

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELYAF TAKVİYESİYLE GAZBETONUN
ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ

ZEYNEP PINAR ALAGEYİK

OCAK 2018

Makine Anabilim Dalında Zeynep Pınar ALAGEYİK tarafından hazırlanan ELYAF TAKVİYESİYLE GAZBETONUN ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim UZUN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd.Doç.Dr.Serkan ATEŞ _____
Üye (Danışman) : Prof.Dr.İbrahim UZUN _____
Üye : Yrd.Doç.Dr.Tolga DEMİRCAN _____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof.Dr.Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Aileme...



ÖZET

ELYAF TAKVİYESİ İLE GAZ BETONUN ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

ALAGEYİK, Zeynep Pınar

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim UZUN

Ocak 2018, 110 sayfa

Bu tez çalışmasında; yapı sektöründe, özellikle düşük ısı iletkenlik ve düşük yoğunluk gibi özelliklerinden dolayı oldukça önemli bir yere sahip olan hafif yapı elemanı gazbeton malzemesinin G2/04, G3/05 ve G4/06 sınıflarına farklı boyut ve özellikte elyaf ikame edilerek ısı ve mekanik özelliklerdeki değişimler araştırılmıştır.

Çalışmada öncelikle elyaflar ve fiziksel özellikleri incelenerek, gazbeton malzemeye ikamesi ile en olumlu sonucu verecek özellikteki elyaflar araştırılmıştır. Temin edilen elyaflar sırasıyla G2/04, G3/05 ve G4/06 sınıflarındaki gazbetonların kum çamuruna kütlece %0,5 ~ %0,55'i oranında yani toplam katının %0,2 ~ %0,25'i oranında elyaf katılarak dökümler gerçekleştirilmiştir. Bu aralıklar katkı elyaflarının yoğunluklarına bağlı olarak belirlenmiştir.

Farklı özellik ve boyutta 10 (on) adet elyaf temin edilmiş, her 3 (üç) sınıftan ısı iletkenlik, basınç dayanımı, eğilme ve rötre deneyleri için 2 (iki) adet numune dökülmüş ve her çeşitlemede 1 (bir) adet şahit numune dökülmüş olup, toplamda 108 (yüz sekiz) adet döküm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelerin Isıl Akış Metre metoduyla TS EN 12667 standardına göre ısı iletkenliği ölçülmüş, basma yükü 1000 ton olan basma cihazıyla TS EN 771/12 standardına göre basınç dayanımı ve eğilme dayanımı tespit edilmiştir. Sonuçlar tablo ve grafikler halinde ifade edilmiştir. Ayrıca SEM ve EDS analizleri ile bağlanma şekilleri gözlemlenmiş ve yorumlanmıştır.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonucunda; farklı boyut ve özellikteki elyafların ikamesi ile ısı iletkenliği azalmış ve basınç-eğilme dayanımı artmış yeni bir gazbeton geliştirilmiştir. Elde edilen gazbeton için patent başvurusu gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu tez çalışması aynı zamanda, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından koordine edilen Sanayi Tezleri (SAN-TEZ) projesi kapsamında, Kırıkkale Üniversitesi- Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve AKG Gazbeton İşletmeleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasının işbirliğiyle yapılmış bir SAN-TEZ projesidir.

Anahtar Kelimeler: Gazbeton, elyaf, ısı iletkenlik, basınç dayanımı, eğilme dayanımı

ABSTRACT

IMPROVE THE THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE WITH FIBER REINFORCEMENTS

ALAGEYİK, Zeynep Pınar

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine, Master Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim UZUN

January 2018, 110 pages

In this thesis study; the structural and thermal properties of the lightweight construction materials G2 / 04, G3 / 05 and G4 / 06 were investigated by substituting different sizes of special fibers in the construction sector, especially related with light structural elements which have a very important place due to their low thermal conductivity and low density.

In the study, firstly fibers and their physical properties were investigated and the fibers which gave the most favorable result were researched by substituting for the gasket material. The supplied fibers were cast in the sand slurry of G2 / 04, G3 / 05 and G4 / 06 grades by adding at a ratio of 0,5 % to 0,55 % of the weight of the sand slurry, namely 0.2 % to 0.25 % of the solid mass. These ranges were determined by the density of the added fibers.

10 (ten) fibers were provided in different specifications and sizes. 2 (two) samples were poured for each of the 3 (three) classes for thermal conductivity, compressive strength, flexural strength and shrinkage tests and 1 (one) witness sample were cast for each variation. As a result, a total of 108 (hundred-eight) castings were carried out. The thermal conductivity of obtained samples were measured according to TS EN 12667 standard by means of Heat Flow Meter method and compressive and flexural strengths were determined according to TS EN 771/12 standard by pressing device with discharge load of 1000 tons. The results were expressed in tables and graphs. In addition, combination types were observed and interpreted by SEM and EDS analyzes.

As a result of the experimental studies performed; a new autoclaved aerated concrete with reduced thermal conductivity and increased compression-flexural strength was developed by the addition of different size and specific fibers. Patent application was filed for the obtained autoclaved aerated concrete. This performed thesis study is at the same time a SAN-TEZ project within the scope of the Industrial Thesis (SANTEZ) project coordinated by the Ministry of Science, Industry and Technology, Kırıkkale University - Science and Technology Ministry and AKG Gazbeton İşletmeleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. company.

Key words: Autoclaved aerated concrete, fiber, thermal conductivity, compressive strength, flexural strength

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında her türlü yardımını esirgemeyen tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. İbrahim Uzun 'a, her zaman bilgisine başvurabildiğim ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. İlhami Demir 'e ve Yrd. Doç. Dr. Z. Onur Pehlivanlı 'ya, tezimi San-Tez projesi kapsamında destekleyen T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 'na ve AKG Gazbeton A.Ő. 'ye saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte, her zaman destek olan sevgili Yücel Ailesine ve her konuda sabırla yardımcı olan eşim Ömer Alageyik 'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM	8
2.1. Gazbeton	8
2.1.1. Gazbetonun Sınıflandırılması	12
2.1.2. Gazbetonun Özellikleri	12
2.2. Kompozit Malzeme	16
2.2.1. Kompozit Malzeme Türleri	17
2.2.2. Kompozitlerin Mekanik Davranışı	18
2.2.3. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	20
2.2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	20

2.3. Elyafklar	23
2.3.1. Elyaf eşitleri	24
2.3.1.1. Cam Elyaf	25
2.3.1.2. Karbon Elyafı	27
2.3.1.3. Aramid Elyafı	31
2.3.1.4. Polipropilen Elyafklar	33
2.3.1.5. Bazalt Elyaf	35
3.DENEYLER VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	40
3.1. Isıl İletkenlik Değerinin Belirlenmesi	40
3.1.1. Isıl İletkenlik Değerinin Teorik Olarak Belirlenmesi	40
3.1.2. Isıl İletkenlik Değerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi	46
3.1.2.1. Sürekli Rejim Metodu	47
3.1.2.2. Geçici Rejim Metodu	52
3.2. Yoğunluk Değerinin Belirlenmesi	56
3.3. Basınç Dayanımı Değerinin Belirlenmesi	58
3.4. Eğilmede ekme (Eğilme Dayanımı) Değerinin Belirlenmesi	61
3.5. SEM ve EDS Analizi	62
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	64
4.1. Katkı Oranları	64
4.2. Isıl İletkenlik Deney Sonuçları	67
4.3. Yoğunluk Ölçümü Deney Sonuçları	69
4.4. Basma Dayanımı Deney Sonuçları	71

4.5. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları	73
4.6. SEM ve EDS Analiz Sonuçları	74
5. SONUÇ	85
KAYNAKLAR	90
EKLER	96
EK 1. SATIN ALINAN ELYAF FOTOĞRAFLARI	96
EK 2. ELYAF TAKVİYELİ GAZBETON NUMUNESİ DÖKÜM FOTOĞRAFLARI	101
EK 3. BULUŞ BİLDİRİM FORMU	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Gazbetonun üretim süreci	11
2.2. Gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin yoğunlukla değişimi	13
2.3. Gazbeton gözenek miktarının yoğunluğa bağlı değişimi	14
2.4. Elyaf– kuvvet yükleme şekilleri ve değişim diyagramı	19
2.5. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	21
2.6. Cam Elyaf üretim şeması	26
2.7. Pan Proses Şeması	30
3.1. Doğrusal yönde ısı iletim şeması	47
3.2. Muhafazalı sıcak plaka metodu	49
3.3. Muhafazalı sıcak kutu deney düzeneğinin şematik görünümü	50
3.4. Kalibre edilmiş sıcak kutu deney düzeneğinin şematik görünüşü	50
3.5. Isı akış metre metoduna göre ölçüm yapan deney cihazı şematik görünüşü	51
3.6. Sıcak tel metodunun şematik görünümü	53
3.7. Laser Flash Metodu Çalışma Prensibi	54
3.8. FOX 314 Cihazı	55
3.9. Nüve KD400 marka Fırın	57
3.10. Zwick 100 markalı Basma Cihazı	60

3.11	Eğilme dayanımı ölçümünde kuvvet uygulanan noktalar	62
3.12.	JEOL 6400 model Taramalı Elektron Mikroskobu	63
4.1.	G2/04 tip gazbetona 10x50 mm uzunluğunda polipropilen elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	75
4.2.	G2/04 tip gazbetona M-12 mm uzunluğunda polipropilen elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	76
4.3.	G3/05 tip gazbetona M-6 mm uzunluğunda polipropilen elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	77
4.4.	G2/04 tip gazbetona 3 mm uzunluğunda karbon elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	77
4.5.	G3/05 tip gazbetona 3 mm uzunluğunda karbon elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	78
4.6.	G2/04 tip gazbetona 8 mm uzunluğunda karbon elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	79
4.7.	G3/05 tip gazbetona 8 mm uzunluğunda karbon elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	80
4.8.	G4/06 tip gazbetona 8 mm uzunluğunda karbon elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	81
4.9.	G3/05 tip gazbetona bazalt elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	81
4.10.	G4/06 tip gazbetona bazalt elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	82
4.11.	G2/04 tip gazbetona bazalt elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	83
4.12.	G2/04 tip gazbetona bazalt elyaf takviye edildiğindeki SEM analizi	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
2.1. Gazbeton Malzemelerinin Basınç Dayanımları ve Kuru Yoğunlukları	15
2.2. Pekiştirici Elyafların Özellikleri	17
2.3. Elyaflı kompozitlerin Mekanik Özellikleri	18
2.4. Zift esaslı Karbon Elyafların Özellikleri	28
2.5. PAN esaslı Karbon Elyafların Özellikleri	28
2.6. Elyafların bazı özelliklerinin karşılaştırması	32
2.7. Olefin Elyafların Mekanik Özellikler Tablosu	34
2.8. Olefin Elyaflardan Polietilen ve Polipropilen Elyafların Özellikleri	36
2.9. BCF'nin Mekanik ve Kimyasal Özellikleri	36
2.10. Bazalt elyaf kullanımının avantajlarının metal ağıın avantajları ile kıyas tablosu	39
3.1. FOX 314 Isı Akış Sayacı Cihazının Teknik Özellikleri	54
3.2. Nüve KD400 marka Fırının Teknik Özellikleri	57
3.3. Zwick Z100 marka Basma Cihazı Teknik Özellikleri	60
3.4. SEM Cihazı Teknik Özellikleri	63
4.1. G2/04 çeşit gazbetona Kütleli Elyaf Katkı Tablosu	64
4.2. G3/05 çeşit gazbetona Kütleli Elyaf Katkı Tablosu	65
4.3. G4/06 çeşit Gazbetona Kütleli Elyaf Katkı Tablosu	66

4.4.	G2/04 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen ısıl iletkenlik değer tablosu	67
4.5.	G3/05 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen ısıl iletkenlik değer tablosu	68
4.6.	G4/06 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen ısıl iletkenlik değer tablosu	68
4.7.	G2/04 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen yoğunluk değer tablosu	69
4.8.	G3/05 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen yoğunluk değer tablosu	70
4.9.	G4/06 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen yoğunluk değer tablosu	70
4.10.	G2/04 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen basma değer tablosu	71
4.11.	G3/05 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen basma değer tablosu	72
4.12.	G4/06 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen basma değer tablosu	72
4.13.	G2/04 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen eğilme değer tablosu	73
4.14.	G3/05 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen eğilme değer tablosu	73

4.15. G4/06 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen
eğilme değer tablosu

74



SİMGELER DİZİNİ

C	Isı Kapasitesi (W/K)
e	Elektrik Sinyali (W/m ²)
E_f	Elyafın Elastisite Modülü (N/m ²)
E_k	Kompozitte Bileşke Elastisite Modülü (N/m ²)
E_m	Matrisin Elastisite Modülü (N/m ²)
f	Kalibrasyon Faktörü
F	İki Fazdaki Ortalama Sıcaklık Değişiminin Oranı
g_i	Elipsin Yarı Asal Eksenini
k	Isıl İletkenlik Değeri (W/m.K)
k_c	Sürekli Fazın Isıl İletkenliği (W/m.K)
k_d	Süreksiz Fazın Isıl İletkenliği (W/m.K)
k_e	Gözeneğin Isıl İletkenliği (W/m.K)
k_m	Matrisin Isıl İletkenliği (W/m.K)
L	Kalınlık (m)
m_{dry}	Kuru Kütle (kg)
M_1	Nemli Kütle (kg)
M_2	Kuru Kütle (kg)
q	Isı Akış Hızı Yoğunluğu (W/m ²)

R	Isıl Direnç (m^2K/W)
T	Sıcaklık (K; °C)
T_f	Elyafların Çekme Mukavemeti
T_k	Kompozitin Çekme Mukavemeti
T_m	Şekil Değiştirme Anında Matristeki Gerilme
V_f	Elyafların Hacimsel Oranı
V_g	Hacim (m^3)
λ, β, γ	Küp Formasyonu
λ	Isıl İletkenlik ($W/m^2 K$)
λ_t	Isıl Öz Geçirgenlik ($W/m K$)
μ	Buhar Geçirgenliği
ρ_n	Kuru Hal Yoğunluğu (kg/m^3)
\emptyset	Isı Akış Hızı (W)
ϕ_d	Süreksiz Fazın Hacim Oranı

KISALTMALAR DİZİNİ

AAC	Autoclaved Aerated Concrete (Gazbeton)
TS	Türk Standardı
EN	Avrupa Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
DIN	Alman Standartları Organizasyonu
ISO	Uluslararası Standartlar Kuruluşu
ASTM	Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
CFRP	Güçlendirilmiş Karbon Fiber Plastik
GFRP	Cam Elyaf Takviyeli Polimer
MMC	Metal Matrisli Bileşik Malzeme
CMC	Seramik Matrisli Bileşik Malzeme
BCF	Bazalt Elyaf
EDS	Enerji Dağılımlı Spektrometre
CSH	Tobermorit

1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması, mevcut enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasının önemini artırmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji kullanımının %40'ı konutların ısıtma ve soğutma gereksinimlerinin karşılanabilmesi için kullanılmaktadır. Yapı elemanlarında enerji kayıpları incelendiğinde, en yüksek oranda enerji kaybının dış ortamla temas halinde olan duvarlardan gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, yapılarımızda kullandığımız yapı elemanlarının ısıtma özellikleriyle doğrudan bağlantılı olup, ısıtma iletkenlik değeri düşük malzemeler kullanmamızın enerji ekonomisi açısından ne derece önemli olduğunu göstermektedir [1].

Bu noktadan hareket edilerek bakıldığında, mevcut yapı elemanlarının bazılarının düşük bazılarının ise yüksek ısıtma iletkenlik değerine sahip oldukları görülmektedir. Düşük ısıtma iletkenlik değerine sahip yapı malzemelerinden birisi de gazbeton (otoklavlanmış beton) malzemesidir. Gazbetonun düşük yoğunluk ve ısıtma iletkenlik gibi üstün özellikler gösterdiği ve yapılarda her geçen gün artan bir kullanım yüzdesine sahip olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında yapılarda farklı noktalarda kullanılan gazbeton malzemesinin duvar elemanı olarak kullanımı ele alınmıştır ve bu malzemenin farklı elyaf malzemeleri takviyesiyle birlikte ısıtma iletkenliğinin, basınç ve eğilme dayanımının değişimi deneysel olarak incelenmiştir.

Yapı malzemelerinde düşük ısıtma iletkenlik değeri malzemenin içyapısıyla ve gözenek oranıyla doğrudan ilişkilidir. Gözenekli malzemelerde, gözenek miktarı arttıkça ısıtma iletkenlik değeri düşmeye başlar. Ancak artan gözenek miktarı beraberinde başka sorunları getirir; örneğin boşluk oranı arttıkça, malzemenin mukavemeti de azalmaya başlar. Gazbeton açısından bakıldığında da malzemenin gözeneklilik miktarının artması ile ısıtma iletkenlik değeri düşmektedir ancak bununla birlikte gazbetonun mukavemetinin de düştüğü çok açık olarak kendini göstermektedir. Bu çalışmada,

elyaf takviyesi ile mukavemetini yükseltmek ve ısı iletkenliğini de düşürmek amaçlanmıştır.

Gazbeton üretiminin otoklav aşamasında gerçekleşen en önemli reaksiyon, kalsiyum silikat ve hidrat bileşenlerinden tobermorit kristalinin oluşmasıdır. Elyaf takviyesi ile kalsiyum silikat ve hidrat moleküller olarak daha yakın temas halinde bulunacağından, daha kuvvetli bir bağ yapısı oluşumu eğilimine gireceklerdir. Daha kuvvetli bağ yapısı oluşumu, daha homojen gözenek yapısı oluşumunu sağlayacaktır. Elyaf takviyesi, gözenek yapısının iyileşmesi ile ısı iletkenliği düşürürken, tobermorit kristalinin oluşumunun artması mukavemeti artırmaktadır. Bu kapsamda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bunlarda bazılarını özetle bakacak olursak;

Tanyıldızı, hafif betonun mekanik özellikleri üzerinde karbon elyafın, silika dumanının ve sıcaklığın etkisi araştırmıştır. Yaptığı çalışmada % 0 – 10 aralığında silika dumanı ve % 0, 0,5, 1 ve 2 kütle oranlarında karbon elyaf içeren numuneler hazırlanarak farklı (400, 600 ve 8000 °C) sıcaklık değerlerinde numunelerin basma ve eğilme dayanımlarını belirlemiştir. Taguchi metoduyla yapılan çalışma sonucunda optimum basma dayanımının % 10 silika dumanı ve % 0,5 karbon elyafı ile 200 °C de bulunduğunu fakat optimum eğilme dayanımının % 10 silika dumanı ve % 1 karbon fiberle 200 °C de elde edildiğini belirlemiştir [2].

Gül ve diğerleri çalışmalarında, % 0,25, % 0,75, % 1,25, ve % 1,75 elyaf takviyesiyle güçlendirilmiş ham perlitli betonun termo-mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu takviye oranlarında, polipropilen fiber, dalgalı çelik fiber ve çengelli çelik fiberlerle hazırlanmış numuneler üzerinde incelemeler yapmışlardır. Her bir numunenin yoğunluğu, ısı iletkenliği, basma, eğilme ve kayma gerilmeleri ölçülerek karşılaştırılmış, sonuçta çelik ve polipropilen fiber kullanımının hafif betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiğini belirlemiştirler [3].

Wang ve diğerleri , hafif beton içerisine farklı oranlarda polipropilen fiber takviyesi yaparak betonun sünekliliğini incelemiştir [4] .

Mousa ve çalışma arkadaşları, karbon elyaf takviyeli polimer gazbeton sandviç paneller analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Farklı takviye oranlarında üretilen numunelerin basma, eğilme ve kayma gerilmelerinin deneysel ve analitik değerleri karşılaştırmıştır[5] .

Esen, poliakrilonitril elyafların çimentoya ilavesinin betonun ısıl iletkenliğine etkisi deneysel olarak incelemiştir. Sıcak tel yöntemi kullanılarak yapılan deneysel ölçümlerde % 3 kesik elyaf katılmış numunelerde 0,345 W/m.K ve % 3 uzun elyaf katılmış numunelerde ise 0,340 W/m.K olarak belirlemiştir [6].

Laukaitis ve diğerleri çalışmalarında, gazbetonun mekanik dayanımına katkısı yönüyle incelendiğinde karbon elyaflar sırasıyla polipropilen, bazalt, kaolin elyaflarından daha etkin rol oynamakta olduğu sonucuna varmıştır [7].

Chung, hem normal betonda hem de hafif betonda karbon elyaf takviyesi kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar yapmış ve bu takviyenin mekanik özelliklere etkilerini araştırmıştır [8].

Demirel ve diğerleri araştırmalarında, karbon elyafların boylarının artırılmasıyla beton matrisi içerisinde birbirleriyle daha fazla temas imkanı sebebiyle betonun hava muhtevasının ve su emme kapasitesinin arttığı tespit etmiştir [9].

Yıldırım ve diğerleri, betonun don etkisiyle çatlaması ve yük taşıyan donatının dış koşullara maruz kalması sonucu zarar görmemesi açısından önemli bir özellik olan betonda donma-çözülme etkileşimi üzerine çelik, cam ve polipropilen elyafların performansları incelenmiştir. Özellikle soğuk iklim koşullarında polipropilen elyafların çelik elyaflardan daha olumlu sonuçlar vereceğini ortaya koymuştur [10].

Uyan ve diğerleri ,farklı türdeki elyafların boyutunun beton işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalarda maksimum tane boyutu 16 mm olan elyaflarla yapılan dökümlerde işlenebilirliğin çok zorlaştığı ve akışkanlaştırıcı kimyasalların kullanılmasına ihtiyaç duyulduğunu tespit etmiştir [11].

Tae- Jeon ve çalışma grubu araştırmalarında, poliakrilonitril elyaf ile çalışmalar yapmışlardır. Elyaflar beton içerisinde homojen yayılmış donatı aksamı gibi çalışmış, beton içerisinde üç boyutlu bir mikro donatı vazifesi görmüştür ve betonun eğilme dayanımını önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varmışlardır [12].

Amat ve diğerleri, polipropilen elyafların betonun ilk zamanlardaki plastik rötre çatlaklarını ortalama olarak % 90 azalttığını belirlemiştir. Bu özellikleri itibarı ile, betonun dayanıklılığını (durabilite) arttırmak, ana donatıyı korozyona karşı korumak,

plastik rötre ve termal çatlakları önlemek amacıyla atık su galerilerinde kullanıldığını açıklamıştır [13].

Yaprak ve çalışma grubu, yaptıkları çalışmada uçucu kül ve çelik elyaf ile üretilen betona 0,5, 0,75, 1,0, 1,25 kg/m³ cam elyaf katılarak, betonun basınç ve çekme dayanımındaki değişimleri araştırmışlardır. Cam elyafların, basınç ve çekme dayanımına olumlu yönde etkide bulunduğu saptamışlardır [14].

Arı ve grubu, gerçekleştirdikleri deneylerin sonuçlarını değerlendirdiklerinde; ZP 308 çelik elyaf çeşidi ile üretilen silindir beton numunelerde 25 kg/m³ dozajla basınç dayanımında ≈% 7 artış, aynı cins çelik elyaf 40 kg/m³ dozajla kullanıldığında çimento agrega ve elyaf pastası arasında karmaşık matrislerin oluşumuyla basınç dayanımında ≈% 6 oranında düşüş görmüştür. RC 80/60 BN çelik elyaf çeşidi ile üretilen silindir beton numunelerde 25 kg/m³ dozajla basınç dayanımında ≈% 8 artış, aynı cins çelik elyaf 40 kg/m³ dozajla kullanıldığında basınç dayanımında ≈% 7 oranında düşüş görmüştür [15].

Kayhan ve diğerleri çalışmalarında, bazalt elyaflı donatı, yüksek çekme dayanımı sayesinde, aynı orandaki BÇIII donatıya sahip bir elemanın taşıma gücünden daha büyük taşıma gücü elde edilmesine olanak sağladığı sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca çelik donatılı kesitlerde basınç bölgesi donatısı taşıma gücünü belirgin şekilde artırmadığını, daha ziyade sünekliği etkilediğini ve bazalt elyaflı 8 donatı için kopma uzaması % 1,5 - % 2,0 arasında değiştiğini belirtmişlerdir [16].

Yıldız ve Ulucan ,yaptıkları deneysel çalışma neticesinde, ağırlıkça % 0,2, 0,4 ve 0,6 oranlarında cam elyafı katılarak üretilen beton boruların 28 günlük tepe yükü dayanımları arttığını gözlemlemiştir. % 0,2, 0,4 ve 0,6 oranlarında cam elyafı ilavesi ile meydana gelen en büyük artışlar, 200 mm' lik beton borularda olmak üzere sırasıyla % 13,52, 18,93 ve 24,34 olarak kaydetmiş ve uzun süre toprak altında bırakılan elyaflı beton boruların dayanımlarında zamanla önemli oranda bir artışın olduğunu gözlemlemiştir [17].

Erdem, “Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme ile yapılmış betonarme kirişler” isimli tez çalışmasında, çekme mukavemetinin çok yüksek olduğu bilinen cam elyafı ile tek yönde takviye edilmiş plastiğin, çekmeye çalışan yapı elemanlarında kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel çalışma için, laboratuvar

hazırlanan betonarme kirişler kullanmıştır. Yapılan çalışma ile çevre kirliliği oluşturan plastiklerin inşaat sektöründe yapı elemanı imalinde kullanılabileceği görmüştür [18].

Ökten, “Betonarme kirişlerin karbon elyaf ile güçlendirilmesi üzerine deneysel bir inceleme” isimli tez çalışmasında, fiberle güçlendirilmiş karbon elyaf malzeme kullanılarak (CFRP), iki farklı sarım tekniği ile güçlendirilen betonarme kiriş modelinin, yük altındaki davranışı incelemiştir. Deneyler sırasında sadece tek yönde çalışan karbon elyaf malzeme kullanmıştır. Deneyler ayrı ayrı ve farklı beton kalitesinde üretilen betonarme elemanların, ikişer ikişer ve farklı sarım teknikleri kullanılarak birleştirilmesi ile elde edilen numuneler üzerinde yapılmıştır. CFRP ile birleştirilen numunelerin göçme yükü ile mukayese kirişinin göçme yükü büyük bir fark göstermemekte, daha yüksek kaliteli betonla üretilip birleştirilen kirişlerin göçme yükü, mukayese kirişinin göçme yükünden daha fazla çıktığını belirtmiştir [19].

Akpınar, “Normal dayanımlı betonda donatı kenetlenme özelliklerinin karbon elyaf sargısı ile iyileştirilmesi” isimli tez çalışmasında, tasarım veya imalat aşamalarında yetersiz ankraj boyu uygulaması yapılmış betonarme elemanların iyileştirilmesini hedef almaktadır. Deneysel çalışmada, iki ayrı beton kalitesi ve bu beton elemanlara gerekenden az ve sabit beton örtü kalınlığı ile ankrajlanmış üç farklı donatı çapı kullanmıştır. Çekme-çekme türü yük çevrimlerine maruz bırakılan donatılarda, aderans gerilmelerindeki iyileştirme iki farklı malzeme (CFRP, GFRP) ve değişik sargılama miktarları için incelemiştir [20].

Köseoğlu, “Çift eğrilikli betonarme kolonların karbon fiber elyaf ile tamamen sargılanması ile güçlendirilmesi ve onarılması” isimli çalışmada, çift eğrilikli betonarme kolonların karbon fiber elyaf ile tamamen sarılması yolu ile güçlendirilmesi yapmıştır. Mantolama yolu ile betonarme kolonların güçlendirilmesinde, güçlendirilmiş karbon fiber plastik (Carbon Fiber Reinforced Plastic-CFRP) kullanmıştır. Laboratuvar ortamında üç adet deney elemanı üretmiştir. Birincisi referans elemanı olarak üretilmiş yalın elemandır. Diğer iki adet deney elemanı ise güçlendirme ve onarım deneyleri için kullanmıştır. İlk olarak karbon fiberin kolona tamamen sarıldığı, kolon- kiriş birleşim noktasından düz olarak geçirildiği deney elemanının güçlendirilmesi yapmıştır. İkinci olarak ise karbon fiberin kolona

tamamen sarıldığı, kolon-kiriş birleşim noktasından çapraz olarak geçirildiği deney elemanının güçlendirilmesini yapmıştır. Bu deney elemanlarının, maksimum yük kapasiteleri, enerji tüketimleri, rijitlik değişimleri ve sünekliklerini incelemiş, davranış ve dayanımlarını araştırmıştır [21].

Şahin, “Betonla uyumlu polipropilen elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi ve özellikleri” isimli çalışmada; polipropilen elyaf takviye ederek, betonun özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Bu kapsamda; polipropilen elyaf % 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 ve % 0,25, 0,50, 0,75 oranlarında diğer betonu oluşturan agregalar ile karıştırılıp beton kompozitleri üretmiştir. Üretilen bu numunelere çeşitli testler uygulayarak katkısız beton/kontrol betonu ile kıyaslaması yapılmıştır. Kırılan veya çatlayan yüzeyler inceleyerek malzemenin kırılırken sergilediği eğilimler belirlemiştir. Sonuçlardan elde edilen veriler ışığında beton kompozitlerin eğme ve basma dayanımlarında önemli bir iyileşme olmadığını tespit etmiş, hatta basma dayanımının, elyaf oranı arttıkça azaldığını belirtmiştir. Buna rağmen beton kompozitlerin darbe mukavemetinde önemli artışlar (%220) olduğunu belirlemiştir [22].

Doğan, “Karbon polimer elyaflar ile güçlendirilmiş beton kirişlerin sonlu elemanlar metodu ile lineer olmayan analizi” isimli tez çalışmasında, karbon polimer elyaflarla (CFRP) betonarme elemanların güçlendirilmesi, beton-CFRP ara yüzündeki gerilme ve şekil değiştirme dağılımı, bu kompozit sistemin davranışını büyük oranda etkilemektedir, deneyi yapılmamış modellerin simülasyonunu yapma imkanı sağlamaktadır kanısıyla tez kapsamında ANSYS sonlu elemanlar yazılımının özel eleman tiplerinden faydalanarak, deney kirişlerinin sonlu eleman modeli oluşturmuş, malzeme özellikleri tanımlamış, analiz ve deney sonuçları karşılaştırılarak sonlu eleman modelinin deney sonuçlarından sapma limitleri belirlenerek modelin uygulanabilirliği doğrulamıştır. Yürütülen karşılaştırmalı analizlerle, şekil değiştirme dağılımının gerçeğe yakın elde edilebilmesi için ANSYS bünyesinde tanımlı özel bir temas yüzeyi elemanın kullanılması gerektiğini ortaya koymuş ve bu özel temas yüzeyi parametrelerini belirlemiştir [23].

Uygun, “Beton yapı elemanlarının cam elyaf sarma yöntemiyle güçlendirilmesi” isimli tez çalışmasında güçlendirilen elemanın boyutlarında büyük bir değişiklik olmaması, kalıp, beton, çelik yapım ve sökümü gibi gereklerinin olmaması,

malzemenin alkali dayanımının olması, korozyona karşı dayanıklı olması, bakım masrafının düşük olmasını tercih sebepleri arasında göstermiştir. Bu yöntemde en sık tercih edilen karbon elyaf olduğunu belirtmiş, fakat karbon elyafın maliyeti oldukça yüksek olduğundan, çalışmasında karbon elyafa alternatif maliyeti daha uygun ve yine dayanımı oldukça iyi olan cam elyafı tercih etmiştir. Sonuç olarak sarılarak güçlendirilen numunelerin basınç dayanımlarını artırmıştır. Sarım şekline bağlı olarak numunelerin şahit numunelere oranla performans yüzdeleri ve yüzey deformasyonları farklı şekillerde oluşmuştur. Sargılı numunelerin kırım süreleri şahit numuneye göre daha uzun sürede gerçekleşmiştir [24].

Bu tez çalışması kapsamında, otoklavlanmış gözenekli beton malzemesi olan gazbetona, elyaf ikame edilerek ısı iletkenlik, yoğunluk, basma ve çekme dayanımlarındaki değişimler gözlemlenmiştir. Öncelikle katkı edilecek elyafın cinsi, boyutu, kütle oranı belirlenmiş ve katkının gerçekleştiği gazbeton malzemenin cinsine göre etkileri araştırılmış, SEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel verilerden çıkan sonuçlara göre ısı iletkenliğini azaltan, basma ve çekme dayanımını artıran elyaf çeşidi belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Gazbeton

Gazbeton, gözenekli hafif bir yapı malzemesidir. Hacim olarak %70-80 gözeneklerden oluşur. Gözenekler küçük, yuvarlak ve homojen dağılımlıdır. Yoğunluğu düşük masif bir malzemedir. Isı iletkenliği en düşük kagir duvar malzemesidir.

Hafif ve yangına dayanıklı bir yapı elemanı olan gazbeton, TS 453 e göre, ince öğütülmüş silisli bir agregaya ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve/veya çimento) ile hazırlanan karışımın, gözenek oluşturucu bir madde ilâvesi ile hafifletilmesi ve buhar kürü ile sertleştirilmesiyle elde edilen gözenekli hafif bir beton olarak tanımlanmaktadır.

Yaklaşık bir asırdır var olan ve kullanılan gazbeton ilk olarak, 1889 yılında harç içerisine gözenek oluşturucu katkı maddesinin ilave edilmesi ile ortaya çıkmış ve bu tarihte gözenekli harç imalatı için ilk patent alınmıştır. Daha sonra sürekli gelişerek devam eden gözenekli beton arayışları 1920'li yıllarda İsveçli mimar Johan Axel Eriksson'ın, ince öğütülmüş gazbeton hammaddeleri içerisine gözenek oluşturucu katkı maddesi olarak alüminyum tozunu ilave etmesi ve bu karışıma basınçlı buhar altında mukavemet kazandırması ile bugünkü gazbeton ortaya çıkmıştır. Bu çalışmaları sonucunda Eriksson 1923 yılında ilk gözenekli hafif beton patenti almıştır. Bu keşiften sonra hızla yaygınlaşan gazbeton bugün tüm dünyada kullanılan bir yapı malzemesi durumuna gelmiştir. Ülkemizde ise ilk olarak 1950'lerde bir otel inşaatında kullanılan gazbeton 1960'larda İstanbul'da kurulan bir fabrikada üretilmeye başlanmıştır.

Gazbetonun temel özelliği gözenekli yapısıdır. Hacminin yaklaşık %70-80'ini oluşturan bu gözenekli yapı gazbetonun hafifliğini sağlamakla birlikte gözeneklerde bulunan ve ısı iletim katsayısı çok düşük olan hava yardımıyla da iyi bir yalıtım

malzemesi olma özelliği kazanmaktadır. Hafif olması yapıda oluşan deprem yüklerini azaltması açısından oldukça önemli bir yapı elemanıdır. Gazbeton, yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanı olarak farklı noktalarda, kullanım alanına uygun olarak geliştirilmiş ürün çeşitleriyle yer almaktadır [25].

Bu tez çalışması kapsamında, duvar elemanı olarak kullanılan ve taşıyıcı olmayan G2/04 – G3/05 – G4/06 sınıflarındaki gazbeton numunelerine birbirinden farklı boyut ve özellikte 10 çeşit elyaf ikame edilerek, düşük ısı iletkenlik özelliğini kaybetmemesi, mukavemetinin artması amaçlanmış vedeğişimler deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca G2/04 sınıfı gazbeton detaylandırılarak, kütlece farklı yüzdelerde elyaf ikame edilerek ısı iletkenlik özelliği ve mukavetindeki değişimler deneysel olarak incelenmiştir.

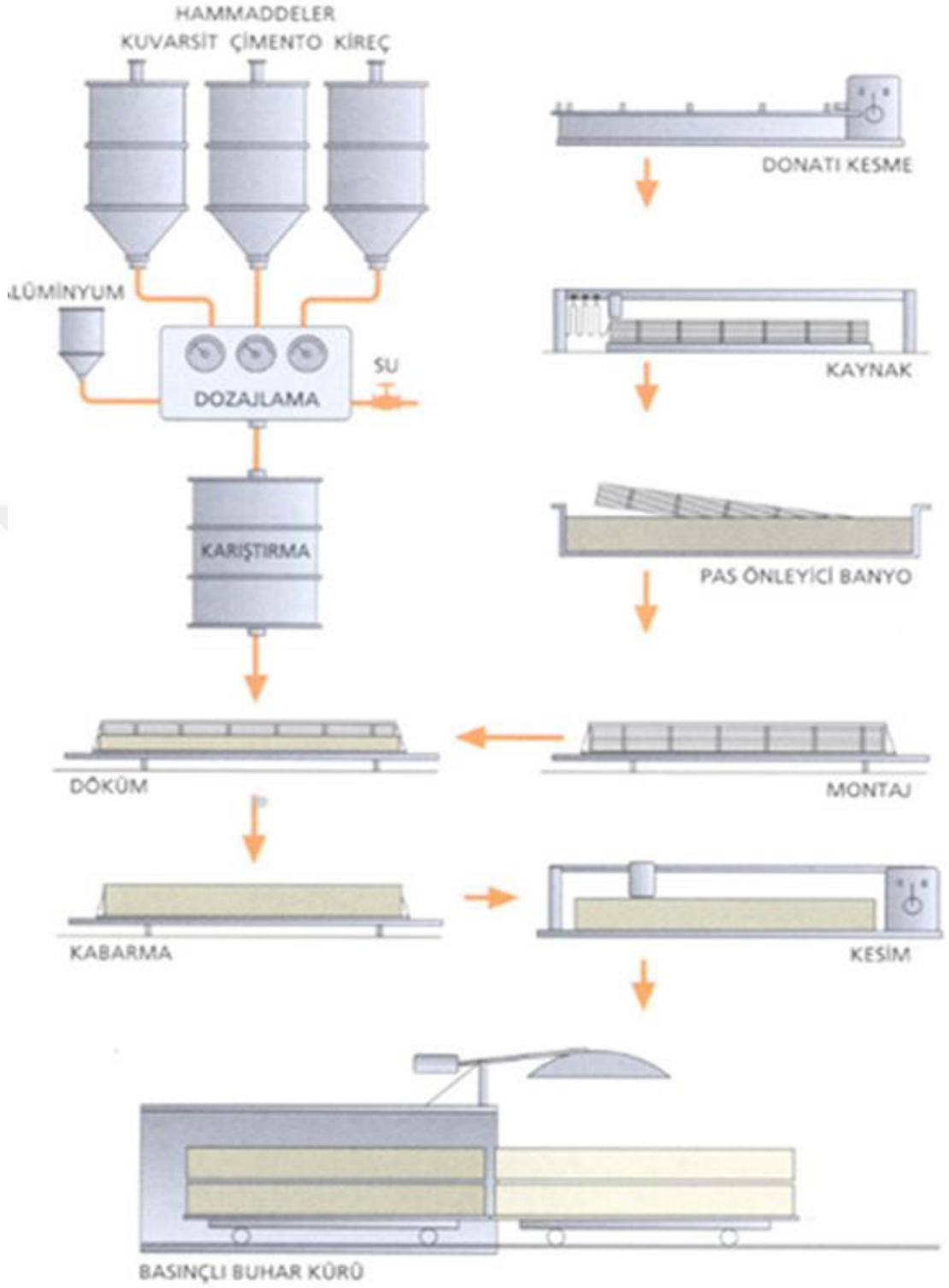
Gazbeton Üretimi

Gazbeton hammadde olarak kuvarsit, çimento ve kireçten oluşmaktadır. İnce toz kıvamında hazırlanan bu hammaddelere su ve gözenek oluşturuçu alüminyum ilave edilerek gazbeton harcı hazırlanır. Daha sonra hazırlanan bu karışım kalıp arabalarına dökülür. Donatılı yapı elemanı üretimi yapılacak ise döküm işleminin öncesinde, yapı elemanları için korozyona karşı korunmuş, çelik hasır donatılar kalıba yerleştirilir. Bu sırada kalıp arabalarına dökülen karışım harcı içerisinde bulunan kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu açığa çıkan enerji yardımıyla alüminyum tozu da reaksiyona girer ve reaksiyon sonucu hidrojen açığa çıkar. Bu hidrojenin oluşturduğu gaz kabarcıkları sonucu karışım kabarmaya başlar ve gazbetonun asıl özelliği olan gözenek yapısı oluşur. Kalıp arabaları döküm işleminin ardından sıcaklığı sürekli kontrol altında tutulan bekleme tüneline sertleşmeye bırakılır. 3-4 saatlik süre sonunda kesim sertliğine ulaşan gazbeton, kesim tezgahlarına alınır ve burada istenilen boyutlarda milimetrik olarak kesilir.

Bu işlemler sonucunda gazbetonun gözenekli yapısı tam olarak oluşmuş ve kullanım ölçülerinde kesilmiştir ancak mukavemet açısından henüz istenilen özelliklere sahip değildir. Mekanik özelliklerin kazandırılması amacıyla, kesim işleminin tamamlanan

gazbeton otoklavlara alınarak basınçlı buhar altında şartlandırmaya tabi tutulur ve bu şartlandırma işlemi sonucunda gazbeton istenilen basınç dayanımına ulaşır. Otoklavlardaki buhar küründen çıkan ürünler, kalite kontrol işleminden sonra kullanıma sunulur. Gazbetonun üretim süreci şematik olarak Şekil 2.1’de görülmektedir.





Şekil 2.1. Gazbetonun üretim süreci [26]

2.1.1. Gazbetonun Sınıflandırılması

Gazbeton TSE 453'e göre, yapıda taşıyıcı olan ve taşıyıcı olmayan yapı elemanı olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Bununla birlikte, sınıflandırma yapılırken basınç dayanımına göre; G2 (2,5 N/mm²), G3 (3,5 N/mm²), G4 (5,0 N/mm²) ve G6(7,5 N/mm²) olmak üzere dört sınıfa, kuru yoğunluklarına göre ise; 400 kg/m³, 500 kg/m³, 600 kg/m³, 700 kg/m³ ve 800 kg/m³ olmak üzere beş sınıfa ayrılırlar.

Gazbeton yapı elemanları yapıda kullanım yerleri açısından incelendiğinde ise, kapı ve pencere lentoları, döşeme plâkları ve çatı plâkları, düşey duvar ve yatay duvar elemanları, bölme panoları olmak üzere dört tipe ayrılır [25].

2.1.2. Gazbetonun Özellikleri

Yoğunluğu: Gazbeton boşluklu yapısı sayesinde yoğunluğu 300 – 800 kg/m³ arasında değişirken boşluksuz yoğunluğu yaklaşık olarak 2600 kg/m³ 'dir[27] .

Isıl Genleşme: Gazbetonun ısıl genleşme katsayısı, 20 °C ile 100 °C arasında 0,008 mm/m°C civarındadır [27].

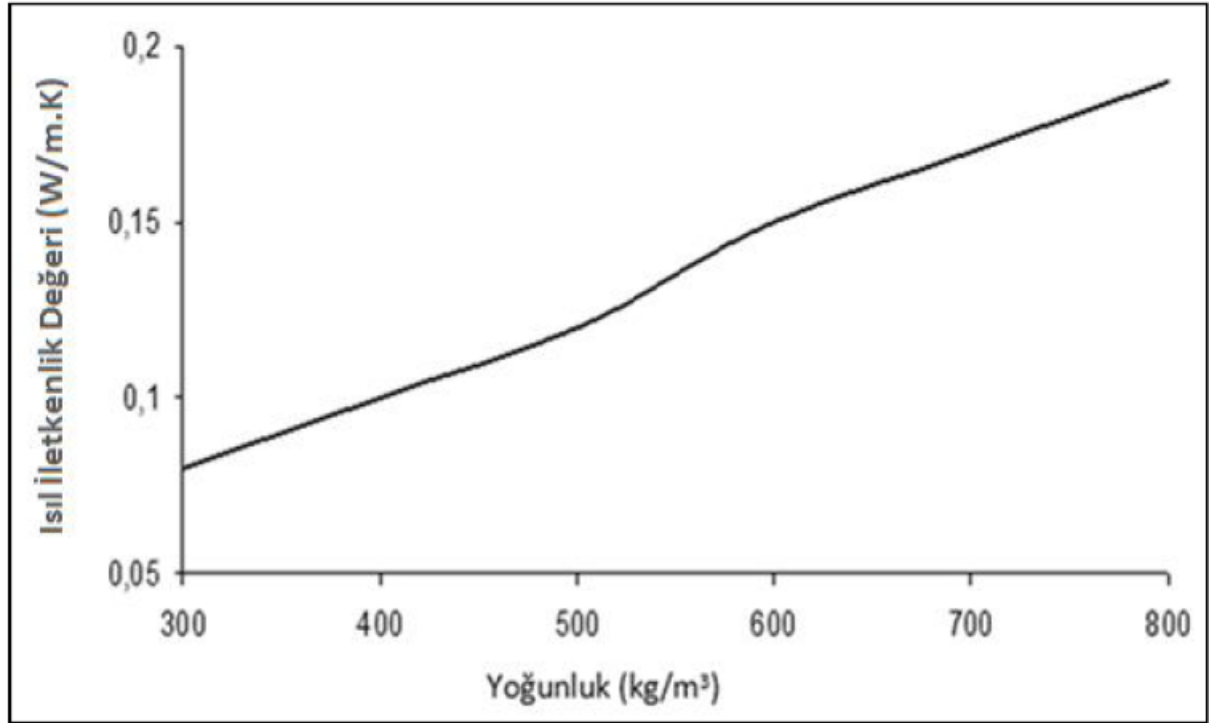
Erime Noktası: Gazbeton yanmayan bir yapı malzemesi olup 1000 °C civarında sinterleşmeye, 1100–1200 °C civarında da erimeye başlar [27].

Rötre: Bir yapı elemanının boyutlarında zamanla kılma olması rötre olarak tanımlanır. TSE 453'e göre gazbetonun rötre değerleri 0,5 'den fazla olmamalıdır. Gazbetonun rötre değeri TS EN 680'e uygun olarak tespit edilir [27].

Isıl İletkenlik Değeri: Gazbetonun en önemli ve üstün özelliklerinden biriside düşük ısıl iletkenlik özelliğidir. Gazbeton gözenekli bir yapı malzemesi olup içerisindeki makro ve mikro düzeydeki gözeneklerin tüm yapı içerisindeki hacimsel oranı %60 – 85 arasında değişmektedir. Bu yüksek gözenek oranı gazbetonun ısıl iletkenliğinin düşük olmasını sağlar. Malzeme bünyesinde bulunan bu gözeneklerin hava ile

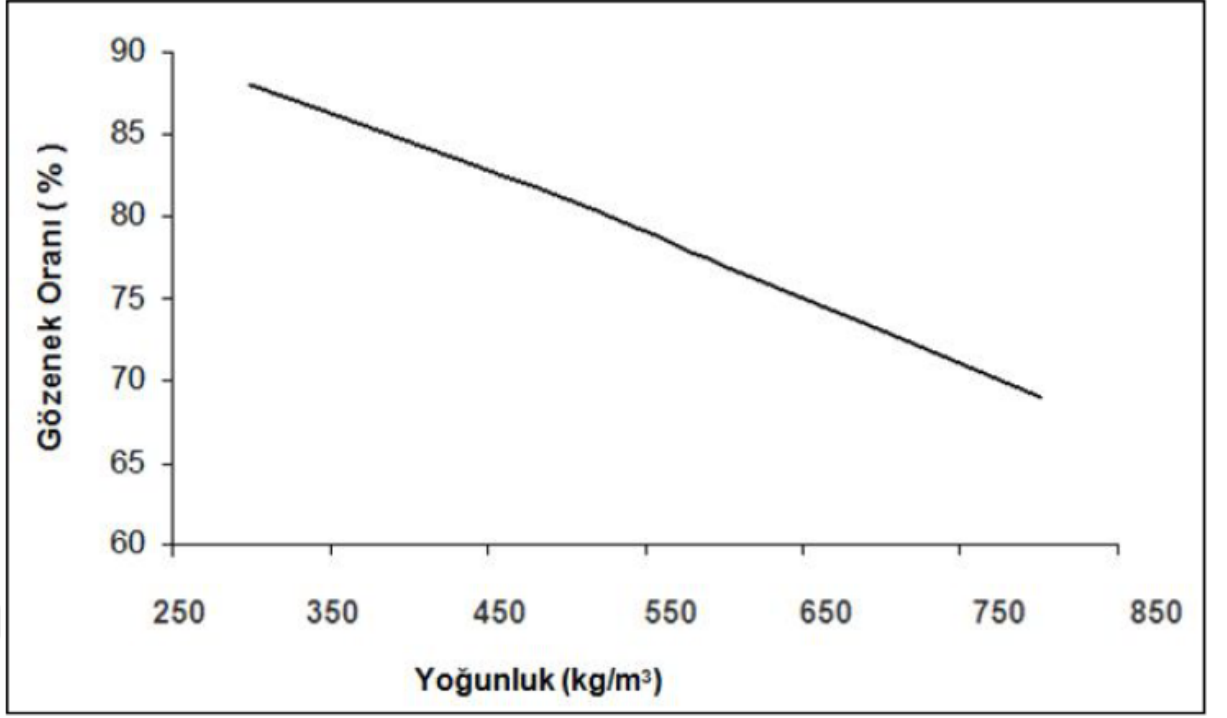
dolması durumunda (kuru hal için), havanın ısı iletkenliğini 0,026 W/m.K düzeylerinde olduğu için otomatik olarak yüksek gözenek oranından dolayı malzemenin ısı iletkenlik değeri düşmektedir. Ancak bu gözeneklerin fazlalığı aynı zamanda nemli ortamlarda gözeneklerdeki havanın su ya da su buharı ile yer değiştirmesine neden olur bu da havaya göre ısı iletkenliği yaklaşık 20 kat büyük olan suyun miktarına bağlı olarak malzemenin ısı iletkenliğini artırır. Dolayısıyla gazbeton yoğunluğuna bağlı olarak en düşük ısı iletkenlik değeri kuru halde ulaşıırken nem içeriğinin artmasıyla birlikte ısı iletkenliği de artmaya başlar. Nemsiz durumdaki gazbetonun ısı iletkenlik- yoğunluk ilişkisi Şekil 2.2’de görölmektedir.

(27)



Şekil 2.2. Gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin yoğunlukla değişimi [27]

Gözeneklilik: Gözeneklilik diğer bir değişle porozite, malzemenin birim hacmindeki boşluk oranının ifadesidir. Gazbeton malzemesinin gözenek oranı üretim sınıfına bağlı olarak %70- 88 arasında değişmektedir. Gazbetonun gözenek miktarının artmasıyla birlikte ısı iletkenliği ve kuru yoğunluğu istenilen bir şekilde azalır ancak buna paralel olarak mekanik dayanımı da azalmaktadır. Gazbetonun yoğunluk-gözeneklilik ilişkisi Şekil 2.3’de verilmiştir [27].



Şekil 2.3. Gazbeton gözenek miktarının yoğunluğa bağlı değişimi [27]

Buhar geçirgenliği: Yapı malzemeleri için önemli olan bir diğer özellik de buhar geçirgenliğidir, çünkü yapının rahatlıkla nefes almasını, iç konforu, malzemenin buhar geçirgenlik özelliği sağlar. Gazbeton gözenekli bir yapı elemanı olması nedeniyle iyi ve düşük bir buhar geçirgenlik direnci göstermekte olup, yoğunluğuna bağlı olarak buhar geçirgenliği direnç faktörü $\mu=5-7$ arasında değişmektedir. Ancak bu özellik, gazbetonun negatif sıcaklığın hâkim olduğu bölgelerde kullanımı durumunda malzemede oluşabilecek donma çözülme sonucu malzemeye ciddi zararlar verebilmektedir [27].

Su emme-kuruma: Yapay taş malzemelerin su emmesinin başlıca nedenleri (üretim hataları dikkate alınmazsa), üretim suyunun açığa çıkan kısmının bünyeden atılırken oluşturduğu kılcal yapıdır. Üretim sırasında karışıma verilen suyun pek az miktarı kimyasal bağlantı ile bünyede kalmakta, serbest kalan diğer kısım buharlaşma yolu ile bünyeden atılmaktadır. Atılan su miktarı gazbetonda %50 civarında olmaktadır. Bu arada bir diğer önemli noktada, bu suyun bünyeden atılış hızıdır. Kuruma ne kadar hızlı olursa, bünyede oluşan kılcal yapı da o kadar gelişmiş olacaktır. Gazbeton üretiminde açığa çıkan suyun az olması, üretim sırasında kurutma ve pişirme işlemi

olmayıp tersine yoğun su buharında kimyasal sertleştirme işlemi olmasından ileri gelmektedir. Bunun sonucunda zayıf bir kılcal yapı oluşmakta ve suyun hareketi gözenekler dolayısıyla engellenmektedir.

Suya doymuş duruma gelen yapı malzemesinin içerdiği nem miktarı, o malzemenin su kapasitesini belirlemektedir. Yapı malzemelerinde su miktarı toplam boşluk miktarına yaklaştığı oranda, malzeme donmaya karşı hassas duruma gelmekte, ayrıca nemin etkisi ile ısı yalıtım özelliğini kaybetmektedir. Gazbeton malzemesinin, suya doymuş durumda dahi, bünyesindeki boşlukların yaklaşık %60'ının kuru kaldığı belirtilmektedir [27].

Basınç Dayanımı: Gazbetonun basınç dayanımı için gerekli bilgi TSE 453' te "Önyapımlı (prefabrike), Donatılı yapı elemanları" standardın da verilmiştir. Buna göre gazbetonun basınç dayanımı, TS EN 680 "Gazbeton Basınç Dayanım Tayini" standardına uygun olarak tespit edilir. Deney sonucunda elde edilecek değerlerin yine TSE 453'de belirtilen ve Çizelge 2.1'de verilen değerlere uygun olması gerekir.

Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi gazbetonun basınç dayanımı kuru yoğunluğun artmasıyla birlikte artmaktadır. Ayrıca malzeme bünyesinde ki nem basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir [27].

Çizelge 2.1. Gazbeton malzemelerinin basınç dayanımları ve kuru yoğunlukları [25]

Sınıfı	Ortalama En Küçük Basınç Dayanım değeri N/mm ²	En küçük basınç dayanımı değeri N/mm ²	Kuru Yoğunluk kg/m ³	Ortalama Kuru Yoğunluk kg/m ³	Sınıf İşareti
G2	2,5	2,0	400	310 – 400	G2 / 0,4
			500	410 – 500	G2 / 0,5
G3	3,5	3,0	500	410 – 500	G3 / 0,5
			600	510 – 600	G3 / 0,6
G4	5,0	4,0	600	510 – 600	G4 / 0,6
			700	610 – 700	G4 / 0,7
G6	7,5	6,0	700	610 – 700	G6 / 0,7
			800	710 – 800	G6 / 0,8

Elastisite Modülü: Gazbetonun elastisite modülü, malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak değişmekte olup yoğunluk arttıkça elastisite modülü de artmaktadır. Gazbetonun elastisite modülü TS EN 1352' te “Gazbeton ve hafif agregalı gözenekli beton – basınç altındaki statik elastisite modülünün tayini” standardına uygun olarak belirlenir. G2/04 sınıfı bir gazbetonun elastisite modülü yaklaşık olarak 27500 N/mm² iken G6/08 sınıfı gazbetonda bu değer 42000 N/mm² değerine kadar çıkmaktadır [27].

2.2. Kompozit Malzeme

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Cam elyafı polyester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, otomobil lastikleri ve seramik metal karışımı olan yapılar bunlara örnektir [28].

Kompozitler çok fazlı malzeme sayılırlar. Yapılarında sürekli bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazı bulunur.

Faz, bir malzemenin iç yapı yönünden farklı olan kısımlarına denir.

Bu faz iki tür bileşimle sağlanabilir:

1- Mikroskobik

2- Makroskobik

Mikroskobik bileşim: Örneğin perlit çeliği, ferrit ve sementitin mikroskobik düzeyde homojen karışımlarından oluşur. Tek başına ferrit yumuşak ve düşük mukavemetli olup sert ve gevrek sementit ile birlikte yan yana ince tabakalar halinde dizilmek suretiyle yüksek mukavemetli ve yüksek tokluğa sahip perlit çeliğini oluştururlar [28].

Makroskobik bileşim: Boyutları 0,1 mm' nin üzerinde gözle görülebilirler. Sonradan bir araya getirilerek üstün özelliklerdeki kütleleri oluştururlar [28].

2.2.1. Kompozit Malzeme Türleri

a. Polimer Kompozitler:

Elyafar yani pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon ve kelvar elyafarı kullanılır [29].

Pekiştirici elyafarın özellikleri Çizelge 2.2.' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Pekiştirici elyafarın özellikleri [29]

Malzeme	Özgül ağırlık gr / cm ³	Çekme mukavemeti N / mm ²	Elastisite modülü N / mm ²
Cam elyafı	2,54	2410	70000
Karbon elyafı	1,75	3100	220000
Kevlar elyafı	1,46	3600	124000

Polimer kompozitlerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Pekiştirici elyafarın miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/ özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelere üstün durumundadırlar. Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm / gr olmasına karşın cam elyafı-polyesterlerde 620 Nm/gr dır. Diğer taraftan karbon elyafı epoksidede 700 Nm/gr ve kevlar epoksidede 886 Nm/gr dır. Diğer taraftan karbon elyafarının özgül elastisite modülü alüminyumunkinin 5 katı kadardır. Bu üstünlüklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına tercih edilir [29].

Çizelge 2.3.Elyafı Kompozitlerin Mekanik Özellikleri [29]

Malzeme	Özgül ağırlık gr/cm ³	Çekme mukavemet N/mm ²	Elastik mukavemet N/mm ²
Cam elyafı – polyester	1,5 – 2,1	200 – 340	55000 – 130000
Karbon elyafı – epoksi	1,5 – 1,8	1860	145000
Kevlar – epoksi	2,36	2240	76000

b. Metal Kompozitler (Metal Matrisli Birleşik Malzemeler MMC):

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difizyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMCLer elde edilirler. MMCLer daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır [29].

c. Seramik Kompozitler (Seramik Matrisli Birleşik Malzemeler CMC):

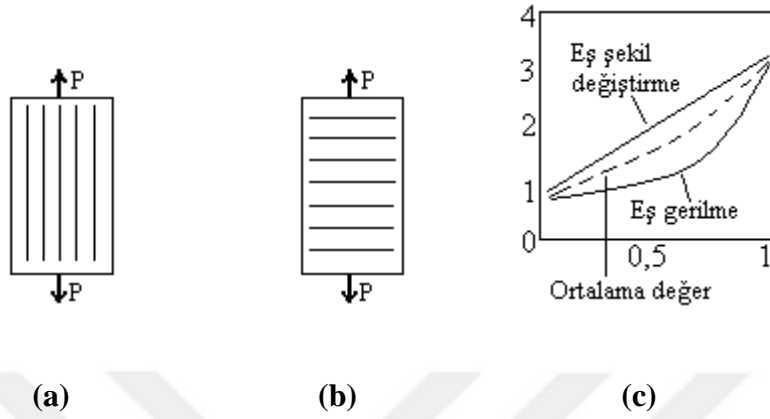
Bu amaçla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıca Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, B₄C, CbN, TiC, TiB, TiN, AlN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da birkaçı beraber kullanılarak CMC ler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir [29].

2.2.2.Kompozitlerin Mekanik Davranışı

Kompozitlerde elyaflar kuvvet yönüne paralel veya dik yönde veya rast gele dağılmış durumda bulunurlar. Elyaf lar yönlenmiş durumda iken kompozit büyük ölçüde anizotrop olur. Elyaf lar rast gele dağıtılmış ise düzlemsel boyutta izotrop olurlar.

Elyaf larla kuvvet birbirine paralel ise elyaflarla matris aynı miktarda şekil değiştirir. Buna eş şekil değiştirme hali denir. Matrisin elastisite modülü E_m, elyaflarını

elastisite modülü E_f ve elyafların hacimsel oranı V_f ise kompozitin paralel doğrultudaki bileşke elastisite modülü $E_k = E_f * V_f + V_f (I- E_m)$ olur [29].



Şekil 2.4. Elyaf- kuvvet yükleme şekilleri ve değişim diyagramı [29]

- a. Ek şekil değiştirme hali (Paralel elyaflar)
- b. Eş gerilme hali (Dik elyaflar)
- c. Elastisite modülünün kompozitin bileşim oranı ile değişimi (Rastgele elyaflar)

Kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri elyafların kopmasıyla sona erer. En uygun kompozit yapısında elyaflar kuvvet doğrultusunda paraleldir.

Elyafların kuvvet yönüne dik olduğu hallerde makro ile elyaflar aynı yükü taşır. Eş gerilme hali bilinen bu yükleme karşısında kompozitin elastisite modülü;

$$E_k = \frac{E_m E_f}{E_m V_f + (1 - V_f) E_f}$$

E_f , T_f : Elyafların çekme mukavemeti,

T_m : Elyafların koptuğu andaki şekil değiştirme için matristeki gerilme

V_f : Elyafların hacimsel oranı ile kompozitin çekme mukavemeti

$T_k = T_f V_f + (1 - V_f) T_m$ olur [29].

2.2.3. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Hafiflik: Polimer kompozitler genelde $1,5 - 2 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğundadır. Metal kompozitler, $2,5 - 4,5 \text{ gr/cm}^3$ olmakla beraber özellerde sıçrama görülebilir. Seramik kompozitler ise ikisi arasındadır [30].

Rijitlik ve Boyut Kararsızlığı: Genleşme katsayıları nispeten düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararlılığı gösterir [30].

Yüksek Mekanik Özellikler: Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir [30].

Yüksek Kimyasal Direnç: Kompozitler birçok kimyasal maddelere, asitler, alkaliler, çözücüler ve açık hava şartlarına karşı son derece direnç gösterirler. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir [30].

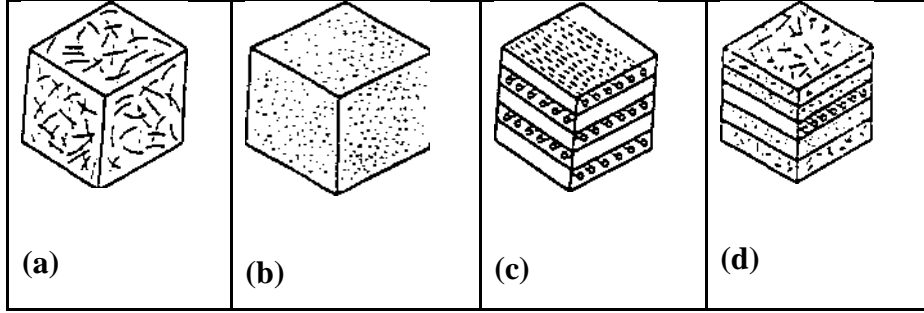
Yüksek Isı Dayanımı: Kompozitlerin ısı dayanımı sıradan plastiklere göre yüksektir [30].

Elektriksel Özellikler: Elektriksel özellikler kompozitlerde isteğe göre ayarlanabilir. Metal Matrisli Birleşik Malzemeler (MMC) iletkenlerdir [30].

2.2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki

malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu sınıflama, Şekil 2.5 'de gösterilmiştir [31].



Şekil 2.5. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

- a. Elyafli kompozitler
- b. Parçacıklı kompozitler
- c. Tabakalı kompozitler
- d. Karma kompozitler

Elyafli Kompozitler

Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyeleriyle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir.

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir [31].

Parçacıklı Kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılarıdır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler [31].

Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılarıdır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler.

Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler [31].

Karma (Hibrid) Kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksektir [31].

2.3.Elyafklar

Elyaf; doğal kaynaklardan elde edilen, ya da insan eliyle üretilen, uzunluğu, bklgenliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan hammaddedir. Elyafklar, polimerlerden yapılan önemli bir malzeme grubunu oluştururlar ve hangi kaynaktan elde edilirse edilsinler, yapısal açıdan bir polimer rndrlere. Metalik elyafklar veya asbest elyafklar gibi polimerlerden yapılmayan elyafklar bulunsa da bu çalışmada ağırlıklı olarak polimer esaslı elyafklardan bahsedilecektir.

Elyafklar kompozitlerde kuvvet taşıyan eleman olup birçok polimerin takviyesinde kullanılmaktadır. Bazı takviye malzemeleri ağaçtaki selüloz gibi, kendiliğinden doğada var olan, hazır işlenmiş ürünlerdir. Bununla birlikte, birçok ticari amaçlı takviye malzemesi endüstriyel olarak üretilmektedir. Bu takviye malzemeleri içinde, tkretim ve satış miktarları açısından, en geniş ölçüde kullanılan takviye malzemeleri ise cam elyafıdır. Diğer kompozit malzemeleri ise, karbon elyafı, aramid, polietilen, polyester ve naylondur. Karbon elyafı, grafit elyafı olarak tanımlanmaktadır [32].

Yüksek mukavemet ve ısı dayanımı için daha gelişmiş (zel amaçlar için geliştirilmiş) (metal ve metal oksitler gibi) takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Malzeme ne olursa olsun, takviye malzemeleri, son ürün gereksinimleri ve proses özellikleri açısından çok sayıda alternatifle hizmet sunmaktadır.

Kompozitlerin gelişmeye başladığı ilk dönemlerde, sadece geleneksel tekstil ve kumaşlardan oluşan takviye malzemeleri bulunmaktaydı. Cam elyafı takviye malzemesi olarak kullanılmaya başlandığında, polimer ile takviye malzemesi arasında kimyasal bir bağ oluşturma gereği duyulmuş ve bu amaçla, elyaf üretim prosesi sırasında elyaf yüzeyine “bağlayıcı” uygulanmaya başlanmıştır. Daha sonra, özellikle ıslak ortamlarda, polimerlerin elyafa yapışmasını kolaylaştırmak üzere, bağlayıcı içinde bir girdi olarak, yüzey kaplama malzemelerine yer verilir. Bu amaçla krom kompleksleri orgono slikon gibi kimyasal bağlayıcılar kullanılmış olup, yakın geçmişte orgono titanyum bileşimlerinin kullanımı da ticari hale getirilmiştir [32].

Alümina-kireç-borosilikat gibi, ana malzemelerden üretilen “E” camından cam elyafı yüksek elektriksel yalıtım özellikleri, neme karşı direnç ve yüksek mekanik özellikleri sayesinde, polimer matriks kompozitleri içinde en çok kullanılan takviye malzemesi durumundadır. Diğer bir ticari cam kompozisyonu olan “S” camı; hem daha yüksek mukavemet, ısı dayanımı ve eğilme modülü, hem de geliştirilmiş kimyasal dayanım özellikleri ile daha spesifik cam elyafı takviye malzemesi olma özelliğine sahiptir [32].

Kompozitlerin takviyesi için kullanılan cam elyafı genellikle 9 ile 23 mikron arasındadır. Elyaf; elektrikle ısıtılan platin rodyum alaşımı, üzerinde yüzlerce küçük delik bulunan kovanlardan, yüksek hızlarla (20-25 m/s) çekilmektedir. Kovanlar, cam elyaflarının serbest bir akışı ile aktığı sayısı 4000’ni aşabilen delik sayısına sahiptirler. Serbest bir halde akan cam filamentlerinin ısı değeri su ve hava ile soğutulurak düşürülmektedir. Daha sonra, cam filamentlerinin korunması ve kompozit laminat özelliklerinin artırılması amacıyla kimyasal bir bağlayıcı ile kaplanmaktadır. Bağlayıcı; cam elyafının kaplama özelliklerini ve elyaf-matriks bileşimini de belirlemektedir [32].

Bir kompozit laminat oluşturulurken, aşağıda bahsedilen özellikler etkilendiği için elyafın uygun tip, miktar ve yön seçimi çok önemlidir.

- a. Özgül ağırlık
- b. Gerilim kuvveti ve modül
- c. Sıkıştırma direnci ve modül
- d. Yorgunluk başarısızlığı mekanizması kadar yorgunluk sağlamlığı
- e. Elektriksel ve termal iletkenlik
- f. Maliyet

2.3.1.Elyaf Çeşitleri

Tez kapsamında gazbeton numunelere takviye edilecek olan elyafın öncelikle içerikleri, sağlayacakları avantajlar ve dezavantajlar araştırılmıştır. Yapılan

çalışmalar sonucunda katkı sağlanacak elyaflar belirlenmiş, dökümler ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

2.3.1.1. Cam Elyaf

Cam elyaflar polimerik matris kompozitler için olan tüm güçlendirici elyafların en yaygın olanıdır.

a. Üretimi:

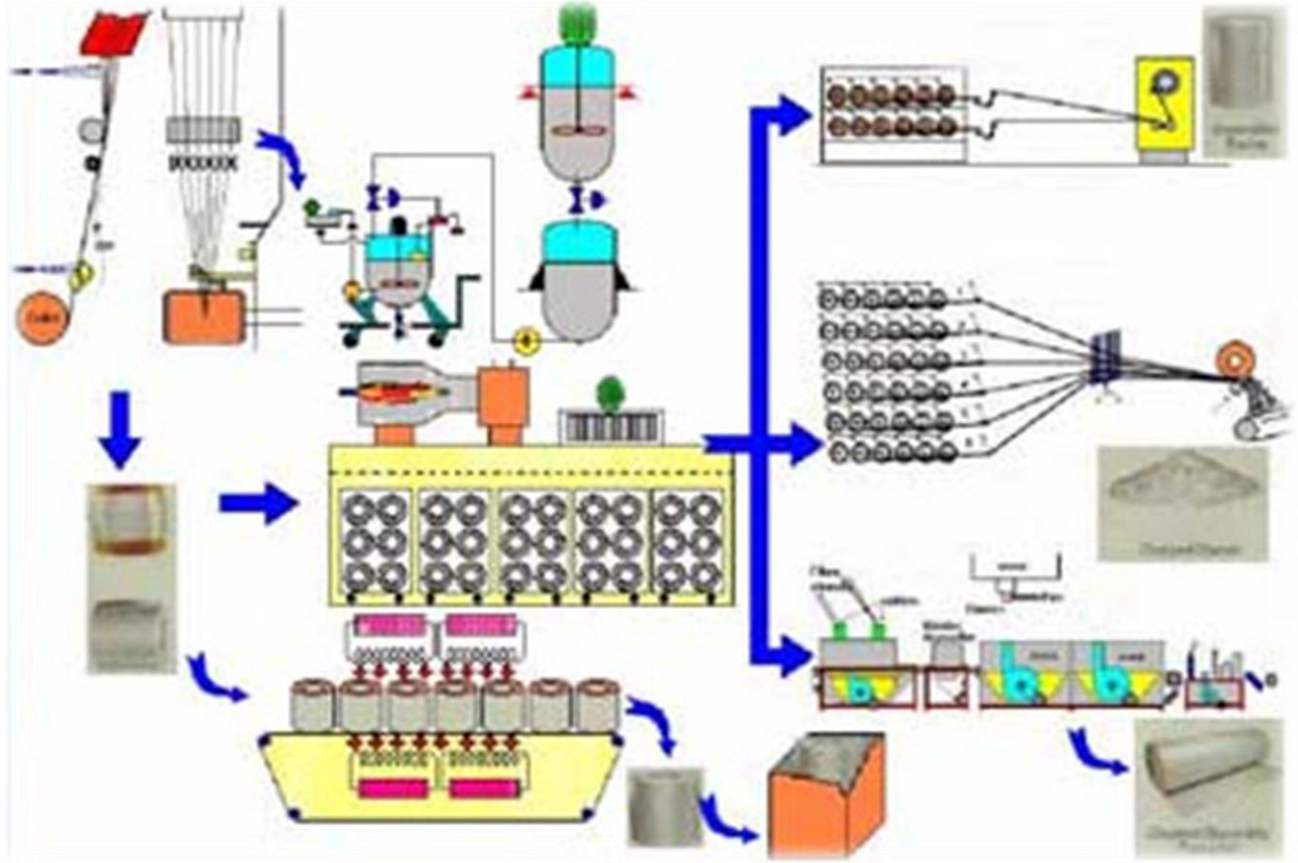
Cam elyafı, silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda, magnezyum oksit... gibi geleneksel cam üretim hammaddelerinden üretilmektedir. Hammadde bileşimi, çok ince öğütülerek, homojen bir karışım elde etmek üzere karıştırılır ve yaklaşık 1600 °C sıcaklıkta çalışan bir ergitme fırınına yerleştirilir. Fırın içinde, karışım yavaşça sıvı hale geçer.

Prosesine uygun olarak yerleştirilmiş bir sarma sistemi ile 50-70 m/sn gibi yüksek bir hız ile daha sonraki uygulama türüne bağlı olarak 5 ila 20 mikron çapında çekilen cam elyafları bir mandal üzerine sarılarak "kek" adı verilen bir bobin üzerinde toplanır.

Cam elyafları, demet haline getirilmeden önce, bağlayıcı adı verilen bir kimyasal bileşim ile kaplanır. Bağlayıcı cinsi, kompozit malzeme içinde cam elyafının performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir.

Kompozitin mukavemeti, reçine-cam bağının kuvveti ile orantılıdır. Bu bağın kuvveti, kullanılan bağlayıcı içindeki bağlama gruplarının cinsine bağlıdır. Bağlayıcı, "film oluşturucu", "bağlama grupları", "antistatik katkı", "plastifiyan" "Lübrikant" adı verilen malzemelerin karışımından oluşmaktadır

Kek adı verilen bir bobin üzerine sarılan cam elyafları kurutulduktan sonra, kırılmış demetten keçe, çok uçlu fitil, kırılmış demetler gibi cam elyafı ürünlerinin elde edilmesi amacıyla prosese tabi tutulur [33].



Şekil 2.6. Cam Elyaf üretim şeması

a. Avantajları:

- Düşük maliyet
- Yüksek gerilim kuvveti,
- Yüksek kimyasal direnç,
- Mükemmel izolasyon özellikleri

b. Dezavantajları:

- Düşük gerilim modülü,
- Yüksek özgül ağırlık (ticari elyaflar arasında)

- Aşınmaya karşı duyarlılık
- Düşük yorulma direnci
- Yüksek sertlik

2.3.1.2. Karbon Elyafı

Karbon elyaflar, çok yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem uygulandığında karbonlaşan malzemelere denir. Karbon elyaflar, epoksi matrisler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir [34].

a. Üretimi

Karbon elyafları piyasada iki biçimde bulunmaktadır:

Sürekli Elyaflar: Dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında ve tek yönlü bantlarda kullanılmaktadır. Bütün reçinelerle kombine edilebilirler.

Kırılmış Elyaflar: Genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal valf yapımında kullanılırlar. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorgunluk direncinin yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler.

Karbon elyafı çoğunlukla iki malzemeden elde edilir;

- Zift
- PAN (Poliakrilonitril)

Aşağıdaki tablolarda Zift esaslı ve PAN esaslı karbon elyaflarının özellikleri yer almaktadır.

Çizelge2.4.Zift esaslı Karbon Elyafının Özellikleri

Özellik	Birim	Düşük Modül	Yüksek Modül	Ultra Yüksek Modül
Germe Modülü	MPa	1380-3100	1900-2750	2410
Kopma Uzaması	%	0,9	0,5	0,4-0,27
Elektriksel Özdirenç	$\mu\Omega\text{cm}$	1300	900	220-130
Yoğunluk	g/cm^3	1,9	2,0	2,2
Karbon İçeriği	%	97	99	99
Elyaf Çapı	μm	11	11	10

Çizelge 2.5. PAN esaslı Karbon Elyafının Özellikleri

Özellik	Ticari		Uzay Endüstrisi		
	Birim	Standart Modül	Standart Modül	Orta Modül	Yüksek Modül
Germe Modülü	GPa	228	220-241	290-297	345-448
Germe Dayanımı	MPa	380	3450-4830	3450-6200	3450-5520
Kopma Uzaması	%	1,6	1,5-2,2	1,3-2,0	0,7-1,0
Elektriksel Özdirenç	$\mu\Omega\text{cm}$	1650	1650	1450	900
Isıl İletkenlik	W/mK	20	20	20	50-80
Elektriksel Yönde uzama Katsayısı	10^{-6} K	-0,4	-0,4	-0,55	-0,75
Yoğunluk	g/cm^3	1,8	1,8	1,8	1,9
Karbon İçeriği	%	95	95	95	99
Elyaf Çapı	μm	6-8	6-8	5-6	5-8

Zift tabanlı karbon elyafları göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar.

PAN tabanlı karbon elyafları kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir [34].

PAN, Karbon Elyafa birbirini takip eden dört aşamada dönüştürülmektedir;

1. Oksidasyon

Bu aşamada elyaflar hava ortamında 300 °C ye kadar ısıtılır. Bu işlem, elyaftan hidrojenin ayrılmasını daha uçucu olan oksijenin eklenmesini sağlar. Ardından karbonizasyon aşaması için elyaflar kesilerek teknelere konur. Polimer, merdiven yapısından kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında elyafın rengi beyazdan kahverengiye, ardından siyaha dönüşür [34].

2. Karbonizasyon

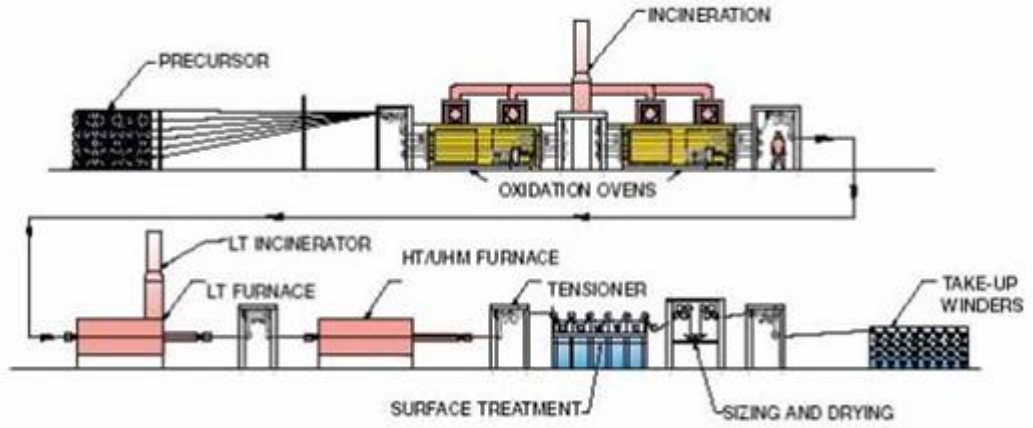
Elyafların yanıcı olmayan atmosferde 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla %100 karbonlaşma sağlanması aşamasıdır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafın sınıfını belirler [34].

3. Kaplama

Elyafı sonraki işlemlerden (preg gibi) korumak için yapılan nötr bir sonlandırma işlemidir. Elyaf reçine ile kaplanır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır. Kaplama kompozit malzemede kullanılacak olan reçine ile elyaf arasında bir ara yüz görevi görür [34].

4. Yüzey İyileştirilmesi

Karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın kompozit malzemenin reçinesine daha iyi yapışabilmesi için elektrolitik banyoya yatırılması işlemidir.



Şekil 2.7. Pan Proses Şeması

Karbon elyafları düşük tarafta 270 GPa dan yüksek tarafta 517 GPa ya kadar bir yelpazede çeşitli gerilim modüllerinde ticari olarak mevcuttur [34].

a. Avantajları:

- Gerilim modülü – ağırlık oranları kadar sıra dışı yükseklikte gerilim kuvveti – ağırlık oranları, düşük lineer genişleme katsayısı, yani iyi bir boyutsal stabilite,
- Yüksek yorgunluk sağlamlığı,
- Yüksek modülüs özelliği,
- Karbon elyafı bilinen tüm malzemelerle eşit ağırlıklı olarak karşılaştırıldığında en sert malzemedir,
- Düşük elyaf yoğunluğu, yüksek mukavemet ve yüksek modül özelliklerini bir araya getirerek üstün bir kombinasyon özelliği,
- Yüksek ısılarda özelliğini koruma ve yüksek yorulma dayanımı özelliklerine sahiptir.

b. Dezavantajları:

- Düşük darbe dayanımı,
- Yüksek elektriksel iletkenlik,
- Yüksek maliyet

Karbon elyafı demet, şerit ve kumaş halinde üretilmektedir. Daha çok termoplastik ve termoset hazır kalıplama bileşimlerinde katkı malzemesi olarak kullanılmak üzere, kırılmış veya öğütülmüş bir şekilde satılmaktadır. Grafit halinde, çok yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir. Bakıra göre dörtte bir ağırlıkta olan grafit karbon elyafının termal iletkenliği bakırın yaklaşık üç, dört katıdır.

2.3.1.3. Aramid Elyaf

Aramid kelimesi bir çeşit naylon olan aromatik poliamidden maddesinden gelmektedir. Aramid elyafı piyasada daha çok ticari isimleri Kevlar (DuPont) ve Twaron (Akzo Nobel) olarak bilinmektedir. Farklı uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak için birçok farklı özelliklerde aramid elyafı üretilmektedir [35].

a. Avantajları:

- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek kimyasal dayanımı
- Kelvar elyafı kompozitler cam elyafı kompozitlere göre %35 daha hafiftir
- E Cam türü elyaflara yakın basınç dayanıklılığı
- Genellikle rengi sarıdır
- Düşük yoğunluktadır.

b. Dezavantajlar:

- Bazı tür aramid elyafı ultraviyole ışınlarla maruz kaldığında bozulma göstermektedir.
- Sürekli karanlıkta saklanmaları gerekmektedir.

- Elyafar çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durumda reçinede mikroskobik çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar malzeme yorulduğunda su emişine yol açmaktadır.

En çok bilinen ve kullanılan aramid elyafı Dupont firmasının tescilli ismi olan Kevlar'dır. Kevlar 29 ve Kevlar 49 olarak iki çeşidi bulunmaktadır. Kevlar 29 üstün darbe dayanımı özelliğine sahiptir ve bu nedenle çoğunlukla kurşun geçirmez yelek gibi uygulamalarda kullanılırlar. Kelvar 49 da güçlendirici olarak kullanılan elyaflardan biridir [35].

a. Avantajları:

- En düşük özgül ağırlık,
- En yüksek gerilim kuvveti-ağırlık oranı,
- Yapısal uygulama için tek elyaf.

b. Dezavantajları:

- Düşük kompresif yapı,
- Üretilmesi zor.

Düşük ağırlık, yüksek sağlamlık ve hasara karşı direncin önemli olduğu deniz ve uçak teknolojisi endüstrilerinde cam elyaf ile yer değiştirmektedir.

Çizelge 2.6.Elyafların bazı özelliklerinin karşılaştırması [32]

Malzeme	Yoğunluk (g/cm³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Modülüs (GPa)
E-Cam	2.55	2000	80
S-Cam	2.49	4750	89
Alüminyum	3.28	1950	297
Karbon	2.00	2900	525
Kelvar 29	1.44	2860	64
Kelvar 49	1.44	3750	136

2.3.1.4. Polipropilen Elyaf lar

Polipropilen elyaf lar petrolün bir türevi olup, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle, başta inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan organik bir malzemedir. Tüm dünyada çimento ve alçı gibi inorganik kökenli inorganik bağlayıcılar ile bitüm gibi organik bağlayıcıları mikro donatılandırmak ve Durabilite 6+ özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polipropilen elyaf lar beton içerisinde gösterdiği en önemli özellik, betonun dökülüşünün ilk birkaç saati içerisinde meydana gelen plastik büzülmeden (rötreden) dolayı oluşan çatlamayı kontrol etmektir. Polipropilen elyaf lar beton, sıva, şap, alçı, bitüm ve prekast uygulamaları için kullanılan bir mikro donatı sistemidir.

Polipropilen elyaf lar çok çeşitli ebatlarda üretilirler. Hammaddesi %100 polipropilendir. 6 mm, 12 mm, 19 mm, 38mm uzunluğunda üretilen çeşitleri daha az ipliksi yapıya sahiptir. Saha betonları, yürüyüş yolları, garaj, otopark ve şaplar için bir tali donatı sistemi olarak hasır donatının yerine kullanılabilir. Elyaf donatılı beton uygulamaları çok eski yıllara dayanmasına rağmen, 1960'lı yıllardan itibaren büyük bir ivme kazanmıştır. Özellikle Amerikan Ordu Mühendisleri Birliği (US Army Corp. Of Engineers) geleneksel silahlara karşı betonu güçlendirmek amacı ile yaptığı çalışmalar sonucunda betonda elyaf kullanımına yönelik deneysel ve teorik veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ışığında ASTM, bir standart hazırlayarak 'Püskürtme Sıva ve Elyaf donatılı Beton uygulamaları' adında 1116-C kodu ile yayımlamıştır. ASTM 1116-C standardında bir betonun elyaflandırılmış olması için %0,1 oranında hacimce elyaf içermelidir. Diğer bir değışle 1 m³ için en az 1 kg elyaf kullanılmalıdır. Polipropilen malzemenin yoğunluğu en az 0,9 kg/m³ olduğunda standarda uygunluk açısından en az 0,9 kg/m³ dozaj kullanılmalıdır [36].

Polipropilen Elyaf ların Özellikleri:

- Betondaki rötre ve büzülme çatlaklarını azaltır.
- Betonu üç boyutlu donatılandırır.

- Segregasyonu azaltır.
- Betonu sünek hale getirir ve geçirgenliğini azaltır.
- Betonun darbeye karşı dayanımını artırır.
- Betonun basınç ve eğilme dayanımını artırır.
- Asit ve bazlardan etkilenmez, donatının korozyonunu ve paslanmasını geciktirir.
- Betonun dağılmasını ve parçalanmasını önler. Yapılar depremde az hasar görür ve çökme riski azalır.
- Betonun tutuşunu artırır, kayar kalıplarda betonun şişmesini önler.
- Yorulma dayanımını kazandırır ve beton hizmet ömrünü artırır.
- Aşındırıcı kimyasallara karşı dayanımı artırır.
- Yüzey aşınmasını, ufalanmasını ve pullanmasını engeller.

Çizelge 2.7. Olefin Elyafların Mekanik Özellikler Tablosu [36]

Elyaf Tipleri	Etkili Çap (10-3 mm)	Ağırlık	Dayanım (MPa)	Elastiklik Modülü(GPa)	Uzama (%)
Akrilik	13-104	1.17	207-1000	14.6-19.6	7.5-50
Aramid I	12	1.44	3620	62	4.4
Aramid II	10	1.44	3620	117	2.5
Naylon	10	1.16	965	5.17	20
Polyester	10	1.34-1.39	896-1100	17.5	20
Polietilen	25-1020	0.96	200-300	5	3
Polipropilen	25-1020	0.90-0.91	310-760	3.5-4.9	15

Çizelge 2.8. Olefin Elyaflardan Polietilen ve Polipropilen Elyafların Özellikleri [36]

Özellik	Polipropilen	Polietilen
Kopma dayanımı (g/denye)	5.0-9.0	2.0-4.0
Kopma noktasında uzama	15-30	20-40
Elastik Modül (g/denye)	30-45	
Yoğunluk (g/cm ³)	0.90	0.92-0.96
Suda Şişme (%)	Şişmez	Şişmez
Erime Noktası (°C)	167	115-138

2.3.1.5. Bazalt Elyaf

Bazalt fiber (BCF) inorganik bir fiber malzemedir. Tamamen doğal bir malzeme olup volkanik kayadan elde edilmiştir. Bazalt kaya yüksek ısıda eritilir (1450 °C) ve hızlıca kesintisiz fiber haline getirilir. Sonrasında değişik uzunluklarda kesilebilir. Rengi kahverengi, altın ya da gri arasında değişebilir. Bazalt malzemelerin temel özellikleri yüksek ısı ve paslanma dirençleri, yüksek asit ve baz dirençleri, yüksek mukavemet ve termal kararlılıktır. Bazalt malzemeler inşaat endüstrisinde, özellikle karbon fibere göre daha düşük maliyetli bir alternatif olarak, güçlendirici bir bileşik malzeme olarak kullanılabilirler [37].

Bazalt Fiber in(BCF) Teknik Özellikleri:

Yüksek özel mukavemetine ve yüksek özel katsayısına ilave olarak BCF, mükemmel ısı direnci (-260 – 700 m²K/W), paslanmama özelliği, radyasyon geçirmeme özelliği, termal ve ses yalıtım özellikleri, süzme, sıkışma karşıtı mukavemeti ve yüksek kayma mukavemeti, yüksek bulunabilirlik ve iyi maliyet performansına sahiptir. Doğada metal olmayan bir inorganik malzeme olarak bulunur ve yüksek teknoloji

fiber, temel altyapıların geliştirilmesindeki talebi karşılayabilecek ileri teknoloji ürünü, yeni ve temel bir fiber malzemedir [37].

Bazalt fiberin teknik özellikleri Çizelge 2.9’da verilmiştir.

- **Hammaddenin doğallığı:** BCF’nin hammaddesi, doğal olarak, volkanik püskürük kaya halinde bulunduğu için, doğal termal ve kimyasal kararlılığa sahiptir ve bilinen bir sağlık tehlikesi taşımaz [37].
- **Performansın kapsamlılığı:** Bazalt fiber çoklu performansa sahip bir fiberdir. Örneğin asitlere ve bazlara dirençlidir; termal, elektrik ve ses izolasyonuna sahiptir; gerilme mukavemeti iri çekilmiş karbon fiberden fazla olabilir, uzaması ince çekilmiş karbon fiberden daha iyidir. Bazaltın 3 boyutlu bir molekülü vardır ve tekil olarak aralara sızmış doğrusal polimerik fiberlerle karşılaştırıldığında, daha yüksek sıkışma karşıtı mukavemete, kayma mukavemetine, zor çevre şartlarına uyum yeteneğine, zamanla gerçekleşen yıpranmaya karşı dirence ve başka mükemmel özelliklere sahiptir [37].
- **Maliyet etkinliği:** Çimento ve betonda kullanılan bazalt fiber pahalı değildir ve diğer katkı maddelerine alternatif olan rekabetçi bir üründür [37].
- **Doğal uygunluk:** Bazalt fiber tipik bir seramik fiberidir, çimento betonu ve harcı ile karıştırıldığında karışımın içinde yayılması kolaydır. Bazalt fiberle güçlendirilmiş beton taze iken hacim kararlılığı, iyi işlenebilirlik, iyi bir genel kararlılık, mükemmel termal direnç, sızdırmazlık özelliği, çatlak direnci ve darbe direnci gibi iyi özelliklere sahiptir. Bu nedenle, bazalt fiberle güçlendirilmiş beton güçlendirme ve çatlak direnci gibi fonksiyonları yerine getirir ve konut, köprü, otoyol, demiryolu, şehir içi yükseltilmiş yollar, havaalanı pistleri, limanlar, metro tünelleri, kıyı koruma işleri, santral tesisleri gibi alanlarda yapının ömrünü uzatır. BCF doğal malzemedir ve yapı işleri ile ulaştırmada devrim niteliğinde değişiklikler getirmiştir [37].

Çizelge 2.9. BCF’nin Mekanik ve Kimyasal Özellikleri [37]

No	Performans	Değer
1	Termo-fiziksel özellikler	
	Çalışma ısısı, ° C	-269~700 °C
	Bağ ısısı, ° C	1050 °C
	Termal İletkenlik, w/m. ° K	0,03~0,038
2	Fiziksel özellikler	
	Filaman çapı (µm)	7~15
	Yoğunluk (kg/m ³)	2650
	Elastikiyet katsayısı (kg/mm ²)	10000~11000
	Gerilme mukavemeti (MPa)	4150~4800
	Isı altında gerilme mukavemeti, %	
	20 ° C	100
	200 ° C	95
	400 ° C	82
3	Kimyasal kararlılık (3 saatlik kaynatmadan sonra ağırlıksızlık), %	
	2N HCl	2,2
	2N NaOH	6,0
	H ₂ O	0,2

Çeşitli tipteki beton inşaatların genişleme alanları ile hacimlerinde yapıların inşaat koşulları zorlaştıkça, beton sağlamlığı, kırılma direnci, darbelere ve dinamik etkilere karşı direnç, aşınma, donma, vs. özelliklerin niteliksel gelişimi giderek daha büyük bir önem kazanmaya başlar.

Beton, köpük beton, polistren beton, harç, alçı karışımı, vs. içine eklenen bazalt elyaflar mekanik basınca karşı malzemenin direncini artırır, metal ağın tersine bütün yönlerde çözülmeyi güçlendirir, çözülmeye karşı kusursuz bir tutma gücü vardır ve

homojen bir kitle oluşturur. Elyaf desteği köpük, polistren ve saf beton için etkili bir katkı maddesidir. Gerektiğinde mekanik etkiye ya da çekmeye bağlı olarak meydana gelen deformasyon çatlaklarının önlenmesi için her tipteki sulu çamurda kullanılabilir (örneğin, yerlere ya da kalıp yapısının içine dökülerek). Fiberoptik kullanımı, güçlendirme süreci içinde yoğun işgücü gerektiren çalışmalara duyulan ihtiyacı giderir. Bazalt elyaf ile güçlendirilmiş betonla yapılan inşaat malzemeleri özellikle sismik dengesizliğin yüksek olduğu ve yer altı yapısının dengesiz olduğu alanlarda etkili sonuçlar doğurur [37].

Bazalt elyafın özellikleri

- Çekme çatlaklarının oluşumuna engel olur.
- Aşınmaya karşı direnci artırır.
- Plastik deformasyonu görüntüsünü, çatlakları ve yüzeysel pullanmayı önler.
- Donmaya karşı direnci artırır.
- Güçlü ve dayanıklıdır.
- Isıya karşı yüksek bir direnci vardır ve kesinlikle yanmaz.
- Aşındırıcı ortamlara karşı dirençlidir.
- Çevre dostudur.

Doğası gereği, çimento taşının çekme direnci ile bükülme özelliği basınç direncinden daha düşüktür. Dağınık güçlendirme ve sürekli elyaf güçlendirmesi çimento ile diğer tipteki yapay taşların doğasını değiştirir ve çatlamaya, eğilmeye ve çekme yüküne karşı direnci artırır; çatlakların oluşumundan sonra bile, bir taraftan yapısal bütünlüğü yaratırken öte yandan ihtiyaç duyduğunuz güvenlik payını oluşturmanızı sağlar.

Bugün, çimento, beton ve diğer ürünlerin (cam, polimer ve metal) takviyesi için uygulamalara ilişkin sertleşen çimento hamurunun ortamında cam elyafının düşük kimyasal direnci, sentetik elyafın yüksek maliyeti ve metal elyafın eksikliği gibi bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Polipropilen ile cam elyafın özelliklerinin bazalta oranla daha aşağı nitelikte olduğu unutulmamalıdır.

Bu malzemelerin başlıca dezavantajları şunlardır:

- Az yüküyle bile esnemeye bağlı deformasyon oluşur.
- Malzemenin çabuk yaşlanması nedeniyle zamanla yapılarda kayıplar olur.
- Açık aleve maruz kaldığında yanma tehlikesi vardır.
- Polimer, cam, metal elyaf ve çimentoğun uzama yeteneği farklıdır.
- Maliyeti yüksektir.

Yukarıda sayılan bu olumsuz özelliklerin hiçbir bazalt elyafta yoktur.

Az miktarda elyaf eklenmesi çimentoğun eğilme yüküne karşı direncini artırır. Bu, malzemenin dayanıklılığını arttıran, çekme deformasyonunu azaltan, kırılma tokluğunu ve darbe gücünü önemli ölçüde yükselten bir uygulamadır. Bütün bunlar elyafly malzemelerin yeni uygulamalarının sabit güç göstergelerinde kesitleri azaltarak inşaat yapılarının toplam ağırlılığını da azaltabildiğini göstermektedir.

Köpük beton, polistiren, kâğır, vs. malzemelerin üretimi sırasında ürünün belli bir gücü bağlayıcı maddenin (çimento, alçıtaşı, vs.) tüketimini önemli ölçüde azaltabilir ve bunun sonucunda ürün yoğunluğunda bir düşüş olur [37].

Çizelge 2.10.Bazalt elyaf kullanımının avantajlarının metal ağın avantajları ile kıyas tablosu [37]

	Bazalt Elyaf	Çelik Hasır
Plastikte çatlak oluşumunu engeller	+	-*
Malzemenin ömrünü uzatır	+	-
Paslanma	Hayır	Evet
Yüzey cilasını kolaylaştırır	+	+
Aşınmaya karşı direnci artırır	+	-
Şoka karşı direnci artırır	+	-
Su emilimini azaltır	+	-
Plastik tortusunu önler	+	-
Donma direncini artırır	+	-
Yanma direncini artırır	+	-
Kemirici ortamlara karşı direnci artırır	+	-
Mutlak yanmazlık özelliği vardır	**+	-
- * - Yalnızca çatlakların oluşumundan sonra çalışır		
** - Bu özellikler yalnızca bazalt elyafta vardır		

3.DENEYLER VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.1. Isıl İletkenlik Değerinin Belirlenmesi

Malzemelerin ısı iletkenlik değerini belirlenmekte kullanılan yöntemleri analitik hesaplama, sayısal hesaplama ve deneysel hesaplama şeklinde ana başlıklara ayırabiliriz. Her bir yöntem kendi içerisinde de ısı iletkenlik değeri belirlenecek maddenin fazına, yapısına, türüne, ısı özelliklerine göre farklı metotlar içermektedir.

3.1.1. Isıl İletkenlik Değerinin Teorik Olarak Belirlenmesi

Efektif ısı iletkenliği ölçmek için tam, yaklaşık ve sadece sayısal olan çeşitli metotlar, farklı sistemler için farklı araştırmacılar tarafından ortaya çıkarılmıştır. Yeni teorik modellerin, günümüz ihtiyaçları ve yeni teknolojik gelişmeler yüzünden ortaya çıkan yeni sistemleri desteklemesine halen ihtiyaç duyulmaktadır. Geliştirilen teorik modeller, aşağıdaki yaklaşımlardan yola çıkılarak sınıflandırılabilir:

a) Alan yaklaşımı: Manyetik geçirgenlik, yalıtkan sabiti, elektrik iletimi ve ısı iletkenlik Laplace denklemi ile tanımlanmaktadır. Bu özellikler için Laplace denkleminin çözümleri matematiksel olarak tanımlıdır. Bu yüzden, sistemin mikro yapısı ile ilişki ortaya çıkaran bir konfigürasyon varsayılır ve ısının lineer akışına yapısal elemanlar yüzünden ortaya çıkan bozukluklar tanımlanır. Direnç yaklaşım modellerinin elde edilmesinde, akış çizgilerinin düz olduğu farz edilirdi. Aslında, akış çizgileri, yayılmış taneciklerin etrafında yoğunlaşmış veya arıtılmış bölgeleri oluşturur. Seyrelme veya yoğunlaşma derecesi bileşen kesimlerinin ısı iletkenliğinin

oranına bağlıdır. Kesimlerin iletkenliğini bilerek, molekülün içinden veya dışından ilgili akış yoğunluğunu çıkarmak mümkündür. Bu bilgi ile birlikte, karışımın efektif ısı iletkenliği hesaplanabilir.

b) Direnç yaklaşımı: Bu yaklaşımda aralıksız ve yayılmış kesimler, ısı akışına karşı bir ısı direnç olarak davranan (Ohm kanununa uyum sağlayan dirençler gibi) paralel plakalar gibi düzenlenmiştir ve akış çizgileri, düz bir çizgiyi izlemiştir. Farklı modellerde farklı plaka konfigürasyonları uygulanabilmektedir.

c) Ortalama faz yaklaşımı: Bu yaklaşımda, efektif ısı iletkenliği, bileşen fazlarının karışımının ortalama özelliği olarak elde edilir. Her bir fazda sıcaklık tanecığının ortalama miktarı alınır ve bu ilerdeki ortalama sıcaklıkla ilgilidir.

Aşağıda, gözenekli malzemelerin efektif ısı iletkenliğinin hesabı için geliştirilmiş popüler modellerden bazıları verilmiştir [38].

Paralel Model: Bu konfigürasyonda, eşdeğer plakaların yüzeyi ısı akış yönüne paraleldir. Paralel konfigürasyon için efektif ısı iletkenlik, katı ve sıvı kesimlerin iletkenliklerinin aritmetik ortalaması olarak açıklanabilir ve şu şekilde yazılır,

$$k_e = [\phi k_f + (1 - \phi)k_m] \quad (3.1)$$

Paralel konfigürasyon, efektif ısı iletkenliğinin maksimum değeri ile sonuçlanan minimum yalıtım ortaya koyar [38].

Seri Model: Isı akışının yönü plaka yüzeyine dikey olduğunda, maksimum yalıtım ortaya çıkar ve efektif ısı iletkenlik değeri minimum olur. Bu modelde, oluşan kesimler ısı akış yönü olarak seriler halindedir. Bu durumdaki efektif ısı iletkenlik, oluşan kesimlerin iletkenliklerinin uyumluluk ortalaması ile verilir ve

$$k_e = \left[\frac{\phi}{k_f} + \frac{(1-\phi)}{k_s} \right]^{-1} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir.

Maxwel, potansiyel teoriyi kullanarak, homojen bir ortamdaki rastgele dağılımlı ve birbirleriyle etkileşimsiz homojen kürelerden oluşan bir karma malzemenin ısı iletkenlik değerini hesaplamak için aşağıdaki denklemi elde etmiştir.

$$k_e = k_c \frac{[2k_c+k_d-\phi_d(k_c-k_d)]}{[2k_c+k_d+\phi_d(k_c-k_d)]} \quad (3.3)$$

Burada k_c sürekli fazın ısı iletkenliğini, k_d süreksiz fazın ısı iletkenliğini ve ϕ_d süreksiz fazın hacim oranını göstermektedir [39].

Fricke ve Burgers elips şeklindeki parçalar için Maxwell modelini yeniden düzenlemiştir. Fricke ve Burgers tarafından elde edilen ifade,

$$k_e = \frac{k_c\phi_c+k_d(1-\phi_c)F}{\phi_c+(1-\phi_c)F} \quad (3.4)$$

şeklinde olup burada,

$$F = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \left[1 + \left\{ \left(\frac{k_d}{k_c} \right) - 1 \right\} g_i \right]^{-1} \text{ ve } \sum_{i=1}^3 g_i = 1 \text{ dir.}$$

Parçacıkların birbirlerinden etkilenmediğini kabul etmişlerdir ve (F) iki fazdaki ortalama sıcaklık değişiminin oranı ve g_i elipsin yarı asal eksenidir.

Rayleigh, parçacıkların küresel olduğunu ve kübik bir düzende sıralandıklarını kabul etmiştir. Rayleigh tarafından belirtilen efektif ısı iletkenlik ifadesi

$$k_e = \frac{k_c \left[1 - 2\phi m - 1,65(\phi)^{\frac{10}{3}} A_s \right]}{\left[1 + \phi m - 1,65(\phi)^{\frac{10}{3}} A_s \right]} \quad (3.5)$$

şeklinde olup burada,

$$m = \frac{(k_c - k_d)}{(2k_c + k_d)} \quad \text{ve} \quad A = \frac{(3k_c - 3k_d)}{(4k_c + 3k_d)}$$

Rayleigh'in modeli o kadar sabit ve yapaydır ki pratik durumlarda karışımların k_e değerini belirlemez.

Lichtenecker, "karışımın logaritmik kanunu" adındaki iki fazlı sistemin davranış şeklini açıklamak için deneysel bir ilişki vermiştir. Efektif ısı iletkenlik için ifadeyi,

$$\log(k_e) = \phi_f \log k_f + \phi_s \log k_s \quad (3.6)$$

şeklinde belirtmiştir. Burada iletkenlikler ve hacim oranları s ve f simgeleriyle belirtilmiştir. Karışımın k_e değeri, sistemlerin farklı şekillerde yayılmış tipi için daha üst ve daha alt sınırlamaları arasında bulunmalıdır. Bu denklemin ayrıca,

$$k_e = (k_f)^\phi \cdot (k_s)^\phi \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabileceğini belirtmiştir. Bu denklem sadece üçüncü yündeki yönlendirilmiş ve iki yönlü rastgeleleştirmeye sahip parçacıklar için yapmıştır. Üç yönlü rastgeleleştirmeye sahip parçacıklar için, Bruggeman Lichtenecker'in bağıntısını

$$k_e = (k_f)^{\phi(1+m\phi)} \cdot (k_s)^{\phi(1+m\phi)} \quad (3.8)$$

olarak geliştirmiştir. Burada

$$m = \frac{3}{2} \left(\frac{k_s - k_f}{(2k_s + k_f)(k_s + k_f)} \right) \text{ 'dir.}$$

(3.6) ifadesinin (n) sayıdaki faza göre genişletilebileceğini ve

$$\log k_e = \sum_{i=1}^n \phi_i \log(k_i) \quad (3.9)$$

şeklinde yazılabileceğini belirtmiştir.

Gözenekli malzemeler için, Ribaud gözeneklerin kübik halde birleştirildiğini kabul ederek bir denklem hedeflemiş ve

$$k_e = k_s \phi_s^{\frac{2}{3}} + k_f \phi_f^{\frac{1}{3}} \quad (3.10)$$

eşitliğini elde etmiştir.

Woodside ve Messmer, direnç yaklaşımını kullanarak ısı iletiminin üç yöntemini hedeflemiştir. Metalden metale iletim, sıvıdan sıvıya iletim, sıvıdan metale iletim ve metalden sıvıya iletim olduğunu varsaymışlar ve efektif ısı iletkenlik ifadesini

$$k_e = \alpha \left[\frac{k_s k_f}{k_s(1-\gamma) + k_f \gamma} \right] + \beta k_s + \delta k_f \quad (3.11)$$

olarak belirlemişlerdir. Burada $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ve $\alpha \cdot \gamma + \beta = (1 - \Phi)$, λ , β , ve γ küp formasyonu için parametreler olduğunu ve δ 'yi ise F'nin karşıtı şeklinde ifade etmişlerdir.

Buradaki δ 'yi

$$\delta = \frac{1}{F} = \phi - 0,03$$

olarak tanımlamışlardır.

Chauldhary ve Bhandari ise iki fazlı sistem için seri ve paralel direnç kavramını göz önüne alarak Lichtnecker modelini geliştirmişlerdir. Seri ve paralel dirençlerin rastgele dağılımı, ısı akış yönündeki paralel dirençlerin yönlendirilmesi ihtimalini gösteren n deneysel faktörü ile göstermişler ve efektif ısı iletkenlik için elde edilen sonuç ifadeyi ise,

$$k_e = (k_{\parallel})^n (k_{\perp})^{1-n} \quad (3.12)$$

şeklinde vermişlerdir.

$$k_{\parallel} = [\phi k_f + (1 + \phi)k_s] \quad (3.13)$$

$$k_{\perp} = \left[\frac{\phi}{k_f} + \frac{(1-\phi)}{k_s} \right] \quad (3.14)$$

$$n = \frac{h(1 - \log \phi)}{\log \left[\phi(1 - \phi) \left(\frac{k_s}{k_f} \right) \right]}$$

olup h deneysel sabitini ifade ettiğini belirtmişler ancak h için daha fazla bir açıklama vermemişlerdir [38].

Cheng ve Vachon, süreksiz fazın parabolik bir dağılıma sahip olduğunu varsayarak, süreksiz fazın hacim oranının bir fonksiyonu olarak parabolik dağılım sabitlerini belirlemişlerdir. $k_f > k_m$ olması durumunda efektif ısı iletkenlik değerini;

$$\frac{1}{k_c} = \frac{1}{\sqrt{C(k_f - k_m)[k_m + B(k_f - k_m)]}}$$

$$\ln \frac{\sqrt{k_m + B(k_f - k_m) + (B/2)\sqrt{C(k_f - k_m)}}}{k_m + B(k_f - k_m) - (B/2)\sqrt{C(k_f - k_m)}} + \frac{1-B}{k_m} \quad (3.15)$$

şeklinde vermişler ve $B = \sqrt{(3\phi/2)}$ ve $C = -4\sqrt{2/3\phi}$ şeklinde tanımlanmışlardır [39].

Literatürde bu efektif ısı iletkenlik değeri modellerine ilave olarak verilebilecek daha birçok model mevcuttur. Bu modellerin tamamı malzemeyi oluşturan fazların ayrı ayrı ısı iletkenliklerine, hacim oranlarına ve geometrik şekillerine göre değişmektedir. Her karma malzemenin yapısı bileşenlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olacağına dolaylı bir modelin tüm malzemeler için geçerli olabileceğini söylemek olanaksızdır. Ancak her bir teorik model, geliştirilmesi sırasında esas alınan malzemenin özelliklerine yakın özellik gösteren benzer malzemeler için gerçeğe yakın sonuçlar verebilmektedir.

3.1.2. Isı İletkenlik Değeri Deneysel Olarak Belirlenmesi

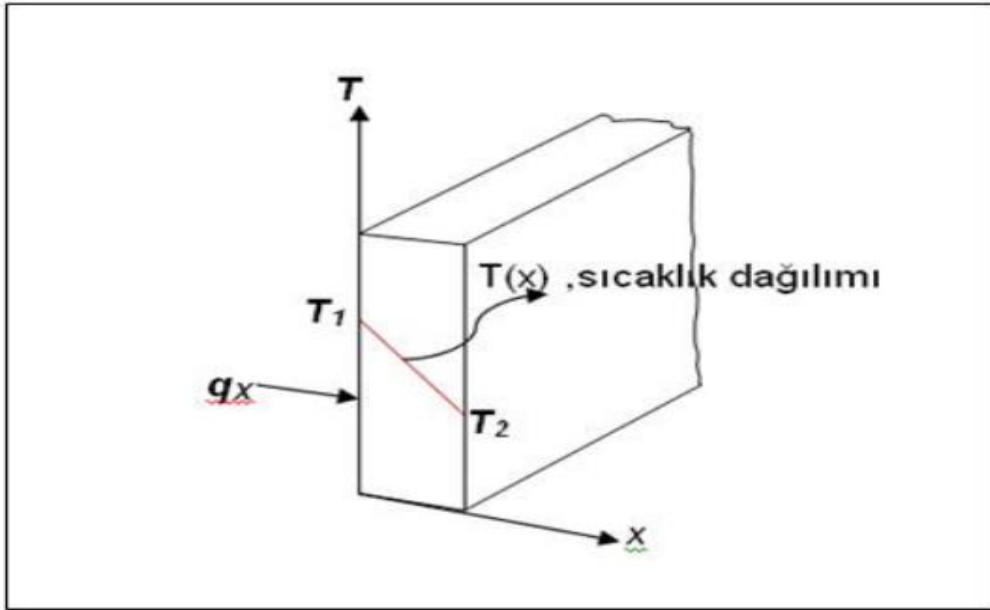
Malzemelerin ısı iletkenlik değeri deneysel olarak belirlenmesi için farklı deney metotları geliştirilmiştir. Bu deney metotları, sürekli rejimde ölçüm ve geçici rejimde ölçüm olmak üzere iki farklı metoda göre ölçüm yapmaktadır. Sürekli rejim ve geçici rejim metotlarına göre ölçüm yapan farklı yöntemler geliştirilmiş olup, ölçümü yapılacak malzemenin türüne, boyutuna, iç yapısına ve ölçüm sıcaklığı aralığına göre farklı yöntemler bulunmaktadır.

Literatürde sürekli rejim prensibine göre ölçüm deney metotları olarak; sıcak plaka metodu, silindir metodu, ısı akış metre metodu, mukayeseli metot, doğrudan ısıtma metodu ve boru metodu yer almaktadır. Bu deney metotları genel olarak metaller, plastikler, seramikler, yalıtım malzemeleri ve benzeri katı malzemeleri ısı iletkenliklerini ölçmek için geliştirilmiş metotlardır. Bununla birlikte, sıcak tel metodu ve laser flash metodu sıvı, katı ve gazların ısı iletkenliklerinin ölçümünde kullanılan geçici rejim ölçüm metotlarıdır. Ayrıca bunlara ilave olarak, ışık etkisine maruz bırakılan bir malzemenin sıvı, katı ve gaz halinde, ısı durumlarındaki değişikliğin ölçülmesi şeklinde tanımlanan fototermal ve fotoakustik metot da mevcuttur. Yukarıda belirtildiği gibi ısı iletkenliğinin ölçümü için farklı deney yöntemleri geliştirildiği görülmektedir. Bu yöntemlerin bazıları malzemelerin ısı iletkenlik değeri ölçümünde ön plana çıkmış ve ölçümü yapılabilecek malzemeler

için standartlar geliştirilmiştir. Aşağıda daha sık kullanılan ve standart hale getirilmiş deney yöntemlerinde bazıları kısaca açıklanmıştır.

3.1.2.1. Sürekli Rejim Metodu

Sürekli rejim metodunun temeli bir boyutlu Fourier ısı iletimi denkleminde dayanmaktadır. Malzemenin ısı geçişinin sadece bir boyutta gerçekleştiği kabul edilerek, malzemenin ölçüme esas alınan karşılıklı iki yüzeyinde belirli bir sıcaklık farkı oluşturulup malzeme yüzeyinden geçen ısı akısının ve sıcaklıkların ölçülmesi neticesinde ısı iletkenlik değerinin belirlenmesi esasına dayanır.



Şekil 3.1. Doğrusal yönde ısı iletim şeması

$$k = \frac{q'' \cdot L}{T_2 - T_1} \quad (3.16)$$

Burada;

q'' : Isı akısı (W/m^2)

T_2-T_1 : Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)

L: Sıcaklık farkı oluşturan yüzeyler arasındaki mesafe (m)'dir.

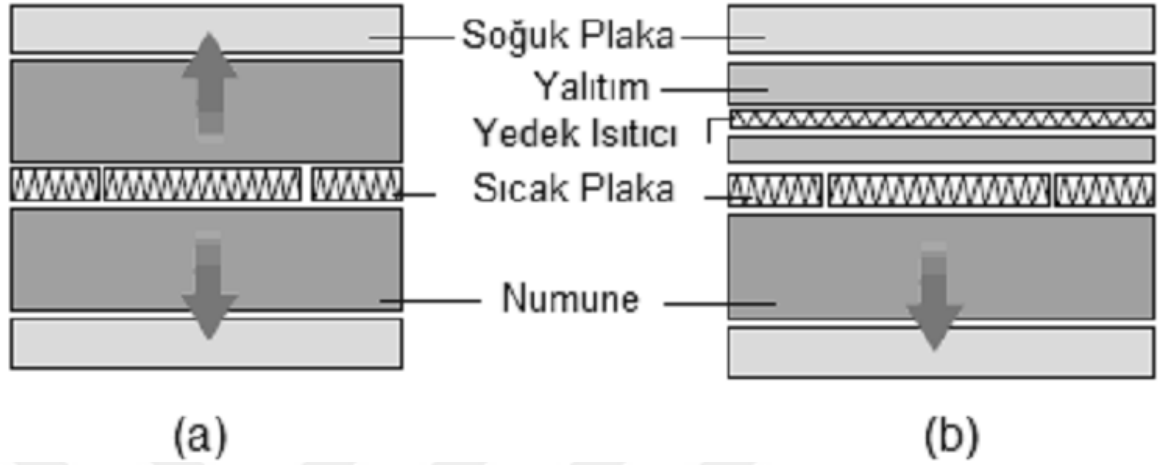
Sürekli rejim metodunda ısı akısı, ısı kaynağından verilen ısının numune kesit alanına oranından, sıcaklık farkı ise numunenin yüzeylerindeki sıcaklıkların ölçülmesi neticesinde belirlenir. Ölçümü yapılacak numunenin ölçüleri genellikle cihaz tasarımları esnasında standart hale getirilir. Numune boyutları diğer bir deyişle cihazların numune hazneleri, ölçümü yapılacak malzemenin yapısına ve ısıl iletkenlik değerine bağlıdır.

Sürekli rejim metodu esasına göre ölçüm yapan deneylerden sıkça kullanılan ve önemli olanları; sıcak plaka, ısı akış metre ve sıcak kutu (hot box) metodudur. Bu deney yöntemlerinin kapsamları ve uygulamaları standartlarla ayrıntılı olarak açıklanmış olup kısa açıklamalar aşağıda verilmiştir.

a) Sıcak Plaka Metodu: Bu metot, metal dışı cam, seramik, polimer, yapı elemanları ve yalıtım malzemelerinin ısıl iletkenlik değerini bulmakta kullanılır. Numune geometrisi malzemenin homojenliğine ve ısı iletme kabiliyetine göre seçilir ve kalınlık birkaç milimetreden birkaç desimetreye kadar çıkabilir. Sıcaklık aralığı -190 $^{\circ}C \pm 525$ $^{\circ}C$ arasında değişir [40].

Bu metoda göre ölçüm yapan muhafazalı sıcak plaka cihazları tasarlanmış ve bu yöntem için standartlar oluşturulmuştur. Bu mahfazalı sıcak plaka cihazlarının amacı, düz ve paralel yüzeylere sahip tekdüze levha(lar) halindeki deney parçalarında, iki düz paralel izotermal yüzey arasındaki sonsuz bir levhada var olan tek yönlü tekdüze ısı akış hızı yoğunluğunu, kararlı hal şartlarında tayin etmektir. Sıcak plaka metoduna göre tasarlanan cihazlar, çift deney parçalı (ve bir merkezî ısıtma ünitesi) ve tek deney parçalı olmak üzere iki tipte imal edilmekte ve kullanılmaktadır. Çift deney parçalı cihazlarda (Şekil 3.2.a), ısıtma ünitesi olarak adlandırılan bir ısıtıcı ve metal yüzey plâkalarından oluşan bir merkezî yuvarlak veya kare şeklinde düz plâka hemen hemen aynı iki deney parçası arasında sandviç yapılıdır. Isı akışı deney parçalarının içinden soğutma ünitesi olarak adlandırılan yuvarlak veya kare şeklindeki, izotermal tertibata doğru gerçekleştirilir. Tek deney parçalı cihazlarda

(Şekil 3.2.b) ise, ikinci deney parçası yerine yalıtım parçası ve koruma plâkası konulmuştur. Böylece yalıtım parçası ve koruma plâkasının oluşturduğu kombinasyonun bir yüzeyi ile diğer yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı sıfır olur [41].



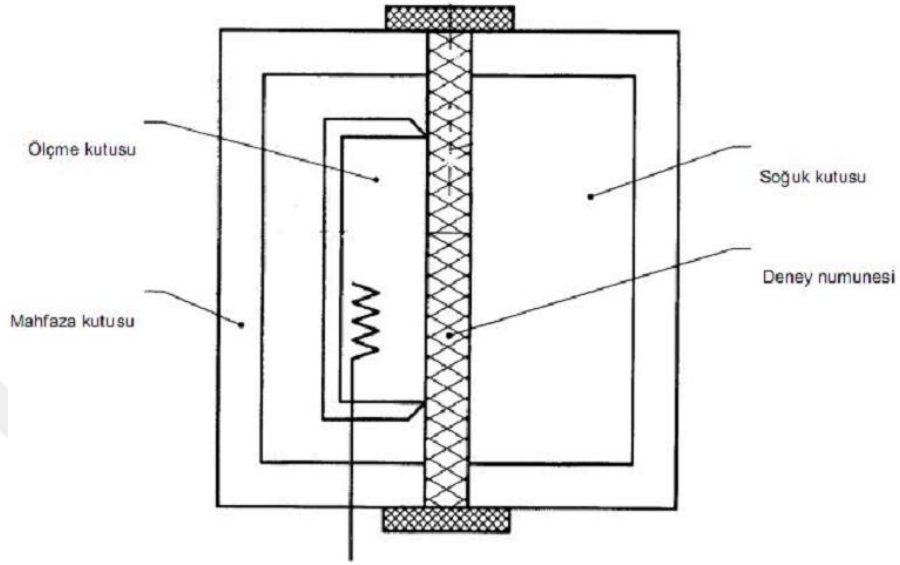
Şekil 3.2. Muhafazalı sıcak plaka metodu a) İki numuneli cihaz b) Tek numuneli cihaz.

b) Kalibre edilmiş ve mahfazalı sıcak kutu metodu: Bu deney yönteminde, deney numunesinin bir tarafından diğerine, verilen bir sıcaklık farkında, ısı transfer şekline bağımsız olarak aktarılan ısının toplam miktarı ölçülmektedir. Bu nedenle, deney sonuçları bu özelliğin gerekli olduğu durumlara uygulanabilir. Bununla birlikte, ısıl iletkenlik özelliği, çoğunlukla deney numunesine, kendisine ve sınır şartlarına, numune boyutlarına, ısı transferinin yönüne, sıcaklıklara, sıcaklık farklarına, hava hızlarına ve bağıl neme bağlı olmaktadır [42].

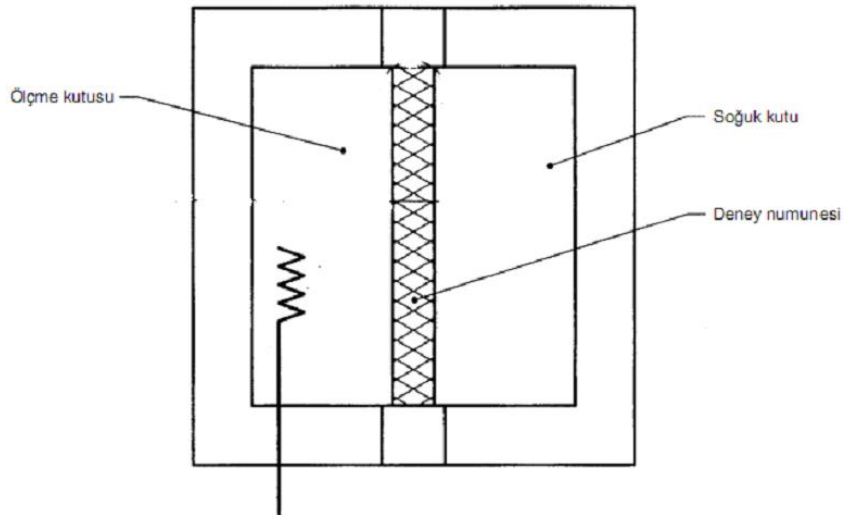
Sıcak kutu deneyi için iki alternatif metot mevcuttur. Bunlar, kalibre edilmiş sıcak kutu ve mahfazalı sıcak kutu metotlarıdır. Her iki metot da duvarlar gibi düşey konumda kullanılan deney numuneleri ve tavan ve döşeme gibi yatay konumda kullanılan deney numunelerine uygulanmaya uygundur. Donanım, gerçek boyutlarıyla deney numunelerinin değerlendirilmesine imkân verecek büyüklükte olabilir [42].

Mahfazalı sıcak kutuda ölçme Şekil 3.3’de gösterildiği gibi, deney numunesinde yanal ısı akışını ve ölçme kutusunun duvarlarında olan ısı akışını küçültebilmek için etrafı, içinde ortamın kontrol altında tutulduğu mahfaza kutusu ile çevrelenmiştir.

Kalibre edilmiş sıcak kutu (Şekil 3.4) yönteminde ise, sıcaklık kontrollü ama ölçme kutusunun içindeki hava sıcaklığı ile aynı seviyede olması gerekmeyen bir ortamla çevrelenmiştir. Ölçme kutusunun duvarlarından geçen ısı kayıpları, yüksek ısıl direnci olan bir yapı kullanılarak düşük seviyede tutulur [42].



Şekil 3.3. Mahfazalı sıcak kutu deney düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 3.4. Kalibre edilmiş sıcak kutu deney düzeneğinin şematik görünüşü [42]

c) **Isı akış metre metodu:** Kararlı hal metotlarının en önemli dezavantajı ısı kayıpları ve kararlı halden sapmalar sebebiyle kararlı hale ulaşmak için çok uzun

süre gerektirmesidir. Ölçüm prensibi Şekil 3.5’de görülen ısı akış metre metodundaki temel mantık, bir ısı direnç boyunca sıcaklık düşüşünü ölçerek ısı akısını hesaplamaktır. Bunun için bir elektrik rezistansı boyunca meydana gelen voltaj düşmeleri analiz edilerek neticeye varılır. Bu iş için ya sertifikalı bir rezistans ya da ısı akış sensörü kullanılır. Çoğu ısı akış sensöründe ısı çifti seri bağlı ince bir seramik veya plastik plaka vardır. Plaka boyunca meydana gelecek olan voltaj düşmesiyle sıcaklık düşmesi orantılıdır. Isı akış sensörleri genellikle ısı akısı iyi bilinen bir kararlı hal ortamında kalibre edilmişlerdir. Tasarım olarak sıcak plaka düzeneğine çok benzerlik göstermekle beraber oradaki sıcak plaka yerine burada ısı akış sensörleri kullanılmaktadır. İnce bir tel, aynı özellikte iki refraktör plaka arasına yerleştirilerek ölçüm yapılır. Sabit bir elektrik gücü tel vasıtasıyla onu çevreleyen refraktöre iletilir ve telin sıcaklığı izlenir. Eğer refraktör yüksek ısı iletkenliğe sahipse tel sıcaklığı düşük, yalıtkanlığı fazla olursa tel sıcaklığı yüksek olur [40].



Şekil 3.5. Isı akış metre metoduna göre ölçüm yapan deney cihazı şematik görünüşü

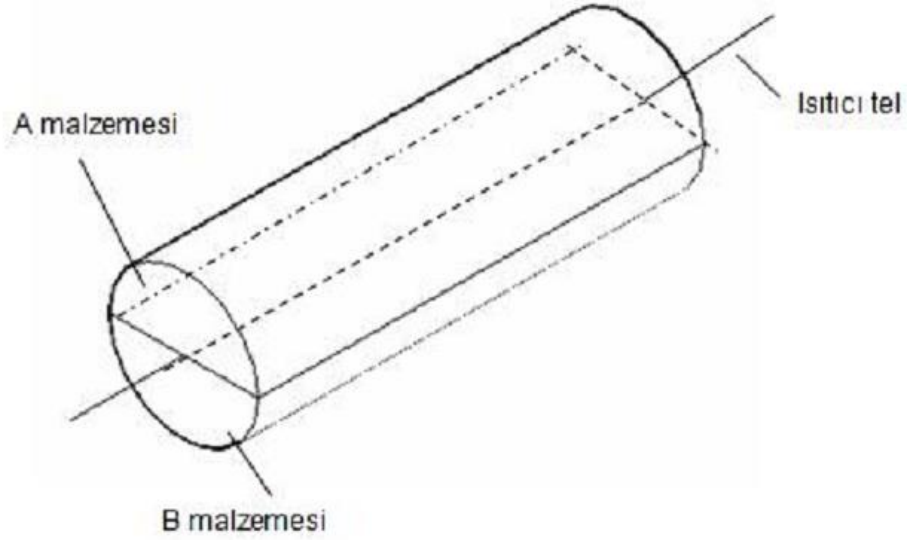
Isı akış metre metodu genellikle izolasyon malzemeleri, polimerler, yapı elemanları, cam ve seramikler için kullanılır. Isı akış metre metodu için sıcaklık limiti 200 °C, mukayeseli metot için ise 1300 °C’ dir. Düşük sıcaklıklarda hata payı %3 civarında iken yüksek sıcaklıklarda bu oran %10 ile %20 arasında değişmektedir [40].

Isı akış metre metoduna göre ölçüm yapacak cihazlar ve ölçüm yöntemleri içinde standartlar oluşturulmuştur. Bu tez kapsamında yapılan çalışmada ısı akış metre metoduna göre ölçüm yapan test cihazı kullanılmıştır.

3.1.2.2. Geçici Rejim Metodu

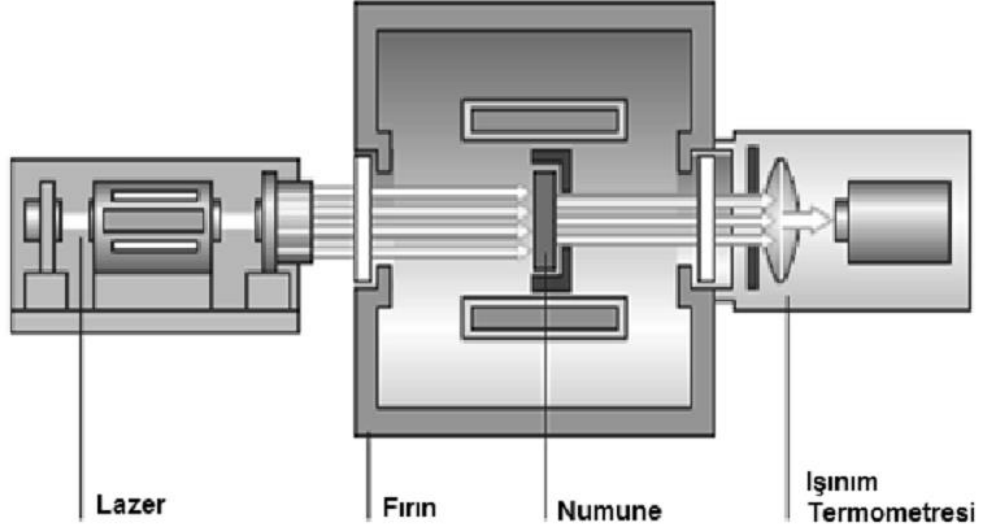
Geçici rejim metodu bilgisayar teknolojisi ve veri alım sistemlerindeki gelişmeler sayesinde daha popüler olmaya başlamıştır. Bu metodun en belirgin avantajı, ısı özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerin çok kısa zamanda neticelenmesi ve aynı deneyde birden fazla ısı özelliğinin belirlenebilmesidir. Kararlı hal metodunda bir saat süren bir deney bu metotta birkaç dakikada yapılabilmektedir. Diğer metotlarda iki zıt yüzey sıcaklığının ölçülme gerekliliği yerine, burada sadece bir noktadaki sıcaklığın zamanın fonksiyonu olarak ölçülmesi yeterli olmaktadır. Bu durum kararlı hal metotlarına kıyasla daha hassas netice elde edilmesini sağlamaktadır. Bu metotlardan en fazla kullanılanlar sıcak tel metodu (Hot Wire) ve laser flash metodudur. Bu metotları kısaca açıklayacak olursak;

a) Sıcak tel metodu: Bu metot, ölçümü yapılacak malzeme üzerine konulan ince bir telde zamanla meydana gelen sıcaklık değişiminin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Ölçüm zamanı çok kısa olan bir metottur. Bu yöntemde Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ısıtıcı tel, biri ısı iletkenliği bilinen ve iyi yalıtılmış diğeri ise ölçümü yapılacak iki malzeme arasına yerleştirilir. Böylece Isı iletim katsayısı ilgili bağıntılar kullanılarak istenen malzemenin ısı iletkenliği hesaplanır.



Şekil 3.6. Sıcak tel metodunun şematik görünümü

b) Laser flash metodu: Büyük bir sıcaklık aralığında ($-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $3,000\text{ }^{\circ}\text{C}$) çalışabilme özelliğinden dolayı homojen katı malzemelerin ısı transfer özelliklerini ölçmekte en sık kullanılan metottur. Cam, seramik, plastik ve metalik malzemelerin disk şeklindeki rijit ve homojen numuneleriyle önemli bir sınırlama olmadan çalışılabilmektedir. Çalışma prensibi basitçe, ön yüzü kısa laser flashları ile ısıtılan numunenin arka yüzündeki sıcaklık artışının radyasyon termometreyle ölçülmesi olarak açıklanabilir. Enerji kaynağı olarak zenon (xenon) flaş lambası, lazer veya elektron kullanılabilir. Şekil 3.7’de şematik bir şekli görülen laser flash metodun en önemli avantajı mutlak sıcaklık ve ısının ölçülme gerekliliğinin olmamasıdır. Bunun yerine zamana bağlı relatif sıcaklık farkının belirlenmesi ile neticeye varılmasıdır. Hata payı, yüksek sıcaklıklarda bile % 3-5 civarındadır. Spesifik ısı ve yoğunluk önceden bilinmelidir [40].



Şekil 3.7. Laser Flash Metodu Çalışma Prensibi

Isıl İletkenlik Ölçüm Cihazı

Deneyleerde ısı akış sayacı olarak, Amerikan Laser Comp firmasının FOX 314 model cihazı kullanılmıştır. Üretici firma cihazın, ASTM C 518(Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus) ve ISO standartlarına uygun olduğunu beyan etmektedir.Cihaz elektronik olarak kontrol edilmekte ve mikroişlemci bazlı çalışmaktadır. IBM uyumlu bilgisayarlarda “Wintherm” yazılımı aracılığıyla cihazın tam kontrolü, test parametrelerinin değişimi ve sonuçların takibi sağlanabilmektedir. Cihazın diğer özellikleri ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1.FOX 314 Isı Akış Sayacı Cihazının Teknik Özellikleri

Isıl İletkenlik Ölçüm Aralığı	0,01 – 0,2 W/m.K
Sıcak Plakanın Maksimum Sıcaklığı	75 °C

Ölçüm Numunesi Boyutları	
Maksimum numune kenar uzunlukları	305 mm x 305 mm
Minimum numune kenar uzunlukları	150 mm x 150 mm
Maksimum numune kalınlığı	102 mm
Aktif Ölçüm alanı	102 mm x 102 mm
Cihaz Boyutları	
Genişlik	420 mm
Derinlik	530 mm
Yükseklik	395 mm
Ağırlık	~21 kg



Şekil3.8. FOX 314 Cihazı

3.2. Yoğunluk Değerinin Belirlenmesi

Gerçekleştirilen bir başka deneysel çalışma numunelerin yoğunluklarının ölçümüdür. Yoğunluk ölçümleri AKG Gazbeton İşletmeleri San. Ve Tic. A.Ş. Kırıkkale Kampüsünde, Türk Standartları Enstitüsünün TS EN 772-13/Nisan 2002 60⁽⁴³⁾ numaralı “Kagir birimlerde net ve brüt yoğunluk tayini” isimli standardı esas alınarak yapılmıştır.

TS EN 772-13 standardına göre; yoğunluk ölçümü için ilk olarak, alınan gazbeton numuneleri 100 ± 5 °C sıcaklıktaki hava dolaşımli etüvde sabit kütleyle ulaşması için kurutulur ve 24 saat aralıklı yapılan tartımlarda belirlenen kütleler arasındaki farkın, toplam kütlenin % 0,2’sinden az olmasıyla kuru durumdaki kütle (m_{dry}) belirlenir. Ölçüm 0,001 hassasiyete sahip tartıda gerçekleşir ve sonuç kuru hal yoğunluğu kabul edilir. Biriminin kg olmasına rağmen ölçülen sonucun kg/cm^3 cinsinden yoğunluk kabul edilmesinin sebebi, numune boyutlarının 10x10x10 cm olmasıdır. Örneğin 400 gr bir malzemenin kuru hal yoğunluğu, numune boyutu 10x10x10 cm ise $400 kg/cm^3$ tür.

$$\rho_n = \frac{m_{dry}}{V_g} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad (3.17)$$

ρ_n : kuru hal yoğunluğu

m_{dry} : kuru kütle

V_g : hacim



Şekil 3.9. Nüve KD400 marka fırın

Deneyleerde kullanılan Nüve KD400 marka fırının teknik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.2. Nüve KD400 marka Fırının Teknik Özellikleri

Sıcaklık Çalışma Aralığı	70°C/250 °C
Sıcaklık Sensörü	Fe-Const
Kontrol Sistemi	Programlanabilir PID Mikroişlemcili Kontrol Sistemi
Sıcaklık Ayar ve Okuma Hassasiyeti	1°C
Sıcaklık Değişimi(110oC~190oC)	± 4 °C
Sıcaklık Dalgalanması	± 2°C
Zamanlayıcı	1 dk. 99,9 saat + Süresiz Çalışma
Kullanılabilir Hacim(lt)	375

Raf Sayısı (standart/maksimum) adet	2/12
Kurulu Güç	4100 W
Güç Değerleri	380 V, 50 Hz, 3 Faz
İç Yüzey Yapısı	Paslanmaz Çelik
Dış Yüzey Yapısı	Elektrostatik Toz boyalı çelik
İç ölçüler(ExDxY) mm	500x560x1350
Dış ölçüler (ExDxY) mm	655x785x1640
Paket Ölçüleri (ExDxY) mm	760x910x1700
Net/Paketli Ağırlık (kg)	130/145

Test Nemi Hesaplaması;

Basınç dayanımı deneyi öncesinde;

Kurutulmadan önceki kütle değeri= M_1 kabul edilirse,

60°C etüvde, yaklaşık 36 saat sonraki tartım değeri= M_2

$$\text{Test Nemi} = (M_1 - M_2) / M_1 * 100 \quad (3.18)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Bu yöntem, standarda uygun şartlarda test yapılıp yapılmadığını ortaya koyan bir doğrulama aracıdır, olması gereken % 4-8 arasındadır.

3.3. Basma Dayanımı Değerinin Belirlenmesi

10x10x10 cm küp numuneleri bloğun orta kısmına denk gelecek şekilde kesilerek çıkarılıp, numuneler 60 °C sıcaklıktaki havalandırılmalı etüvde yaklaşık 36 saat bekletilerek test ağırlığına düşmesi sağlandı. Genelde gazbetonlar otoklavdan çıktuktan sonra gözenekli yapısı ve bünyesine gönderilen buhar nedeniyle yaklaşık %

40-50 nem ihtiva edecek şekilde paketlenmektedir. TS EN standartlarına göre yapılacak mekanik testler (basma dayanımı ve eğilmede çekme) bu nem değerinin % 4-8 arasında olması gerektiğini şartını belirtir. Testler gerçekleştirilirken, gazbeton numunelerin sahip oldukları nem içeriği, standartlarda belirtilenlerden fazla olduğunda, ölçülen mekanik özellikler, olması gerektiğinden daha kötüdür.

Numuneler 60 °C etüvde şartlandırıldıktan sonra, basınç dayanımı deneyi TS EN 772-1 ve TS EN 679 standartlarına uygun olarak Zwick Z100 cihazı ile gerçekleştirildi. Deneylerde kullanılan cihazın, deneylere başlamadan önce bazı önemli ayarlamaları mevcuttur:

1. **Kırılma fark edilmesi:** İki çene arasındaki gazbeton blok numunesinin kılcal olarak ilk kırıldığı değerdir. Basınç dayanımı ise standartlarda bu ilk kırılma farkedilmesinin % 5 üzerindeki değer (N/mm²) olarak ölçülmesidir.
2. **Test hızı:** 0,05 N/mm².s
3. **Ön yükleme:** 0,03 N/mm²
4. **Ön yükleme hızı:** 30 mm/dakika
5. **Maksimum boyutsal deformasyon:** % 10

Basınç dayanımı testinde en önemli noktalardan birisi de kuvvet uygulanan yönün kekin kabarma yönüne dik olmasıdır. Bunun sebebi; gazbetonun duvar örülme yönünün, kabarmanın dik tarafına gelmesidir.



Şekil 3.10. Zwick 100 markalı Basma Cihazı

Deneilerin gerçekleştirildiği Zwick Z100 cihazının teknik özellikleri:

Çizelge 3.3. Zwick Z100 marka Basma Cihazı Teknik Özellikleri

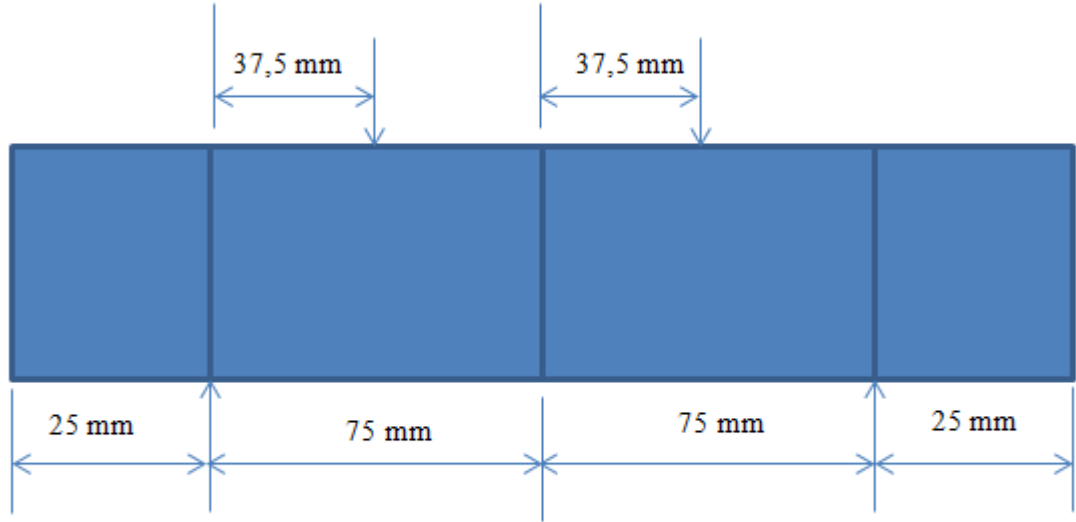
Cihaz Tipi	Z100
Max Çekme ve Basma Kuvveti	100 kN
Test Alanı Genişliği	640 mm
Test Alanı yüksekliği	1360 mm
Max Travers Hareketi	1275 mm
Yükseklik	1828 mm
Genişlik	1070 mm
Elektronik Konsol İle Genişlik	1226 mm

Derinlik	600 mm
Elektronik Konsol İle Derinlik	600 mm
Toplam Ağırlık	530 kg
Bağlantı Adaptörü Çapı	60 mm
Hareketli Travers Hızı Vmin-Vmax	0.0005 mm/dk – 300 mm/dk
Test Hızı Hassasiyeti	<0.0125
Hareket Sistemi Ölçme Çözünürlüğü	0.0081 µm
Tekrarlanabilir Pozisyonlama Hassasiyeti	± 2 µm
Güç Tüketimi	3 KVA

3.4. Eğilmede Çekme (Eğilme Dayanımı) Değerinin Belirlenmesi

Eğilme dayanımı deneyi TS EN 772-6 standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Ancak eğilme dayanımı için standardın önerdiği değerlerin, küçük kalıp dökümlerinde ki boyutumuz maksimum 30 cm olduğundan, üzerine çıkılamamıştır. Bu nedenle boyutu yarıya indirgeyerek 5x5x20 cm lik numuneler kesilmiş ve deney gerçekleştirilmiştir. Yine deneyde kullanılan aparatın (basma çenesi) temas noktalarını, deneye uygun olarak revize ediliyor.

Her ne kadar TS EN 772-6 standardında numune boyutları 10x10x40 cm olarak önerilse de cihaz üzerinde numune boyutlarını istediğimiz değerde girilmiş ve ona uygun numune kesilmiştir. Örneğin Basınç dayanımı için 5x5x5 cm veya 9x9x9 cm gibi istediğimiz varyasyonda numuneler kesilmiş, cihaz üzerinde numune boyutlarını tanımlanmış ve hiçbir hatalı sonuç elde edilmemiştir.



Şekil 3.11. Eğilme dayanımı ölçümünde kuvvet uygulanan noktalar

Yukarıdaki şekilde, aşağıda yer alan oklar mesnetleri, yukarıda yer alan oklar, basma çenesinin temas noktalarını göstermektedir. Numuneler genelde ortadan kırılmaktadır. Bu testte de çamur haldeki gazbetonun kabarma yönünün dikine, kuvvet uygulanmıştır.

5x5x20 cm kesilen numuneler 60 °C sıcaklığa ayarlı havalandırılmalı etüvde,36-48 saat arası bekletilerek şartlandırıldıktan sonra 2-3 saat de açık havada bekletilerek Zwick Z100 cihazında eğilme dayanımı testine tabi tutulmuştur. Bu testte ise cihaz üzerinde yapılan test hız ayarının 0,02 N/mm.s olması önemlidir.

3.5. SEM ve EDS Analizi

Elyaf takviyeli gazbeton numuneleri için Kırıkkale Üniversitesi bünyesinde hizmet veren Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında SEM ve EDS deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde modern taramalı elektron mikroskoplarının ayırım gücü 0,05 nm'ye kadar inmiştir. Büyütme miktarı ise 5- 300 000 arasında değişmektedir. ASELSAN MGEO Ürün Kalitesi Direktörlüğünde, 300 000 büyütme gücüne sahip JEOL 6400

model Taramalı Elektron Mikroskobu ve Tra cor Series II model EDS (Energy-Dispersive Spectroscopy) analiz ünitesinden oluşan bir sistem bulunmaktadır.

SEM deneyleri, üretimi gerçekleştirilen elyaf takviyeli gazbeton malzemelerin iç yapısını gözlemlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Takviye edilen elyafların, gazbeton kimyası içerisine bağlanma şekilleri ve mikro yapıları fotoğraflandırılmıştır ve EDS analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.4. SEM Cihazı Teknik Özellikleri

Aydınlatma Kaynağı	Elektron demeti ($\lambda=0.005$ nm)
Çözünürlük	0.05 nm
Max büyütme	300000



Şekil 3.12. JEOL 6400 model Taramalı Elektron Mikroskobu

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Katkı Oranları

Tez kapsamında üretimi gerçekleştirilecek gazbeton numuneler için başlangıçta, optimum sonuçlar elde etmek amacıyla elyafların katkı oranları belirlenmiştir. AKG Gazbeton A.Ş. firmasının üretim prosesinde yer alan G2/04, G3/05 ve G4/06 çeşit gazbetonların daha önce belirlenmiş ve hazır olan kum çamurlarına, hesaplamalar doğrultusunda uygun miktarlarda katılan elyafların yüzdesel kütle oranları, gr cinsinden elyaf miktarları ve kullanılan kum çamuru miktarı aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

Ancak gazbeton malzemeye katılan çelik içerikli elyaflar, malzeme içerisinde kuvvetli bağ oluşturması sebebiyle ve uygun kesici temin edilememesinden kaynaklı gerekli boyutlarda deney numunesi kesilememiş ve çelik elyaf katkılı gazbeton numuneleri için deneyler gerçekleştirilememiştir.

Çizelge 4.1-4.3 'te gazbeton içerisine takviye olarak katılan elyaf oranları gösterilmektedir.

Çizelge4.1. G2/04 çeşit Gazbetona Kütleli Elyaf Katkı Tablosu

Sıra	Kod	Elyaf Türü	Kütleli Oran (%)	Elyaf Miktarı (gr)	Kum Çamuru Miktarı (gr)
1	Referans	Elyafsız			4200
2	2PP	İksa Polipropilen Elyaf 10x50(mm)	1.095	46	4154
3	2PP6	Dost Kimya Dost Fiber M-6 mm (polipropilen)	1.095	46	4154

4	2PP12	Dost Kimya Dost Fiber M-12 mm (polipropilen)	1,095	46	4154
5	2C3	Dost Kimya Karbon Fiber Kırpılmış 3mm	0,304	12,8	4187
6	2C8	Dost Kimya Karbon Fiber Kırpılmış 8mm	0,304	12,8	4187
7	2BZ	Dost Kimya Bazalt Elyaf 8 mm	0,304	12,8	4187
8	2G24	Dost Kimya Dost Fiber G-24 mm (cam elyaf)	0,304	12,8	4187
9	2ÇL6	İKSA Mikroçelik 6 mm	1,785	75	4125
10	2ÇL35	İKSA Çelik Elyaf 35x0,35 mm	1,785	75	4125
11	2ÇL60	İKSA Çelik Elyaf 60x0,5 mm	1,785	75	4125

Çizelge 4.2. G3/05 çeşit Gazbetona Kütlesel Elyaf Katkı Tablosu

Sıra	Kod	Elyaf Türü	Kütlesel Oran (%)	Elyaf Miktarı (gr)	Kum Çamuru Miktarı (gr)
1	Referans	Elyafsız			4935
2	3PP	İksa Polipropilen Elyaf 10x50(mm)	1,11	55	4880
3	3PP6	Dost Kimya Dost Fiber M-6 mm (polipropilen)	1,11	55	4880
4	3PP12	Dost Kimya Dost Fiber M-12 mm	1,11	55	4880

		(polipropilen)			
5	3C3	Dost Kimya Karbon Fiber Kırpılmış 3mm	0,303	15	4920
6	3C8	Dost Kimya Karbon Fiber Kırpılmış 8mm	0,303	15	4920
7	3BZ	Dost Kimya Bazalt Elyaf 8 mm	0,303	15	4920
8	3G24	Dost Kimya Dost Fiber G-24 mm (cam elyaf)	0,303	15	4920
9	3ÇL6	İKSA Mikroçelik 6 mm	1,742	86	4849
10	3ÇL35	İKSA Çelik Elyaf 35x0,35 mm	1,742	86	4849
11	3ÇL60	İKSA Çelik Elyaf 60x0,5 mm	1,742	86	4849

Çizelge 4.3. G4/06 çeşit Gazbetona Kütleli Elyaf Katkı Tablosu

Sıra	Kod	Elyaf Türü	Kütleli Oran (%)	Elyaf Miktarı (gr)	Kum Çamuru Miktarı (gr)
1	Referans	Elyafsız			7022
2	4PP	İksa Polipropilen Elyaf 10x50(mm)	0,541	38	6984
3	4PP6	Dost Kimya Dost Fiber M-6 mm (polipropilen)	0,541	38	6984
4	4PP12	Dost Kimya Dost Fiber M-12 mm (polipropilen)	0,541	38	6984
5	4C3	Dost Kimya Karbon	0,313	22	7000

		Fiber Kırpılmış 3mm			
6	4C8	Dost Kimya Karbon Fiber Kırpılmış 8mm	0,313	22	7000
7	4BZ	Dost Kimya Bazalt Elyaf 8 mm	0,313	22	7000
8	4G24	Dost Kimya Dost Fiber G-24 mm (cam elyaf)	0,313	22	7000
9	4ÇL6	İKSA Mikroçelik 6 mm	1,737	122	6900
10	4ÇL35	İKSA Çelik Elyaf 35x0,35 mm	1,737	122	4849
11	4ÇL60	İKSA Çelik Elyaf 60x0,5 mm	1,737	122	4849

4.2. Isıl İletkenlik Deney Sonuçları

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine ve Malzeme Laboratuvarı bünyesinde gerçekleştirilen ısı iletkenlik ölçüm deneyleri, AKG Gazbeton A.Ş. tarafından üretilen G2/04, G3/05 ve G4/06 çeşit gazbeton numunelere katılan elyaf türlerinin ısı iletim katsayısı üzerine etkisi araştırılmıştır.

Deneylerin gerçekleştiği bu üç çeşit gazbetona; polipropilen, karbon, bazalt ve cam elyaf katkıları gerçekleştiği durumdaki ve referans numune için beş farklı sıcaklık farkında ölçülen ısı iletkenlik değerleri aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. G2/04 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen ısı iletkenlik değer tablosu

Sıra	Kod	Isıl İletkenlik Değeri(W/mK)				
		10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
1	Referans Numune	0,09141	0,09351	0,09508	0,09685	0,09853
2	2PP	0,08728	0,08961	0,09128	0,09313	0,09499
3	2PP6	0,09199	0,09382	0,09523	0,097	0,09856
4	2PP12	0,1023	0,1063	0,1098	0,1101	0,11035
5	2C3	0,116	0,1238	0,1314	0,1382	0,1368
6	2C8	0,1026	0,1048	0,1068	0,1077	0,1091
7	2BZ	0,09093	0,09266	0,09432	0,0963	0,09785
8	2G24	0,09279	0,09474	0,09631	0,09776	0,09928

Çizelge 4.5. G3/05 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen ısı iletkenlik değer tablosu

Sıra	Kod	Isıl İletkenlik Değeri(W/mK)				
		10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
1	Referans Numune	0,09816	0,1003	0,1031	0,1049	0,1068
2	3PP	0,1076	0,1099	0,1135	0,1155	0,1176
3	3PP6	0,1032	0,105	0,1071	0,1089	0,1104
4	3PP12	0,1090	0,1131	0,1178	0,1181	0,1186
5	3C3	0,1416	0,149	0,1612	0,1744	0,1898
6	3C8	0,1106	0,1124	0,1147	0,1165	0,1179
7	3BZ	0,09768	0,09945	0,10234	0,10435	0,10612
8	3G24	0,1085	0,1103	0,1124	0,1143	0,1157

Çizelge 4.6. G4/06 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen ısı iletkenlik değer tablosu

Sıra	Kod	Isıl İletkenlik Değeri(W/mK)				
		10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
1	Referans Numune	0,1192	0,1219	0,1248	0,1278	0,1302
2	4PP	0,1237	0,1274	0,1309	0,135	0,1401
3	4PP6	0,1088	0,112	0,117	0,1212	0,1252
4	4PP12	0,1844	0,1933	0,2094	0,2261	0,2349
5	4C3	0,1199	0,123	0,1296	0,1337	0,138
6	4C8	0,13164	0,134	0,1364	0,1394	0,1413
7	4BZ	0,11872	0,12105	0,12404	0,12725	0,12952
8	4G24	0,12954	0,1319	0,1341	0,1372	0,1391

Çizelge 4.4- 4.6. dikkatle incelendiğinde referans numune olarak ele alınan katkısız malzemenin ısı iletkenlik değeri sıcaklıkla artmaktadır. Bu durum bütün referans gazbeton numuneler için geçerli olduğu görülmektedir. Katkı elyaflarının genelde katılması aynı sıcaklık değerlerinde ısı iletkenlik değeri beklendiği gibi artırdığı ancak bu artışın belirgin bir şekilde tanımlanamayacağı gözlemlenmiştir. Ancak bazalt liflerin (2BZ, 3BZ, 4BZ) katkısı ile ısı iletkenlik değeri bütün sıcaklıklarda düşüşler gösterdiği görülmektedir. Karbon katkı lifler (2C3, 3C3, 4C3) ise ısı iletkenliği en fazla artırdığı görülmektedir. Ancak bu artışın G4/06 gazbeton için doğru olmadığı ve artışın çok sınırlı olduğu gözlemlenmiştir.

4.3. Yoğunluk Ölçümü Deney Sonuçları

AKG Gazbeton İşletmeleri San. Ve Tic. A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilen, G2/04, G3/05 ve G4/06 çeşit gazbetonların, elyaf katkıları gerçekleştirildiği durumdaki yoğunlukları ve referans numune yoğunluğu aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. G2/04 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen yoğunluk değer tablosu

Sıra	Kod	Yoğunluk Değeri(kg/m ³)
1	Referans	~414,75
2	2PP	420
3	2PP6	421,75
4	2PP12	407,25
5	2C3	416,5
6	2C8	417,25
7	2BZ	400
8	2G24	417,25

Çizelge 4.8. G3/05 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen yoğunluk değer tablosu

Sıra	Kod	Yoğunluk Değeri(kg/m ³)
1	Referans	~485,625
2	3PP	480,25
3	3PP6	482,5
4	3PP12	486,75
5	3C3	497
6	3C8	492,75
7	3BZ	497
8	3G24	481,67

Çizelge 4.9. G4/06 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen yoğunluk değer tablosu

Sıra	Kod	Yoğunluk Değeri(kg/m ³)
1	Referans	~593,25
2	4PP	580,75
3	4PP6	589,33

4	4PP12	580,67
5	4C3	584,75
6	4C8	595,25
7	4BZ	593,5
8	4G24	589,25

Çizelge 4.7-4.9 ile gösterilen karışım yoğunluk değerleri beklendiği gibi referans malzemeye göre yüksek çıkmıştır. Çünkü katkı elyafların tamamının yoğunluk değerleri gazbeton malzemenin yoğunluklarından fazladır. Ancak bazı karışım yoğunluklarının düşük çıkması ölçüm belirsizliklerinin yüksek olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

4.4. Basma Dayanımı Deney Sonuçları

AKG Gazbeton İşletmeleri San. Ve Tic. A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilen, G2/04, G3/05 ve G4/06 çeşit gazbetonlara; polipropilen, karbon, bazalt ve cam elyaf katkıları gerçekleştirildiği durumdaki ve referans numune için basınç dayanımı değerleri aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. G2/04 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen basma değer tablosu

Sıra	Kod	Basma Değeri (N/mm ²)
1	Referans	~2,7275
2	2PP	2,9
3	2PP6	2,15
4	2PP12	3,22
5	2C3	2,71

6	2C8	3,23
7	2BZ	2,34
8	2G24	2,48

Çizelge 4.11. G3/05 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen basma değer tablosu

Sıra	Kod	Basma Değeri (N/mm ²)
1	Referans	~3,8575
2	3PP	3,94
3	3PP6	3,75
4	3PP12	3,04
5	3C3	4,18
6	3C8	4,74
7	3BZ	4,89
8	3G24	3,99

Çizelge4.12. G4/06 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen basma değer tablosu

Sıra	Kod	Basma Değeri (N/mm ²)
1	Referans	~5,735
2	4PP	5,01
3	4PP6	3,56
4	4PP12	5,24
5	4C3	5,23
6	4C8	5,93
7	4BZ	5,76
8	4G24	5,57

Çizelge 4.10- 4.12 ile gösterilen basma dayanımı değerlerinde ise genelde katkıların bu dayanım değerlerini artırdığı görülmektedir. 2PP katkısının basma dayanımını G2/04 ve G3/05 numuneleri için artırdığı ancak G4/06 için artırmadığı ve düşmeye neden olduğu görülmüştür. Bunun nedeni son gazbeton referans malzemesinin salt basma dayanımının diğer referanslardan çok yüksek olmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. 2C8, 3C8 ve 4C8 karbon liflerin ise benzer şekilde malzemenin basma değerlerini artırmıştır. 2PP6, 3PP6 ve 4PP6 liflerin ise basma değerlerinde düşmeye neden olduğu görülmüştür.

4.5. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

AKG Gazbeton İşletmeleri San. Ve Tic. A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilen, G2/04, G3/05 ve G4/06 çeşit gazbetonlara; polipropilen, karbon, bazalt ve cam elyaf katkıları gerçekleştirildiği durumdaki ve referans numune için eğilme dayanımı değerleri aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. G2/04 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen eğilme değer tablosu

Sıra	Kod	Eğilme Değeri(N/mm ²)
1	Referans	~0,78
2	2PP	0,81
3	2PP6	0,74
4	2PP12	0,81
5	2C3	0,78
6	2C8	1,4
7	2BZ	0,75
8	2G24	0,78

Çizelge 4.14. G3/05 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen eğilme değer tablosu

Sıra	Kod	Eğilme Değeri(N/mm ²)
1	Referans	~1,025
2	3PP	0,91
3	3PP6	1,00
4	3PP12	0,79
5	3C3	0,97
6	3C8	0,96
7	3BZ	0,88
8	3G24	0,87

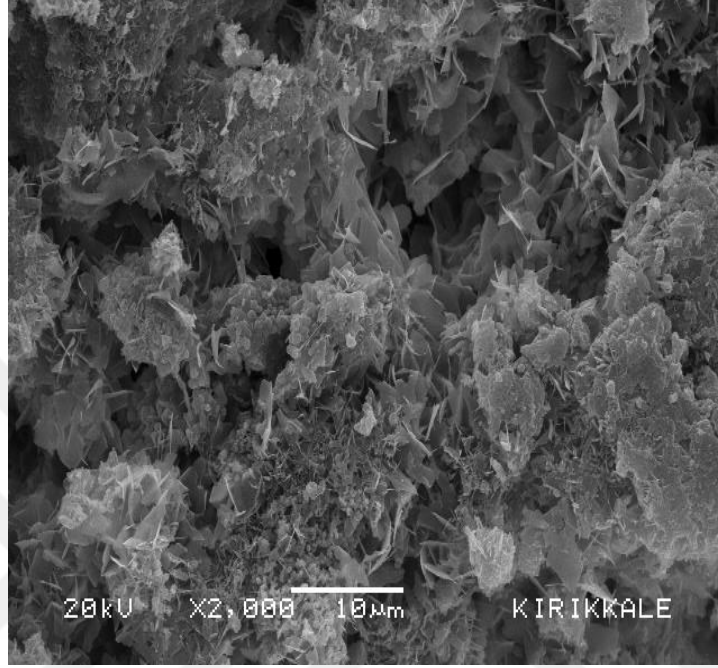
Çizelge 4.15. G4/06 çeşit gazbetona uygulanan katkı elyaf sonucu değişen eğilme değer tablosu

Sıra	Kod	Eğilme Değeri(N/mm ²)
1	Referans	~1,365
2	4PP	1,41
3	4PP6	1,52
4	4PP12	1,36
5	4C3	1,32
6	4C8	1,56
7	4BZ	1,65
8	4G24	1,51

4.6. SEM ve EDS Analiz Sonuçları

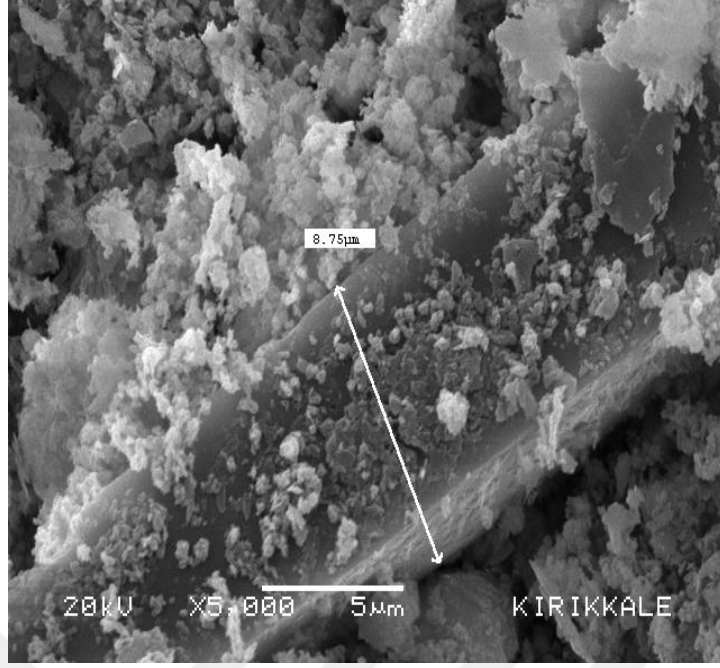
Kırıkkale Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilen elektron mikroskopuyla görüntüleme deneyi olan, SEM ve elementel yapı analizi olan EDS deneylerinde elde edilen görüntüler aşağıda, fotoğraflarla açıklanmıştır.

Fotoğraflarda özellikle, gazbeton ile katkı elyafı arasındaki tutunma yani aderans uyumu ve çekme-basma mukavemetini arttıran tobermorit kristallerinin oluşumu incelenmiştir.



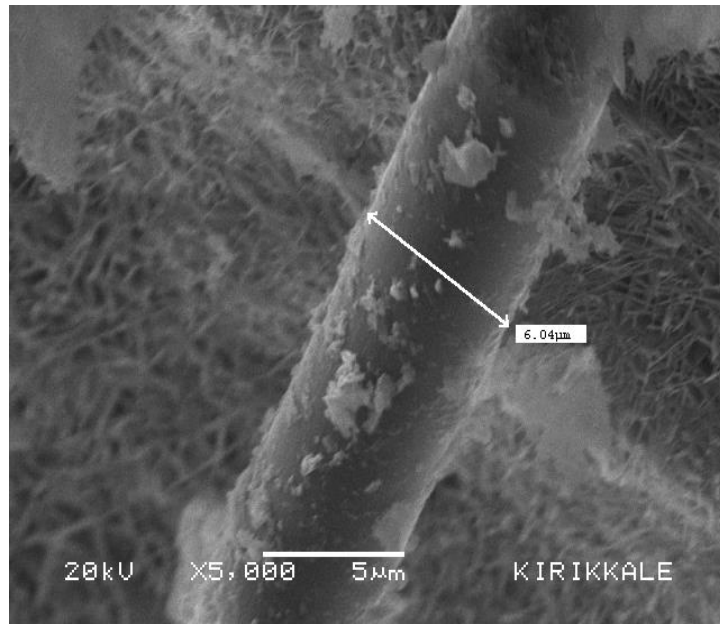
Şekil 4.1. G2/04 tip gazbetona 10x50 mm uzunluğunda polipropilen katkı halinde

Şekil 4.1.'deki polipropilen elyaf takviyeli G2/04 tip gazbeton görüntüsünde polipropilen elyaf ile gazbeton arasındaki aderans (gazbeton ile elyafın sağladığı bağ) uyumu sağlandığı görülmektedir. CSH (tobermorit) oluşmaktadır.



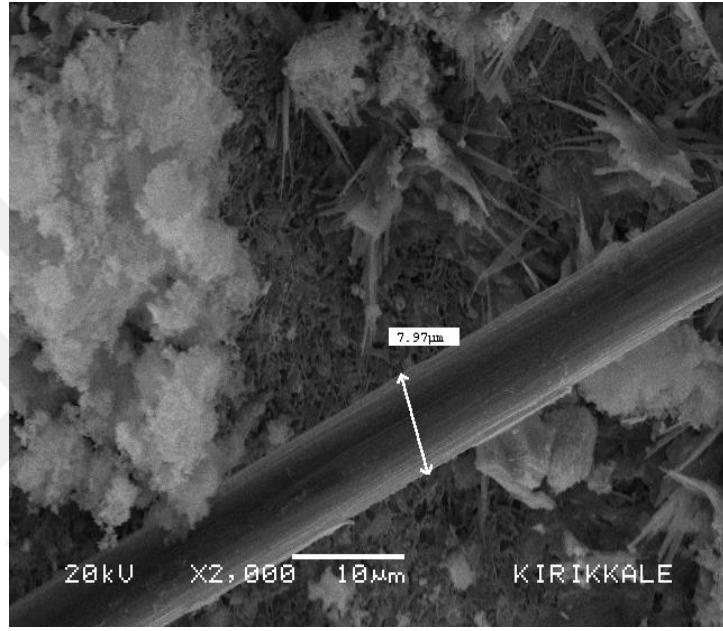
Şekil 4.2. G2/04 tip gazbetona M-12 polipropilen katkı halinde

Şekil 4.2'deki polipropilen elyaf takviyeli G2/04 tip gazbeton görüntüsünde polipropilen elyaf ile gazbeton arasındaki aderans uyumu sağlandığı görülmektedir.



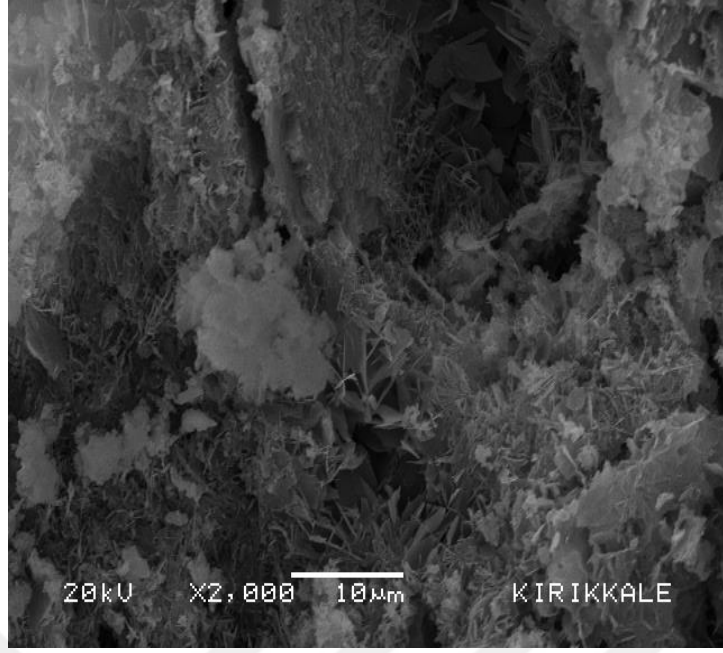
Şekil 4.3. G3/05 tip gazbetona M-6 polipropilen katkı halinde

Şekil 4.3.'deki kırılmış karbon fiber takviyeli G3/05 tip gazbeton görüntüsünde karbon fiber ile gazbeton arasındaki aderans uyumu sağlanmadığı görülmektedir. Aynı şekilde CSH jelleri gözükmemektedir.



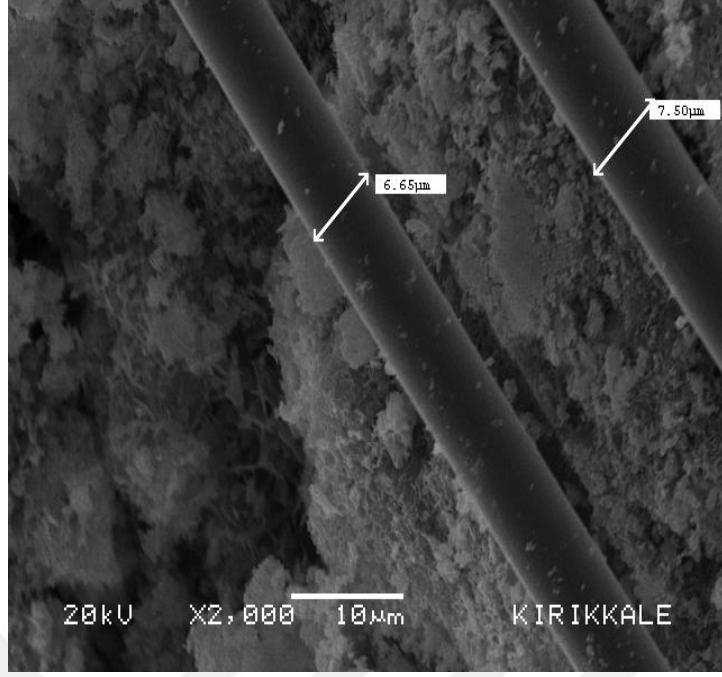
Şekil 4.4. G2/04 tip gazbetona 3 mm uzunluğunda karbon elyaf katkı halinde

Şekil 4.4.'deki kırılmış karbon fiber takviyeli G2/04 tip gazbeton görüntüsünde karbon fiber ile gazbeton arasındaki aderans uyumu sağlanmadığı görülmektedir.



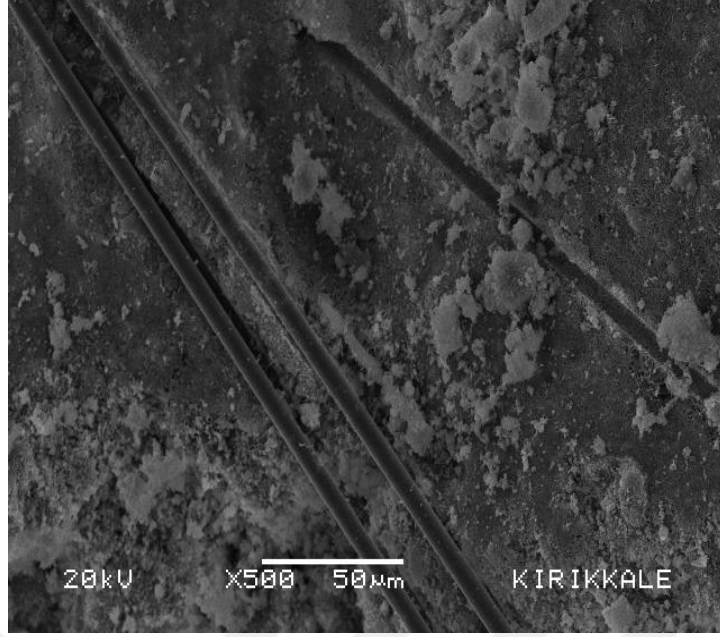
Şekil 4.5. G3/05 tip gazbetona 3 mm uzunluğunda karbon elyaf katkı halinde

Şekil 4.5.'deki kırılmış karbon fiber takviyeli G3/05 tip gazbeton görüntüsünde karbon fiber ile gazbeton arasındaki aderans uyumunun sağlandığı görülmektedir. Kırılmış karbon fiber takviyeli gazbeton görüntüsünde CSH (Tobermorit) görülmektedir.



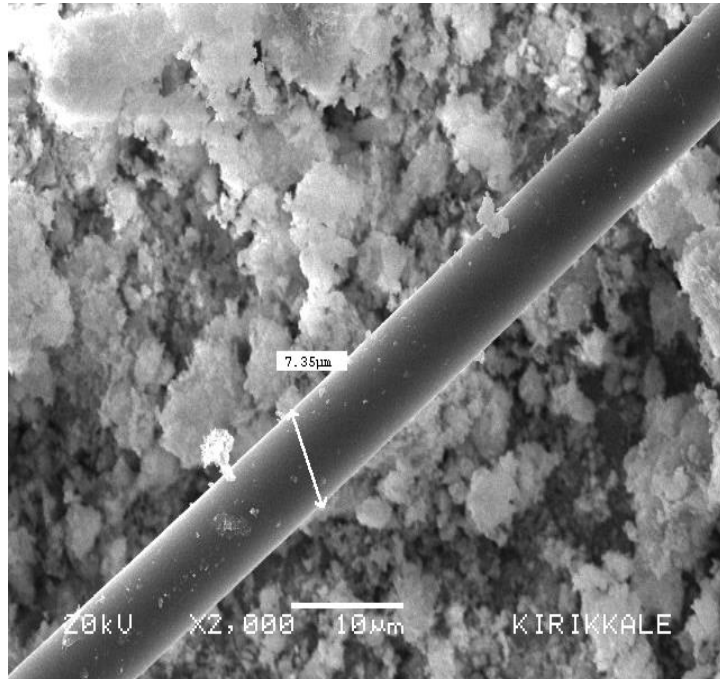
Şekil 4.6. G3/05 tip gazbetona 3 mm uzunluğunda karbon elyaf katkı halinde

Şekil 4.6.'daki kırılmış karbon fiber takviyeli G3/05 tip gazbeton görüntüsünde karbon fiber ile gazbeton arasındaki aderans uyumu sağlanmadığı görülmektedir.



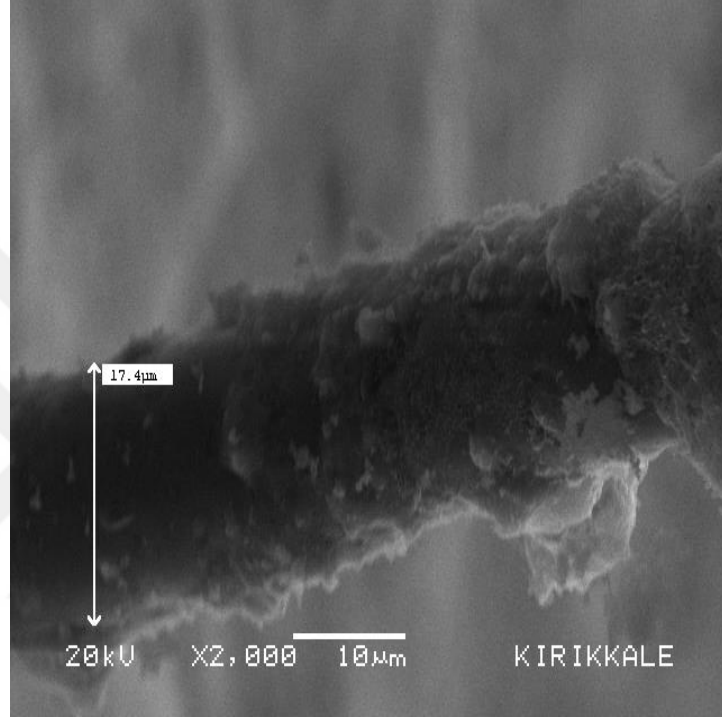
Şekil 4.7. G3/05 tip gazbetona 8 mm uzunluğunda karbon elyaf katkı halinde

Şekil 4.7.'deki kırılmış karbon fiber takviyeli G3/05 tip gazbeton görüntüsünde karbon fiber ile gazbeton arasındaki aderans uyumu sağlanmadığı görülmektedir.



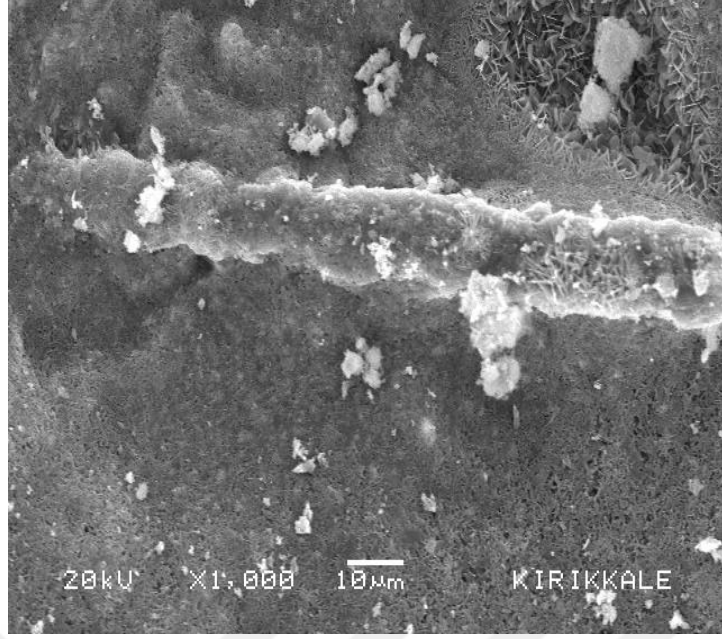
Şekil 4.8. G4/06 tip gazbetona 8 mm uzunluğunda karbon elyaf katkı halinde

Şekil 4.8'deki karbon elyaf takviyeli G4/06 tip gazbeton görüntüsünde CSH (Tobermorit) görülmektedir.



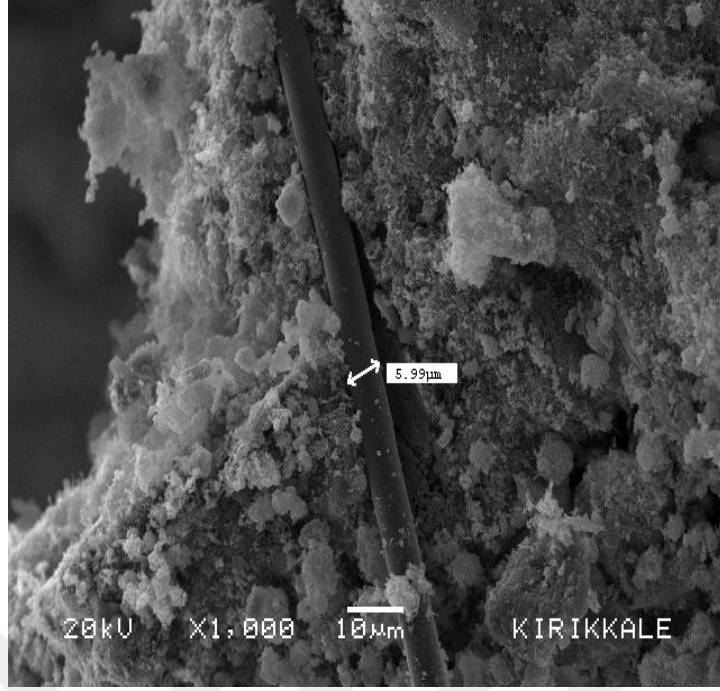
Şekil 4.9. G3/05 tip gazbetona bazalt elyaf katkı halinde

Şekil 4.9'daki bazalt elyaf takviyeli G3/05 tip gazbeton görüntüsünde, bazalt elyaf ile gazbeton arasındaki aderans uyumunun sağlandığı görülmektedir.



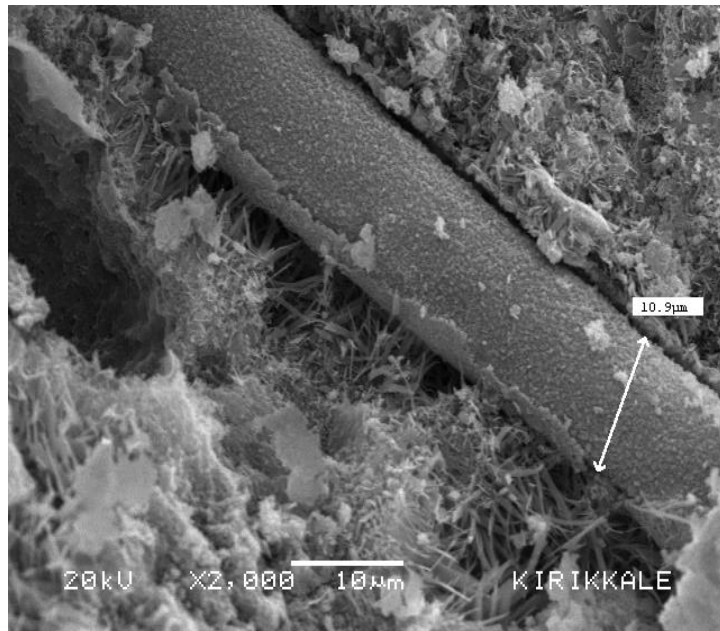
Şekil 4.10. G4/06 tip gazbetona bazalt elyaf katkı halinde

Şekil 4.10'daki bazalt elyaf takviyeli G4/06 tip gazbeton görüntüsünde, bazalt elyaf ile gazbeton arasındaki aderans uyumunun sağlandığı görülmektedir.



Şekil 4.11. G2/04 tip gazbetona bazalt elyaf katkı halinde

Şekil 4.11.'deki Bazalt elyaf takviyeli gazbeton görüntüsünde Bazalt elyaf ile gazbeton arasındaki aderans uyumunun sağlanmadığı görülmektedir.



Şekil 4.12. Dost kimya polipropilen elyafM-12 mm boyutunda

Şekil 4.12.'deki Bazalt elyaf takviyeli gazbeton görüntüsünde Bazalt elyaf ile gazbeton arasındaki aderans uyumunun sağlanmadığı görülmektedir. Ayrıca elyaf ile gazbeton arasında CSH jelleri gözükmemektedir.



5. SONUÇ

Sahip olduğu gözenekli yapısı sebebiyle düşük ısı iletkenlik değerindeki gazbetonun duvarlarda kullanılan 400 kg/m³ kuru yoğunluklu G2/04 sınıfı, 500 kg/m³ kuru yoğunluklu G3/05 ve 600 kg/m³ kuru yoğunluk G4/06 sınıf gazbetonlara kütleli olarak % 0,303 ile % 1,785 oranında değişen farklı boyutlara sahip üç çeşit polipropilen çeşit elyaf, iki tip karbon elyaf, bazalt elyaf, cam elyaf ve üç çeşit çelik elyaf takviye edilerek ısı iletim katsayısını ve kuru yoğunluk değerini azaltmak; basma ve çekme mukavemetini arttırmak amaçlanmıştır. Bu değişimleri gözlemek amacıyla elde edilen deney numunelerinin elektron mikroskobunda SEM görüntüleri çekilmiş ve EDS analizi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleşen deneylerde, polipropilen elyaf takviyesi ile elde edilen numunelerden G2/04 tip gazbeton için kütleli katkı oranı %1,095 'dir ancak elyafın etkisi, katkı edilen cinsin uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Çapı 10 µm ve uzunluğu 50 mm olan polipropilen elyaf yoğunluğu %1,27 oranında artırmış, ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak % 4,02 miktarında azaltmış, basma dayanımı % 6,32 oranında ve eğilmede çekme değeri % 3,85 oranında artırmıştır. G2/04 çeşit gazbetona katkı edilen 6 mm uzunluğundaki polipropilen elyaf, gazbetonun yoğunluğunu % 1,69 oranında artırmış, ısı iletim katsayısı % 0,26 miktarında artmış, basma dayanımını % 21,17 oranında azaltmış ve eğilme çekme değerini % 5,13 oranında azaltmıştır. Uzunluğu 12 mm olan polipropilen elyaf, G2/04 çeşit gazbetonun yoğunluğunu % 1,81 oranında azaltmış, ısı iletkenliğini % 13,35 oranında artırmış, basma dayanımını % 18,06 oranında ve eğilmede çekme değerini % 3,85 oranında artırmıştır.

G3/05 tip gazbeton için polipropilen elyafın kütleli katkı oranı %1,11 'dir. Ancak elyafın etkisi, katkı edilen cinsin çapına bağlı olarak değişmektedir. Çapı 10 µm ve uzunluğu 50 mm olan polipropilen elyaf, yoğunluğu %1,11 oranında azaltmış, ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak % 9,91 miktarında artmış, basma dayanımı % 2,14 oranında artırmış ancak eğilmede çekme değeri % 11,22 oranında azaltmıştır. G3/05 çeşit gazbetona katkı edilen 6 mm uzunluğundaki polipropilen elyaf, gazbetonun yoğunluğunu % 0,64 oranında azaltmış, ısı iletim katsayısı % 4,16 miktarında artmış,

basma dayanımını % 2,79 oranında ve eğilme çekme değerini % 2,44 oranında azaltmıştır. Çapı 12 mm olan polipropilen elyaf, G3/05 çeşit gazbetonun yoğunluğunu % 0,23 oranında artırmış, ısı iletkenliğini % 12,34 oranında artırmış, basınç dayanımını % 21,19 oranında ve eğilmede çekme değerini % 22,93 oranında azaltmıştır.

G4/06 tip gazbeton için polipropilen elyafın kütleli katkı oranı % 0,541 ' dir ancak elyafın etkisi, katkı edilen cinsin uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Çapı 10 µm ve uzunluğu 50 mm olan polipropilen elyaf, yoğunluğu % 2,11 oranında azaltmış, ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak % 5,32 miktarında artmış, basınç dayanımı % 12,64 oranında azaltmış ancak eğilmede çekme değeri % 3,30 oranında artırmıştır. G4/06 çeşit gazbetona katkı edilen 6 mm uzunluğundaki polipropilen elyaf, gazbetonun yoğunluğunu % 0,66 oranında azaltmış, ısı iletim katsayısı % 6,36 miktarında azalmış, basınç dayanımını % 37,93 oranında azaltmış ancak eğilme çekme değerini % 11,36 oranında artırmıştır. Uzunluğu 12 mm olan polipropilen elyaf, G4/06 çeşit gazbetonun yoğunluğunu % 2,12 oranında artırmış, ısı iletkenliğini % 67,99 oranında artırmış, basınç dayanımını % 8,63 oranında ve eğilmede çekme değerini % 0,37 oranında azaltmıştır.

Polipropilen elyaf katkılı gazbetonların SEM çekimlerinde aderans uyumu ve CSH yani Tobermorit oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durum elyafın gazbeton içindeki bağlanma ve tutunma işlevini oldukça iyi şekilde yerine getirdiği anlamına gelmektedir.

Gerçekleşen deneylerde, karbon elyaf takviyesi ile elde edilen numunelerden G2/04 tip gazbeton için kütleli katkı oranı % 0,304 ' tür ancak elyafın etkisi, katkı edilen cinsin uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Uzunluğu 3mm olan karbon elyaf, yoğunluğu % 3,42 oranında artırmış, ısı iletim katsayısını yaklaşık olarak % 35,93 miktarında artırmış, basma dayanımını % 0,64 oranında azaltmış ancak eğilmede çekme değerini değiştirmemiştir. G2/04 çeşit gazbetona katkı edilen 8 mm uzunluğundaki karbon elyaf, gazbetonun yoğunluğunu % 0,60 oranında artırmış, ısı iletim katsayısını % 11,70 miktarında artırmış, basma dayanımını % 18,42 oranında ve eğilme çekme değerini % 79,49 oranında artırmıştır.

G3/05 tip gazbeton için karbon elyafın kütleli katkı oranı % 0,303 'tür ancak elyafın etkisi, katkı edilen cinsin uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Uzunluğu 3 mm olan karbon elyaf, yoğunluğu % 2,34 oranında artırmış, ısı iletim katsayısını yaklaşık olarak % 58,98 miktarda artırmış, basınç dayanımını % 8,36 oranında artırmış ancak eğilmede çekme değeri % 5,37 oranında azaltmıştır. G3/05 çeşit gazbetona katkı edilen 8 mm uzunluğundaki karbon elyaf, gazbetonun yoğunluğunu % 1,47 oranında artırmış, ısı iletim katsayısını % 11,46 miktarda artırmış, basma dayanımını % 22,88 oranında artırmış ancak eğilme çekme değerini % 6,34 oranında azaltmıştır.

G4/06 tip gazbeton için karbon elyafın kütleli katkı oranı % 0,313 'tür ancak elyafın etkisi, katkı edilen cinsin uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Uzunluğu 3 mm olan karbon elyaf, yoğunluğu % 1,43 oranında azaltmış, ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak % 3,25 miktarda artırmış, basınç dayanımını % 8,81 oranında artırmış ancak eğilmede çekme değerini % 3,30 oranında azaltmıştır. G4/06 çeşit gazbetona katkı edilen 8 mm uzunluğundaki karbon elyaf, gazbetonun yoğunluğunu % 0,34 oranında artırmış, ısı iletim katsayısı % 9,43 miktarda artırmış, basma dayanımını % 3,40 oranında ve eğilme çekme değerini % 14,29 oranında artırmıştır.

Karbon elyaf katkılı gazbetonların SEM çekimlerinde aderans uyumu sağlanmadığı ancak CSH yani Tobermorit oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durum katkı elyafın, gazbeton içinde yeterince iyi tutunmadığı anlamına gelmektedir.

Gerçekleşen deneylerde, bazalt elyaf takviyesi ile elde edilen numunelerden G2/04 tip gazbeton için kütleli katkı oranı %0,304 'tür ve yoğunluğu % 3,56 oranında azaltmıştır. Bu değişime ek olarak ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak % 0,70 miktarda azalırken; basma dayanımını % 14,21 oranında ve eğilmede çekme değeri % 3,85 oranında azalmıştır.

G3/05 tip gazbeton için bazalt elyafın kütleli katkı oranı % 0,303 'tür, yoğunluğu % 2,34 oranında artmıştır. Bu değişime ek olarak ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak % 0,65 miktarda azalmış; basma dayanımını % 26,77 oranında artmış ve eğilmede çekme değeri % 14,15 oranında azalmıştır.

G4/06 tip gazbeton için bazalt elyafın kütleli katkı oranı % 0,313 'tür, yoğunluğu % 0,04 oranında artmıştır. Bu değişime ek olarak ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak %

0,53miktarında azalmış; basma dayanımı % 0,44 oranında ve eğilmede çekme değeri % 20,88 oranında artmıştır.

Bazalt elyaf katkılı gazbetonların SEM çekimlerinde aderans uyumu ve CSH yani Tobermorit oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durum elyafın gazbeton içindeki bağlanma ve tutunma işlevini oldukça iyi şekilde yerine getirdiği anlamına gelmektedir.

Gerçekleşen deneylerde, cam elyaf takviyesi ile elde edilen numunelerden G2/04 tip gazbeton içinkütlesel katkı oranı %0,304 'tür ve yoğunluğu % 0,60 oranında artmıştır. Bu değişime ek olarak ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak % 1,16 miktarında artarken; basma dayanımı % 9,07 oranında azaltmış ve eğilmede çekme değeri değişmemiştir.

G3/05 tip gazbeton için cam elyaf kütlesel katkı oranı % 0,303 'tür, yoğunluğu % 0,81 oranında azalmıştır. Bu değişime ek olarak ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak % 9,34 miktarında artmış; basma dayanımı % 3,43 oranında artmış ve eğilmede çekme değeri % 15,12 oranında azalmıştır.

G4/06 tip gazbeton için cam elyaf kütlesel katkı oranı % 0,313 'tür, yoğunluğu % 0,67 oranında azalmıştır. Bu değişime ek olarak ısı iletim katsayısı yaklaşık olarak % 7,68 miktarında artmış; basma dayanımı % 2,88 oranında azalmış ancak eğilmede çekme değeri % 10,62 oranında artmıştır.

Cam elyaf katkılı gazbetonların SEM çekimlerinde aderans uyumu ve CSH yani Tobermorit oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durum elyafın gazbeton içindeki bağlanma ve tutunma işlevini oldukça iyi şekilde yerine getirdiği anlamına gelmektedir.

Diğer katkı elyafları ile sonuçları karşılaştırmak amacıyla tedarik edilen çelik elyaflar G2/04 tip gazbetona, kütlesel olarak % 1,785 oranında, G3/05 tip gazbetona kütlesel olarak % 1.742 oranında ve G4/06 tip gazbetona kütlesel olarak % 1,737 oranında katılmış ancak çelik elyafın sertliği ile alakalı olarak deney cihazlarına uygun boyutlarda numune kesilememiş, dolayısıyla deneyler gerçekleştirilememiştir. SEM ve EDS analizleri yapılmamıştır.

Tüm bu sonuçlara göre G2/04 için; 10 µm çapında, 50 mm uzunluğundaki polipropilen elyaf ısı iletkenlik değerini düşürmüş; basma ve eğilme dayanımını artırmış ve SEM analizinde aderans uyumu, CSH ve iyi bağlanma gözlenmesi

sebebiyle en uygun katkı elyaf olduğuna karar verilmiştir. G3/05 için; 8 mm uzunluğundaki bazalt elyaf, ısı iletkenlik değerini düşürmüş; basma ve eğilme dayanımını artırmış ve SEM analizinde aderans uyumu, CSH ve iyi bağlanma gözlenmesi sebebiyle en uygun katkı elyaf olduğuna karar verilmiştir. G4/06 için; 8 mm uzunluğundaki bazalt elyaf, ısı iletkenlik değerini düşürmüş; basma ve eğilme dayanımını artırmış ve SEM analizinde aderans uyumu, CSH ve iyi bağlanma gözlenmesi sebebiyle en uygun katkı elyaf olduğuna karar verilmiştir.

Bu tez çalışması sonucu elde edilen veriler, AKG Gazbeton İşletmeleri San. ve Tic. A.Ş. tarafından Ar-Ge faaliyeti olarak değerlendirilmiş; patent girişiminde bulunulmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] Tanrıverdi E., TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, 427-2003/5 ,109-111
- [2] Tanyıldızı H., “Effect of temperature, carbon fibers, and silica fume on the mechanical properties of lightweight concretes”, *New Carbon Materials* , 23(4):339–344, 2008
- [3] Gül R. ,Okuyucu E., Türkmen İ., Aydın A.C., “Thermo-mechanical properties of fiber reinforced raw perlite concrete”, *Materials Letters* 61,5145–5149, 2007
- [4] Wang H. , Belarbi A. , “Ductility characteristics of fiber-reinforced-concrete beams reinforced With FRP rebars”, *Construction and Building Materials* 25, 2391–2401, 2011
- [5] Mousa M. A., Uddin N., “Experimental and analytical study of carbon fiber-reinforced polymer (FRP)/autoclaved aerated concrete (AAC) sandwich panels”, *Engineering Structures* 31,2009
- [6] Esen Y., “Poliakrilonitril lifi takviyeli betonların ısıl iletkenliğinin deneysel olarak incelenmesi”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları* 3, 2003.
- [7] Laukaitis A., Keriene J., Mikulskis D., Sinica M., Sezemanas G., “Influence of fibrous additives on properties of aerated autoclaved concrete forming mixtures and strength characteristics of products”, 3034-3042, 23, 2009
- [8] Chung, D.D.L., “Dispersion of Short Fibers in Cement, *Journal of Materials in Civil Engineering*”, ASCE, 379-383, July/August 2005

- [9] Demirel B., Gönen T., “Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Karbon fiber takviyeli betonda farklı fiber boyunun kapilariteye etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, 2007
- [10] Yıldırım S.T., Ekinci C.E., “Çelik, cam ve polipropilen liflerde donma çözünme etkilerinin araştırılması”, Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (3), 359-366, 2006.
- [11] Uyan M., Yıldırım H., Eryaman A.,” Workability and Durability of Steel Fiber Reinforced Concrete Cast with Normal Plasticizers” ,Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.
- [12] Park S., Tae- Jeon B., Lee B.I., Lim Y.S., “Cement and Concrete Research”, 1, 589-600, 1991
- [13] Amat T., Balanco M. T., Palamo A., “Acrylic fibres as reinforcement for cement pastes”, Cement and Concrete Composites, 16 (1), 31-37, 1994.
- [14] Yaprak H., Şimşek O., Öneş A., “Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi”, Politeknik Dergisi, Cilt: 7 Sayı: 4 s. 353-358, 2004
- [15] Ari K., Haktanir T., Altun F., Karahan O., “Beton Borulara Çelik Lif Katkısının Mekanik Özelliklere Etkisi”, Türkiye Hazır Beton Birliği Beton Kongresi, İstanbul,ss:255-265 ,2004
- [16] Kayhan A., Haldenbilen S., Aydın Y., Uslu A., “Bazalt Lifli Donatı Çubuklarının Mekanik Özelliklerinin Betonarme Elemanların Davranışına Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:13, Sayı:1 s.23-30, 2007

- [17] Yıldız S. , Ulucan Z. ,”Beton Borularda Cam Lif Katkısının Tepe Yük Dayanımına Etkisinin Araştırılması” Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 23, No 2, 267-271, 2008
- [18] Erdem Ü., Şimşek A., “Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme ile yapılmış betonarme kirişler”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 1997
- [19] Ökten M.S., “Betonarme Kirişlerin Karbon Elyafı ile Güçlendirilmesi Üzerine Deneysel Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003
- [20] Akpınar E., “Normal Dayanımlı Betonda Donatı Kenetlenme Özelliklerinin Karbon Elyaf Sargısı ile İyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2004
- [21] Köseoğlu A., “Çift eğrilikli betonarme kolonların karbon fiber elyafı ile tamamen sargılanması ile güçlendirilmesi ve onarılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006
- [22] Şahin M., “Polipropilen Elyafı ile Beton Kompozitlerin Üretimi ve Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007
- [23] Doğan A. B., “Karbon Polimer Elyafı ile Güçlendirilmiş Beton Kirişlerin Sonlu Elemanlar Metodu ile Lineer Olmayan Analizi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2008.
- [24] Uygun T., “Beton yapı elemanlarının cam elyaf sarma yöntemiyle güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010

- [25] TS 453 Temmuz 2006, Ön yapımlı (prefabrike), Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü.
- [26] www.akg-gazbeton.com, 2013
- [27] Kaynak H.,” Tuğla ve Gazbetonun Mühendislik Özellikleri, Ülke Ekonomisindeki Yeri, Hammadde Potansiyeli, Avantaj ve Dezavantajları”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 1999.
- [28] http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.htm
- [29] <http://akademi.itu.edu.tr/vuralmu/Dersler/BuDonem>
- [30] <http://www.stanford.edu/group/solarcar/composites.htm>
- [31] <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler>
<http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1092>
<http://www.wtp.net/DBEST/hcomp/nomex.html>
- [32] ITO kompozit raporu, <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-57.pdf>, 2006
- [33] CTP Teknolojisi, Cam Elyaf Sanayi A.Ş., İstanbul, 1985.
- [34] TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, sayı 504: 68-73, Kasım 2009
- [35] Garcia J. M., Garcia F. C., Serna F., DelaPeña J. L., “High performance aromatic polyamides”, Progress in Polymer Science 35 (5): 623–686. doi:10.1016/j.progpolymsci.2009.09.002. ,2010

- [36] Bayasi Z., Zeng J., “Properties of Polypropylene Fiber Reinforced”, *Materials Journal* 90 (6): 605–610,1993
- [37] <http://www.compositesworld.com/articles/basalt-fibers-alternative-to-glass>
- [38] Öchsner A., Murch G.E., deLemos M.J.S., “Cellular and Porous Materials”, Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.
- [39] Kumlutaş İ., Tavman H., “A numerical and experimental study on thermal conductivity of particle filled polymer composites”, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 19(4), 441-455, 2006
- [40] Czichos H., Saito T., Smith M. L., *Springer Handbook of Materials Measurement Methods*, Springer, Berlin, 2006.
- [41] TS ISO 8302, Isı yalıtımı - Kararlı halde ısı direncin ve ilgili özelliklerin tayini-Mahfazalı sıcak plâka cihazı, Türk Standartları Enstitüsü, 2002
- [42] TS EN ISO 8990, Isı yalıtımı - Kararlı durum ısı iletim özelliklerinin tayini Kalibre edilmiş ve mahfazalı sıcak kutu, Türk Standartları Enstitüsü, 2002
- [43] TS EN 772-13, Kâğıt birimlerde net ve brüt yoğunluk tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2002
- [44] TS EN 772-1, Kâğıt birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2012
- [45] TS EN 679, Gazbeton - Basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2008

[46] TS EN 772-6, Kâgir birimler - Deney metotları - Bölüm 6: Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2004



EKLER

EK 1. SATIN ALINAN ELYAF FOTOĞRAFLARI











EK 2. ELYAF TAKVİYELİ GAZBETON NUMUNESİ DÖKÜM FOTOĞRAFLARI



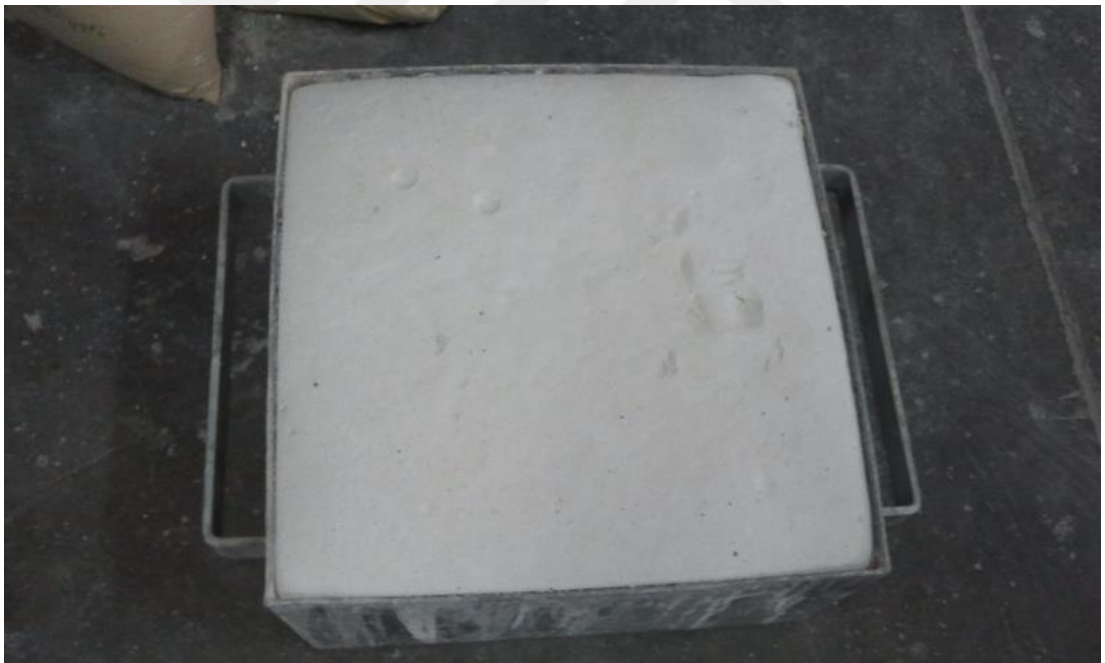














YALCINER DANIŞMANLIK BULUŞ BİLDİRİM FORMU

Buluş Başlığı Buluş için düşündüğünüz başlığı belirtiniz.	
Teknik Alan Buluşun ilgili olduğu teknik alanı/kullanım alanı/sector nedir? Belirtiniz.	
Önceki Teknik Buluşunuzdan önce aynı işlevin nasıl yerine getirildiğini özetleyiniz.	
Teknik Sorun/Önceki Teknikte Karşılaşılan Sorunlar Buluşunuzdan önce kullanılan sistemler/ürünler nasıl çalışıyordu? Bu sistemlerde/ürünlerde yaşanan teknik problem(ler)/eksik taraflar nelerdi? Anlatınız.	
Buluşunuzun çözdüğü sorunlar/problemler nelerdir? Buluşunuz ile aynı kullanım amacına sahip olan ve mevcut sistemlere göre hangi farkları yaratarak buluşunuzu geliştirdiniz? Buluşunuzun bilinen sistemlerden farklı olduğu noktalar nelerdir? Anlatınız.	
Buluş ile elde edilen faydalar Buluşunuzdan önce kullanılan sistemlerde/ürünlerde yaşanan teknik problem(ler)e buluşunuzun getirdiği çözüm(ler) ve elde ettiğiniz faydalar nelerdir? Bu faydalar ihtiyaç sahipleri için ne kadar etkilidir? Anlatınız.	

<p>Teknik sorunun çözüm yöntemi Buluşunuzun teknik özelliklerini anlatınız</p>	
<p>Mevcut sisteme göre buluş ile korunmak istenen kısımlar (yeni olan yapılar) nelerdir? Maddeler halinde belirtiniz</p>	
<p>Varsa, buluşunuz ile ilgili teknik resimleri bu forma ekleyiniz. Buluşunuzda renkli çizimler, çizimler içinde dolgular ve yazılar kullanılmamalıdır. Sadece şekillerin altına şekil numaraları verilmeli (Şekil 1), çizimlerde de şekilleri meydana getiren parçalara (bir çizgi uzantısı ucuna) parça numarası verilmeli ve şekiller üzerindeki aynı parçalar aynı numara ile numaralandırılmalıdır.</p>	
<p>Buluşunuz sanayi veya tarıma uygulanabilir mi? Uygulama biçimi nedir? Belirtiniz.</p>	
<p>Buluşunuz ile ilgili yapılacak patent araştırmasında kullanılacak anahtar kelimeler neler olabilir? Belirtiniz. (Buluşunuzu tanımlayan kilit kelimeler nelerdir?)</p>	