

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

**YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ FRP DONATILI
BETONLARDA PASPAYI VE BETON DAYANIMININ
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa AKYÜREK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ
Ortak Danışman : Doç. Dr. Ferhat AYDIN

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ FRP DONATILI
BETONLARDA PASPAYI VE BETON DAYANIMININ
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa AKYÜREK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

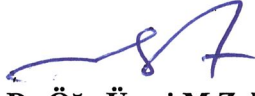
Bu tez 27.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Kemalettin
YILMAZ
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Ferhat
AYDIN
Üye


Dr. Öğr. Üyesi Ali
SARIBIYIK
Üye


Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin
KASAP
Üye


Dr. Öğr. Üyesi M. Zeki
ÖZYURT
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mustafa AKYÜREK

27.05.2019



TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi birikimi ve tecrübelerinden yararlandığım yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans eğitimimde ve de tez sürecimin başından sonuna kadar bilgi birikimini benimle paylaşan laboratuvar çalışmaları ve tez yazım sürecinde tüm detaylarıyla ilgilenen bilgi ve tecrübeleri yanı sıra özverisini eksik etmeyen ortak danışmanım kıymetli hocam Doç. Dr. Ferhat AYDIN'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Malzeme laboratuvarında gerçekleştirdiğim deneylerin hazırlanmasında emeği bulunan teknikerlerimiz Sami GÜRSES ve Şenol DAĞLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatımda olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da beni yalnız bırakmayan maddi ve manevi yanımda olan bana inanan, güvenen dualarını eksik etmeyen aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
FRP DONATILAR.....	4
2.1.FRP Donatı Tarihsel Gelişimi.....	6
2.2.FRP Donatı Üretimi	9
2.2.1. Pultruzyon yöntemi	10
2.2.2. Pultruzyon yöntemi avantajları	14
2.2.3. Pultruzyon yöntemi dezavantajları.....	16
2.3.FRP Çubukların Betonda Kullanımı.....	16
BÖLÜM 3.	
YAPI MALZEMELERİNDE YANGIN ETKİSİ	21
3.1. Yanma ve Yangın	22
3.2.FRP Donatılarda Isı Etkisi	24
3.3.Betonda Isı İletimi	28
3.3.1. Yüksek sıcaklıklarda betonun davranışı	30

3.4. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	34
BÖLÜM 4.	
METERYAL VE METOT	47
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	47
4.1.1. Beton karışım malzemeleri	47
4.1.2. GFRP donatılar	50
4.1.3. Deneyde kullanılan gereçler	51
4.2. Deneysel Çalışmalar	54
BÖLÜM 5.	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME	66
5.1. Basınç Deneyi Sonuçları	66
5.2. Sıcaklık Deneyi Sonuçları	68
5.2.1. C20 sıcaklık deneyi sonuçları	68
5.2.2. C30 sıcaklık deneyi sonuçları	70
5.2.3. C40 sıcaklık deneyi sonuçları	73
5.2.4. Aynı paspayına sahip numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiğinde kıyaslanması	77
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR.....	82
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	100

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Kesit Alanı (mm^2)
ACI	: American Concrete Institute
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ASTM	: American Society for Testing and Materials
A.Ş.	: Anonim Şirketi
AFRP	: Aramid Fiber Takviyeli Plastik
BFRP	: Bazalt Fiber Takviyeli Plastik
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Plastik
CEM I	: Portland Çimentosu
CEN	: Avrupa Standardizasyon Komitesi
EPS	: Expanded Polystyren Foam
EOQ	: Avrupa Kalite Örgütü
EN	: Europeane Norm
FRP	: Fiber Takviyeli Plastik
GFRP	: Cam Fiber Takviyeli Plastik
MRI	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
U	: Isı Geçirgenlik Katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)
ISO	: International Standards Of Organisations
E	: Elastisite Modülü(N/mm^2)
Λ	: Isı İletkenlik Katsayısı (W/m.K)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ULC	: Kanada Standartlar Yangın Dayanıklılık Yöntemler
γ_c	: Kompozit Malzeme Özgül Ağırlığı
γ_m	: Matrisin Özgül Ağırlığı
γ_f	: Fiberin Özgül Ağırlığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kompozit sınıflandırılması	5
Şekil 2.2. Kenevir lifli araç Henry Ford 1941	8
Şekil 2.3. FRP çubuklar	9
Şekil 2.4. Pultrüzyon Gösterimi	11
Şekil 2.5. Pultrüzyon aşamalar	11
Şekil 2.6. Pultrüzyon makine	12
Şekil 2.7. FRP donatı çubuklarının reçine ile birleşimi	13
Şekil 3.1. Betonarme binada yangın	21
Şekil 3.2. Harçta sıcaklık etkisi öncesi ve sonrası 600 c görüntüsü.....	31
Şekil 3.3. Yüksek sıcaklıkta betonun davranışı	32
Şekil 3.4. Betonun yüksek sıcaklıklarda kalan basınç dayanımı	34
Şekil 3.5. Dört farklı elyaf tipine ait FRP çubuklar ve beton içerisindeki hali	36
Şekil 4.1. Deneyde kullanılan agregalar	48
Şekil 4.2. 10 mm çapında FRP bar	50
Şekil 4.3. K tipi çift giriş termometre	51
Şekil 4.4. K 01 tipi termokupl	52
Şekil 4.5. Protherm marka kül fırın.....	53
Şekil 4.6. Siyah izole bant ve yapışkan kroşe	54
Şekil 4.7. Basınç deneyi için hazırlanan küp numuneler	55
Şekil 4.8. Beton sınıfı ve paspayı gösterimi.....	55
Şekil 4.9. Numune ebatlarının gösterildiği plan çizimi.....	56
Şekil 4.10. Numunelerin yan kesit görünüşü.	57
Şekil 4.11. Numunelerin ön kesit görüntüsü	58
Şekil 4.12. Termokupl ucunun donatıya bağlanması	59
Şekil 4.13. Tüm donatıların termokuplara bağlanmış görüntüsü	59
Şekil 4.14. Beton döküm aşaması	60

Şekil 4.15. C20 C30, C40 2 cm paspayına sahip numunelerimiz	61
Şekil 4.16. C20, C30, C40 4 cm paspayına sahip numunelerimiz	61
Şekil 4.17. C20, C30, C40 6 cm paspayına sahip numunelerimiz	62
Şekil 4.18. 2 cm, 4 cm, 6 cm paspayına sahip numunelerin biraradaki görüntüsü	63
Şekil 4.19. Beton üzerinden termokupl bağlanmış numunemiz	64
Şekil 4.20. Ölçüm için hazırlanan düzenek.....	65
Şekil 4.21. Ölçüm için hazır halde bulunan düzenek.....	65
Şekil 5.1. Beton sınıfı C20 paspayı 2 cm sıcaklık-zaman grafiği	68
Şekil 5.2. Beton sınıfı C20 paspayı 4 cm sıcaklık-zaman grafiği	69
Şekil 5.3. Beton sınıfı C20 paspayı 6 cm sıcaklık-zaman grafiği	69
Şekil 5.4. C20 beton sınıfında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği	70
Şekil 5.5. Beton sınıfı C30 paspayı 2 cm sıcaklık-zaman grafiği	71
Şekil 5.6. Beton sınıfı C30 paspayı 4 cm sıcaklık-zaman grafiği	71
Şekil 5.7. Beton sınıfı C30 paspayı 6 cm sıcaklık-zaman grafiği	72
Şekil 5.8. C30 beton sınıfında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği	73
Şekil 5.9. Beton sınıfı C40 paspayı 2 cm sıcaklık-zaman grafiği	74
Şekil 5.10. Beton sınıfı C40 paspayı 4 cm sıcaklık-zaman grafiği	75
Şekil 5.11. Beton sınıfı C40 paspayı 6 cm sıcaklık-zaman grafiği	75
Şekil 5.12. C40 Beton sınıfında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği .	76
Şekil 5.13. 2 cm paspayında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği.....	77
Şekil 5.14. 4 cm paspayınada numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği.....	78
Şekil 5.15. 6 cm paspayında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği.....	79

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Çelik ve diğer FRP Malzemelerin Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	26
Tablo 4.1. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	48
Tablo 4.2. C20/1m ³ beton karışım miktarlar.....	49
Tablo 4.3. GFRP donatı mekanik özellikler.....	51
Tablo 4.4. Protherm marka fırın özellikleri	53
Tablo 5.1. C20 7 günlük beton basınç deneyi sonuçları	66
Tablo 5.2. C30 7 günlük beton basınç deneyi sonuçları	66
Tablo 5.3. C40 7 günlük beton basınç deneyi sonuçları	67
Tablo 5.4. C20 28 günlük beton basınç deneyi sonuçları	67
Tablo 5.5. C30 28 günlük beton basınç deneyi sonuçları	67
Tablo 5.6. C40 28 günlük beton basınç deneyi sonuçları	67
Tablo 5.7. Paspayı ve beton kombinasyonunda kritik zaman gösterimi.....	76

ÖZET

Anahtar kelimeler: FRP donatı, sıcaklık, paspayı, beton

Yenilenen dünyada her şeyin değiştiği gibi inşaat teknolojisi de eskisinden daha üst seviyelere taşınmıştır. Bu bağlamda inşaat mühendisliğin en önemli dallarından biri olan yapı malzemesi de her zamankinden daha emin olarak teknolojik gelişmelerde yer almıştır. Daha çok geleneksel malzemelerin eksik kaldığı noktalar araştırmacıları yeni nesil malzemeleri ortaya çıkarmayı, geliştirmeye yönlendirmiştir. FRP (Fiber Takviyeli Polimer) kompozit malzemeleri de bu noktada kendisini göstermiş yeni nesil malzemeler konusunda önem arz etmektedir. Takviyeli polimerler arasında en çok kullanılan ve mühendislerin optimum noktayı yakalamasına en çok yardım eden GFRP (Cam Fiber Takviyeli Polimer) kompozit malzemeler hafiflik, yüksek mukavemet, yüksek yorulma performansı vb. özellikleri ile geleneksel malzemelerin eksik noktalarını tamamlama konusunda önemli rol oynamaktadır. Her ne kadar yeni teknoloji ile malzeme üretilse de bu malzemelerin de eksik kaldığı birkaç nokta vardır. Bunlardan en önemlisi yangın etkisine karşı gösterilen performanstır. GFRP kompozitler sıcaklığa karşı belirli performans göstermektedir. Tg (Polimer Matrisli Malzemelerin Geçiş Sıcaklığı) sıcaklığına geldikleri zaman polimerik özellikleri bozulmakta ve istenilen performansı vermemektedir. Bu yüzden sıcaklık, özellikle Tg sıcaklığı bu malzemeler için büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada GFRP donatımızın Tg sıcaklığını baz alarak geleneksel malzememiz olan beton ile paspayı ve sınıf farklarını kullanarak yangın etkisine karşı performansını gözlemledik. Çeşitli paspayı ve beton sınıfına sahip GFRP donatılı numunelerimiz yangın etkisi için fırında yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Ölçüm termokupl, termometre yardımı ile yapılmıştır. Tg sıcaklığına geldiğinde numuneler çıkarılmış geçen sürede donatı sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve beton sıcaklığı tespit edilmiştir. Ölçüm esnasında kronometre kullanılmış böylelikle numunemiz Tg sıcaklığına gelene kadar artan sıcaklıkta geçen süre dakika dakika kaydedilebilmiştir. Elde edilen veriler grafik hale getirilmiş kıyas edilmiştir. Bu da GFRP donatılı beton kullanılırken hangi beton sınıfının hangi paspayının kullanılacağı hakkında fikir vermektedir. Bir başka bakış açısı ise numunenin Tg sıcaklığına gelene kadarki geçen süre yani hangi paspayına sahip numune ya da hangi beton sınıfına sahip numune kaç dakikada Tg sıcaklığına ulaşmıştır. Bu bize kritik zamanı vermektedir. Buna göre en iyi performansı en çok paspayına sahip 6cm'lik numune göstermiştir. Beton sınıfında ise üç adet beton sınıfı arasında en yükseği olan C40 beton sınıfına sahip numune en iyi performansı göstermiştir.

THE EFFECT OF CONCRETE COVER AND CONCRETE STRENGTH ON CONCRETE WITH FRP BARS EXPOSED TO HIGH TEMPERATURE

SUMMARY

Keywords: FRP Bar, heat, accessory fixtures, concrete

As everything changed in the renewed world, construction technology has moved to a higher level than before. In this context, construction material, which is one of the most important branches of civil engineering, has taken place in technological developments with more confidence than ever. Rather, the points where the traditional materials are incomplete led the researchers to develop new generation materials. FRP (Fiber Reinforced Polymer) composite materials are also important in this respect. GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) composite materials which are the most commonly used among the reinforced polymers and help the engineers to reach the optimum point are lightness, high strength, high fatigue performance and so on. It plays an important role in completing the missing points of traditional materials with its properties. Although new materials are produced with new technology, there are a few points where these materials are also missing. The most important one is the performance against the fire effect. GFRP composites show specific performance against temperature. When they reach T_g (Polymer Matrices), their polymeric properties deteriorate and do not give the desired performance. Therefore, the temperature, in particular the T_g temperature, is of great importance for these materials.

In this study, we observed the performance of our GFRP equipment against fire effect by using concrete and spacers and class differences based on T_g temperature. Our GFRP-equipped samples with various spacers and concrete grades are exposed to high temperatures in the furnace for the effect of fire. The measurement thermocouple is made with the help of a thermometer. When the samples reached the T_g temperature, the temperature of the reinforcement, the ambient temperature and the concrete temperature were determined during the elapsed time. The timer was used during the measurement. The data obtained were compared to the graphical data. This gives us an idea about which concrete class to use when using GFRP reinforced concrete. Another point of view is the time that the sample reached to the T_g temperature, that is, the sample with which the rust or the concrete class has the T_g temperature. This gives us critical time. According to this, the best performance is the 6cm sample with the most rust. In the concrete class,

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tarihten beri insanlık yaşam standartlarını artırmak adına birçok arayış içine girmektedir. Tüm bu arayış ve çalışmalar sonucu çeşitli kazanımlar elde etmiş ve etmektedir. Amaç daha güzel bir dünya daha kaliteli bir yaşam elde etmektir. Sonuç olarak kazanımlarını üst üste koyan insanoğlu buluşlar etrafında toplanmıştır. Kimi zaman bu değişimler hızlı olsa da tarihin belirli evrelerinde yavaşlamıştır. Her ne olursa olsun insanlık hiç durmadan bu gaye çerçevesinde hareket etmiş ve kendinden sonraki nesillere elde ettikleri kazanımları bırakmıştır. Dünya üzerinde insanlık yeni olan her şeye yaşam standardını artıran her şeye merak içinde bakmıştır. Bu insanın aklına ne kadar teknolojiyi getirirse de ilk zamanlarda teknolojik kolaylamalardan daha çok yaşam döngüsünde var olan birkaç unsur üzerinde yoğunlaşmıştır.

Tüm bunların temelinde insanın var olduğundan itibaren fitrat gereği konaklama korunma daha genel tabir eder isek ikamet etme gibi ihtiyaçlarıdır. Bu ihtiyaçlarından ana unsurlarından en önemli olanlar arasında yer almaktadır. Tüm tarih boyunca insanlığı incelemek ve tıbben fitraten yaradılış bakımından da bütün özellikleri göz önüne alacak olursak, insanlığın bütünü de bu ihtiyacın var olduğunu görmemizi sağlamaktadır. Buna istinaden insanlık bu ana unsurun peşine düşmüş en acemi yapılardan en usta yapılara kadar kendisini ilerletmiştir. Günümüzdeki konaklama mekanlarının ilerleyişi ve geldiği son nokta tarihten beri var olan ihtiyacın aslında ne kadar önemli olduğunun da ispatı niteliğindedir.

Tabi ki bu ihtiyaçtan mütevellit birtakım yardımcı unsurlar ortaya çıkmıştır. İnsanlığın bu unsurları ortaya çıkarmasındaki temel sebep var olanı geliştirmek için yardıma ihtiyacının var olduğudur. Bununla beraber teknik askeri sivil bayındır vb. gibi kavramlar da ortaya çıkmıştır. Bu kavramlar insanlık yaşam döngüsünde öyle yer etmişlerdir ki bir yerde askeri varsa güven, sivil varsa toplum, teknik varsa gelişme, bayındır hal var ise yaşam için gerekli temel yapılar akla gelebilmektedir.

Tüm bu unsurlar doğal olarak mühendisi ve diğer ihtiyacen ortaya çıkan mesleki grupları oluşturmuştur. Mühendislik baştan beri en önemli unsur diye tabir ettiğimiz yaşam alanını ve yaşam mekanlarını tasarlayan hesaplayan uygulayan insan olarak literatüre geçmiştir. Sıfatı tarih boyunca değişip kimi zaman medeniyet kimi zaman sivil kimi zaman bayındır kimi zaman şehirci, kimi zaman da inşaat mühendisliği isimlerinde anılmıştır. Halbuki ismin önüne gelen ünvanın pek bir önemi yoktur. Çünkü mühendis tüm bu sıfatları zamanın ihtiyacına binaen almıştır. Kendisinde bu kazanımlar zaten mevcuttur. Ama en akılcı çözümü sivil mühendislik adı ile ananlar bulmuşlardır. Literatürde bunun 18. yy.'dan itibaren kullanılmaya başlandığını görmekteyiz. Dünya dili olarak tabir edilen dil literatüründe de bugünün inşaat mühendisliğini sivil mühendislik yani askeri olmayan yani askeri mühendislik dışında sivil olarak mühendislik hizmeti veren medeniyet mühendisi sıfatını hak eden mühendis, olarak kayıtlara geçmesi isabet olduğunu göstermektedir.

Tüm bunlarla beraber inşaat mühendisliği de gelişim ve yenileme adına hizmet verebilmek için kendi içerisinde ana bilim dallarına ayrılmıştır. Bunlardan en önemlilerinden bir tanesi ve tüm bilim dallarına hizmet verebilen yapı malzemesidir. Yapı malzemesinin yenilenmesi geliştirilmesi önemli buluşlara yer vermesi demek diğer tüm inşaat mühendisliği alanlarında da yenilenme kendini geliştirme demektir. Yapı malzemesi de bugün eskisinden olduğundan daha çok birikimli ve daha çok akademik anlamda gelişmiştir. Bununla beraber kendi içerisinde de yeni kazanımlar ve diğer alanların da ihtiyacına cevap olabilecek yeni malzemeler ortaya çıkarmaktadır.

Bugünün ihtiyaçları ve teknolojik gelişim hızı eskisinden daha hızlı ilerlemektedir. Kümülatif olarak giden bu yaşam kalitesi eskiden elde ettiğin kazanımdan daha yükseğini elde etmeyi amaçladığı için yapı malzemesi alanında daha iyilerini ortaya koymak adına çalışmalar yapmaktadır. Son derece öneme sahip ve yaşam kalitesini büyük ölçüde artıran geleneksel malzemeler artık yenilenen dünya hızına yetişememektedir. Bu yüzden yapı malzemesi akademisyenleri araştırmacıları yeni nesil yapı malzemesi alanına ilgi göstermektedir. Ortaya konulan her bir yeni nesil malzeme bir sonrakinin habercisi olacak gibi merak uyandırmaktadır. Yapılan her

yeni nesil araştırma bulunan her yeni nesil malzeme insanlığın, inşaat mühendisliğinin hatta diğer mühendislik dallarının da faydasına gelişmektedir. Bugün yeni nesil malzemelerden polimer matrisli fiberler öne çıkmaktadır. Uluslararası literatürde FRP (Fiber takviyeli polimer) olarak adlandırılmaktadır. Burada en çok üzerine düştüğümüz ise cam fiber katkılı polimerlerimiz olmuştur. Kısaca GFRP olarak adlandırılan polimer matrisli cam fiberler günümüz teknolojisinin hızına yetişmek adına araştırmacıların ilgisini çekmektedir. GFRP malzemeler sahip olduğu üstün özellikler ile geleneksel malzemelerin eksiklerini kapatabilmektedir.

Bu yüzden münferit olarak kullanılabildikleri gibi geleneksel malzemelerle birlikte de kullanılabilirler. Ancak her malzemenin olduğu gibi GFRP malzemelerinde dezavantajlı tarafları da vardır. Bunlardan en önemlilerden bir tanesi yangına karşı gösterdiği zayıf mukavemettir. Belli bir sıcaklıktan sonra mukavemetindeki büyük düşüş bu malzemenin kullanımında olumsuz örnek teşkil etmektedir. Tg geçişi dediğimiz bu sıcaklık miktarı ve bu sıcaklığa ulaşma süresi bizim için büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada geleneksel malzemelerle beraber kullandığımız yeni nesil malzeme olan GFRP donatıların Tg (camsı geçiş sıcaklığı) geçişi diye adlandırdığımız bu sıcaklığa geliş süresini sıcaklık miktarını kritik olarak altını çizmeye çalışacağız. Tüm akademik çalışma yapan ve yeni eski bağlantısını önemli detaylarıyla görmek isteyen akademisyen, ilgili, mühendis arkadaşlarımıza ışık tutmasını temenni ederiz.

BÖLÜM 2. FRP DONATILAR

FRP, yeni nesil yapı malzeme alanında popülerliğini korumakta olan malzemelerdendir. Bu da mühendislerin bu malzemenin türevlerinin araştırmaya ve buldukları sonuçlar doğrultusunda aksiyon almalarına sebep olmuştur. Bu bölümde FRP donatılar hakkında önemli bilgi ve literatürde yer almakta olan akademik çalışmalara yer verilmiştir.

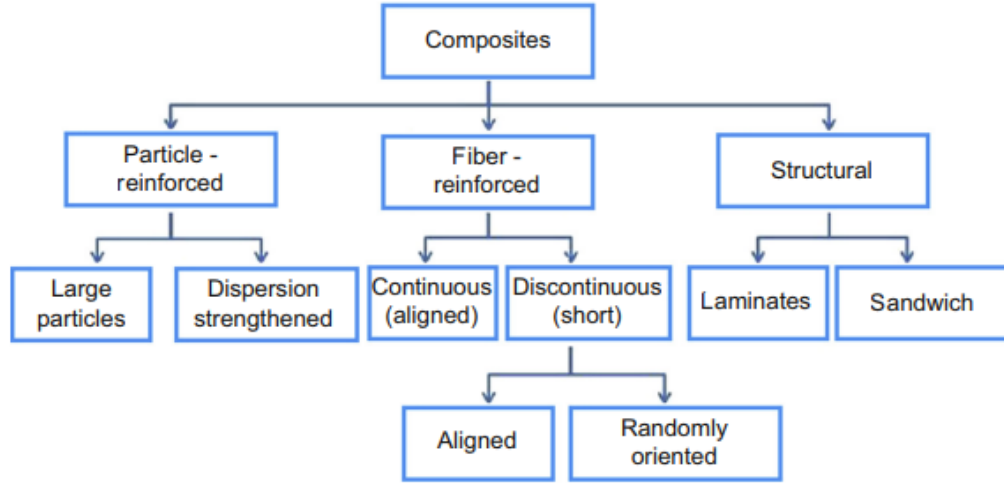
İnsanlar, varoluşundan bu yana yaşam kalitesini artırmak amacıyla sürekli gelişim ve değişimi çerisinde olmuş ve ihtiyaçlarını karşılamak için yeni arayışlara yönelmişlerdir. Bu amaçla ilk çağlardan beri doğada bulunan malzeme türleri üzerinde çeşitli tasarımlar yaparak daha efektif kullanımlar elde etmişlerdir. Günümüzde tüm teknik alanlarda olduğu gibi malzeme teknolojileri alanında da insanların ihtiyaç ve istekleri, malzemelerde yaşanan problemlere paralel olarak her geçen gün artmaktadır.

Bu tür problemleri azaltmak ve talepleri karşılamak amacıyla araştırmacılar yeni malzeme türleri ve uygulamaları üzerinde çalışmakta, yeni tasarımlar ortaya koymaktadırlar. Son dönemlerde araştırmacıların büyük bir kısmı, çalışmalarını kompozit malzemeler üzerinde yoğunlaştırmışlardır.

Kompozit malzemenin tanımlarından biri, iki bileşenden oluşan, biri fiberdir (donatı) ve diğeri yapıştırıcıdır (matris), iki malzeme, tek tek bileşenlerin özelliklerinden daha iyi özelliklerle sonuçlanacaktır.

Yalnız oldukları zaman kompozit malzemelerin diğerklerine göre ana avantajları metal veya plastik gibi mevcut malzemeler, bitmiş kısımda ağırlık azalmasına izin veren düşük yoğunluklu bir araya getirilmiş yüksek mukavemet ve sertliklerdir. Çeşitli

kompozit tipleri genellikle literatürde blok şema olarak adlandırılır. Şekil 2.1.'de gösterilmiştir [1].



Şekil 2.1. Kompozit sınıflandırılması [1]

Günümüzde birçok alanda kullanıldığı gibi inşaat alanında da faydası azımsanamayan polimer matrisli kompozitler önemli rol oynamaktadır. İnşaat sektörünün pek çok alanında etkisi ve kullanım özellikleri görülmektedir. Termosetler veya çapraz bağlı plastikler ve bunların elyaf takviyeli kompozitler, tamamen veya kısmen geleneksel yapı malzemelerinin aşamalı olarak yerini almaktadır.

Bu kademeli kaymanın geleneksel malzeme kullanımından uzaklaşmasının ana nedenleri arasında düşük yoğunluklu gibi özellik avantajları; düşük bakım ve yaşam döngüsü maliyeti, mükemmel ısı, ses ve elektrik yalıtımı ve azaltılmış bozulma ve oksidasyonun yanı sıra, potansiyel olarak uzun hizmet ömrüdür. Termosetlerin ve termoset matris kompozitlerin bina ve yapıdaki ana uygulamaları arasında yapıştırıcılar ve sızdırmazlık maddeleri ısı yalıtımı, çatı kaplama, döşeme, borulama köprü yapıları, çimentolama ve sivil yapıların onarımı ve rehabilitasyonu ve bunlar bu bölümde ayrıntılı olarak ele alınmaktadır [2].

Yirmi birinci yüzyıldaki ilk on yılın geçmesiyle, malzemelerin alanı süreç teknolojisini ve bilimi tekrar gözden geçirme ve en son gelişmeler ve gelişmeleri not

etme ihtiyacına yol açmıştır. Mevcut eğilimler, yeni malzemelerin uygulandığı geleneksel malzemelerden geçişler gibi çeşitli uygulamalar için örneğin, metaller ve plastikler üstün kalite ve performans sunan ileri kompozit malzemeler için yol açmaktadır. Kompozitler, farklı özelliklere sahip en az iki ayırt edici malzemeden üretilmiş malzemelerdir [2].

Diğer endüstrilerde olduğu gibi, inşaat ve inşaat endüstrisi tabidir. Aynı dayanıklılık, maliyet ve estetik kısıtlamaları; kadar hizmet ömrü 100 yıl talep edilmektedir. Bu amaçla, özellikle geleneksel malzemelerle uyum içinde termal enerji, ışık ve nem ve plastiklerin taşınması çok etkili bir şekilde kullanılabilmektedir [2].

Önemli konulardan biri plastik malzemelerin avantajları hafif olmalarıdır, bu nedenle kuvvet-ağırlık ve sertlik-ağırlık oranları geleneksel malzemelerden çok daha üstündür.

Onlar ayrıca çeşitli imalat yöntemleri kullanılarak karmaşık şekillerde de oluşturulabilir. Diğer özellikler arasında toksisite yokluğu; iyi dayanıklılık, düşük bakım maliyet; düşük yaşam döngüsü maliyeti, mükemmel ısı, ses ve elektrik yalıtımı ve korozyon direnci ve uzun ömürlü olmasıdır [2].

FRP malzemelerin birçok avantajı olduğu gibi dezavantajları da mevcuttur. FRP kompozitlerin ana dezavantajı, düşük ateş performansının tetiklenmesidir. Polimer matrisinin yanıcı doğası yangın performansı hakkında öngörü vermektedir. Sivil uygulamaların aksine, kapsamlı ve iyi yapılandırılmış güvenlik standartlarının geliştirildiği, deniz yapılarında FRP'ler için mevcut yangınla ilgili standartlar çok sınırlı ve karmaşıktır [3].

2.1. FRP Donatı Tarihsel Gelişimi

Paleolitik çağdan beri kompozit malzemeler mevcut bulunmaktadır. (Eski Taş Çağı olarak da bilinir). 300 ft yüksekliğinde Ziggurat (Tapınak kulesi) Babil şehir merkezinde inşa edilmişti. Kullanılan tek malzeme ince kıyılmış saman ile

kariştırılmış kildi. Firavun'un Mısır'da ve o dönemde, tuğlalar güçlendirildi. Kompozit tuğla oluşturmak için saman ile, Mısırlıların, lamine yazı malzemeleri için papirüsten elyaf kompozitler kullandığını bildirmiştir. Japonya'da da Samuray Kılıcı'nın kompozit olarak geliştirildiği bildiriliyor [5].

Herakovich'e göre aslında insan gibi doğal nesnelerin çoğu beden, bitkiler ve hayvanlar kompozittir. Ancak ilgilendiğimiz bu tür kompozitler burada Kelly ve göre Mileiko'ya göre kompozitlerin en eski uygulamaları arasında yer almaktadır.

Ateşlemeden önce, büzülmeyi azaltmak ve mukavemeti artırmak amacıyla başka bir malzemeyi güçlendirmek için cam ve hayvan kıl liflerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Liflerle ilgili tarihsel olgulardan bahsedecek olursak Müslümanların kutsal kitabı Kur'anı Kerimde de hurma lifinin kullanımıyla ilgili bir ayet vardır. Mealen; ''Bükülmüş İp'' [91].

Schwartz'a göre 1935 yılında piyasada mevcut karbon fiber başlangıçta elektrik ampulleri için filament malzemesi olarak 19. yüzyılın sonlarında geliştirilmiştir.

Royal Aircraft tarafından yüksek mukavemet ve modüllü karbon fiberler geliştirilmiştir. Kuruluş, Farnborough, 1953 yılında Birleşik Krallık. 1950'lerin sonunda bor lifi piyasaya sürüldü. Aramid lifleri 1972'de DuPont tarafından ilk olarak geliştirildi ve tanıtıldı. Modern kompozitlerin tarihi polimer kompozitler, otomotiv endüstrisinde sınırlı sayıda spor araba üretimi için elle yerleştirme gövdeleriyle başlayarak uzun ve onurlu bir geçmişe sahiptir. En karmaşık enjeksiyon kalıplanmış hava emme manifolduna kadar. İlk günlerde, Ford, kenevir lifi, 1940'lı yılların başlarında soya kompozitleri doldurmuştur. Ayrıca cam bezi takviyeli allil kompozitlerinin ABD'de 1941'de polimer kompozitleri, 1950'lerde petrol endüstrisinden polimer malzemeleri elde edildikten sonra geliştirilmiştir [6].



Şekil 2.2. Kenevir lifli araç Henry Ford 1941[6]

II. Dünya Savaşı sırasında, Birleşik Krallık'taki Spitfire uçağının gövdesi alüminyumdan keten lifi takviyesine değiştirildi. Alüminyumun yetersiz beslenmesinden dolayı fenolik kompozitler. Kompozitler ilk olarak savunma sanayinde birkaç yıl sonra büyük miktarlarda ticarileştirildi. Sonra uygulama diğerlerine genişletildi kimya fabrikası, tekne gövdesi, spor araba gövdeleri ve spor gibi endüstrilerde kullanılmıştır. 1950'lerden bu yana, metalik olmayan liflerin kullanımı, içinde bulunan cam elyaf elementler olarak kabul edildi. Sürekli takviye elemanları polimer emdirilmiş demetli cam elyaf lifler, ankrajlar için çubuklar olarak kullanılmıştır. Polimer gelişiminde ilerlemeler yapmak için tünel açma. Navy ve arkadaşları deforme hale getirilmiş demetlenmiş ve reçine emdirilmiş cam elyafların kullanımı üzerine kapsamlı bir çalışma yürütmüştür. 1960 daha sonra 1970'lerin sonuna kadar, ticari uygulama yapısal olarak paketlenmiş ve reçine emdirilmiş takviye somut unsurlar, durumlar hariç yapıyı desteklemek için manyetik alanlardan kaçınılmaktadır [6].

Bu noktada plastik teriminin kullanabileceğini belirtmek önemlidir yanıltıcı olmamak için, dolayısıyla, şu anda genel bir fikir birliği bulunmaktadır. FRP'yi fiber takviyeli polimer kompozitler olarak tanımlar [4].

GFRP güçlendirici çubuklar, 1980'lerin başında kullanıyordu. Manyetik rezonans görüntüleme (MRI) tıbbi ekipman veya betonarme çevresi. Hassas mıknatıslar ve herhangi bir çeliğin varlığına tahammül edemez. Bu da manyetik alana dikkat etmeyi gerektirir. Ayrıca, GFRP donatı daha dayanıklıdır ve çevresel ve kimyasal

saldırıların mevcut olduğu beton takviye olarak verimlidir. Kompozit inşaat demiri inşaat sektöründe denizyolu, çatı vb. güverte, elektrik taban pedleri ve reaktörün ayrıca agresif kimyasal ortamda beton döşeme plakaları olarak var olmuştur [4]. Şekil 2.3.'te FRP kompozitlerin donatı olarak kullanımından örnekler verilmelidir.



Şekil 2.3. FRP çubuklar [8]

Kompozit malzemeler teknolojisi hızla büyümüş olsa da tamamen gelişmiş değildir. Yeni elyaf / reçine sistemlerinin kombinasyonları ve hatta yeni malzemeler sürekli geliştiriliyor [8].

2.2. FRP Donatı Üretimi

Birçok üretim yöntemine sahip FRP kompozitlerin imal ediliş yöntemleri şu şekildedir:

1. Elle Yatırma (Hand Lay-Up)
2. Püskürtme (Spray-Up)
3. Reçine Transfer Kalıplama (Rtm) / Reçine Enjeksiyonu
4. Hazır Kalıplama (Compression Molding)
5. Islak Sistem Pres Kalıplama
6. Vakum Bonding (Vakum Bagging)
7. Otoklav (Autoclave Bonding)
8. Preslenebilir Takviyeli Termoplastik (Gmt)
9. Elyaf Sarma (Filament Winding)

10. Profil Çekme (Pultruzyon) Metodu [9]

Bu yöntemler arasında inşaat sektöründe çelik donatı muadili olarak kullanılan fiber çubukların üretimi ise Pultruzyon metodu ile yapılmaktadır.

Çekme yöntemi ile üretilen termoset çubuklar her türlü çelik yapı elemanlarındaki problemlere karşı çözüm arayışları ve mühendislerin talepleri doğrultusunda yaşanan problemleri aşmak için üretilmiş teknolojik malzemelerdir. Çubukların içerdiği yüksek orandaki cam elyaf ve uygun reçine kombinasyonları sayesinde st 37 çeliğin çekme mukavemetinin 3 katı değerlere çıkan kuvvetler oluşmaktadır. Örneğin: Yoğunluğu 1,9gr/cm³ olması hem hafif hem güçlü bir malzemenin varlığını ortaya koymuştur.

Kimsayal korozyon dayanımına ihtiyaç duyulan, hafifliğin öncelikli olduğu ve deniz suyu vb. ortamlara dayanıklı olması ihtiyaç oluşan yerlerde vazgeçilmez bir malzemedir [10].

2.2.1. Pultruzyon yöntemi

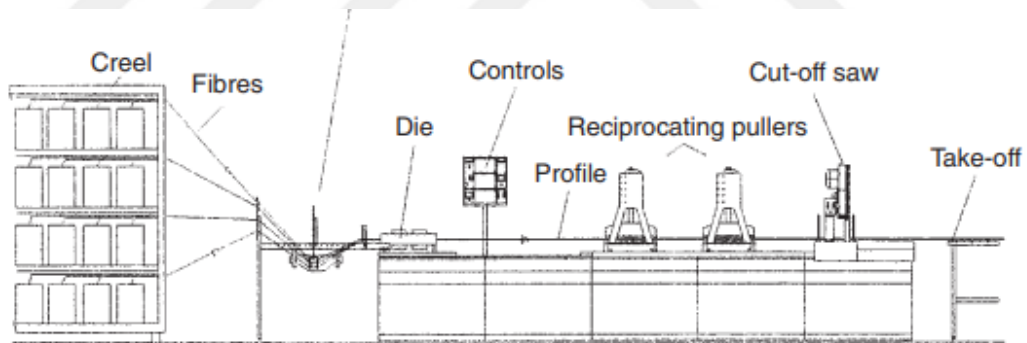
Pultruzyon prensip olarak sabit enine kesit üretimi için basit bir işlemdir. İşlem, düşük işçilik içeriğine ve yüksek bir hammadde dönüşüm verimliliğine sahiptir. Çünkü sürekli bir işleme tekniğidir [11].

Diğer işlemlerin aksine, pultruzyon oldukça otomatik ve az emek gerektiren bir süreçte sürekli üretim sağlar. Bileşik parçaya şekil vermek için ısıtılmış bir kalıp kullanır. Bu özellikler, son olarak geliştirilen farklı üretim süreçlerinden kırk yılda, pultruzyon en iyi verimlilik / maliyet oranını sunuyor.

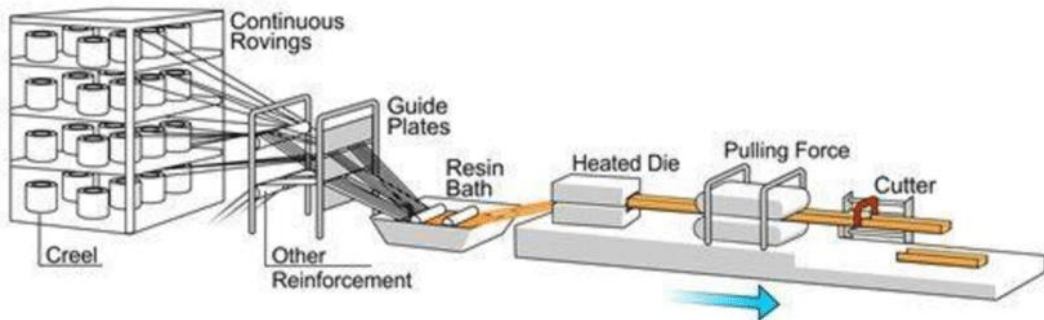
Pultruzyon üretim süreci aslında ilk ABD’de 1950’lerde Goldsworthy tarafından ilk günlerde, en çok olta, kayak direkleri ve golf sahası bayrakçıları üretmek için kullanılmıştır. Genellikle pultruzyon polyester reçineleri ve cam elyafı fitillerini birleştirir. O zaman kullanılan makineler bugün kullanılanlardan oldukça farklıydı;

bazıları vardı ki aralıklı bir çekme mekanizması içeren dikey bir tasarıma sahipti. O zamandan beri, pultrüzyon teknolojisi tek bir yönde değil, birçok yönden geliştirilmiştir. Sadece işlemin kendisinde değil, aynı zamanda kullanılan, özellikle de hammaddeler de geliştirilmiştir [13].

Pultrüzyon teknolojisini oluşturan proses elementlerini, donatının, kalıp tasarımı ve sertleştirme yoluyla sürekli çekme ve nihai ürün çıkarma düzenlemelerine uygulanmasıdır. Birçok imalat işleminde olduğu gibi, birçok küçük ve büyük üretim varyasyonu birkaç katma değer ekstrüzyon fonksiyonu ile birlikte uygun olarak gözden geçirilir. Pultrüzyon sürecine genel bir bakış Şekil: 2.4.'te gösterilmiş olup, prensipte sürekli olarak üretmek için basit bir işlem istenen yakın boyutlu enine kesite uygun uzunlukta kompozit profiller içinde takviye elyaf malzemeleri ya da donatı 'paket' (bazen lif mimarisi olarak da bilinir) sürekli şeklinde iplikçikler (fitiller) veya plysler (paspaslar, kumaşlar ve peçeler)- sürgü raflarında tutulur ve emprenye edilmeden önce bir kılavuz sistem aracılığıyla sürekli olarak beslenir [16].



Şekil 2.4. Pultrüzyon Gösterimi [16]



Şekil 2.5. Pultrüzyon aşamalar [14]



Şekil 2.6. Pultruziyon makine [15]

Fitil makaraları ve tekstil ürünleri çerçeveye monte edilmiştir. Lifin türüne bağlı olarak, makaralar dönmeyen veya döndürülerek monte edilir. Cam elyaflarda makaralar da genellikle böyledir. Fitiller makaranın içinden çekilir. Çünkü bundan, fitil büküm alır; bu düşük maliyetli cam elyaf için bir sorun olmamasına rağmen yüksek kaliteli cam elyaf profiller veya karbon elyaf profiller söz konusu olduğunda, makaralar, liflerin el değmeden teğet bir şekilde çekilmesini sağlamak için dönebilir. Bu daha iyi bir pultruziyon yüzeyi ve daha iyi mekanik performans verir. Ayrıca çok kalın profiller için, özellikle kalın 50k fitilleri kullanırken liflerin bükülmesi elyaf alımını sıkıştırarak elyafın yırtılması ve işlemin durmasıyla sonuçlanabilir.

Ön biçimlendirme istasyonları, elyafları veya tekstili kalıba uygun şekilde yönlendirmek için gereklidir. Ön biçimlendirme, kalıpta kontrolsüz bir lif hareketini engellemelidir. İlk ön biçimlendirme istasyonu özellikle fitilleri açmaya ve elyafları tamamen açmaya lifleri emdirilir [17].

Pultruziyon makinesi üzerindeki ilk bölüm reçine tankıdır ve matris malzemesi olarak kullanılan reçinenin konulduğu yerdir. Takviye malzemesi olarak kullanılan cam elyaflar önce termoset reçine tankının bulunduğu bu bölümden geçerek reçineye bulanırlar. Reçine emdirilmiş cam elyaf lifleri reçine tankından hemen sonra yer alan

ön kalıba girerek, içlerindeki hava ve fazla reçinenin süzülmesi sağlanır. Ayrıca, reçinenin cam takviye malzemesine en yüksek düzeyde penetrasyonu sağlanmış olur. Ön kalıptan çıkan malzeme, esas kalıba girmeden önce, yüzey kaplama işlemi denilen, atmosfer ve diğer dış etmenlerden korunması için yüzeyi karışık yönlü elyaf lifleri ile kaplanır.

Bu yöntemde, elyaf hacim oranı yaklaşık %75'e kadar varan kompozit üretimi gerçekleştirilir [18].

FRP malzemesinin pultruzyon işlemi sırasında liflerin reçineyle birleştirilmesiyle çubuk şekline dönüşme aşamalarının birlikte ifade edildiği FRP donatı çubuklar Şekil: 2.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. FRP donatı çubuklarının reçine ile birleşimi [19]

Pultruzyon yöntemi ile üretilen malzemeler, önceleri elektrik sektöründe kullanılmaya başlanmasına rağmen korozyon dayanımının dikkate alınmasıyla birlikte inşaat, otomotiv ve havacılık alanlarında kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. En hızlı gelişim gösteren sektörlerden birisi korozyona dayanıklı malzeme üretimi ve bunların uygulamalarıdır. Bu malzemeler hafif olmaları ve kimyasallara karşı direnci gibi özellikleri nedeniyle arıtma tesislerinde, kimyasal üretim ve diğer bazı endüstriyel tesislerde sıkça kullanılmaktadır [19].

Tasarım mühendisleri yüzün üstünde standart yapısal şekil kullanarak, örneğin; merdiven, trabzan, parmaklık, kablo döşeme sistemleri ve geleneksel malzemelerden yapılan diğer profilleri kullanarak yapabildikleri tasarımları bu kalıplama yöntemi ile üretilmiş profillerle tasarlayabilmektedirler.

Kapı ve pencerelerin pultrüzyon yöntemiyle üretilmesiyle inşaat pazarı hareketlilik kazanmıştır. Mükemmel ısı yalıtımı ve düşük ısı genleşme katsayısıyla kompozit malzemelerden yapılmış pencereler büyük ısı değişimlerinde ahşap malzemeyle kıyaslandığında, hava ve su sızdırmazlıkta son derece yüksek performans göstermektedir. Ahşap malzeme kullanım maliyetinin bu açıdan yüksek olması, pultrüzyon yöntemiyle üretilen CTP ürünlerin bu sektörde yer almasını kolaylaştırmaktadır. Altyapı sektörü pultrüzyon yöntemiyle üretilen profiller için, her geçen gün daha çok gelişme eğilimi göstermektedir. Profillerin yoğun eksenel takviye yüklemesi sonucunda, yüksek sertlik değerine ulaşması ve büyük boyutlu şekillerdeki ürünlerin yapılabilir olması köprü gövdelerinde pultrüzyon yöntemini tercih edilir hale getirmiştir. Ayrıca, yaya üstgeçitlerinde ve taşıt köprü platformlarında da sağladığı avantajlar nedeniyle ürün tasarımlarında pultrüzyon yöntemi kullanılmaktadır [20].

Tüm bunlarla beraber inşaat sektörünün vazgeçilmezi olan beton ve donatı beraberliğinde geleneksel malzememiz ile donatı olarak kullanılan FRP kompozit çubuklar da bu yöntemle üretilip tasarımlarda gerekli yeri almıştır.

2.2.2. Pultrüzyon yöntemi avantajları

FRP profillerin üretilmesinde kullanılan pultrüzyon tekniği sahip olduğu birçok avantaj sebebiyle tercih edilmektedir. Bu üretim yönteminin sağladığı avantajlar şu şekilde özetlenebilir

1. Yüksek özgül mukavemet ve ısı özellikler (aynı ağırlıkta çelikten 2,5 kat daha mukavemetlidir)
2. Korozyona ve Kimyasallara karşı dayanıklılık

3. Her türlü hava koşullarına karşı dayanıklılık (-30 derece + 80 derece)
4. Yanmaya karşı dayanıklılık
5. Düşük Ağırlık
6. Montaj Kolaylığı
7. Zamanla tekrar boya gerektirmez.
8. Mükemmel elastikiyet
9. Mükemmel dielektrik nitelikler
10. Üstün boyutsal stabilite
11. Tasarım esnekliği
12. Bakım gerektirmeme
13. Çalınmazlık (hurda değeri yoktur)
14. Kolay tamir edilebilirlik
15. Kendinden renklendirilebilme olanağı
16. İstenildiğinde ışık geçirgenlik özelliği sağlanması
17. Düşük araç-gereç maliyeti
18. Yüksek amortisman süreleri (sonsuz ömür)

Yapısal uygulamalar için en yaygın kullanılan malzemeler çelik, alüminyum ve ahşaptır. Ancak, bazı uygulamalarda bu malzemeler, düşük spesifik ağırlığı ve terkibi (dayanıklılık ve aşınma direnci) gibi nedenlerle cam elyafı ile yavaş yavaş yer değiştirmektedir [21].

Aşağıdaki Tablo 2.1.'de yapılarda kullanılan çeşitli malzemeleri kıyaslamaktadır.

Tablo 2.1. Pultrüzyon ürünlerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması [21]

	ÖZGÜL AĞIRLIK(g/cm ³)	GERİLME KUVVETİ(M Pa)	ELASTİ K MODÜ L	TERMAL GENLEŞME KATSAYISI(K ⁻¹)	TERMAL İLETKENLİK(W/ Mk)
PULTRÜZYON	1,8	400	26	11*10 ⁻⁶	0,35
AĞAÇ	0,7	80	12	14*10 ⁻⁶	0,1
ALÜMİNYUM	2,7	250	70	23*10 ⁻⁶	170
ÇELİK	7,8	400	210	12*10 ⁻⁶	40

2.2.3. Pultruzyon yöntemi dezavantajları

Malzeme ve üretim şekillerinin avantajları olduğu kadar dezavantajları da bulunmaktadır. Pultruzyon yönteminin dezavantajları şu şekilde özetlenmektedir;

1. Elyaf çekme yönüne yerleştirildiğinden enine mukavemet düşüktür. Bu da tasarımcıların daha kalın parçalar tasarlamasını gerektirmektedir. Örgü, dikişli ve dokunmuş kumaşların artan kullanımı pultruzyon yöntemini bazı yapısal uygulamalarda izotropik (her yönde aynı özellikler) özellikler sağlayabilecek hale getirmiştir.
2. Reçineler kalıba yapışma eğilimi göstermektedirler buda parça kalitesini etkilemektedir.
3. Reçine kalıp içerisinde uzun süre kalmaktadır. Bir hata olduğunda işlemi bitmiş reçineye müdahale etmek zordur [22].

2.3. FRP Çubukların Betonda Kullanımı

Donatı çeliğinin korozyonu, inşaat sektörünün en önemli problemlerinden biridir. Betonun, deniz suyu veya tekrarlayan donma çözülme olayı gibi çevresel faktörler etkisinde olduğu durumlarda donatı çeliğinde korozyon oluşabilmektedir. Bunun sonucunda, betonda hasar oluşması nedeniyle betonarme yapılarda zaman alıcı ve pahalı rehabilitasyon işlemleri uygulanması gerekebilmektedir. Bu gibi çevresel koşullar etkisindeki yapılar; Şekil 2.8.'de de görüldüğü gibi otoparklar, liman yapıları, köprü tabliyeleri ve köprü ayakları gibi yapılardır [24].



Şekil 2.8. Korozyona uğramış deniz yapıları [25]

Lif takviyeli polimer donatıların (FRP), yüksek korozyon dayanımına, yüksek çekme dayanımına ve hafif bir malzeme olma özelliklerine sahip olması nedeniyle, geleneksel çelik donatının yerine kullanılabileceği düşünülmektedir [23]. Şekil 2.9.'da bu kullanıma ait bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.9. Deniz yakını yapılarda FRP kullanım örnekleri [92]

FRP donatılarının başka bir özelliği de yapı elemanlarından kolaylıkla uzaktan algılamayla ölçüm yapılmasına imkân vermesidir. FRP donatısının içine yerleştirilebilen alıcılarla akıllı yapılar oluşturulması mümkün olabilmektedir. Bu tip donatılar, dünyada yüzey deformasyonlu donatı çubukları, öngerme tendonları ve çift yönlü hasır donatı sistemleri olarak kullanılmaktadır.

FRP kompozitlerini betonarme yapı elemanlarında donatı olarak etkin şekilde kullanabilmek ve FRP malzemesiyle içten ve dıştan donatılmış/takviye edilmiş yapıların dizayn yöntemini standardize etmek için geniş ölçüde araştırmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte, FRP donatılı yapılar için uygun dizayn denklemlerini ve uygulama metotlarını geliştirmek için çalışmalar devam etmektedir [24].

Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların fiziksel ve mekanik özellikleri geleneksel çelik donatı çubuklarından farklıdır. Lif takviyeli polimer (FRP) donatının fiziksel ve mekanik özellikleri kompozit içeriği matrisin, lifin türü ve özelliklerine, lif hacim oranına, lif matris ara yüzeyindeki yapışma kabiliyetine, lifin geometrisi ve matris içinde dağılımına göre değişir. Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların geleneksel çelik donatı çubuklarına göre üstün özellikleri; yüksek çekme dayanımı, yüksek korozyon güvenliği, manyetik bağlantılar, yüksek gerilme özellikleri, hafiflik, düşük ısı ve elektrik iletkenliğidir [27]. Tüm bu üstün özellikler günümüz yapılarda çelik donatının yerini alabilme yolunda hızla ilerlediğini göstermektedir. Şekil 2.10.'da verilen görselde köprü gibi bir sanat yapısında bu uygulamanın nasıl başarı elde edebileceği gözler önüne serilmektedir.



Şekil 2.10. Köprü yapımında FRP donatı kullanımı [92]

Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların geleneksel çelik donatı çubuklarına göre üstün olmayan özellikleri; kopmadan önce çekme gerilmesi altında akma yapmamaktadır. Düşük elastisite modülü, yüksek maliyet, dayanımın olarak değişmesi, çeşitli çevre koşullarında düşük lif durabilitesi, düşük aderans ve

kenetlenmedir. Yaygın kullanıma sahip, cam lif takviyeli polimer (GFRP) donatı, karbon lif takviyeli polimer (CFRP) donatı, aramid lif takviyeli polimer (AFRP) donatı ile geleneksel çelik donatının çekme teknolojisi, Tablo 2.2.'de kıyası görülmektedir.

Tablo 2.2. incelendiğinde lif takviyeli polimer (FRP) donatıların çekme etkisinde lineer elastik malzeme özelliği gösterdiği, geleneksel çelik donatılarda gösterim kopma öncesi akmanın lif takviyeli polimer (FRP) donatılarda oluşmadığı görülmektedir. Çelik donatı akma yoluyla ulaşp sünek davranmakta, lif takviyeli polimer (FRP) donatılarda akma söz konusu olduğu için kopma aniden olduğu görülmektedir. Bununla beraber malzeme gevrek davranır [27].

Tablo 2.2.Çelik ile FRP donatıların mekanik özellikleri karşılaştırılması (Acı 440.1R2006) [27]

	ÇELİK	GFRP	CFRP	AFRP
AKMA GERİLMESİ(N/mm*2)	276-517	Akma yok	Akma yok	Akma yok
ÇEKME DAYANIMI(N/mm*2)	483-690	483-1600	600-3690	1720-2540
ELASTİSİTE MODÜLÜ(N/mm*2)	200000	35000-51000	120000-580000	41000-125000
AKMA ŞEKİL DEĞİŞTİRME (%)	0,14-0,25	Akma yok	Akma yok	Akma yok
KOPMA ŞEKİL DEĞİŞTİRME (%)	6-12	1,2-3,1	0,5-1,7	1,9-4,4



Şekil 2.11. Yapılarda FRP bar kullanım şekilleri [28]

Bu vb. birçok örnek göz önüne alındığında FRP çubukların beton içerisinde kullanımı haklı sebeplerden oluştuğunu daha iyi anlamamıza olanak vermektedir. Takviye elemanlarının ve bunula birleşen matrislerin oluşturduğu yeni nesil malzemeler de olduğu gibi FRP donatılarda gelecekte bugün olduğundan daha çok malzeme literatüründe yer alacaktır.

BÖLÜM 3. YAPI MALZEMELERİNDE YANGIN ETKİSİ

Ateş kontrolsüz bir biçimde istenilmeyen durumlarda istenilmeyen yer ve mekanlarda çıkması sonucu yangın olarak tabir ettiğimiz olay meydana gelir.



Şekil 3.1. Betonarme binada yangın [90]

İnsanlığın ateşi kullanması ne kadar fayda vermişse, bunun kontrolden çıkıp yangına dönüşmesi de o kadar zarara uğratmıştır. Şekil 3.1.’deki görsel bu gerçeği hatırlatmadaki sadece bir örnek. Bu yüzden araştırmacılar ısı etkisini her alanda detaylı bir şekilde araştırmıştır. Yapı malzeme literatüründe ise geleneksel ve yeni nesil malzemelerin ısı karşısındaki tepkileri, durumları ve ısı iletimi hakkındaki detaylı bulgular ön plana çıkmaktadır.

3.1. Yanma ve Yangın

Yanıcı maddenin oksijen ile ısı altında belirli oranlarda birleşmesi sonucu meydana gelen kimyasal bir reaksiyon olup, yüksek sıcaklık derecelerinde meydana gelir. Yanma olayının gerçekleşebilmesi için üç unsurun belirli oranlarda bir araya gelmesi gerekir. Yangın ise kontrolümüz dışındaki yanma olayıdır. Yanmanın olabilmesi için gerekli olan bu üç şarta genel olarak “YANGIN ÜÇGENİ” adı verilir.

Yangın Üçgeninde belirtilen ISI, OKSİJEN ve YANICI MADDE den herhangi birinin olmaması yanma olayının gerçekleşmemesi manasına gelmektedir [29].

Peacock ve arkadaşları [30], yaptıkları araştırmada yangın riskinde flashover yani genel parlamanın önemine dikkat çekmişlerdir. Herhangi bir yangında malzemenin ateşe karşı gösterdikleri tepki ve sıcaklıkla verdikleri aksiyon bununla beraber oluşabilecek genel parlama olayı değerlendirilmiştir. Diğer araştırmalarında sonuçları taranmış tüm bulgular gözden geçirilmiştir. Son olarak genel parlama dediğimiz flashover olayının tahmini için kullanılan modellerin kıyası yapılmıştır.

W. K. Chow ve arkadaşları [31], Deneysel araştırma yöntemlerinde çeşitli yanma sıcaklıklarına sahip tutuşma sıcaklıkları farklı olan malzemelerin yanması ile birlikte ortaya çıkan gaz haine gelmiş yanıcı maddelerin herhangi bir genel parlama oluşması ile tüm bu farklı yanıcı tutuşma sıcaklığına sahip maddelerin flashover anında aynı sıcaklıktaki gibi görünmeleri detaylı bir şekilde izah edilmiştir.

Genel parlamanın ortaya çıkması ahşap pvc, polikarbonat gibi değişkenlerin kullanılması ile deney yöntemleri ortaya konmuştur.

Budnick ve Klein [32], tarafından gerçekleştirilen araştırmaya göre evlerin yangın konusunda güvenlikler birbiri ardına ortaya konan birkaç deneyle ortaya çıkarılmıştır. Bu deneylerde alt kattaki mevcut yaşama alanlarına gazete parçacıkları konularak tutuşma sıcaklığının gözlemlendiği deneyde üst katlardaki alanlar da ortaya çıkan tutuşma sıcaklığı 673 C°-771 C° arasında olduğu bulunmuştur.

Troitzsch J.H. [33], Yaptığı çalışmada yangının polimer ve alev geciktiricilerle etkisini ortaya koymuştur. Buna göre Avrupada yangın testlerinin mevcut halleri tartışılmıştır. Test sonuçları termoplastik malzemelerin yangın sınıfı oluşmasında önem arz ettiği gözlemlenmiştir.

Ma,Z. ve Makelainen [34], Yaptıkları araştırmada kompozit döşeme çerçevelerinin yapısal 3 boyut bir programda numerik modelle tespitinin herhangi bir yangın şartında nasıl davranacağını ortaya koymuşlardır. Araştırma bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir.

Wang Y.C. [35], Araştırmasında çeşitli akademik verileri gözden geçirerek detaylı bir literatür taramasından sonra üç ana kavram üzerinde durmuştur. Bunlar döşeme kolon ve birleşim noktalarıdır. Bu üç kavramın çelik ve beton yapılarının herhangi bir yangın anında nasıl aksiyon vereceği araştırılmıştır.

Avrupa Komisyonu tarafından, Yapı Malzemeleri Direktifi kapsamında ortaya konan temel gerekler doğrultusunda ortak Avrupa yangın sınıfları ve prosedürleri oluşturulmaktadır. Bu kapsamda Komisyonun, 2000/147/EC sayılı Kararı ile yapı malzemelerinin yangına tepki performans sınıfları, 2000/367/EC sayılı Kararı ile yapı elemanlarının yangına direnç performans sınıfları ortaya konmuştur [38]. Yapı malzemelerin yangın sınıfları yer döşemesi ve yer döşemesi olmayan malzemeler için ikiye ayrılmıştır [39]. TS EN 13501-1 Standardı ile malzemelerin yangına dayanımı sınıflandırılması için yapılacak deneyler belirtilmiştir. Malzemenin yangına önemli bir katkısı olmadığı kabul edilen A sınıfının belirlenmesi için “Yanmazlık deneyi” yapılmaktadır [40]. Bu deney standardını sağlayan ürünlerin yangına katkı yapmadığı kabul edilir. Eğer bu testi geçemeyen alev alan malzemelerin yangın sınıfını belirlemek içinse “Tutuşabilirlik deneyi” uygulanmaktadır [40]. Bu deney ile birlikte D, C veya B sınıfı için “Tek alev başlığıyla deney” yapılmalıdır [41]. Malzemenin yandığında ne kadar ısı çıkardığını belirtme için ise “Kalorifik potansiyel deneyi” kullanılmaktadır [42]. Yine yangın sınıfı belirlemede malzemeye

“Tutuşabilirlik deneyi” yapılarak alev alma süresi belirlenmektedir [43]. Daha sonra bu deneyler ışığında yapı malzemesinin yangına dayanım sınıfı bulunur.

Tüm bu araştırma sonuçlarından edinilen bilgiler doğrultusunda yanma ve sonucunda meydana gelen yangın olayı gerek geleneksel malzemelerimizde gerek yeni nesil yapı malzemelerimizde büyük önem arz etmektedir. Bu da araştırmacıların geleneksel malzeme ve bununla beraber kullanılan yeni nesil malzemelerde yangın, ısı etkileri üzerinde yoğunlaşmasına sebep olmaktadır.

3.2. FRP Donatılarda Isı Etkisi

Korozyona dayanıklı laminatlarda kullanılan cam elyaf takviyeli yanmazken, “FRP” laminatlarda kullanılan matris olarak kullanılan çoğu termoset reçinesi yanmayı destekleyecektir. “Ateşe dayanıklı” reçineler bile, ateş dışarıdaki bir kaynak tarafından desteklendiğinde kuvvetli bir şekilde yanacaktır.

Bu alev geciktirici reçineler için alev yayılma oranı biraz daha düşüktür. Ateşe dayanıklı termoset reçineler tipik olarak halojen veya brom molekülleri içerir. Yanma meydana geldiğinde, bu katkı maddeleri alevi bastırır veya boğar ve laminat kendiliğinden sönmeye başlar.

Fiberglas takviyeli plastik kompozitler için kullanılan daha yaygın termoset reçineler (polyesterler, epoksiler, vinil esterler vb.) yandığında, büyük miktarda ağır, siyah, yoğun duman oluşabilir. Bu reçinelerdeki karbon zincirleri bu dumana katkıda bulunur. Ateşe dayanıklı olmayan bir reçine ile ateşe dayanıklı bir reçine arasında üretilen dumanın yoğunluğunda bir fark yoktur. Tek fark, yangın geciktirici reçineler kullanıldığında duman miktarının daha az olabileceği ve yangının harici bir kaynak tarafından desteklenmediğidir.

Her ne kadar bazı tesisler elektronik tesislerinde olduğu gibi gerçek yangın yerine dumandan daha fazla zarar görse de çoğu tesis için yangının kendisi ve neden olabileceği zarar dumandan çok daha fazla endişe vericidir [37].

Genel olarak, malzemelerin mukavemeti artan sıcaklıkla azalır. FRP betonarme elemanlar nispeten yavaş oranlarda ısıya maruz kaldığında, malzemenin yüzeyi boyunca tek tip ısıtma vardır. Bu FRP donatılarında sıcaklık artışı kademeli bir yol açar. Sonuç olarak, yapısal başarısızlık sıklıkla meydana gelir.

Sıcaklık, nem emme oranını ve FRP kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkiler. Genellikle, FRP güçlendirme kırılmış beton bölümlere uygulanır. Bu nedenle, FRP beton ara yüzündeki boşlukların varlığı bazı bozulma sorunlarına neden olabilir. Düşük sıcaklıklarda ve ne zaman olduğunu açıklamak bu boşluklar içinde suyun tutulması, suyun genişlemesi FRP-betonarme ara yüzde FRP'nin bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle donma / çözme döngülerinin güçlendirilmiş elemanın davranışı üzerindeki etkisi düşünülen FRP kompozitlerin mekanik özellikleri, malzeme yüksek seviyeye maruz kaldığında azalır [47].

Mekanik verilerden bahsetmek gerekirse dikkate alınan temel fiziksel özellikler şunlardır: (Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) gösterimi gösterilmiştir.)

1. Üstün çekme dayanımı, f_{fu}^*
2. Elastikiyet Çekme Modülü, E_f
3. Nihai Yırtılma veya Kopma Uzaması, ϵ_{fu}^* , bir malzemenin yırtılma noktası

Lifle güçlendirilmiş polimerler doğrusal-elastik davranış sergiler; bu nedenle, bu özellikler Hooke yasası ile tanımlandığı şekilde birbiriyle ilişkilidir [49].

Aşağıdaki Tablo 3.1.'de çelik ile çeşitli FRP takviye malzemelerinin karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 3.1. Çelik ve diğer FRP Malzemelerin Özelliklerinin Karşılaştırılması [49]

Takviye Malzemesi	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı ksi (MPa)	Elastik Modülü ksi (GPa)	Kopma Yüzdesinde Gerilme
Çelik	40-75 (276-517)	N / A	29,000 (200)	N / A
Cam FRP	N / A	70-230 (480-1,600)	5,100-7,400 (35-51)	1,2-3,1
Bazalt FRP	N / A	150-240 (1.035-1.650)	6.500-8.500 (45-59)	1,6-3,0
Aramid FRP	N / A	250-368 (1,720-2,540)	6.000-18.000 (41-125)	1,9-4,4
Karbon FRP	N / A	250-585 (1,720-3,690)	15,900-84,000 (120-580)	0,5-1,9

Yüksek sıcaklıklarda, kompozitler genellikle "anizotropik ısı sergilerler" transfer-yanarlar, duman çıkarırlar ve ısıyı, kömürü çıkarırlar ve inceleştirirler. Lif takviyeli polimerlerle yüksek sıcaklıklarda çalışırken, bileşen bileşenlerinin davranışına aşına olmak için gerekli bu sıcaklıklarda kompozit malzeme ve bunların mekanik olduğu ve fiziksel özellikler etkilenir [47].

FRP kompozitler, yüksek sıcaklık gerektiren yapısal uygulamalarda kullanılabilir, ancak daha yüksek sıcaklıklarda, kompozit modül özelliklerini kaybedebilir. Yani, polimer "yumuşayabilir" ve daha az sertleşebilir. Modül kaybı, düşük sıcaklıklarda kademeli olarak gerçekleşir, ancak her polimer reçine matrisi, ulaştığında, bileşiğin camsı bir durumdan lastikli bir duruma geçeceği bir sıcaklığa sahip olacaktır. Bu geçiş "cam geçiş sıcaklığı" veya Tg denir. Yapısal bir uygulama için bir kompozit tasarlarken, FRP kompozitinin Tg'sinin maruz kalabileceği sıcaklıktan daha yüksek olacağından emin olmak önemlidir. Yapısal olmayan uygulamalarda bile, Tg aşılırsa kompozit kozmetik olarak değişebildiği için Tg önemlidir. Tg en yaygın olarak iki farklı yöntem kullanılarak ölçülür:

DSC- Diferansiyel taramalı kalorimetre olarak anılan birinci ölçüm yöntemi enerji emilimini tespit eden kimyasal bir analizdir. Bir polimer, geçiş durumları için belirli miktarda enerji gerektirir; su gibi, buhara geçiş için belirli bir sıcaklık gerektirir. DMA- Dinamik mekanik analiz ise bir diğer yöntemdir. Bu yöntem fiziksel olarak ısı uygulanırken sertliği ölçer, modül özelliklerinde hızlı bir düşüş meydana geldiğinde,

Tg'ye ulaşılır. Her iki polimer bileşiğinin Tg'sini test etmek için her iki yöntem de doğru olmakla birlikte, bir bileşik veya polimer matrisini diğerine karşılaştırırken aynı yöntemi kullanmak önemlidir. Bu değişkenleri azaltır ve daha doğru bir karşılaştırma sağlar [48].

Büyük öneme sahip anahtar faktörlerden biri olan bu cam geçişi, matris malzemesinin sıcaklığı, matrisin Tg'si daha fazla ilgi çekiyor (liflerle karşılaştırıldığında), çünkü liflerin cam geçiş sıcaklığı genellikle çok daha yüksek. Örneğin, cam elyaflarının Tg değeri ortalama 760 ° C'dir.

Yang ve Thomason [46], Araştırmalarında polimerler hakkında yoğunlaşmışlardır. Buna göre literatürde de yer aldığı gibi polimer matrisler sıcaklıkla yumuşamaya geçerler ta ki camsı geçiş sıcaklığına kadar bu sıcaklık değeri çok önemlidir. Çünkü bu sıcaklığa kadar istenilen düzeyde mekanik yük alabilen malzeme bu sıcaklıktan sonra istenilen mekanik performansı gösteremez. Bununla birlikte polyester ve vinil ester gibi malzemelerin camsı geçiş sıcaklıkları düşük olduğu gözlemlenmiştir. Polyester için 60 ° C Vinil ester için 130 ° C olduğu ortaya konmuştur. Bu sıcaklıklardan sonra tahvillerin bozunması sebebiyle lif ve reçine arası kompozit etkileşim önemli seviyede düşmekte olduğu gözlemlenmiştir.

Bu nedenle, karbon bazlı FRP malzemeleri olduğunda cam geçişine eşit veya daha yüksek sıcaklıklara tabi tutulur. Reçine sıcaklığı, mekanik özelliklerinde azalma gösterir.

Azalmanın bir kısmı sözü geçen kompozit malzemenin tekrar ısı kaybetmesi ile bir miktar geri kazanılabilmektedir [48]. Matrisler adına diğer önem arz eden husus termoplastik ve termoset için ayrışma sıcaklığıdır. Bu sıcaklık bozunma adına başlangıç sıcaklığıdır. Mekanikte bozunma ve kayıp miktarı özellikleri, polimer sekanslarının meshlenmesinin ne kadar sıkı olduğunun bir fonksiyonudur. Ağ ne kadar sertse, reçinenin alacağı mekanik özelliklerde daha az olmaktadır. Öte yandan, karakteristik olan akış sıcaklığı termoplastik reçinelerin, malzemenin oluştuğu

sıcaklıktır. Testler FRP kompozitlerde yüksek sıcaklıklarda yapıldığında, Tutarsızlık belki de farklı test türlerinin sonuçları olduğunda fark edilebilir [45].

Katz ve arkadaşları [44-47], FRP malzemelerinin özelliklerinin bulunduğu FRP kompozitlerinin anizotropik kalitesi enine doğrultuda uzunlamasına özelliklerinden farklı yön nedeniyle olabilir.

Fiber takviyeli polimerlerin sıcaklık etkisi ile polimer yani matris kısmında azalma meydana geldiği görülmüştür. Öyleyse eğer test türü, yüksek sıcaklıklarda olduğu gibi matris performansına daha çok bağlıdır kayma testleri veya bağ testleri için, yüksek sıcaklıklara daha fazla duyarlılık olabilir.

3.3. Betonda Isı İletimi

Enerjinin aktarılma yollarından biri ısıdır. Isının yayılma yollarından biri de iletimdir. Isı iletim hızı ya da enerji iletim hızı bir maddede birim zamanda aktarılan ısı miktarıdır. Birimi J/s yani W olarak belirtilir, güç ile aynı birimdedir. Isı iletim hızı maddenin türüne, kesit alanına, ısının iletildiği uçlar arasındaki sıcaklık farkına ve maddenin kalınlığına bağlıdır [50].

Bazı özel yapılarda beton normal sıcaklığın üstünde bir ortam içinde bulunur. Örneğin betonarmeden yapılmış bir fabrika bacasında beton 400 °C dolayında bir sıcaklık ile temas halindedir. Sıcaklığın mevsimlere göre büyük ölçüde değişmesi hallerinde bu durumun hiperstatik yapılar üzerinde meydana getirdiği etkileri de göz önünde bulundurmak gereklidir. Meydana gelen yangınlarda beton 600-1000 °C ye kadar yükselebilen bir sıcaklık ile karşı karşıyadır. Bu gibi durumlarda önümüze çıkan sorunların çözümünde ve ayrıca konut ya da iş yerinde istenen termik izolasyonun sağlanması için betonun termik özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Beton için gerekli olan bu değerler ısı iletim katsayısı, betonun özgül ısısı, termik genleşme katsayısı ve yangına dayanıklılıktır [54].

Isı İletkenlik Katsayısı λ (W/m.K): Bir malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak o malzemenin ısıyı ne kadar ilettiğinin ifadesidir. Örnekler: Demir $\lambda=58$, Betonarme $\lambda=2.1$, Tuğla duvar $\lambda=0.3$, Ahşap $\lambda=0.2$, Standart EPS (16 kg/m³) $\lambda=0.038$, Standart EPS (22 kg/m³) $\lambda=0.035$, Gümüş Aterpor $\lambda=0.032$, 30 kg/m³ Aterboard Isı Yalıtım Levhası $\lambda=0.035$ λ değeri ne kadar küçükse o malzeme ısıyı o kadar az iletir.

Isı Geçirgenlik Katsayısı U (W/m²K): Farklı malzemelerin arka arkaya dizilmesiyle oluşan bir yapı elemanının ısı geçişine göstermiş olduğu dirençtir. U, malzemelerin ısı iletim katsayısı (λ) ve ısı geçiş yönündeki kalınlığına bağlıdır. U değeri ne kadar küçük olursa, ısı kaybı da o kadar az olur [51].

Özgül Isı: Betonların özgül ısısı, başka bir deyimle cismin sıcaklığını arttırmak için sarf edilmesi gereken ısı miktarı 0,20 – 0,28 kcal/kg°C arasında değişir. Bu büyüklüğün betonun üretiminde kullanılan agreganın mineralojik kökeni ile büyük bir ilgisi yoktur. Buna karşılık betonların su içeriğinin artması özgül ısının artmasına neden olur. Betonun birim ağırlığının azalması halinde ise bu karakteristik bir artış gösterir [54].

ISO ve CEN standartlarına göre ısı iletkenlik katsayısı (λ) 0,065 W/(m.K) değerinden düşük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanır. Isıl iletkenlik katsayısı 0,065 W/(m.K) değerinin üzerinde olan malzemeler ise “yapı malzemesi” olarak adlandırılmaktadır (ısı yalıtım özelliği, ısı iletkenlik değeri düşükçe artar, yükseldikçe azalır).

Tuğla, gazbeton, bims blok gibi malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları bu değer üzerinde olduğu için ısı yalıtım malzemesi değil, ancak ısı yalıtım malzemelerine katkı yapabilecek yapı malzemeleridir [52].

Betonun ısı geçirgenliğinin çelik vb. malzemelere göre az oluşu, büyük beton kütlelerinde ve dış sıcaklıkların farklı olmaları nedeniyle parazit gerilmeler yaratabilir. Ancak aynı neden betonarmenin yüksek sıcaklıklara karşı olumlu bir

davranış göstermesini de sağlar. Bir çelik konstrüksiyonun, bir yangında, 550°C - 600°C sıcakta mukavemetinin tümüyle yok olmasına karşılık 600°C’de, beton, basınç mukavemetinin ancak %50 sini kaybetmektedir. Donatının betonla iyi bir şekilde korunmuş olması durumunda, betonarme yapı kısa süreli bir yangına başarılı bir şekilde dayanır.

Deneyler 3 cm kalınlığındaki bir örtü betonunun donatılan 1-2 saat, 5 cm kalınlığındaki örtü betonunun da 3-4 saat 600°C yöresindeki bir sıcaklığa karşı koruduklarını göstermiştir. Sıva da örtü betonu kalınlığına katılmalıdır; alçı sıvanın koruyuculuğu daha yüksek olup, 2 cm’lik bir alçı sıva 2 saatlik ve 3 cm’lik bir alçı sıva da 4 saatlik bir süre için donatıyı yüksek sıcaklık etkisinden korumaktadır.

Beton ve betonarmenin yangın gibi kısa süreli yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmasına karşılık, sürekli olarak sıcakta kalan beton 100°C dan daha sıcak olmamalıdır. Sürekli olarak 100°C ya da daha yüksek bir sıcaklıkta kalan beton zamanla (bu zaman 10 ~ 15 yıl olabilir) bünyesindeki suyu kaybederek kolayca ufalanabilir duruma gelmektedir. Bu nedenle özellikle endüstri yapılarının çok ısınan yerlerinde, fırınların yakınında ve bacalarda betonun özel bir izolasyon maddesiyle korunması gerekmektedir. Bunun için genellikle sıcaklığın derecesine göre ateş tuğlası, ya da özel tuğlalar kullanılmaktadır.

Betonun 600°C sıcaklıkta mukavemetinin bir kısmını kaybetmesi bünyesinde bulunan suyun kaybindan ileri geldiğinden, yangından sonra yapılacak düzenli bir ıslatma bu kayıp direnci bir ölçüde geri getirebilir [53].

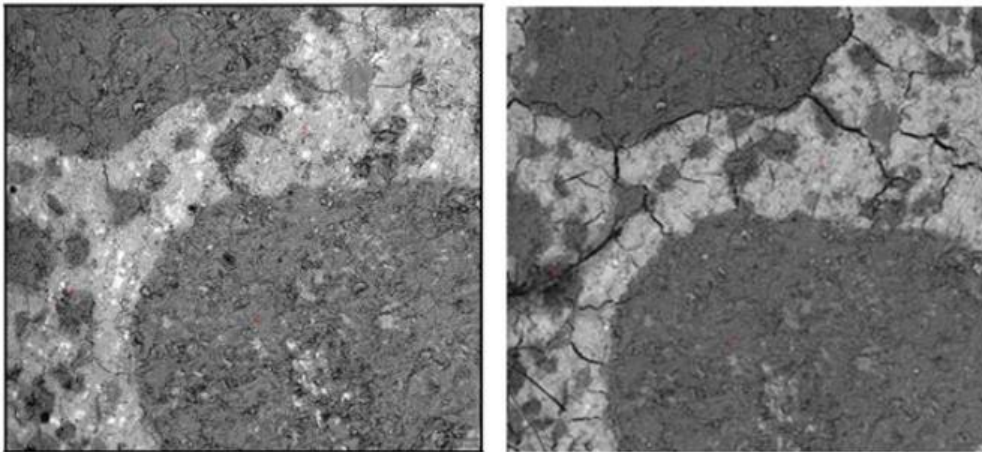
3.3.1. Yüksek sıcaklıklarda betonun davranışı

Betonun yüksek sıcaklıklarda davranışı, sıcaklık artış hızı ve agrega tipi ve stabilitesi dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir. Ani sıcaklık değişiklikleri, termal şok nedeniyle çatlama ve dağılmalara neden olabilir ve agrega genleşmesi beton içinde de sıkıntı yaratabilir.

Yüksek sıcaklıklar ayrıca betonun basınç dayanımını da etkiler. 212 ° F'nin üstünde, çimento hamuru susuzlaşmaya başlar (kimyasal olarak kombine hidrasyon suyunu kaybeder), bu da hamuru ve hamur-agrega bağını kademeli olarak zayıflatır.

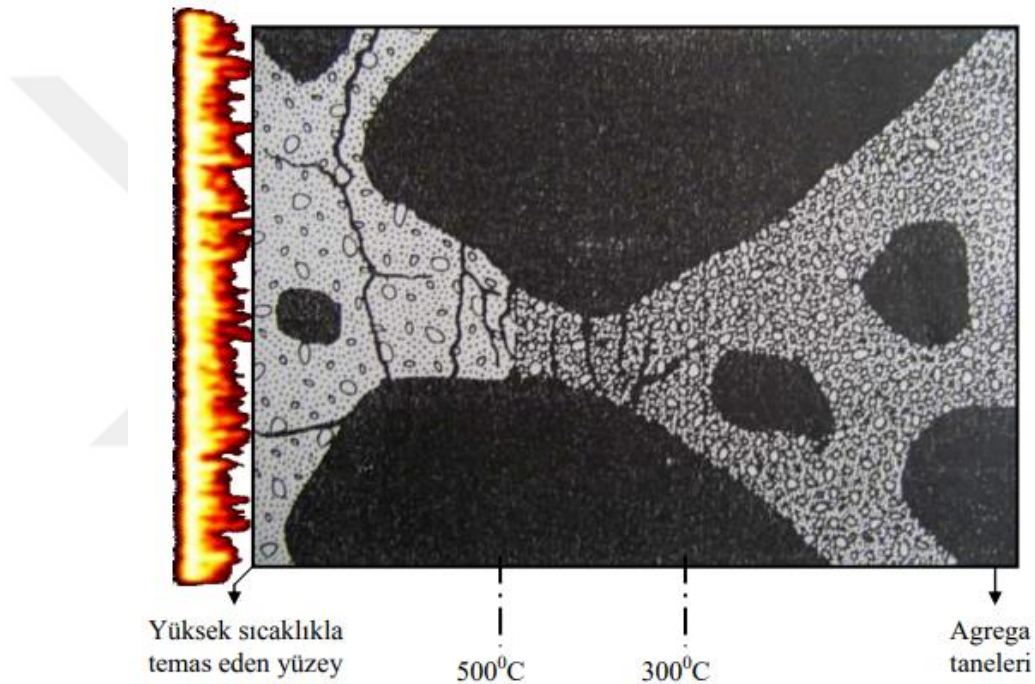
Betonun sık sık ulaştığı sıcaklık, agregadaki renk değişiklikleri gözlemlenerek belirlenebilir. Örneğin, kireçtaşı agregaları yaklaşık 570° F'ye ulaştığında pembeye döner, bu da önemli ölçüde basınç dayanımı kaybına neden olabilir [88-89].

Yüksek sıcaklığa sebep olan yangın ise katı, sıvı ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması olayıdır. Sıcaklığın 10 dakika gibi kısa bir zamanda yaklaşık 650°C'ye hızla yükseldiği ve yangın süresince de 1200°C'ye ulaşabileceği görülmektedir. Beton, yanmayan madde oluşu, belirli bir süre için önemli derecede zarar görmemesi ve zehirli duman çıkarmaması ile yangın direnci yüksek bir malzemedir. Ancak bu dayanıklılık, sınırlı süre ve belirli sıcaklıklar için geçerlidir. Örneğin silis esaslı agregası ile üretilen normal dayanımlı betonda 600°C'de dayanım kaybı yaklaşık %50'dir. Sıcaklık 500°C'nin üzerindeyken, çatlaklar çimento hamurunda gelişir, boyutları 0,01 mm'den büyüktür. Ayrıca agregaları çatlatırlar, bunların boyutları ise 0,05 mm'den büyüktür ve artık çatlaklar gözle görülebilir. Silis esaslı kum kullanılarak üretilmiş silis dumanı katkılı harçta yüksek sıcaklık (600°C) etkisi öncesi ve sonrası elektron mikroskoptan alınan görüntülerde (Şekil 3.2.) çimento hamurunda, ara yüzde ve kısmen agreganın kendisinde de çatlakların oluştuğu görülmektedir [90].



Şekil 3.2. Harçta sıcaklık etkisi öncesi ve sonrası 600 c görüntüsü [90]

Yüksek sıcaklığın betonun basınç dayanımına etkisi şu şekilde özetlenebilir; basınç dayanımı 90°C 'de azalır, bu azalma %10-35 oranındadır. Bu sıcaklıktan sonra 200°C 'ye kadar dayanımda artış gözlenirken 200°C 'den sonra beton dayanımı sürekli olarak azalır (Şekil 3.3.) 800°C 'de dayanım kaybı %20-50 arasındadır. Dayanımdaki bu değişimi beton üretiminde kullanılan agrega türü ve oranı doğrudan etkiler. Kalker esaslı agrega ile üretilen betonlar yüksek sıcaklık etkisi altında, silis esaslı agrega ile üretilen betonlardan daha iyi performans göstermektedirler [90].



Şekil 3.3. Yüksek sıcaklıkta betonun davranışı [54]

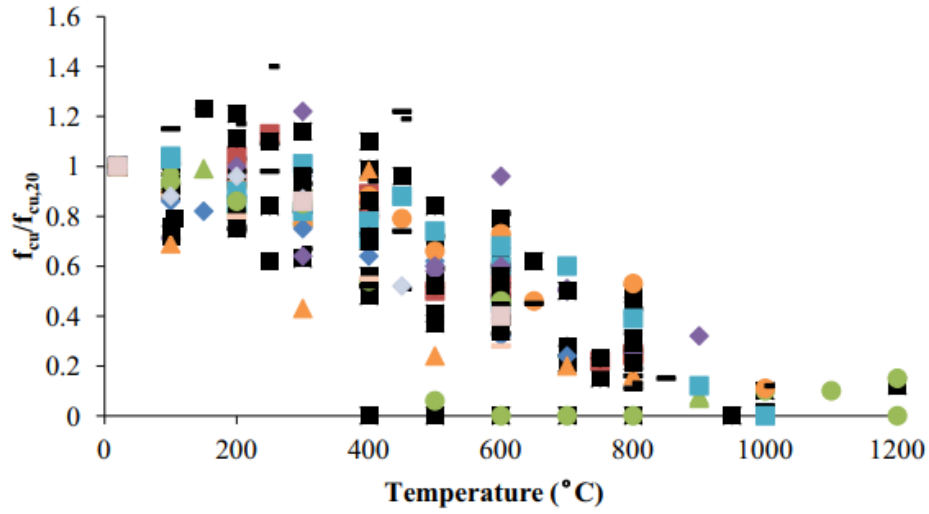
Beton agregalarının yangın süresindeki etkileri ısınma süresinde belirmeye başlar. Çimento hamur fazından farklı termik genişleme katsayısına sahip olan agregalar bu faz içinde kayma gerilmeleri oluştururlar ve betonun çatlayarak sürekliliğini kaybetmesine neden olurlar. Agregaların asıl önemli etkisi mineral yapılarından kaynaklanır. Kumların büyük çoğunluğunu teşkil eden kuvarz, 570°C 'de polimorfik bir değişime uğrar, alfa kuvarz'dan beta kuvarz'a dönme olayı %15 mertebesinde bir hacim genişlemesiyle meydana gelir. Göçmeye sebep olacak faktörler ise basınç

dayanımının düşmesidir. Onların taşıma gücünü zedeler ve kolonun gevrek bir kırılma ile göçmesine yol açmaktadır.

Burada dikkate alınması gereken bir nokta da betonun yumuşaması, boşluklu bir yapıya dönüşmesidir. Sıcaklık şokuna maruz kalmış bir betonda sünme kapasitesi artar, yani sabit yük altında ve zaman içinde deformasyonlar artmaya devam eder. Bu nedenle yangının hemen akabinde göçmeyen bazı kolonların gözleme alınması ve deformasyonlarının izlenmesi güvenlik açısından gerekir [54].

Betonun yüksek sıcaklıktaki davranışlarına binaen Qianmin Ma ve arkadaşlarıda [87] birtakım araştırmalarda bulunmuşlardır. Buna göre yüksek sıcaklık, betonun genel mekanik bir çürümesini ve yapısal olarak yangın durumunda, betona sıçraması ve aleve maruz kalması nedeniyle yapısal düzeyde zararlı etkiler meydana getiren, ciddi derecede zarar veren beton mikro ve meso yapısı için iyi bilinmektedir. Beton davranışının yüksek sıcaklıkta ve yangında alaka düzeyi nedeniyle, son zamanlarda, yüksek sıcaklıkta çimentolu kompozitler üzerinde birçok çalışma yapılmıştır ve en uygun parametreler tanımlanmış ve araştırılmıştır. Bu çerçevede yazarlar, basınç dayanımı, elastikiyet modülü, dolaylı gerginlik (bükülme ve ayrılma testleri), gerilme-gerilme eğrileri ve dağılma gibi parametrelerin sıcaklığa bağlılığı hakkında kapsamlı ve güncellenmiş bir rapor sunar. Ancak su bağlayıcı oran (w/b), agrega tipi, ek çimentolu malzemeler (SCM'ler) ve liflerin oynadığı roller de incelenmiştir. Makalenin hedefleri arasında, şu anda yüksek sıcaklıkta beton mekanik özelliklerini geliştirmek için benimsenen yaklaşımlar da ele alınmıştır. Bu arada, test yöntemlerinin betonun yüksek sıcaklıktaki mekanik özellikleri üzerindeki etkisi de ayrıca tartışılmıştır.

Bununla alakalı oluşturulan grafikler incelendiğinde;



Şekil 3.4. Betonun yüksek sıcaklıklarda kalan basınç dayanımı [87]

Buna göre;

300–800° C, betonun basınç dayanımı etkili bir şekilde azalır.

800° C, sonra ise tamamına yakın bir şekilde dayanım gücü düşmüştür [87].

3.4. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Khaneghahi ve arkadaşları [55], Şişen boyanın yüksek sıcaklıklarda FRP çubuk performansı üzerindeki etkisi araştırdı. Bu araştırmada, epoksi reçineli ve azot bazlı şişen boya ile kaplanmış cam ve karbon FRP çubukları kullanılmıştır. Sıcaklık etkilerine ek olarak, çekme davranışı üzerindeki etkisini belirlemek için çeşitli FRP çubuk çapları kullanılmıştır FRP çubukların şişen boya varlığında. Ayrıca, tahmin modelini geliştirmek ve FRP çubuklarının gerilme performansına değişkenlerin katkısını ölçmek için sonuçlara Bayesian regresyon yöntemleri ve ANOVA (Variance analizi) uygulanmıştır. Sonuçlar, şişen boyanın, FRP çubuklarının mekanik özelliklerinin, %30'a kadar GFRP çubuklarının çekme yükü kapasitesinde, 350-600 ° C sıcaklıkta önemli ölçüde bozulmasını önlediğini ortaya koydu.

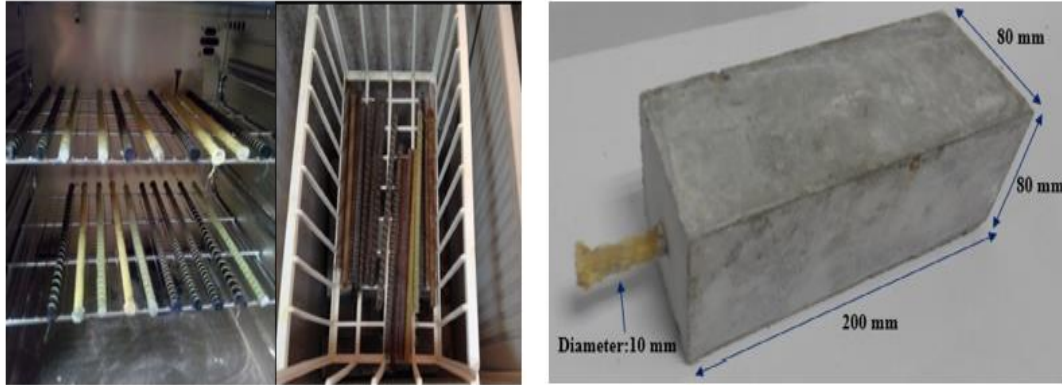
Önemli sonuçlar ise şu şekildedir;

1. Şişen boyanın 350 ila 600 ° C sıcaklıkta çalıştığı gözlenmektedir.

2. Şişen boya ile kaplanmış FRP çubuklar, ham FRP çubuklardan daha yüksek çekme dayanımı tutma gösterdi.
3. ANOVA'ya göre, çubuk çapının FRP çubukların gerilme dayanımı üzerindeki etkisi, 350 ila 600 ° C arasındaki sıcaklıkta önemli ölçüde artmıştır.
4. Bayesian prediktif modeli, GFRP ve CFRP çubuklarının çekme dayanımı için geliştirilmiştir

Reider ve Meir [56], Konvansiyonel bir betonarme konut yapısını, Fiber Takviyeli Polimer (FRP) kompozitten yapılmış malzemeden ile karşılaştırmıştır. Her birinin göreceli avantajlarını yaşam döngüsü boyunca genel enerji uygulamaları açısından değerlendirmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar ise şu şekildedir, FRP evinin daha yüksek termal direnç avantajına sahip olduğunu göstermektedir yılın soğuk dönemlerinde düşük enerji tüketimine neden olmaktadır. Yerinde ereksiyon süresi tasarrufu, fiyat açısından bir diğer önemli avantajdır. FRP seçeneğinin düşük termal kütlesi, yaz aylarında daha fazla enerji tüketen hale getiren bir dezavantajdır. Ana dezavantajı belirgin yüksek somutlaşmış enerji aynı fazda paralel beton ev EE ile karşılaştırıldığında üretim fazı (beşikten kapısı) FRP (EE). Kullanılan ana araçlar, termal simülasyonlar için Energy Plus ve LCEA için Simapro idi.

Aydın F. [57], Dört farklı elyaf tipine (Cam, Karbon, Aramid ve Bazalt) sahip FRP çubuklar için ısı genleşme katsayısı belirlenmiş ve betondaki davranışları incelemiştir. İlk olarak, FRP çubuklarının termal genleşme katsayıları deney yoluyla belirlemiştir. Çubukların betonun ısı değişim etkisi altında uygunluğunu bulmak için, üç farklı dayanım sınıfından prizmatik beton numunesi üretildi ve bu numunelerin içine çelik çubuklarla FRP yerleştirilmişti. Çubuklarla güçlendirilmiş beton numuneleri, betonda oluşan deformasyonları gözlemlemek için art arda artan sıcaklıklara maruz bırakıldı. Böylece, elyaf tipi, beton dayanımı ve sıcaklık değişim sürelerinin, termal genleşme etkisi altında FRP çubuk gömülü betonları nasıl etkilediğini belirlemiştir.



Şekil 3.5. Dört farklı elyaf tipine ait FRP çubuklar ve beton içerisindeki hali [57]

Sonuç olarak,

1. GFRP, CFRP, AFRP ve BFRP çubuklarının termal genleşme davranışı belirlenmiştir.
2. Deformasyon sıcaklığın etkisi altında FRP gömülü beton belirlenmiştir.
3. Farklı beton dayanımlarının ve farklı elyaf tiplerinin etkileri belirlenmiştir.
4. Yüksek dayanımlı beton kullanarak ısı genleşme kaynaklı deformasyonu azaltabilir olabileceği bulunmuştur.

Mikami ve arkadaşları [58], sıcaklığın etkileri (100 ve 180 ° C) Bağlanma dayanımının bozulması ve arıza modlarındaki değişiklikler hakkında bilgi verip ve tartışmıştır. Bu çalışmada üç olası başarısızlık modu göz önünde bulundurulmuştur: beton yüzeyindeki yapışkan, karma ve arayüzdeki yapışkan. Bu nedenle, beton ve FRP arasındaki gerçek bağ kuvveti ancak başarısızlık modu yapışkan olduğunda ölçülebilir. Oda sıcaklığında kontrol koşulları altında, gerçek yapışkan kuvveti, çoğu mühendislik uygulaması için yeterli olan 6 MPa'yı aşmaktadır. Yüksek sıcaklık ve düşük nem kombinasyonu, bağlanma kuvvetine en zararlı olanı olduğu anlaşılmıştır.

Saafi M. [59], Yüksek sıcaklıklara maruz kalan FRP betonarme kirişlerin performansını analitik olarak incelemektedir. Belirli bir süre boyunca ateşe maruz kalan FRP betonarme kirişlerin artık eğilme ve kayma dayanımlarının tahmin edilmesine yönelik yöntemler geliştirilmiştir. Önerilen yöntemler, kiriş içinde geliştirilen yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan beton ve FRP donatılarının ilk

dayanımlarındaki azalmanın değerlendirilmesine dayanmaktadır. Beton kaplamanın etkisini incelemek için parametrik bir çalışma yapılmıştır. FRP sıcaklıklarında yangına maruz kalma süresi ve güçlendirilmiş kirişlerin kayma ve eğilme kapasiteleri. Beton kaplamanın arttırılmasıyla FRP sıcaklıklarının azaldığı ve FRP betonarme kirişlerin kayma ve eğilme dayanımlarında belirgin bir bozulma gösterdiği görülmüştür. Son olarak, bu çalışma FRP betonarme için 64 mm (2,5 inç) yangına dayanıklılık için minimum bir beton kaplama önermektedir.

Firno ve arkadaşları [60], FRP ile güçlendirilmiş RC yapı elemanlarının yangın performansında son teknoloji bir derleme sunmaktadır. İnceleme, öncelikle FRP'lerin kurucu maddelerinin yüksek sıcaklıklarındaki mekanik davranışını ve bunların betona bağlarının ısıtıldığında nasıl etkilendiğini ele almaktadır. Bu makale daha sonra FRP ile güçlendirilmiş RC kirişlerin, slabların ve kolonların yangın davranışları hakkındaki mevcut deneysel ve sayısal çalışmaları ele almaktadır. Mevcut tasarım rehberliği de tartışılmaktadır. Son olarak, gelecekteki araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Cree ve arkadaşları [61], Fiber takviyeli bir polimer (FRP) sargısı ile güçlendirilmiş ve benzersiz bir ek yangından korunma sistemi ile kaplanmış bir dairesel ve bir kare betonarme kolonun yangın performansını inceler. Kanada Ulusal Araştırma Konseyi'nde deneysel bir tam ölçekli yangına dayanıklılık testi yapılmıştır. Yalıtılmış ve güçlendirilmiş FRP sarı sütunlar, ULC-S101 standart yangına maruz bırakıldı ve her iki sütun da 4 saatten uzun süren yangına dayanıklılık dereceleri aldı. Her iki sütunda da yangın dayanım deneyinin detayları bu yazıda anlatılmıştır. Ek olarak, dairesel ve kare sütunlar için özel olarak geliştirilen sayısal modeller deneysel sonuçlara karşı doğrulanmıştır.

Sonuç olarak;

1. Dairesel ve kare beton kolonlar tam ölçekli yangın testinden geçirilmiştir
2. Her iki sütun da yangın süresince sürekli servis yüküne dayanmıştır.

3. Deneysel sıcaklık verileri termal sayısal modellerle uyumlu olduğu bulunmuştur.

Yu ve Kodur [62], Ritik faktörlerin FRP inşaat demiri ile güçlendirilmiş beton kirişlerin yangın tepkisi üzerindeki etkisine dair bir dizi sayısal çalışmanın sonuçlarını sunmaktadır. Analizde kullanılan makroskobik sonlu elemanlar modeli, yapısal malzemelerin yüksek sıcaklık özelliklerini, gerçekçi yük ve kısıtlama koşullarını ve ayrıca FRP inşaat demiri ile beton arasında sıcaklığa bağlı kaymayı açıklar. Modelin geçerliliği, sayısal analizden elde edilen tahminler ile yangın testinde ölçülen verilerle karşılaştırılarak belirlenir. Parametrik çalışmalardan elde edilen sonuçlar, inşaat demiri tipi, beton kaplama kalınlığı ve yangın senaryosunun FRP inşaat demiri ile güçlendirilmiş beton kirişlerin yangına tepkisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, kirişte eksenel kısıtlamanın varlığının yangına direnç üzerinde orta düzeyde bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Hajiloo ve Green [63], Cam Elyaf Takviyeli Polimer (GFRP) betonarme plakaların yangından sonraki kalıntı gücüyle ilgili kritik veriler sağlar. Artık çekme ve bağ kuvveti, üç GFRP takviye çubuklarının türleri ve bir GFRP sonrası ateş kalıntı gücü beton levha incelenir. Kalıntı çekme dayanımı için nominal çapı 16 mm olan GFRP çubukları, 450 ° C'ye kadar olan sıcaklıklara maruz bırakılır ve 24 saat sonra oda sıcaklığında test edilir. 24 saat sonra, numuneler oda sıcaklığında arızaya karşı yüklenir. Kalan bağlanma mukavemeti için, çekme örnekleri çeşitli sürekli yük değerleri altında ısıtılır. Sonunda, tam ölçekli GFRP betonarme slab, üç saatlik standart bir yangına maruz kaldıktan sonra yangın sonrası kalıntı kapasitesini değerlendirmek için oda sıcaklığında test edilir. Kalıntı çekme testi sonuçları, 400° C'ye maruz bırakılan çubukların orijinal gücün en az %45'ini geri kazandığını, kalıntı bağ dayanımının ise 300 ° C deney yapmış olan serpm örnekleri için yaklaşık %40 olduğunu göstermiştir. Döşemenin yangından sonraki kalıntı kuvveti, oda sıcaklığı bükülme tasarım kuvvetinin %68'idir; kütüğün uçlarındaki bağ kaybı, yönetimin başarısızlık şeklidir.

Lau ve arkadaşları [64], FRP-bağlı sistemin bozulmasına, arayüzey bütünlüğünün değerlendirilmesine, mükemmel dayanıklılığa sahip FRP ile güçlendirilmiş sistemin ve FRP'nin yangın davranışına ilişkin son araştırma gelişmelerini göstermektedir. Gelecekteki araştırmalar, dayanıklılık çalışması için perspektifler ve FRP kullanımı üzerine yangın güvenliği konusuna yönelik öneriler de sunmaktadır. Ortaya çıkan sonuçlar ise şu şekildedir,

1. Nem, FRP-bağlı sistemlerde arıza modunda bir kaymaya neden olur.
2. FRP bağlı sistemin bozulması, çok ölçekli modelleme ile incelenebilir.
3. Arayüz bütünlüğünü değerlendirmek için tahribatsız muayene yöntemleri teşvik edilir.
4. FRP inşaat demiri ile güçlendirilmiş deniz suyu / deniz kumu betonu yüksek korozyon direncine sahiptir.
5. FRP'nin yangın davranışı iyi bilinir ancak duman emisyonu sorunu çözülmeden kalır.

Yu ve Kodur [65], Yüzeye yakın monte edilmiş (NSM) fiber takviyeli polimer (FRP) takviyeli ile güçlendirilmiş betonarme (RC) T kirişlerin yangın davranışları ile ilgili deneysel ve sayısal çalışmaların sonuçlarını sunmaktadır. NSM FRP donatı ile güçlendirilmiş dört RC T-kiriş, ASTM E119 standart yangına maruz kalma ve servis yükü koşullarına maruz bırakılarak test edilmiştir. Test değişkenleri yük seviyesi, kısıtlama koşulları ve kirişlere uygulanan yangından korunma içermektedir. Yangına dayanıklılık deneylerinden elde edilen veriler, NSM FRP ile güçlendirilmiş beton T-kirişlerinin yangın tepkisini izlemek için sayısal modelden öngörülerini doğrulamak için kullanılır. Yangın testlerinden ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlar, NSM FRP ile güçlendirilmiş kirişlerin, herhangi bir harici yangından korunmasız bile, standart yangın koşullarında üç saat boyunca servis yüklerini kaldırabileceğini gösterilmektedir.

Li ve arkadaşları [66], yüksek sıcaklığın, modifiye epoksi reçine (MER) yapıştırıcısı ile yapıştırılmış fiber takviyeli plastik (FRP) betonarme malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini aydınlatmayı amaçlamaktadır. CTP-MER beton

gerilme mukavemeti, esneme mukavemeti ve arayüz yapışma özellikleri (C30-C50), 80, 160 ve 240 için maruz kaldıktan sonra ölçülmüştür.

1,5° C h ve 3 sırasıyla, h. Ara yüzün mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edildi. Nihai çekme dayanımı ve MER-FRP'nin gerilimi ve FRP-beton ara yüzünün bağlanma dayanımı, maruz kalma sıcaklığı ve zaman arttıkça yavaş yavaş azalır. FRP ile güçlendirilmiş betonun nihai kapasitesi yavaş yavaş azalır. Yüksek mukavemetli numunelerin nihai kapasite ve kırılma enerjisinin kayıp oranları, düşük mukavemetli numunelerinkinden daha yüksektir. FRP ile güçlendirilmiş betonun kırılma enerjisi kaybı, maruz kalma süresine göre sıcaklığa daha duyarlıdır. FRP'nin stres-gerinme ilişkisi, her iki beton tipi için de bilinmeyen bir davranış izler. MER-beton arayüzündeki ve çatlak matrisindeki mikro çatlaklar, FRP ile güçlendirilmiş betonun yüksek sıcaklıktaki mekanik özelliklerini bozmaktadır.

Nguyen ve arkadaşları [67], farklı mekanik yükleme koşullarında termal yalıtımlı ve yalıtımsız elle döşenmiş CFRP'nin termomekanik performansını sunar. Maksimum geçici ısıtma sıcaklığını ve CFRP'nin farklı mekanik yük seviyelerinde maruz kalabileceği süreyi belirlemek için deneysel testler yapıldı. Sonuç olarak, uygulanan yük arttığında, kopma sıcaklığının ve maksimum maruz kalma süresinin azaldığını göstermektedir. 20°C'de, CFRP'nin yırtılma sıcaklığı, uygulanan yük malzemenin nihai mukavemetinin %10'undan %50'sine yükseldiğinde kademeli olarak düşer; Oda sıcaklığında, uygulanan yük nihai kuvvetin %75'ine ulaştığından, yırtılma sıcaklığı önemli ölçüde azalır. Aynı şekilde, maruz kalma süresi, uygulanan yük CFRP'nin nihai kuvvetinin %10 ila %50'sine değiştiğinde yavaş yavaş azalır ve uygulanan yük, nihai kuvvetin %75'i olduğunda önemli ölçüde azalır. Termal ve mekanik yüklemeye maruz bırakılan CFRP'nin performansı üzerinde kullanılan kullanılmış yalıtım malzemesinin etkinliğini karakterize etmek için bir yalıtım malzemesi tarafından korunan CFRP üzerinde ek testler yapılmıştır. Isı iletimini araştırmak için sonlu elemanlar modelleri kullanılmış ve bu modeller deneysel sonuçlarla başarıyla doğrulanmıştır.

Ji G. ve arkadaşları [68], 4 dakikalık, 8 dakikalık bir süre boyunca 982° C'lik bir jet yangına maruz kalan üç grup FRP tüpü kapalı beton silindirin (Grup 1, 2 ve 3) sıcaklık dağılımları ve artık kuvveti kalıntılarının test sonuçlarını sunmaktadır. Sırasıyla, min. Kapalı beton silindirlerin ateş altındaki sıcaklık dağılımı gömülü termokupllar tarafından kaydedildi. Yangın testinden sonra, artık mukavemeti değerlendirmek için tek eksenli sıkıştırma testleri yapıldı. Sonuç olarak, yangına maruz kalmayan bir grup FRP tüpü örtülü beton silindirle karşılaştırıldı (Grup 4). Kapalı beton silindirlerin yangına dayanımını arttırmak için, diğer üç örnek gruba (Grup 5, 6 ve 7) yanmaz bir katkı maddesi uygulandı ve bu örnekler ayrıca 4 dakika, 8 dakika ve 12 saniye boyunca ateş testine tabi tutuldu. Sırasıyla, min. SEM, reçine yanmasını incelemek için yangınla kullanılmıştır. Test sonuçları yangına maruz kalmanın sınırlı beton silindirlerin kalıntı dayanımını azaltmada önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Reçine tamamen yanmış ve 8 dakika yangına maruz kaldıktan sonra karbonlaştırılmıştır. 12 dakikalık bir yanmadan sonra, FRP tüpü temelde herhangi bir anlamlı sınırlama sağlama kapasitesini kaybeder. Kullanılan yanmaz katkı maddesi, yangın tehlikesinin etkisini en aza indirmede etkili olmuştur.

Bisby ve Kodur [69], Standart yangın koşulları altında FRP betonarme döşemeler üzerinde yapılan deneysel ve sayısal çalışmalara genel bir bakış sunmaktadır.

FRP ile güçlendirilmiş beton plakaların yangın performansını etkilemesi muhtemel faktörler sunulmuş ve tartışılmış ve FRP çubuklarla güçlendirilmiş beton plakaların yangına dayanımının değerlendirilmesi için ilk tasarım kılavuzunun geliştirilmesi ana hatlarıyla belirtilmiştir. FRP çubuklarla güçlendirilmiş beton plakaların yangına dayanımını değerlendirmek için mevcut tasarım çizelgelerinin uygulanmasını göstermek için örnekler sunulmuştur. Daha fazla araştırma için öneriler sunulmuştur.

Hajiloo ve arkadaşları [70], yüksek sıcaklıklarda cam elyafı ile güçlendirilmiş polimer (GFRP) çubukları üzerindeki çekme dayanımı testlerinin deneysel sonuçlarını sunmaktadır. Bu sonuçlar, farklı üreticilerin GFRP takviye çubuklarının özellikleri ile ilgili kapsamlı bir çalışmanın bir parçasıdır. Gerçek inşaat

uygulamalarını temsil etmek için, yaygın olarak kullanılan 5 GFRP donatı çubukları 16 mm nominal çapta incelenmiştir. Takviye çubukları, çeşitli ürünlerin potansiyel farklılıklarını incelemek için üç farklı üreticiden seçilir. Konvansiyonel sabit durum sıcaklık testlerinin yanı sıra, geçici sıcaklık koşulları altında çekme testleri yapılır.

Geçici testlerde, numuneler ısıya maruz kalmadan önce yüklenir. Barın tipine bağlı olarak kararlı durum testleri ve geçici sıcaklık testleri için 25 ila 500 ° C arasındaki sıcaklık aralıkları dikkate alınır, çubuklar, oda sıcaklığındaki çubuğun gücünün %25 ila 70'ine yüklenir. GFRP betonarme elemanlarının yangın performansına ilişkin genel sonuç, test edilen üç tip GFRP çubuğunun, orijinal çekme dayanımlarının %25'inin beklenen servis stres seviyesini en az 400 ° C'ye kadar koruyabileceği ve bu sıcaklığın, tasarımda kritik sıcaklık olarak kullanılacağını ortaya koymuştur.

Netinger ve arkadaşları [71], Betonun yangına dayanımını arttırmak için kenevir lifi kullanımını araştırmıştır. Elyafların karakterizasyonu SEM, TGA / DSC, FTIR ve kristallilik indeksi ile gerçekleştirildi. Bir referans beton karışımı, polipropilen elyaf karışımı ve farklı kimyasal işlem görmüş kenevir elyaflarından oluşan dört karışım hazırlandı. Beton örnekleri 400 ° C'ye ısıtıldı ve soğutuldu. Sıkıştırma mukavemeti, statik elastikiyet modülü, artık ağırlık ve artık ultrasonik nabız hızı belirlendi ve karşılaştırıldı. Liflerin eklenmesi, artık özellikler açısından betonun yangın dayanımını önemli ölçüde etkilememiştir. Taramalı elektron mikroskobu ve beton karışımlarının mikro görüntülerinden görsel gözlemler, kenevir liflerinin ısıtıldıktan sonra kısmen beton içerisinde parçalandığını; bu nedenle, tamamen parçalanmamış kenevir lifleri, yüksek sıcaklıklarda çatlak ilerlemesini azaltabilir ve böylece betonun yangına karşı direncini arttırabilir.

Asadi ve arkadaşları [72], Betonun ısı iletkenliğini ölçmek için en yaygın kullanılan teknikleri gözden geçirip ve çimento esaslı malzemelerin ısı iletkenliğini etkileyen faktörleri değerlendirmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar tarafından bildirilen verilere dayanarak, bu çalışmada betonun termal iletkenliğini tahmin etmek için genel bir denklem önerilmiştir. Bu incelemenin sonuçları, çoğu araştırmacının geçici yöntemlere dayanarak çimento bazlı malzemelerin k değerini ölçtüğünü

göstermektedir. Doymuş koşullarda bildirilen k değeri kuru koşullarda daha yüksektir. Ayrıca, ölçülen k değeri, artan sıcaklıkla birlikte düşüş eğilimi gösterir.

Kullanılarak sonucuna varılmıştır hafif beton yapısal ve yapısal olmayan yapı zarf içinde normal ağırlıklı beton ile karşılaştırıldığında hafif beton düşük bir k -değerine bağlı olarak, ısı transfer ve enerji tüketim miktarını azaltmak için bir değerli bir yöntem olduğu ortaya konmuştur.

Zhang ve arkadaşları [73], Kaba agregası, çimento harcı ve betonun ısı iletkenliği, korumalı bir sıcak plaka tertibatı ve / veya geçici bir düzlem kaynağı ile ölçülmüştür. Kum oranının, agregası tipinin ve hacim kesiminin, su - çimento oranının, doygunluk derecesinin ve yük seviyesinin betonun ısı iletkenliğine etkisi incelemiştir. Kompozit malzemelerin ısı iletkenliği için teorik model kullanılarak, çimento harcı ve kaba agregası arasındaki arayüzey ısı direnci ayrıca incelenmiştir. Sonuçlar, betonun ısı iletkenliğinin artan doygunluk derecesi, hacim oranı ve toplam ısı iletkenliği ile arttığını, artan su-çimento oranı ve yük seviyesi ile azaldığını göstermektedir. Arayüzey ısı direnci katsayısı, doyma derecesi arttıkça azalır; dolayısıyla, Betonun ısı iletkenliğini hesaplarırken arayüzey termal direnci dikkate alınmalıdır. Son olarak, Maxwell'in modeline dayanarak kuru ve doymamış durumlarda hasar görmemiş betonun termal iletkenliği için mesoscale modelleri kuruldu. Ek olarak, hasarlı betonun ısı iletkenliği için bir mesoscale modeli önerildi; bu model hasarlı betonun izotropik olduğu ve hasarlı fazın bir yalıtkan olarak kullanıldığı varsayımına dayanmaktadır. Mesoscale modelleri, betonun farklı durumlar altında etkili termal iletkenliğini tahmin etmek için kullanılabilir ve öngörülen değerlerin hepsi deneysel değerlerle kabul edilebilir bir uyum içindedir.

Maxwell'in modeline göre hasar görmemiş betonun kuru ve doymamış durumlarda ısı iletkenliği için mesoscale modelleri kurulmuştur. Ek olarak, hasarlı betonun ısı iletkenliği için bir mesoscale modeli önerildi; bu model hasarlı betonun izotropik olduğu ve hasarlı fazın bir yalıtkan olarak kullanıldığı varsayımına dayanmaktadır. Mesoscale modelleri, betonun farklı durumlar altında etkili termal iletkenliğini tahmin etmek için kullanılabilir ve öngörülen değerlerin hepsi deneysel

değerlerle kabul edilebilir bir uyum içindedir. Maxwell'in modeline göre hasar görmemiş betonun kuru ve doymamış durumlarda ısı iletkenliği için mesoscale modelleri kurulmuştur. Ek olarak, hasarlı betonun ısı iletkenliği için bir mesoscale modeli önerildi; bu model hasarlı betonun izotropik olduğu ve hasarlı fazın bir yalıtkan olarak kullanıldığı varsayımına dayanmaktadır. Mesoscale modelleri, betonun farklı durumlar altında etkili termal iletkenliğini tahmin etmek için kullanılabilir ve öngörülen değerlerin hepsi deneysel değerlerle kabul edilebilir bir uyum içinde olduğu ortaya konmuştur.

Wang ve arkadaşları [74], Yüksek sıcaklık ve mikro çevre bağıl nemin uçucu kül betonunun termal iletkenliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Örneklerde sırasıyla farklı yüksek sıcaklık ve mikro-ortam bağıl nemini elde etmek için yüksek sıcaklıkta enerji tasarrufu sağlayan bir elektrik direnç fırını ve yapay bir iklim odası kullanıldı ve örneklerin ısı iletkenliği, termofiziksel özellikler analizörü ile test edildi. Sonuçlar, yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra, normal betonun basınç dayanımı ve ısı iletkenliğinin, uçucu kül betonu belirgin şekilde azaldı.

Ve görülen örneklerde 550° C'ye tabi tutulduğunda, basınç dayanımı yaklaşık %26 azaldı. Mikro çevre bağıl neminde bir artışla birlikte hem normal beton hem de uçucu kül betonunun ısı iletkenliği artırılmış ve bağıl nem %100'e ulaştığında, ısı iletkenlik yaklaşık %22 artmıştır. Aynı koşullar altında, uçucu kül betonunun %30'luk uçucu kül değişimi ile ısı iletkenliği, normal betondakinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Taşdemir ve arkadaşları [75], Farklı üretilen hafif betonların özelliklerini karşılaştırmaktır. Deney programında, yaklaşık 300-1800 arası geniş bir birim ağırlığa sahip hafif betonlar hazırlanmıştır. Ponza ve genişleşmiş polistiren tanecikler içeren betonların bazı özellikleri elde edilmiştir. Betonların özellikleri genişletilmiş ile perlit ve otoklavlanmış gaz beton kg / 3önceki çalışmalarda belirlenen karşılaştırma ve tartışmalara da dahil edilmiştir. Test sonuçları, hafif agrega miktarına ve türüne bağlı olarak betonun birim ağırlığının azaltılabileceğini ve çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklere sahip betonların elde edilebileceğini göstermiştir.

Hafif agregalar kullanılarak ısı iletkenliği azaltılmış ve düşünülen tüm hafif betonlar için, ısı iletkenliği ile betonun birim ağırlığı arasında iyi bir ilişki elde edilmiştir. Basınç dayanımı ve elastikiyet modülündeki azalma Beton birim ağırlıkları azalarak beton elde edilmiştir. Dayanıklılıktaki azalma, genleşmiş polistiren tanecikler içeren beton için daha fazlaydı. Sonuçlar, esneklik modülü ile betonun birim ağırlığı arasında güçlü ilişkiler olduğunu gösterdi. Sonuç olarak, elastikiyet modülü ile betonun birim ağırlığı arasında güçlü ilişkiler olduğunu göstermiştir.

Guruprasad ve Ramaswamy [76], Beton ve tamir malzemesinin ısı yalıtımı-jeopolimer harç ve simwool seramik elyaf örtü kullanılarak beton silindirlerin etrafına sarılmış CFRP'nin etkinliğine bakmaktadır. Isı yalıtımı, CFRP'nin yüksek sıcaklığa (400°C --- 715°C) maruz kalması durumunda delaminasyonunu önlemeye meyillidir. Elde edilen sonuçlardan, betona ve CFRP sarılı silindirlerin yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında jeopolimer ve elyaf örtü kullanılarak yapılan yalıtım nedeniyle geliştirilmiş bir yük deformasyonel tepkisi olduğu gözlenmektedir. Jeopolimer ve cermik elyaf battaniyenin farklı yalıtım kalınlıkları için deney sonuçlarını doğrulamak ve yalıtımın etkinliğini incelemek için FE analizi kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Agelariou ve arkadaşları [77], Astar malzemesinin deneysel olarak belirlenmiş yanma özelliklerine dayanan cam elyafı takviyeli plastik (FRP) astarlı betonarme (RC) bacalar için yangın süresi ve baca gazı sıcaklıklarının hesaplanması için basit bir yöntem sunulmaktadır. Yangın sürelerini ve geçici ısı transfer koşullarını hesaplamak için yöntemin uygulanması, tek ve dört astarlı bacalar için gösterilmiştir. 100 m'den 300 m yüksekliğe ve 7 m'den 40'a kadar değişen baca tasarımları ve geometrileri için parametrik bir çalışma yapılmıştır. Çapı 1-4 astar ve değişen açılış konfigürasyonları ile. Sonuçlar, RC bacasının yangından sonraki kalıntı gücünde en aşırı azalmaya maruz kaldığı sınırlı sayıda durumu tanımlamak için kullanılır. Yangından sonra baca artık kuvveti analitik tahminleri baca kuvveti hesaplamaları için Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) 307 Standardında belirtilen prosedüre dayalı bir yöntem kullanılarak elde edilir. Bu yazıda ayrıntılı olarak verilen pratik tasarım sınırları içinde FRP astar geometrileri ile bir dizi kritik RC

baca konfigürasyonu için yapılan hesaplamalar, bacaların yangın sonrası yapısal kapasitesinin özellikle bacaların beklenmemesi nedeniyle felaket hatalarına neden olmayacağını göstermektedir.

Tüm bu literatür araştırmalarına karşın yaptığımız deneylerde FRP donatılı beton numuneleri çeşitli sınıf ve paspayına sahip olarak üretip ve yangın etkisi için yüksek sıcaklığa maruz bırakılmaktadır. Tg geçiş sıcaklığı baz alınarak optimum paspayı optimum beton sınıfı ve kritik zaman tablo ve grafikler üzerinden bulunması öngörülmektedir.



BÖLÜM 4. METERYAL VE METOT

FRP donatı ile betonun ortak kullanımında sıcaklığın etkilerinin saptanması amacı ile belirlenmiş bir deney yöntemi kullanılarak sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler tanıtılmış, deney düzenekleri, ekipmanlar ve test yöntemleri açıklanmıştır.

4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Beton karışım malzemeleri

Bu çalışma kapsamında üretilen farklı dayanım sınıflarındaki betonlar için kullanılan çimento TS EN 197-1 [104], standardına uygun olarak üretilmiş, Nuh Çimento Sanayi A.Ş. firmasının ürettiği CEM I 42.5 R çimentosudur. Bu çimentoya ait kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Tablo 4.1.'de verilmiştir. Beton numunelerin üretiminde içilebilir nitelikte olan Adapazarı Büyük Şehir Belediyesi şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Ayrıca beton üretiminde çimento ve su ile birlikte yeterli işlenebilirliği elde etmek amacı ile yüksek dayanımlı betonlarda düşük su çimento oranından dolayı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bunun yanında laboratuvarımızda mevcut olan kum, I nolu ve II nolu mıcır kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Deneyde kullanılan agregalar

Tablo 4.1. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri [78]

Fiziksel Özellikler			
	Çimento	Standard	Birim
Priz Başlangıcı	170	min. 60	dakika
Priz Sonu	206	-	dakika
Özgül Ağırlık	3,15	-	g/cm ³
Hacim Genleşmesi	1,1	max. 10	cm
Özgül Yüzey (Blaine)	3562	-	cm ² /g
Litre Ağırlığı	1018	-	g/l
2 Günlük Basınç Dayanımı	26,9	min. 20	MPa
28 Günlük Basınç Dayanım	59.5	min./max. 42.5/62.5	MPa

Kimyasal Özellikler			
	Çimento	Standard	Birim
SO ₃	2,73	max. 4	%
MgO	1,14	-	%
Kızdırma Kaybı	2,64	max. 5	%
Çözünmeyen Kalıntı	0.57	max. 5	%
Cr	0.01>	max. 0.1	%
Toplam Alkali Na ₂ O + 0.658 K ₂ O	0.69	-	%
Serbest Kireç	1,14	-	%

Tablo 4.2. C20/1m³ beton karışım miktarlar

Malzeme	Miktar -Kg	Oran
Su	192	S/Ç =0.60
Çimento	320	
Mıcır 1	521,95	%28
Mıcır 2	466,12	%25
Kum	844,3	%47
Toplam	2344,4	

Tablo 4.3. C30/1m³ beton karışım miktarlar

Malzeme	Miktar -Kg	Oran
Su	190	S/Ç =0.50
Çimento	380	
Mıcır 1	510	%28
Mıcır 2	455,4	%25
Kum	825	%47
Toplam	2360,4	

Tablo 4.4. C40/1m³ beton karışım miktarlar

Malzeme	Miktar -Kg	Oran
Su	172	S/Ç =0.40
Çimento	430	
Mıcır 1	511,6	%28
Mıcır 2	456,8	%25
Kum	827,6	%47
Akışkanlaştırıcı	2,15	%0,5
Toplam	2400	

4.1.2. GFRP donatılar

Deneylerde GFRP donatılar kullanılmıştır. Bunlar 10 mm çapında ve üçer adet olmak üzere 13,17,21 cm uzunluklarındadır. Ağırlığına oranla yüksek dayanım, su ve atmosferik etkilere dayanıklılık, mükemmel elektriksel yalıtkanlık, anti mikrobik, burulma ve sıkıştırma gibi zorlanmalarda şekillerini ve boyutlarını koruyabilme gibi özelliklere sahiptirler. Kullanılan GFRP çubuklar hakkında bir görsel Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. 10 mm çapında FRP bar [79]

Kullanılan FRP malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikler oldukça önemlidir. Bir diğer önemli husus ise camsı geçiş sıcaklığıdır. Deneylerimizde de oldukça kullandığımız bu camsı geçiş sıcaklığı büyük önem arz etmektedir. Bizim kullandığımız GFRP donatının camsı geçiş sıcaklığı ise 115 santigrad derecedir.

Reçine Geçiş Sıcaklığı- Tg Cam geçiş sıcaklığı olarak bilinen bir camsı haldeyken”ve yumuşamaya başlar. Tg = 230 ° F (110-115 ° C)

Tablo 4.3. GFRP donatı mekanik özellikler [80]

Nominal Çap			Nominal Alan		f * fu Garanteed Gerilme direnci		Nihai çekme yükü		Ef Çekme Esneklik Modülü		Nihai Gerginlik
Size	mm	in	mm ²	in ²	MPa	ksi	kN	kips	GPa	Psi	%
										10 ⁶	
3	10	3/8	71.26	0.110	827	120	58.72	13.20	46	6.7	1.79%

4.1.3. Deneyde kullanılan gereçler

Deney esnasında yardımcı gereçler; termometre, k tipi termokupl, kül fırın, izole bant, elektrik kablo sabitleme amaçlı yapışkan kroşeve kronometre kullanılmıştır. Tüm gereçlerin teknik özellikleri anlatılmaktadır.



Şekil 4.3. K tipi çift giriş termometre [81]

Tası marka K tipi termometre çift girişli, Ekran Çözünürlüğü: -50°C - 199.9°C : 0.1°C
Sıcaklık ölçüm aralığı: -50°C ila 1350°C arası (-58°F ila 1999°F) Örnekleme oranı:
2.5saniye [81].



Şekil 4.4. K 01 tipi termokupl [82]

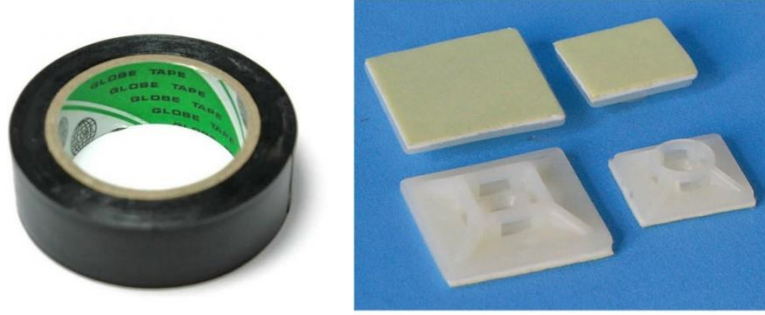
K 01 tipi kılıflı 400°C sıcaklığa dayanmaktadır. Ölçüm aralığı -50°C - 1000°C 'dir [82].



Şekil 4.5. Protherm marka kül fırın [83]

Tablo 4.4. Protherm marka fırın özellikleri

Kullanılabilir hacim	6,3 l
İç ebad (GxDxY)	210x200x150 mm
Maksimum sıcaklık	1100 °C
Maks.sıcaklığa ulaşma süresi	65 dakika
Maksimum güç	1,5 kW
Kontrol	Honeywell DC 1010 Mikroprosesör kumandalı PID
Güvenlik	Kapak açıldığında ısıtıcılara giden gücün kesilmesi fonksiyonu
Kapak hareketi	Yukarı doğru
Gövde	Cift cidarlı yapı ve yüksek kaliteli yalıtım ile ortama sıcaklığı minimum veren konstrüksiyon
Isıtıcılar	Hazne içerisinde sağ ve sol tarafa yerleştirilmiş olup kolaylıkla değiştirilebilir.
Besleme	220 VAC 50 Hz. şehir şebeke cırcıyanı
Dış Ebadlar (GxDxY)	550x580x650 mm [84]



Şekil 4.6. Siyah izole bant ve yapışkan kroşe [85-86]

Şekil 4.6.'da görülen izole bant ve kroşe; Elektrik, Isı, Ses Yalıtımında ve Split Klimalardaki boru yalıtımında kullanılır. Elektrik Kabloların İzole Edilmesi ve İşaretlenmesi İçin, Kablo Uçlarını Bağlamak İçin Kullanabilir. Alev ve yüksek ısılara dayanıklıdır [85].

4.2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada çeşitli paspayı ve çeşitli sınıflarda hazırlanacak olan beton numuneler içerisine GFRP donatı yerleştirilip beton ve GFRP donatıya bağlanacak olan termokupl ve termometre yardımı ile fırında ısıtılan numunelerin ısı ile etkileşimi incelenmesi amaçlanmıştır.

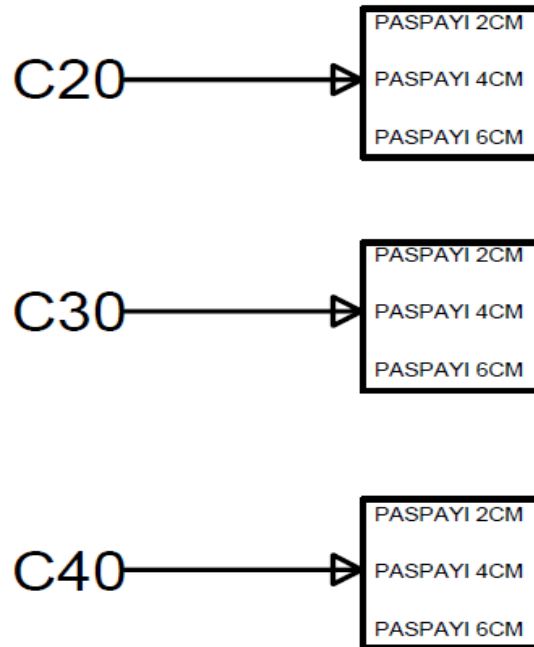
Deneysel çalışmalar başlamadan önce hazırlık olarak bir önceki bölümde anlatılan karışım oranlarında 7 ve 28 günlük beton küp numuneleri Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi hazırlanmıştır. Numuneler beklenildiği süre içerisinde ise deneyde kullanılacak numune kalıpları hazırlanmıştır. Numunelerimiz üç farklı sınıfa (C20, C30, C40) ve üç farklı paspayına (2 cm, 4 cm, 6 cm) sahiptir.



Şekil 4.7. Basınç deneyi için hazırlanan küp numuneler

Bu kombinasyonla bir beton sınıfından üç adet paspayına sahip numuneler elde edilmiştir. Paspayı açısından baktığımızda bir paspayından üç adet beton sınıfına sahip numunelerimiz elde edilmiştir.

Şekil 4.8.'de de anlatılan bu kombinasyon ile hem beton sınıfı açısından hem de paspayı açısından beton ısı ve fiberglas ısı arasındaki etkileşimin test edilebilmiştir.



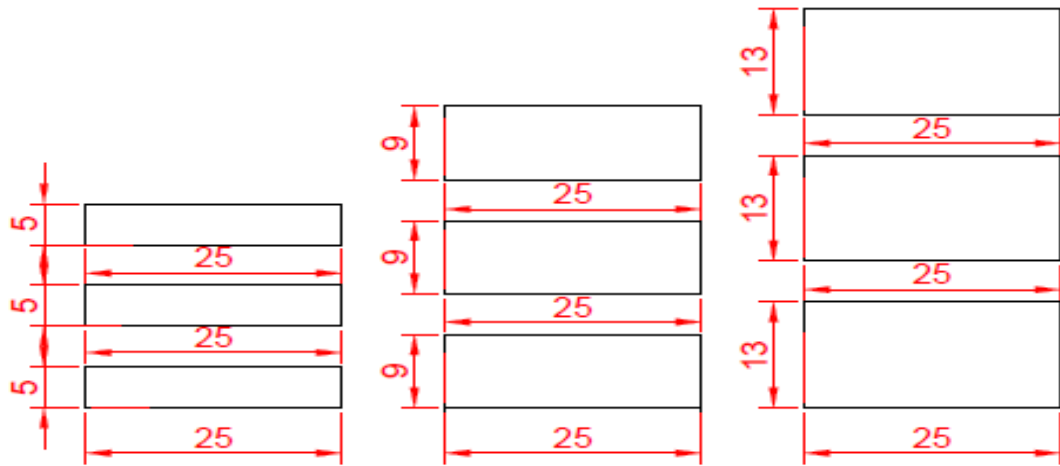
Şekil 4.8. Beton sınıfı ve paspayı gösterimi

Deneye tabi olacak numunelerimizin her birinin uzunluğu 25 cm'dir. Tüm numunelere bu uzunluk baz alınarak 2 cm, 4 cm, 6 cm paspayı verilebilmesi için genişlik ve yükseklikleri ona göre belirlenmiştir. Fiberglas donatının beton numunenin tam ortasında olacağı ve numune uzunluğu 25 cm olması gerektiği göz önünde bulundurularak ebatlar çıkarılmıştır.

Buna göre, 2 cm paspayına sahip numunelerimizin kalıpları enine 5 cm yükseklik 5 cm ve boyuna 25 cm olarak hazırlanmıştır.

4 cm paspayına sahip numunelerimizin kalıpları enine 9 cm yükseklik 9 cm ve boyuna 25 cm olarak hazırlanmıştır.

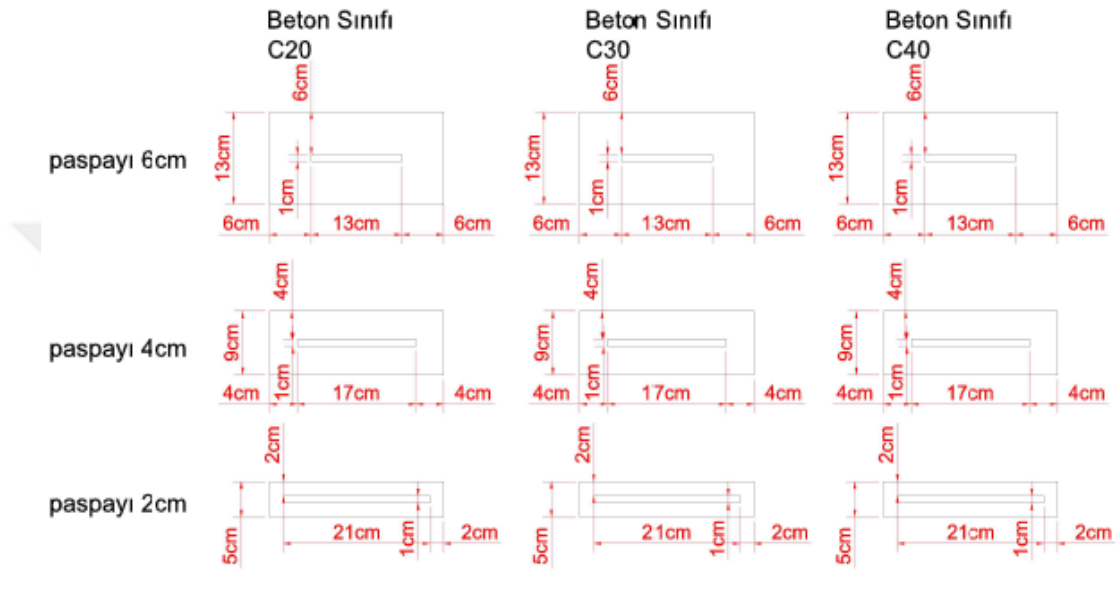
6 cm paspayına sahip numunelerimizin kalıpları enine 13 cm yükseklik 13 cm ve boyuna 25 cm olarak hazırlanmıştır. Tüm bunlar şekil 4.9.'da anlatıldığı üzere gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Numune ebatlarının gösterildiği plan çizimi

Numunelerimizde kullanılan fiberglas çapı ise 10 mm'dir. Beton içerisinde tam orta kısmına konulmuştur. Enine ve yükseklikte paspayını beton ebatlarını değiştirerek yukarıda anlatıldığı gibi sağladık. Boyuna uzunlukta istenilen paspayını sağlamak

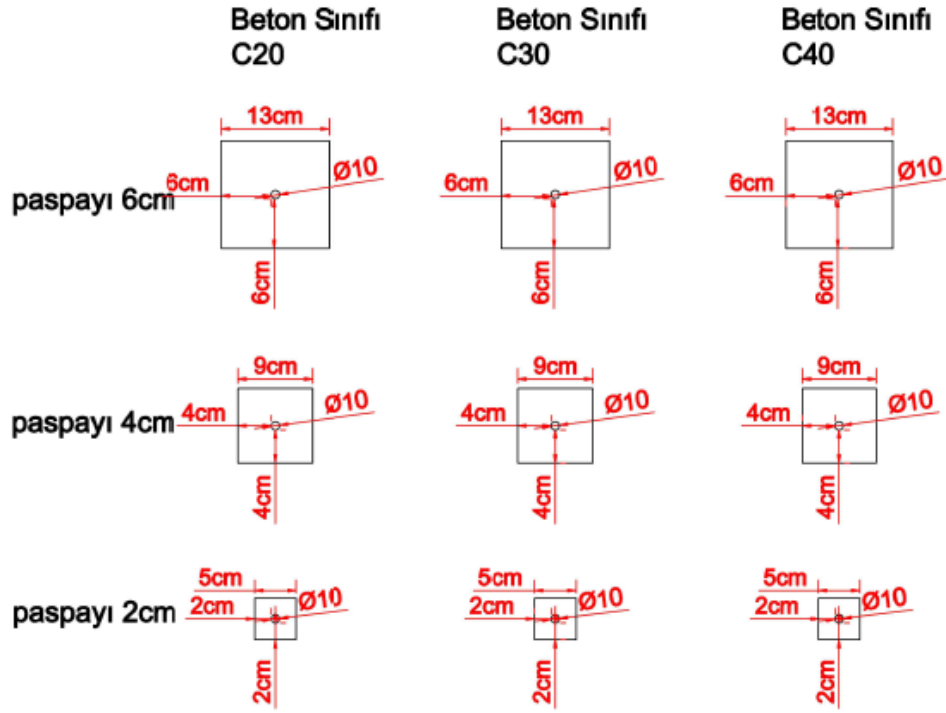
içinse fiberglas uzunluklarını değiştirerek yaptık. Buna göre 2 cm, 4 cm, 6 cm paspayını oluşturmak için 3 farklı uzunlukta 3'er adet fiberglas kesilmiştir. Böylelikle 25 cm uzunluğundaki numunelerin boyuna da istenilen paspayı korunmuştur. Şekil 4.10.'da anlatıldığı üzere gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Numunelerin yan kesit görünüşü.

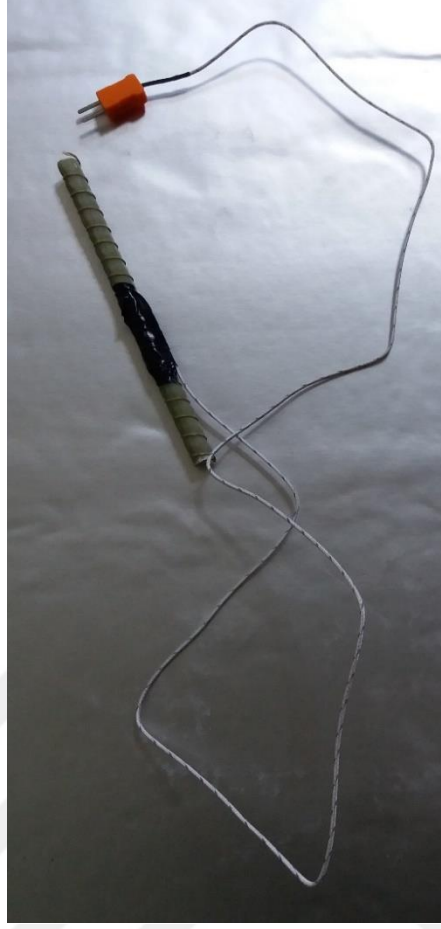
Kesit görünüşünden de anlaşılacağı gibi donatı boyları ile 25 cm uzunluğundaki numunelerimizde 2 cm paspayı için 21 cm, 4 cm paspayı için 17 cm, 6 cm paspayı için 13 cm uzunluğunda fiberglas kullanılmıştır.

Böylelikle tam orta noktada 2 cm, 4 cm, 6 cm paspayına ve C20, C30, C40 sınıflarına sahip numunelerimiz oluşturulmuştur. Şekil 4.11.'de projemizde ön kesit olarak tam olarak gösterilmiştir.

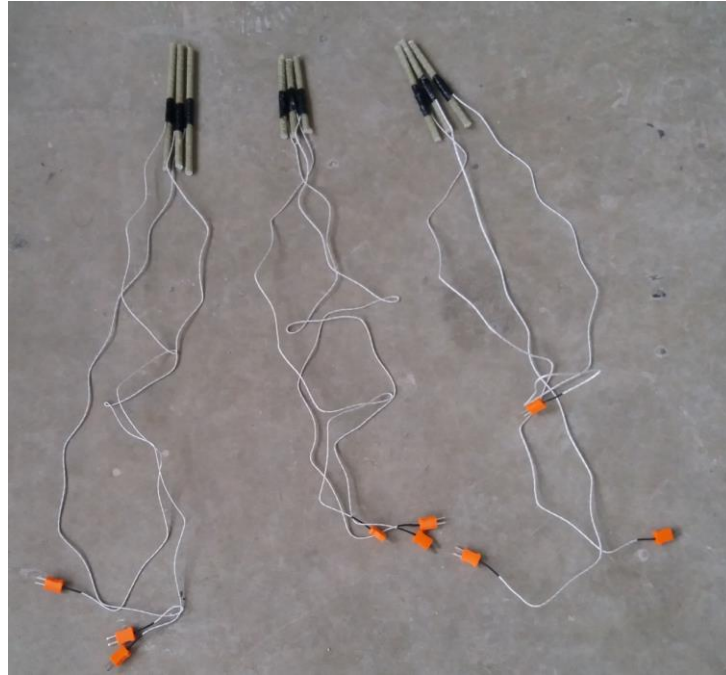


Şekil 4.11. Numunelerin ön kesit görüntüsü

Hazırlanan fiberlas donatılar beton içerisine konmadan önce izole bant yardımı ile termokupl ucu fiberlasın tam orta noktasından bağlanmıştır. Termokupl ucunun izole bant ile bağlanmasının sebebi fırına atılan numune ısıtıldığı zaman fiberlasa bağlı termokuplun betondan veya dışarıdan ısı alıp donatı harici ısıyı ölçmeyi engellemektir. Bu anlatım Şekil 4.12.-4.13.'te de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Termokupl ucunun donatıya bağlanması



Şekil 4.13. Tüm donatıların termokuplara bağlanmış görüntüsü

Beton döküm işlemi iki aşamada gerçekleşmektedir. Beton hazırlanan kalıplara dökülürken tam orta noktasına geldiği zaman fiberglas yerleştirilmektedir. Buradaki amaç istenilen paspayının minimum hata payı ile sağlanmasıdır.

Aynı zamanda donatımızın tam orta noktada olması sağlanmıştır. Şekil 4.14.'te de gösterildiği üzere donatı ucuna bağlı olan termokupl uç kısmı beton içerisinde kalırken termometre giriş kısmı ise dışarıda bırakılmıştır.



Şekil 4.14. Beton döküm aşaması

Döküm tamamlanmış kalıptan çıkarılma işlemi gerçekleştirildikten sonra 28 gün boyunca numune havuzunda beklemeye alınmıştır.

28 gün sonrası havuzdan çıkarılan numuneler deneye hazır olması amacıyla kurumaya bırakılmıştır. Şekil 4.15.-4.16.-4.17.'de gösterildiği gibi numuneler artık deneyimizin ikinci aşaması olan fırında ısıtılmak için hazır hale gelmiştir.



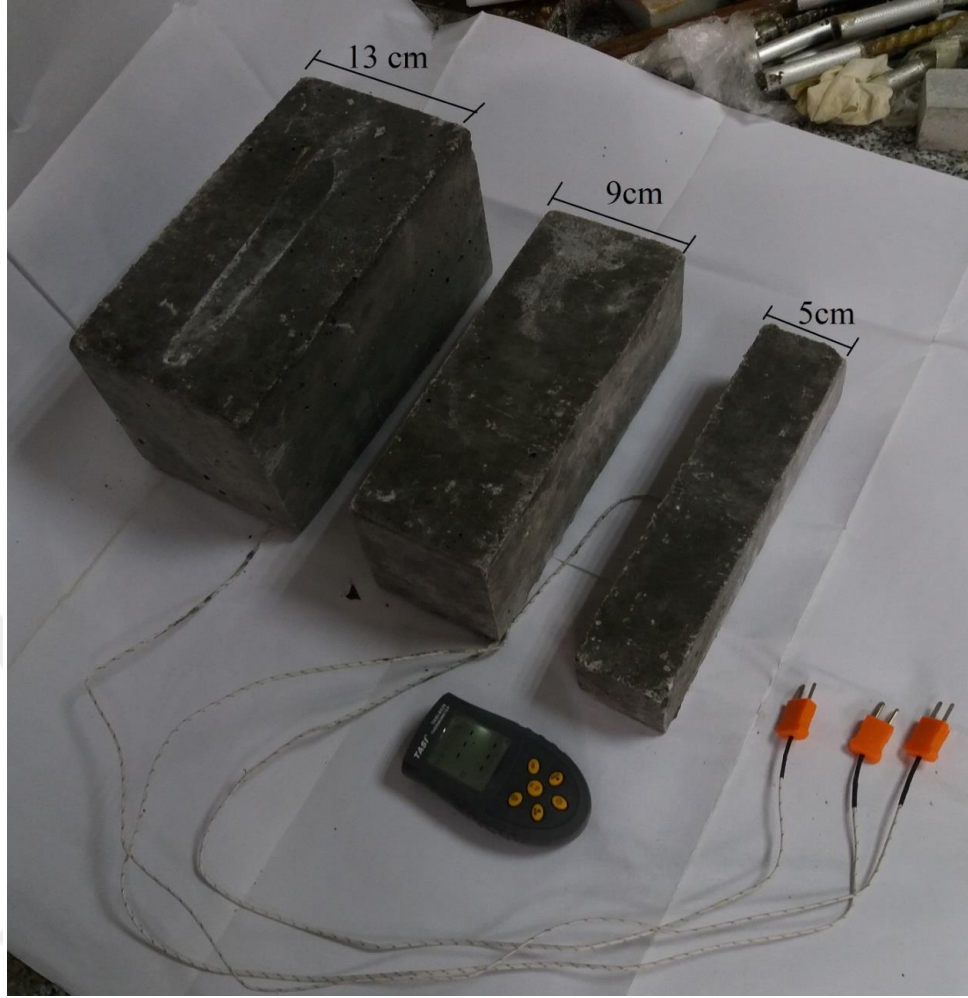
Şekil 4.15. C20 C30, C40 2 cm paspayına sahip numunelerimiz



Şekil 4.16. C20, C30, C40 4 cm paspayına sahip numunelerimiz

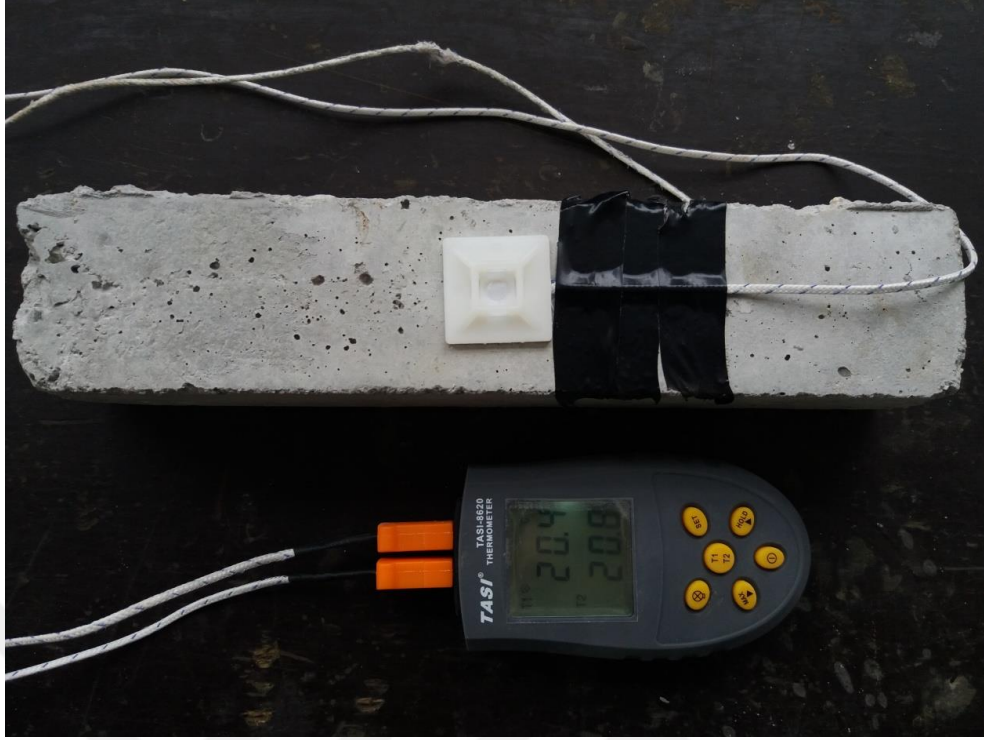


Şekil 4.17. C20, C30, C40 6 cm paspayına sahip numunelerimiz



Şekil 4.18. 2 cm, 4 cm, 6 cm paspayına sahip numunelerin biraradaki görüntüsü

Deneye hazır hale gelen numuneleri test aşamasına başlamadan önce bir adet termokupl ise deneye tabi olacak numunenin beton üzerinden tam orta noktasına yapışkanlı kroşe yardımı ile sabitlenmiştir. Yine aynı kablonun devamında daha stabil hale gelmesi adına izole bant yardımı ile yapıştırılmıştır. Artık numunemiz Şekil 4.19.'da gösterildiği gibi iki adet termokupl ile bağlı hale gelmiştir. Bir adet fiberglasa bağlı ve bir adet de beton üzerine bağlanmıştır.



Şekil 4.19. Beton üzerinden termokupl bağlanmış numunemiz

Deneye başlamadan önce fırın sıcaklık artış hızı ve iç temizliği yapılmıştır. Daha sonra ölçüm için numunemiz fırına yerleştirilip betona ve donatıya bağlı termokupllar fırın kapağından müsait bir noktadan termometreye bağlanmak üzere dışarı çıkarılmıştır. Dışarıda çift girişli termometremize beton ve fiberglas termokupları bağlanmış ve ölçüm için kronometre hazır hale getirilmiştir.

Şekil 4.20.-4.21.'de gösterildiği gibi fırın çalıştırıldığında kronometre de başlatılmış zaman sıcaklık ölçümleri bu sayede yapılmıştır.



Şekil 4.20. Ölçüm için hazırlanan düzenek



Şekil 4.21. Ölçüm için hazır halde bulunan düzenek

Tüm düzenek hazırlandıktan sonra ölçüm başlatılmış ve tüm numuneler gerekli testlerden geçirilmiştir.

BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde tüm deney sonuçları tablo grafik ve şekiller üzerinden detaylı olarak açıklanmıştır.

5.1. Basınç Deneyi Sonuçları

Numuneler teste tabi tutulmadan önce 7 ve 28 günlük basınç deneyinde kullanılacak olan beton küp numuneleri dökülmüştür. Sonuçları;

Tablo 5.1. C20 7 günlük beton basınç deneyi sonuçları

Numune	Yük (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	499000	22.1
2	480000	21.33
3	446000	19.82
Ortalama	475000	21.1

Tablo 5.2. C30 7 günlük beton basınç deneyi sonuçları

Numune	Yük (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	590600	26.24
2	619000	27.51
3	665000	29.55
Ortalama	624860	27.76

Tablo 5.3. C40 7 günlük beton basınç deneyi sonuçları

Numune	Yük (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	944000	41.95
2	979000	43.51
3	898000	39.91
Ortalama	940330	41.79

Tablo 5.4. C20 28 günlük beton basınç deneyi sonuçları

Numune	Yük (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	578250	25.7
2	558000	24.8
3	627750	27.9
Ortalama	588000	26.1

Tablo 5.5. C30 28 günlük beton basınç deneyi sonuçları

Numune	Yük (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	875250	38.9
2	877500	39
3	852750	37.9
Ortalama	868500	38.6

Tablo 5.6. C40 28 günlük beton basınç deneyi sonuçları

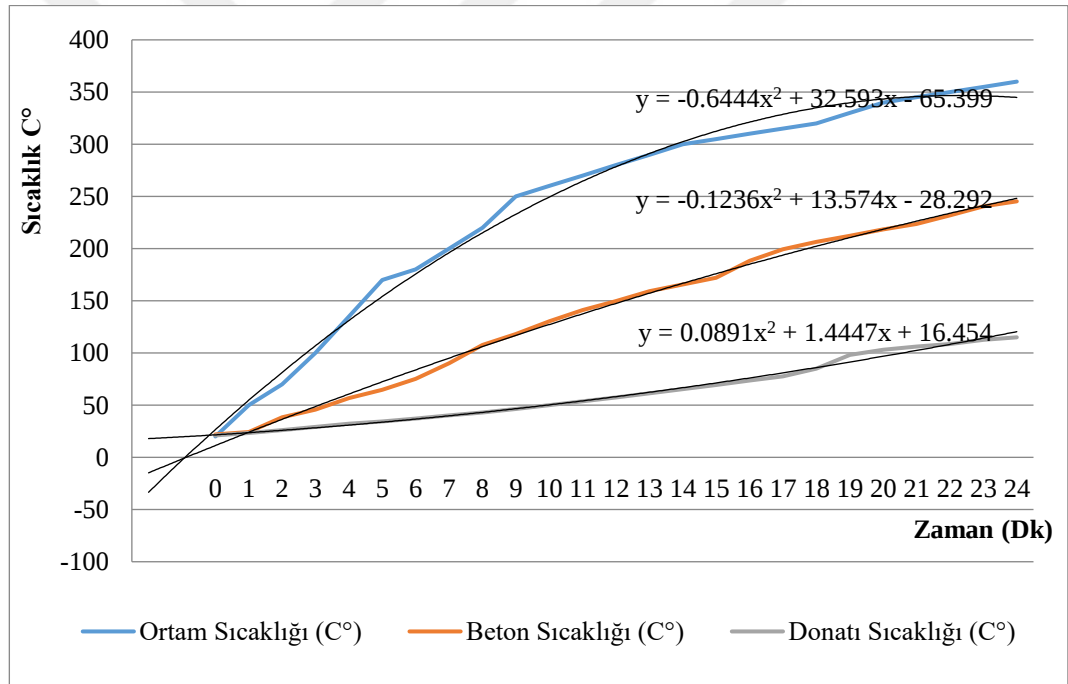
Numune	Yük (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	1127250	50.1
2	1199250	53.3
3	1183500	52.6
Ortalama	1170000	52.0

5.2. Sıcaklık Deneyi Sonuçları

Yapılan sıcaklık deneyi sonuçları C20, C30, C40 numuneleri için grafik ve tablolarla izah edilmiştir.

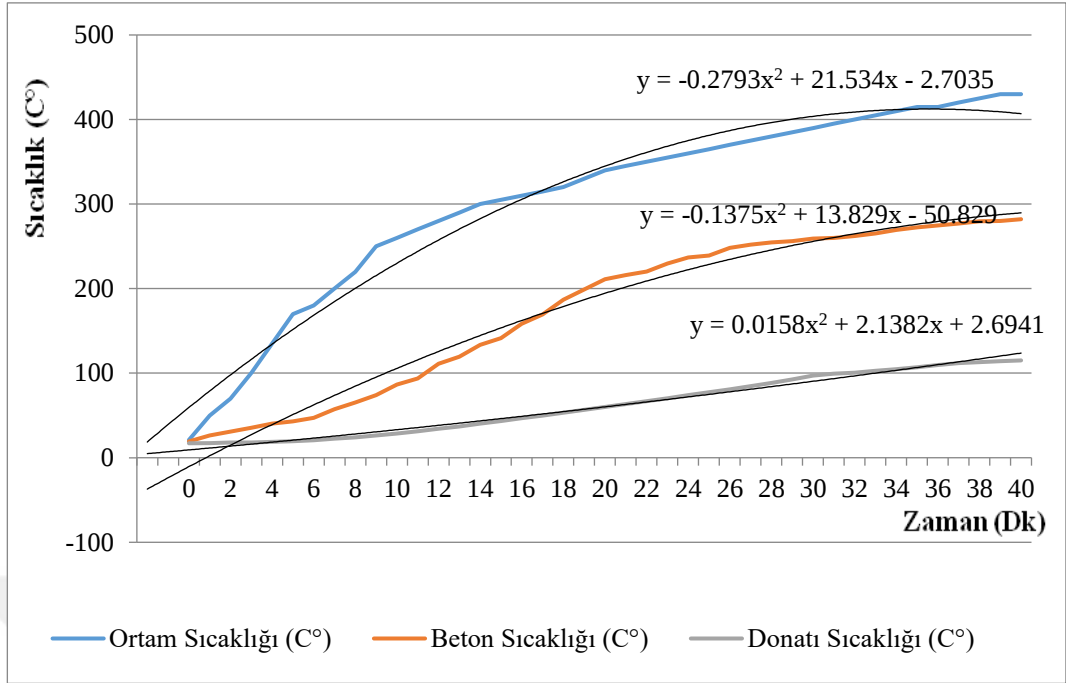
5.2.1. C20 sıcaklık deneyi sonuçları

C20 2 cm paspayına sahip numunede grafik ve tabloda da görüldüğü üzere kritik sıcaklıkta kritik zaman 24 dakika olarak bulunmuştur. Aynı zamanda ortam sıcaklığı 350 ° C'yi aşarken beton sıcaklığı ise 250° C'yi bulmuştur (Şekil 5.1.).



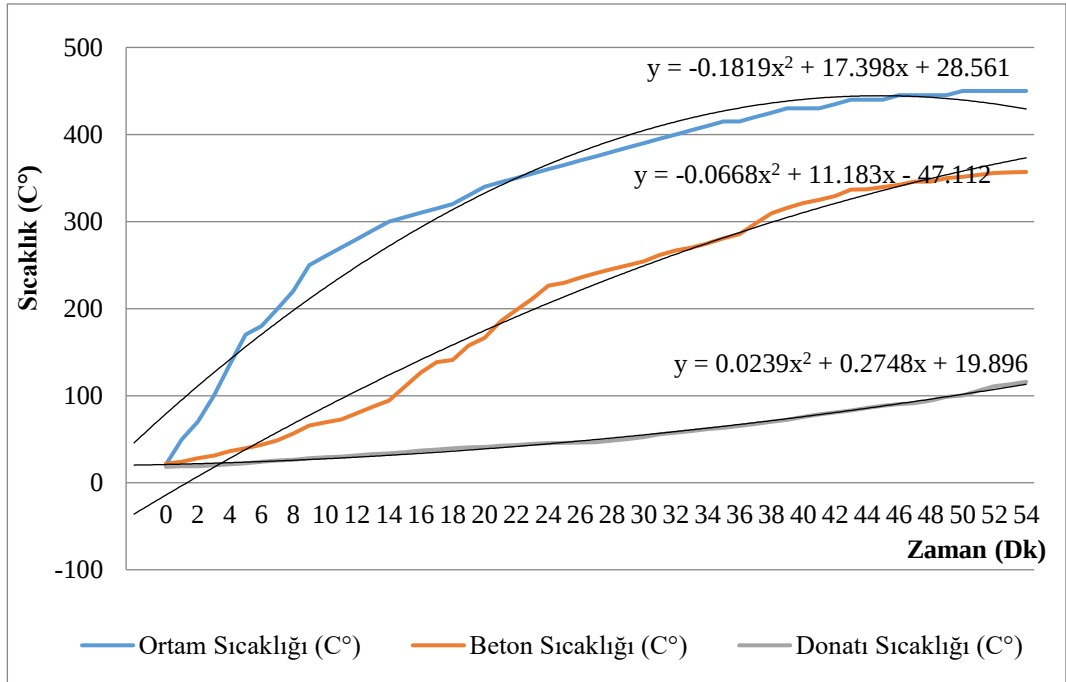
Şekil 5.1. Beton sınıfı C20 paspayı 2 cm sıcaklık-zaman grafiği

C20 4 cm paspayına sahip numunede ise kritik sıcaklıkta kritik zaman 40 dakika olarak bulunmuştur. Burada ortam sıcaklığı 450 ° C'ye yaklaşırken beton sıcaklığı 300° C'ye yaklaşmıştır (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. Beton sınıfı C20 paspayı 4 cm sıcaklık-zaman grafiği

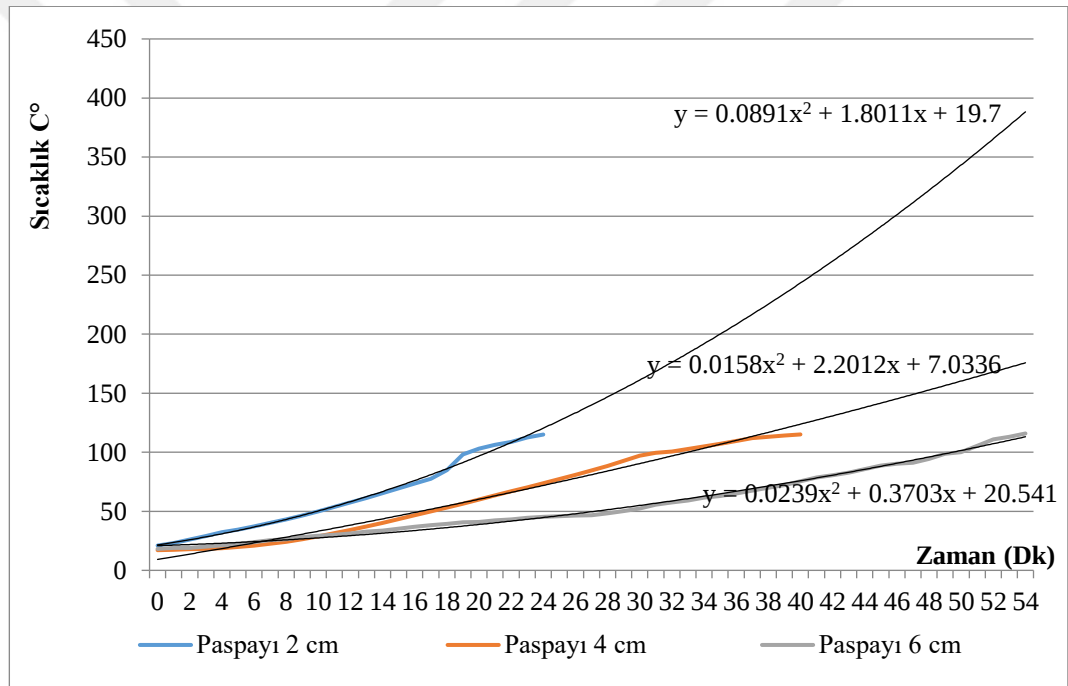
C20 6 cm paspayına sahip numunede kritik sıcaklıkta kritik zamanın 54 dakika olarak bulunmuştur. Aynı zamanda ortam sıcaklığı 450° C'ye ulaşırken beton sıcaklığı ise 350° C'ye ulaşmıştır (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Beton sınıfı C20 paspayı 6 cm sıcaklık-zaman grafiği

C20 beton sınıfında farklı paspayı grafiği;

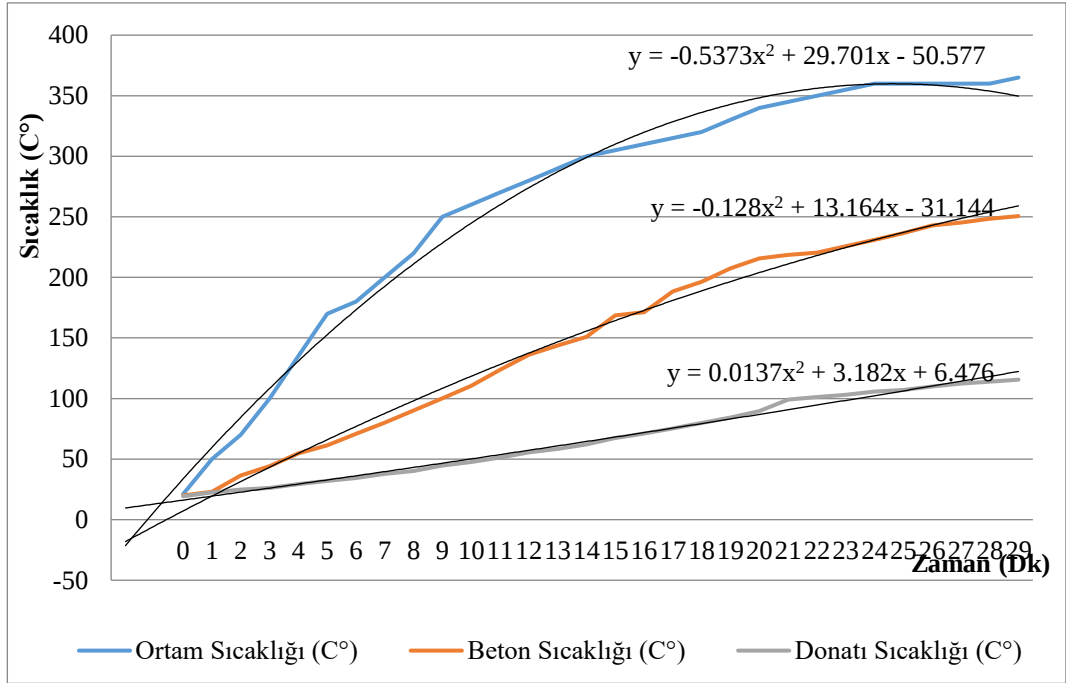
C20 beton sınıfında 2cm, 4cm, 6cm'lik paspayına sahip numunelerin GFRP donatı sıcaklıkları aynı tabloda kıyas edilmiştir. Buna göre Tg geçiş sıcaklığına geldikleri süre gözle görülür bir şekilde paspayı yüksek olan 6 cm'lik numunemizde en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Sırasıyla Tg geçiş sürelerinde kritik sıcaklıklara ise; 2 cm paspayına sahip numune 24 dakikada, 4 cm paspayına sahip numune 40 dakikada, 6 cm paspayına sahip numune 54 dakikada ulaşmıştır (Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. C20 beton sınıfında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği

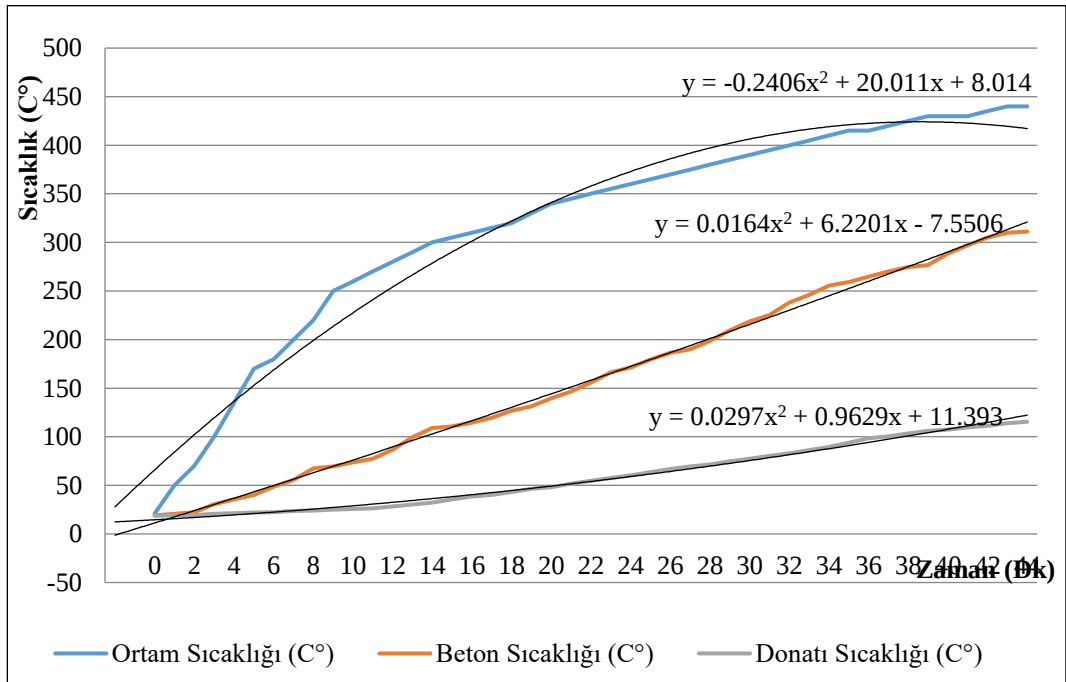
5.2.2. C30 sıcaklık deneyi sonuçları

Tablo ve grafikte de görüldüğü üzere C30 2 cm paspayına sahip numunede kritik sıcaklıkta kritik zaman 29 dakika olarak bulunmuştur. Burada ortam sıcaklığı 350° C'yi geçerken beton sıcaklığı ise 250° C'yi bulmuştur (Şekil 5.5.).



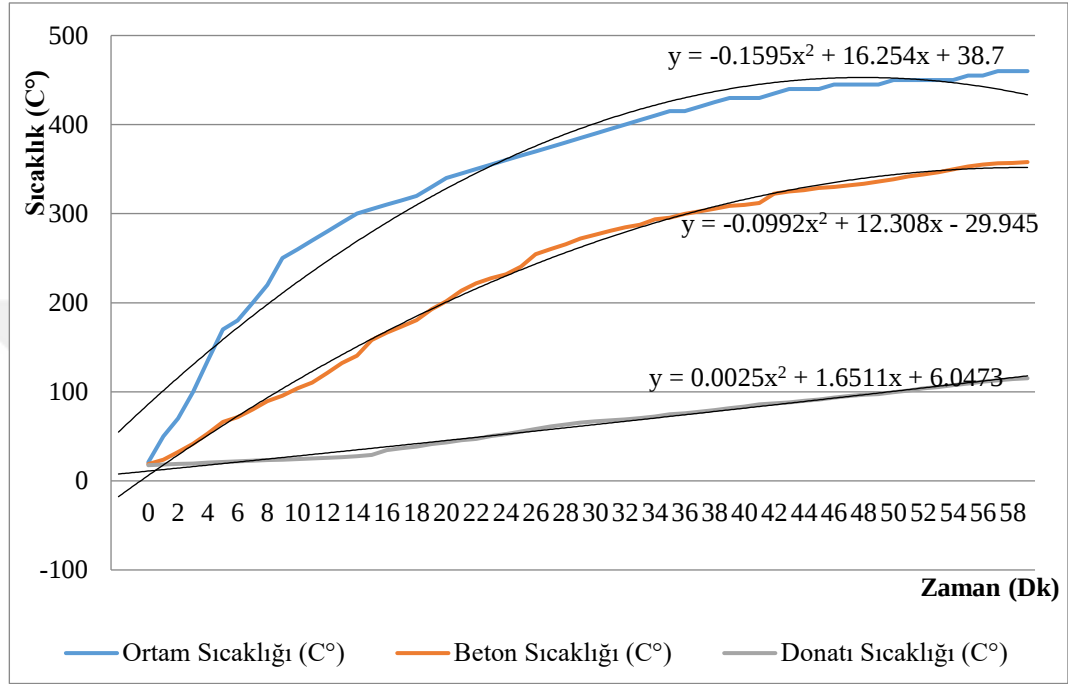
Şekil 5.5. Beton sınıfı C30 paspayı 2 cm sıcaklık-zaman grafiği

Grafik ve tabloda da görüldüğü üzere C30 4 cm paspayına sahip numunenin kritik sıcaklıkta kritik zaman 44 dakika olarak bulunmuştur. Burada ortam sıcaklığı 450 ° C'ye ulaşırken beton sıcaklığı 300° C'yi geçmiştir (Şekil 5.6.).



Şekil 5.6. Beton sınıfı C30 paspayı 4 cm sıcaklık-zaman grafiği

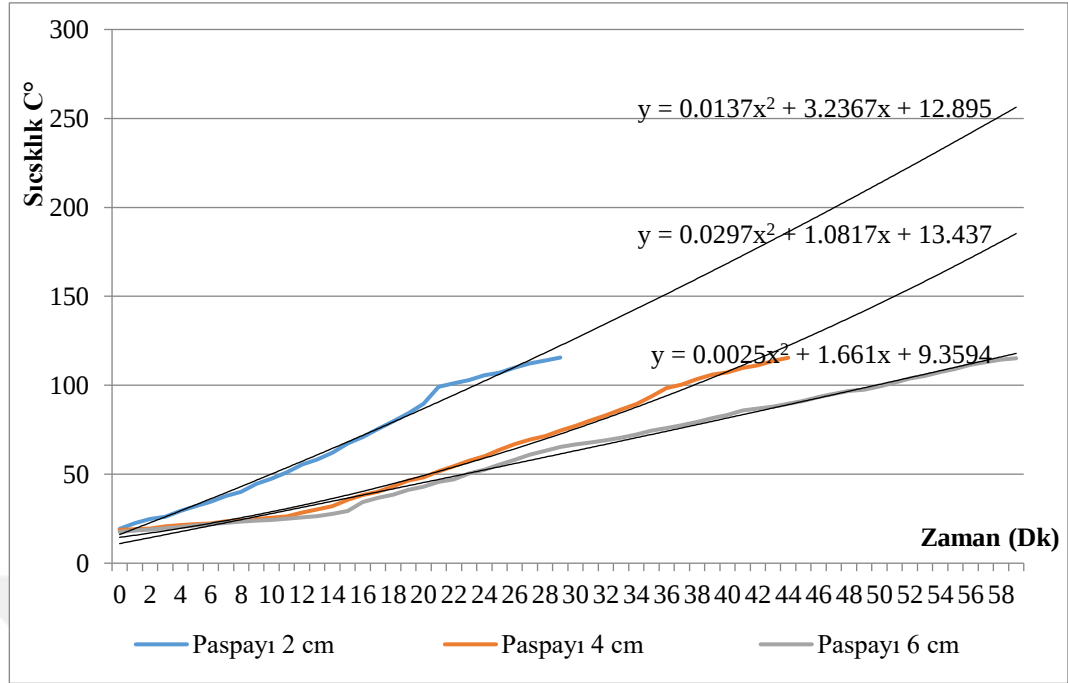
C30 6 cm paspayına sahip numunede tablo ve grafiklerde de görüldüğü üzere kritik sıcaklıkta kritik zaman 59 dakika olarak bulunmuştur. Burada ortam sıcaklığı 450° C’yi geçerken beton sıcaklığı ise 350 ° C’yi aşmıştır (Şekil 5.7.).



Şekil 5.7. Beton sınıfı C30 paspayı 6 cm sıcaklık-zaman grafiği

C30 beton sınıfında farklı paspayı grafiği;

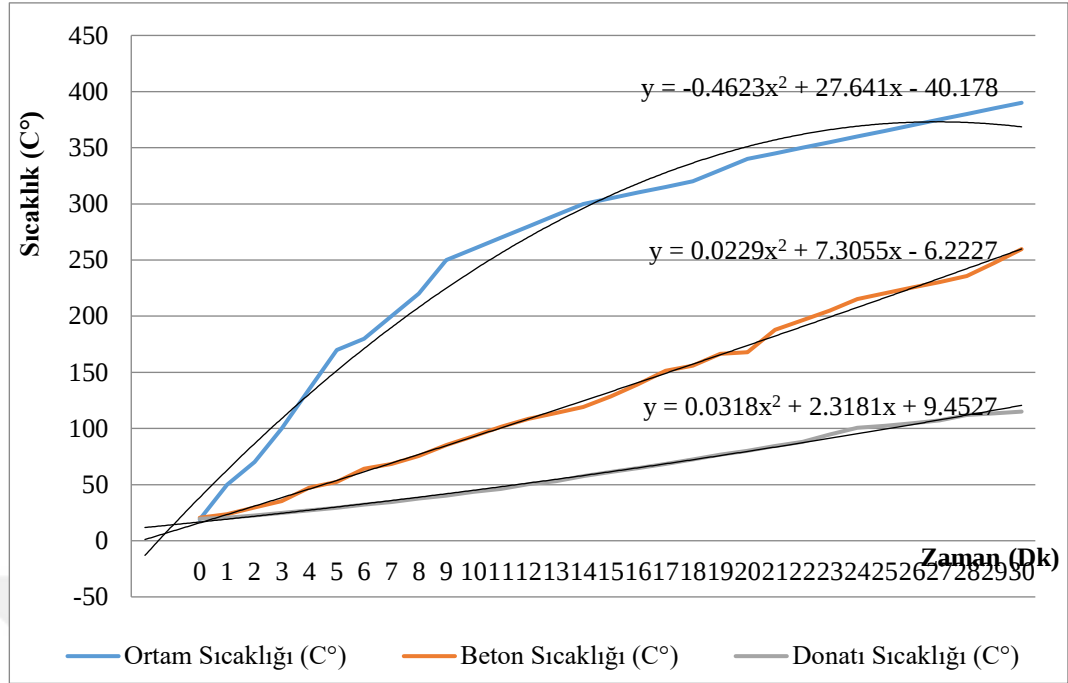
C30 beton sınıfında 2-4-6cm’lik paspayına sahip numunelerin GFRP donatı sıcaklıkları aynı tabloda kıyas edilmiştir. Buna göre Tg geçiş sıcaklığına geldikleri süre gözle görülür bir şekilde paspayı yüksek olan 6 cm’lik numunede en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Sırasıyla Tg geçiş sürelerinde kritik sıcaklıklara ise; 2 cm paspayına sahip numune 29 dakikada, 4 cm paspayına sahip numune 44 dakikada, 6 cm paspayına sahip numune 59 dakikada ulaşmıştır (Şekil 5.8.).



Şekil 5.8. C30 beton sınıfında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği

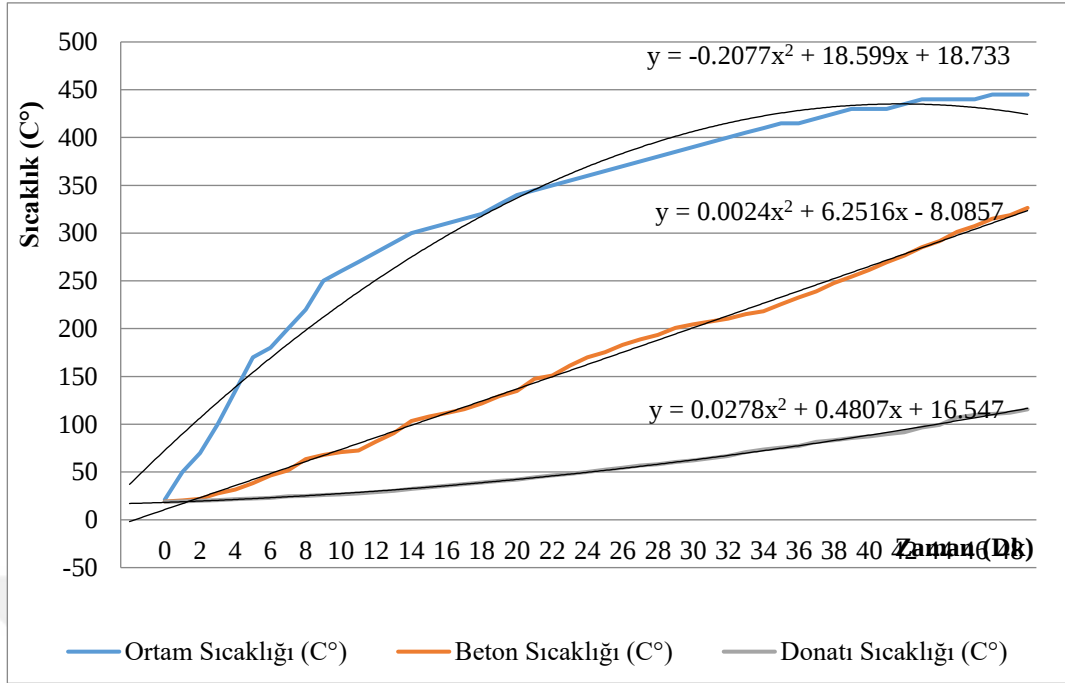
5.2.3. C40 sıcaklık deneyi sonuçları

Tablo ve grafiklerde görüldüğü üzere C40 paspayı 2 cm numunede kritik sıcaklıkta kritik zaman 30 dakika olarak bulunmuştur. Burada ortam sıcaklığı 400° C'ye yaklaşırken beton sıcaklığı 250° C 'yi geçmiştir (Şekil 5.9.).



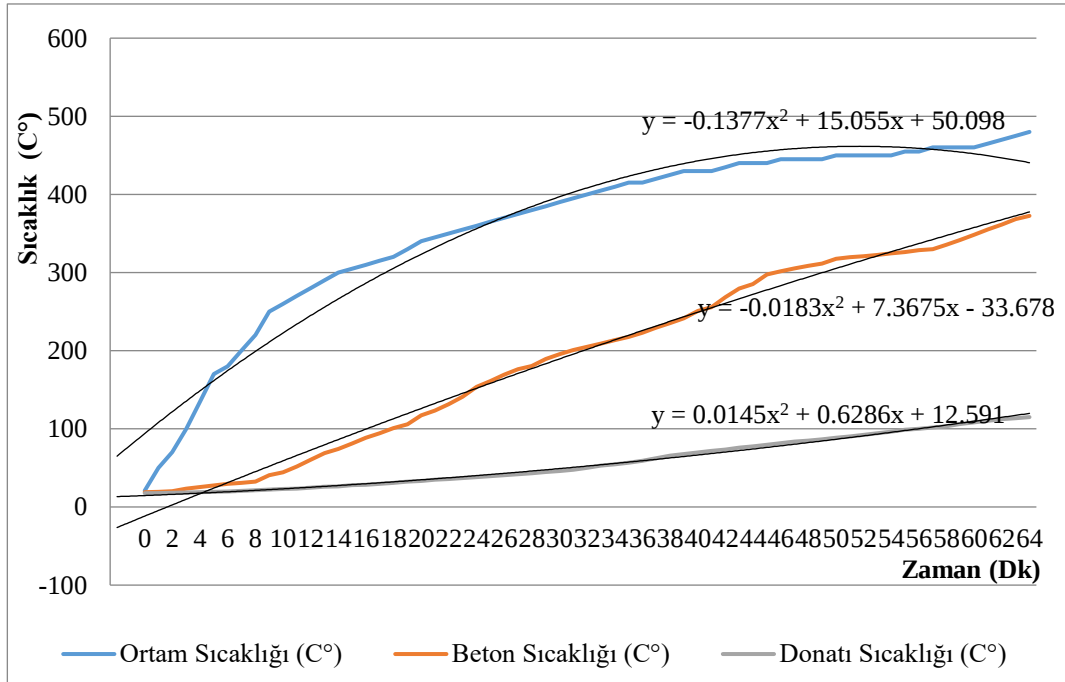
Şekil 5.9. Beton sınıfı C40 paspayı 2 cm sıcaklık-zaman grafiği

C40 paspayı 4 cm olan numunede tablo ve grafiklerden de görüldüğü üzere Kritik sıcaklıkta kritik zaman 49 dakika olarak bulunmuştur. Burada 450 ° C'ye yaklaşırken beton sıcaklığı 350 ° C'ye yaklaşmıştır (Şekil 5.10.).



Şekil 5.10. Beton sınıfı C40 paspayı 4 cm sıcaklık-zaman grafiği

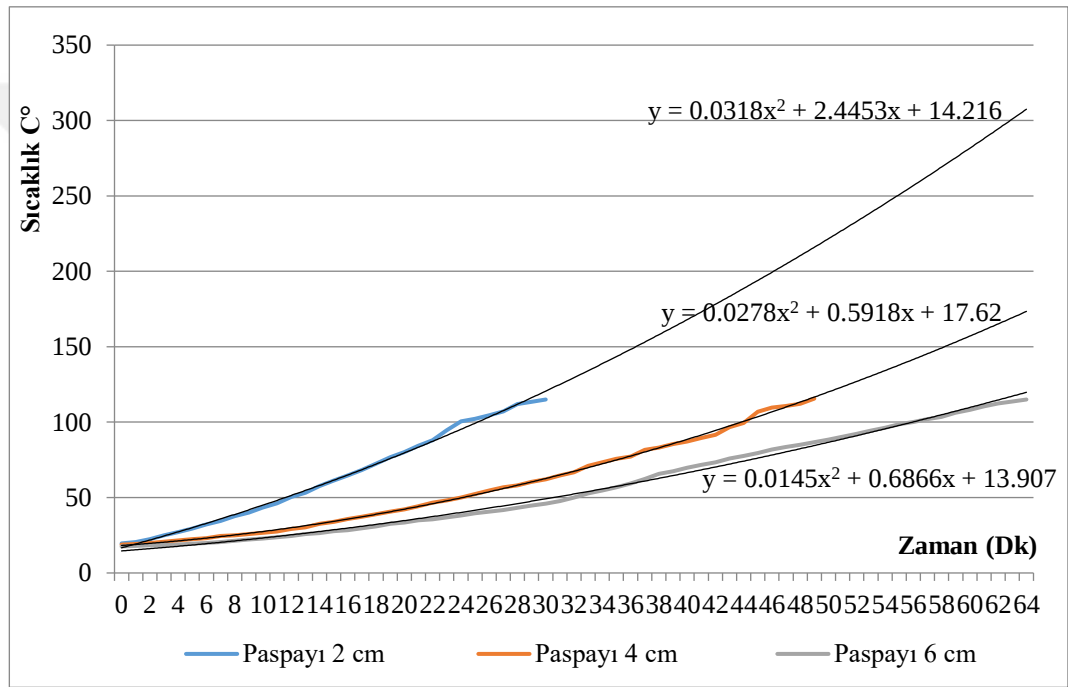
C 40 paspayı 6 cm olan numunede tablo ve grafiklerde de görüldüğü üzere kritik sıcaklıkta kritik zaman 64 dakika olarak bulunmuştur. Burada ortam sıcaklığı 500° C'ye yaklaşmışken beton sıcaklığı ise 400° C'ye yaklaşmıştır (Şekil 5.11.).



Şekil 5.11. Beton sınıfı C40 paspayı 6 cm sıcaklık-zaman grafiği

C40 beton sınıfında farklı paspayı grafiği;

C40 beton sınıfında 2-4-6cm'lik paspayına sahip numunelerin GFRP donatı sıcaklıkları aynı tabloda kıyas edilmiştir. Buna göre Tg geçiş sıcaklığına geldikleri süre gözle görülür bir şekilde paspayı yüksek olan 6 cm'lik numunede en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Sırasıyla Tg geçiş sürelerinde kritik sıcaklıklara ise; 2cm paspayına sahip numune 30 dakikada, 4cm paspayına sahip numune 49 dakikada, 6cm paspayına sahip numune 64 dakikada ulaşmıştır (Şekil 5.12.).



Şekil 5.12. C40 Beton sınıfında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği

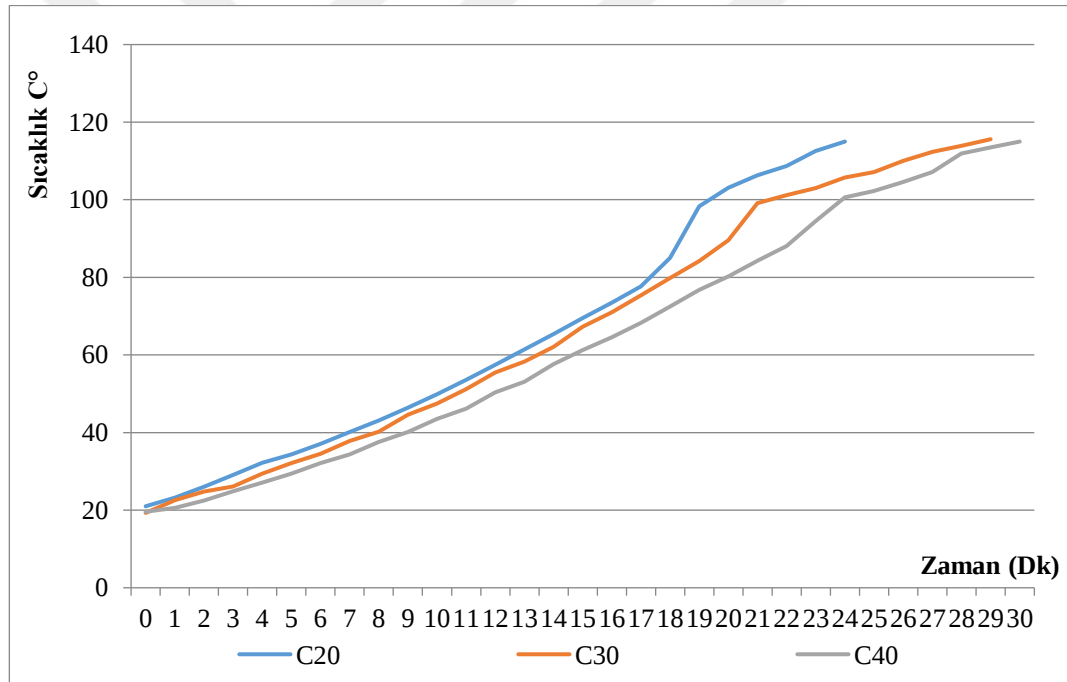
Tablo 5.7. Paspayı ve beton kombinasyonunda kritik zaman gösterimi

	Paspayı 2cm	Paspayı 4cm	Paspayı 6cm
Beton Sınıfı C20	Kritik Zaman 24 dk.	Kritik Zaman 40 dk	Kritik Zaman 54 dk
Beton Sınıfı C30	Kritik Zaman 29 dk	Kritik Zaman 44 dk	Kritik Zaman 59dk
Beton Sınıfı C40	Kritik Zaman 30 dk	Kritik Zaman 49 dk	Kritik Zaman 64 dk

5.2.4. Aynı paspayına sahip numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği

2 cm paspayına sahip numunelerin sıcaklık-zaman grafiği;

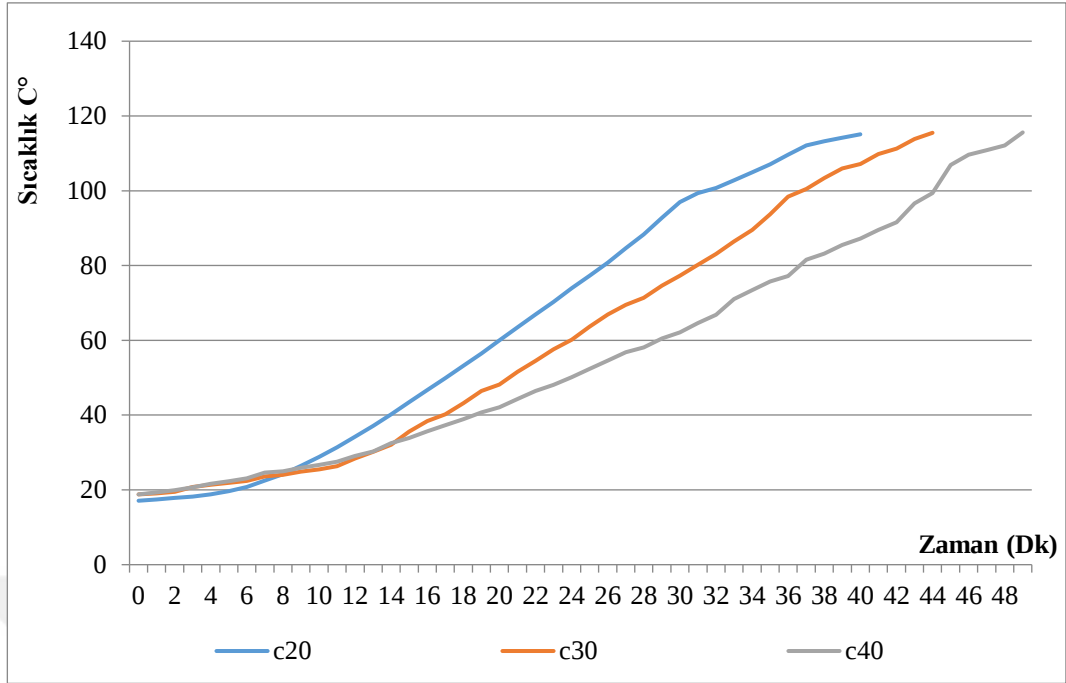
Burada görüldüğü üzere GFRP donatılar başlangıçta oda sıcaklığında ısıya maruz bırakılmıştır. Ancak numunelerin paspayı eşit olmasına rağmen farklı beton sınıfına sahip oldukları için farklı zamanlamada ısıya karşı tepki vermişlerdir. Buna göre en yüksek beton sınıfına sahip C40 beton numunemiz, Tg geçiş sıcaklığına en geç ulaşan numunemizdir. Sırasıyla tüm numunelerin Tg geçiş sıcaklığına ulaşmasındaki kritik zamanlar ise; C20 beton sınıfı 24 dakika, C30 beton sınıfı numunemiz 29 dakika, C40 beton sınıfı numunemiz 30 dakikadır (Şekil 5.13.).



Şekil 5.13. 2 cm paspayında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği

4cm paspayına sahip numunelerin sıcaklık-zaman grafiği;

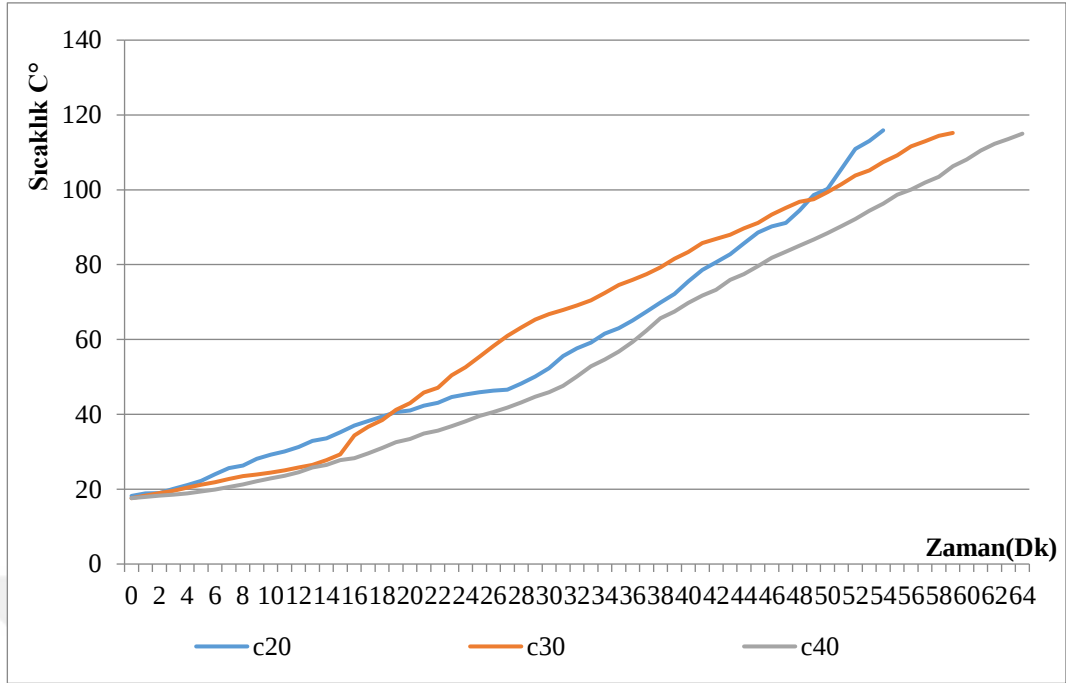
Bu grafiğe göre en yüksek beton sınıfına sahip C40 beton numunemiz, Tg geçiş sıcaklığına en geç ulaşan numunedir. Sırasıyla tüm numunelerin Tg geçiş sıcaklığına ulaşmasındaki kritik zamanlar ise; C20 beton sınıfı 40 dakika, C30 beton sınıfı numunemiz 44 dakika, C40 beton sınıfı numunemiz 49 dakikadır (Şekil 5.14.).



Şekil 5.14. 4 cm paspayınada numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği

6 cm paspayına sahip numunelerin sıcaklık-zaman grafiği;

Bu grafiğe göre en yüksek beton sınıfına sahip C40 beton numune, Tg geçiş sıcaklığına en geç ulaşan numunedir. Sırasıyla tüm numunelerin Tg geçiş sıcaklığına ulaşmasındaki kritik zamanlar ise; C20 beton sınıfı 54 dakika, C30 beton sınıfı numune 59 dakika, C40 beton sınıfı numunemiz 64 dakikadır (Şekil 5.15.).



Şekil 5.15. 6 cm paspayında numunelerin GFRP donatı sıcaklık-zaman grafiği

Tüm grafikler hem beton sınıfı açısından hem de paspayı açısından incelendiğinde, tablo okumalarında ve grafiklerde de görüldüğü üzere ısı iletimi Tg sıcaklığı baz alındığında paspayı büyük ölçüde rol oynamaktadır. Deneylerimizde kullanılan en yüksek paspayı olan 6cm 'lık paspayına sahip numuneler en iyi performansı göstermiştir. Bunu yanında beton sınıflarına baktığımızda grafiklerden de anlaşılabileceği gibi en iyi performansı deneylerimizde kullanılan en yüksek beton sınıfı olan C40 beton sınıfında görülmektedir. Yine paspayı ve beton sınıfı bir arada yorumlandığında en iyi performans 6 cm'lik C40 beton sınıfına sahip numunede görülmektedir. Ancak tüm bu iyi performans optimum kullanılabilir alanı temsil etmemektedir. Çünkü mühendislerin üzerinde durduğu nokta en iyi performansta en kullanılabilir en ekonomik noktayı yakalamaktır. Bu yüzden projelendirme aşamasında yapılan bu çalışma optimum noktayı bulma konusunda teknik elemanlara ışık tutacaktır.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm yapılan deneyler yapılış biçimi ve bulunan sonuçlar grafik ve tablolar ile detaylı bir şekilde izah edilmiştir. Bu sonuçlara göre birtakım bulgular ve öneriler ortaya koyacak olursak,

1. Deneylerimiz iki değişkenli olarak yapılmıştır. Buna göre beton sınıfı yükseldikçe ısı iletimi azalmıştır.
2. Paspayı yükseldikçe ısı iletimi azalmıştır.
3. C 20 sınıfında 2 cm paspayında kritik zaman 24 dakika, 4 cm paspayında kritik zaman 40 dakika, 6 cm paspayında kritik zaman 54 dakika olarak bulunmuştur.
4. C30 sınıfında 2 cm paspayında kritik zaman 29 dakika, 4 cm paspayında kritik zaman 44 dakika, 6 cm paspayında kritik zaman 59 dakika olarak bulunmuştur.
5. C 40 sınıfında 2 cm paspayında kritik zaman 30 dakika, 4 cm paspayında kritik zaman 49 dakika, 6 cm paspayında kritik zaman 64 dakika olarak bulunmuştur
6. Tüm bulgular göz önüne alındığında 2 cm paspayındaki bir GFRP donatılı betonlarda kritik zaman ortalama 28 dakika olduğu söylenebilmektedir.
7. 4 cm paspayına sahip GFRP donatılı betonlarda kritik zaman ortalama 44 dakika olduğu söylenebilmektedir.
8. 6 cm paspayına sahip GFRP donatılı betonlarda kritik zaman ortalama 59 dakika olduğu söylenebilmektedir.
9. FRP Tg geçişi sıcaklığında (115° C) beton sıcaklıkları 2 cm paspayında yaklaşık 250, 4 cm paspayında yaklaşık 300, 6 cm paspayında yaklaşık 350, olduğu söylenebilmektedir.
10. Aynı paspayına sahip numuneler karşılaştırıldığında en iyi performansı en yüksek paspayına sahip 6cm'lik numunemiz vermiştir.

11. Aynı beton sınıfına sahip numuneler karşılaştırıldığında en iyi performansı en yüksek beton sınıfına sahip C40 beton sınıflı numunemiz vermiştir.
12. Tüm bulgular göz önüne alındığında optimum beton sınıfı ve optimum paspayı bu deney sonuçlarından çıkarılabilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Abramovich. Stability and Vibrations of Thin Walled Composite Structures, 1-47. 2017.
- [2] Agarwal, Gupta, The use of thermosets in the building and construction industry, 279-302. 2018.
- [3] Nguyen, tran, Ren, Zhang, Mendis, Fire Performance of Maritime Composites, 115-160 2019.
- [4] Sapuan, Tamrin, Nukman, Comprehensive Materials Finishing, cilt1, 203-230 2017
- [5] Sapuan. Kompozit malzemeler, 2000.
- [6] Sapuan, Composite Metarials, Chapter3, 57-93 2017.
- [7] <https://www.projectlink.com.au/listing-expired> Erişim Tarihi: 01.03.2019.
- [8] Staab Laminar Composites (Second Edition), 1-16, 2015.
- [9] Aydın F., Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton İle Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması 2011
- [10] <http://www.polikom.com.tr/teknolojiler/donati-elemanlari-FRP-repar> Erişim Tarihi: 01.03.2019.
- [11] I. Baran, Advances in Composites Manufacturing and Process Desing 2015.
- [12] Sc. Joshi, Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites, 381-413 2012.
- [13] J. Ramôa Correia, Advanced Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications, 207-251 2013.
- [14] https://www.google.com/search?q=pultrusion+machine&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjAuu6EiaHhAhVDyKYKHW4ADWoQ_AUIDigB&biw=1366&bih=608#imgsrc=ogJleA4pBmXONM: Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [15] https://www.google.com/search?q=pultrusion+machine&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjAuu6EiaHhAhVDyKYKHW4ADWoQ_AUIDigB&biw=1366&bih=608#imgsrc=ZUS3ee7Y0PLtFM: Erişim Tarihi: 30.03.2019.

- [16] Shaw-Stewart, Sumerak. Pultrusion for Engineers, Woodhead Publishing Series in Composites and Engineering, 16-65, 2000.
- [17] Milwich, M. Örgüler ekimi. Örgü Teknolojisindeki Gelişmeler, 355–381 (2016).
- [18] Şahin, Y. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000.
- [19] Durmaz, FRP Donatılı Beton Döşemelerin Eğilme Davranışlarının İncelenmesi 2018.
- [20] <http://www.poliset.net/teknolojiler/pultruzyon> Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [21] <http://www.fiberpull.com/uretimteknolojileri.html> Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [22] Işık, Kompozit Malzemeden İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yüğü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, İstanbul 2008.
- [23] Rizkalla, S., Hassan T., and Hassan, N., Design Recommendations for the use of FRP for Reinforcement and Strengthening of Concrete Structures. Prog. Struct. Engng Concrete Construction Mater., Volume: 1, Number: 5, pp: 16–28. (2003).
- [24] Günnur Yavuz,,LİF Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı, Konya 2011.
- [25] www.kenyaengineer.co.ke/challenges-of-corrosion-on-marine-structures/ Erişim Tarihi 30.03.2019.
- [26] www.fprimec.com/structural-effects-corrosion/ Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [27] Özşahin, Mulayam, Arkoç, Betonarme Yapı Elemanlarında Lif Takviyeli Polimer Kullanımı , 9. Uluslararası Sinan Sempozyumu, Edirne 2015.
- [28] <http://www.polikom.com.tr/teknolojiler/donati-elemanlari-FRP-repar> Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [29] <http://kocakgrupyangin.com.tr/yanginin-tanimi> Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [30] Peacock,R.D., Reneke,P.A., Bukowski,R.W., Babrauskas, V., “Defining flashover for fire hazard calculations” Fire Safety Journal 32, USA, (1999)
- [31] W. K. Chow, S. S. Han, W. F. Du ‘Bridge-mixing’ of Gasified Fuel Vapors and Simultaneous Ignitions of Different Combustibles at Flashover”Journal Of Fire Sciences, Vol. 24 – January, (2006)
- [32] Budnick EK, Klein DP. “Mobile home fire studies: summary and recommendations.”Natl Bur Stand (U.S.), NBSIR 79-1720, (1979)
- [33] Troitzsch, “The globalisation of fire testing and its impact on polymers and flame retardants” Polymer Degradation and Stability Volume 88, Issue 1 April, 146-149, (2005)

- [34] Ma,Z., ve Makelainen,P. “Structural behaviour of composite slim floor frames in fire conditions” Journal of Constructional Steel Research 62, 1282–1289, (2006)
- [35] Wang,Y.,C.,”Performance of steel–concrete composite structures in fire” Prog. Struct. Engng Mater.; 7:86–102, (2005)
- [36] Hüseyin BAŞDEMİR, Füsün DEMİREL, Binalarda Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic Cilt:13 Sayı: 2 s. 101-109, 2010
- [37] beetleplastics.com/FRP-fire-resistance-fiberglass-reinforced-plastic-and-fires/ Erişim Tarihi 30.03.2019.
- [38] DEMİREL, Füsün ve ALTINDAŞ, Sedat. Çatı ve Çatı Kaplamalarının Dış Yangın Performanslarının Avrupa Birliği Direktiflerine Göre Sınıflandırılması ve Konunun Türkiye - Avrupa Genelinde İrdelenmesi. Ankara: Politeknik Dergisi, Cilt 13, 1, s. 65-70, 2010.
- [39] TSE EN 13501-5. “Yapı mamulleri ve yapı elemanları Yangın sınıflandırması - Bölüm 5: Çatıların dış yangınlara maruz bırakılması deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma.
- [40] TS EN ISO 1182. Yapı mamullerinin yangın deneylerine tepkisi - Tutuşmazlık deneyi. Ankara: s.n., 2010.
- [41] TS EN 13823+A1. Yapı ürünleri için yangına tepki deneyleri-Tek bir yakma unsuru ile ısı etkiye maruz kalan döşemeler haricindeki yapı ürünleri. 2015.
- [42] TS EN ISO 1716. (ISO 1716:2010). Yapı ürünlerinin yangına tepki deneyleri – Brüt yanma ısısının tayini (kalorifik değer)
- [43] TS EN ISO 11925-2. Yangın deneylerine reaksiyon - Aleve doğrudan maruz kalan ürünlerin tutuşabilirliği - Bölüm 2: Tek alev kaynağıyla deney. 2011.
- [44] Katz, Ammon, Berman, Neta and Bank, Lawrence C., "Effect of High Temperature on Bond Strength of FRP Rebars", Journal of Composites for Construction, Vol.3, No.2, pp. 73-81, May 1999
- [45] Blontrock, H., Taerwe, L., Matthys, S., "Properties of Fiber Reinforced Plastics at Elevated Temperatures with Regard to Fire Resistance of ReinforcedConcrete Members", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Concrete Structures, Volume 188, pp 44-54, 1999
- [46] Yang, L., Thomason, J.L., “The Thermal Behavior of Glass Fiber Investigated by Thermomechanical Analysis”,Journal of Materials Science, Vol. 48, pp 5768-5775, 2013
- [47] Mohammed Abdulqader Jalil Alsalihi, Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polymer Bars After Exposure to Elevated Temperatures, University of Wisconsin Milwaukee, December 2014.

- [48] www.thoughtco.com/thermal-properties-of-composites-820516 Erişim Tarihi: 01.03.2019.
- [49] www.build-on-prince.com/fiber-reinforced-polymers.html Erişim Tarihi: 01.03.2019.
- [50] fizikdersi.gen.tr/isi iletim hizi nedir tanim rnekler Erişim Tarihi: 01.03.2019.
- [51] <http://www.atermit.com/Sayfalar/teknik-bilgiler> Erişim Tarihi: 01.03.2019.
- [52] y tong.com.tr/blog-detay.asp?blogID=10, Erişim Tarihi: 02.04.2019.
- [53] insapedia.com/betonun-isi-genlesme-katsayisi-ve-isi-gecirgenligi/ Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [54] Alper UYSAL Yüksek Sıcaklığın Beton zerindeki Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2004.
- [55] Mohammad Houshmand Khaneghahi, Esmail Pournamazian Najafabadi, Parham Shoaee, Asghar Vatani Oskouei , Effect of intumescent paint coating on mechanical properties of FRP bars at elevated temperature Polymer Testing, Volume 71, Pages 72-86, October 2018.
- [56] Roman Reider, Isaac A. Meir Comparing the energy implications of FRP and concrete residential construction in a hot arid climate Energy and Buildings, Volume 186, Pages 98-107, 1 March 2019.
- [57] Ferhat Aydın Betona gömülü FRP ubuk davranışı üzerindeki ısıl genleşme ve beton dayanım etkilerinin deneysel olarak incelenmesi İnşaat ve Yapı Malzemeleri, Cilt 163, Sayfa 1-8, 28 şubat 2018.
- [58] Clarisse Mikami, Hwai-Chung Wu, Abulgasem Elarbi Effect of hot temperature on pull-off strength of FRP bonded concrete Construction and Building Materials, Volume 91, Pages 180-186, 30 August 2015.
- [59] Mohamed Saafi, Effect of fire on FRP reinforced concrete members Composite Structures, Volume 58, Issue 1, Pages 11-20, October 2002.
- [60] João P. Firmo, João R. Correia, Luke A. Bisby, Fire behaviour of FRP-strengthened reinforced concrete structural elements: A state-of-the-art review Composites Part B: Engineering, Volume 80, Pages 198-216, October 2015.
- [61] D. Cree, E.U. Chowdhury, M.F. Green, L.A. Bisby N. Bnichou Performance in fire of FRP-strengthened and insulated reinforced concrete columns Fire Safety Journal, Volume 54, Pages 86-95, November 2012.
- [62] B. Yu, V.KR Kodur Factors governing the fire response of concrete beams reinforced with FRP rebars Composite Structures, Volume 100, Pages 257-269, June 2013.

- [63] Hamzeh Hajiloo, Mark F. Green, Post-fire residual properties of GFRP reinforced concrete slabs: A holistic investigation *Composite Structures*, Volume 201, Pages 398-413, 1 October 2018
- [64] Denvind Lau ve Qiwen Qiu ve Ao Zhou ve Cheuk Lun Chow, Long term performance and fire safety aspect of FRP composites used in building structures *Construction and Building Materials*, Volume 126, Pages 573-585, 15 November 2016
- [65] B. Yu V.KR Kodur Fire behavior of concrete T-beams strengthened with near-surface mounted FRP reinforcement *Engineering Structures*, Volume 80, Pages 350-361, 1 December 2014
- [66] Yue Li, Xiongfei Liu, Miaohe Wu, Mechanical properties of FRP-strengthened concrete at elevated temperature *Construction and Building Materials*, Volume 134, Pages 424-432, 1 March 2017
- [67] Phi Long Nguyen, Xuan Hong Vu, Emmanuel Ferrier, Thermo-mechanical performance of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), with and without fire protection material, under combined elevated temperature and mechanical loading conditions *Composites Part B: Engineering*, In press, accepted manuscript, Available online 3 April 2019
- [68] Gefu Ji, Guoqiang Li, Xiugang Li, Su-Seng Pang, Randy Jones Experimental study of FRP tube encased concrete cylinders exposed to fire *Composite Structures*, Volume 85, Issue 2, Pages 149-154, September 2008
- [69] L.A. Bisby, V.KR Kodur, Evaluating the fire endurance of concrete slabs reinforced with FRP bars: Considerations for a holistic approach *Composites Part B: Engineering*, Volume 38, Issues 5–6, Pages 547-558, July–September 2007
- [70] Hamzeh Hajiloo Mark F. Green, John Gales Mechanical properties of GFRP reinforcing bars at high temperatures *Construction and Building Materials*, Volume 162, Pages 142-154, 20 February 2018
- [71] Ivanka Netinger, Grubeša, Berislav Markovic, Anita Gojević, Jelena Brdaric Effect of hemp fibers on fire resistance of concrete *Construction and Building Materials*, Volume 184, Pages 473-484, 30 September 2018
- [72] Iman Asadi, Payam Shafigh, Zahiruddin Fitri Bin Ebu Hassan, Norhayati Binti Mahyuddin Thermal conductivity of concrete – A review *Journal of Building Engineering*, Volume 20, Pages 81-93, November 2018
- [73] Weiping Zhang, Hongguang Minimum, Xianglin Gu, Yunping'dir Xi, Yishan Xing, Mesoscale model for thermal conductivity of concrete *Construction and Building Materials*, Volume 98, Pages 8-16, 15 November 2015

- [74] Wei Wang, Caifeng Lu, Yunxia Li, Qingtao Li An investigation on thermal conductivity of fly ash concrete after elevated temperature exposure Construction and Building Materials, Volume 148, Pages 148-154, 1 September 2017
- [75] Canan Taşdemir, Özkan Şengül, Mehmet Ali Taşdemir A comparative study on the thermal conductivities and mechanical properties of lightweight concretes Energy and Buildings, Volume 151, Pages 469-475, 15 September 2017
- [76] Y.K. Guruprasad, Ananth Ramaswamy Thermal insulation of concrete and the repair material CFRP exposed to high temperature and different time intervals Construction and Building Materials, Volume 205, Pages 549-565, 30 April 2019
- [77] Artemis Agelariidou-Twohig, Franco Tamanini, Hosam Ali, Âmin Adjari , Ashkan Vaziri, Thermal analysis of reinforced concrete chimneys with fiberglass plastic liners in uncontrolled fires, Engineering Structures 75:87–98 September 2014
- [78] www.nuhcimento.com.tr Erişim Tarihi: 20.04.2019.
- [79] www.antopgFRP.com Erişim Tarihi: 20.04.2019.
- [80] <http://www.aslanFRP.com/resources/Aslan-100-GFRP-Rebar-brochure.pdf> Erişim Tarihi: 20.04.2019.
- [81] www.banggood.com/tr Erişim Tarihi: 20.04.2019.
- [82] urun.gittigidiyor.com Erişim Tarihi: 20.04.2019.
- [83] <http://merlab.kastamonu.edu.tr/cihaz/kul-firini/> Erişim Tarihi: 20.04.2019.
- [84] http://www.sahinlerkimya.com/urun_detay.asp?urun_no=2648&grup_no=270&grupRoot= Erişim Tarihi: 20.04.2019.
- [85] www.okulstore.com Erişim Tarihi: 20.04.2019.
- [86] <http://sureyyaelektronik.com/> Erişim Tarihi: 20.04.2019.
- [87] QianminMa RongxinGuo ZhimanZhao ZhiweiLin KechengHe Construction and Building Materials Volume 93, Pages 371-383 15 September 2015
- [88] www.concreteconstruction.net Erişim Tarihi: 21.04.2019.
- [89] ASTM C 856, "Sertleşmiş Betonun Petrografik İncelenmesi İçin Standart Uygulama", ASTM, West Conshohocken, Pa., 1998.
- [90] slideplayer.biz.tr Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [91] Tebbet Suresi 3-5 Kuran-ı Kerim
- [92] <http://www.aslanFRP.com/> Erişim Tarihi: 22.04.2019.

EKLER

EK A: C20 beton sınıfına sahip numunelerin dakika dakika okumaları;

Tablo A.1. C20 2cm paspayı numune sıcaklık deneyi okumaları

Beton Sınıfı C20 Paspayı 2cm			
Geçen Zaman (DK)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Donatı Sıcaklığı (C°)
0	20	22	21
1	50	24,3	23,2
2	70	38,4	26
3	100	45,6	29,1
4	135	56,9	32,2
5	170	64,6	34,4
6	180	75,3	37,1
7	200	90,1	40,1
8	220	107,6	43,1
9	270	141	53,6
10	280	149,8	57,5
11	290	159,1	61,4
12	300	165,6	65,4
13	305	172,1	69,5
14	310	188,3	73,5
15	315	199,3	77,7
16	320	206,6	85
17	330	212,3	98,3
18	340	218,4	103,1
19	345	223,6	106,3
20	350	231,9	108,7
21	355	240,5	112,6
22	360	245,3	115

Tablo A.2. C20 4cm paspayı numune sıcaklık deneyi okumaları

Beton Sınıfı C20 Paspayı 4cm			
Geçen Zaman (DK)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Donatı Sıcaklığı (C°)
0	21	19,3	17,1
1	50	26,5	17,4
2	70	30,9	17,9
3	100	35,5	18,2
4	135	40,5	18,8
5	170	43,2	19,7
6	180	47,3	20,8
7	200	57,3	22,5
8	220	65,4	24,2
9	250	73,9	26,4
10	260	86,6	28,8
11	270	93,9	31,4
12	280	111,3	34,2
13	290	119,6	37,1
14	300	133,5	40,2
15	305	141,3	43,5
16	310	158,6	46,7
17	315	169,4	49,9
18	320	186,9	53,2
19	330	199,1	56,5
20	340	211	60
21	345	216	63,5
22	350	220,3	66,9
23	355	229,6	70,3
24	360	236,7	73,9
25	365	239,3	77,3
26	370	248,1	80,8
27	375	252,1	84,6
28	380	254,8	88,3
29	385	256,3	92,8
30	390	259,1	97,01
31	395	260	99,4
32	400	262,3	100,7

Tablo A.2. (Devamı)

33	405	265,1	102,8
34	410	269,6	104,9
35	415	272,3	107,1
36	415	274,9	109,6
37	420	277	112,1
38	425	279,5	113,2
39	430	280,2	114,2
40	430	282,1	115,1

Tablo A.3. C20 6cm paspayı numune sıcaklık deneyi okumaları

Beton Sınıfı C20 Paspayı 6cm

Geçen Zaman (DK)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Donatı Sıcaklığı (C°)
0	20,9	22	18,2
1	50	24,1	18,9
2	70	28,3	19
3	100	31,2	20,1
4	135	36,4	21,1
5	170	39,6	22,2
6	180	43,5	24
7	200	48,6	25,6
8	220	56,4	26,3
9	250	65,6	28,1
10	260	69,3	29,2
11	270	72,7	30,1
12	280	80,1	31,3
13	290	87,5	32,9
14	300	94,3	33,6
15	305	110,5	35,2
16	310	126,7	37
17	315	138,5	38,2
18	320	141,2	39,4
19	330	157,5	40,6
20	340	166,3	41
21	345	185,2	42,3
22	350	198,4	43,1
23	355	211,2	44,6
24	360	226,5	45,3
25	365	229,6	45,9
26	370	235,7	46,3

Tablo A.3. (Devamı)

27	380	245,5	48,2
28	385	250	50,1
29	390	254,2	52,3
30	395	261,7	55,6
31	400	266,8	57,6
32	405	270	59,2
33	410	274,9	61,6
34	415	280,9	63
35	415	285,6	65,1
36	420	297,6	67,5
37	425	309,4	69,9
38	430	315,6	72,2
39	430	321,1	75,5
40	430	325	78,6
41	435	329,4	80,6
42	440	336,5	82,8
43	440	337	85,7
44	440	339,7	88,6
46	445	342,1	90,2
45	445	345,8	91,2
46	445	346	94,5
47	445	349,8	98,6
48	450	351,4	100,2
49	450	353,6	105,6
50	450	355,8	110,9
51	450	356,6	113,1
52	450	357	115,9

C30 beton sınıfına sahip numunelerin dakika dakika okumaları;

Tablo A.4. C30 2cm paspayı numune sıcaklık deneyi okumaları

Beton Sınıfı C30 Paspayı 2cm			
Geçen Zaman (DK)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Donatı Sıcaklığı (C°)
0	21,1	20	19,3
1	50	22,9	22,6
2	70	36,5	24,8
3	100	44,2	26,1
4	135	54,6	29,4
5	170	61,3	32,1
6	180	70,8	34,5
7	200	80,1	37,8
8	220	90,2	40,2
9	250	100,2	44,6
10	260	110,5	47,5
11	270	123,6	51,2
12	280	136,2	55,5
13	290	143,8	58,3
14	300	150,9	62,1
15	305	168,5	67,3
16	310	171,3	71
17	315	188,5	75,4
18	320	196,4	79,8
19	330	207,6	84,2
20	340	215,6	89,6
21	345	218,7	99,1
22	350	220,5	101,2
23	355	225,8	103
24	360	231	105,7
25	360	248,5	113,9
26	365	250,6	115,6

Tablo A.5. C30 4cm paspayı numune sıcaklık deneyi okumaları

Beton Sınıfı C30 Paspayı 4cm			
Geçen Zaman (DK)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Donatı Sıcaklığı (C°)
0	21	19,1	18,8
1	50	20,6	19,1
2	70	22,3	19,5
3	100	30,5	20,8
4	135	35,7	21,4
5	170	40,2	21,9
6	180	48,6	22,4
7	200	55,6	23,6
8	220	67,5	24
9	250	69,4	24,9
10	260	73,6	25,5
11	270	77,5	26,3
12	280	86,7	28,4
13	290	99,6	30,2
14	300	108,9	32,1
15	305	110,6	35,6
16	310	114,6	38,4
17	315	119,6	40,2
18	320	126,7	43,2
19	330	131,5	46,5
20	340	139,6	48,2
21	345	146,5	51,6
22	350	155,8	54,5
23	355	166,2	57,6
24	360	171,4	60,2
28	380	198,6	71,4
29	385	209,5	74,6
30	390	218,7	77,3
31	395	225,4	80,2
32	400	238,1	83,1

Tablo A.5. (Devamı)			
33	405	246	86,4
34	410	255,6	89,5
35	415	259,3	93,7
36	415	264,8	98,4
37	420	270,1	100,5
38	425	274,8	103,4
39	430	276,6	106
40	430	288,4	107,2
41	430	297,2	109,8
42	435	305,1	111,3
43	440	309,9	113,8
44	440	311,2	115,5

Tablo A.6. C30 6cm paspayı numune sıcaklık deneyi okumaları

Beton Sınıfı C30 Paspayı 6cm			
Geçen Zaman (DK)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Donatı Sıcaklığı (C°)
0	20,9	18,9	17,6
1	50	23,8	18,3
2	70	32,4	19
3	100	41,6	19,6
4	135	53,2	20,4
5	170	66,3	21,2
6	180	71,6	21,9
7	200	80,3	22,7
8	220	89,6	23,5
9	250	95,7	23,9
10	260	103,9	24,4
11	270	110,5	25
12	280	121,2	25,8
13	290	132,3	26,5
14	300	140,7	27,8
15	305	158,3	29,3
16	310	166,5	34,4
19	330	192,5	41,2
20	340	201,6	43
21	345	213,4	45,8

Tablo A.6. (Devamı)

22	350	221,7	47,1
23	355	227,6	50,4
24	360	231,9	52,6
25	365	240,3	55,4
26	370	254,6	58,2
27	375	260,1	61
28	380	265,6	63,2
29	385	272,2	65,3
30	390	276,5	66,8
31	395	280,7	67,9
32	400	284,6	69,1
33	405	287,6	70,5
34	410	293,5	72,4
35	415	295,6	74,6
36	415	299,7	75,9
37	420	302,6	77,5
38	425	305,5	79,3
39	430	308,9	81,6
40	430	309,7	83,4
41	430	311,8	85,8
42	435	322,5	86,9
43	440	325	88
44	440	326,4	89,7
45	440	328,7	91,2
46	445	330,1	93,4
47	445	331,9	95,2
48	445	333,4	96,8
49	445	336,1	97,5
50	450	338,5	99,4
51	450	341,8	101,5
52	450	343,9	103,8
53	450	346,5	105,2
54	450	349,6	107,4
55	455	352,8	109,2
56	455	355,1	111,6
57	460	356,4	113
58	460	357	114,4
59	460	357,9	115,2

C40 beton sınıfına sahip numunelerin dakika dakika okumaları;

Tablo A.7. C40 2cm paspayı numune sıcaklık deneyi okumaları

Beton Sınıfı C40 Paspayı 2cm			
Geçen Zaman (DK)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Donatı Sıcaklığı (C°)
0	19	20,5	19,6
1	50	23,6	20,6
2	70	29,6	22,5
3	100	35,4	24,9
4	135	47,2	27,1
5	170	52,3	29,4
6	180	64,1	32,1
7	200	68,3	34,4
8	220	75,6	37,6
9	250	85,2	40,1
10	260	93,3	43,5
11	270	101,5	46,2
12	280	108,7	50,4
13	290	113,6	53,1
14	300	119	57,6
15	305	128,6	61,3
16	310	139,5	64,6
17	315	151,3	68,3
18	320	155,8	72,5
19	330	166,4	76,8
20	340	168	80,2
21	345	187,9	84,3
22	350	196,3	88,1
23	355	204,9	94,5
24	360	215,3	100,6
25	365	220,3	102,3
26	370	225,6	104,6
27	375	230,4	107,1
28	380	235,6	111,9
29	385	247,3	113,5
30	390	259,7	115

Tablo A.8. C40 4cm paspayı numune sıcaklık deneyi okumaları

Beton Sınıfı C40 Paspayı 4cm			
Geçen Zaman (DK)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Donatı Sıcaklığı (C°)
0	21	19,1	18,8
1	50	20,3	19,3
2	70	21,9	19,9
3	100	27,6	20,7
4	135	31,7	21,6
5	170	38,3	22,3
6	180	46,3	23,1
7	200	51,9	24,6
8	220	63,5	25
9	250	67,8	25,9
10	260	70,8	26,7
11	270	72,6	27,5
12	280	81,8	29,1
13	290	90,5	30,3
14	300	103,2	32,5
15	305	107,9	33,9
16	310	111,6	35,7
17	315	115,6	37,3
18	320	121,7	38,9
19	330	129,6	40,7
20	340	134,8	42,1
21	345	147,6	44,3
22	350	150,8	46,5
23	355	161,3	48,1
24	360	169,9	50,1
25	365	175,4	52,4
26	370	183,1	54,6
27	375	188,9	56,8
28	380	193,5	58,1
29	385	200,7	60,5
30	390	204,5	62,1
31	395	207,6	64,6
32	400	210,7	66,8
33	405	215,4	71
34	410	218,3	73,4
35	415	225,6	75,7
36	415	232,5	77,2
37	420	239,1	81,6
38	425	247,6	83,2
39	430	254,5	85,5
40	430	261,6	87,2

Tablo A.8. (Devamı)

41	430	269,5	89,5
42	435	276,4	91,6
43	440	285,4	96,6
44	440	291,6	99,4
45	440	301,2	106,9
46	440	307,5	109,6
47	445	315	110,8
48	445	318,7	112,1
49	445	326,4	115,6

Tablo A.9. C40 6cm paspayı numune sıcaklık deneyi okumaları

Beton Sınıfı C40 Paspayı 6cm

Geçen Zaman (DK)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Donatı Sıcaklığı (C°)
0	20,9	18,9	17,6
1	50	19,4	17,9
2	70	20,1	18,3
3	100	23,6	18,5
4	135	25,4	18,9
5	170	27,6	19,4
6	180	29,5	19,9
7	200	30,8	20,6
8	220	32,6	21,3
9	250	40,5	22,1
10	260	44,2	22,9
11	270	51,6	23,6
12	280	60,5	24,5
13	290	68,9	25,8
14	300	74,3	26,5
15	305	81,4	27,8
16	310	88,6	28,3
17	315	94,5	29,6
18	320	100,8	31
19	330	105,6	32,6
20	340	117,4	33,4
21	345	123,4	34,9
22	350	131,6	35,6
23	355	140,9	36,8
24	360	153,7	38,1

Tablo A.9. (Devamı)

25	365	161,1	39,6
26	370	169,5	40,6
27	375	176,3	41,8
28	380	180,4	43,2
29	385	189,4	44,7
30	390	195,6	45,9
31	395	200,9	47,6
32	400	204,8	50,1
33	405	209,1	52,8
34	410	213,5	54,6
35	415	217,5	56,8
36	415	223,1	59,3
37	420	229,7	62,4
38	425	235,4	65,7
39	430	241,3	67,5
40	430	250,9	69,8
41	430	255,6	71,7
42	435	268,3	73,3
43	440	279,6	75,9
44	440	285,4	77,5
45	440	297,5	79,6
46	445	301,6	81,8
47	445	305,3	83,5
48	445	308,6	85,1
49	445	311,6	86,7
50	450	317,5	88,4
51	450	319,6	90,3
52	450	320,9	92,2
53	450	322,6	94,4
54	450	324,5	96,3
55	455	326,1	98,7
56	455	328,7	100,1
57	460	330,1	101,9
58	460	335,7	103,5
59	460	341,6	106,3
60	460	348,4	108,1
61	465	355,4	110,5
62	470	361,5	112,3
63	475	368,4	113,6
64	480	372,6	115

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa AKYÜREK 23.08.1992’de Üsküdar’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2010 yılında Özel İkbal Anadolu Lisesinden mezun oldu.2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü 2014 yılında bitirdi. Mezun olmasının ardından iş hayatına atıldı. Özel sektörde saha mühendisliği ve şantiye şefliği görevlerinde çalıştı.2015 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği alanında yüksek lisans eğitime başladı. Halen Sakarya Üniversitesi yüksek lisans öğrencisidir.