

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ KALAN BETONLARIN CAM
ELYAF TAKVİYELİ POLİMER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

KÜBRA ÇETİNTAŞ

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ KALAN BETONLARIN CAM
ELYAF TAKVİYELİ POLİMER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

KÜBRA ÇETİNTAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Adnan ÖNER
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Serkan ENGİN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZGÜR
Jüri Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.01.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

(İmza)

Kübra ÇETİNTAŞ

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

(İmza)

Kübra ÇETİNTAŞ

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Y.lisans çalışmam boyunca yanımda olup desteği ile yardımını eksik etmeyen kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Adnan ÖNER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca bilgi ve desteğini esirgemeyen Dr. Onur ÖZTÜRK'e, deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Ömer Faruk BEHÇET, Rishad AZİZİ, Ayşegül DAĞDEVİREN'e ve numunelerin hazırlanmasında yardım eden kuzenim Mustafa ÇETİNTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Meslek de ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca bilgisiyle çalışmamın her kademesinde fikrini aldığım iş arkadaşım, abim İnşaat Mühendisi Kamil KAPTAN'a teşekkürümü sunuyorum.

Yaşamım süresince yanımda olup, güvenlerini esirgemeyen babam Ramazan ÇETİNTAŞ'a, annem Meryem ÇETİNTAŞ'a, kardeşim Büşra YETİM'e teşekkür edip saygılarımı sunarım.

Mart – 2023

Kübra ÇETİNTAŞ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1.GİRİŞ.....	1
2.YAPILARDA OLUŞAN HASAR VE SEBEPLERİ	6
2.1.Yangındaki Hasar	7
2.1.1. Yüksek Sıcaklıkta Beton Üzerinde Etkisi.....	7
2.1.1.1. Fiziksel Özelliklere Etkisi	9
2.1.1.2. Mekanik Özelliklere Etkisi.....	9
2.1.1.3. Yüksek Sıcaklığın Betonun Rengine Etkileri.....	9
2.1.1.4. Yüksek Sıcaklığın Betonun Davranışına Etkileri.....	9
3. ONARIM VE GÜÇLENDİRME.....	11
3.1. Onarım ve Güçlendirme ile Sağlanması Gerekli Şartlar.....	12
3.2. Betonarme Binaların Güçlendirilmesi	15
3.3. FRP ile Onarım Güçlendirme	16
3.3.1. Kompozitler	17
3.3.2. Reçineler	18
3.3.3. Fiber Takviyeli Polimerler	18
3.4. FRP Çeşitleri ve Genel Özellikleri	19
3.4.1. Aramid Lifler	20
3.4.2. Karbon Lifler	21
3.4.3. Bazalt Lifler	22
3.4.4. Cam Lifler.....	23
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	25
5. DENEY ÇALIŞMASI.....	28
5.1. Kullanılan Malzemeler	28
5.1.1. Agregat.....	28
5.1.2. Çimento.....	29
5.1.3. Su	30
5.1.4. GFRP	30
5.1.5. Epoksi	31
5.1.6. Gerinim Ölçer (Strain Gauge).....	32
5.2. Kullanılan Aletler	33
5.2.1. Hassas - Elektronik Terazileri	33
5.2.2. Beton Mikseri	33
5.2.3. Slump Huni.....	34
5.2.4. Silindir Kalıplar	34
5.2.5. Kür Havuzu.....	35
5.2.6. Çelik Kafes ve Yüksek Sıcaklık Fırını	35
5.2.7. Eritme Potu ve Havalandırma.....	36

5.2.8. Beton Basınç Presi	37
5.2.9. Deformasyon Ölçüm Kafesi	37
5.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	38
5.4. Deney Yöntemleri.....	44
6. DENEY SONUÇLARI.....	46
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR.....	53
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	59



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Standart yangın karakteristik eğrileri	8
Şekil 2.2. Betonun bağıl basınç dayanımı	8
Şekil 3.1. Sünek eleman davranışlarının karşılaştırılması	13
Şekil 3.2. Güçlendirme öncesindeki durum ve sonrasındaki hedeflenen simetrik yapı	14
Şekil 3.3. Kompozit malzemelerin üretim şeması	18
Şekil 3.4. Karbon lifli kompozit malzeme	18
Şekil 3.5. Kumaş dokuma çeşitleri	20
Şekil 3.6. Aramid lif örnek	21
Şekil 3.7. Karbon lif örnek	22
Şekil 3.8. Bazalt lif örnek	23
Şekil 3.9. Cam lif örnek	24
Şekil 5.1. Deneyde kullanılan (a) kırmataş (b) doğal kum	28
Şekil 5.2. Hesaplanan granülometri eğrisi	29
Şekil 5.3. Deneyde kullanılan çimento	30
Şekil 5.4. Deneyde kullanılmış olan GFRP	31
Şekil 5.5. Deneyde kullanılış olan gerinim ölçer	32
Şekil 5.6. Deneyde kullanılan (a) hassas terazi (b) elektronik terazi	33
Şekil 5.7. Deneyde kullanılan beton mikseri	34
Şekil 5.8. Slump hunisi	34
Şekil 5.9. Silindir kalıp	35
Şekil 5.10. Kür havuzu	35
Şekil 5.11. Deneyde kullanılan (a) çelik kafes (b) yüksek sıcaklık fırını	36
Şekil 5.12. Eritme potu ve havalandırma	36
Şekil 5.13. Beton basınç presisi	37
Şekil 5.14. Deformasyon ölçüm kafesi	37
Şekil 5.15. Beton numune kalıp hazırlığı	38
Şekil 5.16. Slump deneyi	39
Şekil 5.17. Silindir kalıplara beton dökümü	39
Şekil 5.18. Numunelerin bekletilmesi	40
Şekil 5.19. Betonun kuru	40
Şekil 5.20. Yüksek sıcaklık deneyi	41
Şekil 5.21. GFRP malzeme hazırlığı	42
Şekil 5.22. GFRP sarılması	42
Şekil 5.23. Tek kat ve iki kat GFRP sarılması	43
Şekil 5.24. Kükürt başlık yapılması	43
Şekil 5.25. Ölçüm ekipmanı	44
Şekil 5.26. Deneydeki düzenek	45
Şekil 6.1. Kırılma modları (a) sargısız (b) tek kat sargılı (c) iki kat sargılı	46
Şekil 6.2. 20 °C Gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	48
Şekil 6.3. 300 °C Gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	48
Şekil 6.4. 500 °C Gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	49
Şekil 6.5. 700 °C Gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	49
Şekil 6.6. Sıcaklık değişiminin sargısız numunelerin basınç dayanımı üzerindeki etkisi	49
Şekil 6.7. Sargı katman sayısının rölatif basınç dayanımı üzerine etkisi	50

Şekil 6.8. Sıcaklık değişiminin (a) aksel deformasyon (b) yanal deformasyon üzerindeki etkisi.....	51
--	----



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Liflerin türlerinin malzeme nitelikleri.....	20
Tablo 3.2. Cam elyaf türlerinin tipik özellikleri.....	24
Tablo 5.1. Deneydeki agreganın elek analiz sonucu	28
Tablo 5.2. Deneydeki agreganın fiziksel özelliği	29
Tablo 5.3. Kullanılan çimentonun kimyasal ile fiziksel özelliği.....	30
Tablo 5.4. Kullanılan suyun özellikleri	30
Tablo 5.5. Kullanılan GFRP özelliği	31
Tablo 5.6. Kullanılan epoksi özelliği	32
Tablo 5.7. Kullanılan gerinim ölçer özellikleri	33
Tablo 5.8. 1 m ³ portland çimentosu betonun karışımındaki oranları	38
Tablo 6.1. Deneyden elde edilmiş sonuçlar.....	47



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum Hidroksit
CSH	: Kalsiyum Silika Hidrat
Fe	: Demir
Fe ₂ O ₃	: Demir Trioksit
GPa	: Gigapaskal
gr	: Gram
MgO	: Magnezyum Oksit
mm	: Milimetre
µm	: Mikrometre
MPa	: Megapaskal
Mn	: Mangan
Nit	: Nitrat
NH ₄ ⁺	: Amonyum
N/ mm ²	: Newton/milimetrekare
SO ₃	: Kükürt Trioksit
SiO ₂	: Silisyum Dioksit
t	: Ton

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Polymer (Karbon Elyaf Takviyeli Polimer)
FRP	: Fiber Reinforced Polymer (Lif Takviyeli Polimer)
GFRP	: Glass Fiber Reinforced Polymer (Cam Elyaf Takviyeli Polimer)
PVC	: Poly Vinyl Chloride (Polivinil Klorür)
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ KALAN BETONLARIN CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Betonarme yapıların ömürleri boyunca karşılaştıkları doğal afetler sonrasında yapılarda meydana gelen hasarların belirlenmesi ve onarılması yapıların kullanılabilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Betonarme yapıların maruz kalacakları yangın etkisi sonrasında kaybettikleri performans seviyesine tekrar geri dönebilmesi için güçlendirmede lif takviyeli polimer (FRP) kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu nedenle yangında hasar görmüş düşük dayanımlı betonların cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) ile sargılanarak güçlendirilmesi durumunda mekanik davranışlarının incelenmesi bu deneysel çalışmada amaçlanmıştır. Mevcut yapıların basınç dayanım değerlerini temsil etmesi amacıyla, yönetmeliklerde belirtilen minimum hazır beton dayanım sınıfının altında beton dayanımı seçilmiştir. Hazırlanan numunelerin yangın etkisini temsil etmesi amacıyla 2 saat süreyle 300 °C, 500 °C, 700 °C sıcaklığa maruz bırakılarak hasar alması sağlanmıştır. Bu numunelere GFRP kullanılarak tek ve iki katlı sargılamayla güçlendirme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sargılanmış ve sargılanmamış numunelerde basınç dayanımı deneyleri yapılırken yanıl ve eksenel deformasyon değişimleri belirlenmiştir. Sargısız numunelerde basınç dayanımı kaybı 300°C sıcaklıkta bekletilen numunelerde %10, 700°C'deki numunelerde %65 oranına kadar arttığı belirlenmiştir. İki kat GFRP sargılama sonrası 700°C'de sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerin almış olduğu hasar sonrasında belirlenen basınç dayanımı değerine oranla yaklaşık olarak %375 oranında artış elde edilmiştir. Yangında alınan hasar seviyesi arttıkça basınç dayanımında önemli oranda düşüş meydana geldiği ve bunun sonucu olarak uygulanan GFRP sargılamanın etkinliğinin daha da arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Basınç Dayanımı, GFRP, Güçlendirme, Yüksek Sıcaklık.

STRENGTHENING CONCRETES EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES WITH GLASS FIBER REINFORCED POLYMER

ABSTRACT

Determining repairing the damages that occur structures after the natural disasters that the reinforced concrete structures will encounter during their lifetime are of great importance in terms of the usability structures. The use of fiber-reinforced polymer (FRP) in reinforcement has become quite widespread so that reinforced concrete structures can return performance level they lost after the fire effect they will be exposed. This reason, experimental study, it was aimed to examine mechanical behavior of low-strength concretes damaged fire by wrapping with glass fiber reinforced polymer (GFRP). In order represent the compressive strength values of the existing structures, concrete strength below the minimum ready mixed concrete strength class specified regulations was chosen. In order to represent the fire effect, prepared samples were exposed to 300 °C, 500 °C, 700 °C temperatures for 2 hours and damaged. These samples were strengthened single and double wrapping using GFRP. Lateral and axial deformation changes were determined while performing compressive strength tests on the wrapped and unwrapped samples. It was determined that the compressive strength loss in unwrapped samples increased by 10% in samples kept at 300°C and to 65% in samples at 700°C. After two layers GFRP wrapping, an increase approximately 375% was obtained compared the compressive strength value determined after the damage of the samples exposed to effect of temperature at 700°C. It was observed that level damage in the fire increased, there was a significant decrease in the compressive strength and as a result, the effectiveness applied GFRP wrapping increased more.

Keywords: Compressive Strength, GFRP, Strengthening, High Temperature.

1. GİRİŞ

Afet ; “insanlar ve insan yerleşmeleri üzerinde fiziksel, ekonomik, sosyal ve çevresel kayıplara neden olan, normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen doğal, teknolojik ve insan kökenli olayların sonuçları” olarak tanımlanmıştır (Ergünay, 2007). Toplumlar üzerinde olumsuz yönde etki gösteren yangınlar, afet tanımında yer alan “insan kökenli” açıklamasına uyması nedeniyle afet olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca deprem, sel, fırtına ve toprak kayması gibi doğal afetlerden sonra da meydana gelmesi ihtimaliyle doğal afet sonrası oluşan hasarlar konusunda önemli rol de oynamaktadır (Öztürk ve diğ., 2016).

Doğal afet sonrası meydana gelen yangınlara en önemli örnek 1923 yılında yaşanan Kanto-Japonya depremi sonrası meydana gelen yangınlar gösterilebilir. Deprem sonrası Kanto ile birlikte Tokyo, Kanagawa, Saitama, Chiba, İbaraki, Shizuoka ile Yamanashi bölgelerinin tamamında deprem sonrası çıkan yangınlarda yapıların yaklaşık %40’ında hasar meydana gelmiştir (Imaizumi ve diğ., 2012). Kocaeli 1999 depremi sonrasında Körfez rafinerisinde meydana gelen yangın da doğal afet sonrası meydana gelen yangınlara verilebilecek örnekler arasında yerini almıştır (Young ve diğ., 2004). Sadece İstanbul’da insan kökenli meydana gelen yapısal yangınların (orman yangınları hariç) sayısının 2013-2017 yılları aralığında toplam 71,252 adet olduğu bilinmektedir. Bu yangınların betonarme, çelik ve karma sistemlere sahip olan konut, fabrika ve diğer binalarda meydana gelmiş kayıtlı afetlerdir (Bakırcı ve diğ., 2019). Yangınların oluşmasını ve büyümesini önlemek, afet sonrası normal yaşamın devamlılığını sağlamak için uygun güçlendirme yöntemleri kullanılarak binalarda meydana gelen yangınların verdiği zararın giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan çimento esaslı beton dayanımını etkileyen faktörler malzeme özellikleri ve çevresel etkiler olarak iki ana başlık altında incelenebilir. Agregat özellikleri, çimento harcı, agrega-çimento harcı aderansı ve bu bileşenlerin termal uyumlulukları sıcaklık etkisinde dayanıma etki eden malzeme özellikleri olarak tanımlanabilir. Diğer taraftan sıcaklık, yangına maruz kalma süresi, soğuma hızı, tipi ve nem durumu ısıl dayanım üzerinde etkin olan çevresel etkilerdir. Betonun malzeme özellikleri, çevresel etkileri ve yüksek sıcaklık dayanımı belirlenmekle birlikte, çimento esaslı beton ve harçlarda sıcaklık değişimi ile meydana gelen iç yapı değişiklikleri basınç dayanımı kaybının ana

kaynağıdır (Aydın ve Baradan, 2007; Khoury, 1992). Sıcaklık 300°C'ye vardığında kalsiyum silika hidrat (CSH) ara katmanındaki su buharlaşır. Yaklaşık olarak bu sıcaklık seviyesinde kalsiyum hidroksitin olduğu bölgelerde ilk mikro çatlaklar görülmeye başlanır. Bu çatlakları yaklaşık 400°C civarında hidrate olmamış çimento taneciklerinin olduğu bölgelerdeki çatlaklar izler. 400-600°C aralığındaki yüksek sıcaklık seviyelerinde sertleşmiş çimento harç fazında bir seri reaksiyonlar meydana gelir. Buradaki reaksiyon, gözenek düzeninin tam kurumayla başlayıp, hidrasyonun ayrılması ve CSH' ın yok edilmesi ile devam eder (Rostasy, 1980). Bu süreç çok ciddi çatlak oluşumu, bozunma ve basınç dayanımı kayıplarına neden olabilmektedir.

Yüksek sıcaklıkların çimento bazlı beton ve harçların basınç dayanımı üzerine etkileri birçok araştırmacı tarafından oldukça detaylı deneysel çalışmalar ile araştırılmıştır (Kodur, 2014). Literatürden elde edilen ortak bilgi, yüksek sıcaklığa maruz betonlarda basınç dayanımlarının büyük oranda kaybedildiğidir. Agregâ özelliklerinin, puzolan kullanımının, yüksek dayanımlı betonların ve beton içerisinde kullanılan liflerin yüksek sıcaklık altına basınç dayanımı üzerine etkisi hakkında ayrıca literatürde yapılmış deneysel çalışmalar da bulunmaktadır (Türker ve diğ., 2001; Poon ve diğ., 2001; Kodur ve Khaliq, 2011; Noumowe, 2005). Literatürde bulunan bu çalışmaların amacı yeni yapılacak yüksek oranda yangın riskine maruz kalabilecek olan betonarme yapılarda kullanılan betonların yangın hasarlarının minimize edilmesi için tasarım kriterlerinin düzenlenmesi ve bu kriterler göz önünde bulundurarak yeni yapılacak yapıların güvenliğinin sağlanması esasına dayanmaktadır. 2007 yılında, ponza ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan çimento esaslı harçların yüksek sıcaklık davranışlarının belirlenmesi amacıyla Aydın ve Baradan tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışmada; en iyi sıcaklık direnci gösteren numunelerinin referans numune (20°C) ile karşılaştırdıklarında dayanım kaybı olmadığını belirlemişlerdir. Yeni yapılacak yapılar için hazırlanacak beton karışımlarında literatürde yer alan karışım kriterleri kullanılarak yangın hasarlarının azaltılabileceği biliniyor olsa da bu durum yangın riski ile yüz yüze olan mevcut yapıların yangın hasarlarının önlenmesinde geçerli bir çözüm olmamaktadır. Yangın hasarı almış ve kapasite kaybına uğramış mevcut betonarme yapıların geçerli güçlendirme teknikleri uygulanarak güçlendirilmesi gerekmektedir (Aydın ve Baradan 2007).

Hızlı ve ekonomik olması nedeniyle mevcut yapıların güçlendirilmesi için FRP'nin kullanılması yakın yıllarda oldukça artmıştır. Özellikle 1980'lerden itibaren cam ve karbon FRP ile gerçekleştirilen güçlendirme uygulamaları ile ilgili deneysel çalışmalar üzerinde oldukça durulmaktadır (Oliveira ve diğ., 2018). Yangın hasarlarının giderilmesi amacıyla karbon elyaf takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirme yapılarak mekanik özellikler üzerindeki etkisinin araştırıldığı deneysel bir çalışma Bisby vd. tarafından 2011 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 20, 300, 500 ve 700°C sıcaklık değerlerine 2 ve 3 saat süre ile maruz bırakılan 30 MPa dayanımına sahip betonların basınç dayanımı, eksenel ve yanal deformasyon değişimleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda şiddetli yangın hasarına maruz kalan betonların CFRP ile güçlendirme sonrasında yük taşıma kapasinde çok önemli artış sağlandığı belirtilmiştir (Bisby ve diğ.,2011).

FRP malzeme ile güçlendirilen dairesel, dikdörtgen, kare kesitli dayanımı düşük betonarme elemanlar eksen doğrultusundaki basınç gerilmelerine maruz kaldığındaki Peker tarafından 2005 yılında araştırılmıştır. Çalışma kapsamında FRP sargının kalınlığı, kesit şekli, yüklemenin türü, köşe yarıçapları, değişik sargının şekli, ön hasar durumu ve verimlilik arttıran detaylı incelenmiştir. Deney neticesinde, FRP malzemelerin dikey taşıyıcı elemanların enine yönde sarılmasının basınç dayanımını, deformasyon gücünü arttırdığı ve boyuna donatının burkulması yüksek deformasyonlara kadar ertelediği gözlenmiştir (Peker, 2005).

Literatürde yer alan ve Abadel vd. tarafından 2022 yılında yapılan bir başka deneysel çalışmada ise ısınma ve soğutma etkisinde kalan lifli betonların GFRP kullanılarak güçlendirilmesinin araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için 30 ve 60 MPa hedef dayanım değerine sahip çelik, polipropilen ve hibrit (çelik+polipropilen) lifli betonlar 400°C sıcaklık etkisine maruz bırakılarak hasar almaları sağlanmıştır. Yüksek sıcaklık hasarı alan beton numuneler GFRP sargılama yapılarak güçlendirilmiştir. Deney sonucunda havada soğumaya maruz kalan yüksek sıcaklık hasarı almış olan numunelerin basınç dayanımı kapasitelerinin %39-56 aralığında artış olduğu gözlenmiştir (Abadel ve diğ. 2022). Ootom ve diğ. tarafından GFRP sarma sisteminin sargı etkisinin, dolgu malzemesinin özelliklerinden oldukça etkilendiğini göstermiştir. Basınç dayanımı ve elastisite modülü, GFRP sargısına bağlı olarak beton dolgusu için

sırasıyla % 149 ve % 77, harç dolgusu için sırasıyla % 40 ve % 72 artarken, sarılmış epoksi dolgusunda ihmal edilebilir sargılama verimliliği gözlenmiştir (Otoom ve diğ., 2021).

Natarajan ve Selvan tarafından GFRP kaplamaların altyapı uygulamalarında kullanım için daha iyi bir seçenek olduğu kanıtlayarak referans geleneksel beton kolonlarla karşılaştırıldığında, tek ve çift katmanlı GFRP sarılı beton kolonların mukavemetinde daha fazla bir gelişme göstermiştir (Natarajan ve Selvan, 2021).

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde ağırlıklı olarak normal, yüksek ve ultra yüksek dayanımlı betonlar ile lif takviyeli betonlar gibi yeni yapılacak betonarme yapıların yangın riski altında yük taşıma kapasitelerini koruyacak ve/veya güçlendirecek deneysel çalışmaların ağırlıkta olduğu görülmektedir. Ancak ülkemizdeki mevcut yapı stoğuna ait beton dayanım sınıflarının TBDY’de tanımlanmış olan minimum beton sınıfı değerleri (C25/30) düşük olması, düşük dayanımlı betonların yangın sonrasında kapasite değişimlerinin önemini ortaya koymaktadır. Beyaz ve Livaoğlu tarafından Bursa ilinde 1954-2004 yılları arasında yapılmış olan 500 farklı betonarme binadan alınmış olan karot numune sonuçlarının değerlendirilmiş olduğu çalışma incelendiğinde en düşük ve en yüksek dayanım değerinin sırasıyla 3,99 ve 27,93 MPa olduğu, 500 adet binanın ortalama dayanım değerinin ise 12,71 MPa olduğu belirtilmiştir. Koçak tarafından Antalya bölgesi için yapılan benzer bir çalışmada 142 adet binadan alınan karot sonuçları üzerinde gerçekleştirilmiştir. 1962-1965, 1976-1998 yılları arasında ve 1998 sonrası yapılmış olan yapılardan alınan karot sonuçlarının sırasıyla C10, C12 ve C16 dayanım sınıflarını sağlamadığı belirtilmiştir (Beyaz ve Livaoğlu, 2019)

Türkiye’de mevcut yapıların basınç dayanımlarının düşük olması ve son yıllarda FRP kullanılarak hızlı ve ekonomik güçlendirme uygulamalarının yaygınlaşması nedeniyle yangın hasarı alan düşük dayanımlı betonların GFRP kullanılarak güçlendirildikten sonraki gerilme-deformasyon ilişkilerinin incelenmesi amacıyla bu deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Yangın etkisini temsil etmesi amacıyla sabit 2 saat süre ile referans numuneler hariç tüm numuneler 300 °C, 500 °C ile 700 °C sıcaklıktaki değerlere maruz bırakılarak hasar alması sağlanmıştır. Yüksek sıcaklık etkisiyle hasar alan numuneler GFRP kullanılarak tek kat ve iki katlı sargılama işlemi ile güçlendirme uygulaması

gerçekleştirilmiştir. Sargılanmış ve sargılanmamış numunelerde basınç dayanımı deneyleri yapılırken yanal ve eksenel deformasyon değişimleri de belirlenmiştir.



2. YAPILARDA OLUŞAN HASAR VE SEBEPLERİ

Fiziksel, mekanik veya kimyasal etkiler nedeniyle yapılarda farklı tipte hasarlar meydana gelebilir. Bunlar şiddetlerine göre; hasara neden olan faktörlere göre mekanik ve fizikokimyasal hasarlar, görülme sıklığına göre ani ve uzun süreli hasarlar olarak sınıflandırılır (Kaygusuz, 2008).

Betonarme yapılarda meydana gelen hasarların asıl nedenini belirlemek için bir metod ortaya çıkarılmıştır. Metodun özü elimine olup zararı oluşturabilecek sebepleri yöntemli şekilde ortadan kaldırmak ve esas sebeplere ulaşmaktır. Aşamalar şu şekildedir:

- Projedeki hatalara bakmak
- Bariz hasar nedenini ortadan kaldırmak
- Gelişmiş ve ayrıntılı incelemeler yapmak
- Mevcut olan bilgileri yorumlamak
- Birleşim (Akman, 2000).

Binalarda oluşan hasar çeşitleri, aşağıdaki gösterildiği şekilde aniden ya da devamlı olan tesirlerden kaynaklanıyor olabilmektedir.

- Jeolojik faktörler: Depremler, seller, çökme, göçük, yıldırımlar, çığlar, don olayı, heyelanlar, erozyonlar, kasırgalar, gelgitler
- Hava koşullarıyla ilgili faktörler: Sıcak ve soğuk arasındaki ayrımlar, büzülme ile genleşmenin devamlı tekrarı, nemin derecesi, ısınma durumları
- Fiziksel faktörler: Darbe, fazla yük, patlamanın olması, yangın
- Kimyasal faktörler: Pas olayı, bozulma, tuzlar, bazlar ve asitler gibi yapı elemanlarının tahrip olması
- Biyolojik faktörler: Mantar, liken, küf, toprak ve su yosunu, tohumların çatlaklara kaçması, bitkilerin köklerinin zararı
- İnsan kaynaklı faktörler: Uygun olmayan bakım ve önlemleri, kötüye kullanım, etrafta yapılan bayındır işleri, kazıklı yapılan çalışmalar, yanlış kazı işlemleri
- Yapının konumu ile ilgili faktörler: Yapıdaki değişik temellerin oturması, zemindeki hareketler (Kaygusuz, 2008).

2.1.Yangındaki Hasar

Yanma; yakıtın oksijen ile hızlıca olan reaksiyonudur ve sonucunda ortaya çıkan depolanan enerjinin ısı enerji gibi dönüştüğü kimyasal olaya denir. Böylece bu aşamada açığa çıkmış enerjinin, çoğunlukla sıcak gaz biçiminde olmasına karşın, az miktarda ışık, serbest iyon-elektron ve ses enerjileri olarak da karşımıza çıkar. Yanmanın yanan moleküllerin oksijenle kimyasal yanması, yanma yerindeki reaksiyonun şiddeti ve oksijenin oranı ile ilişkilidir (Mahsanlar, 2006).

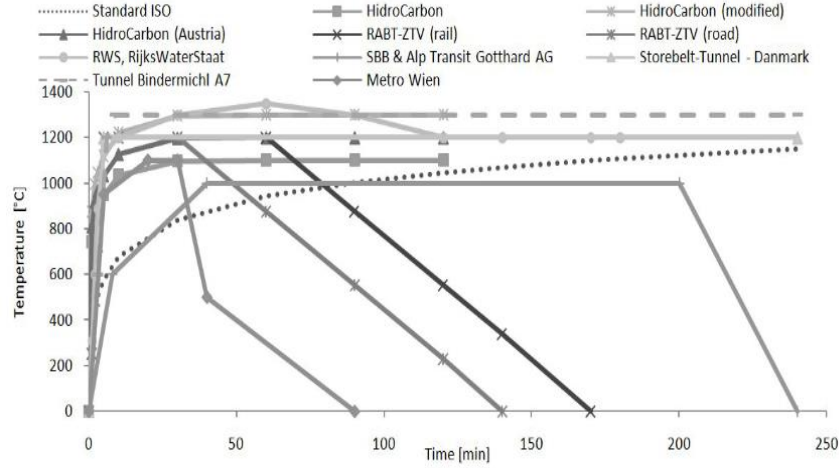
Gerçek yangınlarla ilgili deneyimler, betonarme binaların bir yangından sonra çökmesinin nadir olduğunu ve yangından zarar gören binaların çoğunun başarılı bir şekilde onarılabilceğini göstermiştir. Bir binayı onarma veya yıkma kararı, doğrudan maliyet ve zaman gibi ekonomik hususlara dayanır. Tipik olarak, kritik faktör zamandır. Çünkü bir binanın onarımındaki gecikme hem mal sahipleri hem de sigortacılar için ciddi ve dolaylı yoldan maddi sonuçlara yol açabilir. Binanın kullanımındaki gecikmeden dolayı ortaya çıkan iş kaybını önlemek için mülk sahipleri tarafından genellikle binaları hemen restore etmesi gerekir (Yaqub ve Bailey, 2011).

2.1.1. Yüksek Sıcaklıkta Beton Üzerinde Etkisi

Beton başka yapı malzemesine nazaran belirgin avantajlarından bazıları listelendiğinde istenen ebatlarda üretilebilir olması, yüksek basınç dayanımına sahipliği, donatılarla aderansının güçlülüğü, başka taşıyıcı malzemelerine göre yüksek ısıya ve yangın etkilerine karşı fazla dirençli vb. nitelikleri olduğunu söyleyebiliriz. Betonun yanıcı olmayan madde olması, sınırlı zaman içinde önemli hasarın olmaması, zararlı dumanlar oluşturmaması gibi özelliklerinden dolayı yangına dayanımı fazla olan bir materyaldir. Fakat bu dayanım, belirli süreler ve sıcaklık için geçerli olmaktadır (Ay, 2010).

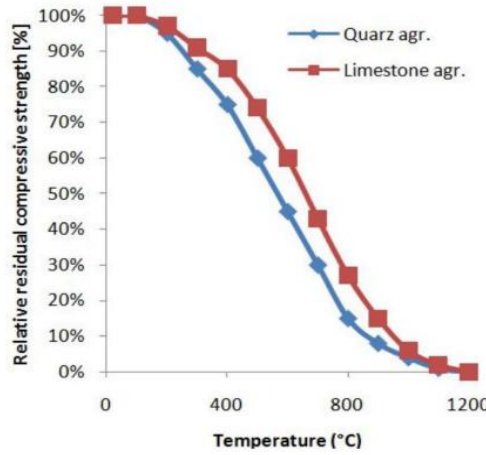
Büyük projelerin bazılarında, araçların daha özel yanma özellikleri nedeniyle özel sıcaklık-zaman eğrileri tanımlanmıştır. Bu eğrilerin ortak özelliği, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi sıcaklıktaki hızlı artışıdır. Yapısal malzemeler üzerindeki etkileri verimli bir şekilde azaltmak için, betonun ve betonarmenin fiziksel-kimyasal değişimlerini tanımak gerekir. Betonarme tünel kaplamalarının yangın direncini

incelerken şu unsurlar analiz edilmelidir: betonun davranışı, donatıların davranışı ve bağın karakteristiği. (Fehérvári ve Nehme, 2009).



Şekil 2.1. Standart yangın karakteristik eğrileri (Fehérvári ve Nehme, 2009)

Yaygın olarak kullanılan inşaat demirlerinin mukavemeti 400°C sıcaklıkta azalmaya başlar. 800°C'de mukavemetin sadece %10'u ölçülebilir. İnşaat demiri koruması, yanmaz (ısıya dayanıklı) bir kaplama veya betonun geliştirilmiş yangın taşıma kapasitesiyle olabilir. Isı yalıtım malzemesi olarak 4050 mm ebatlarında beton örtü tabakası ile önemli bir etki elde edilebilir. Betonun kesin davranışını araştırmak, fiziksel ve kimyasal değişiklikleri analiz etmek yangına daha iyi dayanıklı niteliklere sahip betonların geliştirilmesine yardımcı olur. Beton basınç dayanımındaki azalma, sıcaklığın artmasıyla da fark edilir (Şekil 2.2) (Fehérvári ve Nehme, 2009).



Şekil 2.2. Betonun bağıl basınç dayanımı (Fehérvári ve Nehme, 2009)

2.1.1.1. Fiziksel Özelliklere Etkisi

Sıcaklığın fazla olması betonun ısı yayılımı, ısı iletkenlik, ısı genleşme, özgül ısı, birim ağırlık, renk vb. özelliklerini etkilemektedir. Böyle etkiler betonun mekanik özelliklerini de değiştirmektedir (Kaygusuz, 2008).

2.1.1.2. Mekanik Özelliklere Etkisi

Yangın reaktörleri ve termik kaplar gibi durumlarda beton yapılar yüksek sıcaklara maruz kalmaktadır. Çoğu durumda bu tür yüksek sıcaklıklar beton yapılara ve duvarlara zarar verir. Isınma sonucu betonun dayanımını etkileyen faktörler, temel olarak malzeme ve çevresel olarak gruplandırılmıştır. Malzeme faktörleri arasında agrega, agrega-çimento hamuru bağı, kompozit bileşenler arasındaki termal uyumsuzluk ve çimento hamurunun özellikleri yer alır. Öte yandan harç ve beton numunelerinin yüksek sıcaklıklardaki davranışları incelendiğinde ısıtma hızı, maksimum sıcaklığa maruz kalma süresi, soğutma hızı, yükleme koşulları ve nem rejimi gibi çevresel faktörler de önemlidir (Cülfik ve Özturan 2002).

2.1.1.3. Yüksek Sıcaklığın Betonun Rengine Etkileri

Yüksek sıcaklığın etkisi altında bazen beton renk değişimine uğrayabilir, böyle değişiklik bilhassa silis içerikli dere agregasıyla üretilmiş betonda daha belirgindir. Mesela rengi pembe ya da kırmızı da sıcaklık 300-600 ° C'ye, gri renk de ise 600-900 ° C'ye yükselmektedir. Sıcaklığın 600 °C' ye çıktığında beton mukavemetinin % 50'lik kısmını ve 800 ° C'ye çıktığında da mukavemetinin tahmini % 80'lik kısmını kaybeder. Bu yüzden beton hangi sıcaklıkta ise renk incelemesiyle basınç dayanımlarındaki değişiklik sayesinde düşünce sahibi olunabilir. Buradan yüksek sıcaklık etkisindeki betonun renk değiştirmesinin önemli değişken olduğu belli olmaktadır (Yüzer ve diğ., 2001).

2.1.1.4. Yüksek Sıcaklığın Betonun Davranışına Etkileri

Doğal Portland çimentosuyla yapılan beton 100 °C 'den değişmeye başlamaktadır. İlk olarak, su kılcal boşluklarda ve daha sonra jel boşluklarında buharlaşıp büzülmeyi meydana getirir. Çatlağın ortaya çıkmasıyla çekme dayanımında azalma olur. Alümina

ve demir oksit içeren bileşenlerde dehidrasyon (kristal su kaybı) başladığı için basınç dayanımı 300 °C'den düşmeye başlar. 400°C dolaylarında Ca(OH)_2 'de CaO 'ya dönüşüp, hacimi %30 küçülür. 400°C aşıldığında silis jeli parçalanır, 600 °C -700 °C aralığında bütün elementler yok olur (Uysal, 2004).

Çimento hamurunun içinde CSH' nin yanı sıra Ca(OH)_2 ise bir başka bileşenidir. 300 °C sıcaklıktan sonra CSH' deki kimyasal olarak bağlı su ile jel suyu yok olmaya başlamaktadır. Ca (OH)_2 ' nin CaO 'de dönüşümü 400°C-500°C dolaylarında gerçekleşmektedir. Buradaki dönüşüm, yaklaşık olarak %33 seviyesinde bir büzülme gerçekleşmektedir (Uysal, 2004).

Beton 300°C sıcaklık seviyesinde yangın karşısında dayanıklı olduğu kabul edilmektedir. Bu karar, serbest suyun fazla bulunmadığı durumlarda geçerlidir. Bu sıcaktan itibaren CSH kristalleri parçalanır ve betonun geri dönüşü olmayan hasara sebep olmaktadır. (Uysal, 2004).

3. ONARIM VE GÜÇLENDİRME

Onarım; deprem anında hasar gören ve taşıma gücü azalan elemanların depremden önceki dayanımlarına tekrardan kavuşturulmasıdır. Deprem yükünden kısa sürede etkilenerek hasar oluşmuş, kalıcı deformasyon ve depremin neden olduğu geçici yüklerin veya yapı elemanının düşeydeki yüklerinin taşıma emniyet katsayısını düşürmüştür. Elemanların deprem öncesi dayanımlarına kavuşturmaya yetecek bir onarım ile yapının normal işleyişinde güvenlik sorunu kalmamaktadır (Yörükçü, 2007).

Güçlendirme; deprem hasarına sebep olabilecek hataların ortadan kaldırılması, depremin güvenliğinin artırılması için yeni elemanların ilave edilmesi, kütlelerin azaltılması, mevcutta bulunan elemanların deprem hareketlerinin düzeltilmesi, kuvvetin iletiminde kalıcılığın sağlanması gibi işlemlere denilmektedir (TBDY-2018).

Aynı büyüklükteki depremlerin defalarca yenileneceği beklentisi karşısında, ekonomik ömrü boyunca sık sık meydana gelmesi beklenen düzeyde bir depremden zarar gören bir yapının eski durumundan daha güçlü bir duruma getirilmesi gerekmektedir. Yapıya ve yapı elemanına zarar veren etkinin boyutu aynı şekilde devam ediyorsa, deprem gibi yapının ekonomik ömrü boyunca aynı büyüklükte depremlerin tekrar oluşması bekleniyorsa, hasarı önlemek, durdurmak ve tekrarını önlemek için eski durumundan daha güçlü bir konumda olması gereklidir (Yörükçü, 2007).

Güçlendirme türlerini aşağıdaki gibi açıklayabiliriz:

Eleman güçlendirmesi: Kolon, kiriş, perde, birleşim alanları gibi depremden gelen yükleri karşılayan yapı elemanlarının dayanım ve deformasyon kapasitelerinin artırılmasına ait uygulama prosedürleridir (TBDY-2018).

Sistemin güçlendirilmesi: Binanın yapısal dayanımını, iç kuvvetlerin deformasyon dağılımını ve sistemin kapasitesini arttırmak, binada sürekliliği sağlamak, birleşim bölgesine yeni bir eleman eklemek, güçlendirmek amacıyla binanın kütlelerini azaltmak, deprem etkilerini azaltmak için yapılan güçlendirme işlemidir (TBDY-2018).

Onarım ve güçlendirmede kullanılan ilkelerde aşağıdaki gibidir : İlkelerin öncelikle hasarların nedenleriyle bağlantısı vardır. Buradaki amaç, yapılacak önlemleri

belirlemektir. Aşağı yukarı her koşulda kullanılabilir önlemler vardır. Böyle önlemlerin olması depreme dayanıklı binayla ilgilidir.

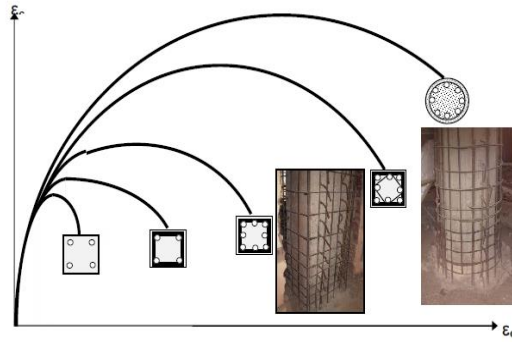
- Yapı yükü azaltılmalı
- Yapı sünekliliğinin artırılması
- Yapı taşıma kapasitesi arttırılmalı
- Yapı dinamik niteliklerinin düzeltilmesi
- Burulma etkisini azaltmak
- Yüklerin taşıyabilecek ilave eleman yerleştirilmeli (Uygun, 2010).

3.1. Onarım ve Güçlendirme ile Sağlanması Gerekli Şartlar

Onarım ve güçlendirmenin metotları, hasarın ne kadar büyük olduğu ve türünün ne olduğu ile alakalıdır. Hedef hasarın sebeplerini ortadan kaldıracak tedbirlerin tespit edilmesi ve hasarın neden olduğu direnç kaybını yok etmek veya tekrar oluşmasını önlemek için gerekli güçlendirme tedbirlerini belirlemektir. Değişik hasar nedenlerini, farklı onarma kriterlerinin sürdürmesini gerektirse de, hemen hemen her koşulda kullanılabilecek tutumlar bulunmaktadır. Bunlar aynı zamanda depreme dayanıklı bina kavramıyla da alakalıdır (Yörükçü, 2007).

- Yapının üzerindeki ağırlık azaltılmalıdır: Rastgele bir yapıdaki eleman yükünü kaldırırken çatlamışsa, bu yükün gereğinden fazla olduğu anlamına gelir. Böyle olduğunda üzerine gelen yükler düşürülürse çatlaklar sona ereceğinden hasar durumu kaybolacaktır. Deprem anında yapı üzerine gelen güç yapı ağırlığıyla ilişkili olduğundan yapının ağırlığındaki bir azalma yapıya gelecek deprem etkisini de aynı oranda azaltacaktır. Yapının ağırlığını azaltmak için tuğla duvarlara nazaran gazbeton veya ahşap panel bölme duvarlarla değiştirilebilir. Binanın üst katlarından biri veya birkaçı yıkılabilir. Çatı yalıtımı için yapıya yerleştirilen ağır malzemeler daha hafif olanlarla değiştirilebilir. Yapının içindeki geniş sıva veya dış cephedeki ağır kaplama malzemeleri sökülebilir. Yapıyı hafifletmek her zaman mümkün olmayabilir. Yalnız bu fırsatı değerlendirmenin yollarına bakılmalıdır. Merdivenden taşıyıcı sisteme etki eden yükleri düşürmek için yükleri direk zemine aktarmasını sağlayan düzeltmeler yapılabilir (Yörükçü, 2007).

- Yapının süneklik düzeyinin artırılması: Süneklik, yapının enerji tüketim kuvvetidir. Betonarme yapıların, rijit kolon kiriş birleşimlerini çatlatarak ve hasar vererek depremin enerjisini tüketir. Mafsallı eklemın taşıyıcı kısmında önemli bir kayba uğramamalıdır. Yapılardaki depremden sonra yapılan onarım işlemlerinde genellikle kesit ebatlarının büyütülmesi, çerçevelerin boşluklarına perde duvar koyulması gibi tedbirler uygulanmaktadır. Bunlar çoğunlukla yapı mukavemetini arttıran ancak sünekliğini değiştirmeyen çalışmalardır. Rijitlik yüksek ise elemanın sünekliği az olur. Hatta mantolama şeklinde büyük miktarda donatı kullanılacağı için süneklik de tekrar azalma olacaktır. Donatıların miktarı arttıkça süneklik azalır. Yapılan onarma ve güçlendirme de sünekliğin hangi tarafta fark olduğunu tespit etmek basit değildir. Genelde onarım ve güçlendirmede, yapıda süneklik azaltan bir etki yaratır. Şekil 3.1'de, sargı donatılarının kolonlar üzerindeki süneklik etkisini sünek davranış örneği olarak incelenmiştir (Yörükçü, 2007).

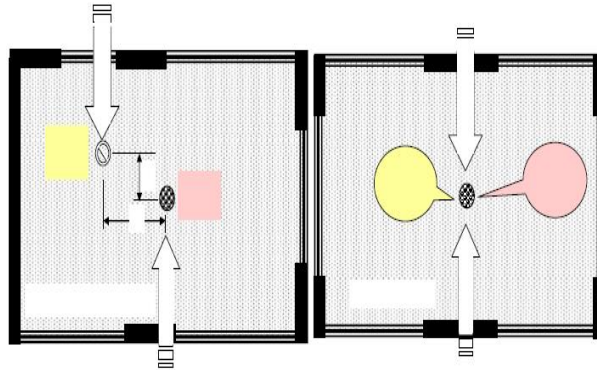


Şekil 3.1. Sünek eleman davranışlarının karşılaştırılması (Yörükçü, 2007)

- Yapının taşıma kapasitesi artırılmalı: Yapı da meydana gelen hasarlar gelen etkilere göre direncin düşük olmasından kaynaklıdır. Gelen etkilere göre gerekli direnç sağlanarak hasar durmuş olacak veya hiç oluşmayacaktır. Eğer yapının gelecek olan yüklere karşı direnci az ise artırılması gereklidir. Özellikle deprem hasarlarına karşı yapının yatay kuvvet taşıma kapasitesi artırılmalıdır. Şu yüzden ki yapının hasar gördüğü deprem bitiminde, depremden önce az olan eski taşıma kapasitesinden dahi daha düşük bir taşıma kapasitesine sahiptir. Bu özellikle yatay kuvvetlere karşı direnç için geçerlidir. Bu arada da yapının dikey yükleri değişmemiştir. Bununla birlikte, yatay yüklerin etkisinden kaynaklanan hasar, dikey yük taşımada yapının güvenliğini de düşürmüştür. Özellikle kalıcı yatay yer değiştirmelerin yarattığı

ikinci kademedan momentler zayıflamış kolon ve kiriş kesitleri binanın güvenliğini azaltmaktadır. Yapı, düşey yükleri hasar altında düşük bir güvenlik seviyesi ile taşır ve artçı şokta çökebilir. Binaın onarımının ilk safhasında zayıflayan düşey yük taşıma gücü artırılmalı, yapı askıya alınmalı, ikinci safhasında ise yatay yüklerde, deprem yüklerine karşı direnç artırılmalıdır. Taşıma kapasitesinin artırılması, yatay/dikey yükleri almak için yapıya yeni elemanlar eklenerek ve hazır olan elemanların enine kesitleri genişletilerek yapılmaktadır. Böylece deprem yükleri etkisi altında kalan yapıyı, genel olarak yapılan onarım ve güçlendirme sayesinde daha şiddetli deprem yüklerine karşı elastik kısımda tutarak, ağır hasarlardan zarar görmeden kurtarmaktır (Yörükçü, 2007).

- Yapının dinamik niteliklerinin iyileştirilmesi: Binaın sönümleme oranının artırılması ve katlar arasındaki rijitlik değişikliklerinin ahenkli olmasını sağlamak binaın dinamik niteliklerini iyileştiren yöntemlerdir. Binaın rijitliğinin üst kattan alt kata doğru artması, katların arasındaki aniden ve fazla rijitlik farklılıklarının olmaması (örneğin üst kattan iletilen perde duvarının zemin katında yapılmamış olması veya zemin katında yapılan perde duvarın üst katta alınmış olması gibi) binaın dinamik özelliklerini geliştiren yöntemlerdir (Yörükçü, 2007).
- Burulma etkisi azaltılmalıdır: Birçok yapıda ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafenin fazla olmasının oluşturduğu burulma etkisinden dolayı hasar meydana gelmektedir. Mesela perde duvarının binaın bir tarafında fazla olması burulma yaratacak, taşıyıcı olmayan bölme duvarlarının da eşit bir şekilde dağıtılmaması ağırlık merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki ayrımı artırarak yapıda burulma etkisi yaratabilmektedir (Yörükçü, 2007).



Şekil 3.2. Güçlendirme öncesindeki durum ve sonrasındaki hedeflenen simetrik yapı (Yörükçü, 2007)

- Yüklerin taşımasını sağlayacak yeni elemanlar yerleştirilmeli: Depremde yatay yükleri taşıyacak elemanlar az kalırsa bu elemanların yatay yük taşıma kapasiteleri yükseltilir veya yatay yükü taşıyacak yeni elemanlar eklenir. Binaların onarımı ve güçlendirilmesine karar verirken dikkat edilmesi gerekli diğer bir konu da binanın olduğu mekandaki imkanlardır. Kaliteli malzemenin ve işçilik eksikliğinden kaynaklanan, istenilen mukavemette inşa edilemeyen bir yapının güçlendirilmesinde lazım olan yüksek kaliteli malzemenin ve işçiliğin sağlanabilmesi, güçlendirmenin bir seviyede olmasını bekliyor olmak gerçeğe uygun gözükmemektedir (Yrk, 2007).

Onarma ve güçlendirme uygulamasının proje geliştiricileri tarafından denetlenmesinin daha verimli olması düşünülmektedir. Çünkü talep edilen amacı sağlayan detaylar taviz verilmeden yapılmalıdır. Başka bir anlatımla onarım, projeyi "kendi eliyle" yapan mühendis tarafından yapılmalıdır (Yrk, 2007).

3.2. Betonarme Binaların Güçlendirilmesi

- Kolonlardaki sarılma: Kolonlardaki sünekliliği yükseltmek için kesme ile basınç dayanımlarını arttırmak, bindirme ilavelerinin zayıflıklarını gidermek amacıyla bazı metotlar uygulanabilir. Bunlar; betonarme sargı, elik sargı, lifli polimer sargı (TBDY-2018).
- Kolonların eğilme kapasitesinin arttırılması: Kolonların eğilme kapasitesinin arttırılması amacıyla kolonun ebatları genişletilebilir. Böylelikle kolonda kesme ve basınç kuvvetinin kapasiteleri de artmış olur. Genişletilmiş kolon eklenmiş boyuna donatının katlar arasındaki sürekliliğini de sağlayacaktır (TBDY-2018).
- Kirişlerin sarılması: Kirişlerin kesme mukavemetini ve bazı şartlarda süneklilik kapasitesini arttırması amacıyla yapılır. Kirişlerin eğilme kapasitesi, dışarıdan etriye ilave ile lifli polimer sarma yöntemlerle arttırılmaz (TBDY-2018).
- Bölme duvarların güçlendirilmesi: Temelin st noktasından tepeye kadar kesintisiz olan betonarme çerçevenin içinde bölme duvarların rijitliği ve kesme dayanımı, güçlendirme yöntemleri sayesinde arttırılabilir. Binanın güçlendirilmesine birincil olan bölme duvarlarının güçlendirilmesiyle yapılırsa, metot sadece bodrumların dışında uygulamaları üç katlı binaları geçmemelidir (TBDY-2018).

- Betonarme taşıyıcı sistemlerin yerinde dökme betonarme perdeler sayesinde güçlendirilmesi: Rijitlik ve mukavemeti az betonarme taşıyıcı sistemlerin yerinde dökülen betonarme perde ile güçlendirme yapılabilir. Betonarme perde hazır bulunan çerçeve düzleminin içinde ya da düzleme yapışık düzenlemeyle yapılabilir (TBDY-2018).
- Betonarme sistemine yeni çerçeveler eklemesi: Betonarme düzenin dışında eklenebilecek çerçevelerde temeller, hazır bulunan binanın temelleriyle beraber düzen uygulanacaktır. Eklenecek çerçeveler hazır olan yapının taşıyıcı sistemiyle çalışabilmesi için bu çerçeveler gerekli yük transferini sağlayacak şekilde mevcut binanın zeminlerine tutturulacaktır (TBDY-2018).
- Betonarme sistemin kütesinin azaltılması: Depremi yüklerinde azaltma yapmak için yapılabilir en etkili yöntemler, yapının üst katından ya da katların yok ederek yıkılması, hazır çatının yükü zayıf çatıyla yer değiştirmesi, çatıdaki depolar vb. montaj ağırlıklarını yere indirmek, güçlü balkonları, korkulukları, bölme duvarları ve cephe kaplamalarını daha güçsüz elemanlarla değiştirmek (TBDY-2018).

3.3. FRP ile Onarım Güçlendirme

Mevcut betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, FRP kullanımına ilişkin artan bilgi ve güvenin yanı sıra, yıkıma kıyasla yapıların onarımı veya güçlendirilmesinin ekonomik, çevresel faydaları nedeniyle son on yılda daha yaygın hale gelmiştir. Yangın açısından, betonarme yapılar genellikle betonun düşük termal iletkenliği nedeniyle iyi bir yangın direnci sunar ve bu sayede yangın sırasında açıkta kalan yüzeyden uzakta yapı elemanları içindeki sıcaklığın düşük kalmasına neden olur (Yaqub ve Bailey, 2011).

Genel olarak, yapılar doğal yangın direncine sahiptir ve yangın sırasında hayatta kalmalarını sağlar. Yapının tam veya kısmi mukavemet geri kazanımı amacıyla genel olarak hasarlı elemanlar için bir dizi onarım alternatifinin araştırılmasına vurgu yapmaktadır. Bu aslında, birkaç çalışma da kolonların dış yüzünde FRP çevresel sargılarının kullanılmasının mukavemetlerini ve sünekliklerini önemli ölçüde artırabileceği sonucuna varmıştır. FRP sargısı çeşitli güçlendirme uygulamalarında başarı göstermiş olsa da, bazı çalışmalar FRP kompozitlerinin kullanılarak ısıdan zarar

görmüş kolonların sarılmasının etkinliğini de incelemiştir. FRP sargılarının, diğer yöntemlere kıyasla ısı hasarlı kısa kolonların hem basınç dayanımını hem de enerji dağılımını geri kazandırmada etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir (Abadel ve diğ., 2022).

3.3.1. Kompozitler

Kompozitler, iki veya daha fazla başka malzemelerin fiziki şekilde birbiriyle uyum sağlayacak ve başlangıç malzemelerinden çok iyi özelliğe hakim bir ara yüzle karıştırılmasıyla elde edilen kombinasyonlardan birisidir (Kaygusuz, 2008).

Kompozitleri meydana getiren her ara yüze faz denir. Örneğin beton, harç ile agrega fazında, betonarme de beton ile çelik fazında bulunur(Kaygusuz, 2008).

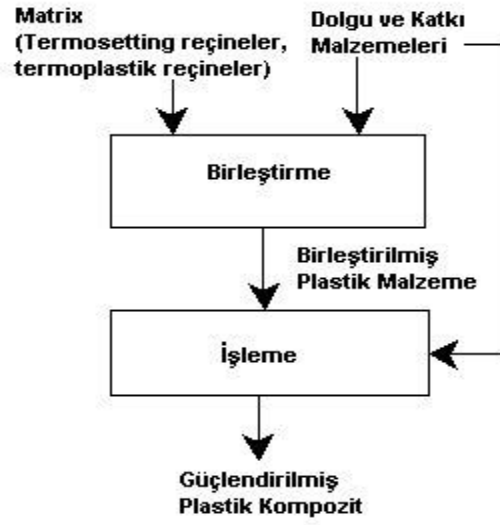
Kompozit malzemeler; dane, lif ve tabaka şeklinde olarak üç gruba ayrılabilir (Kaygusuz, 2008).

Daneli kompozitler: Büyük ve küçük parçacıkların bir bağlayıcıyla sarılmasının sonucunda oluşan asfalta benzer malzemedir (Kaygusuz, 2008).

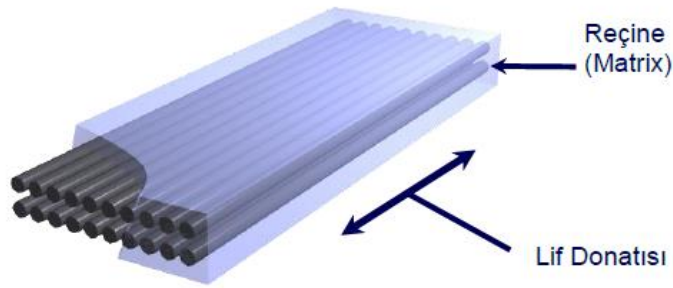
Lifli kompozitler: Lif uzunluklarına göre küçük çaplı malzemedir. Bunlara lif veya elyaf da denilir. Malzemelerin mekanik mukavemet değerini çoğaltmak ve gevrek kırılmayı önleme amacıyla ana malzemenin lif ile donatının takviye edilmesiyle oluşan sistemlerdir (Kaygusuz, 2008).

Tabakalı kompozitler: Benzer veya başka tipte parçalar eklenerek istenilen biçim ile ebatlarda yenilenen parçalardır. Örnek olarak; çelik levha, ahşap levha vb. (Kaygusuz, 2008).

FRP kompozitlerin seçilmesinde mukavemet, dayanıklılık, deformasyon kapasitesi ve ekonomi gibi faktörler etkilidir. Birçok çalışmada, FRP kompozitlerle güçlendirilmiş betonarme kolonlar yükleri taşıma gücünün iyi derecede arttırdığını göstermiştir. FRP kompozitlerle takviye, bindirme boy uzunluğunun az olduğunu gösteren durumlarda betonarme kolonların süneklik kapasitesini, basınç dayanımı ile donatı kenetlenme dayanımını artırır (Kaygusuz, 2008).



Şekil 3.3. Kompozit malzemelerin üretim şeması (Elbruz, 2005)



Şekil 3.4. Karbon lifli kompozit malzeme (Elbruz, 2005)

3.3.2. Reçineler

Reçineler çoğunlukla FRP kompozitinin direnebileceği sıcaklığın sınırı ile çevre direncini belirlemektedir. Eğer FRP insanın bedenine benzetilirse, lif iskelet olur reçine matrisi ise deri olur. FRP'de lifler ana taşıyandır, ancak reçine önemini de asla arka plana atılmamalıdır (Seçer, 2008).

3.3.3. Fiber Takviyeli Polimerler

FRP, kompozit malzemeler olarak adlandırılan kategoriye giren malzeme sınıfını temsil eder. Kompozit malzemeler, bir araya getirildiğinde ilgili kimyasal ve fiziksel özelliklerini koruyan iki veya daha fazla malzemeden oluşur. FRP kompozitler, çelik

veya alüminyum gibi geleneksel yapı malzemelerinden farklıdır. FRP kompozitler anizotropiktir (özellikler uygulanan yük yönünde görünür), çelik veya alüminyum ise izotropiktir (uygulanan yükten bağımsız olarak tüm yönlerde tekdüze özellikler). Bu nedenle, FRP kompozitlerinin özellikleri yönlüdür, yani en iyi mekanik özellikler fiber yerleştirme yönündedir (Zaman ve diğ., 2013).

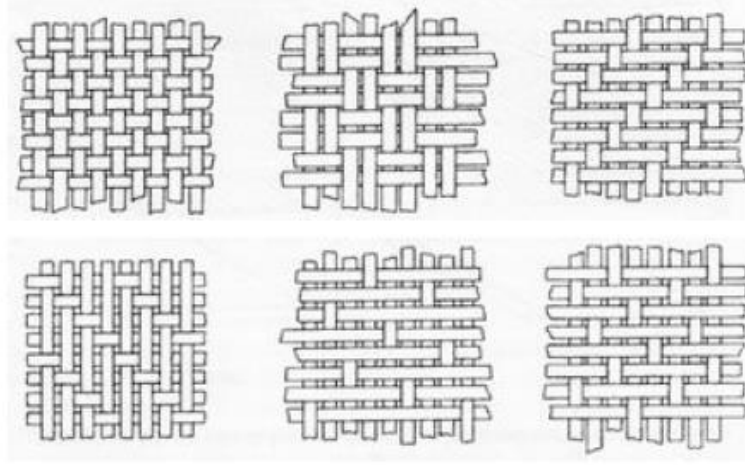
FRP kompozit malzemelerinin genellikle inşaat projelerine yüksek özgül sertlik ve yüksek özgül mukavemet yoluyla potansiyel faydalar sunduğu iddia edilir. Bu öncelikle, bazı uygulamalarda düşük öz ağırlığa sahip yapılar üretmek için yüksek özgül mukavemete ve yüksek özgül sertliğe sahip olan malzemelerin yeteneğine dayanmaktadır. Düşük yapı ağırlığından kaynaklanan potansiyel faydalar arasında daha büyük yapılar da daha büyük bileşenler üretme özgürlüğü, azaltılmış nakliye ve montaj maliyetleri, azaltılmış alt yapı ile temel boyutları yer alır (Zaman ve diğ., 2013).

3.4. FRP Çeşitleri ve Genel Özellikleri

Dışa bağlı FRP levhalarının ve şeritlerinin kullanımı, son zamanlarda betonarme yapıların iyileştirilmesi ile güçlendirilmesi için etkili araçlar olarak geliştirilmiştir. Mukavemet uygulaması durumunda, kolon elemanları FRP plakalarının dış yapıştırma ile çok büyük avantajlar sağladığı bulunmuştur. Bu levhaların kullanımı kolaydır, elektrokimyasal korozyona ve yorulma direncine sahiptir, iyi ağırlık/dayanım oranını korumuştur, kullanımları kolaydır. Herhangi bir şekil ve uzunlukta kavisli döküm ile daha düşük yoğunlukta maksimum basınç dayanımı sağlar. Bu nedenle, cam elyaf ile güçlendirilmiş polimer levhalar, diğer FRP elyaf türleri ile karşılaştırıldığında, beton yapıları iyileştirmek için kademeli olarak kullanılmaktadır. Korozyona ve yorulmaya karşı direnç tipik olarak ağırlık açısından yüksektir (Vijayan ve diğ., 2021)

Lifler en fazla mekanik özellikleri genişlikten ziyade uzunluğunca daha iyi gösterirler. Böylece kompozit malzemelerinin metalde bulunmayan yüksek derecede anizotropik malzemenin özelliklerini sergilemesini sağlar. Tasarım safhasında reçinedeki liflerin yerleşimini ve geometrisini dikkate almak önem arz etmektedir. Malzemede anizotropik özelliği, dizayn safhasında ürünü uygun yerde kullanılması ile avantaja dönüştürülebilir. Birtakım hallerde lifler, malzeme de mukavemeti arttırmak ve her yöne aynı dayanımı sağlamak nedeniyle kumaş malzeme şeklinde dokunabilirler. Farklı amaç ile

hazırlanmış sürekli lifler, gelişmiş dokuma elyaf kumaş türleri de bulunmaktadır (Sipahioğlu, 2006).



Şekil 3.5. Kumaş dokuma çeşitleri (Sipahioğlu, 2006)

Fiber kompozitleri etkileyen unsurlar: Fiberlerin doğrultu şekli, uzunluğu, şekil kompozisyon, reçine mekanik özelliği, reçineyle fiberler arası aderansın yapışmadaki gücü. Genellikle en çok tercih edilen liflerin türleri; aramid lif, karbon lif, cam lif. Liflere ait özellikler Tablo 3.1.'de gösterilmiştir (Seçer, 2008).

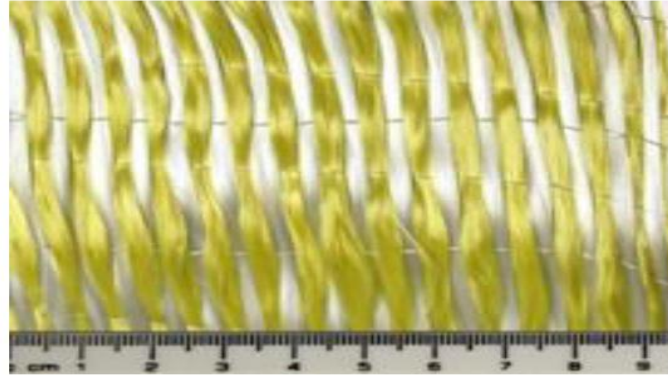
Tablo 3.1. Liflerin türlerinin malzeme nitelikleri (Seçer, 2008)

Lif Çeşidi	Dayanımı (Mpa)	E. Modül (Mpa)	Ö. Ağırlık (kg/m ³)
Aramid	1700 - 2100	65 - 120	1400
Karbon	1700 - 2500	150 - 190	1900
Cam	1700 - 2100	50	2500

3.4.1. Aramid Lifler

Elyaf takviyeli polimer matris kompozitler, yüksek mekanik performansın istendiği askeri, havacılık ve otomotivden dielektrik davranışın kritik olduğu baskılı devre kartlarına kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerin olarak sağlayan özelliklerinden biri, homojen malzemelerde nadiren bulunan davranışları mümkün kılan elyaf ve matris özelliklerinin harmanlanmasının yanı sıra elyaf yönlendirme yoluyla istenen bir davranış elde etmek için uyarlanabilme yetenekleridir.

Son yıllarda, yüksek performanslı polimerik lifler, yüksek mukavemetleri, düşük yoğunlukları ve yüksek toklukları nedeniyle kompozit malzeme araştırmalarında büyük ilgi görmüştür. En iyi bilinen polimerik elyaflardan biri, çelik telden beş kat daha yüksek özgül gerilme mukavemeti, termal ve kimyasal stabilitesi ile bilinen aramid liflerdir. Bu eşsiz özellikler, aramid liflerindeki yoğun hidrojen bağlarından ve yüksek kristallikten kaynaklanır. Bununla birlikte, aramid liflerinin yüksek kristallığı aynı zamanda pürüzsüz ve kimyasal olarak düzgün bir yüzeye yol açar, bu da reçinelerle zayıf yapıştırmayla sonuçlanır. Böylece aramid lifi ile güçlendirilmiş kompozitlerde daha düşük ara yüzey özelliklerine yol açar. Zayıf ara yüzlere sahip kompozitler, elyafların ve matrisin birleşik özelliklerinden elde edilen teorik olarak beklenen özelliklerini tam olarak elde edemezler. Bu yüzden aramid elyaf takviyeli polimerik kompozitlerin uygulanmasını büyük ölçüde kısıtlar (Nasser ve diğ., 2019)

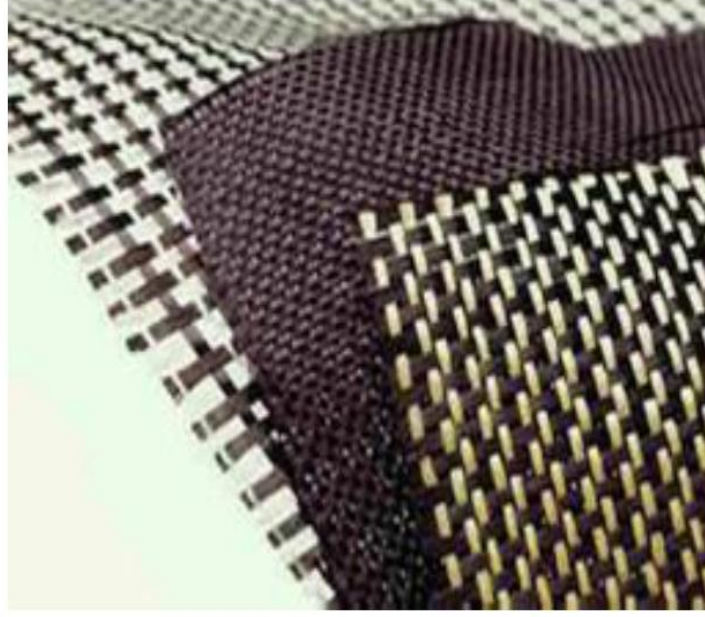


Şekil 3. 6. Aramid lif örnek (Alihassan, 2021)

3.4.2. Karbon Lifler

Yüksek performanslı karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin ömrü genellikle lif ve onu çevreleyen polimer matris arasındaki zayıf bir ara yüz ile sınırlıdır. Lifler ve matris arasındaki ara yüz, bir kompozitin makroskobik kayma, enine ve düzlem dışı özelliklerini belirlemede önemli bir rol oynar. Karbon lifleri, yüksek mukavemet sağlayan ancak aynı zamanda onları daha az reaktif yapan yüksek oranda grafit karbon içerir. Grafit bağların polar olmayan doğası, yüksek stabiliteleri, liflerin kovalent bağlanmasını veya çevreleyen polimer matrisi ile etkileşime girmesini önler. Lifler ve matris arasındaki etkileşimi geliştirmek için karbon liflerin yüzeylerin kullanılabilmesi 30 yılı aşkın bir süredir akademik ve ticari bir arayış içinde olmuştur. Plazma, kimyasal,

elektrokimyasal ve atmosferik işlemler, lifte bulunan karbondan polar oksijen grupları oluşturmak için tipik olarak güçlü oksitleyici kimyasallar veya oksitleyici atmosferler kullanır. Fonksiyonel grupların eklenmesinin lifler ve matris arasındaki ara yüzey etkileşimini etkili bir şekilde arttırdığı gösterilmiş olsa da teknikler tüketme eğilimindedir (Ehlert, 2011).



Şekil 3.7. Karbon lif örnek (Alihassan, 2021)

3.4.3. Bazalt Lifler

Bazalt lifi son derece iyi modüllü, yüksek mukavemetli, arızaya karşı geliştirilmiş gerilme, yüksek sıcaklık dayanımı, mükemmel stabilite, iyi kimyasal dirence sahip inorganik bir elyafıdır. İşlenmesi kolaydır, toksik değildir, doğal, çevre dostu ve ucuzdur. Bu lifler altyapı ve inşaat uygulamaları için hafif, yüksek kaliteli hibrit malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır (Dhand ve diğ., 2015)

Bazalt lifi, akan lavlarda bulunan bazalt bazlı erimiş magmatik volkanik kayadan ekstrüzyondan sonra elde edilir. Bazalt lifinin ekstrüzyon işlemi, enerji bakımından çok verimli olup, herhangi bir başka life göre daha basittir (Dhand ve diğ., 2015)

Lif boyutları genellikle 10–20 μm aralığındadır. Bu özelliklerin birçoğu (bazaltın çekme ve sıkıştırma özellikleri gibi) cam elyaflardan daha iyidir ve aynı zamanda karbon liflerden çok daha ucuzdur (Dhand ve diğ., 2015)



Şekil 3. 8. Bazalt lif örnek (Alihassan, 2021)

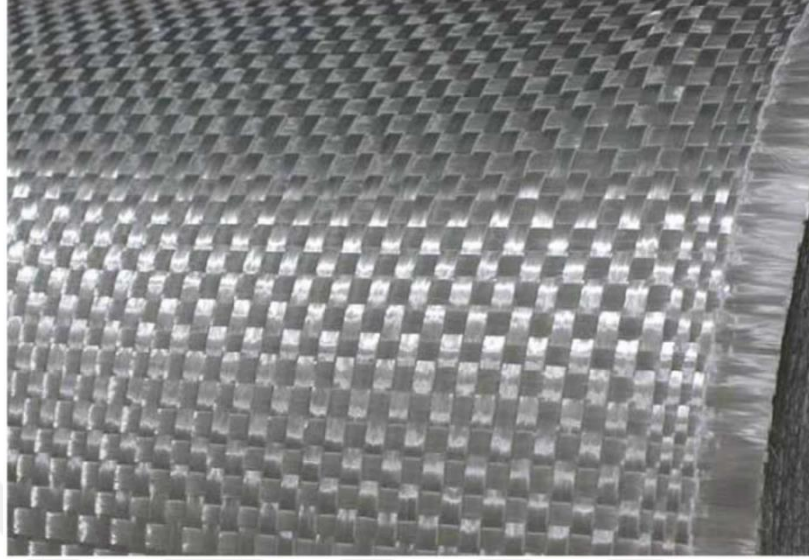
3.4.4. Cam Lifler

Kompozitlerde kullanılan en yaygın takviye edici elyaf polimeri cam elyaflardır. Bu malzemenin diğer FRP türlerine göre düşük maliyet, yüksek gerilme mukavemeti, düşük ağırlık-dayanım oranı, korozyona ve alkali saldırılara karşı direnç gibi üstün avantajları vardır. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Kullanım sırasında aşınmaya karşı hassasiyet, düşük çekme modülü, diğer FRP' lere kıyasla nispeten düşük yorulma ve kırılma gibi dezavantajlar da vardır (Hakim, 2017).

Cam elyaflar, silikatların silika veya potas, kireç ya da çeşitli metalik oksitlerle eritilmesiyle üretilir. Erimiş kütle mikro ince kovanlardan geçirilir ve çapları 5 ila 24 µm arasında değişen cam elyaf lifleri üretmek için hızla soğutulur. Bu lifler daha sonra sıkı bir şekilde paketlenmiş şeritler veya gevşek bir şekilde paketlenmiş fitil halinde birlikte çekilir. Bu işlem sırasında, liflerin aşınmaya bağlı bozulmasını en aza indirmek için lifler sıklıkla kaplama ile kaplanır (Hakim, 2017).

Elektrik camı (yani E-cam olarak bilinir), yapısal cam (yani S-cam olarak bilinir), kimyasal cam (C cam), alkaliye dayanıklı cam (yani AR-cam olarak bilinir) olmak üzere dört tip cam kompozit vardır. C cam ve AR cam FRP endüstrisinde daha az kullanılır. Yukarıdaki dört türün tümü arasında, E-cam en ekonomik ve yaygın olarak kullanılan takviye edici polimer kompozittir. Maliyetle ilgili verimli mukavemet özelliklerinden dolayı, E-cam elyafı güçlendirme işlerinde kullanılan tüm cam elyaflarının neredeyse %90' ına hakimdir. Tüm cam elyafları arasında en yüksek çekme mukavemetine sahip olan S-cam, orijinal olarak füze ve uçak endüstrisi için geliştirilmiştir, ancak yüksek maliyeti ve üretilmesinin zorluğu nedeniyle kullanımı

sınırlıdır. Dört tip kompozitin (yani E-, S-, C- ve AR-cam) tipik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir (Hakim, 2017).



Şekil 3. 9. Cam lif örnek (Vijayan ve diğ., 2021)

Tablo 3.2. Cam elyaf türlerinin tipik özellikleri (Hakim, 2017)

Cam Tipi	Yoğunluk	Gerilme Direnci		E. Modül		Dielektrik sabiti	Uzama
	g/cm ³	Mpa	ksi	Dpa	ksi	1 MHZ @ 72 F	(%)
E_cam	2,6	3445	500	72,4	10,500	6,3	4,80
S_cam	2,4	4585	665	86,9	12,600	5,3	5,40
C_cam	2,5	3310	480	68,9	9,993	6,90	4,80
AR_cam	2,7	3241	470	73,1	10,602	8,10	4,40

4. LİTERATÜR TARAMASI

Vijayan ve diğ. çalışmasında, iki çeşit numune üzerinde 3 mm ve 5 mm kalınlığındaki FRP levhaların kısa bir kolon üzerine sarılmasını ve daha sonra basınç dayanımının belirlenmesini incelemiştir. C20 kalitesinde 3 mm sarılmış numune ile 5 mm sarılmış numune karşılaştırıp 5 mm sarılmış numune 3 mm sarılmış numuneye göre %5,182 daha fazla artış gösterdiğini ve C40 kalitede 0 mm, 3 mm ve 5 mm sarılı numuneler karşılaştırıldığında ise 5 mm sarılı numune 0 mm sarılı numuneye göre %2,47 daha fazla artış gösterdiği sonucuna varılmıştır (Vijayan ve diğ., 2021).

Wróblewska ve Kowalski makale çalışmasında yangın sonrası betonarme yapılara uygulanan laboratuvar ve yerinde (tahribatsız ve yarı tahribatsız testler) somut değerlendirme yöntemlerinin bir incelemesini yapmışlardır. Yapıların yük taşıma kapasitesini etkileyen en önemli olaylardan biri yüksek sıcaklıkta ve soğuduktan sonra beton mukavemetindeki azalmadır. Normal koşullarda yaygın olarak kullanılan geleneksel test yöntemleri, genellikle yangından sonra betonun homojenliğini hesaba katmaz. Bu nedenle, belirli bir yapısal elemanın dış katmanlarındaki hasarlı betonun derinliğini belirlemek için başka yöntemler önerilmektedir (Wróblewska ve Kowalski, 2020).

Çetinkaya ve diğ. tarafından yapılan çalışmada 4 tane betonarme kirişin FRP malzeme ile onarılmış ya da güçlendirilmiştir. Her kiriş için yük yer değiştirme eğrisi elde edilmiş, elemanların onarım öncesi ve sonrası davranışları, statik yük altında donatı davranışları karşılaştırılmıştır. Hasar gördükten sonra onarılıp güçlendirilen kiriş testi ile hasar görmeden güçlendirilen kiriş test sonuçları yaklaşık olarak aynı olduğunu görmüşlerdir. Bu çalışma sonucunda FRP malzemelerle yapılan onarım-güçlendirmenin betonarme kirişlerin taşıma kapasitesini büyük ölçüde arttırdığı görülmüştür (Çetinkaya ve diğ., 2011).

Almusallam tarafından 2007 yılında FRP ile sarılmış değişken basınç dayanımına sahip beton silindirlere davranışını incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada GFRP ile tek eksenli sıkıştırma yüklerine maruz bırakılmıştır. Deneysel sonucunda, GFRP sargı kullanımının, donatısız beton silindirlere hem basınç dayanımını hem de sünekliğini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. GFRP ile sınırlandırılmış beton silindirlere

gerilme-gerinim ilişkisini tahmin etmek için yarı ampirik bir teorik model sunulmuştur. Model sonuçlarının da deneysel değerlerle mükemmel bir uyum gösterdiği sonucuna varılmıştır (Almusallam, 2007).

Colombo ve Felicetti tarafından yapılan çalışmada Politecnico di Milano'da, bir yangın sonucu betonarme yapıların maruz kaldığı termal hasarın değerlendirilmesi için hızlı ve kolay yöntemler belirlemek amacıyla kapsamlı bir araştırma programı yürütülmüştür. Sonuç olarak, tüm termal hasar profilinin tek bir testte değerlendirilmesine izin veren üç yeni araştırma tekniği önerilmiştir: Ultrasonik Darbe Hızı (UPV) yöntemi için basitleştirilmiş bir yorumlama tekniği (uzunlamasına dalgaların kırılmasına dayalı), beton kolorimetrisine uygun fiyatlı bir yaklaşım ve gerçek-delme direncinin zaman izlemesi (Colombo ve Felicetti, 2007).

Georgali ve Tsakiridis çalışmalarında yangın hasarlı beton yapıların değerlendirilmesi genellikle renk değişimi, çatlama ve dökülmenin görsel olarak gözlemlenmesiyle başladığını belirtmişlerdir. Isıtma sırasında rengin normalden pembeye dönüştüğü sıklıkla gözlemlenir ve bu beton mukavemetinin önemli ölçüde kaybının başlangıcıyla aynı zamana denk geldiği için yararlıdır. Yapılan makale çalışmasında, yangından zarar görmüş betonun çekirdek mukavemetinin yanı sıra optik mikroskopi araştırmalarının sonuçlarını sunmaktadır. Yangına maruz kalan betondan numuneler alınmıştır. Mikroskobik inceleme ile birlikte beton numunesinin fiziksel durumu, bir petrografın minimum maruz kalma sıcaklığı ve bunun betondaki hasarın derinliği üzerindeki nispi etkisi hakkında makul bir tahminde bulunmasını sağlamaktadır (Georgali ve Tsakiridis, 2005).

Foster ve Bisby yaptıkları çalışmada beton için mevcut çeşitli FRP güçlendirme sistemlerinin yüksek sıcaklığa maruz kalmasından sonra kalan özellikler üzerinde yapılan testlerin sonuçları rapor edilmiştir. Bunlar şunları içerir; gerilim kuponu testleri, tek türlü FRP 'den FRP 'ye bağ testleri, doğrudan gerilim FRP 'den betona bağ testleri ve FRP 'den betona çekme testleri, 400 °C' ye kadar sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra beton kesme bağ testleri. Veriler harici olarak bağlanmış FRP sistemlerinin artık performansı için izin verilen maruz kalma sıcaklıklarının, kullanılan reçine sistemlerinin cam geçiş sıcaklığı ile termal ayrışma sıcaklığı arasında olduğunu göstermektedir (Foster ve Bisby, 2008).

Firmo ve diğ., yaptığı çalışmalarında, FRP ile güçlendirilmiş betonarme yapı elemanlarının yangın performansına ilişkin son teknoloji ürünü bir inceleme sunmaktadır. İnceleme öncelikle FRP' leri oluşturan malzemelerin yüksek sıcaklıktaki mekanik davranışını ve bunların ısıtıldığında betona bağlanmalarının nasıl etkilendiğini ele alıyor. Makale daha sonra FRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişler, levhalar ve kolonların yangın davranışına ilişkin mevcut deneysel çalışmaları tartışmaktadır. Mevcut tasarım rehberliği de tartışılmaktadır. Son olarak gelecekteki araştırmalar için öneriler verilmektedir (Firmo ve diğ., 2015).

Al-Tameemi çalışmasında toplam 24 numune bir sıkıştırma test makinesi ile test etmiştir. Test sonuçları, kapalı numunelerin aksel gerilimini ve gerinimini artırmak için önerilen şekil değiştirme yönteminin başarısını göstermiştir. Ayrıca önerilen şekil değiştirme yöntemiyle GFRP ile sınırlandırılmış modifiye numunelerin kaydedilen nihai çekme gerilmesi, kupon testinin ölçülen nihai çekme gerilmesine yakındır. Her iki sarma tekniği de güçlendirilmiş numunelerin aksel gerilimini artırdığını görmüştür. Çalışmada sonucunda GFRP' nin veriminin kare beton kolonun şekli değiştirilerek önemli ölçüde artırılabilceği anlaşılmıştır (Al-Tameemi, 2021).

Yapılmış olan literatür çalışmaları incelendiğine yüksek sıcaklık sonrası GFRP kullanılarak yapılan güçlendirmenin betonların kapasitesine katkısını araştıran çalışmaların sayısının az olduğu ve bu eksikliğin giderilmesi, son yıllarda FRP kullanılarak hızlı ve ekonomik güçlendirme uygulamalarının yaygınlaşması, çok sık rastlanan bir hasar tipi olan yangın hasarlarının düşük dayanımlı mevcut betonlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla bu deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

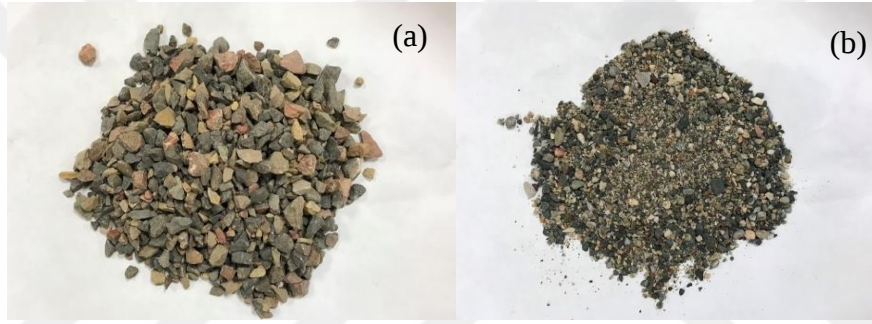
5. DENEY ÇALIŞMASI

Yapılan deneyde beton üretiminde kullanılan, agrega, çimento, su, ile sarım kısmında kullanılan GFRP ve epoksinin özellikleri, beton karışım miktarları bu bölümde açıklanmıştır.

5.1. Kullanılan Malzemeler

5.1.1. Agrega

Beton dökümünde ince agrega doğal kum, iri agrega kırmataş kullanılmıştır. Deneyde kullanılmış olan agregalar şekilde gösterilmiştir.



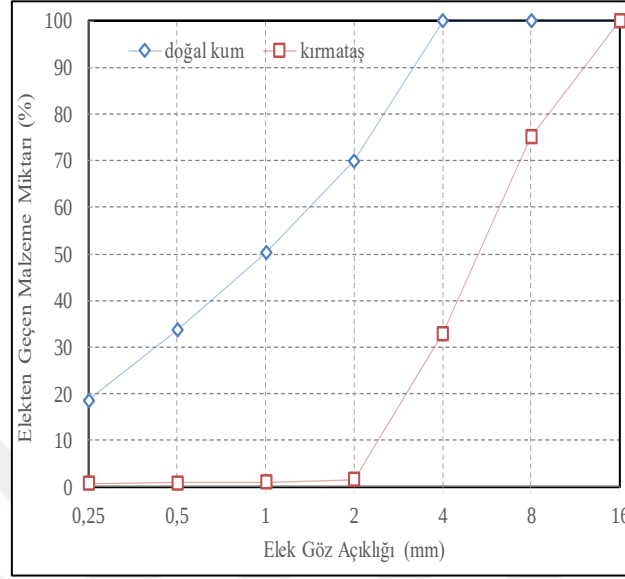
Şekil 5. 1. Deneyde kullanılan (a) kırmataş (b) doğal kum

Kullanılan agregaların granülometri eğrisinin bulmak amacıyla TS-EN 932/1 standart değerine göre hazırlanmış numune de elek seti kullanılarak TS EN 933/1 standardına göre analizi yapılmıştır. Bu sonuca göre ince-iri agregaların tane dağılımıyla bulunan incelik modülü sonuçları tabloda açıklanmıştır.

Tablo 5.1. Deneydeki agreganın elek analiz sonucu

Elek Ebatı (mm)	Elek Analizi Sonuçları	
	Eleğin Altındaki Malzeme (%)	
	Doğal Kum	Kırmataş
16	100	100
8	100	75
4	100	33
2	70	2
1	50	1
0,5	34	1
0,25	19	1
İ. Modülü	2,28	4,88

İncelik modülü hesaplanmış iri ile ince agregaların granülometri eğrisi ve fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.2. Hesaplanan granülometri eğrisi

Tablo 5.2. Deneydeki agreganın fiziksel özelliği

Fiziksel Özellik		
	Doğal Kum	Kırmataş
Su Emme Oran (%)	1,67	1,02
Kuru Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	2,56	2,65
DKY Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	2,60	2,68
Görünen Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,67	2,73

5.1.2. Çimento

Zamanla sertleşen ve agregaları birbirine bağlayan bağlayıcı bir malzeme görevi gören en pahalı bileşendir. Çimento, kireçtaşı ve kil gibi doğal olarak oluşan malzemeleri ve cüruf, uçucu kül gibi endüstriyel yan ürünleri yakarak küresel olarak sanayileşmiştir (Tayeh ve diğ., 2019).

Bu çalışmada hazırlanmış olan betonların karışımında, Nuh Çim. San. A.Ş. 2022 yılında üretmiş olduğu Portland çimento kullanılmıştır.

Kullanılmış olan çimentonun TS-EN 196– 1,2,3,6 CEM I 42.5 R uygun olup fiziksel, mekanik ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Deneyde kullanılan çimento

Tablo 5.3. Kullanılan çimentonun kimyasal ile fiziksel özelliği

Kimyasal Bileşim (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O+0.65K ₂ O	Cl ⁻	KK	ÇK
19,30	4,33	3,77	63,95	1,72	2,90	0,48	0,008 9	2,86	0,37
Fiziksel Özellikler									
Özgül Ağırlık (g/cm ³)								3,16	
Özgül Yüzey (cm ² /g)								4092	
Hacim Sabitliği (mm)								1	
Priz Başlangıcı (dak.)								126	
Priz Sonu (dak.)								206	
Mekanik Özellikler									
Basınç Dayanımı (MPa) (2 günlük)								32,4	
Basınç Dayanımı (MPa) (7 günlük)								47,3	
Basınç Dayanımı (MPa) (28 günlük)								61,7	

5.1.3. Su

Bu çalışma için beton karışımında Kocaeli ili (Kocaeli su ve kanalizasyon idaresi) içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 5.4. Kullanılan suyun özellikleri

pH	S.klor	Bulanıklık	Al	Fe	Mn	Nit
7,82	0,42	0,33	4,371	<2,985	<0,203	<0,02
NH ₄ ⁺	Sertlik	Koliform	E.koli	Entrekok	Renk	İletkenlik
<0,057	14,2	0	0	0	<1,321	308

5.1.4. GFRP

Numunelere yapılan güçlendirme işlemi için GFRP kullanılmıştır. Kullanılan GFRP 550 °C sıcaklık toleransına sahip ve metrekaare ağırlığı 300 ila 1000 gr arasındadır. GFRP' ye ait özellikler Tablo 5.5'de belirtilmiştir.

Tablo 5.5. Kullanılan GFRP özelliği

Özellikleri	Değerleri
İsimlendirilmede Kullanılan Teorik Bilgiler	E-Cam
E. Modülü (GPa)	73
Çekmedeki Mukavemet (MPa)	3400
Statik Tasarımlara Emdirilmiş Çekmedeki Mukavemet (MPa)	2400
Polimer Katmandaki Cam Lifin Ağırlığı (gr/m ²)	400
Polimer Katmandaki Toplam Ağırlık (gr/m ²)	440
Yoğunluğu (gr/m ³)	2,6
ϵ_u (%)	4,5
Kalınlık (Ağırlık / Yoğunluk – mm)	0,154



Şekil 5.4. Deneyde kullanılmış olan GFRP

5.1.5. Epoksi

GFRP sargıların deney numunelerine yapıştırılması için epoksi kullanılmıştır. Epoksi malzemeye ait bilgiler tablodaki gibidir.

Tablo 5.6. Kullanılan epoksi özelliği

Cins	2 bileşen, solventsiz epoksili bağlayıcı sıvı yapıştırıcı	
Kullanılan Yerler	Kompozit güçlendirmeli sistemlerde tercih edilen, karbon fiberler ile cam fiberlerin yapıştırılmasında kullanılır	
Rengi	Açık gri	
Karışımın Oran	Ağırlığınca 4 miktar esas malzemesi Ağırlığınca 1 miktar sertleştirici	
Kullanım Sıcaklığı	15-40°C	
Akışkanlığı	23°C'de 6000 mPas	
Depo Şartları	+5 ve +25°C sıcaklıkta rutubet olmayan açılmayan ambalajda tahmini iki sene	
Özellik	Kolayca karıştırılıp ruloyla uygulanması da kolaylıkla yapılır. El ile doyurma işlemlerine uygundur. Dikey yüzey de uygulama yapılır. Pek çok yüzeylere aderansı iyidir. Mekanik özellikleri yüksektir. Astara gerek yoktur. Solventsiz.	
Ö. Ağırlığı	1,31 g/ cm ³	
Fiziksel Özelliği	Çekmedeki Mukavemet	30 N/ mm ²
	Çekmedeki Modül	4500 N/ mm ²
	Eğilmedeki Modül	3800 N/ mm ²
	Kopmadaki Uzama	% 0,9
Kürleme Zamanı	23°C'de 5 gündür	

5.1.6. Gerinim Ölçer (Strain Gauge)

Silindir beton numunelerindeki gerilimleri ölçmek için gerinim ölçer kullanılmıştır. Özellikleri Tablo 5.8'de belirtilmiştir.



Şekil 5.5. Deneyde kullanılış olan gerinim ölçer

Tablo 5.7. Kullanılan gerinim ölçer özellikleri

Tip	BF120-10AA
Gösterge Direnci Ω	119.9 ± 0.1
Ölçer Faktörü	$2.0 \pm 1\%$
Seviye	A
Miktar	10
Üretim Tarihi	25.04.2022
Müfettiş	BÇ

5.2. Kullanılan Aletler

5.2.1. Hassas - Elektronik Terazileri

Malzeme oran ölçümleri Şekil 5.6’ de gösterilen teraziler ile yapılmıştır.



Şekil 5.6. Deneyde kullanılan (a) hassas terazi (b) elektronik terazi

5.2.2. Beton Mikseri

Beton dökümü amacıyla Şekil 5.7’de verilen 56 litrelik kapasiteye sahip yatay 135°’lik açığı yapan 25 devir/dakika karma hızında olan laboratuvar modeli dikey ekseninde karıştırıcı olan beton mikseri kullanılmıştır.



Şekil 5.7. Deneyde kullanılan beton mikseri

5.2.3. Slump Huni

Beton mikserin de karıştırılmış olan betonun karışımı slump hunisin de yayılma deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.8. Slump hunisi

5.2.4. Silindir Kalıplar

Hazırlanan beton numuneleri belli süreyle beton mikserinde karıştırılma işlemi uygulandıktan sonra genişliği 100 mm, boyu 200 mm pvc silindir kalıplara dökümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.9. Silindir kalıp

5.2.5. Kür Havuzu

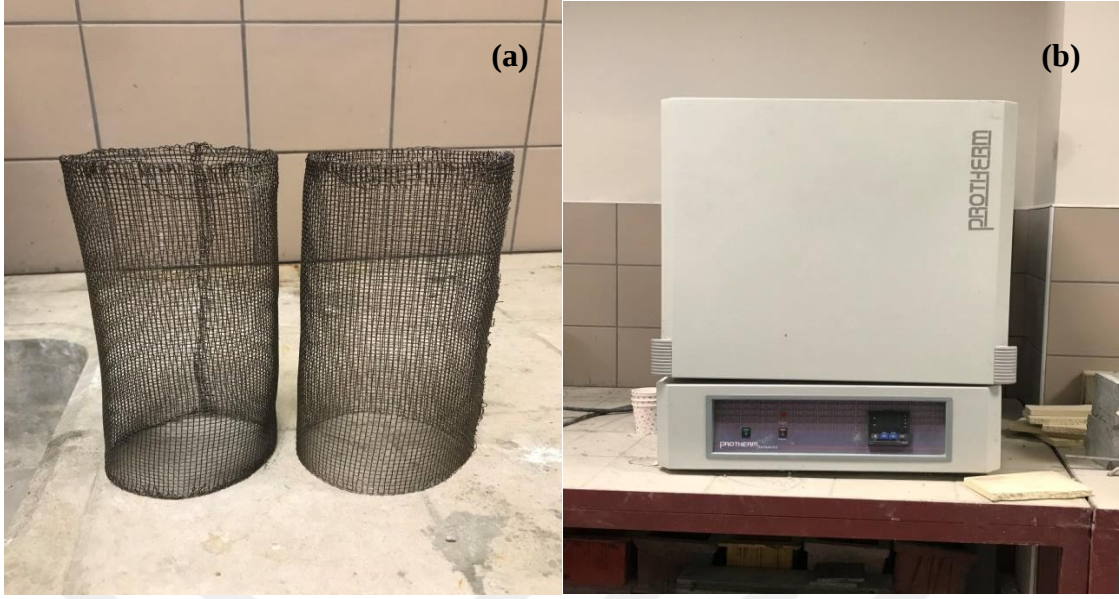
Hazırlanan silindir beton numuneleri 20 ± 2 °C , %40 ile %60 arasında nem ile laboratuvar koşullarında, 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir.



Şekil 5.10. Kür havuzu

5.2.6. Çelik Kafes ve Yüksek Sıcaklık Fırını

Beton numuneleri kür havuzunda bekledikten sonra yüksek sıcaklık fırınında gerçekleştirilecek herhangi bir numune patlaması ihtimaline karşı kullanılan özel olarak üretilmiş çelik kafes ile birlikte yüksek sıcaklık fırınında farklı sıcaklıklara maruz bırakılmıştır.



Şekil 5.11. Deneyde kullanılan (a) çelik kafes (b) yüksek sıcaklık fırını

5.2.7. Eritme Potu ve Havalandırma

Basınç deneyine hazırlanan silindir numunelerin üst kısımlarına kükürt başlık uygulaması yapılmıştır. Başlıkların hazırlanmasında kullanılan eritme potu ve ona ait havalandırma sistemi şekildeki gibidir.



Şekil 5.12. Eritme potu ve havalandırma

5.2.8. Beton Basınç Presi

Kür havuzunda 28 gün bekletilen sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımları, şekilde gösterilen Baz Makina markasına ait 300 t kapasiteli, hızı ayarlanabilen hidrolik pres kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 5.13. Beton basınç presi

5.2.9. Deformasyon Ölçüm Kafesi

Bu çalışma da deformasyon ölçümleri için dökülmüş silindirik numunelerin üzerine şekilde gösterilen beton presin içine gerinim ölçümlerinin yapıldığı bir kafes yerleştirilmiştir. Dikey deformasyonları ölçmek için 2 adet kadran göstergesi ve kafes üzerindeki yatay deformasyonları ölçmek için 1 adet kadran göstergesi bulunmaktadır. Kadran göstergesinden ve yük hücresinden ölçülen okuma değerleri, 8 kanala sahip veri toplama sisteminden yararlanılarak bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 5.14. Deformasyon ölçüm kafesi

5.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Beton numunelerinin üretimi; Kocaeli Üniversitesi yapı malzemeleri laboratuvarında standartlara uygun olarak beton üretimi yapılmıştır. Beton üretim esnasında aşağıdaki adımlar izlenerek deney tamamlanmıştır.

Kompozit silindir numune kalıpları temizlenip, kolayca ayrışması için fırça yardımıyla yağlanarak hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5.15. Beton numune kalıp hazırlığı

Beton karışımına ait malzeme miktarları uygun ağırlıkta ve yeterli miktarda tartılarak beton mikserine alınmıştır. Malzemeler miksere çimento, agrega sırasına göre eklenerek önce kuru karıştırma yapılmıştır. Bir süre bu şekilde karılma işlemi yapıldıktan sonra mala ile homojen karışım sağlanmıştır. Beton mikseri bir yandan çalışırken karışım suyu yavaşça eklenerek taze beton harcı hazır hale getirilmiştir.

Yapılan çalışmada mevcut yapıları yansıtmaması sebebiyle düşük dayanıma sahip beton numuneleri hazırlanmıştır. Hedeflenen basınç dayanımı 20 MPa belirlenerek, ön döküm sonrasında bu dayanımı sağlayan karışım oranları belirtilmiştir.

Tablo 5.8. 1 m³ portland çimentosu betonun karışımdaki oranları

S/ Ç Oranı	Çimento (kg /m ³)	Su (kg/m ³)	Doğal Kum (kg/m ³)	Kırmatas (kg/m ³)
0,68	290	197,2	718,67	1111,17

Üretilen beton homojen bir karışım elde ettikten sonra slump testi yapılmıştır. Slump hunisi düz bir tabla üzerine tam merkezine yerleştirilir. Huniye bir miktar taze betondan eklenip ve 25 kez şişlenmiştir. Üç tabaka halinde aynı işlemlere devam edilmiştir. Huni yavaşça kaldırılır ve beton ile huni arasında mesafe 15 cm ölçülerek deney tamamlanmıştır.



Şekil 5.16. Slump deneyi

Hazırlanan taze beton karışımı yağlanmış silindir kalıplara üç aşamada doldurulmuştur. Her aşamada 25 kez çelik çubuk yardımıyla şişlenmiştir. Yerleştirme yapıldıktan sonra silindir kalıpların üst yüzeyleri çelik mala ile düzleştirilmiştir.



Şekil 5.17. Silindir kalıplara beton dökümü

Ardından numuneler laboratuvar şartlarında, nemli hasır bez ile üzerleri örtülerek 24 saat süre ile kalıp içerisinde bekletilmiştir.



Şekil 5.18. Numunelerin bekletilmesi

Silindir kalıplardan çıkarılan beton numuneleri $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki su içinde 28 gün süresince bekletilmiştir.



Şekil 5.19. Betonun kürü

Beton numunelerine yüksek sıcaklık uygulanması;

Kür havuzundan alınan deney numuneleri yüksek sıcaklık fırınında patlamaması için 7 gün süreyle laboratuvar şartlarında kurumaya bırakılmıştır. Süre sonunda numunelere

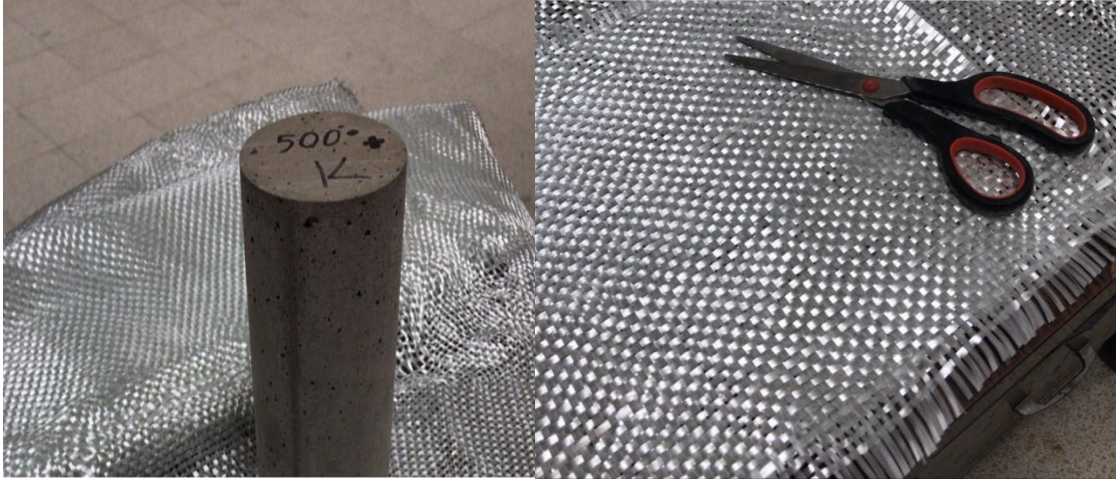
özel hazırlanan çelik kafesler geçirilerek üçerli gruplar halinde bir saat ısıtma işlemine maruz bırakılmıştır. Referans numuneler (20°C) dışında diğer bütün numunelere programlanabilir yüksek sıcaklık fırını kullanılarak 300, 500 ve 700 °C'de olacak şekilde üç değişik sıcaklıktaki derecelerin de yangın etkisine bırakılmıştır. Toplamda 2 saat süre ile bekletilmiştir. Yüksek sıcaklık fırını hedeflenen maksimum sıcaklık seviyesine gelebileceği ısıtma süresinin 120 dk olarak ayarlanmıştır. Sıcaklığın artışı $10\pm3^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ olacak şekilde fırın programlanmıştır. Fırından çıkarılan numunelerin laboratuvar ortamında kendiliğinden ortam sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Numuneler fırından çıktıktan sonra deney zamanına kadar geçen süre beton basınç davranışı üzerinde oldukça etkilidir (Naus, 2005). Bu yüzden fırından çıkarılan numuneler 4-8. gün sonrasında sargılama ve basınç dayanımı deneyleri de 13-17. gün sonrasında yapılmıştır.



Şekil 5.20. Yüksek sıcaklık deneyi

GFRP ve epoksinin hazırlanması;

Sarma işlemi yapılması için cam masa üzerine serilen elyaf malzeme numune ebatlarında makas yardımıyla kesilmiştir. Epoksi karışımı kısa sürede priz alıp katılaştığı için az miktarda karışım hazırlanmıştır. Karıştırma kabına alınan epoksi üretici firmanın belirttiği oranda alınıp terazi ile ölçülmüştür. Üçerli gruplar şeklinde numunelere sarma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.21. GFRP malzeme hazırlığı

GFRP numunelere yapıştırılması;

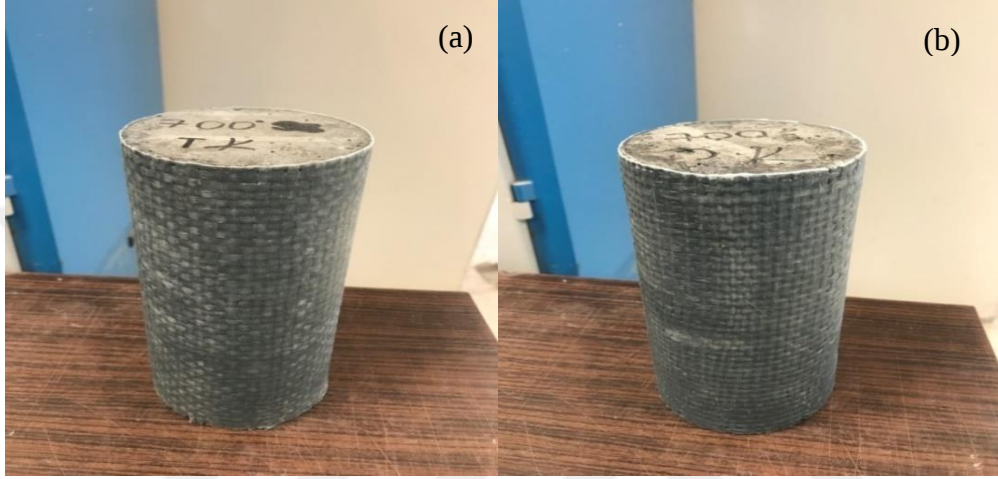
Silindir beton numunelere yapıştırma yapmadan önce GFRP' nin zarar görmemesi için yüzeyleri zımparalanarak beton parçaları yok edilmiş ve kompresör ile tozlarından arındırılmıştır. Yangın etkisinde olan numuneler GFRP kullanılarak güçlendirilmesi sağlanmıştır. Güçlendirme uygulamasında 2 bileşen, solventsiz epoksili bağlayıcı sıvı yapıştıran numune yüzeylerine yapıştırılmıştır. Güçlendirmenin işleminde tüm numunelerde GFRP' ler sürekli ve lif doğrultusu yanal doğrultuda çalışacak şekilde uygulanmıştır. Silindir numunelere yapılan GFRP sargılama şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.22. GFRP sarılması

Numuneler sargısız, tek sargılı ve çift sargılı olarak hazırlanmıştır. Tek ve iki katlı FRP uygulamalarında FRP'lerde bindirme boyu, üretici firmanın belirtmiş olduğu bindirme boyu değeri olan 100 mm alınmıştır. Bu çalışmada numune isimlendirilmesinde ilk harfler numunenin sargı şekli ile ilgili bilgi vermektedir. Sargısız, tek kat sargılı ve iki

kat sargılı olacak şekilde sırasıyla “U”, “1W” ve “2W” notasyonları kullanılmıştır. Sargı tipini gösteren notasyondan sonra maruz kalınan sıcaklık derecesi yazılmıştır. Sıcaklık uygulanmayan numunelerde bu değer 20°C olarak gösterilmiştir. Her deney grubu için 3'er numune test edilmiştir ve isimlendirmede bu numuneler “A”, “B” ve “C” harfleri ile temsil edilmiştir. Sarma işlemi tamamlanan numunelerin tamamen kurutulması için iki gün bekletilmiştir.



Şekil 5.23. Tek kat ve iki kat GFRP sarılması

Kükürt başlık yapılması;

Silindir numunelerin üst yüzeylerine beton presinin uyguladığı basıncı uniform bir şekilde yayılmasını sağlamak için kükürt başlık yapılmıştır. 150-200 °C arasında eritilen kükürt malzeme kalıba dökülerek beton numunesine başlıklama işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.24. Kükürt başlık yapılması

5.4. Deney Yöntemleri

Deney çalışması kapsamında toplam 36 adet sargılı ve sargısız silindir beton numunesi hazırlanarak, basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 300 t kapasiteye sahip hidrolik beton presi kullanılmıştır. Basınç deneyleri yapılırken silindir numunelerde oluşan düşey deformasyonların belirlenmesi için elastisite modülü ölçüm deneyinde kullanılan çelik kafes ile deney yapılmıştır. Numunenin üzerinde sabitlenmiş çelik kafes üzerinde iki adet dial gauge takılmış ve numunedeki eksenel deformasyon miktarları iki saatin de ortalaması hesaplanarak belirlenmiştir. Numunedeki sargının üzerindeki meydana gelen yanal birim deformasyonların belirlenmesinde ise numunenin eksenel doğrultusunda orta noktasına yapıştırılan gerinim ölçer kullanılmıştır. Kullanılan çelik kafes ve ölçüm ekipmanları Şekil 5.25’de gösterilmiştir.



Şekil 5.25. Ölçüm ekipmanı

Deneyler ASTM C-39 ve ASTM C-469 standardına uygun olarak yapılmış ve yüklemedeki hız 0,35 MPa /saniye olarak tutulmuştur.

Deney yapılırken ölçüm aletlerinden ve yük hücresinden elde edilen bütün veriler 8 kanallı bir data logger kullanılarak bilgisayar tarafından kaydedilmiştir. Deneylerin yapıldığı düzenek şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.26. Deneydeki düzenek

6. DENEY SONUÇLARI

Deneylerden elde edilen basınç dayanımları, maksimum gerilme değeri sırasında ortaya çıkan yanal ve eksenel birim deformasyon değerlerine ait sonuçlar Tablo 6.1’de verilmiştir.

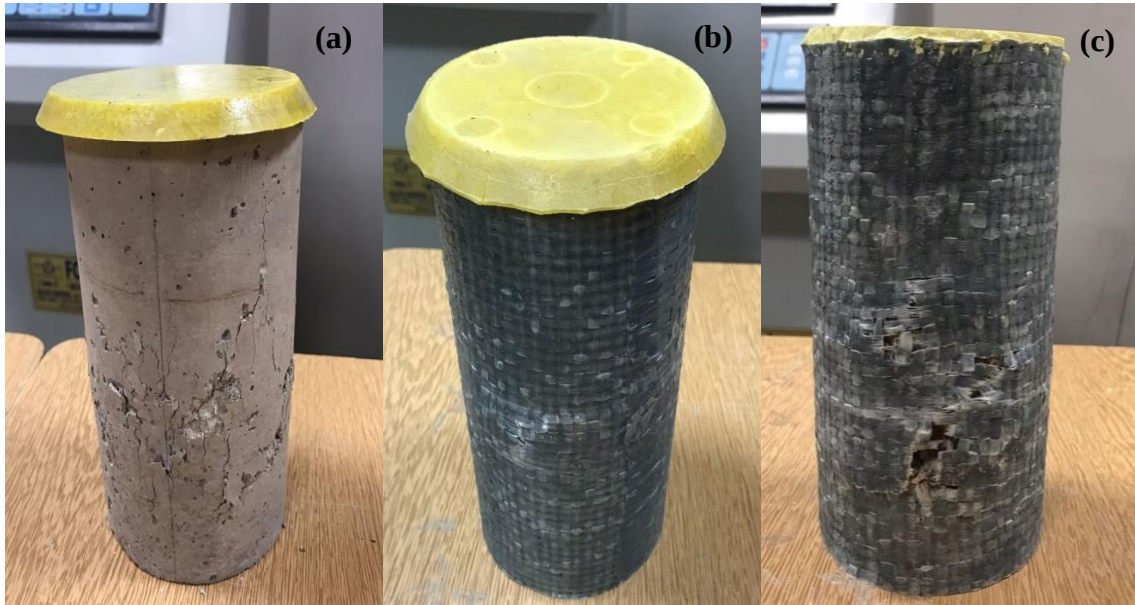
Deney sırasında gerinim ölçer’in kopması ve kayıt alınamaması gibi sebeplerden bazı deney numunelerinde sonuçlar hesaplanamamıştır. Bu numuneler tabloda ölçüm alınamadı “ÖA” kısaltmasıyla belirtilmiştir.

Sargılanmamış numunelerde; göçme modu koni kırılma modunda düşey çatlaklar sonucu olmuştur.

Sargılanmış numunelerde; tüm göçmeler GFRP liflerinin kopması sonucunda meydana gelmiştir. Bu göçme modunun oluşması da seçilmiş olan sargı bindirme boyunun yeterli olduğunun bir göstergesidir.

İki katlı sargılı numunelerde daha büyük gerilme değerlerinde göçme meydana geldiği için tek katlı numunelere göre daha ani ve sesli olarak göçme oluştuğu görülmüştür.

Sargılanmamış, tek ve iki katı sargılı numunelere ait tipik kırılmaya ait modlar Şekil 6.1.’de gösterilmiştir.

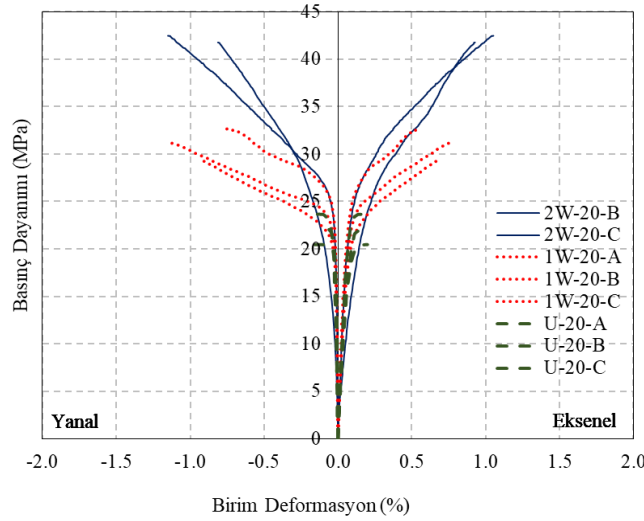


Şekil 6.1. Kırılma modları (a) sargısız (b) tek kat sargılı (c) iki kat sargılı

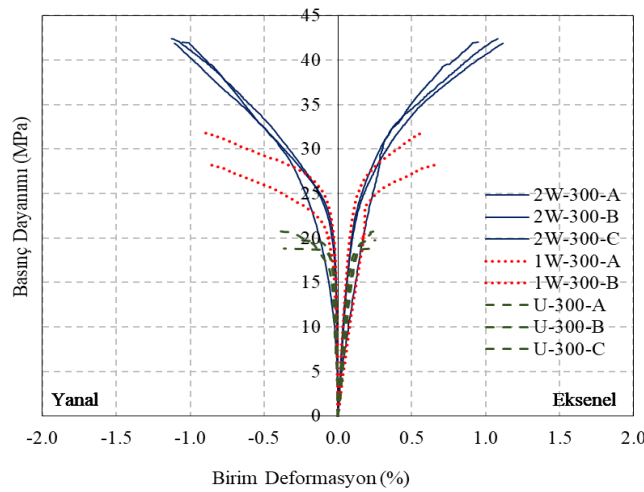
Tablo 6.1. Deneyden elde edilmiş sonuçlar

	Numune	Basınç Dayanımı (MPa)		Eksenel Birim Deformasyon (%)		Yanal Birim Deformasyon (%)	
		Test	Ort.	Test	Ort.	Test	Ort.
20°C	U-20-A	23,65	22,08	0,16	0,20	0,15	0,15
	U-20-B	22,14		0,17		0,14	
	U-20-C	20,46		0,20		0,16	
	1W-20-A	32,67	31,07	0,56	0,66	0,76	0,94
	1W-20-B	29,39		0,69		0,93	
	1W-20-C	31,14		0,75		1,12	
	2W-20-A	ÖA*	41,12	ÖA*	0,99	ÖA*	0,98
	2W-20-B	42,48		1,05		1,15	
	2W-20-C	41,77		0,93		0,81	
300°C	U-300-A	18,83	19,79	0,25	0,25	0,37	0,35
	U-300-B	20,80		0,24		0,41	
	U-300-C	19,75		0,25		0,27	
	1W-300-A	28,27	30,05	0,67	0,62	0,87	0,89
	1W-300-B	31,83		0,57		0,91	
	1W-300-C	ÖA*		ÖA*		ÖA*	
	2W-300-A	41,90	42,11	1,12	1,05	1,11	1,10
	2W-300-B	42,40		1,08		1,13	
	2W-300-C	42,02		0,95		1,05	
500°C	U-500-A	11,91	14,41	0,43	0,43	1,34	1,33
	U-500-B	14,51		0,46		1,43	
	U-500-C	16,81		0,39		1,20	
	1W-500-A	28,41	28,14	1,05	0,90	1,14	1,06
	1W-500-B	27,59		0,72		0,97	
	1W-500-C	28,42		0,94		1,07	
	2W-500-A	40,55	40,27	1,27	1,24	1,16	1,13
	2W-500-B	ÖA*		ÖA*		ÖA*	
	2W-500-C	39,99		1,22		1,10	
700°C	U-700-A	7,51	7,69	0,64	0,60	1,56	1,43
	U-700-B	7,63		0,54		1,40	
	U-700-C	7,94		0,61		1,32	
	1W-700-A	24,00	24,09	1,24	1,19	0,95	0,95
	1W-700-B	22,83		1,17		0,93	
	1W-700-C	25,44		1,15		0,97	
	2W-700-A	36,76	36,54	1,74	1,66	1,08	1,22
	2W-700-B	36,33		1,59		1,35	
	2W-700-C	ÖA*		ÖA*		ÖA*	

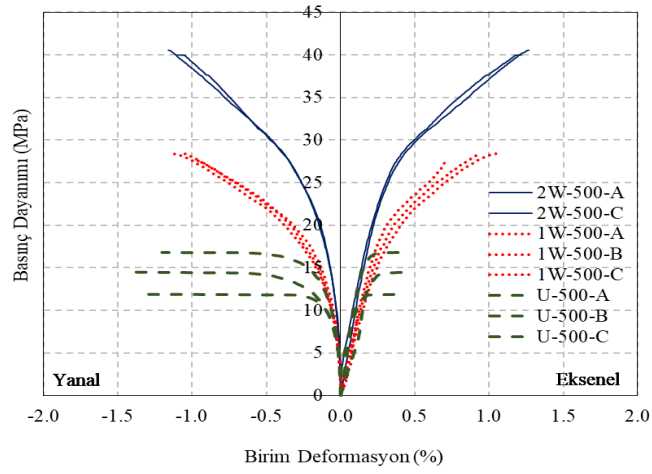
Deneylerden elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafikleri her bir numune için ayrı ayrı şekillerde verilmiştir. Grafikler basınç dayanımı değerinin maksimum gerilme değerine ulaşıldığı ana kadar çizdirilmiştir. Sargılanmamış numunelerde sıcaklık arttıkça basınç dayanımında düşüş meydana geldiği, eksenel ve yanal birim deformasyonda artış olduğu ayrıca da başlangıç eğimlerindeki azalmadan dolayı numunelerin elastisite modüllerinde (dolayısıyla rijitliklerinde) azalma olduğu belirlenmiştir. Sargılama ile betonun rijitliğinin geri kazanılmadığı ancak yük taşıma kapasitelerinin arttırabildiği anlaşılmıştır. GFRP sargılama ile tek katmanlı olsa dahi yangında hasar görmüş olan betonların başlangıç basınç dayanımı ve üzeri değerlerine geri dönebildiği görülmüştür.



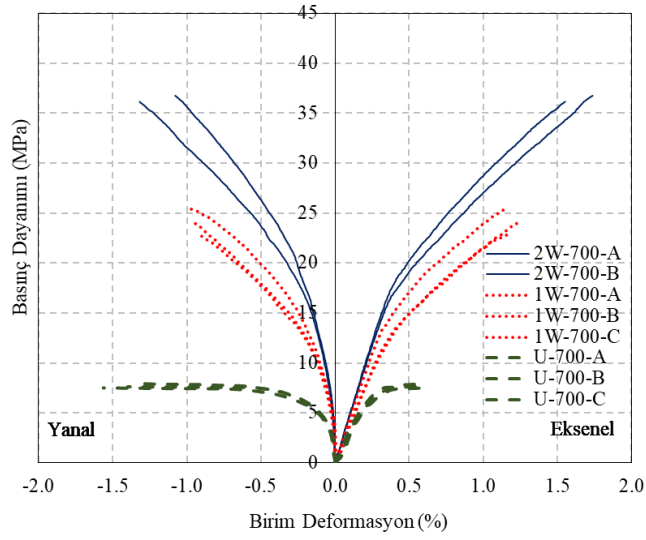
Şekil 6.2. 20 °C Gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi



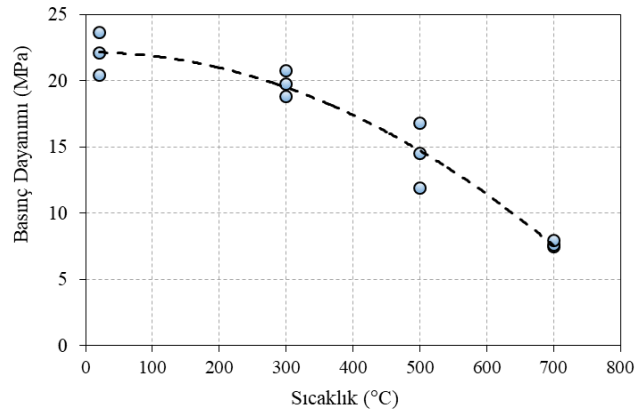
Şekil 6.3. 300 °C Gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 6.4. 500 °C Gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

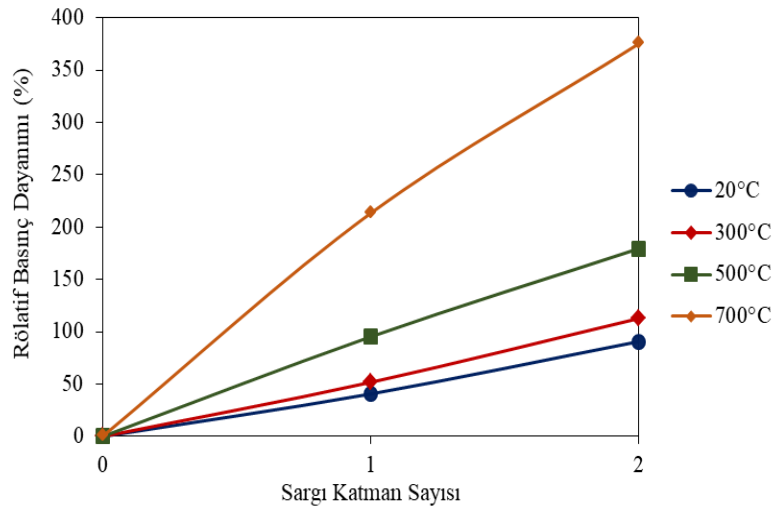


Şekil 6.5. 700 °C Gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 6.6. Sıcaklık değişiminin sargısız numunelerin basınç dayanımı üzerindeki etkisi

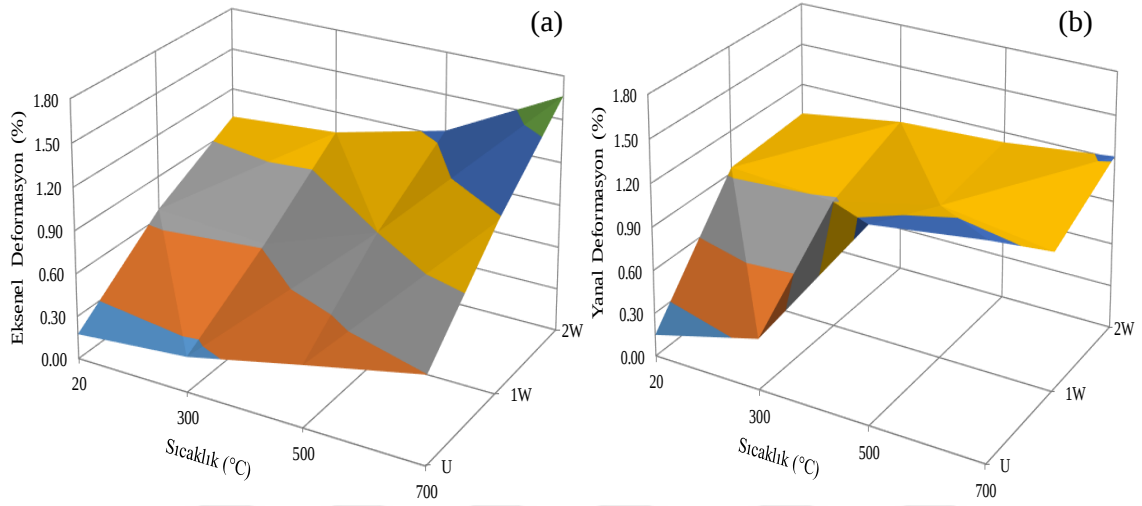
Farklı sıcaklık değerleri etkisi altında uygulanan GFRP güçlendirme sargılamasının etkinliğinin incelenmesi amacıyla Şekil 6.7’de gösterilen grafik hazırlanmıştır. Herhangi bir sıcaklık etkisinde olmayan 20°C’de beton numuneye uygulanan tek katlı ve iki katlı sargılama altında rölatif basınç dayanımı artışının sırasıyla %41 ve %91 olduğu belirlenmiştir. Maruz kalan sıcaklık etkisi arttıkça yani yangında alınan hasar seviyesi arttıkça basınç dayanımında meydana gelen düşüş ile beraber uygulanan sargılamanın etkinliğinin daha da arttığı açıkça görülmektedir. İki kat GFRP sargılama sonrası 700°C’de sıcaklık etkisine maruz kalan beton numunenin almış olduğu hasar sonrasında belirlenen basınç dayanımı değerine oranla yaklaşık olarak %375 oranında artış elde edilmiştir. Literatürde 20 MPa beton numune üzerinde 700°C sıcaklık etkisi sonrasında tek kat karbon lif takviyeli polimer kullanılarak yapılmış olan güçlendirme sonrasında rölatif basınç dayanımında %390 oranında artış olduğu belirtilmiştir (Lenwari ve diğ., 2016).



Şekil 6.7. Sargı katman sayısının rölatif basınç dayanımı üzerine etkisi

Yüksek sıcaklık etkisinin sargılı ve sargısız beton silindir numunelerinin yanal ve eksenel deformasyonları üzerindeki etkisi Şekil 6.8’de gösterildiği gibidir. Sargılanmamış numunelerde sargılama etkisi ile eksenel deformasyon değerlerinin sıcaklık artışı ile %344 oranında artış yaparken tek ve iki kat sargılanmış numunelerde bu artışın sırasıyla %178 ve %168 olduğu belirlenmiştir. Sargılanmış ve sargılanmamış numunelerdeki eksenel basınç dayanımı artışı oranının her sıcaklık değerinde hemen hemen sabit olduğu grafikten görülmektedir. Sargılanmamış numunelerde sıcaklık artışıyla yanal deformasyon değerlerinin artışında belirli bir trend belirlenememiştir.

Özellikle 300°C üzerinde sargılanmamış numunelerin yanıl deformasyon değlerlerinde önemli artış olduğu görölmüştür. Sargılanmış numunelerde sıcaklık artışı ile yanıl deformasyon değlerinin büyük oranlarda değışmediğı hemen hemen sabit kaldığı belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar literatürde yer alan lif takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş deneysel çalışmalara paralel sonuçlar elde dilmiştir (Bisby vd, 2011; Lenwari vd, 2016).



Şekil 6.8. Sıcaklık değışiminin (a) eksenel deformasyon (b) yanıl deformasyon üzerindeki etkisi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yangında hasar görmüş düşük dayanımlı betonların GFRP sargılanarak güçlendirilmesi durumunda mekanik davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, hazırlanan bu numuneler sabit 2 saat süre ile 300 °C, 500 °C ile 700 °C’de yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak hasar alması sağlanmış ve sonra GFRP kullanılarak tek kat ve iki katlı sargılama işlemi ile güçlendirme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sargılanmış ve sargılanmamış numunelerde basınç dayanımı, yanal ve eksenel deformasyon değişimleri belirlenerek elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Sargısız numunelerde basınç dayanımı kaybı 300°C sıcaklıkta bekletilen numunelerde %10 iken 700°C’deki numunelerde %65 oranına kadar artmıştır. 300°C dereceden sonra betonun yapısındaki bozunmaların hızlanması nedeniyle bu dereceden daha yüksek sıcaklık değerlerinde basınç dayanımı kaybının önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir.
- Herhangi bir sıcaklık etkisinde olmayan 20°C’de beton numuneye uygulanan tek katlı ve iki katlı sargılama altında rölatif basınç dayanımı artışının sırasıyla %41 ve %91 olduğu belirlenmiştir. İki kat GFRP sargılama sonrası 700°C’de sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerin almış olduğu hasar sonrasında belirlenen basınç dayanımı değerine oranla yaklaşık olarak %375 oranında artış elde edilmiştir. Maruz kalınan sıcaklık etkisi arttıkça yani yangında alınan hasar seviyesi arttıkça basınç dayanımında meydana gelen düşüş ile beraber uygulanan sargılamanın etkinliğinin daha da arttığı görülmüştür.
- Sargılanmamış numunelerde sargılama etkisi ile eksenel deformasyon değerleri sıcaklık artışı ile %344 oranında artış yaparken tek ve iki kat sargılanmış numunelerde bu artışın sırasıyla %178 ve %168 olduğu belirlenmiştir. Sargılanmış ve sargılanmamış numunelerdeki eksenel basınç dayanımı artışı oranının her sıcaklık değerinde hemen hemen sabit olduğu görülmüştür.
- Özellikle 300°C sıcaklık üzerinde sargılanmamış numunelerin yanal deformasyon değerlerinde önemli artış olduğu görülmüştür. Tek ve iki kat sargılanmış numunelerde sıcaklık artışı ile yanal deformasyon değerlerinin büyük oranlarda değişmediği hemen hemen sabit kaldığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abadel, A., Abbas, H., Albidah, A., Almusallam, T., & Al-Salloum, Y. (2022). Effectiveness of GFRP Strengthening of Normal and High Strength Fiber Reinforced Concrete After Exposure to Heating and Cooling. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 36, 101147.
- Akman, M. S., 2000. Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayınları, 177 s, İstanbul.
- Alihassan, A. (2021). GFRP İle Güçlendirilmiş Endüstriyel Betonarme Bacaların Sonlu Elemanlar Metodu İle Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 681707.
- Almusallam, T. H. (2007). Behavior of Normal and High-Strength Concrete Cylinders Confined with E-glass/Epoxy Composite Laminates. *Composites Part B: Engineering*, 38(5-6), 629-639.
- Al-Tameemi, H. (2021). Shape Modification of Square Column Sections to Improve the Effectiveness of Frp Confinement. Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 681218.
- ASTM C-39 (2018) Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- ASTM C-469 (2014) Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- Ay, S. (2010). Farklı Agregalı Betonların Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 259287.
- Aydın, S., & Baradan, B. (2007). Effect of Pumice and Fly Ash Incorporation on High Temperature Resistance of Cement Based Mortars. *Cement and concrete research*, 37(6), 988-995.
- Bakırcı, E., Karatop, B., & Bayındır, S. (2019). Yangın Stratejilerinin Oluşturulması için İstatistik Veri Türlerinin Türkiye (İstanbul İli Örneğinde) ve Seçilmiş Ülkeler ile Karşılaştırılması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 272-280.
- Beyaz, A., & Livaoglu, R. (2019). Bursa İli Kentsel Dönüşüm Çalışmalarında Elde Edilen Beton Basınç Dayanımının Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1), 63-74.
- Bisby, L. A., Chen, J. F., Li, S. Q., Stratford, T. J., Cueva, N., & Crossling, K. (2011). Strengthening Fire-Damaged Concrete by Confinement with Fibre-Reinforced Polymer Wraps. *Engineering Structures*, 33(12), 3381-3391.

- Cülfik, M. S., & Özturan, T. (2002). Effect of Elevated Temperatures on The Residual Mechanical Properties of High-Performance Mortar. *Cement and Concrete Research*, 32(5), 809-816.
- Colombo, M., & Felicetti, R. (2007). New NDT Techniques for the Assessment of Fire-Damaged Concrete Structures. *Fire Safety Journal*, 42(6-7), 461-472.
- Çetinkaya, N., Kaplan, H., & Şenel, Ş. M. (2011). Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (FRP) Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(3), 291-298.
- Dhand, V., Mittal, G., Rhee, K. Y., Park, S. J., & Hui, D. (2015). A Short Review on Basalt Fiber Reinforced Polymer Composites. *Composites Part B: Engineering*, 73, 166-180.
- Ehlert, G. J., Lin, Y., & Sodano, H. A. (2011). Carboxyl Functionalization of Carbon Fibers Through a Grafting Reaction That Preserves Fiber Tensile Strength. *Carbon*, 49(13), 4246-4255.
- Elbruz, K. (2005). Betonarme Yapıların Onarımı, Güçlendirilmesi ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 166218.
- Ergünay, O. (2007) Türkiye'nin Afet Profili. TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara, Türkiye, Aralık 5-7, 1-14.
- Fehérvári, S., & Nehme, S. G. (2009). Effect of The Concrete' s Component on The Heat Shock Bearing Capacity of Tunnel Linings. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 53(1), 15-23.
- Firmo, J. P., Correia, J. R., & Bisby, L. A. (2015). Fire Behaviour of FRP-Strengthened Reinforced Concrete Structural Elements: a State-of-the-Art Review. *Composites Part B: Engineering*, 80, 198-216.
- Foster, S. K., & Bisby, L. A. (2008). Fire Survivability of Externally Bonded FRP Strengthening Systems. *Journal of composites for construction*, 12(5), 553-561.
- Georgali, B., & Tsakiridis, P. E. (2005). Microstructure of Fire-Damaged Concrete. A case study. *Cement and Concrete composites*, 27(2), 255-259.
- Hakim, A. (2017). Concrete Filled Glass Fiber Reinforced Polymer Short Column. Y. Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 477718.
- Imaizumi, A., Ito, K., & Okazaki, T. (2016). Impact of Natural Disasters on Industrial Agglomeration: The Case of the Great Kantō Earthquake in 1923. *Explorations in Economic History*, 60, 52-68.
- Kaygusuz, M. A. (2008). Yangın Hasarına Uğramış Betonun GFRP ve Epoksi Enjeksiyonu ile Onarım ve Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 232363.

- Khoury, G. A. (1992). Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: a Reassessment. *Magazine of concrete Research*, 44(161), 291-309.
- Koçak A. Antalya Bölgesinde Yer Alan Mevcut Yapıların Beton Dayanımlarının Örneklemeye Yöntemiyle Belirlenmesi. <https://eskisakarya.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11140.pdf>
- Kodur, V. (2014). Properties of Concrete at Elevated Temperatures. *International Scholarly Research Notices*, 2014.
- Kodur, V., & Khaliq, W. (2011). Effect of Temperature on Thermal Properties of Different Types of High-Strength Concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 23(6), 793-801.
- Lenwari, A., Rungamornrat, J., & Woonprasert, S. (2016). Axial Compression Behavior of Fire-Damaged Concrete Cylinders Confined with CFRP Sheets. *Journal of Composites for Construction*, 20(5), 04016027.
- Mahsanlar, N. (2006). Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 199002.
- Nasser, J., Lin, J., Steinke, K., & Sodano, H. A. (2019). Enhanced Interfacial Strength of Aramid Fiber Reinforced Composites Through Adsorbed Aramid Nanofiber Coatings. *Composites Science and Technology*, 174, 125-133.
- Natarajan, S., & Selvan, S. S. (2021). Experimental Study on Axial Compression Behaviour of Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP) Wrapped Nano Material Concrete Columns. *Materials Today: Proceedings*, 39, 748-757.
- Noumowe, A. (2005). Mechanical Properties and Microstructure of High Strength Concrete Containing Polypropylene Fibres Exposed to Temperatures up to 200 C. *Cement and concrete research*, 35(11), 2192-2198.
- Naus, D. (2006). The Effect Of Elevated Temperature on Concrete Materials and Structures: a Literature Review. Rockville, MD, USA: Division of Engineering Technology, Office of Nuclear Regulatory Research, US Nuclear Regulatory Commission.
- Oliveira, D. S., Raiz, V., & Carrazedo, R. (2019). Experimental Study on Normal-Strength, High-Strength and Ultrahigh-Strength Concrete Confined by Carbon and Glass FRP Laminates. *Journal of Composites for Construction*, 23(1), 04018072.
- Otoom, O. F., Lokuge, W., Karunasena, W., Manalo, A. C., Ozbakkaloglu, T., & Thambiratnam, D. (2021). Experimental and Numerical Evaluation of the Compression Behaviour of GFRP-Wrapped Infill Materials. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00654.
- Öztürk O., Engin S., Öner A., Baytekin Çiçek G. (2016) Kulemanit Katkılı Harçların Eğilme Dayanımına Yüksek Sıcaklığın Etkisi. Doğla Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16). Karabük. Türkiye.

- Peker, Ö. (2005). Düşük Dayanımlı Betonarme Elemanların CFRP ile Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 166216.
- Poon, C. S., Azhar, S., Anson, M., & Wong, Y. L. (2001). Comparison of the Strength and Durability Performance of Normal-and High-Strength Pozzolan Concrete at Elevated Temperatures. *Cement and concrete research*, 31(9), 1291-1300.
- Sarıbıyık, A. (2018). Betonların Güçlendirilmesinde FRP Kompozitlerin Hibrit Olarak Kullanımının Etkisi. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 383-391.
- Seçer, O. (2008). Yüksek Sıcaklık Etkisinden Hasar Görmüş Lifli, Hava Sürükleyici Katkılı ve Perlit Agregalı Betonların Dayanım Özellikleri ve GFRP ile Onarımı ve Güçlendirilmesi. Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 232362 .
- Shakhmenko, G., & Birsh, J. (1998, January). Concrete Mix Design and Optimization. In *Proceedings of the 2nd International Symposium in Civil Engineering* (pp. 1-8).
- Sipahioğlu, M. (2006). Betonarme Binaların Fiber Takviyeli Polimer Sistemi ile Onarım ve Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 185699.
- Tayeh, B. A., Hasaniyah, M. W., Zeyad, A. M., & Yusuf, M. O. (2019). Properties of Concrete Containing Recycled Seashells as Cement Partial Replacement: A review. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117723.
- Turker, P., Erdogdu, K., & Erdogan, B. (2001). Investigation of Fire-Exposed Mortars with Different Types of Aggregates. *Cem Concr World*, 6(31), 52-67.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018). *T.C. Resmi Gazete* (30364, 18 Mart 2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Uygun, T. (2010). Beton Yapı Elemanlarının Cam Elyaf Sarma Yöntemiyle Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 270362.
- Uysal, A. (2004). Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 152135.
- Vijayan, D. S., Mohan, A., Jebasingh Daniel, J., Gokulnath, V., Saravanan, B., & Kumar, P. D. (2021). Experimental Investigation on the Ecofriendly External Wrapping of Glass Fiber Reinforced Polymer in Concrete Columns. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021.
- Wróblewska, J., & Kowalski, R. (2020). Assessing concrete strength in fire-damaged structures. *Construction and Building Materials*, 254, 119122.

- Yaqub, M., & Bailey, C. G. (2011). Repair of fire damaged circular reinforced concrete columns with FRP composites. *Construction and Building Materials*, 25(1), 359-370.
- Young, S., Balluz, L., & Malilay, J. (2004). Natural and Technologic Hazardous Material Releases During and After Natural Disasters: a Review. *Science of the total environment*, 322(1-3), 3-20.
- Yörükçü, B. (2007). Hasarlı Yapıların Onarım Güçlendirme İlkeleri. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 200714
- Yüzer, N., Aköz, F., & Öztürk, L. (2001). Yangına Maruz Yapılarda Betonun Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi. *Yıldız Teknik Üniv. Dergisi*, 4, 51-60.
- Zaman, A., Gutub, S. A., & Wafa, M. A. (2013). A Review on FRP Composites Applications and Durability Concerns in the Construction Sector. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32(24), 1966-1988.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Öztürk O., Öner A., Temiz T., **Çetintaş K.** (2022). GFRP ile Güçlendirilen Yangına Maruz Kalmış Betonların Basınç Davranışının İncelenmesi. *Disaster Science and Engineering*, 8(2), 40-51.



ÖZGEÇMİŞ

Kübra ÇETİNTAŞ, İlköğretimini Eser İlköğretim Okulu ve Merkez Atatürk İlköğretim okulunda tamamladı. Orta öğretimini Şehit Üsteğmen Selçuk Esedoğlu Anadolu lisesinde tamamladı. 2007-2009 yılları arasında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi – İnşaat Teknolojisi bölümünü bitirdi. 2010-2012 yıllarında özel sektörde çalıştı. Dikey geçiş sınavını kazanarak 2012-2015 yılları arasında Niğde Üniversitesi – İnşaat Mühendisliği eğitimi tamamladı. 2019 yılı bahar döneminde Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başladı. 2015 yılından itibaren özel sektörde proje ofisinde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.

