

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FRP KOMPOZİTLERİN SICAKLIĞA KARŞI FARKLI YANGIN
YALITIM MALZEMELERİ İLE KORUNMASININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rabia AKPINAR SUNGUR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ferhat AYDIN

Şubat 2020

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FRP KOMPOZİTLERİN SICAKLIĞA KARŞI FARKLI YANGIN
YALITIM MALZEMELERİ İLE KORUNMASININ
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rabia AKPINAR SUNGUR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12/02/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Doç. Dr. Ferhat AYDIN	Başarılı
Üye: Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ	Başarılı
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ali SARIBIYIK	Başarılı



Aileme,

BEYAN

Tez içerisindeki 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.

Rabia AKPINAR SUNGUR

12/02/2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Ferhat AYDIN'a içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca doğrularıyla yanlışlarıyla her anımda yanımda olan, hiçbir zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyerek tüm fedakarlıkları gösteren, başarılarımdaki en büyük pay sahibi sevgili babam Murat AKPINAR'a, annem Fatma AKPINAR'a, kardeşlerim Tuğba ve Mert AKPINAR'a, tez yazım sürecimin başından sonuna kadar beni destekleyen, yanımda olan, sevgili eşim, yol arkadaşım Sefa SUNGUR'a teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	iv
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
KISALTMALAR.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix

BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
---------------------	---

BÖLÜM 2. YANGIN VE YANGIN YALITIMI.....	3
2.1. Yangın.....	3
2.2. Yangın Gelişim Evreleri.....	4
2.3. Yangının Yayılımı.....	5
2.4. Yangın Sınıfları.....	6
2.5. Yangının İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri.....	6
2.5.1. Sıcaklık etkisi.....	6
2.5.2. Duman etkisi.....	6
2.5.3. Zehirli gaz etkisi.....	8
2.6. Yangın ve İnsan Davranışları.....	8
2.7. Yapı Malzemelerinin Yangın Karşısındaki Davranışları.....	10
2.7.1. Isıya bağlı davranışlar.....	11
2.7.2. Duman etkisine bağlı davranışlar.....	11
2.8. Yapı Malzemelerine Yangının Etkileri.....	11
2.9. Yangın Yalıtımı.....	12
2.10. Yangın Güvenlik Önlemleri.....	13
2.10.1. Pasif yangın güvenlik önlemleri.....	13
2.10.1.1. Taşıyıcı sistemler.....	13
2.10.1.2. Kaçış yolları.....	14
2.10.1.3. Yangın merdivenleri.....	14
2.10.1.4. Yangın duvarları.....	15
2.10.1.5. Yangın kapıları.....	15
2.10.2. Aktif yangın güvenlik önlemleri.....	16
2.11. Yangın Yalıtımında Kullanılan Malzemeler.....	16

2.11.1. Cam yünü	17
2.11.2. Taş yünü.....	18
2.11.3. Kalsiyum silikat plakalar	19
2.11.4. Cam köpüğü	20
2.11.5. Vermikülit plakalar.....	21
2.11.6. Genleştirilmiş perlit	21
2.11.7. Alçı panolar	22
2.11.8. Seramik yünü.....	23
2.11.9. Diğer Yangın Yalıtım Malzemeleri.....	24

BÖLÜM 3. FİBER TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMELER..25

3.1. Kompozit Malzemeler	25
3.2. FRP Kompozitler.....	26
3.3. FRP Kompozit Çeşitleri.....	27
3.3.1. Karbon fiber takviyeli polimerler.....	27
3.3.2. Cam elyaf takviyeli polimerler.....	28
3.3.3. Aramid elyaf takviyeli polimerler	29
3.4. FRP Kompozitlerin Genel Özellikleri	29
3.5. Fiber Takviyeli Plastiklerin Üretimi.....	30
3.5.1. Profil çekme (pultrüzyon) metodu	30
3.6. FRP Üretiminde Kullanılan Malzemeler	32
3.6.1. Aramid türleri.....	32
3.6.2. Karbon türleri	32
3.6.3. Cam türleri	32
3.6.4. Reçineler	33
3.7. FRP Kompozitlerin Kullanım Alanları.....	33
3.8. FRP Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Etkisi Altındaki Davranışları.....	35
3.9. FRP Kompozitlerin Yangından Korunması Amacıyla Kullanılabilecek Yöntemler	37

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....39

4.1. Malzeme ve Metod.....	39
4.1.1. Deneyde kullanılan malzemeler	39
4.1.1.1. FRP kompozitler.....	39
4.1.1.2. Yangın yalıtım malzemeleri.....	40
4.1.2. Deneysel çalışmalar.....	41

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....59

KAYNAKLAR.....61

ÖZGEÇMİŞ

KISALTMALAR

FRP	: Fiber Takviyeli Polimer
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Polimer
GFRP	: Cam Fiber Takviyeli Polimer
AFRP	: Aramid Fiber Takviyeli Polimer
Dk	: Dakika

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1 : FRP Kompozitlerin Malzeme Özellikleri.....	41
Tablo 4.2 : Beyaz alçıpan ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.....	43
Tablo 4.3 : Kırmızı alçıpan ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.	46
Tablo 4.4 : Seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.	49
Tablo 4.5 : Taş yünü ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.	52
Tablo 4.6 : Alçı kaplı taş yünü ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.	55
Tablo 4.7: 15,30 ve 45.dakikada yangın yalıtım malzemeleri ile korunan FRP kompozitlerin sıcaklığının ortamın sıcaklığına oranı.....	57
Tablo 4.8: Yangın yalıtım malzemeleri ile korunan FRP kompozitlerin 125 °C'ye ulaştığı zaman.	57
Tablo 4.9 : Yangın yalıtım malzemeleri maliyeti.....	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Binada meydana gelen yangın	1
Şekil 1.2: GFRP profillerden imal edilmiş çok katlı yapı.....	2
Şekil 2.1: Yangını oluşturan bileşenler	3
Şekil 2.2: Yangın anındaki bina görseli	4
Şekil 2.3: Yangın esnasında meydana gelen duman.....	7
Şekil 2.4: Yangın kaçıışı	9
Şekil 2.5: Yangın yalıtımı	12
Şekil 2.6: Yangın merdiveni.....	14
Şekil 2.7: Yangın duvarı	15
Şekil 2.8: Yangın kapıları.....	15
Şekil 2.9: Cam yünü.....	17
Şekil 2.10: Cam yünü uygulaması.....	18
Şekil 2.11: Taş yünü	18
Şekil 2.12: Taş yünü uygulaması.....	19
Şekil 2.13: Kalsiyum silikat plakalar	20
Şekil 2.14: Cam köpüğü	20
Şekil 2.15: Vermikülit plaka	21
Şekil 2.16: Genleştirilmiş perlit.....	22
Şekil 2.17: Alçı panolar	23
Şekil 2.18: Seramik yünü	24
Şekil 3.1: FRP kompozit örnekleri	26
Şekil 3.2: Karbon fiber takviyeli polimerler	27
Şekil 3.3: Cam elyaf takviyeli polimerler	28
Şekil 3.4: Pultrüzyon yöntemi konfigürasyonu	30
Şekil 3.5: FRP profil detayı.....	31
Şekil 3.6: FRP yaya ve hafif taşıt köprüsü	34
Şekil 3.7: FRP ile betonarme ve ahşap yapı güçlendirilmesi	35
Şekil 3.8: FRP vapor iskelesi	35
Şekil 3.9: Yangın yalıtımı için kullanılan uygulamalar	38
Şekil 4.1: FRP kompozit.	39
Şekil 4.2: Yangın yalıtım malzemeleri.	40
Şekil 4.3: Çekme deneyi grafiği.	41
Şekil 4.4: Deney sonrası alçıpan ile korunmuş FRP kompozit.	44
Şekil 4.5: Fırından çıkarılmış alçıpan ile korunmuş FRP kompozit.....	44
Şekil 4.6: Beyaz alçıpan ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği.	45
Şekil 4.7: Kırmızı alçıpan ile kaplanmış FRP kompozit ve prob bağlantıları.....	47
Şekil 4.8: Deney sonrası kırmızı alçıpan ile kaplanmış FRP kompozit.....	47
Şekil 4.9: Kırmızı alçıpan ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği.	48
Şekil 4.10: Seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozit.	50

Şekil 4.11: Deney sonrası seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozit.	50
Şekil 4.12: Seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı sıcaklık değişimi.	51
Şekil 4.13: Taş yünü ile kaplanmış FRP kompozit.....	53
Şekil 4.14: Deney sonrası taş yünü ile kaplanmış FRP kompozit.....	53
Şekil 4.15: Taş yünü ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı değişim grafiği. .	54
Şekil 4.16: Alçı kaplı taş yünü ile kaplanmış FRP kompozit.....	55
Şekil 4.17: Alçı kaplı taş yünü ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği.	56



FRP KOMPOZİTLERİN SICAKLIĞA KARŞI FARKLI YANGIN YALITIM MALZEMELERİ İLE KORUNMASININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Yeni nesil yapı malzemeleri arasında yer alan fiber takviyeli polimer (FRP) kompozitlerin özgül ağırlığının düşük olması, kopma dayanımının yüksek olması, çürüme, kurtlanma, paslanma yapmaması, istenilen şekil ve boyutlarda üretilebilmesi, yüksek elektriksel yalıtkanlığa sahip olması, yüksek ısı ve su izolasyonuna sahip olması gibi üstün özelliklerine karşın, yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerinde önemli ölçüde azalmalar olduğu bilinmektedir. Bunun yanı sıra FRP kompozitler giydirme cephe, hafif yaya ve taşıt köprüleri, borular, yapıların bakımı, güçlendirilmesi ve onarımı, zemin iyileştirme, otomotiv sektörü, hibrit tasarımlar, kimyasal tesisler, deniz yapıları, kululer gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Endüstrinin hızlı gelişimi ve toplu yerleşim alanlarının giderek çoğalması ile birlikte artan enerji tüketimi yangın riskini de beraberinde getirmektedir. Yeni nesil yapı malzemeleri olarak tanımlanan FRP kompozitlerin yapıda kullanımının yaygınlaşması ile birlikte yangınların insanların güvenliğini tehdit etmesinin yanında yangında oluşan maddi ve manevi hasarların boyutları da artış göstermektedir. Yapı malzemelerini yüksek ısıdan ve alevden koruyabilen yapıya zarar vermesini önleyen birçok malzeme vardır. Bunlara örnek olarak, cam yünü, cam köpüğü, taş yünü, alçı panolar, seramik yünü, genleştirilmiş perlit, alçı kaplı taş yünü, ve vermikülit plakalar verilebilir.

Bu çalışmada yapılan deneylerde FRP kompozitlerin yangına karşı dayanım sürecini tespit etmek amacıyla beyaz alçıpan, kırmızı alçıpan, seramik yünü, taş yünü ve alçı kaplı taş yünü kullanılmıştır. Bu yangın yalıtım malzemeleri vida ve alüminyum folyo bant ile birleştirilerek kutular oluşturulmuştur. Kutuların içerisine FRP kompozit numuneler yerleştirilerek kullanılan yalıtım malzemesi, FRP kompozit ve ortamın sıcaklığını ölçmek amacıyla 3 adet K problu termometre yüzeylere yerleştirilmiştir. Deney numuneleri ortam sıcaklığı maksimum 500 °C dereceye gelene kadar fırında ısıtılıp ortam sıcaklığı, yalıtım malzemesinin yüzey sıcaklığı ile kutu içine alınan FRP kompozitlerin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri K problu termometre yardımıyla ölçülerek, değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak grafikler çizilmiş ve kullanılan yangın yalıtım malzemelerinin FRP kompozitleri yangına karşı koruma süreleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve çeşitli öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yangın, yangın yalıtımı, yangın yalıtım malzemeleri, pasif yangın güvenlik önlemleri, FRP kompozit

TEMPERATURE PROTECTION OF FRP MATERIALS WITH DIFFERENT FIRE INSULATION MATERIALS

SUMMARY

Fiber reinforced polymer (FRP) composites, which are among the new generation building materials, have low specific gravity, have high tensile strength, do not rot, worm, rust, can be produced in desired shapes and sizes, have high electrical insulation. Despite its superior properties, it is known that there is a significant decrease in mechanical properties at high temperature. In addition, FRP composites have been used in many areas such as curtain walls, light pedestrian and vehicle bridges, pipes, maintenance, strengthening and repair of structures, ground improvement, automotive industry, hybrid designs, chemical plants, marine structures, towers.

Increasing energy consumption with the rapid development of the industry and the increasing number of mass settlements brings with it the risk of fire. Along with the widespread use of new generation building materials in the building, fires threaten the safety of people, as well as the extent of material and moral damages in the fire increase. There are many materials that prevent building materials from damaging the structure, which can protect it from high heat and flame. Examples of these are glass wool, glass foam, rock wool, gypsum boards, ceramic wool, expanded perlite, gypsum covered rock wool, and vermiculite plates.

Purpose of the study FRP composites bring the temperature level that will impair their mechanical properties in the longest time. In the experiments, in order to increase the fire resistance of FRP composites, white plasterboard, red plasterboard, ceramic wool, rock wool and gypsum covered rock wool were used. These fire insulation materials were combined with screws and aluminum foil tape to create boxes. FRP composite samples were placed in the boxes. The insulation material used, FRP composite 3 K probe thermometers were placed on the surfaces to measure the temperature of the environment. The test samples were heated in the furnace until the ambient temperature reached a maximum of 500 °C, and the ambient temperature was measured with the help of the thermometer with the K probe, depending on the time, the temperature changes of the FRP composites enclosed in the box with the surface temperature of the insulation material were recorded. Graphs were drawn using the obtained values and FRP composites fire protection times of the fire insulation materials used were compared and the result was evaluated.

Keywords: Fire, fire insulation, fire insulation materials, passive fire safety measures, FRP composite

BÖLÜM 1. GİRİŞ

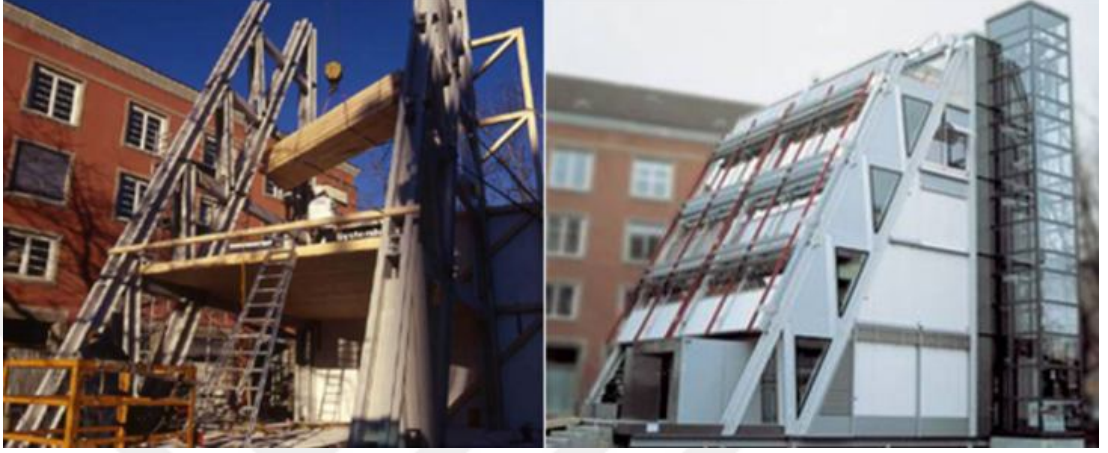
Endüstrinin hızla gelişmesi, toplu yerleşim alanlarının giderek artması, fazla enerji tüketimi de yangınlara sebep olmaktadır (Şekil 1.1). Yeni nesil yapı malzemelerinin yapıda kullanımının yaygınlaşması yangınların çıkmasına sebep olup insanların can ve mal güvenliğinin tehdit altında olmasına, aynı zamanda maddi ve manevi hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Yangın güvenliği binanın tasarım, yapım, bakım ve işletme safhalarında düşünülmesi gereken önemli bir konudur.



Şekil 1.1: Binada meydana gelen yangın [1].

Günümüzde malzeme teknolojileri alanında insanların ihtiyaçları malzemelerin yaşattığı problemlerle bağlantılı olarak her geçen gün artış göstermektedir. Bu ihtiyaçların karşılanması amacıyla yeni malzemetürleri ve uygulamaları üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bir malzemeyi kullanırken malzemenin tüm özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenip bilinmesi gerekmektedir. Malzemenin avantajlı ve dezavantajlı yönleri gerçekçi bir şekilde ortaya konulmalıdır.

Fiber takviyeli polimer kompozitler (FRP) cam, aramid veya karbon liflerin bir matris (reçine) ile bir araya getirilmesi ile oluşan yeni nesil yapı malzemeleri arasında yer almaktadır. FRP kompozitler genel olarak giydirme cephe sistemleri, köprüler, zemin iyileştirme, borular ve güçlendirme gibi işlerde kullanılır (Şekil 1.2). Bu malzemelerin kullanımı birçok teknik alanda artmakta ve gelişim göstermektedir.



Şekil 1.2: GFRP profillerden imal edilmiş çok katlı yapı [2].

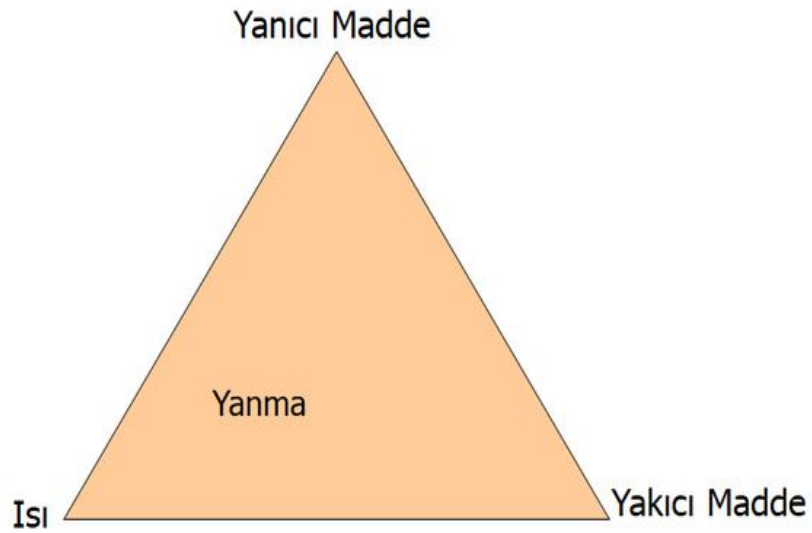
FRP kompozitlerin özgül ağırlığının düşük olması, boya bakım gerektirmemesi, kopma, basma, çekme, darbe ve yorulma dayanımlarının fazla olması bu malzemeleri üstün kılmaktadır. Fakat birçok literatür çalışmasında da görüldüğü gibi FRP kompozitler yüksek sıcaklık karşısında mekanik özelliklerinde ciddi düşüşler yaşamaktadır.

FRP kompozitlerin yangına karşı dayanım süresini artırmak amacıyla çevreyi sarma, kutu içine alma ve kütleli yalıtım işlemleri uygulanır. Bu çalışmada yüksek sıcaklık altındaki FRP kompozitlerin yalıtım malzemeleri ile korunması ile zamana bağlı sıcaklık değişimi incelenmiştir.

BÖLÜM 2. YANGIN VE YANGIN YALITIMI

2.1. Yangın

Yangın ısı, yakıt ve oksijenin kimyasal reaksiyon ile bir araya gelmesi ile oluşur (Şekil 2.1). Yangına baskılama işlemi ısı, oksijen ya da yakıt faktörlerinden herhangi birinin devreden çıkarılması ya da kimyasal reaksiyonun yavaşlatılması işlemidir. Yangın bu üç bileşenden biri eksik olursa meydana gelmez [3].



Şekil 2.1: Yangını oluşturan bileşenler [4].

Yanıcı maddeler katı, sıvı ve gaz olarak 3 fazdadır. Katı yanıcı maddeler belli bir şekle ve hacime sahiptir, sıvı yanıcı maddeler belli bir şekle sahip değil fakat belli bir hacime sahiptir, gaz yanıcı maddelerin ise ne şekle ne de bir hacme sahiptir. Yangının oluşması için ortamda mutlaka oksijene ihtiyaç duyulur. Yanmanın meydana gelmesi için ihtiyaç duyulan minimum oksijen oranı %13 iken, görünür bir alevin oluşması için minimum oksijen oranı %15 olmalıdır. Yangının şiddeti oksijen miktarı ile doğru orantılıdır [5]. Şekil 2.2’de yanan bir binaya ait görsel yer almaktadır.



Şekil 2.2: Yangın anındaki bina görseli [6].

Isı, yanıcı maddelere ışıma, kıvılcım ve alev ile transfer edilir. Yangının devamlılığı için ısı kaynağının devamlılığı ve yoğunluğu büyük önem taşır [7].

2.2. Yangın Gelişim Evreleri

Yangın sonucunda oluşan duman ve gazlar tavan boyunca yatay bir şekilde ilerler. Yangın sınırlı bir bölgede gerçekleşir ise sıcak gazlar ortamı hızla doldurur. Yangının başladığı mahalin sıcaklığının diğer mahallere göre az olmasına karşın, yanma sonucu oluşan zehirli gazlar ortamdaki uzaklaştırılmadığı sürece insanların tahliye edilmesi imkansız olabilmektedir. Genellikle yangın sırasında ölümler zehirli gazlar ve dumandan meydana gelmektedir. Yanıcı madde ya da oksijenin ortamdaki uzaklaştırılması yangının gelişimini engelleyecektir. Yangının gelişim ilk tutuşan maddenin diğer maddelere olan uzaklığına bağlıdır [8]. Genellikle gelişim sebebi anlaşılabilen yangınlar parlama ve yangının bir malzemeden diğerine ilerleyerek tüm yapıya yayılması sonucu ortaya çıkar. Bu durumda yangının büyüklüğü oksijen miktarına bağlıdır [9].

Birçok literatürde yangın gelişim aşamaları başlangıç, gelişme ve sönme olarak 3 sınıfa ayrılmaktadır. Her aşamanın kendine ait tehlikeleri vardır. Bu tehlikeler ölüm ve yaralanmalarına neden olmaktadır [10,11]. Yangın başlangıç evresinde parlak değildir. Aşırı duman çıkışı gözlenmez, ısı yayılımı azdır, alevler henüz olgunlaşmamıştır. Alevler ve ortam sıcaklığı arttıkça yangın gelişme aşamasına doğru ilerlemektedir [11].

Fakat kısa bir süre içerisinde ortam tavanından başlayarak duman ile dolmaya başlamaktadır. Gelişim safhasında alevler mahal dışından görülebilecek seviyelere gelmektedir. Ortamdaki oksijen miktarının artması parlamayı meydana getirmektedir. Ortamdaki yanabilir malzemeler arasındaki mesafe, yanabilir malzemelerin kütle ve yüzey alanının dağılımı, tutuşma kaynağının yeri ve büyüklüğü, açıklıkların yeri ve büyüklüğü, ortamın geometrisi yangının gelişmesine etki eden faktörlerdendir [12,13].

Tam evresinde alevler mahal dışından görülebilecek seviyelere gelir. Ortamdaki oksijen miktarının artması parlamayı meydana getirir. Ortamdaki yanabilir malzemeler arasındaki mesafe, yanabilir malzemelerin kütle ve yüzey alanının dağılımı, tutuşma kaynağının yeri ve büyüklüğü, açıklıkların yeri ve büyüklüğü, ortamın geometrisi yangının gelişmesine etki eden faktörlerdendir. Bu evrede yanıcı madde bitme noktasındadır, etrafta çok az miktarda giderek azalan alevler bulunur, alevler yerini korlamaya bırakmaktadır. Müdahaleler yarıda bırakılmaz ise korlanma aşaması ilerleyip sönme il son bulur [12,13].

2.3. Yangının Yayılımı

Yangın çevre ile etkileşim içerisinde olan kimyasal ve fiziksel bir olaydır. Yanma sürecinde yanıcı madde belirsiz davranışlar gösterebilir. Yanma durumu ile ilgili olan bu süreç sıcaklık akışını kapsamaktadır. Isının transferi ısı iletimi, ısı taşınımı ve ısı ışıınımı olmak üzere üç kısımda incelenir [13]. Isı iletimi, moleküller yardımıyla ısının taşınmasıdır. Bu işlem bir taşıyıcı gerektirir ve taşıma işlemi malzemenin özelliğine bağlıdır. Yangın sırasında ısı, metal tel, çelik borular ve kanallar yardımıyla taşınır. Ahşap, mineral yün, cam elyaf vb. malzemelerin ısı iletkenlik miktarı azdır. Isı sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru taşınmaktadır [9].

Isı taşınımı hava hareketleriyle ısının transferidir. Yangın sırasında ısınan hava yangından uzağa yayılır, ısı kaynağından yükselen sıcak dumanlar ile birlikte alevler, tavana temas eder. Böylece ortam içerisindeki tüm yanabilir malzemeleri tutuşturabilirler. Işınım ile sıcaklık elektromanyetik dalgalar ile taşınır. Yanıcıların yüzeye uzaklığı ısı taşınımını etkilemektedir [9].

2.4. Yangın Sınıfları

Yangınlar yanan maddenin yapısına göre sınıflandırıldığında 5 başlık altında toplanabilir. A sınıfı yangınlar organik yapıdaki katı maddelerin yanmaları sonucunda kor veya kömür haline dönüşüm söz konusudur. A sınıfı yangınlar ahşap, kağıt ve belirli tekstil ürünlerini kapsar. A sınıfı yangınları söndürmede genellikle su kullanılmaktadır. B sınıfı yangınlar sıvı maddelerin yanması sonucu oluşmaktadır. B sınıfı yangınlar karbondioksit ve köpük ile söndürülür. C sınıfı yangınlar gaz yangınlarından meydana gelir. C sınıfı yangınları söndürmede kuru kimyasallar kullanılır. D sınıfı yangınlar metallerin yanması sonucu oluşur. D sınıfı yangınlar genelde doğal karbon içeren maddeler ile söndürülür. Bu tip yangınlarda metallerin su ile etkileşimi sonucu patlamalar olduğundan su kullanılmamaktadır [14,15].

2.5. Yangının İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

2.5.1. Sıcaklık etkisi

Ortamın sıcaklığı güvenli kaçış süresi ve söndürme çalışmalarına etki etmektedir. Sıcaklık nedeniyle ısınan metal yüzeylere temas deride kalıcı yanıklara neden olur. Sıcak havanın uzun süreli teneffüs edilmesi solunum yollarının tahriş olmasına sebep olmaktadır [11,16].

2.5.2. Duman etkisi

Yanma esnasında ortamda katı, sıvı ve gaz taneleri ortaya çıkmaktadır. Dışarıdaki hava ile oluşan taneciklerin karışımına duman adı verilmektedir (Şekil 2.3). Yangının insan sağlığı bakımından en olumsuz etkisi yangın sırasında oluşan dumandır. Dumanın olumsuz etkileri zehirlilik ve öldürücü etkisi ile diğer ölümcül etkilerdir [11].



Şekil 2.3: Yangın esnasında meydana gelen duman [17].

Dumanın en büyük tehlikesi görüşü azaltarak kaçışı zorlaştırması ve bu bağlı olarak zehirli gaz ve buharın yaşamsal fonksiyonları olumsuz etkilemesidir. Dumana belli bir miktar maruz kalınması ölümlere neden olabilmektedir. Ayrıca tahriş edici özellikleri nedeniyle vücutta kötü etkiler bırakabilir. Dumanın toksik etkisi ve yoğunluğu yanan malzemenin cinsine, oluşan duman miktarı ise yangının büyüklüğüne bağlıdır. Duman az ya da çok olabilir fakat hayati tehlike oluşturacak kadar yeterli toksik ürünlere sahiptir [11].

Dumanın niteliğini incelerken görüş mesafesindeki düşüşün yol açtığı tehlikeler, gaz ve buharın toksik etkileri, aşırı sıcak ortam ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri göz önünde bulundurulmalıdır [11].

Duman üretim hızı sıcak gaz ve alev içine havanın sürüklenme kirlenme hızıdır. Havanın sürüklenme hızı yangının çevresel uzunluğuna, yangında yayılan ısı miktarına ve sıcak gaz sütunun etkili yüksekliğine bağlıdır. Duman üretim hızı yangın büyüklüğüne ve üzerindeki dumansız bölgenin yüksekliğine bağlıdır. Yangın büyüyüp sınırları çoğaldıkça duman üretim hızı giderek düşecektir. Yangında oluşan zehirli gaz ve buharlara karşı insanlar genellikle oksijeni tüketerek boğulma, solunum yollarını tahriş etme, akciğer zedeleme, sinir sistemi kan ve hücrelerde hasar oluşturabilecek tepkiler vermektedir [11].

2.5.3. Zehirli gaz etkisi

Tahriş edici gazların etkileri genellikle solunum yolları ve deri üzerinde görülür. Bu tip gazlara maruz kalan kişinin derhal ortamdan uzaklaştırılması yatırılıp oksijen verilmesi gerekir. Boğucu gazlar akciğerdeki keseleri doldurup tahriş eder, incelmış zardan kanın su kısma içeri dolar ve havanın oksijen bırakma alanı gittikçe daralır, vücut oksijen alamaz ve karbondioksit yüklü kan tekrar vücuda döner. Bu duruma akciğer ödemi adı verilir. Boğucu gaza maruz kalan kişilerin derhal ortamdan uzaklaştırılması ve temiz havaya çıkarılması gerekir. Öldürücü gazlar hiçbir organı tahriş etmeden vücuda giren ve ani ölümlere neden olan gazlardır. Bu gazlar sinirleri tahrip ederek kanı zehirler [11].

2.6. Yangın ve İnsan Davranışları

Yangın güvenliği tasarımında en önemli unsur bina kullanıcılarının güvenliğidir. Yangın güvenlik önlemleri binanın kullanım amacına, binadaki dağılıma ve insanların yangın durumuna karşı verdikleri tepkilere bağlıdır [9].

İnsan davranışlarında bina içerisindeki rolleri, eğitim düzeyi, binanın bilinmesi, yaş, cinsiyet ve engel durumu etkili faktörlerdendir. İnsanların davranışı yangının belirtileri ilk olarak ortaya çıktığında önemlidir. İlk belirti anındaki davranışlar yangına verilecek tepkiyi ve davranışların değiştirilmesini etkilemektedir. İlk belirtiler belirsiz ise yapılması gereken daha fazla bilginin gelmesini beklemektir. Algılama durumu uzadıkça hareket alanı daralmaktadır [9].

Güvenli kaçış için gerekli zaman yangının başlangıcından binayı terk eden son kişinin de güvenli bir bölgeye ulaşmasına kadar geçen süredir. Bu süre yangının fark edilmesi, alarmin devreye girmesi, insanların alarmin anlamını kavraması, insanların alarma tepki vermesi ve insanların kaçmasını içerir. Şekil 2.4'de yangın esnasında binadan kaçan insanlara ait görsel yer almaktadır [9].



Şekil 2.4: Yangın kaçıışı [18].

Yaşam güvenliği için alınacak önlemler tutuşmayı önlemek, yanma sürecinin kontrol altına alınması, yanmanın zararlı etkilerini uzaklaştırmaktır. Kaçış zamanı hareket öncesi zamanı ve kaçış zamanı olmak üzere ikiye ayrılır. Hareket öncesi zaman farkında olma ve tepki verme zamanı olarak iki sınıfa ayrılır. Farkına varma zamanı alarm ile birlikte bir şeyler yapmak gerektiğini anlama zamanı olarak tanımlanır. Tepki zamanı ise kaçıştan önceki tüm davranışları kapsayan zaman dilimidir. Hareket öncesi zaman verilen uyarıya, insanların o andaki aktivitelerine, binaya alışkın olmalarına, davranış ve sorumluluklarına bağlıdır [9].

Yangının gelişme safhasında duman ve sıcaklık sebebiyle tehlike meydana gelir. Gelişim aşamasını önceden tahmin etmek zordur. Yangın genellikle yavaş gelişip hızla ilerler. Yangının tutuşma ve gelişme sürecinin farkına varılması yaşam güvenliğini etkilemektedir. Yangın sırasında ortam sıcaklığının artması, zehirlenme durumu ve insanların sosyopsikolojik özellikler etkileşim halinde olacaktır [12].

Yangının farkına varılması ve tehlikeden uzaklaştırma çalışmaları arasında geçen zaman önem teşkil etmektedir. Yangın ne kadar erken fark edilirse tahliye için gereken zaman o kadar artacaktır. Aynı zamanda otomatik algılama ve söndürme sistemlerinin etkileri de tehlikeyi azaltabilmektedir [12].

Çıkış tercihlerini etkileyen faktörler çok karmaşıktır. İnsanlar öncelikle bildikleri yolları tercih ederler, bu sebeple bildikleri binada bulunan insanlarla bilmedikleri binada bulunan insanlar arasında ayrım yapılabilir [10]. İnsanlar kaçış yoluna kıyasla kapıların çevrelerinden temas etmekten kaçındıkları için kapılardan geçerken daha çok zaman kaybederler. Bu durumda kaçış zamanı kapıdan geçme zamanına bağlıdır. İnsanlar merdivenlerde normalden daha yavaş hareket etmektedir. Doğal tempolarında adım atamazlar, düşme riskini ortadan kaldırmak amacıyla güvenli adımlarla ilerlerler. Yaş faktörü de hareket hızına etki eden faktörlerdendir. Yetişkinler yaşlı ve çocuklardan daha hızlı hareket ederler [9]. Çocuk ve yaşlılar yangının etkilerinden daha çok etkilenir. Yangın nedeniyle meydana gelen ölüm ve yaralanmaların büyük bir bölümü bu yaş grubunda daha fazla görülür. Yangınlarda meydana gelen ölümlerin birçoğu duman soluma sonucu gerçekleşir. Solunum kapasiteleri insanların hayatta kalmaları için önem arz etmektedir. Uyuşturucu ve alkol kullanımında tehlikeyi fark etme ve karşı koyma olayı zorlaşmaktadır [12].

Yangında iletişim araçlarının yangına yönelik haberleri paniğe yol açmaktadır. Uyarılar karşısında ani ve aşırı tepkiler insan vücudunu olumsuz etkilemektedir. Panik için 4 ana faktör bulunmaktadır [12];

- Kaçış yolunun olmadığı durumlarda bile kaçış için duyulan umut,
- Panik halindeki insanın diğerlerini de etkilemesi,
- Saldırgan bir kaygı ve diğer insanların kaçışına engel olmak,
- Bilinçsiz ve mantıksız mücadele.

Kaçış imkanının olmadığı durumlarda paniğe sebep olunmaması için tehlikeli durum gizlenmelidir [9].

2.7. Yapı Malzemelerinin Yangın Karşısındaki Davranışları

Yapı malzemelerinin amacına uygun ve güvenle kullanılabilmesi için özellikleri dikkatle incelenmelidir. Yapı malzemelerinin tutuşabilir olması, alev yayma kapasitesi, ısı açığa çıkarması, duman ve gaz üretmeleri önemli özelliklerindendir [19].

2.7.1. Isıya bağı davranışlar

Tutuşma sıcaklığı yanıcı maddeler ısıının etkisi ile kendiliğinden tutuştuğı en düşük sıcaklık değeridir [19]. Genelde yanmanın ilk safhasında sıcaklık tutuşma için yeterli seviyede değildir. Yangın esnasında yanmış bir parça, tutuşma sıcaklığına gelinene kadar ısı iletkenlik etkisi ile malzemenin sıcaklığını yükseltir böylece yüzeyde bir ateş parlaması meydana gelir. Yangının bir malzemeden diğerine geçişi yüzeyde oluşan gaz akımının teması, uçan ve yanar haldeki parçalar ile olmaktadır [20].

Yanabilen bir madde tutuştuğunda aynı mekanda bulunan diğer yanıcı maddeleri de tutuşturarak yayılma eğilimine sahiptir. Yangının yapı elemanları ve yapı malzemeleri üzerindeki etkisi sıcaklık derecesine ve süresine bağlıdır. Yanabilecek malzemenin hacmi ne kadar büyük ise sıcaklığın yükselmesi ve sürenin uzaması o kadar fazladır [21].

2.7.2. Duman etkisine bağı davranışlar

Yangından meydana gelen ölümlerin çoğı duman ve zehirli gazlar sonucunda meydana gelir. Yeni yapı malzemelerinin kullanımının artmasıyla yangın sırasında malzemelerin duman ve zehirli gaz üretimi yangın güvenliği bakımından tehlike oluşturur. Bu tarz yapı malzemeleri yönetmelikler tarafından yasaklanmaktadır [22].

Dumanın en önemli tehlikesi görüş derecesini azaltması, insanların kaçışına engel olmasıdır [22]. Duman üretimi malzemelerin cinsine göre farklılık göstermektedir. Bu sebeple yangından kaçış yollarında kullanılan malzemelerin duman üretim miktarları göz önünde bulundurulmalıdır [23].

2.8. Yapı Malzemelerine Yangının Etkileri

Yangınlar malzemeler üzerinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana getirir. Fiziksel değişimler sıcaklığa bağı deformasyon ve erime olarak adlandırılır. Erime olayı, sıcaklık artması sonucu malzemenin katı halden sıvı hale geçmesi olayıdır. Erime sıcaklıkları malzeme cinsine göre farklılık gösterir. Isıl deformasyon sonucu malzemede parçalanma ve büyük oranda değişimler meydana gelir.

Maddelerin kimyasal yapısında meydana gelen değişim ile moleköl yapısının bozulması ve karbonlaşma olayına kimyasal değişim adı verilir. Yangın anında malzeme kimyasal değişime uğrar, moleköl yapısı bozulur ve bir takım zararlı gazlar ortaya çıkar [20].

2.9. Yangın Yalıtımı

Nüfusun hızla artması, sanayileşme ve gelişen teknoloji ile birlikte yapı ve yerleşim bölgelerinin fazlalaşmasına neden olur. Yapılarda kullanılan malzemelerin birçoğu yanıcı madde olduğundan yangın riskini fazladır. Yangınların çıkmasındaki en büyük faktör yangın önleyici ve yayılmasını engelleyici tedbirlerin alınmaması ile bireylerin yangın konusunda bilinçsiz olmasıdır.

Yangın sebebiyle yaşanabilecek can ve mal kayıplarını en az seviyeye indirmek için yapılan uygulamalara yangın yalıtımı denir (Şekil 2.5). Yangın yalıtımı yangın sırasında oluşabilecek yüksek ısı ve dumanın yayılmasını geciktirir, yapının güvenli bir şekilde terk edilmesine olanak tanır, can ve mal kayıplarının yaşamasını önler.



Şekil 2.5: Yangın yalıtımı [24].

Yangın yalıtımının amacı;

- Taşıyıcı sistemi koruyarak binaların belirli bir süre zarfında ayakta kalmasını sağlamak
- Yangının yayılmasını önlemek
- Yangından kaçış yollarının kullanılması için güvenli ortam oluşturmak

2.10. Yangın Güvenlik Önlemleri

Yapıların tasarım ve yapım aşamasında yangından korunmak amacı ile alınması gereken önlemler yangın güvenlik önlemleri olarak adlandırılır. Pasif yangın güvenlik önlemleri ve aktif yangın güvenlik önlemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [25].

2.10.1. Pasif yangın güvenlik önlemleri

Yapının tasarım, proje aşamasından uygulama esnasında da devam eden önlemlere pasif yangın güvenlik önlemleri adı verilir. Pasif yangın güvenlik önlemleri ile yapılarda yüksek sıcaklıklara taşıyıcı sistemin dayanması, tahliye yollarının planlanması, kompartmanların sağlanması, yangın anında oluşan zehirleyici gaz ve dumanın uzaklaştırılması sağlanmaya çalışır [26].

Pasif yangın güvenlik önlemlerinde yapı elemanlarının yanına karşı korunumu önemli bir yere sahiptir. Pasif yangın güvenlik önlemlerinde yapısal malzemelerinin korunmasının önemi artmaktadır. Binanın özelliğide yangın korunumunun önemini artırmaktadır [9].

Yangın bariyerleri yangının yayılımını önler. Duvar, döşeme ve tavanlar yangının ve dumanın diğer bölümlere yayılmasına engel olur. Yangın yakınındaki binalara ısıma ve oluşan açıklıklar nedeniyle sıçrayabilmektedir. Bu sebeple yapı elemanları mümkün oldukça uzun süre ayakta kalmalı ve pencere boyutları ısıma ile ısı iletimini azaltmak için küçültülmelidir [9].

2.10.1.1. Taşıyıcı sistemler

Binada yük aktarma ve yük taşıma görevine sahip yapı elemanlarına taşıyıcı sistem denir. Bunlar temel, kolon, kiriş, döşeme, perde gibi elemanlardır. Taşıyıcı sistemlerde malzeme seçimi ve tasarımı binaların yangın güvenliğinde önemli rol oynamaktadır [27].

Betonarme binalarda dayanım düzeyi yüksek beton kullanılmalıdır. Betonarme içerisindeki donatı ve öngerme çeliklerinin ısıya karşı korunması gerekir. Bu görev pas payı ve yangına dayanıklı boyalar tarafından karşılanır [28]. Betondaki agrega cinside yalıtım açısından önem arz etmektedir. Kalker türü bir agrega betonun ısınmasını

yavaşlatır. Çelik taşıyıcı sistemlerde ise ısı form değiştirmelerin oluşumu göz önüne alınmalıdır. Sıcaklık arttıkça çeliğin çekme ve akma dayanımı azalır. Çelik kısmı yangından korumak için çevreyi sarma, çevreleme, çelik bileşenleri su ile soğutma işlemleri uygulanır [29].

2.10.1.2. Kaçış yolları

Yapının herhangi bir noktasından dışarıya kadar olan devamlı ve engelsiz yol olarak tanımlanır. Tahliye yollarının tasarımı yangın sırasında tahliyeye olanak sağlayacak şekilde olmalıdır. Tüm çıkışlar ve merdivenler yangına karşı korunmalı ve yangın dayanımına sahip olmalıdır [30].

2.10.1.3. Yangın merdivenleri

Yapılarda acil durum ve yangın anında kullanılan merdivenler olarak adlandırılır (Şekil 2.6.). Kaçış yollarının bir parçasıdır ve diğer kaçış yollarından ayrı olarak tasarlanır. Merdivendeki duvarın yangına dayanım süresi 120 dk, kapıların ise 90 dk olması gerekmektedir. Basamak genişlikleri ve yükseklikleri insanların takılıp düşmesine neden olmamalıdır [31].



Şekil 2.6: Yangın merdiveni [32].

2.10.1.4. Yangın duvarları

İki farklı bölümü yangın durumunda ayıran, yangının ilerlemesini yavaşlatan düşey elemanlardır (Şekil 2.7). Yangın duvarlarının dayanımı en az 90 dk olmalı, duvar yüzeyinde delik ve boşluklar bulunmamalı, kapıların otomatik olarak kapanması ve duman geçirmez özellikte olması gerekmektedir [31].



Şekil 2.7: Yangın duvarı [33].

2.10.1.5. Yangın kapıları

Yangın kapıları kapandığında alev, duman ve ısı geçişine dayanabilecek nitelikteki kapılar olarak adlandırılır (Şekil 2.8). Kapıların genişliği en az 200 cm olmalıdır. Kapılar tahliye yönüne doğru açılmalı ve kilitlenmemelidir [31].



Şekil 2.8: Yangın kapıları [34].

2.10.2. Aktif yangın güvenlik önlemleri

Pasif yangın güvenlik önlemlerini tamamlayıcı olarak sadece yangın anında aktif olan önlemlerdir [35]. Aktif yangın güvenlik önlemleri yangını başladığı anda algılayıp, yangın büyümeden müdahale eden, kurtarma faaliyetlerini kolaylaştıran ve yangını söndürmeyi amaçlayan önlemlerdir [5].

Aktif yangın güvenlik önlemleri;

- Yangın algılama ve uyarı sistemleri
- Duman kontrol sistemleri
- Yangını söndürme ve engelleme elemanları
- İtfaiye yaklaşım ve erişimi

2.11. Yangın Yalıtımında Kullanılan Malzemeler

Yangın yalıtımı için kullanılan yapı malzemelerinin hammadde elde edilmesinden başlayıp yapının yıkılmasına kadar uzun bir süreçte farklı enerji tüketimleri söz konusudur. Amaca uygun malzeme seçimi ile yangın sonucu meydana gelebilecek zararlar minimum seviyelere indirilir.

Yalıtım malzemelerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibidir;

- Alternatifler arasında en düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip malzeme seçilmelidir.
- Tutuşma, alevi yayma, çıkan ısı ve duman miktarı, toksisite açısından bir bütün olarak yönetmeliklere uyacak şekilde seçilmelidir.
- Malzemelerin yangın anında çıkardığı duman miktarına dikkat edilmelidir.
- Yalıtım malzemeleri kullanılacağı yere uygun olarak seçilmelidir.
- Ekonomikliğe önem verilmeli fakat diğer özellikler göz ardı edilmemelidir.
- Bazı yalıtım malzemeleri çevre ve insan sağlığı açısından zararlıdır. Bu sebeple malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra ekolojik ve biyolojik özellikleri dikkate alınmalıdır.

Yalıtım malzemelerinin seçiminde maliyet ve uygulama kolaylığı önemli faktörlerdendir. Yalıtım binanın ilk maliyetini artırmak ile birlikte birey ve ülke

ekonomisine katkı sağlamaktadır. Önemli koşul yapıya uygun malzeme seçimi ve optimum kalınlığı seçmektir.

2.11.1. Cam yünü

Silis kumunun 1200 °C – 1250 °C derecede ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile oluşan malzemeye cam yünü adı verilir (Şekil 2.9). Kullanım alanlarına göre farklı kalınlık, boyut ve şekillerde üretilebilmektedir. Isı yalıtımı, ses yalıtımı ve akustik düzenleme malzemesi olarak kullanılır (Şekil 2.10) . Cam yünü çubuk çekme usulü, hazne tambur usulü, meme çekme usulü, meme üfleme usulü, savurma usulü, kombine savurma ve uzatma usulü ile elde edilir. A sınıfı yanmaz malzemeler grubunda olmaları kullanıldığı yerde yangın güvenliği sağlar. -50/+250 °C derece aralığında en iyi performansı gösterir. -200/+550 °C derece aralığında kullanılan özel cam yünü ürünlerde üretilebilir. TS 825 Ek 5'te ısı iletkenlik hesap değeri 0,040 W/mK'dir. Yoğunluğu 14-100 kg/m³ aralığında üretilebilmektedir. Su emme oranları hacimce %3-10, mekanik dayanımları 1,5-6,5 ton/m² arasında değişmektedir [36].



Şekil 2.9: Cam yünü [37].



Şekil 2.10: Cam yünü uygulaması [38].

2.11.2. Taş yünü

Bazalt taşının 1350 °C – 1400 °C derecede ergitilmesi ile meydana gelen yalıtım maddesidir (Şekil 2.11). Rulo ve şilte halinde farklı yoğunluk ve boyutlarda üretilir. Kükürt esaslı ve kalsiyum esaslı olmak üzere ikiye ayrılır. Isı yalıtımı, ses yalıtımı, akustik düzenleme ve yangın yalıtım malzemesi olarak kullanılır (Şekil 2.12). DIN 4102'ye göre A sınıfı yanmaz malzemeler grubunda olmaları, kullanıldığı yerde yangın yalıtımı sağlar. -50/+750 °C derece aralığında en iyi performansı gösterir. TS 825 Ek 5'te ısı iletkenlik hesap değeri 0,040 W/mK'dir [36].



Şekil 2.11: Taş yünü [39].

Taş yünü ve cam yününün diğer özellikleri aşağıdaki gibidir;

- %100 boyutsal kararlılığa sahiptirler, ısıca ve rutubete maruz kaldıklarında boyutları değişmez.
- Fiziksel özelliklerini zamana bağlı olarak değiştirmezler.
- Bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmazlar.
- Böcekler ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilmezler.
- Kolay kesilebiliyor olmaları uygulama kolaylığı sağlar.



Şekil 2.12: Taş yünü uygulaması [40].

2.11.3. Kalsiyum silikat plakalar

Kalsiyum silikat plakalar, yüksek mukavemetli, yüksek izolasyon özelliğine sahip, sıcaklığa dayanıklı, hafif bir üründür (Şekil 2.13). Maksimum 1100 °C derece sıcaklığa dayanıklıdır. Kalsiyum silikatlar mineral esaslı yalıtım malzemesi olup levha, boru, sprej veya form verilmiş özel parçalar halinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda su ilavesi ile sertleşen toz halinde bulunmaktadır. Yoğunlukları 190-200 kg/m³, basınç dayanımı 8-10 kg/cm² aralığındadır. Kalsiyum silikat malzemeler yangın yalıtımı için elverişli malzemedir [41].



Şekil 2.13: Kalsiyum silikat plakalar [42].

2.11.4. Cam köpüğü

Toz camın karbon ile birlikte ergitilmesi ile birlikte meydana gelen yalıtım malzemesidir (Şekil 2.14). Kabuk, levha, pano veya blok olarak farklı şekil ve boyutlarda üretilirler. Su ve buhar geçirmezler, kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır, çürümez ve küflenmezler. Isı ve ses yalıtımında kullanılır. Su ve buhar geçirmez, yüksek basınç dayanımına sahiptir, yanmaz ve kimyasallara dayanıklıdır. Cam köpüğünün kullanım sıcaklığı $-260/+430$ °C derece aralığındadır. Isı iletkenlik hesap değeri $+20$ °C derece için $0,0520$ W/mK, su buharı difüzyon direnç faktörü 10000 'dir. BS476 standardına göre yanmaz malzemedir. Yoğunluğu $100-200$ kg/m³, basınç dayanımları $48-880$ ton/ m² aralığındadır. [36].



Şekil 2.14: Cam köpüğü [43].

2.11.5. Vermikülit plakalar

Hafif vermikülitin inorganik bağlayıcılarla birleşiminden oluşan yalıtım malzemesidir (Şekil 2.15). Vermikülit paneller ihtiyaca göre 1,5 saatten 4 saate kadar yangın dayanımına sahiptir. Maksimum 1100 °C - 1150 °C derece sıcaklığa dayanıklıdır. Asma tavan, bölme duvarlar, elektrik kablo kanalları, havalandırma kanalları, yangın kanalları, yangın damperleri, döşemeler ve çelik konstrüksiyon üzeri yangın yalıtımında kullanılır [50]. Vermikülit plakalar doğal alüminyum magnezyum silikat olup, mika madeninden elde edilir. Mika artıkları ısıtılarak genişletilir. Genleşmeden önce yoğunluğu 1400-100 kg/m³ iken sonradan 17-60 kg/m³'e düşer. Levhalar maksimum 5-6 kp/cm² basınca dayanır. Çimento katılarak elde edilen levhalar ısı yalıtımlı hafif betonlar kategorisine girer ve 800 °C dereceye kadar dayanır. Isı iletkenlik değeri yoğunluğa göre değişkenlik göstermektedir. Nem alır, asit ve alkalilere dayanıklı olup yanmaz [41].



Şekil 2.15: Vermikülit plaka [44].

2.11.6. Genleştirilmiş perlit

Şekil 2.16'da yer alan perlit kayası parçacıklarının 1200 °C derece sıcaklıkta genişletilmesi ile üretilir. Perlitin en önemli özelliği genişlemesidir. 760-1200 °C derece aralığında bünyesindeki suyun uzaklaştırılmasıyla hacmi yaklaşık 4-20 defa büyüyen perlit hafif ve gözenekli yapı kazanmaktadır. 1000 °C derece sıcaklıkta içinde bulunan suyu kaybederek mısır gibi patlar ve ince, beyaz renkli ve çok hafif bir malzeme olmaktadır [45]. İnşaat malzemesi olarak kullanılan perlit hafif olması, ısı ve ses

yalıtımı özelliğinden dolayı oldukça fazla kullanım alanına sahiptir. Bünyesinde fazla gözenek ve durgun hava bulunmasıyla çok iyi ısı yalıtımının yanında yüksek frekanslı darbeli sesleri etkisiz hale getiren bir malzemedir. Çürümez, yangına ve suya dayanıklıdır, böcek ve haşerelerden etkilenmez, uzun ömürlü, kolay işlenebilir özelliktedir. Nötr bir malzeme olmasından dolayı asit ve bazlara karşı dayanıklıdır [46].



Şekil 2.16: Genleştirilmiş perlit [47].

2.11.7. Alçı panolar

Düşük yoğunluktaki alçı taşının her iki yüzünün karton ile kaplanmasıyla standart veta özel boyutlarda elde edilir (Şekil 2.17). Alçı panolar genellikle asma tavan, bölme duvar, kuru sıva ve kuru yer döşemesi uygulamalarında kullanılır. Uygulama maliyeti ve uygulama zamanından tasarruf sağlar. Hafif alçı pano, yangına dayanıklı alçı pano, suya dayanıklı alçı pano gibi çeşitleri bulunmaktadır. Alçı panolar pH değeri nedeniyle bakteri üretmeme özelliğine sahiptir. Yangına karşı dayanıklıdır. Esnek yapıda olan alçı panolar deprem sarsıntılarında esneyebilme özelliği sayesinde depremden zarar görmemektedir. Isı ve ses yalıtım konularında çok başarılıdır, içinde bulunan su zerrecikleri sayesinde bulunduğu ortamın nem seviyesini ayarlar ve ortamın nefes almasını sağlar. Levhaların kalınlığı 6-18 mm arasında değişmektedir. İsteğe bağlı olarak 120-125 cm genişliğinde, 200-450 cm uzunluğunda üretilabilmektedir [48].



Şekil 2.17: Alçı panolar [49].

2.11.8. Seramik yünü

Seramik esaslı elyaf malzemeler farklı sektörlere ve farklı uygulama alanlarına yönelik değişik kompozisyonlarda ve fiziksel yapılarda üretilmektedir (Şekil 2.18). Elyaf malzemelerin uygulama sıcaklığı 1260 °C – 1430 °C derece arasındadır [50]. Seramik yünü çok yüksek sıcaklıklarda kullanılan lifli bir malzemedir. Taş yününün kullanılmadığı sıcaklıklar için kullanılır. Rulo, levha, dökme şekillerinde bulunur ve beyaz renklidir. Yoğunluğu malzemenin şekline göre 100-150 kg/m³ arasında değişir. Yumuşak bir malzeme olup, basınç dayanımı fazla değildir. En önemli özelliği yüksek sıcaklığa dayanabilmesidir. Seramik yünü yanmaz, hidroflorik asit ve fosforik asit dışında diğer asitlerden etkilenmez. Ülkemizde üretimi olmayıp dışardan ithal edilmektedir. Seramik yünü diğer lifli malzemelerde olduğu gibi rulo, levha, halat vs. şekilde bulunur. Prefabrik boru şeklinde üretilmez [41].



Şekil 2.18: Seramik yünü [50].

2.11.9. Diğer Yangın Yalıtım Malzemeleri

Yangın durdurucu harçlar; beton, ahşap, plastik, kablo kanalları gibi inşaat yüzeylerinde aderans sağlar. Yangın durdurucu mastik ve silikonlar 240 dakikaya kadar yangın dayanımı sağlar [41].

BÖLÜM 3. FİBER TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMELER

3.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler en az iki farklı maddenin bir araya gelmesiyle elde edilen malzemelerdir. Bu malzemeyi oluşturan bileşenleri bir araya getirmekteki amaç bileşenlerde tek başına mevcut olmayan özellikleri bir araya getirerek ortaya yeni bir ürün çıkarmaktır [51].

Kompozit malzemelerde aranan 4 koşul aşağıdaki gibidir [51];

- ✓ Doğal bir malzeme olmaması, insan yapımı olması,
- ✓ Birden fazla malzemenin bir araya gelmesi ile oluşması,
- ✓ Malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmesi
- ✓ Bileşenlerin yalnız başına sahip olamadıkları özellikleri bir araya geldiği zaman meydana getirmiş olmasıdır.

Kompozit malzemeleri dört ana başlık altında toplanabilir [51];

1. Taneciklerle güçlendirilmiş kompozit malzeme
2. Tanelerle donatılı kompozit malzeme
3. Liflerle donatılı kompozit malzeme
4. Tabakalı kompozit malzeme

Kompozit malzemelerin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [51];

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Yorulma dayanımı ve aşınma direnci,
- Korozyon direnci,

- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısıl direnç,
- Elektrik iletkenliği,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Görünüm.

3.2. FRP Kompozitler

FRP'ler lifli kompozit grubuna giren malzemelerdendir (Şekil 3.1). Fiber takviyeli polimerler anlamına gelir. Yapılarda en çok kullanılan fiber kompozit formu laminat olarak adlandırılır. Laminatlar fiber katmanların reçine ile beraber tabakalanarak istenilen kalınlığa gelene kadar bu işin tekrar edilmesi ile imal edilir. Tabakalar farklı doğrultularda dizilerek farklı fiziksel ve mekanik özellikler elde edilir.



Şekil 3.1: FRP kompozit örnekleri [52].

FRP, güncel formda elde edilebilen çeşitli boyut ve şekillerde imal edilen birçok sektörde kullanılan, 1940'lerden beri inşaat sektörü için uygulamaya hazır, çeliğin yerini doldurabilecek, düşük ağırlıkta, yüksek rijitlik ve mukavemete sahip dayanıklı lifli kompozit malzemelerdir [53].

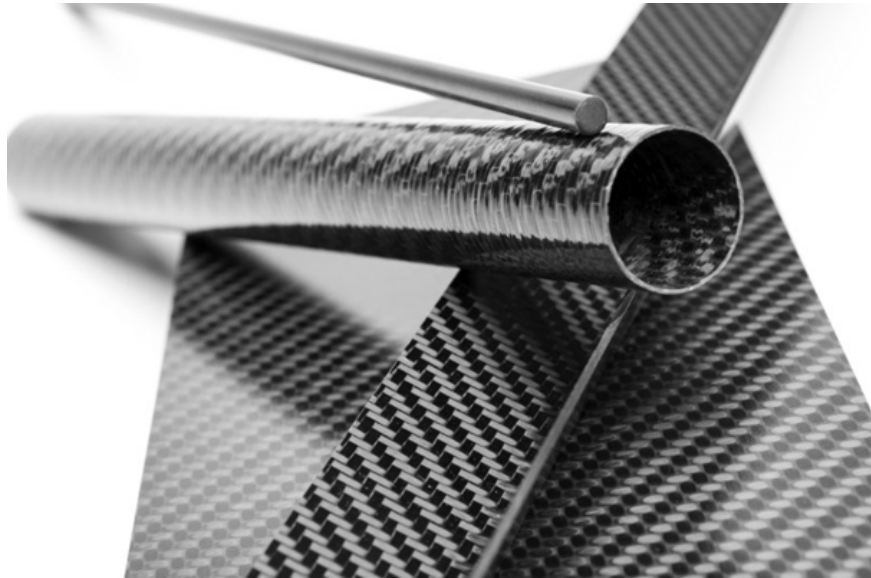
Fiber kompozitlerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörler fiber doğrultu, uzunluk, şekil, fiberlerin kompozisyonu, reçinenin mekanik özellikleri, reçine ve fiber arasındaki aderansdır [54].

FRP'ler mevcut yapıların bakım ve onarımında aynı zamanda yeni yapılarda bir süredir sınırlı düzeyde kullanılmaktadır. FRP malzemelerin yapılarda kullanımı 20 yılı aşan bir süreçte gerçekleşmektedir. Beton, çelik ve ahşap malzemelere alternatif olma yolunda ilerlemektedir [54].

3.3. FRP Kompozit Çeşitleri

3.3.1. Karbon fiber takviyeli polimerler

Karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) kompozitler genellikle kiriş, kolon, duvar, zemin, iskele ve yapıların güçlendirilmesinde kullanılır (Şekil 3.2). CFRP'ler polimer reçinenin matris yapısında bağlı zincirli karbon oluşan bir tür dayanıklı malzemedir. CFRP'ler korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. CFRP ve geleneksel çelikler karşılaştırıldığında CFRP'nin daha yüksek elastisite modülüne ve daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmektedir. CFRP özellikleri fiberin polimer oranına, malzeme tiplerine ve reçine yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilir [55].



Şekil 3.2: Karbon fiber takviyeli polimerler [56].

CFRP'lerin avantajları;

- Hafiftir ve yoğunluğu çeliğin dörtte biri kadardır.
- Yüksek mukavemete sahiptir.
- Kullanımı ve uygulanması kolaydır, büyük makineler ve aletler gerektirmez.
- Korozyon direnci, asit direnci, alkali direnci ve tuz toleransı olan sert ortamlara direnç gösterebilir.

3.3.2. Cam elyaf takviyeli polimerler

Cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) düz, çift eksenli, direkt fitil ile birleştirilen kumaşlardır (Şekil 3.3). GFRP kompozitler yüksek çekme dayanımına sahip, korozyon direnci yüksek, kimyasallara karşı dayanıklı malzemelerdir. Elektriksel, manyetik hassasiyetli ve termal iletkenlik gerektiren uygulamalar için son derece kullanışlıdır [57].



Şekil 3.3: Cam elyaf takviyeli polimerler [58].

GFRP'lerin avantajları;

- Fiyatı diğer liflere nazaran daha uygundur.
- Çekme mukavemeti yüksektir.

- Elektriği iyi iletir.
- Kimyasal direnci yüksek ve korotif ortamlar için uygundur.
- Yüksek termal dirence sahiptir.

3.3.3. Aramid elyaf takviyeli polimerler

Aramid elyafından yapılan aramid takviyeli polimer (AFRP) kompozitler mükemmel mekanik özelliğe sahiptir. Bükülme, makaslama, sıkıştırma ve rüzgara karşı dayanımı yüksektir. AFRP ile onarılmış yapılar asit, alkali, tuz ve ultraviyole aşınması sonucu zarar görmekten korunmaktadır [57].

3.4. FRP Kompozitlerin Genel Özellikleri

Yapıların ağırlığının azalması ile doğru orantılı olarak yapıya etki eden dinamik yüklerde azalmış olur. Depreme dayanıklı konutlar elde etmek amacıyla alternatif teknolojik ürünler araştırılmaktadır. Pultrüzyon metodu ile üretilen FRP kompozitler geleneksel yapı malzemelerine göre daha hafif, korozyon dayanımı ve dayanım/yoğunluk oranı yüksek yapı malzemeleridir. Özgül ağırlığının düşük olması nedeniyle diğer yapı elemanlarına göre daha fazla depreme dayanıklılık gösterir. Yüksek elastisite modülü sebebiyle burkulma ve eğilmenin ardından eski hallerine geri dönerler. Kolonlarda ve kirişlerde kesme kuvveti oluşmaz. Boya ve bakım gerektirmezler, zaman içerisinde deformasyona uğramazlar. Pultrüzyon yöntemi ile çekilmiş profiller aynı boyuttaki çelik profilden iki kata kadar daha fazla kopma dayanımına sahiptirler. Zaman içerisinde çürüme, paslanma veya kurtlanma gibi olaylar yaşanmaz. Görünümünü ve boyalarını üretim esnasında kazanırlar. Bu nedenle istenilen renk ve boyutlarda üretilbilirler. Çekme, basma, darbe ve yorulma dayanımları fazlasıyla yüksek olduğundan yük altında bile kalıcı deformasyona uğramazlar. Çatlak ilerlemesi minimum seviyededir. Yüksek ısı ve su izolasyonu sağlar. Yüksek elektriksel yalıtkanlığa sahiptir. Antistatik özellikleri sayesinde sürtünme ve çalışma sırasında kıvılcım çıkması önlenir. İçeriğindeki reçineye bağlı olarak birçok kimyasal maddeye karşı yüksek dayanım gösterirler. Bu sebeple kimyasal üretim gerçekleştirilen endüstriyel tesislerde, arıtma tesislerinde, soğutma kulelerinde ve daha birçok alanda kullanıma uygundur. Gıda, ilaç ve kimya sanayiinde güvenle kullanılmaktadır. UV

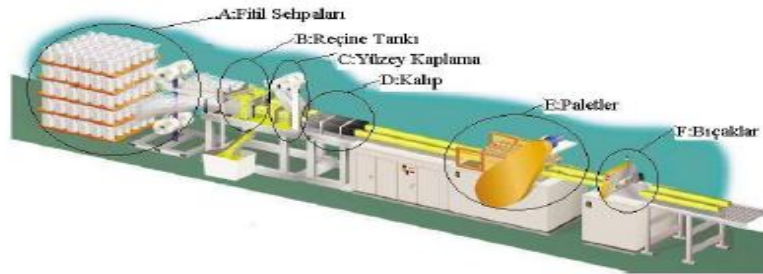
etkisi ile meydana gelebilecek deformasyonlara karşı direnç gösterirler. Elektromanyetik dalgalara ve radyo dalgalarına karşı geçirgendir. Düşük ısısal genleşmeye sahiptirler. Ağır yüklere dayanıklı hale getirilebilirler. Elle taşınabilir niteliktedir, çeliğe göre oldukça hafiftir [59].

3.5. Fiber Takviyeli Plastiklerin Üretimi

FRP kompozitlerin yaygınlaşmasındaki en önemli faktör mekanik özelliklerinin yanında malzemelerin üretim tekniklerinde artış gösteren teknolojik gelişmelerdir. FRP kompozitlerin üretim yöntemleri arasında en sık kullanılan pultruzyon yöntemidir.

3.5.1. Profil çekme (pultruzyon) metodu

Pultruzyon yönteminde sürekli elyaflara ek olarak fitil, keçe veya bunların benzeri veya birkaçı ile beraber kullanılır. Fitol sehpaları makineden ayrı bir bölümde olup elyaf, fitil veya keçelerin olduğu bölümde yer almaktadır (Şekil 3.4). Bobinlerin sayısı ihtiyaca göre farklılık gösterebilirler [59].



Şekil 3.4: Pultruzyon yöntemi konfigürasyonu [60].

Pultruzyon makinesinin ilk bölümü matris malzemesi olarak kullanılan reçine tankıdır. Takviye malzemeleri öncelikle termoset reçine tankının bulunduğu bölümden geçerek reçineye bulanır. Reçineye bulanmış takviye malzemeleri ön kalıba girerek içerisindeki hava ve fazla reçineden arındırılır. Böylece reçinenin takviye malzemesinde en yüksek düzeyde pentrasyonu sağlanmış olur. Ön kalıptan çıkan malzeme, atmosfer ve diğer dış etkilere korunması için yüzeyi karışık yönlü elyaf lifleri ile kaplanır. Bu yöntem ile elyaf oranı %75 olan kompozit üretimi gerçekleştirilir. Şekil 3.5'de FRP profil detayı yer almaktadır [61].



Şekil 3.5: FRP profil detayı [62].

Pultruzyon yöntemi ile üretilen kompozitlerin elektrik, inşaat, otomotiv ve havacılık alanında kullanımları yaygındır. Üretilen profiller hafif ve kimyasallara karşı dayanım gibi özelliklerinden dolayı arıtma tesislerinde ve endüstriyel tesislerde sıkça kullanılmaktadır [59].

Pultruzyon yönteminin avantajları [62];

- İstenilen boyut ve şekilde üretilebilirler.
- Düşen maliyetler nedeniyle metallere alternatif olabilirler.
- Değişik mekanik özellikler elde etmek için farklı kombinasyonlar ile farklı FRP'ler üretilebilir.
- Metallerden daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar.
- Optimum çekme dayanımı elde etmek amacıyla elyafar boyuna yerleştirilirken bir kısım elyaf farklı şekilde farklı düzende yerleştirilebilir.
- Düşük işçilik ve yüksek otomatikleşmeye sahiptir.
- Ekipman yatırım masrafları diğer yöntemlere göre daha düşüktür.

Pultruzyon yönteminin dezavantajları [62];

- Pultruzyon yönteminde elyafın büyük bir kısmı çekme dayanımı sağlayacak yönde yerleştirildiğinden çapraz yöndeki dayanımı düşüktür.
- Standartlaşmış bir kalite söz konusu değildir.

- Kırılgan malzeme olduklarından kolaylıkla zarar görürler, onarımları yeni problemler meydana getirebilir.

3.6. FRP Üretiminde Kullanılan Malzemeler

3.6.1. Aramid türleri

Aramid lifler en yaygın olarak kullanılan lif çeşididir. Aramid liflerin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabilir;

- Farklı ısılarda dayanımının %80'ini korur.
- Rutubet gerilme dayanımını %5 oranı °C'nda düşürür.
- Doğrusal değildir, uzayabilir.
- Kimyasal etkilere karşı direnci iyidir.
- Ultraviyole ışıklardan etkilenir.
- 150 °C üzeri sıcaklıklara uzun süre dayanamaz.
- Elektrik iletkenliği düşüktür.

3.6.2. Karbon türleri

Karbon liflerin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Yüksek mukavemet ve rijitlik.
- Düşük birim boy uzaması.
- Düşük darbe direnci.
- Titreşimli yüklerden etkilenmez,
- Rutubet ve kimyasallara karşı direnci muhtemeldir.
- Galvanik korozyondan etkilenir.
- 2000 °C sıcaklığa kadar dayanıklıdır.
- Isı ve elektriği iyi derecede iletir.

3.6.3. Cam türleri

Cam lifler diğer liflere göre daha uygun fiyatlıdır. Cam lifleri bükülmüş iplik, dokuma ve keçe şeklinde bulunur. Cam lifleri yüksek dayanıklılığa sahiptir. Cam lifler

dokunulduğunda kolay bozulduğu için işlemi bittikten sonra koruyucu bir film ile kaplanır. Cam liflerin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Lifler yüzey iyileştirme malzemeleriyle kaplanır.
- Düşük maliyetlidir.
- Elastisite modülü düşüktür.
- Yüksek mukavemetlidir.
- Tekrarlı yüklere karşı dayanımı düşüktür.
- Alkalilere karşı duyarlıdır.
- Neme karşı direnci düşüktür.
- Isı izolasyon özellikleri yüksektir.

3.6.4. Reçineler

Reçineler kompozitin sıcaklık limitini ve çevresel faktörlere karşı direncini belirler. FRP malzemelerde taşıyıcı lifler olduğu halde reçinenin önemide göz ardı edilemeyecek boyuttadır. Reçinelerin lifleri birbirine bağlama, lifler arası yük transferini sağlama ve lifleri çevreden gelebilecek zararlı etkiler ile mekanik hasarlardan koruma olmak üzere üç görevi vardır.

3.7. FRP Kompozitlerin Kullanım Alanları

İnşaat mühendisliği endüstrisi yapı malzemelerini ve tasarımını geliştirmek için çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalardan birisi de FRP kompozitlerin yapılarda taşıyıcı olarak kullanılmasıdır. FRP kompozitler genellikle güçlendirme amaçlı kullanılırken daha sonraları mevcut yapı malzemelerine alternatif olmaya başlamışlardır. Pultrüzyon metodu ile üretilen FRP kompozitler taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanılır [59].

FRP kompozitler genellikle giydirme cephe sistemleri, yaya ve taşıt köprüleri (Şekil 3.6), zemin iyileştirmeleri, borular, tamir ve güçlendirme ile otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Günümüzde kompozit malzemelerin kullanımı hızla artmakta ve gelişim göstermektedir [59].



Şekil 3.6: FRP yaya ve hafif taşıt köprüsü [63].

Hafif ve yüksek dayanıma sahip FRP kompozit malzemelerin güçlendirme, tamir ve onarımda kullanımı artmıştır. FRP laminatların kirişlerin alt yüzeylerine kolonlarda ise FRP kumaşların tüm yüzeye sarılarak güçlendirme ve onarım işleminin yapılması bilinen en yaygın FRP uygulamasıdır [59].

FRP kompozitlerin yapılarda kullanım alanlarının başında güçlendirme amaçlı kullanılması gelmektedir (Şekil 3.7). Yapıların deprem gibi dinamik etkiler veya durabilite sorunlarından kaynaklı, taşıma kapasitelerindeki kayıpları telafi etmek amacıyla güçlendirmesi gerekebilmektedir. Birçok güçlendirme yönteminin önemli bir seçeneği kolon, kiriş ya da duvarları FRP kumaş ve laminantlar ile güçlendirme amaçlı sarılması veya yapıştırılmasıdır. Hasar görmüş ya da görmesi muhtemel yapıların güçlendirmesinin yanında tarihi değeri olan yapılar ve ahşap taşıyıcı elamanlar ile inşa edilmiş yapılarda çoğunlukla CFRP kumaşlar kullanılarak yapıların onarım ve güçlendirmeleri yapılmaktadır [59].



Şekil 3.7. FRP ile betonarme ve ahşap yapı güçlendirilmesi [59].

FRP kompozitler geleneksel yapı malzemeleri birlikte kullanıldığı hibrit tasarımlar meydana getirir. Türkiye'de balkon çıkıntıları ve korkuluk yapımında kullanılır [59].

FRP kumaş ve laminatlara alternatif olarak pultrüzyon metodu ile üretilen profillerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Profillerin çekme dayanımı ve korozyon direnci ön plana çıkmaktadır. FRP profiller köprü, konut, kimyasal tesisler, deniz yapıları, kule ve silo gibi yapılarda kullanılır [59]. Şekil 3.8'de FRP kompozitten imal edilmiş vapur iskelesi görseli yer almaktadır.



Şekil 3.8: FRP vapur iskelesi [62].

3.8. FRP Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Etkisi Altındaki Davranışları

FRP kompozitlerin beton içerisinde kullanılması durumunda aderans problemi yaşanmaktadır. Kumlama yapılarak kullanılan FRP donatıların aderans davranışı ise gevrek olmaktadır. FRP'lerin nervürlü üretilmesi gibi ikincil işlemler sonucunda FRP yapısındaki matris aderans etkisinde mekanik bozulmaya uğrayabiliyor. Yangın

durumunda da FRP'nin yapısını bir arada tutan matriste bozulmalar meydana gelir ve FRP liflerin çalışmasını olumsuz etkiler [64].

Carvelli ve arkadaşları çalışmasında FRP profiller betonarme elemanlarda korozyon direncini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bölgesel olarak yüksek sıcaklıklara maruz kalan FRP donatılarla güçlendirilmiş kirişlerin statik davranışları incelenmiş, numuneler öncelikle oda sıcaklığında daha sonra belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak üç noktada yükleme testi yapılmıştır. Sonuçlar sıcaklığın betona zarar vermediğini fakat FRP donatıların matrisinde kısmi buharlaşmalara neden olduğunu göstermektedir [65].

Hamad ve arkadaşları çalışmasında FRP çubuklar ile beton arasındaki aderansın yüksek sıcaklıktaki davranışları ile ilgili araştırmalar yapmıştır. 4 tip donatı üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 450 °C'ye kadar olan yüksek sıcaklıklara maruz kalan FRP çubukların mekanik özelliklerinde ciddi düşüşler meydana gelmektedir. 325 °C'lik sıcaklıkta, FRP çubuklar %55'lik gerilimsel dayanımlarını kaybetmiş, elastisite modüllerinde %30'luk kayıp yaşamışlardır. Bu mekanik özelliklerdeki kayıplar çeliğe nazaran FRP donatılarda daha fazla olduğunu göstermektedir [66].

Ashrafi ve arkadaşları çalışmasında FRP çubukların çap, fiber tipi, reçine tipi, fiberin matris oranı ve ısı/termal niteliklerini göz önüne alarak artırılmış sıcaklıklar altındaki fiziksel ve termal özelliklerini araştırmıştır. Sonuçlara göre fiberlerin matrise olan oranı etkisiz bir etken olarak görülmüştür. FRP çubukların 450 °C gibi bir sıcaklığa maruz kalması halinde dayanımlarında ciddi azalmalar meydana geldiği görülmüştür. İlave olarak büyük çaplı donatıların yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir [67].

Robert ve arkadaşları çalışmasında çelik donatılı elemanlardaki korozyon sorunu, betonarme yapılarda donatı olarak kullanılan FRP'ler üzerine araştırma yapmaya teşvik etmiştir. Bu makalede düşük ve yüksek sıcaklıklara bağlı olarak kumlanmış FRP donatı çubuklarının mekanik özelliklerindeki çeşitliliği değerlendirmiştir. Polimer matrisin çok yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri ciddi bir biçimde azalmıştır. FRP çubukların mekanik özellikleri ve bükülme elastikiyet katsayıları sıcaklık düştükçe artmıştır. Bu olay polimer matrisin düşük sıcaklıklar nedeniyle rijitliğinin arttığını göstermektedir. 120 °C gibi yüksek sıcaklıklarda mekanik dayanım ve eğilme modülü düşmüştür. 350 °C gibi çok daha yüksek sıcaklıklarda, polimer matrisin ısıl bozulması nedeniyle mikro

çatlaklar gözlenmiş ve bu çatlakların gerilme dayanımı ile eğilme modülü üzerinde azalışa neden olduğu tespit edilmiştir. 350 °C'deki polimer matriste önemli bozulmalar meydana gelmiştir ve %18 ağırlık kaybı oluşmuştur [68].

Katz ve arkadaşları oda sıcaklığından 250 °C'ye kadar çıkan ortamda FRP donatı çubukların aderans niteliklerini incelemiştir. Test sonuçları sıcaklığın 20 °C'den 250 °C'ye çıktığında, aderans dayanımının %80-%90 arasında azaldığını göstermektedir. Aynı şartlar altında çelik donatılar yalnızca %38'lik azalış göstermektedir [69].

Ya-nan ve arkadaşları yüksek sıcaklıklarda FRP donatıların camlaşma karbonlaşma ve ayrışma durumlarının kötüleşmiş ve mekanik özelliklerinin bozulmuş olduğunu tespit etmiştir. 350 °C'de FRP yüzeyi tamamen siyahlaşmış olur. Eğer sıcaklık 350 °C'den fazla ise gerilim dayanımı %20 veya daha fazla azalmış olur [70].

Aydın çalışmasında 74x74x4 mm ölçülerindeki pultrüzyon yöntemi ile üretilen GFRP kutu profillerin 13 farklı sıcaklıkta çekme ve basınç dayanımlarını test etmiştir. Çalışmanın sonucunda 50-75-100-125-150-175 °C'deki sıcaklıklarda %18-%25-%67-%78-%88,5-%94 mukavemet kayıpları olduğu belirlenmiştir. 100 °C dayanım kaybının yaşandığı kritik bir sıcaklıktır. 200 °C civarındaki sıcaklıklarda basınç dayanımı tamamen kaybedilmiştir [71].

3.9. FRP Kompozitlerin Yangından Korunması Amacıyla Kullanılabilecek Yöntemler

Yangın sırasında insanların binadan tahliye edilmesi ve yangının söndürülmesi için geçen sürede binanın taşıyıcı elemanlarının yeterli dayanıma sahip olması gerekir.

Gelişen teknoloji ve inşaatta doğan ihtiyaçlar sonucunda FRP kompozitlerin kullanımı artmıştır. FRP kompozitler genel olarak güçlendirme, boru, otomotiv, zemin iyileştirme, giydirme cephe gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Aynı zamanda FRP kompozitlerin taşıyıcı olarak kullanıldığı uygulamalar mevcuttur. Çeliğin korozyona uğraması, işçiliğin ağırlığı, nakliye ve yapının ağırlığını artırması gibi dezavantajlarının olması FRP kompozitlerin çeliğe göre üstün kılmaktadır. FRP kompozitlerin sıcaklığa karşı dayanımının az olması iyileştirilmesi gereken özelliklerden biridir [81].

Yangından korunum için yapılan yalıtımlar genellikle kütlesel, çevreyi sarma, kutuya alma ve korunacak malzemeyi su dolaşımı ile soğutma şeklinde yapılabilmektedir. Şekil 3.9'da yangın yalıtım uygulama çeşitleri verilmiştir.



Şekil 3.9: Yangın yalıtımı için kullanılan uygulamalar [81].

Kütlesel yalıtım genellikle malzemenin betona gömülmesi ile gerçekleştirilen yalıtım türüdür. Çevreyi sarma sistemi ile yalıtım, korunacak malzemenin dış yüzeyinin yalıtım malzemesi ile kaplanmasını esas alır. Kutuya alma (plakalar ile yalıtım) malzemeler plaka halindeki yalıtım malzemeleri ile kaplanır. Uygulamalar yapı bileşenlerine göre farklılık gösterebilir. Plakaların kalınlıkları yangın dayanım süresini artırabilmektedir. Uygulama esnasında plakalar arasındaki birleşim yerlerine dikkat edilmelidir. Ayrıca ek yerlerinin aynı malzeme ile kapatılması gerekmektedir. Bu koruma yönteminde kullanılan malzemeler genellikle alçı taşı, taş yünü, vermükülit plakalar vb. yalıtım malzemeleridir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Malzeme ve Metod

FRP kompozitlerin birçok üstün özelliklere sahip olmalarının yanında bazı eksik yönleri bulunmaktadır. Bunlardan biri yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerinde önemli ölçüde azalmaların meydana gelmesidir. Bu çalışmanın temel amacı FRP kompozitleri, mekanik özelliklerini bozacak seviyeye en uzun sürede ulaştırmaktır. Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler tanıtılmış, deney düzenekleri, ekipmanlar ve test yöntemleri açıklanmıştır.

4.1.1. Deneyde kullanılan malzemeler

4.1.1.1. FRP kompozitler

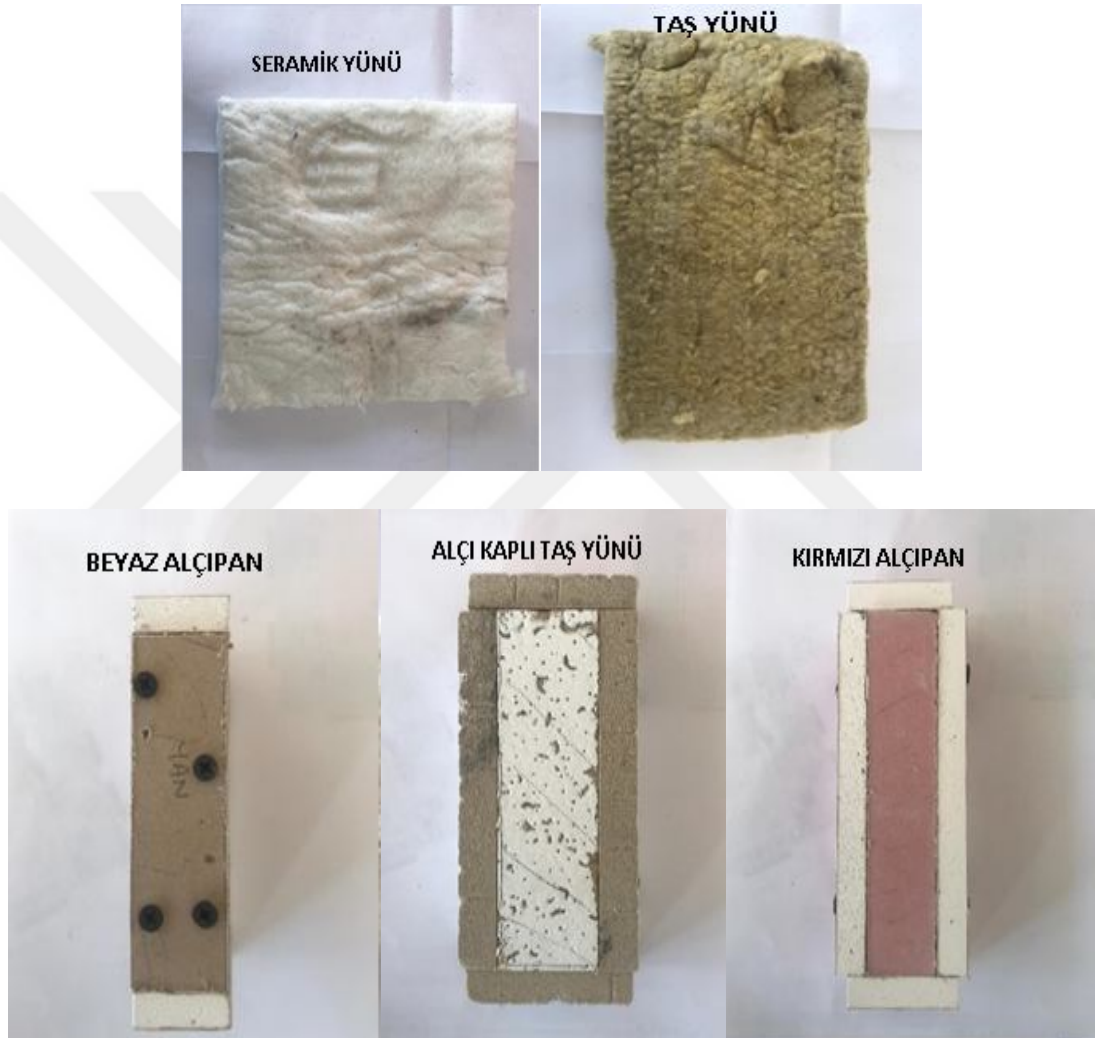
Deneylerde kullanılan FRP kompozitler (Şekil 4.1) istenilen şekil ve boyutlarda üretilebilen, özgül ağırlığı düşük, kopma dayanımı yüksek, yüksek elektriksel yalıtkanlığa sahip, yüksek ısı ve su izolasyonuna sahip yeni nesil yapı malzemelerindendir.



Şekil 4.1: FRP kompozit.

4.1.1.2. Yangın yalıtım malzemeleri

Yapılan deneylerde kullanılan yangın yalıtım malzemeleri (Şekil 4.2), 12,5 mm kalınlığında 9-9,5 kg/m² ağırlığında beyaz alçıpan, 12,5 mm kalınlığında 9,5-10,5 kg/m² ağırlığında kırmızı alçıpan, 3 cm kalınlığında 50 kg/m³ yoğunluğa sahip taş yünü, 3 cm kalınlığında 100-150 kg/m³ yoğunluğa sahip seramik yünü ile 12 mm kalınlığında alçı kaplı taş yünü panelidir.



Şekil 4.2: Yangın yalıtım malzemeleri.

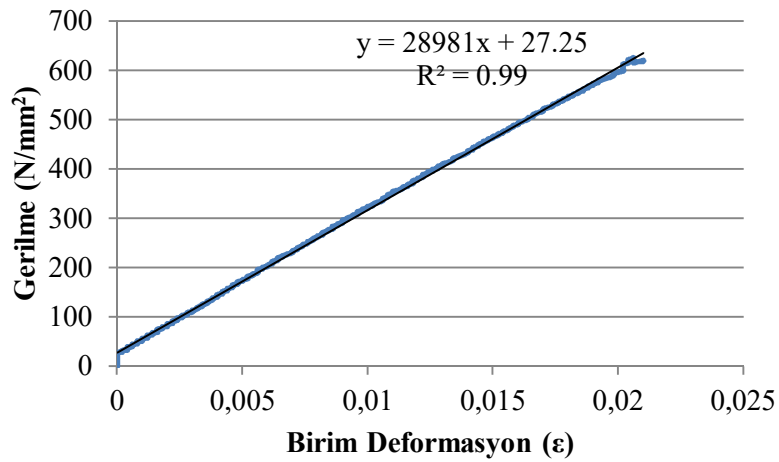
4.1.2. Deneysel çalışmalar

FRP kompozitlerin malzeme özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılan deneysel çalışmalar; FRP kompozit malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ve FRP kompozitlerin zamana bağlı sıcaklık değişimlerinin incelenmesi olarak iki gruba ayrılmıştır. Yangın yalıtım malzemeleri deney değişkeni olarak kullanılmış ve bu malzemeler ile kutuya alma işlemi uygulanıp, FRP kompozitlerin zamana bağlı sıcaklık değişimi incelenip karşılaştırmalar yapılmıştır.

FRP kompozitlerin malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deney sonuçlarına göre FRP kompozitlerin birim ağırlığı 1,75 g/cm³, özgül ağırlığı 1,80 gr/cm³, elastisite modülü 29500 N/mm² ve çekme dayanımı 555 N/mm² olarak bulunmuştur (Tablo 4.1). Çekme deneyine ait birim deformasyon – gerilme grafiği Şekil 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.1 : FRP Kompozitlerin Malzeme Özellikleri.

Birim Ağırlık	1,75 g/cm ³
Özgül Ağırlık	1,8 g/cm ³
Elastisite Modülü	29500 N/mm ²
Çekme Dayanımı	555 N/mm ²



Şekil 4.3: Çekme deneyi grafiği.

FRP kompozitlerin zamana bağılı sıcaklık değişimlerinin incelenmesi için yapılan deneysel çalışmada öncelikle 20x100x5 mm boyutlarındaki 5 adet FRP kompozit numune hazırlanır (Şekil). 12,5 mm kalınlığındaki beyaz alçıpan, kırmızı alçıpan ve alçı kaplı taş yünü alçıpan vidası ile dikdörtgen kutu olarak birleştirilir (Şekil). FRP kompozit numunenin yüzeyine K problu termometrenin bir ucu alüminyum folyo bant ile yapıştırılarak yangın yalıtım malzemeleri ile oluşturulan kutu içerisine yerleştirilir. Isı geçişini engellemek amacıyla tüm birleşim yerleşim yerleri alçı ile kapatılır. Probun diğer ucu yalıtım malzemesinin yüzeyine yerleştirilir. Kalan 2 adet FRP kompozit numunenin yüzeyinde prob yerleştirilerek ayrı ayrı 3 cm kalınlık 50 kg/m³ yoğunluktaki taş yünü ve 3 cm kalınlık 100-150 kg/m³ yoğunluktaki seramik yünü ile sarılır (Şekil). Taş yünü ve seramik yünü FRP kompozite sarıp birleştirmek, ısı geçişini önlemek amacıyla alüminyum folyo bant ile yüzey kaplanır. Diğer numunelerde olduğu gibi probun bir ucu yalıtım malzemesinin yüzeyine yerleştirilir. Bir diğer probun ucu ortam sıcaklığının ölçülmesi için fırın içerisine ucu havada olacak şekilde sabitlenir. Her deney numunesi tek tek fırın içerisine yerleştirilerek 3 adet prob ucu bağılı termometre yardımıyla yalıtım malzemesi, yalıtım malzemesinin içerisinde yer alan FRP kompozit ve ortam sıcaklığının zamana bağılı olarak sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir. Deney süreleri ortalama 23-75 dk aralığındadır. Fırın sıcaklığı maksimum 500 °C dereceye kadar yükseltilmiştir.

Beyaz alçıpan, FRP kompozit ve ortamın zamana bağılı sıcaklık değişimi Tablo 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.4'de deney sonrası beyaz alçıpan ile korunmuş FRP kompozit, Şekil 4.5'de fırından çıkarılmış FRP kompozitin görseli yer almaktadır.

Tablo 4.2 : Beyaz alçıpan ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.

BEYAZ ALÇIPAN			
ZAMAN (dk)	FRP (°C)	BEYAZ ALÇIPAN(°C)	ORTAM (°C)
0	19	22,7	29,5
1	20	28,4	40,7
2	21	35,5	52,1
3	22	43,7	63,8
4	25	52,4	75,2
5	29	61,8	87,1
6	35	71,6	99,9
7	43	81,5	111,3
8	51	91,5	121,4
9	60	101,3	161,7
10	68	122,6	181,3
12	77	141	200
13	79	148,8	211
15	82	158,8	224
18	91	172,2	246
20	100	178,4	259
22	107	193,7	271
23	109	200	277
24	111	208	282
25	113	217	288
26	115	218	294
27	116	224	300
28	117	229	305
29	117	236	313
30	118	244	319
32	119	257	333
34	119	268	345
36	121	280	355
38	124	293	364
40	130	309	372
42	140	330	380
44	162	369	388
46	198	424	395
48	263	456	404
50	336	452	411
52	406	460	420
54	443	471	428
56	490	479	436
58	531	483	443
60	565	496	449
65	648	502	465
70	713	510	479
75	750	517	493



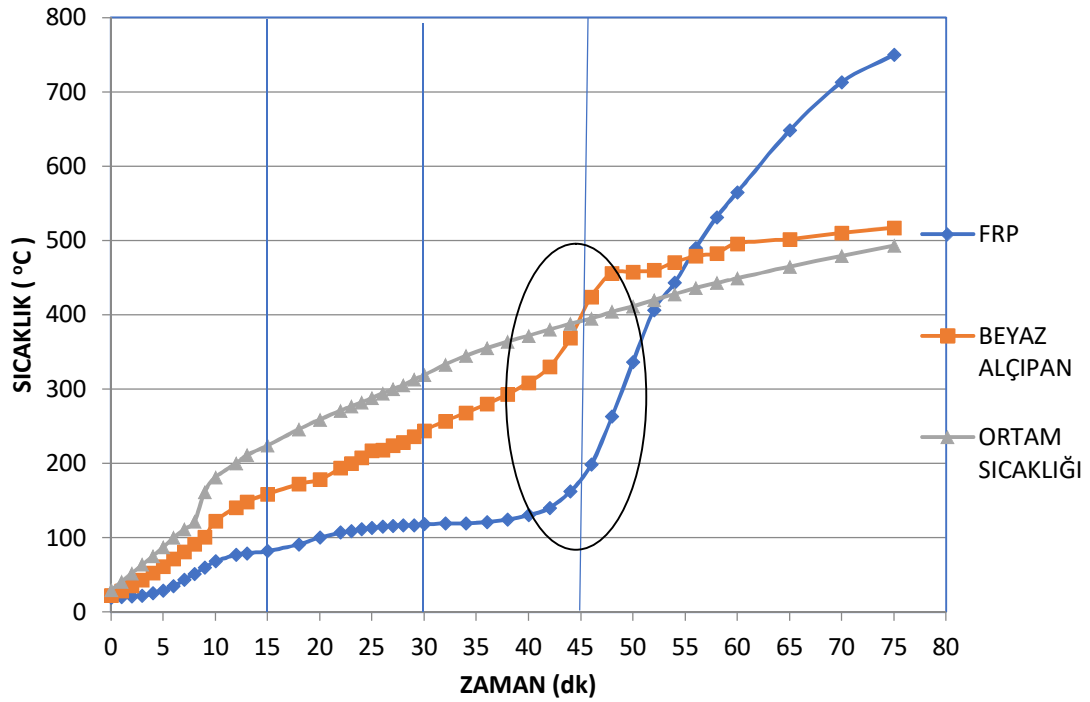
Şekil 4.4: Deney sonrası alçıpan ile korunmuş FRP kompozit.



Şekil 4.5: Fırından çıkarılmış alçıpan ile korunmuş FRP kompozit.

Şekil 4.6'da verilen grafikte görüldüğü gibi 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 82 °C derece iken, beyaz alçıpan yüzeyi 158,8 °C derece, ortam sıcaklığı ise 224 °C derece olarak ölçülmüştür. 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %36'sı kadardır. 30. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 118 °C derece iken, beyaz alçıpan yüzeyi 224 °C derece, ortam sıcaklığı 319 °C derece olarak ölçülmüştür. 30.dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %36'sı

kadardır. 45. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 180 °C derece iken, alçıpan yüzeyi 397 °C derece, ortam sıcaklığı 392 °C derece olarak ölçülmüştür. 45. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %45'i kadardır. FRP kompozitin fiziksel ve kimyasal deformasyona uğradığı 124 °C derece sıcaklığa 38. dakikada ulaşmıştır. Beyaz alçıpan 40-45. dakika aralığında koruma işlevini yitirmiştir. 54. dakikada FRP kompozitin sıcaklığının ortam sıcaklığından fazla olduğu gözlemlenmiştir, bu da 54. dakikada FRP kompozitin yanmış olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4.6: Beyaz alçıpan ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği.

Kırmızı alçıpan, FRP kompozit ve ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimi Tablo 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.7'de kırmızı alçıpan ile kaplanmış FRP kompozit ve prob bağlantıları, Şekil 4.8'de deney sonrası kırmızı alçıpan ile kaplı FRP kompozit görseli yer almaktadır.

Tablo 4.3 : Kırmızı alçıpan ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.

KIRMIZI ALÇIPAN			
ZAMAN (dk)	FRP (°C)	KIRMIZI ALÇIPAN (°C)	ORTAM (°C)
0	14	16	14,5
1	14	18,2	22,7
2	14	21	31,7
3	14	25,9	44,8
4	16	31,8	58,5
5	17	38,2	71,9
6	21	45,2	84,5
7	26	52,7	97
8	32	60,8	108,5
9	39	69,4	119,5
10	48	78,1	129,5
11	56	87,6	138,7
12	63	96,8	147,5
13	72	105,6	156,7
14	77	113,8	164,7
15	81	121,6	172,5
16	84	128,2	179,7
17	86	133,8	187,1
18	89	138	194,5
19	92	140,1	201
20	99	140,8	210
21	104	141	219
22	108	141,5	220
23	111	142,4	225
24	114	143,9	231
25	116	145,6	237
26	117	148,2	242
27	118	151,6	248
28	119	155,5	254
29	120	160,6	259
30	120	166,7	264
32	121	176,6	275
34	121	185,2	285
36	122	192,9	295
38	123	199,9	305
40	124	211	314
42	126	219	323
44	132	234	332
46	142	246	341
48	160	264	350
50	190	293	359
52	233	351	368
54	287	435	376



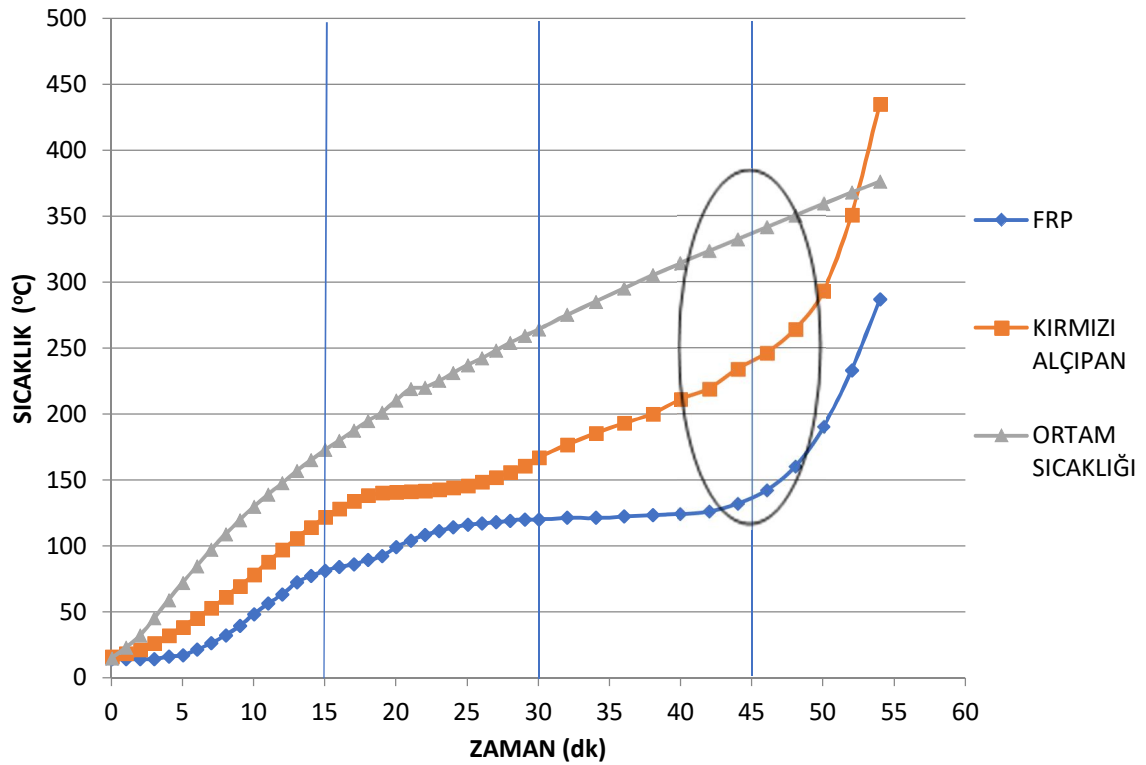
Şekil 4.7: Kırmızı alçıpan ile kaplanmış FRP kompozit ve prob bağlantıları.



Şekil 4.8: Deney sonrası kırmızı alçıpan ile kaplanmış FRP kompozit.

Şekil 4.9’da verilen grafikte görüldüğü gibi 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 81 °C derece iken, kırmızı alçıpan yüzeyi 121,6 °C derece, ortam sıcaklığı ise 172,5 °C derece olarak ölçülmüştür. 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı

ortam sıcaklığının %46'si kadardır. 30. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 120 °C derece iken, kırmızı alçıpan yüzeyi 166,7 °C derece, ortam sıcaklığı 264 °C derece olarak ölçülmüştür. 30. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %46'i kadardır. 45. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 137 °C derece iken kırmızı alçıpan yüzeyi 240 °C derece, ortam sıcaklığı 337 °C derece olarak ölçülmüştür. 45. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %52'si kadardır. 41.dakikada kırmızı alçıpan koruma işlevini yitirmiş, FRP'nin sıcaklığı 125 °C dereceye ulaşmış fiziksel ve kimyasal deformasyona uğramıştır.



Şekil 4.9: Kırmızı alçıpan ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği.

Seramik yünü, FRP kompozit ve ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimi Tablo 4.4'de verilmiştir. Şekil 4.10'da seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozit, Şekil 4.11'de deney sonrası seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozit görseli yer almaktadır.

Tablo 4.4 : Seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.

SERAMİK YÜNÜ			
ZAMAN (dk)	FRP (°C)	SERAMİK YÜNÜ (°C)	ORTAM (°C)
0	20	38,9	36,4
2	24	60,7	79
4	31	89,2	104,3
6	38	118,1	134
8	46	145,8	158,9
10	52	170,4	180,2
11	55	182,7	190,4
12	58	194,1	199,5
13	63	207	211
14	69	215	216
15	75	225	224
16	82	234	232
17	89	243	239
18	96	252	249
19	103	260	253
20	110	268	260
21	118	276	266
22	125	284	271
23	133	291	277
24	141	298	283
25	149	305	289
26	157	312	294
27	164	318	300
28	172	326	305
29	179	332	310
30	187	340	315
32	201	355	325
34	216	370	335
36	230	383	345
38	245	394	355
40	259	405	364
42	272	416	374
44	286	426	383
46	299	436	391
48	311	446	400
50	322	457	408
52	333	469	416
54	345	486	424
56	355	516	431
58	366	546	439
60	376	562	447
65	416	603	469
70	482	567	489



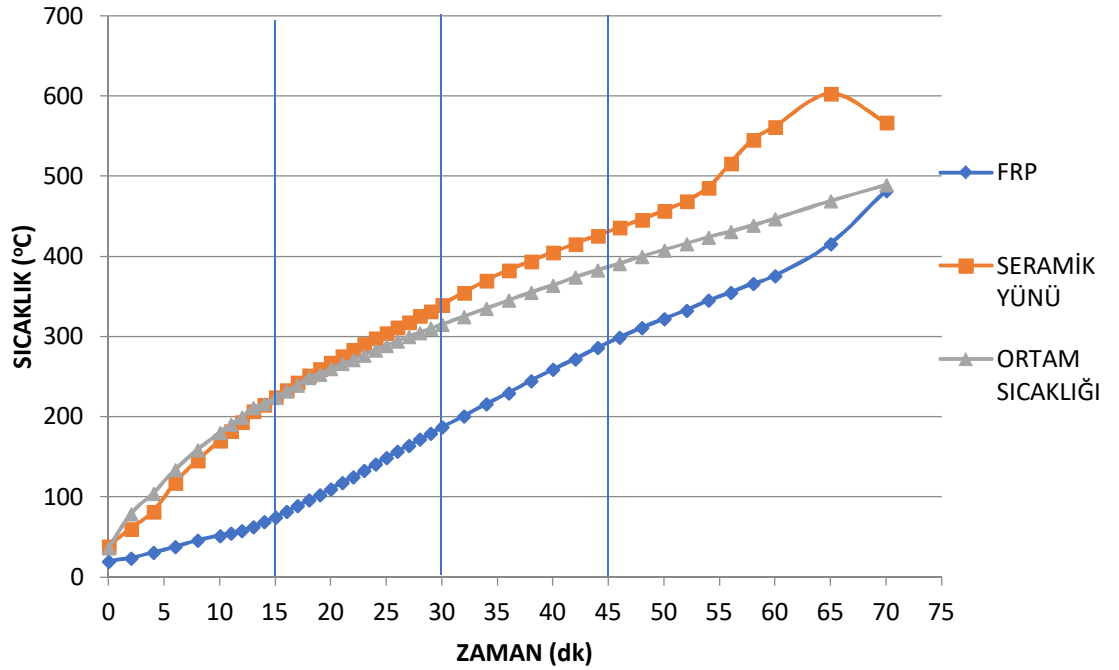
Şekil 4.10: Seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozit.



Şekil 4.11: Deney sonrası seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozit.

Şekil 4.12’de verilen grafikte görüldüğü gibi 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 75 °C derece iken, seramik yünü yüzeyi 225 °C derece, ortam sıcaklığı ise 224

°C derece olarak ölçülmüştür. 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %33'ü kadardır. 30. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 187 °C derece iken, seramik yünü yüzeyi 340 °C derece ortam sıcaklığı 315 °C derece olarak ölçülmüştür. 30. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %59'u kadardır. 45. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 294 °C derece iken, seramik yünü yüzeyi 431 °C derece, ortam sıcaklığı 387 °C derece olarak ölçülmüştür. 45. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %76'sı kadardır. 15. dakikada seramik yünü yüzeyinin sıcaklığı ortam sıcaklığını geçmiştir. Bunun sebebi yalıtım malzemesinin yüzeyinin yanmasıdır. 22. dakikada seramik yünü koruma işlevini yitirmiş, FRP'nin sıcaklığı 125 °C'ye ulaşmış, fiziksel ve kimyasal deformasyona uğramıştır.



Şekil 4.12: Seramik yünü ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı sıcaklık değişimi.

Taş yünü, FRP kompozit ve ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimi Tablo 4.5'de verilmiştir. Şekil 4.13'de taş yünü ile kaplanmış FRP kompozit, Şekil 4.14'de deney sonrası taş yünü ile kaplanmış FRP kompozit görseli yer almaktadır.

Tablo 4.5 : Taş yünü ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.

TAŞ YÜNÜ			
ZAMAN (dk)	FRP (°C)	TAŞ YÜNÜ (°C)	ORTAM (°C)
0	22	27,8	67,5
1	27	37,2	84,4
4	45	66,9	124,4
6	57	86,3	151,5
8	68	107,6	175,8
10	78	129,1	195,1
11	86	140,2	205
12	94	150,5	217
13	102	161,2	220
14	110	171,4	228
15	118	180,9	236
16	127	191,4	244
17	135	199,7	250
18	144	212	257
19	152	217	264
20	160	225	270
21	169	233	277
22	177	241	282
23	185	250	288
24	193	258	294
25	202	267	300
26	209	275	305
27	217	284	311
28	225	293	316
29	233	302	322
30	241	311	327
32	256	328	337
34	272	341	347
36	289	352	357
38	305	362	366
40	320	373	375
42	334	384	384
44	348	395	394
46	364	406	403
48	379	417	412
50	391	428	420
52	399	437	430
54	406	446	440
56	414	455	448
58	424	466	456
60	439	478	464
65	478	512	479



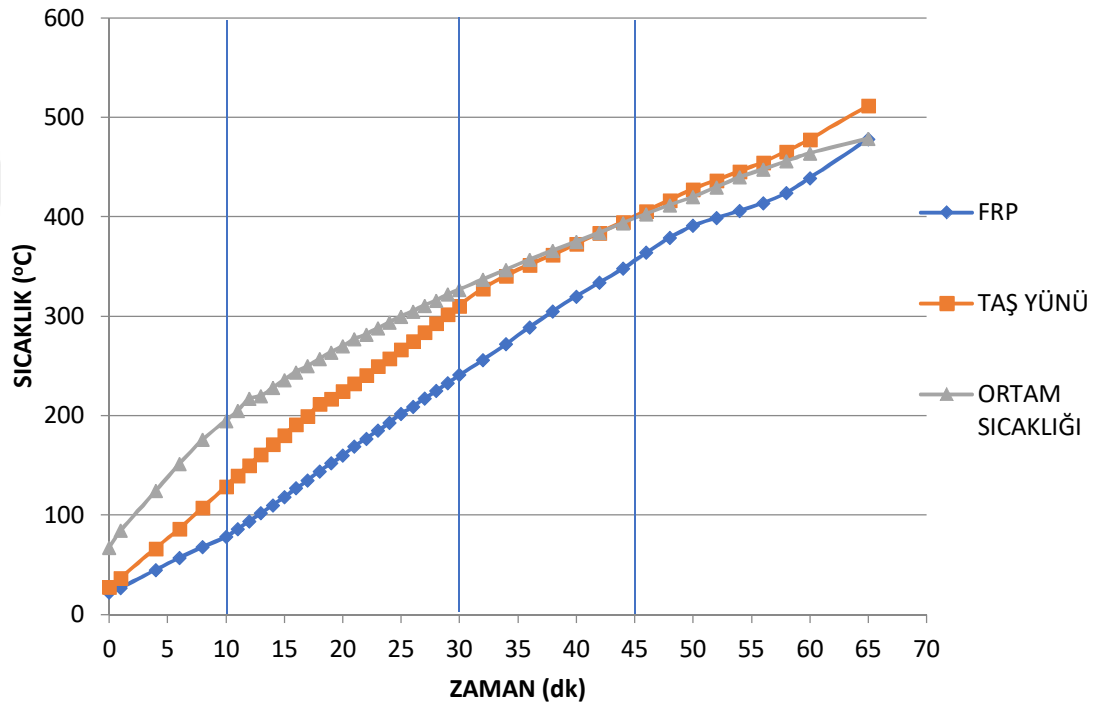
Şekil 4.13: Taş yünü ile kaplanmış FRP kompozit.



Şekil 4.14: Deney sonrası taş yünü ile kaplanmış FRP kompozit.

Şekil 4.15’de verilen grafikte görüldüğü gibi 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 118 °C derece iken, taş yünü yüzeyi 181 °C derece, ortam sıcaklığı 236 °C derece olarak ölçülmüştür. 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %50’si kadardır. 30. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 241 °C

derece iken, taş yünü yüzeyi 311 °C derece, ortam sıcaklığı 327 °C derece olarak ölçülmüştür. 30. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %74'ü kadardır. 45. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 356 °C derece iken, taş yünü yüzeyi 400 °C derece, ortam sıcaklığı 399 °C derece olarak ölçülmüştür. 45. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %90'ı kadardır. 15. dakikada taş yünü koruma işlevini yitirmiş, FRP'nin sıcaklığı 127 °C'ye ulaşmış fiziksel ve kimyasal deformasyona uğramıştır.



Şekil 4.15: Taş yünü ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı değişim grafiği.

Alçı taş yünü, FRP kompozit ve ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimi Tablo 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.16'da alçı kaplı taş yünü ile kaplanmış FRP kompozit görseli yer almaktadır.

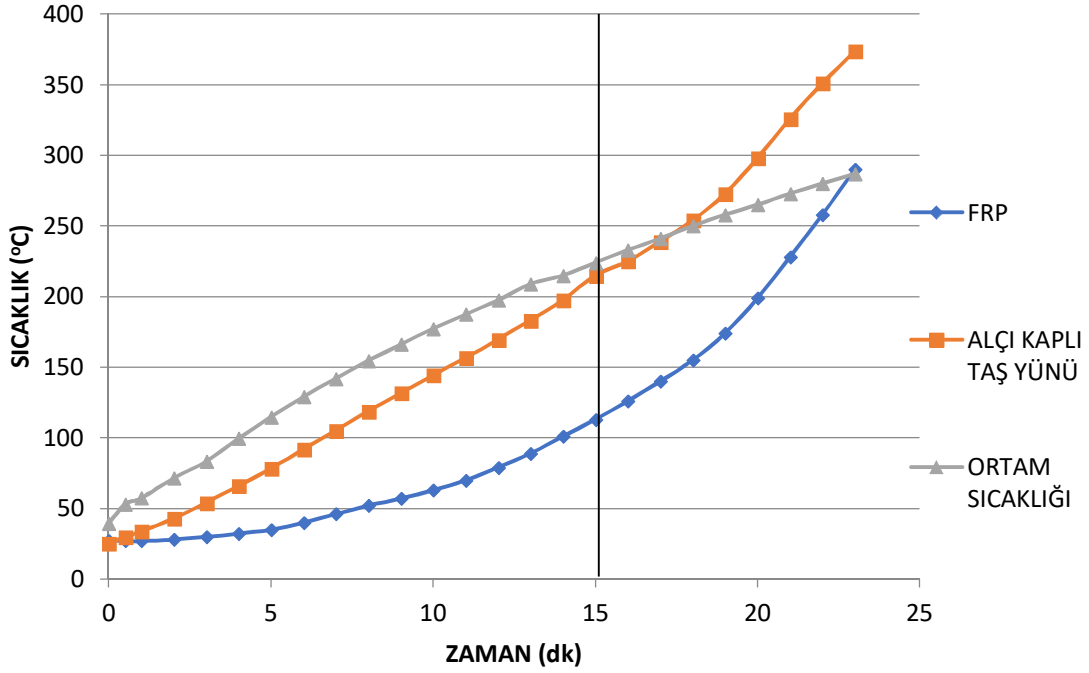
Tablo 4.6 : Alçı kaplı taş yünü ile kaplanmış FRP kompozitlerin sıcaklık değişimi.

ALÇI KAPLI TAŞ YÜNÜ			
ZAMAN (dk)	FRP (°C)	ALÇI KAPLI TAŞ YÜNÜ (°C)	ORTAM (°C)
0	27	25,4	39,3
0,5	27	29,9	52,9
1	27	33,8	57,4
2	28	42,9	71,4
3	30	54,1	83,3
4	32	66	99,5
5	35	78,3	114,8
6	40	92	129
7	46	105,2	142
8	52	118,8	154,6
9	57	131,7	166,2
10	63	144,4	177,4
11	70	156,7	187,4
12	79	169,6	197,4
13	89	183,3	209
14	101	197,6	215
15	113	215	224
16	126	225	233
17	140	239	241
18	155	254	250
19	174	273	258
20	199	298	265
21	228	326	273
22	258	351	280
23	290	374	287



Şekil 4.16: Alçı kaplı taş yünü ile kaplanmış FRP kompozit.

Şekil 4.17’de verilen grafikte görüldüğü gibi 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı 113 °C derece iken, taş yünü yüzeyi 215 °C derece, ortam sıcaklığı 224 °C derece olarak ölçülmüştür. 15. dakikada FRP kompozitin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının %50’si kadardır. 16.dakikada alçı kaplı taş yünü koruma işlevini yitirmiş, FRP’nin sıcaklığı 126 °C dereceye ulaşp, fiziksel ve kimyasal deformasyona uğramıştır. 23.dakikada FRP’nin sıcaklığı ortam sıcaklığı geçmeye başlamıştır.



Şekil 4.17: Alçı kaplı taş yünü ile kaplanmış FRP kompozitin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği.

Tablo 4.7’de 15, 30 ve 45.dakikada yangın yalıtım malzemeleri ile korunan FRP kompozitlerin sıcaklığının ortam sıcaklığına oranı verilmiştir. Kullanılan yangın yalıtım malzemelerini 15.dakikaya göre kıyasladığımızda en fazla korumayı seramik yünü, beyaz alçıpan, kırmızı alçıpan, taş yünü ve alçı kaplı taş yünü sağlamıştır. 30. ve 45.dakikaya göre kıyasladığımızda en fazla korumayı beyaz alçıpan, kırmızı alçıpan, seramik yünü ve taş yünü sağlamaktadır. Alçı kaplı taş yünü ile yapılan deneyde 23.dakikada FRP’nin sıcaklığı ortam sıcaklığını geçmeye başladığından kıyaslamaya dahil edilmemiştir.

Tablo 4.7: 15,30 ve 45.dakikada yangın yalıtım malzemeleri ile korunan FRP kompozitlerin sıcaklığının ortamın sıcaklığına oranı.

YALITIM MALZEMESİ	15.DAKİKA	30.DAKİKA	45.DAKİKA
Beyaz Alçıpan	%36	%36	%45
Kırmızı Alçıpan	%46	%46	%52
Seramik Yünü	%33	%59	%76
Taş Yünü	%50	%74	%90
Alçı Kaplı Taş Yünü	%50	-	-

Tablo 4.8’de yangın yalıtım malzemeleri ile korunan FRP kompozitlerin 125 °C’ye ulaşp fiziksel ve kimyasal deformasyona uğradığı zamanlar gösterilmiştir. Bu tabloya bakılarak en fazla korumayı sırası ile kırmızı alçıpan, beyaz alçıpan, seramik yünü ve alçı kaplı taş yünü ve taş yünü sağlamıştır.

Tablo 4.8 : Yangın yalıtım malzemeleri ile korunan FRP kompozitlerin 125 °C dereceye ulaştığı zaman.

YALITIM MALZEMESİ	ZAMAN (dk)
Beyaz Alçıpan	38
Kırmızı Alçıpan	41
Seramik Yünü	22
Taş Yünü	15
Alçı Kaplı Taş Yünü	16

Tablo 4.9’da deneylerde kullanılan yangın yalıtım malzemelerinin m² fiyatları yer almaktadır. Yalıtım malzemelerini fiyat – performans olarak kıyasladığımızda en uygun yalıtım malzemesi sırası ile beyaz alçıpan, kırmızı alçıpan, seramik yünü, alçı kaplı taş yünü ve taş yünüdür.

Tablo 4.9 : Yangın yalıtım malzemeleri maliyeti

YALITIM MALZEMESİ	FİYAT
Beyaz Alçıpan	6,50 TL/m ²
Kırmızı Alçıpan	10 TL/m ²
Taş Yünü	7,50 TL/m ²
Seramik Yünü	38 TL/m ²
Alçı Kaplı Taş Yünü	37,5 TL/m ²

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

- FRP kompozitlerin özgül ağırlığının düşük olması, boya bakım gerektirmemesi, kopma, basma, çekme, darbe ve yorulma dayanımlarının fazla olması gibi avantajlarından dolayı gün geçtikçe kullanımları giderek artmaktadır. Bunun ile birlikte FRP kompozitlerin yangına karşı dayanımının az olması büyük önem arz etmektedir ve bu dezavantaj göz ardı edilmemelidir.
- Deney sonuçlarına bakacak olursak, yalıtım malzemelerinin FRP kompozitlerin ortam sıcaklığına ulaşma sürelerini uzattığı görülmektedir. Bu sürelerin uzunluğu kullanılan yalıtım malzemelerine göre farklılık göstermektedir.
- Beyaz alçıpan ile korunan FRP'nin yüzey sıcaklığı 15. dakikada ortam sıcaklığının %36'sı iken, 30. dakikada %36, 45. dakikada %45'i kadardır. 38. dakikada FRP kompozitin sıcaklığı 125 °C dereceye ulaşmış, fiziksel ve kimyasal deformasyona maruz kalmıştır. 54. dakikada FRP kompozit yanmıştır.
- Kırmızı alçıpan ile korunan FRP'nin yüzey sıcaklığı 15.dakikada ortam sıcaklığının %46'sı iken, 30. dakikada %46, 45. dakikada %52'si kadardır. 41. dakikada FRP kompozitin sıcaklığı 125 °C dereceye ulaşmış, fiziksel ve kimyasal deformasyona maruz kalmıştır.
- Seramik yünü ile korunan FRP'nin yüzey sıcaklığı 15.dakikada ortam sıcaklığının %33'ü iken, 30. dakikada %59, 45. dakikada %76'sı kadardır. Ayrıca 15. dakikada seramik yünü yüzeyinin sıcaklığı ortam sıcaklığını geçmiş, 22. dakikada FRP kompozitin sıcaklığı 125 °C dereceye ulaşmış, fiziksel ve kimyasal deformasyona maruz kalmıştır.
- Taş yünü ile korunan FRP'nin yüzey sıcaklığı 15.dakikada ortam sıcaklığının %50'si iken, 30. dakikada %74, 45.dakikada %90'ı kadardır. 15. dakikada FRP kompozitin sıcaklığı 125 °C dereceye ulaşmış, fiziksel ve kimyasal deformasyona maruz kalmıştır.

- Alçı kaplı taş yünü ile korunan FRP'nin yüzey sıcaklığı 15.dakikada ortam sıcaklığının %50'si kadardır. 16. dakikada FRP kompozitin sıcaklığı 125 °C dereceye ulaşmış, fiziksel ve kimyasal deformasyona maruz kalmıştır. 23. dakikada FRP'nin sıcaklığı ortam sıcaklığı geçmeye başlamış, FRP kompozit yanmıştır.
- Kullanılan yangın yalıtım malzemelerini 15. dakikaya göre kıyasladığımızda en fazla korumayı seramik yünü, beyaz alçıpan, kırmızı alçıpan, taş yünü ve alçı kaplı taş yünü sağlamıştır. 30. ve 45. dakikaya göre kıyasladığımızda en fazla korumayı beyaz alçıpan, kırmızı alçıpan, seramik yünü ve taş yünü sağlamaktadır.
- FRP kompozitlerin 125 °C dereceye ulaşp fiziksel ve kimyasal deformasyona uğradığı zamanlar kıyaslandığında en fazla korumayı sırası ile kırmızı alçıpan, beyaz alçıpan, seramik yünü ve alçı kaplı taş yünü ve taş yünü sağlamıştır.
- Yalıtım malzemelerini fiyat – performans olarak kıyasladığımızda en uygun yalıtım malzemesi sırası ile beyaz alçıpan, kırmızı alçıpan, seramik yünü, alçı kaplı taş yünü ve taş yünüdür.

KAYNAKLAR

- [1] Url-1 <<https://www.trthaber.com/haber/turkiye/istanbulda-yangin-canaldi-84065.html>>
- [2] Sika Brochure, Sika Services AG, Corporate Construction, <http://www.sika.com>, (2011)
- [3] Hall, R., 1998. Essentials of Fire Fighting. Fourth Edition. Stilwater, OK: Fire Protection Publications.
- [4] Url-2 <<https://steemit.com/tr@pepegusi/taksim-egitim-ve-arastirma-hastanesi-nde-yangin>>
- [5] Url-3 <<http://www.jjay.cuny.edu/coursedocuments/unit1>> (2005)
- [6] Url-4 <<https://www.saglam.com/yangin-yayilimi-ve-tehlikeleri/>>
- [7] Url-5 <<http://www.firesafetyinfo.org/Environment>> (2005)
- [8] Egan, M.D., “Consepts in Building Firesafety”, Jhon Wiley&Sons, Inc., New York, USA, 2-10, 38-50, 180-203 (1978).
- [9] Chitty, R., Mitchell, J. F., “Fire Safety Engineering A ReferenceGuide” Building Research Establishment, London, 2-30, 44-54 (2003).
- [10] Careter, H., “Fire Fighting Strategy and Tastisc. Fire Protection Publications” Oklohoma State University, USA (1998).
- [11] Küçük, S., “Yanma Sırasında Oluşan Yanma Ürünleri ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 7-69 (2001).
- [12] Url-6 <<http://www.jjay.cuny.edu/course documents/unit 1>> (2005)
- [13] Shields, T. J., Silcock, G. W. H., “Buildings and Fire”, Longman Scientific & Tecnical , England, 64-110, 290-295 (1987)
- [14] “TS EN 2-Yangınların Sınıfları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,3-4 (1998).
- [15] “TS EN 2/A1-Yangın Sınıfları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (25.04.2013)
- [16] Cibse, Guide, E., “Fire Engineering”, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London (1997).
- [17] Url-7 <<http://www.gazetevatan.com/gaz-ve-dumana-maruz-kalanlar-ne-yapmali--1057881-saglik/>>
- [18] Url-8 <<http://www.haberalanya.com.tr/alanya/yangindan-kacis-h5549.html>>
- [19] Url-9 <<http://www.materials.org.uk>> (2005).

- [20] Eriç, M., “Yapı Fiziği ve Malzemesi”, Mimar Sinan Üniversitesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 160-164, 207-333 (2002).
- [21] Toydemir, N., Gürdal E., Tanaçan, L., "Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme", İTÜ Mimarlık Fakültesi, Literatür Yayıncılık, 74-83, 305 (2000).
- [22] Lie, T. T. “Energy Conservation İn Buildins” Fire Protection Handbook, National Fire Protection Association Quincy, Massachusetts, 16: 156-162 (2002).
- [23] Hadjisophocleous, G., Benichou, N., “Fire Safety Design Guidelines For Federal Buildings”, National Fire Laboratory, National Research Council, Canada, 15-96 (1996).
- [24] Url-10 <<https://www.agacdelenyapi.com/Yangin-Yalitimi-Nedir/18>>
- [25] Berkmen, G., Güney, S., Turanlı, İ., Akıncıtürk, N., Işık, F., Özkaya, A., EKİM 2000, Yangın Güvenlik Kongresi Bildiriler Kitabı, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 111s.
- [26] Bryan, J. L., “Cape Durasteel”, Fire Protection Handbook, National Fire Protection Association Quincy, Massachusetts, 16: 23-26 (2002).
- [27] Fitzgerald, R. W., “Structural Integrity During Fire” Fire Protection Handbook , National Fire Protection Association Quincy, Massachusetts, 16: 82-105 (2002).
- [28] Çobanoğlu E., “Çelik İskelet Strüktürlerde Yangın Korunumu”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 44-48 (2003).
- [29] Gönüllüoğlu, S. (2008). “Yangınla İlgili Mevzuatlar Çerçevesinde Yüksek Ofis Binalarında Kaçış Yollarının Analizi ve Bir Örnek Çalışma.” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [30] Kılıç, A. ve Beceren, K. (1999, Kasım). Mimari Tasarımda Yangın Güvenliği. 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- [31] Fitzgerald, R. W., “Structural Integrity During Fire” Fire Protection Handbook, National Fire Protection Association Quincy, Massachusetts, 16: 82-105 (2002).
- [32] Url-11 <<https://trimbox.com.tr/yangin-merdiveni>>
- [33] Url-12 <http://www.yanginguvenlik.com.tr/yayin/863/-yangin-sirasinda-binanin-dis-duvar-izolasyonlari-icinden-alev-transferi-_24992.html>
- [34] Url-13 <<http://uzuninsaat.com.tr/urun/411/>>
- [35] Başdemir, H., Demirel, F., 2010 "Binalarda Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması" Politeknik Dergisi, Cilt 13, (2): 101-109.
- [36] G.Bayer, “Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri ve Örnek Bir Projede Isı Yalıtım Analizi” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2006
- [37] Url-14 <<https://www.kucukdeveci.com.tr/camyunu-izocam/>>
- [38] Url-15 <<http://www.hayercati.com/cati-isi-yalitimi>>
- [39] Url-16 <<https://www.kucukdeveci.com.tr/tasyunu-50-yog-3-cm/>>
- [40] Url-17 <<https://www.izocam.com.tr/f31-manto-tasyunu.html>>
- [41] Şimşek S., "Yangın Yalıtımcısı", Ankara, 2012.

- [42] Url-18 <<http://www.atestugla.com.tr/kalsiyum-silikat-bordlar.html>>
- [43] Url-19 <<https://www.izotermmuhendislik.com.tr/icerik/45/cam-kopugu>>
- [44] Url-20 <<http://www.teknoseramik.com/?sec=15&ustcatid1=159&ustcatid=159>>
- [45] Topçu, İ.B., 2005, Horasan harç ve betonun özellikleri, Yapı Mekaniği Semineri, 96-103.
- [46] Kahraman, F., 1999, Isı tutucu malzemeler ve yangınlarda uygulama olanaklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 172 s.
- [47] Url-21 <<https://www.ikininkaresi.com/tarim-perliti-50-lt-genlestirilmis-perlit>>
- [48] Url-22 <<http://www.nuryapi.com.tr/alcipan-nedir-4-0>>
- [49] Url-23 <<http://www.nuryapi.com.tr/alcipan-nedir-4-0>>
- [50] Url-24 <<http://www.ar-sucan.com/tr/portfolio-items/seramik-yunu/>>
- [51] Halit Yaşa Ersoy, 2001, Kompozit Malzeme kitabı, Ankara, 111s.
- [52] Url-25 <<http://tr.gfrp-china-es.com/frp-profiles/fiberglass-profiles/high-strength-frp-pultruded-composite.html>>
- [53] Çelik, A., 2001. Fiber Takviyeli Polimer ve Mühendislik Yapılarında Kullanım Alanları. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [54] Seçer O., 2008. Yüksek Sıcaklık Etkisinden Hasar Görmüş Lifli, Hava Sürükleyici Katkılı ve Perlit Agregalı Betonların Dayanım Özellikleri ve GFRP ile Onarımı ve Güçlendirilmesi. Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [55] Url-26 <<https://afzir.com/tr/what-is-frp/>>
- [56] Url-27 <<http://www.turkchem.net/karbon-elyaf-takviyeli-malzeme.html>>
- [57] Url-28 <<https://afzir.com/tr/what-is-frp/>>
- [58] Url-29 <<http://tr.atgfrp.com/fibre-polymer-rebar/glass-fibre-polymer-rebar/glass-fiber-composite-polymer-composite.html>>
- [59] Aydın F., 2011, Cam lifi takviyeli plastik (GFRP) kompozit ve beton ile üretilen hibrit yapı elemanlarının mekanik performansının araştırılması. Sakarya.
- [60] Url-30 <www.strongwell.com> (2009).
- [61] Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000.
- [62] Sarıbiyık M., Elmas M., Özdemir S., Ünal H., Çağlar N. ve Aydın F., TÜBİTAK Sonuç raporu, Sera Tasarımında Pultrüzyon Metoduyla Üretilen Cam Fiber Takviyeli Plastiklerin Kullanılması, Sakarya, Şubat 2008.
- [64] Yavuz, G., (2011) "Lif takviyeli polimerlerin betonarme kirişlerde donatı olarak kullanımı", Engineering Sciences, vol. 6, no. 4 pp, 1001-1011
- [65] Carvelli, V., Pisani, M.A., and Poggi, C. (2013) "High Temperature Effects on Concrete Members Reinforced with GFRP Rebars" *Sciverse Science Direct , Composites Part B* 54 pp. 125-132.

- [66] Hamad, R., Johari, M.A., and Haddad, R. (2017) "Mechanical Properties and Bond Characteristics of Different Fiber Reinforced Polymer Rebars at Elevated Temperatures" *Construction and Building Materials* 142 pp. 521-535.
- [67] Ashrafi, H., Bazli, M., Najafabadi, E. P., and Oskouei, A. V. (2017) "The Effect of Mechanical and Thermal Properties of FRP Bars on Their Tensile Performance Under Elevated Temperatures", *Construction and Building Materials*, 157 pp. 1001-1010.
- [68] Robert, M., and Benmokrane, B. (2010) "Behavior of GFRP Reinforcing Bars Subjected to Extreme Temperatures" *Journals of Composites for Construction ASCE* pp. 353-360.
- [69] Katz, A., Berman, N., and Bank, L., (1999) "Effect of High Temperature on Bond Strength of Frp Rebars" *Journal of Composites for Construction* pp. 73-81.
- [70] Ya-nan, F., Jun, Z., and Ya-li, L. (2011) "Research on Tensile Mechanical Properties of GFRP Rebar after High Temperature" *Advanced Materials Research Vols* 181-182 pp. 349-354.
- [71] Aydın F., Effects of various temperatures on the mechanical strength of GFRP box profiles, Sakarya University, Technology Faculty, Civil Engineering Department, 54187 Sakarya, Turkey
- [72] Özkan, E., Çelik Yapı Bileşenlerinde Alınması Gereken Yangın Güvenlik Önlemleri ve Bir Uygulama Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Rabia AKPINAR SUNGUR
Doğum Tarihi ve Yeri : 27.12.1994 Hafik
E-posta : rrabia.akpinar@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ergonomi İnşaat'ta 25.01.2017- 06.05.2018 tarihleri arasında saha mühendisi olarak çalıştı.
- Loft Yapı Sistemleri'nde 11.02.2019 tarihinden itibaren çalışıyor.

PROJELER

- Tübitak 2241-A Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı “GRFP Profiller ile Geçici Konut Tasarımı”