıktan sonra numuneler en az iki saat sertleşmeye bırakılarak deneye tutulmuştur. Basınç dayanımı her bir deney için kırılan üç numunenin aritmetik ortalama yükü alınarak aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P_{ort}}{A_0} \quad (3.2.)$$

Formülde; P_{ort} =Kırılan numunenin ortalama kırılma yükü (N), A_0 =Numunenin yük uygulanan yüzey alanı (mm^2), σ =Basınç dayanımı (MPa)'dır. Elde edilen basınç dayanımları araştırmalar ve bulgular kısmında MPa olarak verilmiştir. Sertleşmiş beton numunelerin belirli yaşlardaki basınç dayanımları TS 3114 ISO 4012 (1998)'e uygun olarak yapılmıştır.

Yüksek sıcaklığa maruz bırakma

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılacak beton numuneleri, her hangi bir olumsuzluk yaşanmaması için 48 saat süreyle 100⁰C sıcaklığındaki etüvde bekletilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığına getirilen beton numuneleri fırına konularak, ısınma süreci hariç 3 saat süreyle 600⁰C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Numuneler fırın içerisinde soğutulmuştur. Numuneler çelik kutular içerisinde fırın içerisine yerleştirilmiştir. Söz konusu kutulara konulmuş beton numuneler Şekil 3.4.'de görülebilmektedir. Fırına ait sıcaklık-zaman grafiği de Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Çelik kutular içine yerleştirilmiş beton numuneler

3.2.6. Onarım ve güçlendirmede uygulanan yöntemler

GFRP sargılama

Yüksek sıcaklığa maruz kalan numuneler oda sıcaklığına getirildikten sonra onarım uygulaması olarak GFRP sargılama yöntemine tabi tutulmuşlardır. Bu yöntem GFRP Wet Lay Up yöntemi olarak adlandırılan şantiye yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Söz

konusu yöntemde esas olan cam elyafın polyester reçineye doyurularak GFRP sisteminin elde edilmesidir.

Uygulamaya öncelikle GFRP sistemin matrisini oluşturacak Polyester reçine sisteminin hazırlanmasıyla başlanmıştır. Polyester reçinenin polimerizasyonunun gerçekleşmesi için karışıma sertleştirici ve hızlandırıcı ilave edilmesi gerekmektedir. Bu malzemelerin karışım oranları; sertleştirici için $2\text{cm}^3/1000\text{gr}$, hızlandırıcı içinde $1\text{cm}^3/100\text{gr}$ şeklinde alınmıştır.

Hazırlanan polyester reçine karışımının kristalleşme süresi yaklaşık 15 dk olarak belirlenmiştir. Oluşan bu karışım hem cam elyafın doyurulmasında, hem de GFRP sisteminin beton yüzeyine tatbikinde yapıştırıcı olarak kullanılmıştır.

Cam elyaf dokuma beton yüzeyine tatbik edilmeden önce 30×40 cm ölçüsünde dikdörtgen kesitler şeklinde kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 3.5.). Daha sonra hazırlanan reçine karışımı rulo vasıtasıyla beton yüzeyine tatbik edilmiştir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.5. Cam elyaf dokumanın kesilerek hazırlanması



Şekil 3.6. Reçinenin beton yüzeyine tatbiki

Hazırlanmış olan cam elyaf dokuma rulo yardımı ile reçineye doyurulmuş ve beton yüzeyine sarılmıştır (Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.).



Şekil 3.7. Cam elyafın reçineye doyurulması



Şekil 3.8. GFRP'nin beton yüzeyine sarılması

Bu işlemden sonra polyester reçine GFRP sargılanmış beton yüzeyine tekrar tatbik edilerek cam elyafın tamamen doyurulması sağlanmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. GFRP sargılı beton yüzeyine reçine tatbiki

Uygulanan işlem sonrası GFRP sarılan numuneler sertleşmesi için laboratuvar içerisinde 24 saat süre ile bekletilmiştir. Uygulama sırasında kenarlarda oluşan fazlalıklar bir makas yardımıyla uzaklaştırılmıştır.

GFRP'nin beton yüzeyine tatbiki esnasında yüzeyle arasında hava kalmamasına büyük özen gösterilmiştir.

Epoksi enjeksiyonu

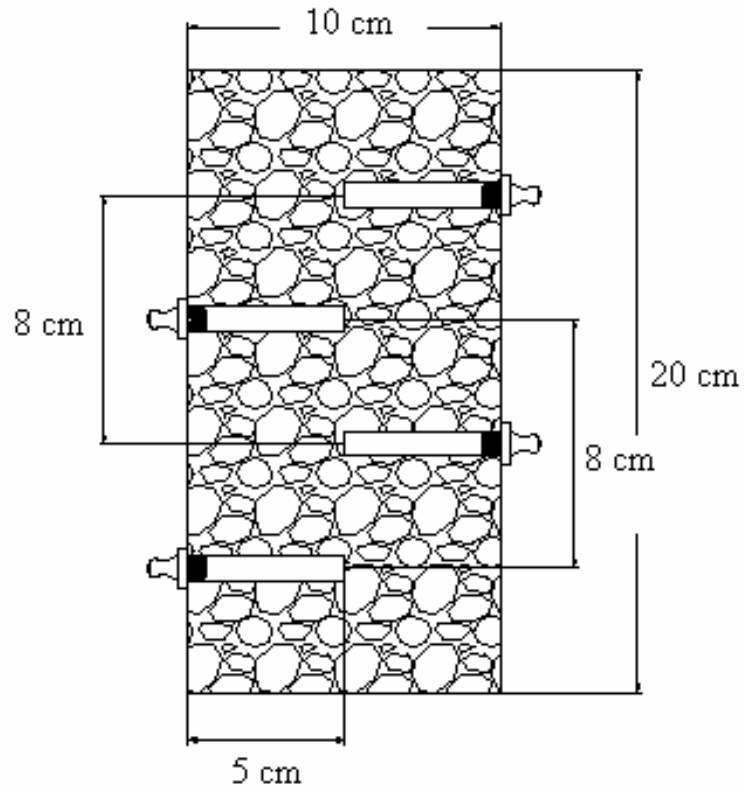
600⁰C sıcaklığa maruz kalan numuneler üzerinde gerçekleştirilen onarım uygulamalarından diğeri ise Epoksi enjeksiyonu yöntemidir. Bu yöntemde iki tür epoksi kullanılmıştır. Bunlardan birincisi çatlak yüzeylerini örtmek için kullanılanı, diğeri ise numune üzerinden açılan delikler vasıtasıyla beton içerisine enjekte edilen epoksidir. Bu malzemelere ait bilgiler Materyal kısmında ayrıntılı olarak tanıtılmıştı.

Uygulamaya öncelikli olarak beton yüzeyindeki çatlakların epoksi ile örtülmesi ile başlanmıştır. Böylelikle enjeksiyon esnasında malzemenin uzaklaşması engellenmiş olur. Ayrıca bu uygulama sayesinde enjeksiyon için açılması gerekli delikler kolayca açılabilmiştir. Söz konusu malzeme beton yüzeyine bir fırça yardımı ile tatbik edilmiştir (Şekil 3.10.).

İşlem uygulanan numuneler 24 saat süre ile laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir. Daha sonra Epoksi enjeksiyon işleminin safhalarına geçilmiştir. Öncelikli olarak epoksinin enjekte edileceği delikler beton üzerinde açılmıştır. Söz konusu delikler beton üzerinde 8 cm ara ile ve şaşırtmalı olarak açılmıştır. Açılan deliklerin derinliği 5 cm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.11.'de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Epoksi esashlı malzemenin beton yüzeyine tatbiki



Şekil 3.11. Epoksi enjekte edilen numune detayı

Beton üzerindeki delikler; deveboynu matkap ile tezgâha sabitlenerek açılmıştır. İşlem sırasında beton numunelerin hasara uğramaması için büyük özen gösterilmiştir (Şekil 3.12.). Numunelerin delinmesi işlemi bittikten sonra, delikler içerisinde bulunan istenmeyen malzemeler bir kompresör yardımı ile püskürtülerek uzaklaştırılmıştır.

Bu işlemlerin akabinde enjeksiyonun yapılacağı deliklere tek yönlü çekvalfler yerleştirilmiştir. Çekvalfler beton yüzeyine çatlakları örtmekte kullanılan epoksi esaslı malzeme ile tutturulmuştur. Daha sonra enjekte edilecek çift bileşenli epoksi karışımı hazırlanarak, manüel enjeksiyon tabancasına yerleştirilmiştir.



Şekil 3.12. Numunelerin delinmesi ve kompresör ile temizlenmesi

Enjeksiyon reçinesinin sertleşme süresi kısa olduğundan hemen enjeksiyon işlemine geçilmiştir. Enjeksiyon işlemine en alttaki çekvalflerden başlanmış ve yukarıya doğru çıkılmıştır. Tabanca yardımıyla enjekte edilen epoksi çekvalf başlığından kabul edilmemeye başlayınca bir üstteki çekvalfe geçilmiştir (Şekil 3.13.). Böylelikle her dört çekvalf aracılığıyla da enjeksiyon gerçekleştirilmiştir.

Enjeksiyon işleminin her safhasında numune ağırlıkları ölçülerek, ağırlıkça epoksi emme miktarları da tayin edilmiştir.

Enjeksiyon işlemi tamamlanan numuneler 24 saat süreyle laboratuvar ortamında tutulmuş ve daha sonra basınç dayanımı testine tabi tutulmuşlardır.



Şekil 3.13. Epoksi enjekte edilen numune

3.2.7. Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan yöntem

Yapılan deneysel çalışmalarda; ince agreganın yerine hafif agrega olarak kullanılan GPA, PA ile HSK ve kontrol numuneleri olmak üzere tüm numunelerin yangın öncesinde ve sonrasında, basınç dayanımlarının, onarım yapılmadan önce ve sonra nasıl değiştiği araştırılmıştır ve parametreler arasında kıyaslamalar yapılmıştır.

24 grup numune yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce ve sonra basınç dayanımı ve su emme oranı tayini deneyine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonrada; onarım yöntemi olarak GFRP sargılama ve Epoksi enjeksiyonu uygulanan

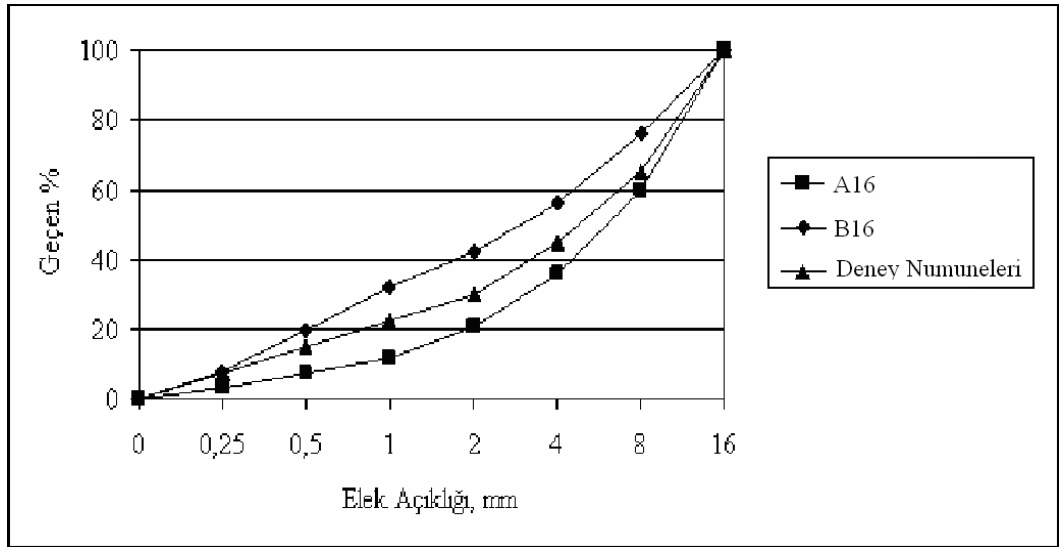
numuneler basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuşlardır. Böylece sonuçların değerlendirilmesinde karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Agregalar Deneylerinde Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

Granülometri eğrilerinin standart limitlerin dışına çıkmasının üretilen betonlarda istenmeyen sonuçları ortaya çıkarabileceği düşüncesiyle deneylerde dere agregası ve kırmataş agrega doğal haliyle kullanılmamış, bunun yerine standart limitler arasına düşürülen ayarlanmış tek tip granülometri eğrisi kullanılmıştır. Agregaya için elde edilen granülometri eğrisi TS 802 (1985)'de verilen standart eğrilerle birlikte Şekil 4.1.'de verilmiştir.

Deneylerde kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm'dir. 4 mm ile 16 mm tane sınırları arası iri, 4 mm'nin altındaki agregaya ince olarak seçilmiştir. Bu çalışmaya konu olan betonlarda %55 iri, %45 ince agregaya oranları kullanılmıştır. İri agreganın %35'i 8-16 mm, %20'si de 4-8 mm arasındaki agregalardan alınmıştır. İnce agreganın %15'i 2-4 mm, %30'u ise 0-2 mm arasında olacak şekilde granülometri düzeltilmiştir.



Şekil 4.1. Doğal agreganın düzeltilmiş granülometri eğrisi

Araştırmada üretilen betonların karışım hesaplarında, agregaların karışıma katıldığı andaki 10 dakikalık piknometre özgül ağırlıkları kullanılmıştır (Murlin and Wilson 1952). GPA'nın 10 dakikalık piknometre özgül ağırlık faktörü ise 0,28 g/cm³ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 1. GPA'nın özellikleri

Özellikler	Bulgular	Standart Limitler
Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)	113	<200
Özgül Ağırlık	0,28	-
Su Emme (%)	146	-
Yıkabilir İnce Madde Oranı (%)	-	
Organik Madde (Renk skalası ile belirlenmiştir.)	Renksiz	Renksiz olmalı
Sülfat Oranı (SO ₃) (%)	0,15	1
Klorür Oranı (Cl) (%)	0,09	0,4

GPA'nın su emme kapasitesi ise %146 olarak bulunmuştur. PA'nın su emme kapasitesi ise %46 olarak bulunmuştur. Agreganın su emmesi agregadaki boşluk oranı ile orantılı olduğundan hafif agreganın en belirgin özelliği boşluklu olmasıdır, bu nedenle su emme oranları yüksektir ve agrega için bu bir sakınca oluşturur. GPA'nın özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmektedir.

Beton agregalarında, kil ve silt gibi ince maddelerin fazla miktarda olması, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderansın zayıflamasına ve çimentonun prizini geciktirmesine neden olduğundan istenmeyen bir durumdur (Postacıoğlu 1987). Dere agregası ve kırmataş agregası elendikten sonra ince ve iri kısımları için ayrı ayrı yapılan bu deneyde bulunan ortalama sonuçlar Çizelge 4. 2. ve Çizelge 4. 3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. İri agrega için ince madde oranı tayini

Deney numunesinin			
Agrega sınıfı	Deney öncesi kuru ağırlığı (w_1) (gr)	Deney sonrası kuru ağırlığı (w_2) (gr)	İnce madde oranı (%) $m=(w_1-w_2)/w_1.100$
4-8	2000	1996	0,2
8-16	5000	4995	0,1

Çizelge 4.3. İnce agrega için ince madde oranı tayini

Deney numunesinin				
Agrega sınıfı	Deney numunesinin kuru ağırlığı (w) (gr)	24 saat sonunda çökelen malzeme yük. (h) (cm)	Ölçü silindiri kesit alanı (cm^2) (A)	İnce malzeme oranı (%) $m=(0,9.A.h/w).100$
0-2	1000	0,5	30,68	1,38
2-4	1000	0,01	30,68	0,02

Bu deneyde iri agrega için yıkama yöntemi, ince agrega için ise çökeltme yöntemi kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ilgili standartlar ile karşılaştırıldığında kullanılan agregalarda betona zarar verecek oranda ince taneli malzeme bulunmadığı belirlenmiştir. Bu sebeple agregaların beton üretimi için kullanılabilir olduğuna karar verilmiştir.

Agregaların organik madde içeriği basit bir asit-baz reaksiyonu ile belirlenmiştir. Konsantrasyonu %3 olan NaOH eriği ile karıştırılan agrega, 24 saat bekletildikten sonra suyun rengi esas alınmıştır. Kullanılan agregalar üzerinde ayrı ayrı yapılan deneylerde, malzeme üzerinde kalan sıvılarda herhangi bir renk değişimi gözlenmemiştir. TS 1744-1 (2000)'e göre sıvının renksiz veya açık sarı olması durumunda zararlı oranda organik madde bulunmadığına, koyu sarı, kahve rengi veya kırmızımsı bir renk alması durumunda ise zararlı organik madde bulunduğuna karar verilir. Böylelikle çalışmada kullanılan agregaların beton üretimi için uygun olduğu gözlenmiştir.

Dere agregası ve kırmataş agrega için özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. Yapılan bu deneyde kuru özgül ağırlık, doymun kuru yüzey özgül ağırlık, görünen özgül ağırlık ve

24 saatlik su emme oranları tayini iri ve ince agregalar için ayrı ayrı yapılmıştır. TS EN 1097-6 'ya göre yapılan bu deneyde elde edilen sonuçlar Çizelge 4. 4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Agregaların özgül ağırlık ve su emme oranı tayini

Özellik	Normal agregalar		Kırma taş	
	0/2	2/4	4/8	8/16
Kuru özgül ağırlık (γ_k)	2,37	2,54	2,57	2,59
Doğru kuru yüzey özgül ağırlık (γ_d)	2,41	2,57	2,62	2,68
Görünen özgül ağırlık (γ_g)	2,46	2,63	2,71	2,72
Su emme oranı (%)	1,44	1,44	2,03	1,80

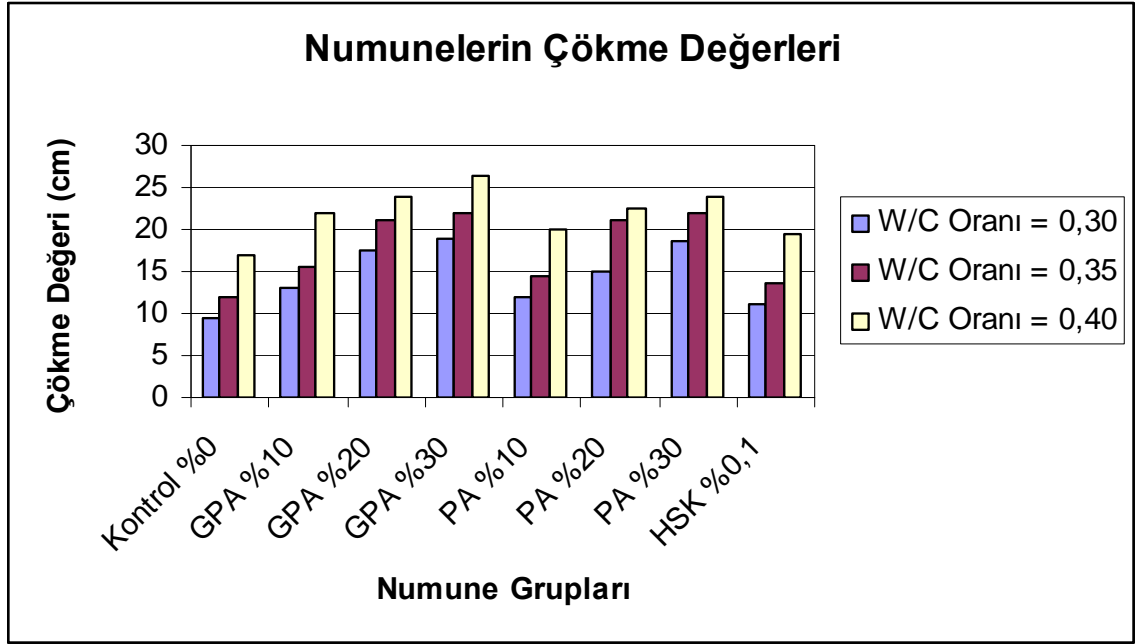
Hafif agregalardaki yüksek su emme özelliği, karışıma konulmadan önce bir ön ıslatmaya tabi tutulmalarını gerektirir. Aksi halde karışım suyunun bir kısmını emip hidrasyon ve işlenebilirliğe zarar verebilirler (Turgutalp 1978). Dolayısıyla yapılan deneylerde GPA ve PA karışıma katılmadan önce doğru duruma getirilmiştir.

4.2. Taze Beton Deneylerinde Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

Üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan çökme deney sonuçları Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi karışımdaki GPA ve PA oranı arttıkça, buna bağlı olarak çökme değerlerinde de bir artış olmuştur. HSK'lı betonlarda eklenen küresel şekilli hava kabarcıkları işlenebilmeyi artırdığından çökme değeri artmıştır. Karışım tiplerine göre çökme değerleri Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Tüm w/c oranlarında, oran arttıkça numunelere ait çökme değerleri artış yönünde eğilim göstermiştir.

Çizelge 4.5. Numunelere ait çökme değerleri

Katkı Türü			Kontrol	GPA			PA			HSK
Katkı Miktarı				%10	%20	%30	%10	%20	%30	%0,1
Çökme Değeri cm	w/c Oranı	0,30	9,5	13	17,5	19	12	15	18,5	11
		0,35	12	15,5	21	22	14,5	21	22	13,5
		0,40	17	22	24	26,5	20	22,5	24	19,5



Şekil 4.2. Numunelere ait çökme değerleri

4.3. Sertleşmiş Beton Deneylerinde Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

Sertleşmiş beton üzerindeki deneysel çalışmalar tasarlandığı gibi gerçekleşmiştir. Su emme oranı, beton numuneler yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce ve sonra ölçülmüştür. TS 3624 (1981)'de belirtildiği üzere deneyde her bir gruptan üçer numune kullanılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin yüzeyinde gerçekleşen çatlak oluşumu Şekil 4.3.'de net bir şekilde görülmektedir. Beton yüzeyinde oluşan çatlaklar adeta örümcek ağı benzeri bir yapıya bürünmüş, yüzeyde hasar oluşmasına neden olmuşlardır. Yüzeydeki bu çatlakların genişliğine rağmen, beton içerisinde oluşan çatlaklar kılcal düzeylerde kalmıştır.

Deney numunelerinin 1/4'lük kısmı (72 Numune) yangına maruz kalmadan ve herhangi bir onarım işlemi uygulanmadan basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerden, her gruptan üçer tane olmak üzere 72 adedi üzerinde hiçbir iyileştirme yapılmadan basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir.

GFRP Sargı ve Epoksi Enjeksiyonu ile onarım yöntemi her gruptan her bir onarım işlemi için üçer adet olmak üzere 144 numune üzerinde uygulanmış ve onarılan numuneler basınç dayanımı testine tabi tutulmuşlardır.



Şekil 4.3. Yangın sonrası beton yüzeyinde oluşan çatlaklar

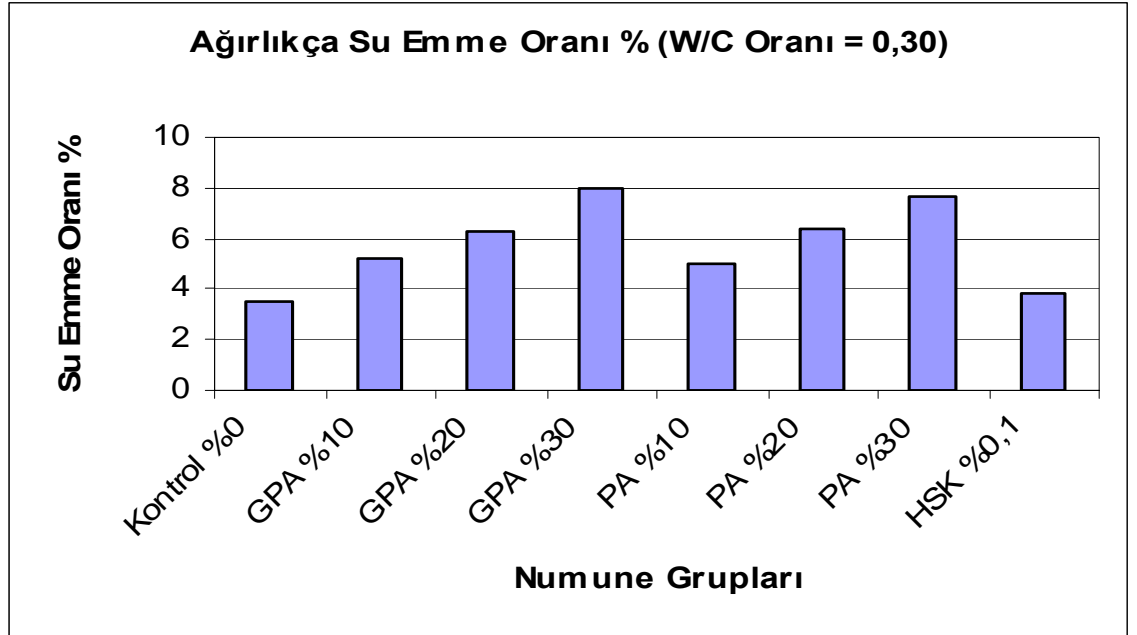
Aşağıda tüm numune grupları için bulunan Ağırlıkça Su Emme Oranları ve Basınç Dayanımı bulguları açıklanmış ve bu bulgular irdelenmiştir.

4.3.1. Su emme oranı tayini deneyi bulguları

Ağırlıkça Su Emme Oranı Her üç w/c oranı ve tüm karışım oranları için elde edilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere karışımda kullanılan GPA ve PA oranları arttıkça su emme oranını artmıştır. Yüksek sıcaklık uygulandıktan önce ve sonra en düşük su emme oranı kontrol numunelerinde gözlenmiştir. W/C oranı arttıkça numunelerin su emme oranı artmaktadır. Kontrol numunelerine en yakın su emme oranı HSK ile üretilmiş numunelerde gözlenmiştir.

Beton numunelerinin yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki su emme oranları her üç w/c oranı içinde Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir. Farklı w/c oranları için oluşturulan grafikler, Şekil 4.4.-4.5.-4.6. ve 4.7.'de görülmektedir. w/c oranı 0,30 olan ve karışımdaki oranı %10-20-30 olan GPA ve PA katkılı numune grupları için ağırlıkça su emme oranlarındaki artış sırasıyla; GPA için %48-%79 ve %127, PA için ise %44-%81 ve %119 olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu w/c oranındaki HSK katkılı betonun ağırlıkça su emme oranı %3,86'da kalarak %11'lik bir artış göstermiş ve su emme oranı %3,50 olan kontrol numunesine en yakın değerde kalmıştır.

Su emme oranlarındaki artış, w/c oranı 0,35 olan numunelerde; karışımdaki oranları %10-20-30 olan GPA ve PA katkılı, HSK katkılı numuneler için sırasıyla; %21-%53-%81-%10-%43-%69-%2 düzeyinde gerçekleşmiştir. w/c oranı 0,40 olan numunelerde ise bu değerler; %23-%50-%71-%18-%41-%63-%4 olarak tespit edilmiştir.

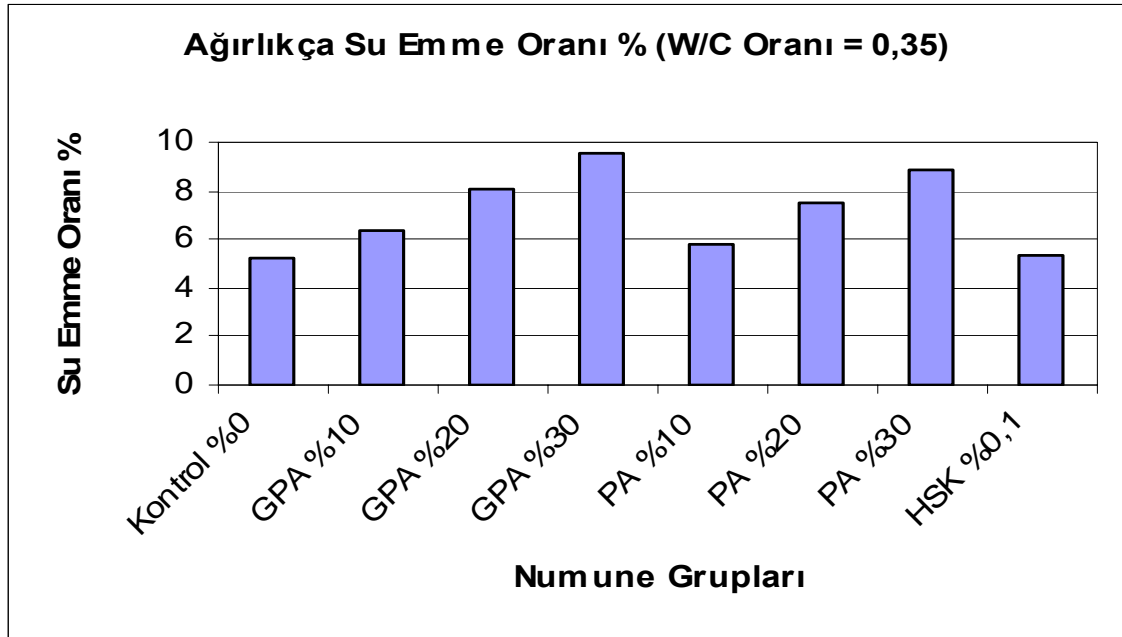


Şekil 4.4. W/C oranı=0,30 için ağırlıkça su emme oranı

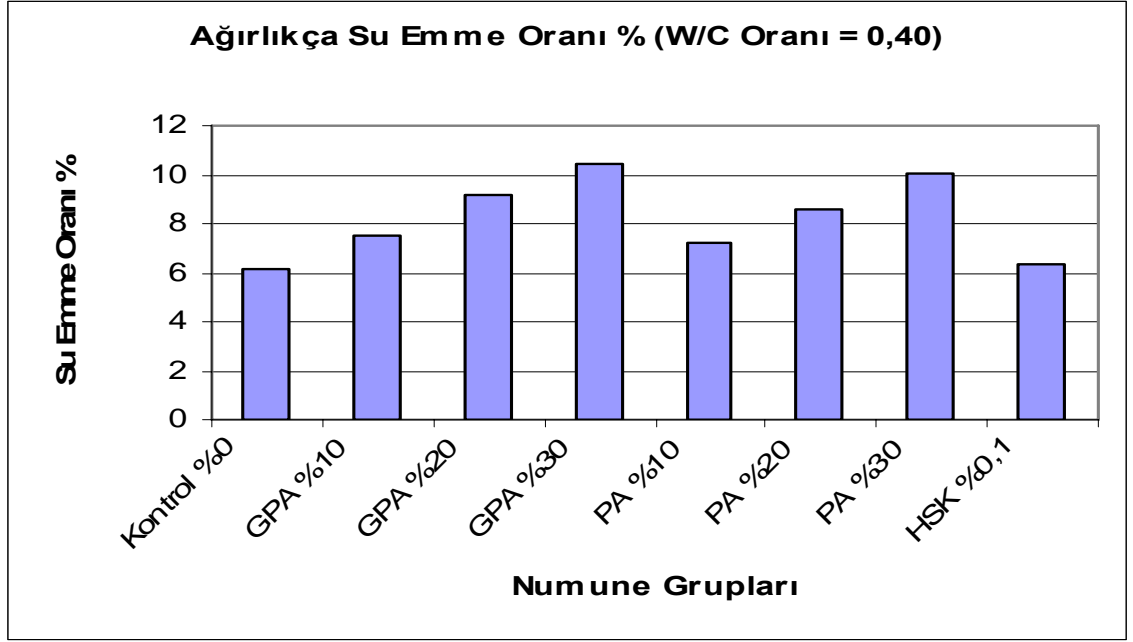
Çizelge 4.6.'dan da anlaşılacağı üzere en yüksek su emme oranı, her üç w/c oranı içinde %30 oranında GPA katılmış numunelerde gerçekleşmiştir. Su emme oranlarındaki en

büyük artışta bu numune grubunda meydana gelmiştir. Kontrol numunelerine en yakın su emme oranı HSK katkılı numunelerde gözlenmiştir. Tüm gruplar için, w/c oranı arttıkça su emme oranı da artmıştır. Aynı w/c oranına sahip numunelerde katkı oranı arttıkça su emme oranı da artmıştır.

Akman ve Taşdemir (1979), perlit betonu ile yaptıkları çalışmalarında da, perlit ile üretilen betonların ağırlıkça su emme oranlarının %50'nin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir. Şahin vd (2003), yaptıkları çalışmada, betonun ağırlıkça su emme oranının, karışımdaki hafif agrega oranının artmasıyla birlikte artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir.



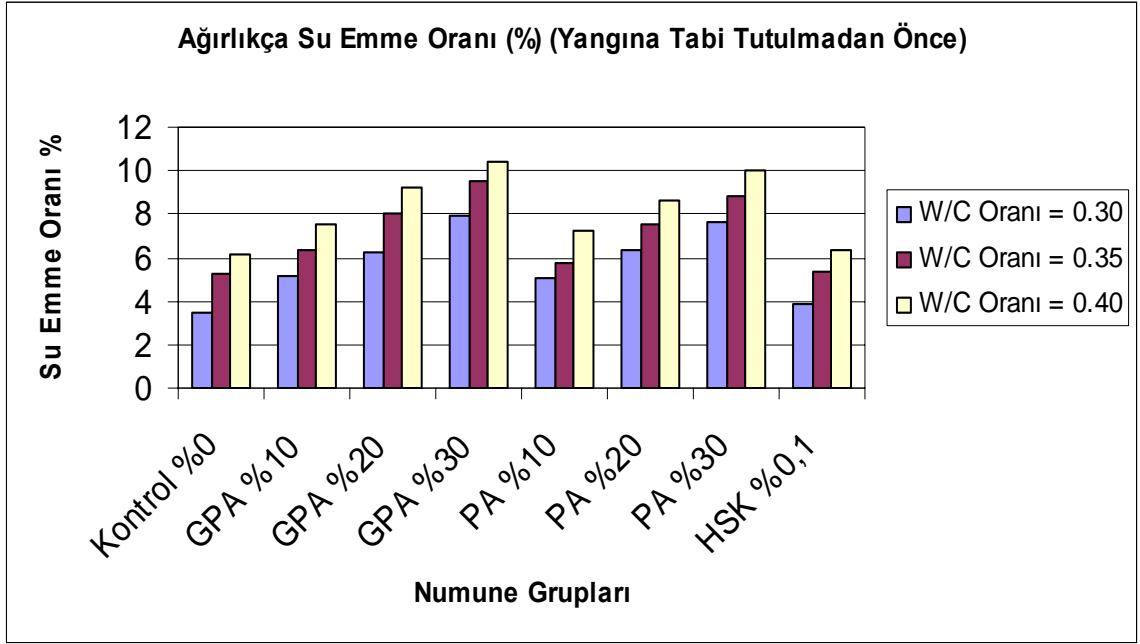
Şekil 4.5. W/C oranı=0,35 için ağırlıkça su emme oranı



Şekil 4.6. W/C oranı=0,40 için ağırlıkça su emme oranı

Çizelge 4.6. Numunelerin yangına maruz kalmadan önceki ağırlıkça su emme oranları (%)

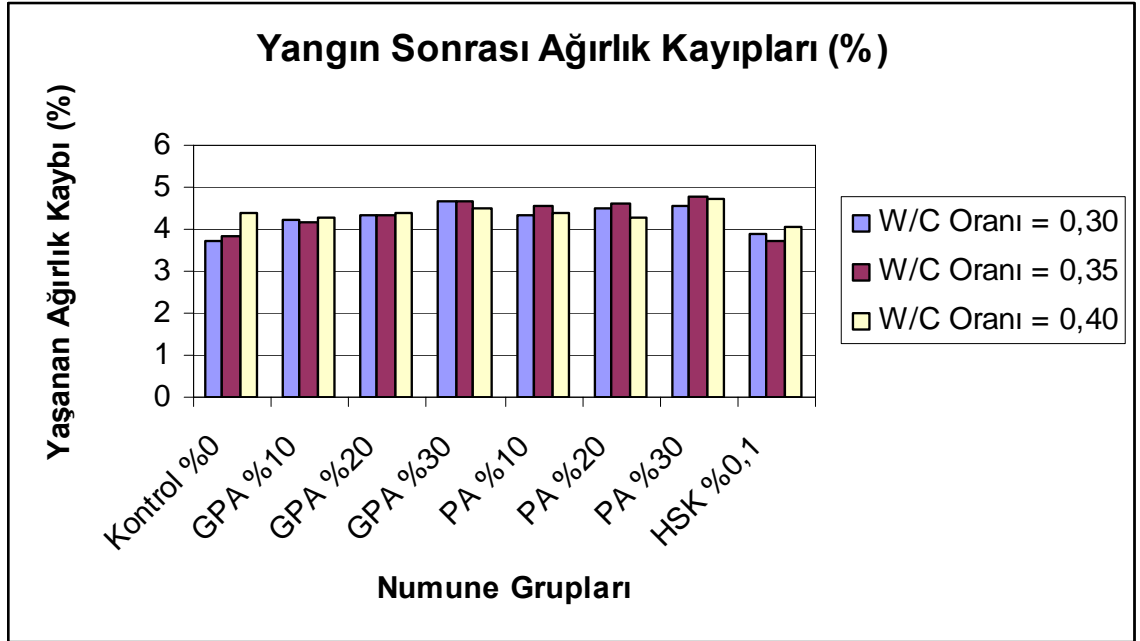
Katkı Türü	Kontrol	GPA			PA			HSK
		%10	%20	%30	%10	%20	%30	
Katkı Oranı	0,30	5,16	6,27	7,96	5,03	6,34	7,67	3,86
		6,34	8,03	9,51	5,75	7,52	8,84	5,34
		7,53	9,18	10,45	7,23	8,61	10,01	6,34
Ağırlıkça Su Emme Oranı % w/c Oranları	0,35	47,66	79,27	127,49	43,95	81,20	119,24	10,53
		0,30	0,35	0,40	0,35	0,40	0,40	0,35
		0,35	0,35	0,40	0,35	0,40	0,40	0,35
Kontrol Numunelerine Göre Gerçekleşen Artış % w/c Oranları	0,40	22,94	49,94	70,53	18,09	40,51	63,37	3,53
		20,99	53,17	81,24	9,67	43,38	68,53	1,81
		0,35	0,35	0,40	0,35	0,40	0,40	0,35



Şekil 4.7. Her üç w/c oranına ait karşılaştırmalı ağırlıkça su emme oranları

Numuneler yangına maruz bırakıldıktan sonra ağırlıklarında %3,72 ile 4,80 arasında azalma gözlenmiştir. Numune gruplarında meydana gelen ağırlık kayıpları; w/c oranı 0,30 olan numunelerde; karışımdaki oranları %10–20–30 olan GPA ve PA katkılı, HSK katkılı ve kontrol numuneleri için sırasıyla; %4,21-%4,36-%4,64-%4,33-%4,48-%4,56-%3,90 ve %3,72 düzeyinde gerçekleşmiştir. 0,35 w/c oranına sahip aynı gruplardaki numunelerde meydana gelen kayıplar; %4,18-%4,33-%4,68-%4,54-%4,62-%4,80-%3,72-%3,85 şeklindedir. w/c oranı 0,40 olan numunelerde ise bu değerler; %4,28-%4,40-%4,48-%4,41-%4,29-%4,71-%4,07-%4,40 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen kayıp değerleri Çizelge 4.7.'de verilmiş ve Şekil 4.8.'de bu değişim grafik yardımıyla gösterilmiştir.

Arıöz (2007), beton numuneleri üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada Sıcaklık arttıkça numunelerde gittikçe artan ağırlık kayıpları gözlenmiş, bu kayıplar 800⁰C'nin üzerinde ise aşırı derecede artmıştır.



Şekil 4.8. Numunelerde yangın sonrası ölçülen ağırlık kayıpları

Çizelge 4.7. Yangın sonrası yaşanan ağırlık kayıpları (%)

Katkı Türü		Kontrol	GPA			PA			HSK	
Katkı Oranı			%10	%20	%30	%10	%20	%30	%0,1	
Ağırlık Kayıpları %	w/c Oranları	0,30	3,72	4,21	4,36	4,64	4,33	4,48	4,56	3,90
		0,35	3,85	4,18	4,33	4,68	4,54	4,62	4,80	3,72
		0,40	4,40	4,28	4,40	4,48	4,41	4,29	4,71	4,07

Çizelge 4.8. Yangın sonrası numunelerin ağırlıkça su emme oranları (%)

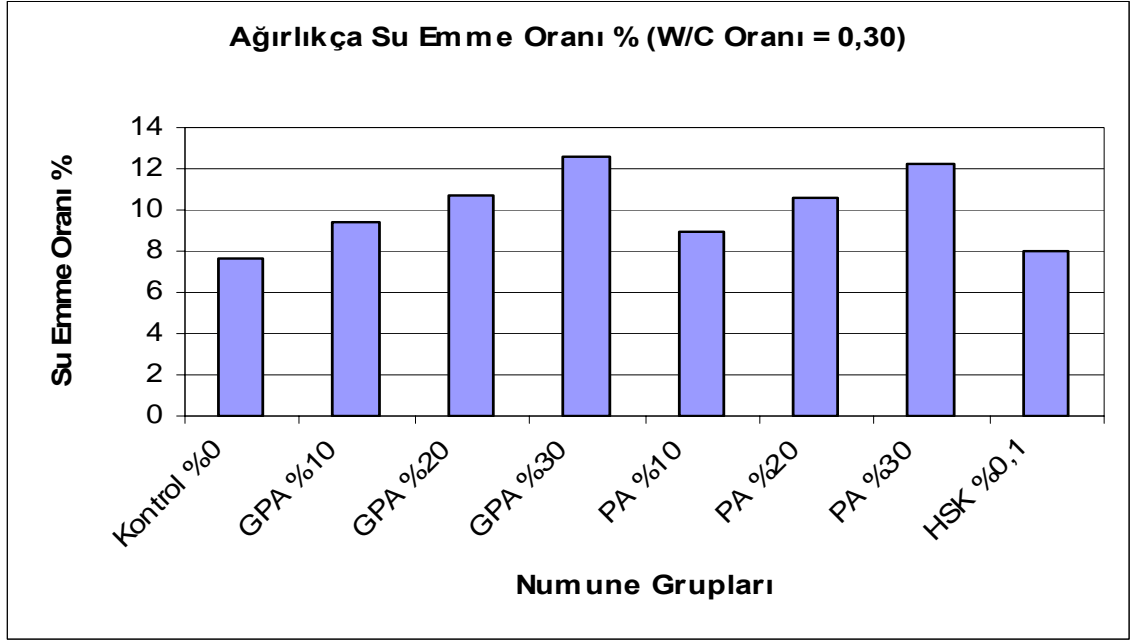
Katkı Türü	Kontrol	GPA			PA			HSK	
		%10	%20	%30	%10	%20	%30		
Katkı Oranı									
Ağırlıkça Su Emme Oranı %	0,30	7,64	9,35	10,68	12,64	8,99	10,60	12,28	7,97
	0,35	9,14	10,38	12,33	14,34	9,91	12,04	13,55	9,28
	0,40	10,38	12,03	14,16	15,66	11,63	13,09	15,35	10,52
Kontrol Numunelerine Göre Gerçekleşen Artış %	0,30		22,38	39,85	65,42	17,69	38,74	60,72	4,34
	0,35		13,59	34,85	56,88	8,39	31,67	48,18	1,54
	0,40		15,86	36,36	50,79	11,99	26,09	47,88	1,30
Yangın Öncesine Göre Gerçekleşen Artış %	0,30	118,29	81,20	70,33	58,79	78,73	67,19	60,10	106,48
	0,35	74,43	63,72	53,55	50,79	72,35	60,11	53,28	73,78
	0,40	69,61	59,76	54,25	49,86	60,86	52,03	53,35	65,93

Yangın sonrası boşluk yapısı arttığından numunelerin su emme oranları da artmıştır. Çizelge 4.8. yangın sonrası numunelerin ağırlıkça su emme oranlarını, yangın öncesine göre olan değişimleri ve kontrol numuneleri ile kıyaslanmasını içermektedir. Şüphesiz yangın sonrası su emme oranının artımında su emme kabiliyeti yüksek olan hafif agregalarında etkisi çok büyüktür. Yangın sonrası GPA ve PA katkı oranı arttıkça numunelerin su emme oranı artmakta, fakat yangın öncesindeki su emme oranına göre gerçekleşen değişim ise azalma göstermektedir.

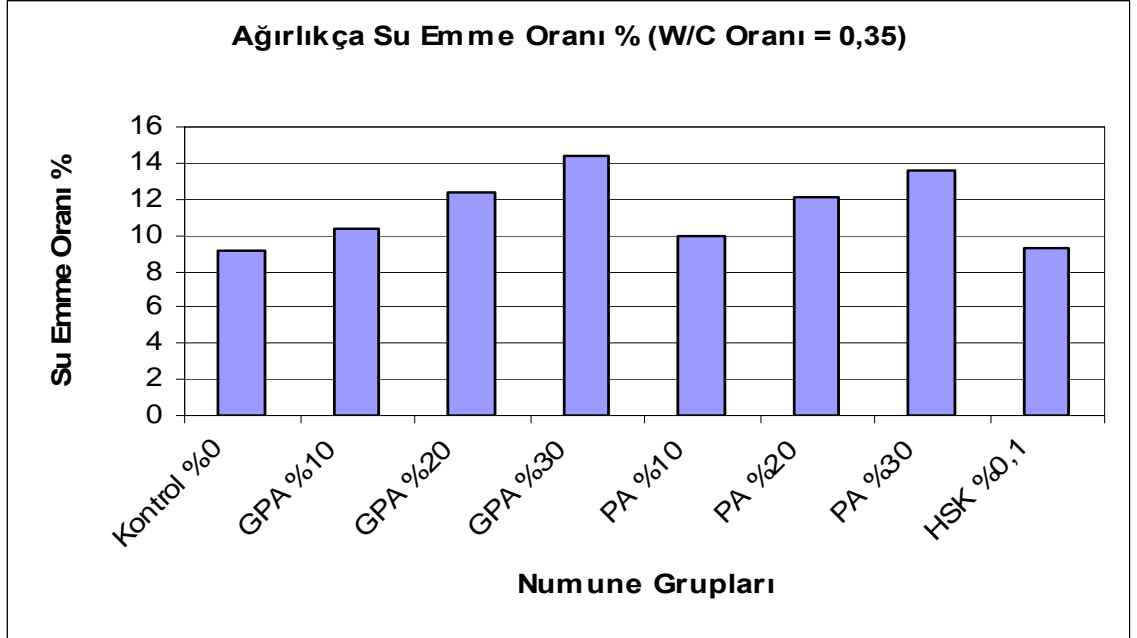
Yangın sonrasında, w/c oranı 0,30 olan ve karışımdaki oranı %10-20-30 olan GPA ve PA katkılı numune grupları için ağırlıkça su emme oranlarındaki artış sırasıyla; GPA için %22-%40 ve %65, PA için ise %18-%39 ve %61 olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu w/c oranındaki HSK katkılı betonun su emme oranındaki artış %4,34'de kalarak, su emme oranı %7,64 olan kontrol numunesine en yakın değerde kalmıştır. Ağırlıkça su emme oranlarında meydana gelen artış, w/c oranı 0,35 olan numunelerde; karışımdaki oranları %10-20-30 olan GPA ve PA katkılı, HSK katkılı ve kontrol numuneleri için sırasıyla; %14-%35-%57-%8-%32-%48-%2 düzeyinde gerçekleşmiştir.

w/c oranı 0,40 olan numunelerde ise bu değerler; %16-%36-%51-%12-%26-%48-%1 olarak tespit edilmiştir. Kontrol numunelerine göre gerçekleşen su emme oranlarındaki değişim her üç w/c değeri içinde HSK katkılı numunelerde en düşük değerini almıştır. Artışın en az meydana geldiği numune grubu ise w/c oranının 0,40 olduğu HSK grubudur.

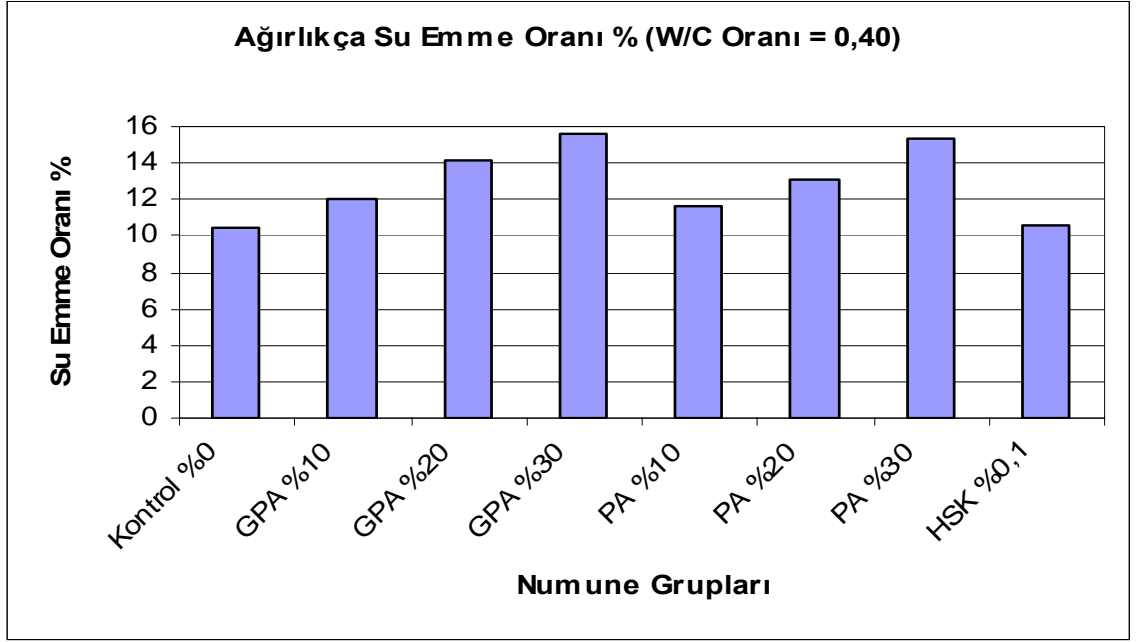
Yangın sonrası su emme oranları ile ilgili grafikler Şekil 4.9.–4.10.–4.11.–4.12. ve 4.13.'de görülebilir. Yangına maruz numunelerde de w/c oranı arttıkça su emme oranı da artmaktadır. Yangın öncesine göre su emme oranlarındaki en büyük artış her üç w/c oranı içinde sırasıyla; %118-%74 ve %67 ile kontrol numunelerinde, en az artış ise %30 oranında GPA katkılı numunelerde; %59-%51 ve %50 olarak gözlemlenmiştir.



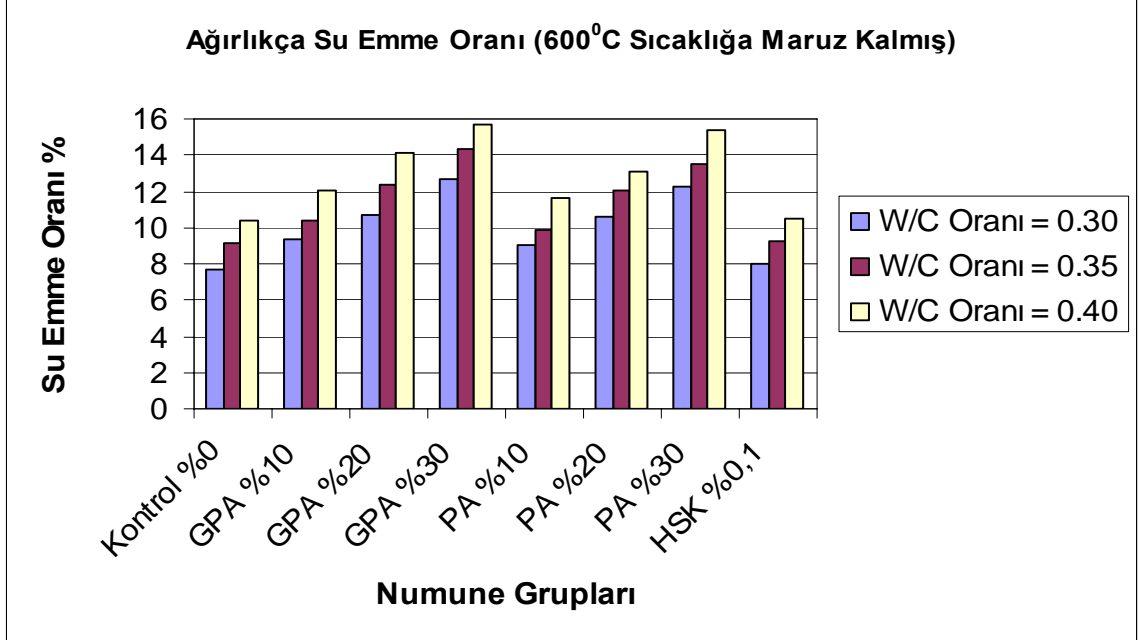
Şekil 4.9. Yangın sonrası numunelerin ağırlıkça su emme oranı w/c oranı=0,30 için



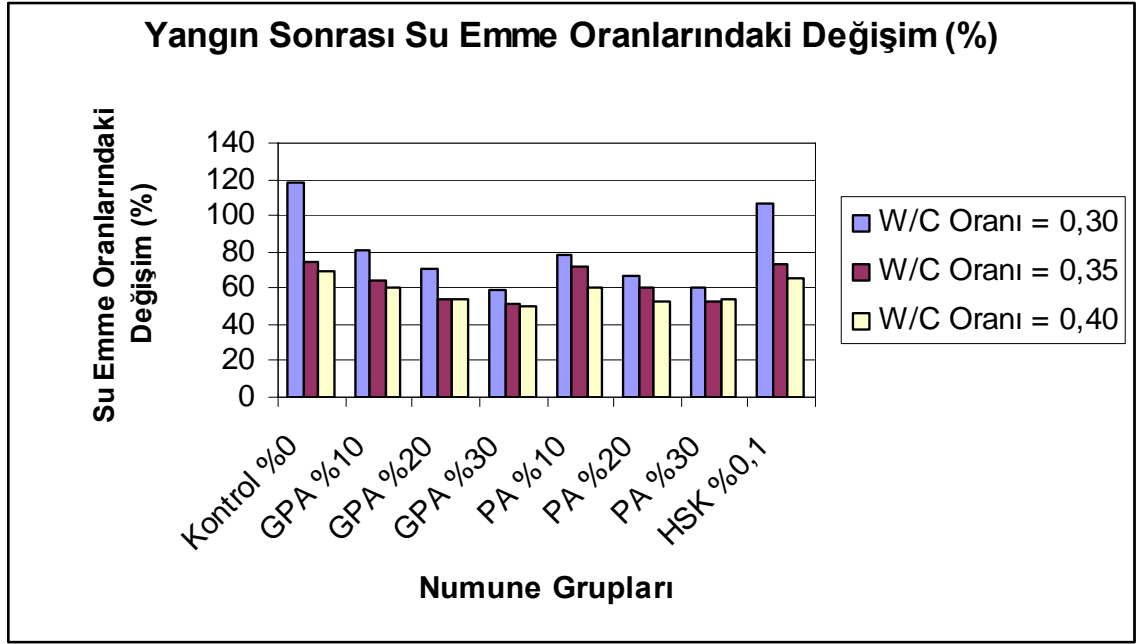
Şekil 4.10. Yangın sonrası numunelerin ağırlıkça su emme oranı w/c oranı=0,35 için



Şekil 4.11. Yangın sonrası numunelerin ağırlıkça su emme oranı w/c oranı=0,40 için



Şekil 4.12. Her üç w/c oranına ait karşılaştırmalı yangın sonrası ağırlıkça su emme oranları

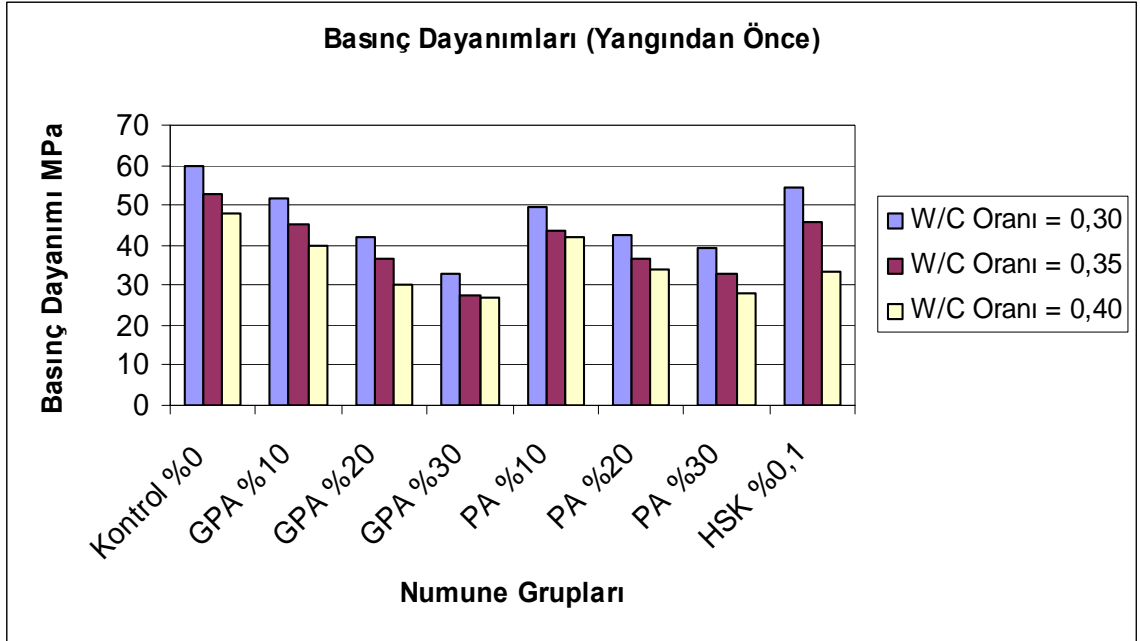


Şekil 4.13. Yangın öncesine göre su emme oranlarında yaşanan artış oranları

4.3.2. Basınç dayanımı deneyi bulguları

Basınç dayanım sonuçları her numune grubu için dört şekilde saptanmıştır. Bunlar; yangından önce ve sonra onarım yapılmadan, yangından sonra ise onarım olarak GFRP sargılama ve Epoksi Enjeksiyonu uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Yangın işlemine tabi tutulmamış numuneler üzerinde yapılan deney sonucunda en yüksek basınç dayanımları her üç w/c oranı içinde kontrol numunelerinde sırasıyla; 59,76–52,67 ve 48,19 MPa olarak elde edilmiştir. Karışımındaki GPA ve PA miktarı arttıkça basınç dayanımlarında düşüş gözlemlenmiştir. Meydana gelen en büyük dayanım kaybı, w/c oranı 0,35 olan numunelerden %30 GPA katkılı olanında %47 ile gerçekleşmiştir. Basınç dayanımlarında kontrol numunelerini; 54,23–45,89 ve 33,53 MPa değerleri ile %0,1 HSK katkılı beton numuneleri takip etmektedir. Numune grupları için elde edilen basınç dayanımı değerleri ve kontrol numunelerine göre yaşanan değişimler Çizelge 4.9.'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Verilerin daha iyi değerlendirilebilmesi için oluşturulan grafik, Şekil 4.14.'de görülmektedir.



Şekil 4.14. Yangın öncesi her üç w/c oranı için basınç dayanımı sonuçları

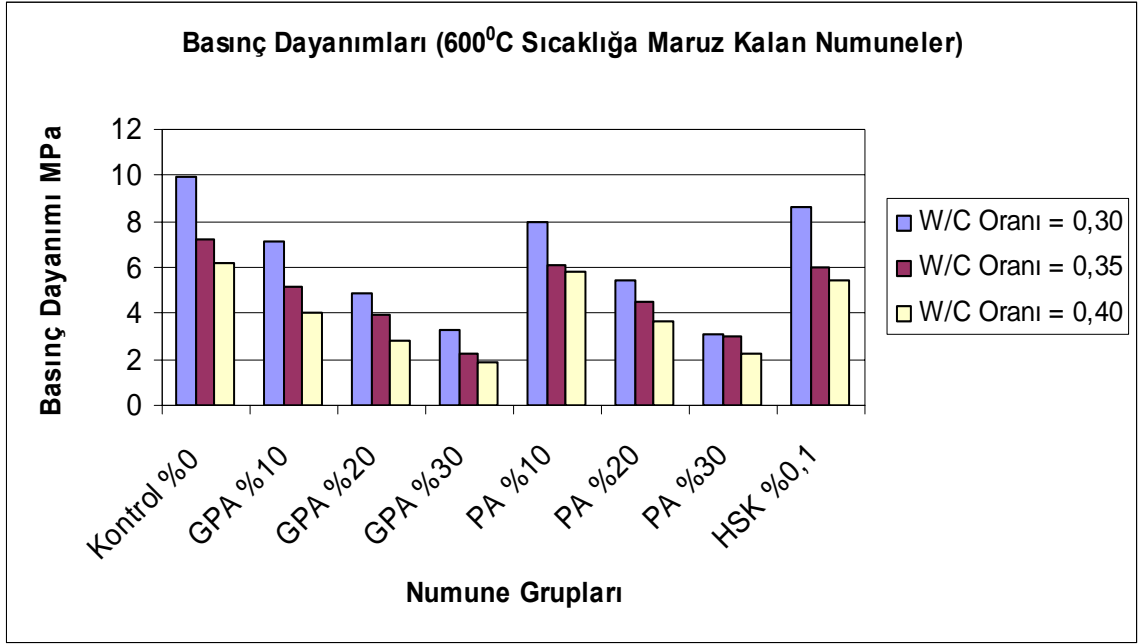
Karakoç (2004), su kürüne tabi tuttuğu numunelerde 28 günlük basınç dayanımı olarak 53,97 MPa ile 80,77 MPa arasında değerler elde etmiştir. Beton karışımlarındaki GPA miktarı arttıkça basınç dayanımının düştüğünü gözlemiştir. Basınç dayanımlarında gerçekleşen en büyük düşüş %33 ile %30 GPA karışımında meydana gelmiştir.

Çizelge 4.9. Numunelere ait yangın öncesi basınç dayanımı sonuçları

Katkı Türü	Kontrol	GPA			PA			HSK
		%10	%20	%30	%10	%20	%30	
Katkı Oranı								
Basınç Dayanımı MPa	0,30	51,47	42,24	33,07	49,54	42,41	39,48	54,23
	0,35	45,47	36,45	27,71	43,56	36,64	33,00	45,89
	0,40	39,96	30,15	26,98	41,76	34,03	27,80	33,53
Kontrol Numunelerine Göre Gerçekleşen Basınç Dayanımı Azalışı %	0,30	13,87	29,32	44,66	17,10	29,03	33,94	9,25
	0,35	13,67	30,80	47,39	17,30	30,43	37,35	12,87
	0,40	17,08	37,44	44,01	13,34	29,38	42,31	30,42

Çizelge 4.10. Numunelere ait yangın sonrası basınç dayanımı sonuçları

Katkı Türü	Kontrol	GPA			PA			HSK	
		%10	%20	%30	%10	%20	%30		
Katkı Oranı	w/c Oranları	0,30	7,12	4,90	3,27	7,93	5,47	3,11	8,61
		0,35	5,18	3,90	2,25	6,08	4,50	3,02	6,03
		0,40	4,01	2,80	1,87	5,83	3,68	2,29	5,45
Kontrol Numunelerine Göre Gerçekleşen Basınç Dayanımı Azalışı %	w/c Oranları	0,30	28,23	50,60	67,04	20,06	44,86	68,65	13,21
		0,35	28,45	46,13	68,92	16,02	37,85	58,29	16,71
		0,40	35,32	54,84	69,84	5,97	40,65	63,06	12,10
Yangın Öncesine Göre Basınç Dayanımlarındaki Azalma %	w/c Oranları	0,30	86,17	88,40	90,11	83,99	87,10	92,12	84,12
		0,35	86,25	88,61	89,30	86,04	87,72	90,85	86,86
		0,40	87,13	89,96	90,71	86,04	89,19	91,76	83,75



Şekil 4.15. Yangına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 4.9.'dan anlaşılacağı üzere karışımdaki GPA ve PA miktarı arttıkça, kontrol numunelerine göre numunelerin basınç dayanımlarındaki azalış artmaktadır. Aynı durum Çizelge 4.10. incelendiğinde yangına maruz kalmış numuneler içinde görülebilir. Yangın öncesindeki numuneler için GPA, PA ve HSK için söylenen azalış durumu yangına uğramış numuneler içinde tekrar edilebilir. Çizelge incelendiğinde yangın sonrası numunelerin basınç dayanımlarında muazzam bir düşüş olduğu gözlenecektir. Bu durum Şekil 4.15.'de açıkça görülmektedir.

Yangın sonrası numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerlerinin en düşüğü 1,87 MPa ile w/c oranı 0,40 olan %30 GPA katkılı numune grubunda görülmüştür. Elde edilen en yüksek dayanım ise 9,92 MPa ile w/c oranı 0,30 olan kontrol grubuna aittir. Yangın öncesi basınç dayanımlarına göre meydana gelen dayanım azalışı; w/c oranı 0,30 olan numunelerde %92 ile %30 PA katkılı grupta, w/c oranı 0,35 olan numunelerde %92 ile %30 GPA katkılı grupta, w/c oranı 0,40 olan numunelerde ise %93 ile yine %30 GPA grubunda gözlenmiştir.

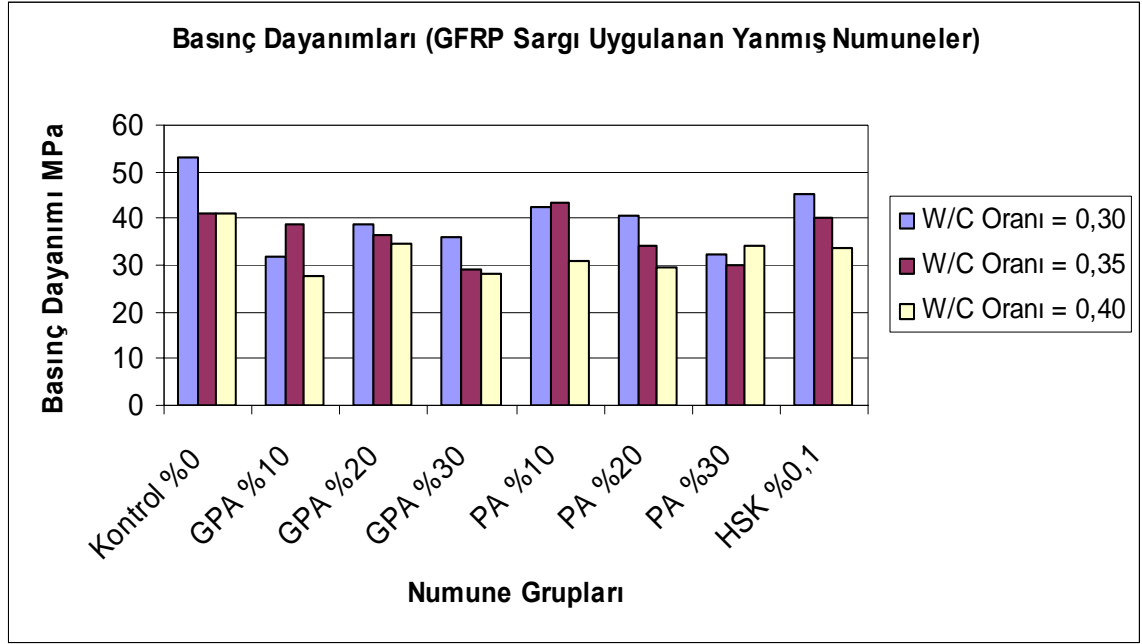
Mahsanlar (2006), yapmış olduğu çalışmadaki betonların mekanik özelliklerindeki değişimleri, bazı farklılıklara rağmen sıcaklık artışı ile dayanımların azalması şeklinde görmüştür. Arıöz (2007), yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki ağırlık kayıpları ölçmüş ve akabinde basınç dayanımı testine tabi tutmuştur.

Elde edilen sonuçlar; betonun maruz kaldığı sıcaklık arttıkça, betonun sahip olduğu rölatif dayanımında azaldığını göstermiştir. Yüksek sıcaklığın beton dayanımı üzerindeki etkisi dere agregası ile hazırlanan numunelerde daha belirgin olarak gözlenmiştir.

Yangın hasarı oluşan numuneler üzerinde iki onarım yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan ilki GFRP sargı yöntemidir. GFRP sargılama sonrası beton numunelerinde yaşanan dayanım değerleri Çizelge 4.11.'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Şekil 4.16.'de ise onarım sonrası her üç w/c oranına sahip numunelerin karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 4.11. GFRP uygulanmış numunelere ait basınç dayanımı test sonuçları

Katkı Türü	Kontrol	GPA			PA			HSK		
		%10	%20	%30	%10	%20	%30			
Basınç Dayanımı MPa		0,30	53,07	31,93	38,98	35,88	42,50	40,50	32,42	45,12
	w/c Oranı	0,35	41,19	38,65	36,27	28,96	43,22	33,99	29,93	40,37
		0,40	41,04	27,50	34,44	28,11	30,70	29,76	33,93	33,84
Hasarlı Numunelere Göre Gerçekleşen Artış %		0,30	434,98	348,46	695,51	997,25	435,94	640,40	942,44	424,04
	w/c Oranı	0,35	468,92	646,14	830,00	1187,11	610,86	655,33	891,06	569,49
		0,40	561,94	585,79	1130,00	1403,21	426,59	708,70	1381,66	520,92
Hasar Öncesi Numunelere Yaklaşma Oranı %		0,30	88,81	62,04	92,28	108,50	85,79	95,50	82,12	83,20
	w/c Oranı	0,35	78,20	85,00	99,51	104,51	99,22	92,77	90,70	87,97
		0,40	85,16	68,82	114,23	104,19	73,52	87,45	122,05	100,92



Şekil 4.16. GFRP uygulanmış numunelere ait basınç dayanımı grafiği

Çizelge 4.11. ve Şekil 4.16.'den de anlaşılacağı üzere, GFRP sargı yöntemi tüm numunelerde onarım, numunelerin bazılarında da hasarsız dayanım değerlerinin üstüne çıkarak güçlendirme gerçekleştirmiştir. Burada GFRP'nin basınç dayanımını geliştirmesindeki ana etken, GFRP sisteminin polyester reçine vasıtasıyla beton yüzeyine yapışarak ortak hareket etmesi ve sargı etkisi uygulamasıdır. Uygulamada kullanılan dokuma ürün çift yönlü dokunduğundan, cam elyafın hem eğilme hem de çekme dayanımından yararlanılmış olur.

Çizelge 4.11. incelendiğinde, GFRP uygulanmış numunelerden elde edilen dayanımın; hasarsız numunelerin, en az %78 oranında, w/c oranı 0,35 olan kontrol grubunda gerçekleştiği, bazı numune gruplarındaysa elde edilen basınç dayanımı değerinin hasarsız dayanımları da geçtiği görülmektedir. w/c oranı 0,35 için %109 ile %30 GPA grubunda, w/c oranı 0,35 için %105 ile yine aynı grupta, w/c oranı 0,40'da ise; %114 ile %20 GPA grubunda, %104 ile %30 GPA grubunda, %122 ile %30 PA grubunda ve %101 hasar öncesi dayanımlara yaklaşma oranı ile HSK grubunda, hasar öncesi basınç dayanımı değerleri geçilmiştir. Bu verilere dayanarak, söz konusu iyileştirme çalışması sonucunda onarım ve bunun yanında da güçlendirmenin gerçekleştirildiğini

söyleyebiliriz.

Kachlakev and McCurry (2000), yaptıkları çalışmanın sonucunda FRP ile güçlendirilen kiriş numunelerinin yükleme kapasitelerinde %150 düzeyinde artış gerçekleşmiştir. Papakonstantinou *et al.* (2001), GFRP sargı kirişin dayanımını ve rijitliğini artırarak donatı üzerindeki gerilmeyi de azatlığını tespit etmiştir.

(Prota *et al.* 2006). Elde ettiği test sonuçlarında, GFRP sargılama uygulamasının dayanımı ve düktiliteyi önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Almusallam (2007), GFRP sargı uygulaması yapıldığında, silindir numunelerin eksenel ve yanal dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir.

GFRP uygulanmış numuneler basınç dayanımı testine tabi tutulurken, numunenin kırılmasına yakın boyuna cam elyaflarda kırılma davranışı gözlenmiştir. Bu duruma kaynaklarda kırılması olarak geçmektedir. Cam elyaflar ani statik kuvvetlerin etkisindeki sabit yükler altında devamlı tutulduğunda, bir müddet sonra bazı noktalarda hasar görür. Buna sünme kırılması denir (Çelik 2001). Bu durum Şekil 4.17.'de daha açık bir şekilde görülebilir. Bu davranışın akabinde de numuneler kırılarak deney sürecini tamamlamıştır.



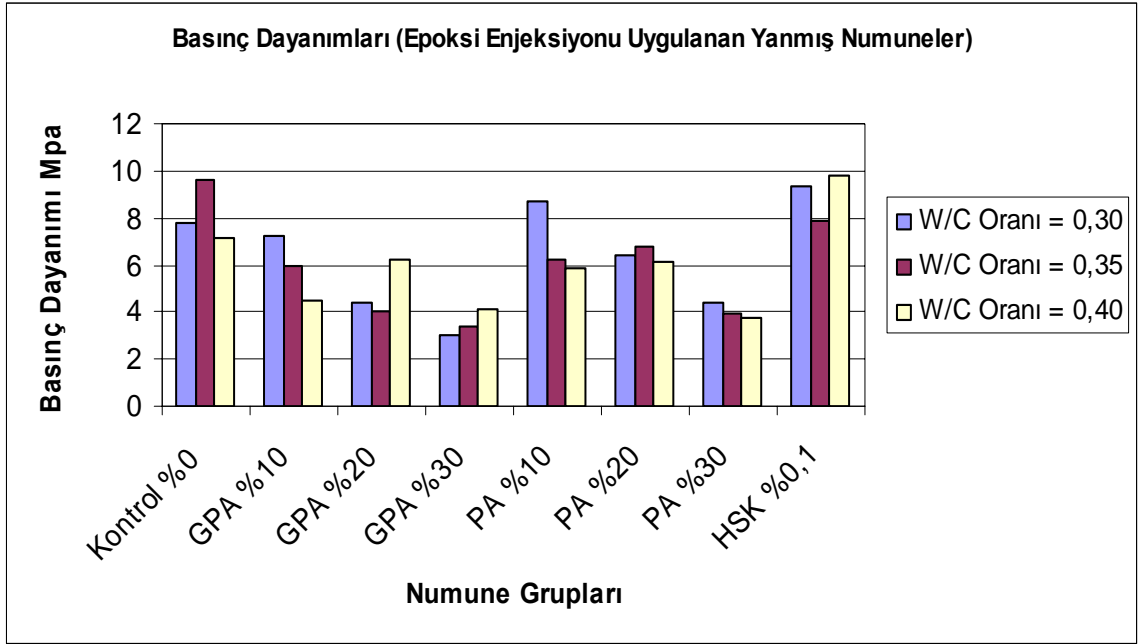
Şekil 4.17. GFRP uygulanmış numunelerde gerçekleşen sünme kırılması

Numuneler üzerinde uygulanan ikinci onarım yöntemi ise Epoksi Enjeksiyonu yöntemidir. Epoksi uygulanan numunelerde yalnızca onarım söz konusu olmuştur. Çünkü hasar öncesi numunelere yaklaşma oranı; en az w/c oranı 0,30 olan %30 GPA katkılı numune grubunda %9, en yüksek oran ise w/c oranı 0,40 olan HSK katkılı grupta %29 olarak gerçekleşmiştir. Hiçbir numune grubunda dayanım hasar öncesi dayanımın üstüne çıkmamıştır. Ayrıca numunelerin ağırlıkça epoksi emme miktarları incelendiğinde, söz konusu değerlerin çok düşük değerlerde kaldığı gözlenecektir. En düşük epoksi emme miktarı, %0,10 ile w/c oranı 0,35 olan %20 GPA katkılı grupta, en yükseği ise %0,63 ile w/c oranı 0,30 olan %20 PA katkılı numune grubunda ölçülmüştür. Bu durumun nedenleri Sonuçlar kısmında belirtilmiştir.

Epoksi enjeksiyonu uygulanmış numunelere ait bulgular Çizelge 4.12.'de verilmiş ve tüm numune grupları için basınç dayanımı sonuçları karşılaştırmalı grafikte Şekil 4.18.'de gösterilmiştir. Her üç w/c oranı için, elde edilen ağırlıkça epoksi emme oranları ise Şekil 4.19.'da verilmiştir.

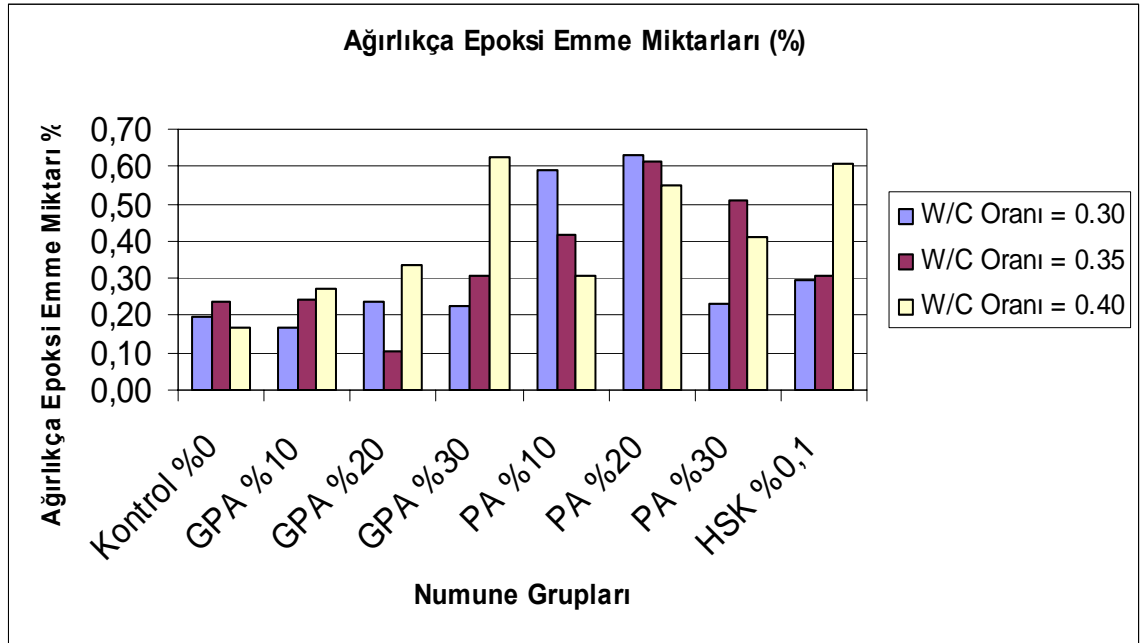
Issa and Debs (2007), çatlak hasarı oluşmuş numuneler üzerinde gerçekleştirdiği

çalışmada, beton numunelerdeki çatlakların basınç dayanımında %40,93'lere varan azalmalara sebep olduğunu tespit etmiştir. Söz konusu çatlaklara epoksi reçine uygulandığında ise bu azalma %8,23 seviyelerinde kalmıştır.



Şekil 4.18. Epoksi enjeksiyonu uygulanmış numunelere ait basınç dayanımı değerleri

Çizelge 4.12. incelendiğinde, bu yöntem sonucu elde edilen basınç dayanımı değerlerinin sadece onarım sınıfında gerçekleştiği görülecektir. Hasarlı numunelere göre gerçekleşen dayanım artışları GFRP uygulamasına göre çok düşük düzeyde kalmıştır. Hasar öncesi numune dayanımlarına yaklaşımlarda aynı şekilde çok düşüktür. Bu yaklaşım %20'leri geçmemektedir.



Şekil 4.19. Ağırlıkça epoksi emme miktarları (%)

Çizelge 4.12. Epoksi enjeksiyonu uygulanmış numunelere ait deney sonuçları

Katkı Türü	Kontrol	GPA			PA			HSK
		%10	%20	%30	%10	%20	%30	
Basınç Dayanımı MPa	0,30	7,75	7,26	4,40	3,01	8,74	6,40	%0,1
		9,64	5,98	4,00	3,39	6,21	6,75	9,36
		7,12	4,46	6,26	4,13	5,87	6,12	7,86
Hasarlı Numunelere Göre Gerçekleşen Artış %	0,30	-21,88	1,97	-10,20	-7,95	10,21	17,00	8,71
		33,15	15,44	2,56	50,67	2,14	50,00	30,35
		14,84	11,22	123,57	120,86	0,69	66,30	79,27
Hasar Öncesi Numunelere Yaklaşma Oranı %	0,30	12,97	14,11	10,42	9,10	17,64	15,09	17,26
		18,30	13,15	10,97	12,23	14,26	18,42	17,13
		14,77	11,16	20,76	15,31	14,06	17,98	29,14
Ağırlıkça Epoksi Emme Miktarı %	0,30	0,19	0,17	0,24	0,22	0,59	0,63	0,29
		0,24	0,24	0,10	0,31	0,41	0,61	0,31
		0,17	0,27	0,34	0,62	0,30	0,55	0,61

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler maddeler halinde şu şekilde özetlenerek sıralanabilir:

1. Beton karışımına katılan hafif agrega miktarı arttıkça; her üç w/c oranı içinde, çökme değerlerinde artış olmaktadır.
2. Tüm w/c oranlarında; kullanılan hafif agrega miktarı arttıkça ağırlıkça su emme oranı artmaktadır. Ağırlıkça su emme oranı w/c oranı artışına bağlı olarak artmaktadır.
3. Yangın sonrasında ağırlıkça su emme oranlarında artış görülmüştür. Ancak yangın öncesi su emme oranlarına göre yaşanan artışlar, karışımdaki hafif agrega miktarı arttıkça azalmaktadır.
4. Karışımdaki hafif agrega miktarı arttıkça, beton basınç dayanımında düşüş gözlemlenmektedir. Bu düşüş yangın öncesi ve sonrası içinde geçerlidir.
5. HSK katkılı numunelerde kontrol numunelerine göre düşüşler gözlenmiştir.
6. GFRP ile onarım sonrasında, yangın hasarı sonrası basınç dayanımlarına göre %348–1403 arasında artış gözlenmiştir. Söz konusu uygulama sonrası, hasar öncesi numunelerin basınç dayanımlarına göre %78–122 oranlarında değerler elde edilmiştir. Böylelikle onarımın yanında güçlendirme de gerçekleştirilmiştir.
7. Epoksi enjeksiyonu sonrasında, hasara uğramış numunelerin dayanım sonuçlarına göre %2–124 arasında artış yaşanmıştır. Elde edilen değerler GFRP ile onarım yöntemiyle karşılaştırıldığında yetersiz görülmüştür. Sebep olarak ta enjekte edilen epoksi miktarının yetersiz olması öngörülmektedir. Bu problem epoksi enjeksiyonunun daha yüksek basınçla gerçekleştirilmesi sonucu halledilebilecektir.
8. Yapılacak benzer çalışmalarda; GFRP uygulamasının çok katlı olarak uygulanması, GFRP onarımı sonrası betonun yangın dayanımının araştırılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- ACI, Committee 224, 1998. Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures.
- ACI, Committee 440, 2001. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures.
- Akman, S., Taşdemir, M.A., 1979. Ultrasonik ölçümlerde betonun dayanımının belirlenmesi. İTÜ Bülteni (1), 46-55.
- Akman, M. S., 2000. Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayınları, 177 s, İstanbul.
- Aköz, F. ve Yüzer, N., 1994. Yüksek Sıcaklığın Nedenleri ve Betonarme Elemanlara Etkileri. Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 3, 89-98.
- Aköz, F., Yüzer, N. ve Koral, S., 1995. Portland Çimentolu ve Silis Dumanı Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkileri, İMO Teknik Dergi, 6(1), 919-931.
- Aksöz, B., 1995. Yapı Hasarları ve Tamirat Metodları. Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Alçıçek, V., 2000. Yapı Hasarları ve Onarım Metotları. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Almusallam, T. H. and Al-Salloum, Y. A., 2007. Behaviour of FRP Strengthened Infill Walls under In-Plane Seismic Loading. Journal of Composites for Construction, May/June, 308-318.
- Almusallam, T. H., 2007. Behavior of normal and high-strength concrete cylinders confined with E-glass/epoxy composite laminates. Composites: Part B, 38, 629-639.
- Anonim, 1978. TS 3234, Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları. TSE, Ankara.
- Anonim, 1981. TS 3624, Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu. TSE, Ankara.
- Anonim, 1983. TS 1263, Yapı Elemanlarının Yanmaya Dayanıklılık Sınıfları ve Yanmaya Dayanıklılık Deney Metotları. TSE, Ankara.
- Anonim, 1985. TS 802, Beton Karışımı Hesap Esasları. TSE, Ankara.
- Anonim, 1986. TS 1114, Hafif agregalar - Bölüm 1: Beton, harç ve şerbette kullanım için TSE, Ankara.
- Anonim, 1988. TS 3114 ISO 4012, Beton-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini. TSE, Ankara.
- Anonim, 1999. TS 3530 EN 933-1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu. TSE, Ankara.
- Anonim, 2000. TS EN 1744-1, Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 1: Kimyasal Analiz. TSE, Ankara.
- Anonim, 2002. TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. TSE, Ankara.
- Anonim, 2002. TS EN 12350-2, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi. TSE, Ankara.
- Anonim, 2003. TS 706 EN 12620, Beton Agregaları. TSE, Ankara.

- Anonim, 2005. CE 266 N12 Teknik Föyü. Cam Elyaf Sanayi Resmi Web Sitesi, <http://www.camelyaf.com.tr/turkce/doc/polyester/ce266n12.pdf>
- Anonim, 2005. Cam Elyaf Dokuma Ürün Bilgi Föyü. Cam Elyaf Sanayi Resmi Web Sitesi, http://www.camelyaf.com.tr/turkce/doc/camelyaf/cam_dokuma.pdf, http://www.camelyaf.com.tr/turkce/soru_cevap/ce_diger_5.php.
- Anonim, 2007. Sikadur-31 Ürün Bilgi Föyü. Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. Resmi Web Sitesi, http://www.sika.com.tr/pdf/products/1193833449_tr.pdf.
- Anonim, 2007. Sikadur-52 Ürün Bilgi Föyü. Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. Resmi Web Sitesi, http://www.sika.com.tr/pdf/products/1171631794_tr.pdf.
- Antoniades, K. K., Salonikios, T. N. and Kaposs, A. J., 2005. Test on seismically Damaged Reinforced Concrete Walls Repaired and Strengthened Using Fiber-Reinforced Polymers. *Journal of Composites for Construction*, May/June, 236-246.
- Arıöz, O., 2007. Effects of elevated temperatures on properties of concrete. *Fire Safety Journal*, 42, 516-522.
- Baradan, B., Yazıcı H. ve Ün H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın no 298, 282s, İzmir.
- Bayülke, N., 1995. Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını, 313s, İzmir.
- CEB, Bulletin D'Information, 1991. Fire Design of Concrete Structures. Lausanne.
- Cioni, P., Croce, P. and Salvatore, W., 2001. Assessing Fire Damage to R.C. Elements, *Fire Safety Journal*, 36, 181-199.
- Cülfik, M.S. ve Özturan, T., 2002. Effect of Elevated Temperatures on the Residual Mechanical Properties of High-Performance Mortar, Cement and Concrete Research, 32, 809-816.
- Çelik, A., 2001. Fiber Takviyeli Polimerler ve Mühendislik Yapılarında Kullanım Alanları. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Çetinkaya, N., 2002. Betonarme Yapı Elemanlarının Frp Malzemelerle Onarım ve Güçlendirilmesi, Y. Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Demirboğa, R., 1999. Silis dumanı ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif betonun özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Dörttepe, U., 2001. Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi. Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dursun, Ö. F., Türk, K. ve Yıldırım, M. Ş., 2005. Beton Harcının Dayanım ve Dona Dayanıklılığının İyileştirilmesi İçin Farklı Tür Puzolan Kullanımı. *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der.* 17 (3), 481-486.
- Ersoy, H.Y., 2001. Kompozit Malzeme. Literatür Yayınları, 348s, İstanbul.
- Issa, C. A. and Debs, P., 2007. Experimental study of epoxy repairing of cracks in concrete, *Construction and Building Materials*, 21, 157-163.
- Kachlakev, D. and McCurry, D. D., 2000. Behavior of full-scale reinforced concrete beams retrofitted for shear and flexural with FRP laminates, *Composites: Part B*, 31, 445-452.

- Kadiroğlu, İ., 2004. Kendiliğinden Yerleşen Normal Dayanımlı Hafif Beton Üzerine Deneysel Bir Çalışma. BETON 2004, Hazır Beton Kongresi, İstanbul.
- Karakoç M. Burhan, 2004. Genleştirilmiş Perlit Agregasının Yüksek Dayanımlı Betonların Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkileri. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Keskin, E., 2005. Betonarme Yapıların Onarımı, Güçlendirilmesi ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler. Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kumutha, R., Vaidyanathan, R. and Palanichamy, M. S., 2007. Behaviour of reinforced concrete rectangular columns strengthened using GFRP. *Cement & Concrete Composites*, 29, 609-615.
- Li, M., Qian, C. and Sun, W., 2004. Mechanical Properties of High-Strength Concrete After Fire. *Cement and Concrete Research*, 34, 1001-1005.
- Mahsanlar, N., 2006. Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışı. Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mailvaganam, N. P., 1992. Repair and Protection of Concrete Structures. CRC Press, 473p, USA.
- Murlin, J.A., Willson, C., 1952. Field Practice in Light-weight Concrete. *ACI Journal, Proceedings*, 49(1), 21-36.
- Neville, A.M., 2000. Properties of Concrete. Fourth Edition, Longman Scientific and Technical, 864p, New York.
- Papakonstantinou, C. G., Petrou, M. F. and Harries, K. A., 2001. Fatigue Behavior of RC Beams Strengthened with GFRP Sheets. *Journal of Composites for Construction*, November, 246-253.
- Postacıoğlu, B., 1975. Yapı malzemesi dersleri. İTÜ, İnşaat Fakültesi Yayını, C. 2, İstanbul.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, 404s, İstanbul.
- Prota, A., Manfredi, G. and Cosenza, E., 2006. Ultimate behavior of axially loaded RC wall-like columns confined with GFRP. *Composites: Part B*, 37, 670-678.
- Riley, M.A., 1991. Possible New Method for the Assessment of Fire Damaged Concrete. *Magazine of Concrete Research*, 43, 87-92.
- Sancak, E. ve Şimşek, O., 2006. Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 21, No 3, 443-450.
- Sava, A., Manita, P. and Sideris, K.K., 2005. Influence of Elevated Temperatures on the Mechanical Properties of Blended Cement Concretes Prepared with Limestone and Siliceous Aggregates, *Cement & Concrete Composites*, 27, 239-248.
- Shash, A. A., 2005. Repair of concrete beams-a case study. *Construction and Building Materials*, 19, 75-79.
- Shoaib, M.M., Ahmed, S.A. and Balaha, M.M., 2001. Effect of Fire and Cooling Mode on the Properties of Slag Mortars, *Cement and Concrete Research*, 31, 1533-1538.
- Sipahioğlu, M., 2006. Betonarme Binaların Fiber Takviyeli Polimer Sistemi İle Onarım ve Güçlendirilmesi. Y. Lisans Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

- Stratford, T., Pascale, G., Manfroni, O. And Bonfiglioli, B., 2004. Shear Strengthening Masonry Panels with Sheet Glass-Fiber Reinforced Polymer. *Journal of Composites for Construction*, September/October, 434-443.
- Şahin, R., Demirboğa, R., Uysal, H., Gül, R., 2003. The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on the compressive strength and densities of concrete. *Cem. and Conc. Res.*, (33),1245-1249.
- Topçu, İ.B. ve Canbaz, M., 2004. Silis Dumanlı Betonlarda Donma Çözülme Etkisinin İncelenmesi. *BETON 2004, Hazır Beton Kongresi, İstanbul*.
- Turgutalp, Ü., 1978. Sarıkamış yöresi doğal hafif agregasıyla üretilen betonların tarımsal yapılarda kullanılabilme olanakları üzerine bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doçentlik Tezi, Erzurum*.
- Uyan, M., Pekmezci B. V. ve Yıldırım H., 2003. Akışkanlaştırıcı katkı ve kür koşullarının betonun geçirimsizlik özellikleri üzerindeki etkileri 10-12, İstanbul.
- Uzel, O., 1998. Hasarlı Yapı Onarımı. Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, B., 2006. Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi / Güçlendirmenin Ekonomik Olmaması Durumunda Patlayıcı Madde Kullanılarak Yıkılması. Y. Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Akif KAYGUSUZ 1984’de Erzurum’da doğdu. 1994 yılında Erzurum Kültür Kurumu İlköğretim Okulundan mezun oldu. Ortaokul ve lise eğitimini 2001 yılında mezun olduğu Erzurum Anadolu Lisesinde tamamladı. 2006 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra girdiği KPSS sonucunda DSİ 8. Bölge Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı. 2006 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yapmaya hak kazandı. Halen İnşaat Mühendisliği görevini DSİ 8. Bölge Müdürlüğünde sürdürmektedir.