T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI UZUNLUKLARDA KARBON FİBER TAKVİYELİ GAZBETONUN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

MUSTAFA KAĞAN ÖĞDÜ

HAZİRAN 2018

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Mustafa Kağan ÖĞDÜ tarafından hazırlanan " FARKLI UZUNLUKLARDA KARBON FİBER TAKVİYELİ GAZBETONUN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI " adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İlker KALKAN

Anabilim Dalı Başkanı

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

Prof. Dr. İlhami DEMİR

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : _____

Üye (Danışman) : Prof. Dr. İlhami DEMİR _____

Üye : _____

……/…../…….

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

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

FARKLI UZUNLUKLARDA KARBON FİBER TAKVİYELİ GAZBETONUN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

ÖĞDÜ, Mustafa Kağan
Kırıkkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. İlhami DEMİR
HAZİRAN 2018, 80 sayfa

Gazbeton, çok ince öğütülmüş silisli agrega, alçıtaşı, kireç, çimento, su ve gözenek oluşturucu katkı maddesinin belirli oranlarda karışımıyla oluşan harcın buhar kürü ile sertleştirilmesi sonucu elde edilen hafif ve gözenekli bir yapı malzemesidir. Gözenekli yapısı nedeniyle "Gazbeton" adı verilmiş olmasının yanında, hafif olması nedeniyle "hafif beton" olarak da bilinmektedir.

Bu çalışmada, farklı boylarda kırpılmış karbon fiber takviye edilerek üretilen gazbetonun eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı, kuru birim hacim ağırlık, rötre ve ısıl iletkenlik gibi bazı mekanik ve fiziksel özellikleri incelendi. Şahit numune olarak G2/350 sınıfında gazbeton duvar bloğu da aynı gün deney kalıpları ile üretilerek referans alındı. Hazırlanmış olan reçetelere göre, çimento ağırlığının %0,5 oranında 4mm, 6mm, 12mm uzunluklarında kırpılmış karbon fiber ikame edilerek hazır edilen karışımlar kalıplara dökülerek kabarması ve işlenilebilir sertliğe ulaşması için 58 ºC sıcaklıkta 4 saat bekletildi. Ön kürlemenin ardından, üretimi gerçekleşen gazbeton numuneler tobermorit yapının oluşarak istenilen nihai sertliğe ulaşması amacıyla 180 ºC sıcaklıkta ve 11 Bar basınç altında 6 saat doymuş buhar küründe bekletildi. Üretimi gerçekleşen şahit numune ve fiber takviyeli gazbeton numunelerinin eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı, kuru birim hacim ağırlık, rötre ve ısıl iletkenlik değerleri belirlenerek birbiri ile kıyaslandı.

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ısıl iletim katsayısı değerlerinin karbon fiber boyuna bağlı olarak arttığı, yoğunluk ve rötre değerlerinin ise azaldığı görüldü.

Anahtar kelimeler: Gazbeton, Karbon Fiber, Basınç Dayanımı, Kuru Birim Hacim Ağırlık, Isıl İletkenlik, Eğilmede Çekme Dayanımı, Rötre

ABSTRACT

EXPERIMENTALLY INVESTIGATION ON THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF CARBON FIBER REINFORCED AUTOCLAVED AERATED CONCRETE WITH DIFFERENT FIBER LENGHTS

ÖĞDÜ, Mustafa Kağan
Kırıkkale University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis
Supervisor: Prof. Dr. İlhami DEMİR
HAZİRAN 2018, 80 pages

Autoclaved aerated concrete is a light and porous building material which is obtained by curing the mortar which is formed by mixture of very finely milled silica aggregate, gypsum, lime, cement, water and pore forming additive at certain ratios with steam curing. In addition to being named "autoclaved aerated concrete " due to its porous structure, it is also known as "lightweight concrete" due to its light weight.

In this study, some mechanical and physical properties such as flexural strength, compressive strength, dry unit volume weight, shrinkage and thermal conductivity of Autoclaved Aerated Concrete were investigated by reinforcing carbon fibers with diffrent lengths. Autoclaved aerated concrete wall block of class G2 / 350, which is commercial as a witness sample, was produced with the test molds on the same day and taken as a reference. According to the preparations prepared, the blended carbon fiber was added in the lengths of 4mm, 6mm, 12mm of 0,5% of the cement weight, and the prepared mixtures were poured into molds and allowed to stand for 4 hours at 58 ºC to reach the coarseness and workable hardness. After pre-curing, the produced autoclaved aerated concrete samples were stored in a saturated steam cure at a temperature of 180 ºC and a pressure of 11 bar for 6 hours in order to form a "tobermorite" structure and reach the desired final hardness. Flexural strength,

compressive strength, dry unit volume weight, shrinkage and thermal conductivity values of witness sample and fiber reinforced samples produced with test molds were compared with each other.

It has been determined that reinforcing of 12mm carbon fiber has positive effects on flexural strength and shrinkage values.

Key words: Autoclaved Aerated Concrete, Carbon Fiber, Compressive Strength, Dry Unit Volume Weight, Thermal Conductivity, Flexural Strength, Shrinkage

TEŞEKKÜRLER

Yüksek lisans eğitimim boyunca kıymetli bilgileri, görüşleri ve tecrübesiyle yol gösteren, çalışmalarım sırasında bana sabır gösteren ve hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. İlhami DEMİR'e, değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Serkan SUBAŞI ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gürkan YILDIRIM'a çalışmalarım sırasında yardım ve desteği ile motive eden Sayın Arş. Gör. Dr. Özer SEVİM'e, deneyler sırasında bana vakit ayıran iş arkadaşlarım Sayın Abdullah TAN, Sayın Yusuf YİĞİT ve Sayın Mevlüt KARAYEL'e teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca, hep yanımda olup, her türlü maddi ve manevi destekleri ile bana olan inançlarını eksik etmeyen annem Fatma ÖĞDÜ 'ye, babam Mustafa ÖĞDÜ 'ye minnetimi sunarım. Ayrıca, bu çalışmam sırasında gösterdiği anlayış ve desteğinden dolayı sevgili eşim İrem Karakaş ÖĞDÜ 'ye, evlatlarım Barlas ve Miray'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜRLER v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ vi
TABLOLAR DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
SİMGELER DİZİNİ xi
KISALTMALAR DİZİNİ xii
1. GİRİŞ 13
1.1. Kaynak Özetleri 16
1.2. Çalışmanın Amacı 21
2. KURAMSAL KAVRAMLAR 23
2.1. Hafif Yapı Malzemeleri 23
2.1.1 Hafif Betonlar 23
2.1.4. Gazbeton Uygulama Özellikleri 33
2.2. Karbon Fiber 35
2.2.1. Karbon Fiber Tarihçesi 35
2.2.2. Karbon Fiber Özellikleri 35
2.2.3. Karbon Fiber Üretimi 36
2.2.4. Karbon Fiber Oksidasyon 37
2.2.5. Karbon Fiber Karbonizasyon 37
2.2.6. Karbon Fiber İyileştirmesi 38
2.2.7. Karbon Fiber Kaplama 38
3. MATERYAL VE YÖNTEM 39
3.1. Materyal 39
3.1.1. Karbon Fiber 39
3.1.2. Çimento 40
3.1.3. Kireç 40
3.1.4. Kuvarsit 41
3.1.5. Alçıtaşı 42
3.1.6. Su 42

3.1.7. Alüminyum 42
3.1.8. Atık çamuru 43
3.2. Yöntem 43
3.3. Fiziksel ve Teknik Özelliklerin Belirlenmesi 53
3.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi 53
3.3.2. Isıl İletkenlik Deneyi 55
3.3.3. Kuru Yoğunluk Deneyi 55
3.3.4. Eğilmede Çekme Deneyi 56
3.3.5. Rötre Deneyi 57
3.3.6. SEM Analizi 58
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 59
4.1. Basınç Dayanım Özellikleri 60
4.2. Isıl İletkenlik Özellikleri 61
4.3. Kuru Yoğunluk Özellikleri 62
4.4. Eğilmede Çekme Dayanımı Özellikleri 63
4.5. Rötre Özellikleri 64
4.6. Mikroyapısal Özellikleri 65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 71
KAYNAKLAR 75

TABLOLAR DİZİNİ

TABLO Sayfa

2.1. Gazbeton Sektör Profili [39] 30
2.2. Gazbetonun çeşitli birim hacim ağırlıkları için porozite değerleri [40] 30
2.3. Kuru gazbetonun ısı iletkenlik değerleri [40] 31
2.4. Gazbetonun mekanik özellikleri [40] 31
2.5. Gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları [41] 32
2.6. G2/350 gazbeton sınıfının genel özellikleri 33
3.1. Deneyde Kullanılan Karbon Fiberin Teknik Özellikleri 39
3.2. CEM I 42,5 R Çimentosunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 40
3.3. Kullanılan Kirecin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri 41
3.4. Çalışmalarda Kullanılan Kuvarsitin Kimyasal Analiz Sonuçları 41
3.5. Kuvarsit ve Alçıtaşının Elek Analizi Sonuçları 41
3.6. Kullanılan Alçıtaşının Kimyasal Özellikleri 42
3.7. Alüminyumun Fiziksel ve Kimyasal Sonuçları 43
3.8. Çalışmanın Döküm Kompozisyonu 44
4.1. Deney Numunelerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 59

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL Sayfa

1.1. Gazbetonun görünümü 13
1.2. Gazbetonun boşluklu yapısının temsili görünümü 15
2.1. Gazbeton Üretiminde Kullanılan Otoklavların Görünümü 28
2.2. Gazbeton Üretim Şeması 29
2.3. Karbon Fiber Örneği [43] 36
3.1. Döküm Yapılan Kalıpların Görünümü 45
3.2. Gazbeton Dökümünde Hammaddeler 45
3.3. Gazbeton Döküm İşlemleri 46
3.4. Dökümde Kullanılan Karbon Fiber Görünümleri 46
3.5. Gazbeton Keki Kabarma Görünümü 47
3.6. Otoklav Sonrası Gazbeton Döküm Görünümü 48
3.7. Gazbeton Numunelerinin Boyutlandırılması 49
3.8. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi İçin Hazırlanan Numuneler 50
3.9. Basınç Dayanım için Numune Görünümü 51
3.10. Rötre Deneyi için Kesilen Numuneler 52
3.11. Isıl İletkenlik Deneyi için Numune Kesiti 53
3.12. Basınç Dayanım Deneyinin Yapılması 54
3.13. Isıl İletkenlik Cihazı 55
3.14. Kuru Yoğunluk Deneyi Numuneleri 56
3.15. Eğilmede Çekme Dayanımı Cihazı 57
3.16. Rötre Deney Düzeneği 58
4.1. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Basınç Dayanım Değerleri 60
4.2. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Isıl İletkenlik Katsayısı Değerleri 61
4.3. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Kuru Yoğunluk Değerleri 62
4.4. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri .. 64
4.5. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Rötre Değerleri 65
4.6. Karbon Fiber SEM Görüntüsü (X2000) 66
4.7. Karbon Fiber Katkısız ŞAHİT Gazbetonun SEM Görüntüsü (X1000) 67
4.8. 4mm %0,5 Karbon Fiber (FİB4) İkameli Gazbetonun SEM Görüntüsü 68

4.9. 6mm %0,5 Karbon Fiber (FİB6) İkameli Gazbetonun SEM Görüntüsü (X50).. 69
4.10. 12mm %0,5 Karbon Fiber (FİB12) İkameli Gazbetonun SEM Görüntüsü (X35) 70

SİMGELER DİZİNİ

Ws	Rutubet muhtevası oranı
λ	Isı iletkenlik değeri
μm	Mikrometre
ρ	Yoğunluk değeri
cm	Santimetre
Db	Desibel
dk	Dakika
f	Basınç dayanım değeri
g	Gram
kgf	Kilogramkuvvet
M	Kuru Kütle
MPa	Mega paskal
V	Hacim

KISALTMALAR DİZİNİ

AAC	Gaz Beton (Autoclaved Aerated Concrete)
BET	Yüzey Alanı Ölçümü
BHA	Birim Hacim Ağırlığı
C-S-H	Kalsiyum Silika Hidrat
MAX.	Maksimum
MİN.	Minimum
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SH	Sodyum Hidroksit
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
SS	Sodyum Silikat
TK	Taban Külü
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
US	Amerikan Birim Sistemi
XRD	X-Ray Diffraction
XRF	X-Ray Fluorescence

1. GİRİŞ

Gazbeton, içerdiği hava kabarcıkları nedeniyle geleneksel kargir yapı malzemelerine kıyasla çok yüksek yalıtım özelliği sağlamakla birlikte daha hafif bir yapı malzemesidir. Bu özellikleri nedeniyle yapı sektöründe son yıllarda aranan bir malzeme haline gelmiştir. Bünyesinde bulundurduğu hava kabarcıklarından dolayı ülkemizde gazbeton olarak anılmaktadır. Ancak, İngilizce adı ve kısaltması " Autoclaved Aerated Concrete – AAC ", almaca adı ise " Pronbeton " dur [1].

Gazbetonun temsili görünümü Şekil 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Gazbetonun görünümü

Gazbeton bünyesindeki hacmen yaklaşık %80 oranında hava dolu gözenekler sayesinde diğer malzemelere kıyasla kullanıcısına yüksek ısı yalıtımı, işlenebilirlik,

hafifliği sayesinde ise düşük işçilik ve deprem emniyeti sağlamaktadır. Ayrıca, çevre dostu hammaddeler ile üretilen gazbeton, gelecek nesillere daha temiz bir dünya bırakmak konusunda tüm gerekleri yerine getirmektedir. Aynı zamanda, üretiminde atık çamur kullanımı ile geri dönüşüm sağlanarak çevre kaynakları heba edilmemektedir [1].

Gazbeton, çimento, kireç ve öğütülmüş kuvarsit karışımına alüminyum metal tozları katılarak gözeneklendirilmesi yolu ile üretilirler. Çimento ve kirecin alkalileri ile alüminyum tozu arasında oluşan kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan hidrojen gazı sayesinde beton yapısının kabarması sağlanır [1].

TS EN 12602'e göre "Gazbeton (AAC), ince silis esaslı malzeme, gözenek oluşturan madde ve su ile birleştirilen çimento ve/veya kireç gibi bağlayıcıdan imal edilir. Hammaddeler birlikte karıştırılır ve karışım kabararak kek oluşturabileceği kalıplara dökülür. İşlemin bu kısmı bittikten sonra kek, istenen boyutlara göre kesilir ve otoklavlarda yüksek basınçlı buhar ile küre tabi tutulur [2].

Gazbetonun gözenekli yapısı ise Şekil 1.2.'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Gazbetonun boşluklu yapısının temsili görünümü

Gazbetonu oluşturan ana maddelerden biri olan kuvarsit, genel olarak kuvars kumu taneleri (SiO_2), silisten meydana gelen bir tür çimento ile birbirine çok sağlam şekilde bağlanmasıyla oluşan bir kayaç olup, metamorfik ve sedimanter olarak 2 çeşit bulunmaktadır. Kuvarsit, yüksek dayanımlı bir kayaçtır. Bu nedenle, öğütülmesi oldukça güç ve maliyetlidir. Kuvarsitin öğütülerek üretime hazırlanmasının zahmetinden dolayı kuvarsit, aynı kimyasal bileşime sahip olan kuvars kumu ve kumtaşından sonra tercih edilmektedir. Kuvarsitin SiO_2 olan kimyasal bileşimi kuvars, kumtaşı veya kuvars kumu ile aynıdır. Ancak, kayaç bünyesinde çeşitli oranlarda SiO_2 bulunabilmektedir. Gazbeton üretiminde kullanılan kuvarsitte, SiO_2 miktarının en az %90, Fe miktarının en fazla %2 olması istenir [1].

1.1. Kaynak Özetleri

Bugüne kadar gazbetonun mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde ise Gazbeton ve diğer beton çeşitleri ile malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Pehlivanlı vd. (2015); Bu çalışmada, AAC(Autoclaved Aerated Concrete) üretiminde fiber türünün eğilme dayanımı ve ısıl iletkenlik değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, duvar elemanı için kullanılan ve ticari olarak üretilen 400 kg/m^3 yoğunluklu G2/04 sınıfı gazbeton referans alınmıştır. Her gazbeton karışımına eşit miktarda ikame edilmiştir. Üretilen numunenin mekanik özellikleri ve termal iletkenlik değerleri ile mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Üretilen numuneler, 4 saatte 60° C sıcaklıkta bekletilmiş, daha sonra 11 bar basınçta ve 6,5 saat süreyle bir otoklavda 180° C sıcaklıkta kürlemeye tabi tutulmuşlardır. Üretilen numunelerin mikroyapısal özellikleri de incelenmiştir. Çalışma sonucunda, karbon fiber takviyeli gazbetonun fiber tiplerine göre en iyi eğilme ve basınç dayanımını sağladığı görülmüştür [3].

Pehlivanlı vd. (2016); Bu çalışmada, gazbetonun ısıl iletkenlik değeri, basınç ve eğilme dayanımındaki değişimler deneysel olarak, G3/05 (3,5 kg/cm^2 basınç dayanımı, 500 kg/m^3 yoğunluk) ve G4/06 (5 kg/cm^2 basınç dayanımı, 600 kg/m^3 yoğunluk) sınıfına göre hazırlanmış olan gazbeton karışıma polipropilen, karbon, bazalt ve cam fiber ilave edilerek araştırılmıştır. Fiber malzemeler, hacimsel olarak eşit miktarlarda gazbeton içinde agrega ile ikame edilmiştir. Üretilen numuneler, fibersiz gazbetonda olduğu gibi kürlemeye tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma sonucunda; fiber ikame edilmiş gazbetonun ısıl iletkenliğinin, ikame edilmiş fiberlerin ısı iletkenliği ile lineer olarak değiştiği ve bazalt fiber takviyeli gazbetonun en yüksek termal iletkenliği sağladığı görülmüştür. Çalışmada karbon fiber miktarı çimentonun yaklaşık ağırlıkça %0,5 oranında kullanıldığından ve fiber miktarı arttıkça karıştırmanın güçleşmesi ve homojen dağılım sağlanamadığı belirtilmiştir. Ancak, en iyi basınç ve eğilme mukavemetinin karbon fiber takviyeli numunelerden elde edildiği görülmüştür [4].

Hussin vd (2018); Çalışmalarında, beton blokların cam fiber, bazalt fiber ve çelik fiber ile takviye edilmesinin betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Geleneksel beton karışımlarındaki fiber içeriğinin genellikle 20-120 kg/m^3 veya hacimsel olarak %0,25-1,5 aralığında değiştiği ve fiber içeriğini artırmanın (%1'in üzerine çıkarmanın) karıştırma açısından sorunlar oluşturabileceğinden söz edilmiştir [5].

Mohamed vd (2006); Bu çalışmada, özellikle süneklik ve çekme mukavemeti özellikleri açısından betonun zayıf performansını iyileştirmek amacıyla polipropilen fiberlerin beton karışımına ilave edilmesinin etkileri araştırılmıştır. Polipropilen fiberlerin ilave edilmesinin normal dayanımlı betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Polipropilen fiberler, hacimce %0,25, %0,5, %1.0 ve 1,5% oranında ilave edilmiştir. Maksimum basınç dayanımı, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, süneklik, bağ dayanımı, çekme dayanımı ve su emme oranı gibi mekanik özellikleri belirlemek için sıkıştırma, çekme ve eğilme testleri yapılmıştır.

Deneysel sonuçlara dayanarak, polipropilen fiber malzemelerinin içeriğinin arttırılmasıyla betonun sünekliğinin önemli ölçüde arttığını ve maksimum basınç dayanımının biraz arttığı belirtilmektedir. Polipropilen fiber miktarının artışı (% 0,5' oranından daha yüksek değerler), nihai bağ dayanımını arttırmadığı, ancak daha fazla sünek davranış sağladığı görüldü. Ayrıca, polipropilen fiberlerin eklenmesi ile beton numunelerin su emme oranında önemli bir artışa neden olduğu görülmüştür [6].

Sadrmomtazi vd (2009); Çalışmalarında, fiberlerin matriste çatlak ilerlemesini stabilize etme kabiliyetini önemli derecede etkilediği belirtilmiştir. Fiber ve matriks arasındaki aderans esas olarak mekanik olduğundan, nano-SiO_2 (NS) 'in fiber eklenmiş çimento karışımlarına ilave edilmesi, gözenek arıtışı ve hidratasyon ürünlerinin daha iyi dağılımı yoluyla matris ile daha iyi bir aderans sağlar. Bu nedenle, bu çalışmada polipropilen (PP) fiberlerin, mekanik özelliklere ve NS içeren harcın rötre üzerindeki etkisini incelemek için çalışmalar yapılmıştır. Üç fiber hacim oranı %0,1, %0,3 ve %0,5 olarak kabul edildi. Basınç ve eğilme dayanımı, su emme ve rötre değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar, NS'in harçların mekanik ve su emme

özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiğini göstermiştir. NS'nin eklenmesiyle harçların mekanik mukavemetini iyileştirmede fiberlerin etkinliğini oldukça arttırmıştır. Karışımda fiber oranı arttıkça rötre değerleri arttığı ve %0,3 oranı üzerinde fiber ilave edilmesinin olumsuz etkileri olduğu belirtilmiştir [7].

Najimi vd (2009); Çalışmalarında, polipropilen fiberlerin beton karışımına ilave edilmesinin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 6 mm, 12 mm ve 19 mm polipropilen fiberlerden oluşan üç adet beton karışımı fiziksel ve mekanik yönleri incelenmiş ve kontrol betonu ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, polipropilen fiberlerin eklenmesinin eğilme mukavemetini biraz artırdığını ve çatlak genişliğini azalttığını göstermektedir. Bu özellikler, fiber uzunluğunun artmasıyla da iyileştirilmiştir [8].

Antanas Laukaitis vd (2012); Çalışmalarında, çeşitli mekanik işlemlerin kimyasal ve termal olarak dirençli karbon fiber (CF) katkılarının gözenekli yapı oluşumu ve gazbetonun özellikleri (AAC) üzerindeki etkileri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak ağırlıkça çimentonun % 0,1 oranında CF eklenmiş gazbetonda, basınç dayanımındaki artış %6-22 oranında olmuştur. Eğilme dayanımının ise CF katkısı olmayan AAC'ye göre %29 arttığı gözlenmiştir [9].

Demirel vd (2007); Çalışmalarında, çeşitli boylarda karbon fiber katkılı betonun basınç dayanımı ve kapilarite özellikleri araştırılmıştır. Fiber boyunun arttırılması ile betonun basınç dayanımının azaldığı, kapilaritesinin ise arttığı yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Ayrıca dozajın arttırılarak bu olumsuz etkilerin optimum seviyeye getirebileceği görülmüştür. Kullanılacak fiber uzunluğunun dozaja göre belirlenmesi; kapilarite ve dayanımın kullanılabilir sınırlar içerisinde beton üretimi için gerekli olduğu yapılan deneysel çalışma sonucunda belirlenmiştir [11].

Yıldırım vd (2006); bu çalışmasında, cam, polipropilen, ve çelik fiber takviyeli betonların donma-çözülmeye karşı dayanıklılığı araştırılmıştır. Deneyler için, fiber içermeyen, cam, polipropilen, çelik ve karışık fiber takviye edilmiş 12 farklı beton numunesi üretilmiştir. %0,5, 0,75 ve %1 hacimsel oranında çelik fiberler, beton içinde %0,1 hacimsel oranında polipropilen ve cam fiberlerle karışık ve ayrı ayrı

kullanılmıştır. 30 defa donma-çözülme dönüşümü sonunda hazırlanan numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, ağırlık kaybı ve dayanıklılık değerleri gözlenmiştir. Deney sonuçları, betonda kullanılan fiber tipine göre değerler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir [12].

Uysal vd (2012); gazbeton üretiminde kullanılan çimento ve kireç gibi bağlayıcı malzemelerin karışım oranındaki değişimlerin rötre üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Bu amaçla gazbeton üretimi için gerekli olacak bağlayıcılardan kireç miktarı %25 ila %30 arasında, çimento miktarı ise %7 ila % 10 arasında kullanımları her seride değiştirmek suretiyle denemeler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre hem kireç esaslı hem de çimento esaslı üretimdeki kuruma rötresi değerlerinin gazbetonlar için standart değer olan 0,5 mm/m değerinden düşük olduğu, gazbeton üretiminde bağlayıcı olarak kireç ve çimento miktarının arttırılmasının kuruma rötresi değerlerini arttırarak olumsuz sonuçlar verdiği gözlenmiştir [15],

Yaprak vd (2004); uçucu kül ve çelik fiber ile takviye edilerek hazırlanan beton karışımına 0,5, 0,75, 1,0, 1,25 kg/m^3 miktarlarında cam fiber eklenerek, beton numunelerinin basınç dayanımı ve çekme dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Cam fiberlerin, basınç ve çekme dayanımı özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür [16].

Ünal vd (2006); çalışmalarında çelik fiberler ilave edilmiş betonda çeşitli fiber tipi ve miktarının, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerine etkileri araştırılmıştır. Karışımlarda katkısız, 15, 30, 45 ve 60 kg/m^3 miktarlarında olmak üzere 5 çeşit fiber ile üretilmiştir. Sonuç olarak betonda çelik fiberler kullanılmasının, betonun basınç yüklemesi etkisindeki gerilme-şekil değiştirme kabiliyetlerinin ve eğilme dayanımının geliştiği görülmüştür [17].

Pehlivanlı (2009); gazbetonun ısıl iletkenlik değerinin nem miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada, duvar elamanı olarak kullanılan G2/04 sınıfı gazbeton numunelerin, %0-48 arasında değişen beş farklı kütlesel nem içeriğinde ısı iletkenlik katsayılarının değişimi deneysel olarak

incelenmiştir. Gazbeton ısıl iletkenliğin kütlesel nem içeriğine ve sıcaklığa bağlı olarak arttığı deneysel olarak belirlenmiştir [19].

İşler (2014); dikdörtgen kesitli betonarme kolon elemanların FRP (fiber takviyeli polimer) ile güçlendirilmesi uygulaması Deprem Yönetmeliğinin 7. bölümüne göre güçlendirme kriterleri çerçevesinde dayanımdaki değişim, uygulama ve ekonomik yönleri ile incelenmektedir [20].

Topsakal vd (2015); beton karışımında fiber dolgu malzemesi oranının, polimer betonun fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Polimer beton üretiminde polipropilen, cam, karbon ve çelik fiberler çeşitli miktarlarda kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin reaksiyon sıcaklığı, ultrases geçiş hızı, schmidt çekici ile yüzey sertliği, eğilme ve basınç dayanımı değerleri ölçülmüştür. Eğilme dayanımının arttırılması ve reaksiyon sıcaklıklarından oluşan çatlakların önlenmesi için fiberlerin polimer betonda kullanılması önerilmiştir. Polimer betonda fiber miktarının en fazla %6 olması gerektiği belirtilmiştir [21].

Atiş vd (2005); uçucu kül ile hazırlanan beton karışımına fiber ilave edilmesinin betonun işlenebilirliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla hazırlanan beton karışımına 19 mm boyundaki polipropilen fiberler hacimce %0,05, %0,1 ve %0,2 oranlarında ve 35 mm boyundaki çelik fiberler ise hacimce %0,25, %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında ilave edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucu betona fiber ilave edilmesinin slump değerlerini azalttığı, vebe süresini ise arttırdığı görülmüştür. Aynı zamanda, polipropilen fiberlerin işlenebilirlik üzerine etkilerinin çelik fiberlerin işlenebilirliğe olan etkilerinden daha az olduğu bulunmuştur. Betonda uçucu kül kullanılasının, fiber eklenmiş ve fiber eklenmemiş betonda yapılan deneylere göre taze betonun işlenebilirliğini iyileştirdiği belirtiliştir [22].

Dey vd (2015); çalışmalarında, karışımına polipropilen fiber ilave edilmiş gazbeton paneller ve harici olarak yüzeyine cam fiber kumaş takviye edilmiş gazbeton panellerin mekanik tepkisi üç nokta eğme deneyleri ile incelenmiştir. Harici olarak yüzeye bağlanmış tekstil tabakaları hem hafif hem de düşük mukavemetli gazbetonun mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirmiştir [24].

Pastor vd (2014); atık lastiklerin Cam Fiber Takviyeli Beton paneller içerisine dahil edilerek atık lastiklerin geri dönüşümü ve bu sayede daha az agrega kullanılması amaçlanmıştır. Beton karışımına atık lastik dahil edilmesinin mekanik performansın yanı sıra mikroyapı ve doku üzerindeki etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Bu panellerin dayanıklılığı, kurutma/ıslatma döngüleri ve malzemenin gerçek bir durumda maruz kaldığı sıcaklık değişimlerini içeren farklı yaşlanma işlemlerine maruz bırakılarak test edilmiştir. Düşük yoğunluk ve daha büyük gözenek sağlanmasının yanında süneklik ve darbe dayanımının geliştiği belirtilmiştir. [25].

Sinica vd (2014); sürekli bazalt fiberleri (CBF) ve SiO_2 mikrodust (SMD) içeren bir kompleks katkı maddesinin (CA), tekrarlanan ısıtma ve soğutma çevrimleri dahil, otoklavlanmış gazbeton (AAC) numunelerindeki mukavemet özelliklerinin değişmesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. AAC oluşturan karışımda CBF içeriği, katı madde miktarının ağırlıkça %0,3' i oranında kullanıldı. SMD kumun %1,0'ı yerine kullanılmıştır. CA içermeyen AAC numunelerinin ısıtma ve soğutma döngülerinin sayısına bağlı olarak, basınç dayanımının %20'den %52'ye ve eğilme dayanımın %27'den %62'ye kadar daha fazla olduğu belirtilmiştir [26].

1.2. Çalışmanın Amacı

Günümüzde gazbetonun mekanik özelliklerini düzeltmek amacıyla gazbeton üretiminde fiber malzemelerin kullanımı halen araştırılmaktadır. Gazbetonun, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, yoğunluk, ısı iletim katsayısı ve rötre değerleri ise gazbetonun kullanılabilirliğini etkileyen en önemli faktörlerdir.

Eğilme dayanımı ise bu özellikler arasında en büyük öneme sahip olanıdır. Çünkü gabzetonun basınç dayanımına kıyasla çok düşük çekme dayanımı ve çok düşük darbe dayanımı değerlerine sahiptir. Bu kusur nispeten düşük çekme dayanımın bir sonucudur. Bundan dolayı gazbetona fiber takviye edilmesi bu gerilmelerin fiberler ile taşınması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada, faklı boylara sahip kırpılmış karbon fiberlerin gazbetonun eğilme dayanımı başta olmak üzere mekanik ve fiziksel özelliklerine etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

2. KURAMSAL KAVRAMLAR

2.1. Hafif Yapı Malzemeleri

2.1.1 Hafif Betonlar

Etüv kurusu durumundaki yoğunluğu 800kg/m^3 ile 2000kg/m^3 arasında olan betonlar "hafif beton" olarak adlandırılır [27].

Hafif beton üretiminde üç değişik yöntem vardır [28, 29].

- ✓ Normal ağırlıklı agrega yerine, boşluklu olan doğal veya yapay agregaların kullanılır. Bu tip hafif betonlar kullanılan agreganın cinsine göre adlandırılırlar [30]. Genleştirilmiş kil, şist gibi taşıyıcı betonlar ile perlit betonu, pomza taşı betonu gibi yalıtım veya orta mukavemetli betonlar örnek verilebilir.
- ✓ Betonda fiziksel veya kimyasal yolla büyük miktarda boşluklar oluşturulur. Bu boşlukları hava sürükleyici katkı maddeleri ile oluşturmak en yaygın yöntemlerden biridir. Bu tip betonlar gaz beton, köpük beton (foam beton) veya hava sürüklenmiş beton olarak adlandırılırlar [31].
- ✓ Betonun ince agregasını çıkartarak betonda büyük boşluklar oluşturulur. İri agregalar birbirlerine 1-3mm kalınlıkta çimento hamuru ile bağlıdırlar. Bu tip betonlar genelde kumsuz betonlar olarak adlandırılırlar.

Agregalar, betonun ağırlığının yaklaşık %80 kadarını oluşturduğu için hafif beton üretiminde en yaygın kullanılan metot boşluklu hafif agregalar kullanmaktır [30]. Bu şekilde üretilen hafif betonlar duvar, panel ve blokların inşasında, çatı katı döşemelerinde, köprü açıklıklarında, ön yapımlı beton ünitelerimde çoğunlukla kullanılır ve özellikle deprem bölgelerinde yapılar inşa etmek için tercih sebebidir [32]. Sunduğu bu tür teknik, ekonomik ve çevresel avantajlardan dolayı çok yönlü bir malzemedir [33].

Hafif betonlarda yüksek mukavemet sağlamak için düşük su/çimento oranına ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla mukavemeti artırmak için daha fazla çimento içeriği gerekmektedir.

2.1.2. Gazbeton

Gazbeton, en genel tanımına göre, yapısında milyonlarca kapalı gözenek ile ısıl iletkenlik değeri düşük, depreme ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı (1200^0C) bir tür yapı malzemesidir. Teknik tanımına göre ise gazbeton–köpük beton; ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve/veya çimento) ile hazırlanan karışımı, gözenek oluşturucu bir madde ilavesiyle hafifletilmesi ve ayrıca buhar kürü uygulanarak sertleştirilmesi suretiyle elde edilen gözenekli hafif bir betondur. Gazbeton'un endüstrileşmiş üretiminde, genellikle silisli agrega olarak; silisçe zengin olan kum, kuvarsit veya uçucu kül, gözenek oluşturucu olarak ise; alüminyum tozu veya macunu kullanılmaktadır [34].

Bir başka tanımda ise gazbeton; çimento, sönmemiş kireç, alçıtaşı, %80 oranında silis içeren malzeme (Kuvarsit veya Kum veya Uçucu Kül veya Bims, veya Ham Perlit) ve su karışımına gözenek oluşturucu malzemenin belirli oranda karıştırılması ile elde edilen karışımın, otoklavda 11 bar basınç ve 180^0C sıcaklıkta kürlenerek nihai kristal yapısına ulaştırılan gazbeton, bu gözenekli yapısı sayesinde iyi ısı yalıtımını sağlayan, hafif ama basınç dayanımı yüksek, yangına ve depreme dayanıklı hafif beton grubuna giren bir yapı malzemesidir [34].

Otoklavlanmış gazbeton (AAC), mükemmel ısı yalıtımına ek olarak inşaat için yeterli güç gibi olağanüstü özellikler sunan hafif bir yapı malzemesi olarak bilinir. AAC, kireç (CaO) ve çimento, kuvars, sülfat taşıyıcı, köpürme maddeleri ve su gibi diğer katkı maddelerinden elde edilen karışımın otoklavlanmasıyla üretilir [35].

AAC, çimento esaslı bir inşaat malzemesi olup, agregalar (kum, uçucu kül veya diğer silika kaynakları), su, gözenek oluşturucular (alüminyum tozu veya macun) ve

standartlar ve ilgili spesifikasyonlar ve literatürde açıklandığı gibi kimyasal ve mineral katkılardan oluşur [36].

Gazbeton ilk kez, İSVEÇ'li mimar JOHAN ERİKSSON tarafından 1920'li yıllarda hafif beton üretimi üzerine yapılan çalışmalar ile keşfedilmiştir. Endüstriyel anlamda gazbeton üretimi, ilk defa İsveç'te üretilmeye başlanmış ve daha sonra Almanya'da geliştirilerek devam etmiştir. Gazbeton 1924 yılında patent altına alınmış, 1929 yılında ise YTONG adıyla üretilip kullanılmaya başlanmıştır [34].

Gazbeton, günümüzde tüm dünyada çok sayıda ülkede üretimi yapılarak yapı sektöründe kullanılmaktadır. Gazbeton, yüksek performansı ile Avrupa başta olmak üzere Japonya'dan Amerika'ya kadar birçok ülkede üretimi artarak devam etmekte ve pazarlanmaktadır. Avrupa Birliği ülkeleri ve diğer medeni ülkelerde, gazbeton boşluklu yapısı ile sağladığı yüksek ısı yalıtımı ve hafiflik, A1 sınıfı yanmaz bir malzeme olması nedeniyle sağladığı yangın güvenliği ve boşluklu yapısının sağladığı hafiflikle de deprem güvenliğini arttırması sebebiyle pazarın önemli bir ihtiyacını karşılamaktadır. Üstün özellikleri ile gazbeton yapı malzeme ve elemanları; tek ve çok katlı konutlarda, sosyal ve turistik tesislerde, ticaret ve sanayi yapılarında sağladığı ekonomi, kalite, konfor ve uygulamada sağladığı hız nedeniyle güvenle kullanılmaktadır. Gazbeton, bilinen duvar malzemeleri arasında ısı yalıtım değeri en yüksek olanıdır. Bina duvarlarında tam anlamıyla ısı yalıtımı sağlamanın en pratik ve ekonomik yöntemi gazbeton kullanmaktır. Tuğla, taş, briket gibi malzemelerle yapılmış duvarlar ancak ilave maddeler ve ek masraflarla gazbetonun tek başına sağladığı üstün yalıtım gücüne ulaşabilmektedir. [34].

Gazbeton duvarlarda, küçük boyutlu malzemelerle örülmüş duvarlara oranla ısı köprüleri çok daha azdır. Bu durumun nedeni, derzler arasında kullanılan çimento harcının daha geniş ve sık olmasıdır. Yapıların yangından korunması hakkındaki yönetmeliğe göre; 1200^0C'ye kadar ısıya dayanıklı 'A1 Sınıfı Hiç Yanmaz' malzeme sınıfındaki gazbeton, yangına 240 dakikadan fazla karşı koyabilmesiyle, yangına karşı emniyetli yapılar inşa edilmesinin yanı sıra, "yangın duvarı" ve "yangın güvenlik holü" gibi uygulamalarda da ihtiyaca tam olarak cevap verebilen vazgeçilmez bir malzemedir [34].

Günümüzde gazbeton üretimi gerçekleştirilen tesislerde, J.A.Erickson'un yöntemi temel olarak izlenmekle birlikte çağın sağladığı teknolojik olanaklardan yararlanılarak güncelliği korunarak ürün niteliklerinin geliştirilmesi yönünde küçümsenmeyecek ilerlemeler sağlamıştır. Türkiye'de gazbeton, ilk olarak 1950'li yıllarda Almanya'dan ithal edilerek kullanılmış, ilk gazbeton fabrikası ise 1965 yılında İstanbul'da üretime başlamıştır. Türkiye'de gazbeton üretiminin başlamasından bugüne, 50 yılda toplam 50 milyon m^3 gazbeton üretilerek yaklaşık 4 milyon sağlıklı ve çağdaş yapının inşasından kullanılmıştır. Gazbeton farkıyla bu yapıların sağladığı birikimli yakıt tasarrufu ise 20 milyar USD'nin üzerindedir [34].

2.1.3. Gazbeton Üretimi

Gazbeton çimento, sönmemiş kireç, Silis (Kuvarsit veya Kum veya Uçucu Kül veya Bims, veya Ham Perlit), alçıtaşı ve su karışımına gözenek oluşturucu alüminyum ilave edilmesiyle elde edilen, milimetrik olarak kesilerek otoklavlarda 11 bar basınç ve 180^0C sıcaklıkta nihai kristal yapısına ulaştırılan Gazbeton bu gözenekli yapısı sayesinde iyi ısı yalıtımını sağlayan, hafif ama basınç dayanımı yüksek, yangına ve depreme dayanıklı hafif beton grubuna giren bir yapı malzemesidir [34].

Gazbetonda gerçekleşen reaksiyon denklemi;

1) $CaO + H_2O$ —► $Ca(OH)_2 + 278$ Kcal/kg (2.1)

2) $2\,Al + 3Ca(OH)_2$ —► $3\,CaO\,.\,Al_2O_3 + 3H_2 + 3676$ Kcal/kg (2.2)

3) $5\,Ca(OH)_2 + 6\,SiO_2 + 5{,}5\,H_2O$ —► $5CaO.\,6SiO_2.\,5{,}5\,H_2O + 5\,H_2O$ (2.3)

İlk reaksiyon su ile sönmemiş kirecin birleşimi ile ekzotermik bir reaksiyonla başlar. İkinci reaksiyon ise ilk reaksiyondan ortaya çıkan kalsiyum hidroksitin alüminyum ile ekzotermik reaksiyonu gerçekleşir. Bu reaksiyon ile çıkan hidrojen gazı kabarma ve gözenek oluşumu sağlar. Üçüncü ve son aşamada ise otoklavda yüksek basınç ve

sıcaklık altında gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda gazbetonda en çok rastlanan tobermorit kristalleri oluşur [37].

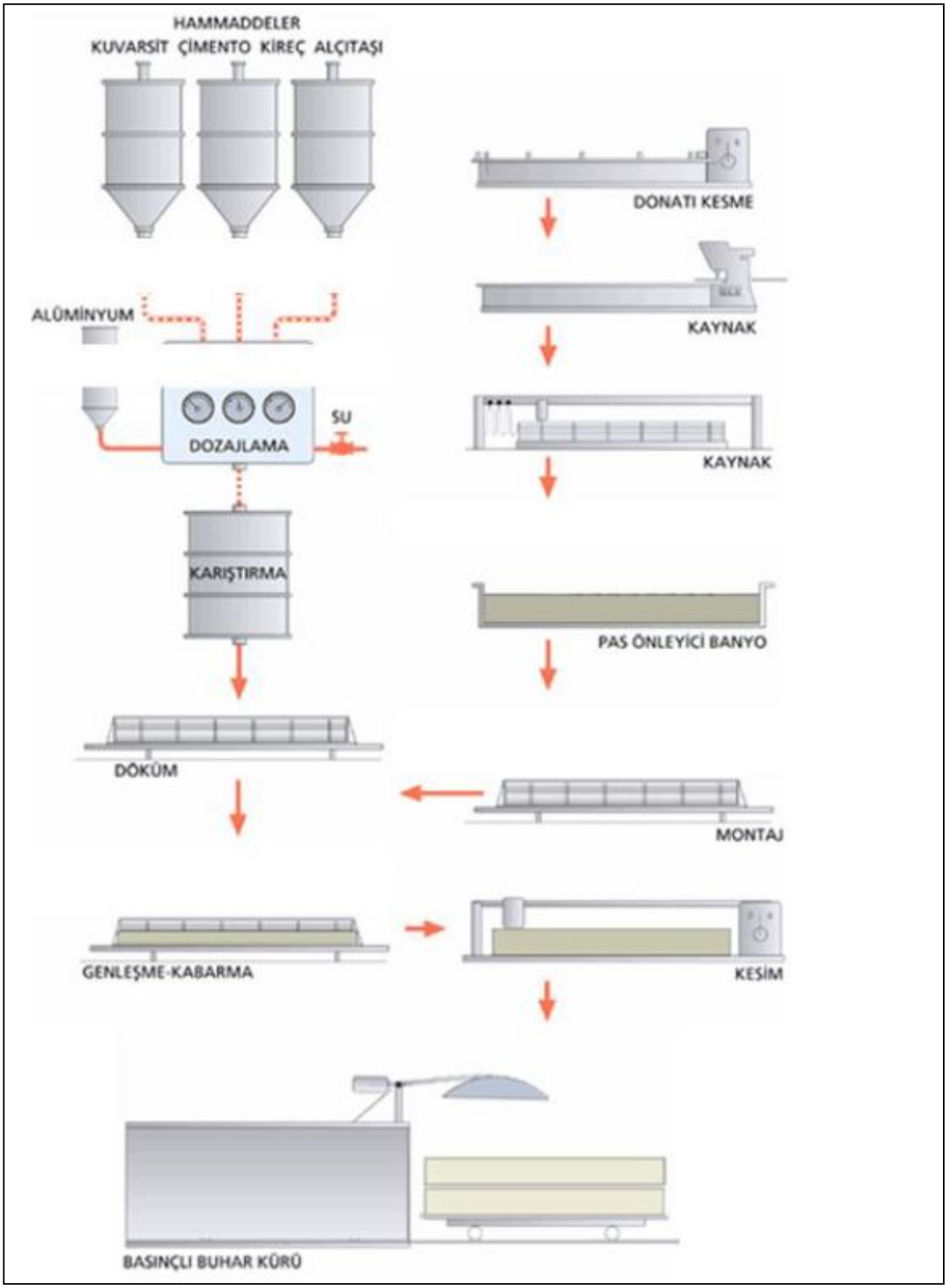
Gazbeton üretiminde otoklavın önemi büyüktür. Gazbeton üretiminde kullanılan otoklavın genel özellikleri şu şekildedir; Otoklavların çalışma prensipleri basitçe bir düdüklü tencereye benzetilebilir. Otoklavda ısı kaynağı elektriktir ya da doğalgazdır. Otoklav çalıştırılmadan önce yeterli miktarda su bulunup bulunmadığı kontrol edilmelidir. Bu işlemden sonra otoklav çalıştırılır. Otoklav çalıştırıldığında hava boşaltma musluğu açık tutulur. Otoklavın içindeki ısı miktarı yükseldikçe su ısınmaya ve kaynayıp buhar haline gelmeye başlar. Dolayısı ile hava boşaltma musluğundan önce hava, sonra hava ile buhar karışımı, daha sonra da sadece buhar çıkar. Buhar çıkmaya başlaması otoklavın içindeki havanın tamamen boşaldığını gösterir. Bu aşamada musluk kapatılır ve basınç ayar subabı istenilen değere ayarlanarak otoklavın buhar tutması sağlanır. Ön vakumlu otoklavlarda otoklavın içindeki hava ön vakumla boşaltıldıktan sonra ortama doymuş buhar verilmektedir. Musluk kapatıldıktan sonra sıcaklık ve basınç artmaya başlar. Gazbetonun kristal yapısının tamamlanma süresi istenilen sıcaklık ve basınç değerlerine ulaştıktan sonra başlar. 11 bar basınç altında 180^{o}C'de 6 saat gazbeton kürlenir ve nihai ürün elde edilmiş olur [38].

Gazbeton üretiminde kullanılan otoklavın gösterimi Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Gazbeton Üretiminde Kullanılan Otoklavların Görünümü

Gazbeton üretiminde iş akış şeması Şekil 2.2'te verilmiştir.



Şekil 2.2. Gazbeton Üretim Şeması

Tablo 2.1.'de Türkiye'de gazbeton sektör profili verilmiştir.

Tablo 2.1. Gazbeton Sektör Profili [39]

2016 YILI SEKTÖR PROFİLİ	**GAZBETON**
Firma Sayısı	7 Firma
Fabrika Sayısı	13 Üretim Tesisi
Doğrudan İstihdam	1.400 kişi
Dolaylı İstihdam	950 kişi
Üretim Kapasitesi	5,1 milyon m^3
Tüketim	4,7 milyon m^3
İhracat	104 bin m^3

Tablo 2.2. Gazbetonun çeşitli birim hacim ağırlıkları için porozite değerleri [40]

Birim Hacim Ağırlığı (kg/m^3)	**Porozite (%)**
310-400	85- 88
410-500	81- 85
510-600	77- 81
610-700	73- 77
710-800	69- 73

Tablo 2.3.'te yoğunluklara göre ısıl iletkenlik değerleri verilmiştir.

Tablo 2.3. Kuru gazbetonun ısı iletkenlik değerleri [40]

Kuru Yoğunluk (kg/m^3)	Isı İletkenlik Değeri (W/mK)
300	0,08
400	0,09
500	0,12
600	0,14
700	0,16
800	0,19

Tablo 2.4.'de gazbetonun mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.4. Gazbetonun mekanik özellikleri [40]

Mukavemet Sınıfı	Ortalama basınç dayanımı (kgf/cm^2)	En yüksek kuru birim hacim ağırlığı (kg/m^3)	Isı iletkenliği (W/mK)	Elastisite modülü (kgf/cm^2)
G2	25	400	0,15	12500
		500	0,17	17500
G3	35			
		600	0,20	22500
G4	50			
		700	0,23	27500

- ✓ Elastisite modülü: Gazbetonun Elastisite modülü, kuru birim hacim ağırlığına ve küp mukavemetine bağlı olarak değişmektedir.
- ✓ Çekme mukavemeti: Gazbetonun çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin yaklaşık 1/6'sı, yani 2- 12 kg/cm^2 arasında değişmektedir.

Tablo 2.5.'de Gazbetonun sınıflarına göre teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.5. Gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları [41]

Sınıfı	Ortalama en küçük basınç dayanımı 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	G 2/0,4
			500	410-500	G 2/0,5
G3	3,5	3,0	500	410-500	G 3/0,5
			600	510-600	G 3/0,6
G4	5,0	4,0	600	510-600	G 4/0,6
			700	610-700	G 4/0,7

- ✓ Eğilme-çekme mukavemeti: Gazbetonun eğilme-çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin 1/5'i, yani 3- 15 kg/cm^2 arasında değişmektedir [37].

- ✓ Basınç mukavemeti: Gazbeton basınç mukavemeti, kuru birim hacim ağırlığına ve içerdiği nem miktarına bağlıdır. TS EN 12602'ye göre gazbeton malzemelerin basınç mukavemeti küp deneyine göre belirlenir. Bu deneyde, malzemenin basınç mukavemeti 10x10x10 cm boyutlarındaki küplerin rutubet muhtevasına erişildikten sonra deney numuneleri, rutubet değişimi önlemek şartıyla laboratuvar sıcaklığına, (20 ± 5) °C 'a erişinceye kadar en az 2 saat bekletilir kırılması ile bulunur. Gazbeton, içerdiği nem oranında mukavemet kaybetmektedir. Bu değişim, tam kuru malzeme ile suya doymuş malzeme arasında %35 derecesindedir.

- ✓ Sünme: Devamlı yük altında gazbeton sünme yapmakta olan gazbetonun izin verilen yük sınırları içinde sünmesinin, ağır betondan daha az olduğunu ortaya koymuştur. Gazbetonun otoklav çıkışında kimyasal bağlantılarını tamamlamış olması, buna karşılık ağır betonun yük altında kristal değişimine

uğramasının yanında, uzun süre bünyesinde kimyasal değişimin devam etmesidir [37].

Tablo 2.6.'da G2/350 gazbeton sınıfının genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.6 G2/350 gazbeton sınıfının genel özellikleri

G2/350		
Özellik	**Açıklama**	**Diğer**
Ürün Boyutları	Uzunluk Yükseklik Kalınlık	60 cm 25 cm 5-35 10-35
Isıl İletkenlik Hesap Değeri	UTO λ_h	0,09 W/mK
Isıl İletkenlik Hesap Değeri	TSE 825 λ_h	0,11 W/mK
Basınç Dayanımı		22 kgf/cm^2
Yangın Sınıfı		A1 (Hiç Yanmaz)
Kuru Birim Hacim Ağırlığı		350 kg/m^3

2.1.4. Gazbeton Uygulama Özellikleri

Gazbeton, betondan 13, delikli tuğladan 2-4 kez daha fazla ısı yalıtımı özelliğine sahiptir. Bu nedenle; ilk tesis masraflarından ve yapı ömrünce yakıttan önemli tasarruf sağlar. Gazbeton ile yapı yazın serin, kışın sıcak olur [42].

Gazbeton'da ısı yalıtımını sağlayan unsur, küçük gözenekler arasında sıkıştırılmış havadır. Hacminin % 84'ü kuru havadan oluşan ve kuru hacim ağırlığı 400 kg/m^3, doğal olarak başta hiçbir yalıtım malzemesine gerek duymadan ısı yalıtımı sağlayan bir yapı malzeme ve elemanıdır [42].

Hafiftir; betondan ve tuğladan daha hafif olan Gazbeton, nakliye, demir ve çimento konusunda sağladığı önemli oranlardaki tasarrufun yanı sıra yapı ağırlığının azalması nedeni ile yapın depreme karşı daha dayanıklı olmasını sağlar [42].

Kolay İşlenebilir; Beton sınıfına girmesine karşın ahşap gibi testere ile rahatlıkla kesilebilen Gazbeton, matkapla delinebilmekte, çivi çakılabilmekte ve tesisat kanalları kolaylıkla açılabilmektedir [42].

Isıya Dayanıklıdır; Gazbeton'un 1200^0C 'ye kadar ısıya dayanıklılığı, yangından korunmayı da sağlamaktadır.

Isıtma – Soğutma Tasarrufu; Betondan ve tuğladan daha çok ısı yalıtımı sağlayan Gazbeton, yapıların ısıtma – soğutma ilk yatırım ve kullanım giderlerinden tasarruf sağlanır.

Hava kirliliğini Önler; Gazbeton ısı ve enerji tasarrufu sağlayan özelliği ile havanın daha temiz kalmasını sağlar.

Çevrecidir; Hammadde olarak silisli kum kullanılmaktadır. Tarıma elverişli toprak kullanılmadığından dolayı da çevreye zarar vermemektedir.

Dayanıklıdır; Basınç Dayanımı 75 kgf/cm²'ye kadar ulaşmaktadır. 60 x 25 x 20 cm boyutlarındaki bir adet gazbeton 22–75 ton yük taşır.

Boyutlarda Hassasiyet; Gazbeton en son teknoloji sayesinde milimetrik boyutlarda kesilebilme özelliği nedeni ile ürünün düzgün yüzey ve kenara sahip olmasını sağlar.
Kolay Sıvanır; Gazbeton yüzeyleri yeterince pürüzlü olduğundan sıva tutar.

Rötre değeri 0,5 mm/m. den azdır. Örneğin; milimetrik ölçülere sahip olduğundan sıva kalınlıkları azaltılabilmekte, işlenmesi kolay olduğu için muhtelif tesisat işleri kolaylaşmakta, kesildiği için malzeme kaybı en aza inmekte, hafif olduğu için binaya fazla yük binmesini önleyerek dolayısıyla diğer malzemelerden de tasarruf

sağlanmaktadır. Yapılarda gazbeton kullanımı ek hiçbir zahmet getirmediği için pek çok konuda kolaylık sağlamaktadır.

Tek katlı ve çok katlı konutlarda, sosyal ve turistik tesislerde, ticari ve sanayi yapılarında sağladığı ekonomi, kalite, konfor ve sürat nedeniyle güvenle kullanılmaktadır [42].

2.2. Karbon Fiber

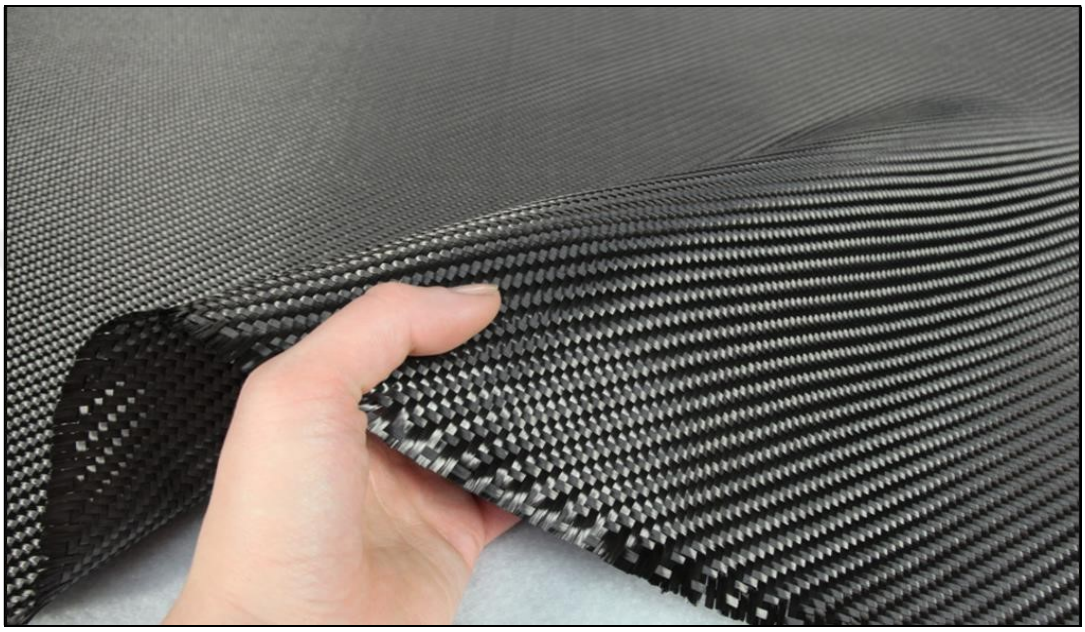
2.2.1. Karbon Fiber Tarihçesi

Karbon fiber 1958 yılında Cleveland Ohio yakınlarında bulunmuştur. Başlangıçta sadece izolasyon, filtrasyon malzemeleri ve aydınlatma uygulamalarında kullanılmasına rağmen, yıllar sonra Union Carbide Şirketi, Amerikan Hava Kuvvetleri'ne fiberglass kumaş yerine karbonlaştırılmış kumaşı dünyaya tanıttı. Her ne kadar mekanik özellikleri, kullanılan diğer malzemelere göre geride olsa da Union Carbide, karbon fiberin ne kadar büyük bir potansiyeli olduğu fark edildi ve daha sonra onu mükemmel bir şekilde işlenip karbon fiberi meydana getirildi [43].

2.2.2. Karbon Fiber Özellikleri

Karbon fiberler; grafit ve elmas gibi karbon atomlarının oluşturduğu mikro boyuttaki fiberleridir. fiberlerin kalınlığı, 5-6 mikron yani insan saçının 15'te biri civarındadır. Karbon fiberler, epoksi reçinesiyle (plastik) birlikte kullanılarak çok güçlü kompozitler üretilir. Kompozitler, farklı özelliklere sahip malzemeler birlikte kullanılarak elde edilir. Üretilen kompozit, kendisini oluşturan malzemelerden çok daha üstün özelliklere sahip olur. Örneğin, sadece polyesterden yapılan otomobil gövdesi kolayca kırılır. Kırılgan oldukları için cam fiberden da otomobil yapılamaz. Cam fiberle takviye edilen polyesterle yapılan otomobil gövdeleri ise çok sağlam olmaktadır. Karbon fiber takviyeli epoksi malzemeler, cam fiber takviyeli polyesterden veya çelikten çok daha güçlüdür. Tüm gövdesi karbon fiber takviyeli

plastikten üretilen ilk yolcu uçağı B787'dir. ABD'de B. Rutan'ın tasarladığı ve tüm gövdesi karbon fiber takviyeli plastikten yapılan ilk uzay aracı, 2004'te uzaya çıkıp geri dönmeyi başardı. Karbon fiber takviyeli plastikten; otomobil parçası, tenis raketi, golf sopası, spor amaçlı ok ve yay, yarış bisikleti, beyzbol sopası, rüzgar türbini pervanesi ve yarış otomobili gövdesi gibi çok sayıda malzeme üretilir [44].



Şekil 2.3. Karbon Fiber Örneği [43]

2.2.3. Karbon Fiber Üretimi

İnsan saçından ince olan karbon fiberlerin, metrelerce uzunlukta üretilmesi sanıldığı kadar zor değildir. Karbon fiberler, orlon olarak bilinen ve poliakrilonitril adlı plastikten yapılan ipliğin, yüksek sıcaklıkta kavrulmasıyla üretilir. Elyaf üretmek için poliakrilonitril plastiği, dimetil formamid içinde çözülerek bir sıvı elde edilir. Sıvı, çok ince delikleri olan "düze" denilen başlıktan aşağıya doğru akıtılırken alttan sıcak hava üflenir. Sıvının çözücüsü buharlaşınca poliakrilonitril plastiği elyaflara dönüşür. Karbon fiber yapılacak olan poliakrilonitril elyaflar, örgü ipliklerinden farklı hazırlanır. Akrilik elyaflar, karbon fibere dönüştürülmeden önce sıcak bir ortamda çekilerek moleküllerin dizilişi karbonlaştırmaya uygun hale getirilir. Ardından akrilik

iplikler, 300 santigrat derecelik fırında hidrojen bağları kırılarak stabilize edilir. Karbonlaştırma aşamasında; içi argon gazıyla doldurulmuş olan fırına yerleştirilen akrilik iplikler, 1700-2000 dereceye kadar ısıtılır. Akrilik iplikler; karbon dışındaki diğer atomlar ile su buharı, karbon dioksit ve amonyak gibi gazlardan arınmış olur. Karbonize olan akrilik iplik; saf karbondan oluşan ve kristal yapısı grafene benzeyen karbon fiberlere dönüşür. Karbon fiberlerin yapısındaki karbon oranı %93-95 civarındadır. Fırın, 2800 dereceye çıkartılarak karbon fiberlerin fiziksel özellikleri geliştirilebilir. Karbon fiberlerin yüzey özellikleri geliştirilerek kompozit yapma aşamasında, epoksi reçinesinin fiberlere iyi yapışması sağlanır. Bu amaçla fiberler, hipoklorit veya nitrik asite daldırılarak yüzeyleri oksitlenir. Ardından karbon fiberler, bir kat epoksi veya polyesterle kaplandıktan sonra iplik büküm makinelerinde istenilen çaplarda bükülerek kullanıma sunulur. Karbon fiberlerin %28'i ABD'de üretilir. Avrupa %27, Japonya %25, Çin %10 ve diğer ülkeler %10 oranında karbon fiber üretmektedir. Ülkemizde kullanımı çok az olduğu için DowAKSA tesislerinde 2010'da üretilmeye başlanan karbon fiberlerin çoğu ihraç edilmektedir [44].

2.2.4. Karbon Fiber Oksidasyon:

İlk olarak elyaflar hava ortamında 300 ^{0}C'a ısıtılır. Bu işlem, elyaftan hidrojenin ayrılmasını, daha uçucu olan oksijenin eklenmesini sağlar. Ardından karbonizasyon aşaması için elyaflar kesilerek grafit teknelerine konulur. Polimer merdiven yapısından kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında elyafın rengi beyazdan kahverengiye dönüşür ve ardından siyah olur.

2.2.5. Karbon Fiber Karbonizasyon:

Elyafların yanıcı olmayan atmosferde 3000 °C'ye kadar ısıtılmasıyla, fiberlerin %100 karbonlaşmasının sağlanması aşamasıdır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık, üretilen elyafının sınıfını belirler.

2.2.6. Karbon Fiber İyileştirmesi:

Karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın kompozit malzemenin reçinesine daha iyi yapışabilmesi için elektrolit banyoya yatırılır.

2.2.7. Karbon Fiber Kaplama:

Bu aşama elyafı sonraki işlemlerden korumak için yapılan nötr bir sonlandırma işlemidir. Elyaf, reçine ile kaplanır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır. Kompozit malzemede kullanılacak olan reçine ile elyaf arasında bir ara yüz görevi görür.

Karbon fiber, hafif, kolay işlenebilen, titreşimi sönümleyici, mukavemet olarak muazzam diye nitelendirebileceğimiz çok fazla güçlü yanı olan bir alaşım örneğidir. Günümüzde neredeyse her alanda kendine yer edinmiş olan karbon fiber, artık hayatımızın olmazsa olmazlarındandır. Karbon fiberler, hava, deniz ve kara araçlarının üretiminde kullanılmasının yanında iletişim, televizyonculuk ve uzay araştırmaları çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. [43].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Karbon Fiber

Çalışmada kullanılan karbon fiberler; Dost Kimya End. Ham. San. Tic. LTD. ŞTI firmasından Dostfiber-C Kırpılmış Karbon Fiber olarak temin edilmiştir. Çalışmada fiber çapı olarak 7,2 mikron, boyları 4mm, 6mm ve 12mm olan karbon fiberler kullanılmıştır.

Kırpılmış karbon fiberler yüksek mekanik mukavemetleri, elektrik iletkenlikleri, termal mukavemetleri gibi sahip olduğu üstün özellikleri sayesinde termoplastik enjeksiyon parçalarının mekanik olarak güçlendirilmesinde ve elektrik iletkenliği sağlamasında; antistatik özellik istenen endüstriyel zeminlerde, yüksek aşınma dayanımı gereken fren balataları gibi ürünlerde takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan karbon fiberin teknik özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneyde Kullanılan Karbon Fiberin Teknik Özellikleri

Teknik Özellikleri	
Çekme Dayanımı	3800 MPa
Elastisite Modülü	228 GPa
Elektrik İletkenliği	0,00155 ohm-cm
Özgül Ağırlık	1,81 gr/cc
Elyap Çapı	7,2 mikron
Karbon Yüzdesi	%95
Fiber Uzunluğu	4mm-6mm-12mm

3.1.2. Çimento

Çalışmada kullanılan çimento Votorantim Cimentos firmasından temin edilmiştir. CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. CEM I 42,5 R Çimentosunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

		Ölçüm Sonucu	**TS EN 197-1 Standart Alt Limit**	**TS EN 197-1 Standart Üst Limit**
Kimyasala Özellikler				
Çözünmeyen Kalıntı	(%)	1,38	-	5,00
MgO	(%)	2,38	-	-
SO_3	(%)	3,29	-	4,00
Kızdırma Kaybı	(%)	3,13	-	5,00
Cl	(%)	0,0098	-	0,1000
Fiziksel Özellikler				
Özgül Ağırlık	($g/cm^{3)}$	3,10	-	-
Özgül Yüzey	(cm^2/g)	3,481	-	-
Normal Kıvam Su İhtiyacı	(%)	29,2	-	-
Priz Başlangıcı	(dakika)	145	60	-
Priz Sonu	(dakika)	210	-	-
2 günlük basınç dayanımı	(MPa)	35,5	20,0	-
7 günlük basınç dayanımı	(MPa)	48,0	-	-
28 günlük basınç dayanımı	(MPa)	55,9	42,5	62,5

3.1.3. Kireç

Çalışmalarda Akyüz Kireç Sanayi'den alınan kireç kullanılmıştır. Kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve standartları Tablo 3.3.'da verilmiştir.

Tablo 3.3. Kullanıla**n** Kirecin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	Standartlar	Limitler	Ortalama Sonuçlar
Aktif CaO (%)	TS EN 459-2	Min 80	85
Kızdırma Kaybı (%)	TS EN 196-2	Max. 5	3
90 mikron elek üstü(%)	TS EN 1015-1	Max.15	11

3.1.4. Kuvarsit

Kuvarsit AKG Gazbeton İşletmeleri San. ve Tic. A.Ş.' e ait Kırşehir-Yağmurlu kale ocak sahasından temin edilmiştir.

Tablo 3.4. Çalışmalarda Kullanılan Kuvarsitin Kimyasal Analiz Sonuçları

SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	Ti_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)
Min. 80	Max. 4	Max. 3		Max. 6	Max. 3	Max. 2	Max. 2
87,173	2,893	2,43	0,208	1,907	0,147	0,07	1,335

Tablo 3.5. Kuvarsit ve Alçı Taşı Karışımının Elek Analizi Sonuçları

Elek Boyutu	250µ	150µ	125µ	90µ	75µ	63µ	45µ	32µ	Elek Altı
Birim	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Sonuç	2,11	10,66	15,05	24,06	29,31	34,31	43,62	52,33	47,67

Kuvarsit ve alçı taşı karıştırılarak birlikte öğütüldü. Karışımda alçı taşı miktarı ağrılıkça %3 olarak hazırlanmıştır.

3.1.5. Alçıtaşı

Çalışmalarda Ankara/Bala'da bulunan Silverstone Ltd. Şti.'den alınan alçıtaşı kullanılmıştır. Alçıtaşının kimyasal özellikleri Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Kullanılan Alçıtaşının Kimyasal Özellikleri

Kızdırma kaybı (%)	**Bağlı su (%)**	**SO_3 (%)**	**CaO (%)**
Max.7	16-24	Min.35	25-37
4,04	18,89	41,93	29,39

3.1.6. Su

Gazbeton üretiminde AKG Gazbeton İşletmeleri San. ve Tic. A.Ş.'e ait Kırıkkale Gazbeton Tesislerinde kullanılan kuyu suyu kullanılmıştır.

3.1.7. Alüminyum

Pasta halinde ithal edilen alüminyumun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.7.'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Alüminyumun Fiziksel ve Kimyasal Sonuçları

Parametreler	Standartlar	Limitler	Ortalama sonuçlar
Katı Madde (%)	DIN 55923	70 ± 2	69-72
Aktif Metal	DIN 55923	Min. 89	93-94
45 mikron elek altı(%)	DIN 53196	Min. 90	90-100

3.1.8. Atık çamuru

Gazbeton üretimi sırasında ortaya çıkan gazbeton atıkları belirli miktarda su ile karıştırılarak çamur haline getirildi. Elde edilen çamurun yoğunluğu 1,30-1,45 g/cm^3 arasında hazırlandı.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada, duvar elemanı olarak kullanılan G2/350 sınıfı gazbeton üretimi referans alınarak, Dost Kimya End. Ham. San. Tic. LTD.ŞTI'den alınan karbon fiber, gazbeton karışımında kullanılan çimentonun ağırlıkça %0,5 oranında gazbeton karışımına eklendi. Numuneler için hazırlanan gazbeton karışımında atık çamur miktarı ise çimentonun ağırlıkça %0,5 oranında azaltıldı.

Pehlivanlı vd. (2016) çalışmalarda çimentonun yaklaşık %0,5 oranında karbon fiber kullanmıştır. Fiber miktarı arttıkça karıştırma zorluğu yaşanmış ve fiber malzemede topaklanmalar görülmüştür. Bundan dolayı ürünün gözenek yapılarında homojen dağılım gerçekleşmemektedir. Bu durum ise, ürünün teknik özelliklerini olumsuz etkilemektedir [5, 10].

Hazırlanan gazbeton karışımlarına 4mm, 6mm ve 12 mm boylarında kırpılmış karbon fiber takviye edilerek deney kalıpları ile üretilen gazbetonun eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı, kuru birim hacim ağırlık, rötre ve ısıl iletkenlik gibi bazı

mekanik ve fiziksel özellikleri incelendi. Üretilen numune kodları ŞAHİT, FİB4, FİB6 ve FİB12 olarak adlandırılmıştır. Şahit numune olarak ticari nitelik taşıyan G2/350 sınıfında gazbeton duvar bloğu da aynı gün deney kalıpları ile üretilerek referans alınmıştır. (Kuru birim hacim ağırlık: 350 Kg/m^3, Basınç dayanımı: 25 kgf/cm^2, Isıl İletkenlik değeri: 0,09 W/mK).

Her bir numune kodu için üç farklı günde üretim yapıldı. Her üretimden, tüm deneyler için üçer adet numune hazırlanarak toplam dokuz numune ile deneyler yapılmıştır.

Bu çalışmada, karbon fiber, çimento, kireç, alüminyum, kum çamuru ve su çeşitli oranlarda karıştırılarak hazırlanmıştır. Karışım oranları Tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Çalışmanın Döküm Kompozisyonu

	Karışım Oranları (1m^3)						
Seriler	Çimento (kg)	Karbon fiber(kg)	Atık Çamuru(kg)	Kireç (kg)	Kum Çamuru(kg)	Su (kg)	Al (kg)
ŞAHİT	100	0	150	30	350	65	0,70
FİB4	100	0,5	149,5	30	350	65	0,70
FİB6	100	0,5	149,5	30	350	65	0,70
FİB12	100	0,5	149,5	30	350	65	0,70

Başlangıç olarak, reçetede tanımlanan miktarlar tartıldı ve döküm gerçekleşmesi için hazırlandı. Önce atık çamuru ve kuvarsit, alçıtaşı ve su karışımından hazırlanmış olan kum çamuru ile ayrı bir kapta karıştırıldı. Daha sonra kireç ile çimento aynı kap içerisinde homojen olarak kuru kuru karıştırıldı ve karıştırma kabına boşaltıldı. Ortalama 15-20 sn. homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra en son alüminyum süspansiyonu ilave edilerek döküm kalıplarında döküm işlemi tamamlandı.



Şekil 3.1. Döküm Yapılan Kalıpların Görünümü



Şekil 3.2. Gazbeton Dökümünde Hammaddeler



Şekil 3.3. Gazbeton Döküm İşlemleri



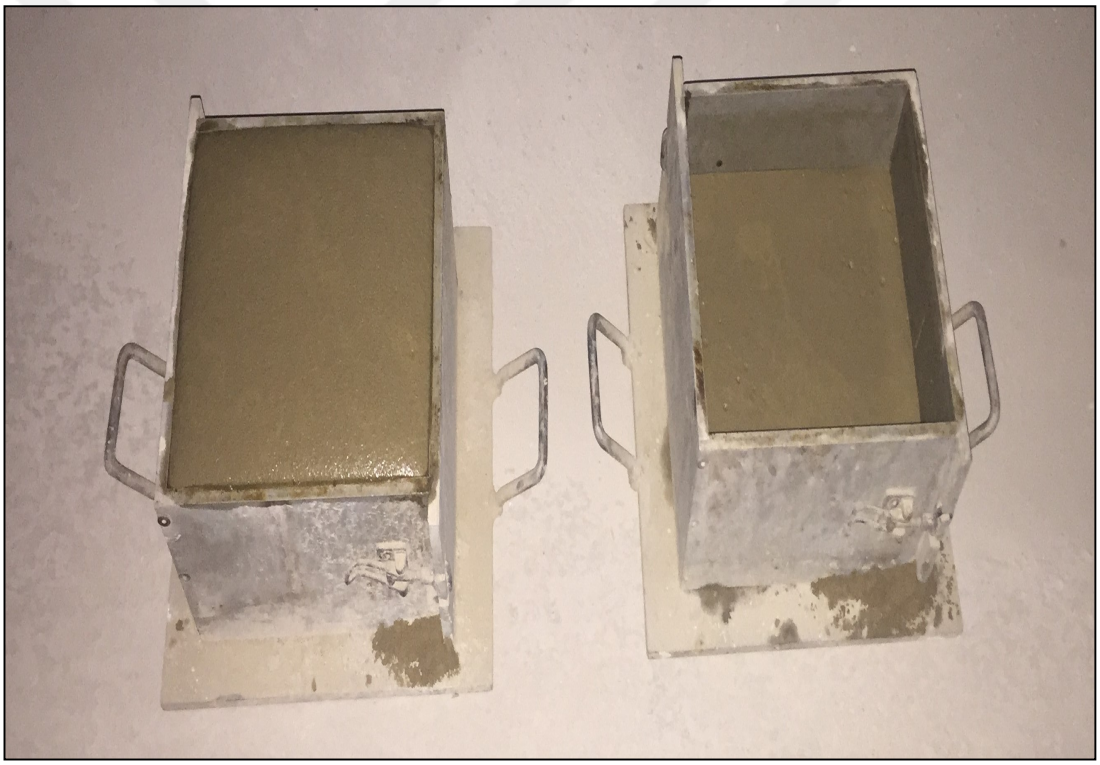
Şekil 3.4. Dökümde Kullanılan Karbon Fiber Görünümleri

Sönmemiş kirecin su ile reaksiyonu sonucu $Ca(OH)_2$ ürünü oluşur. $Ca(OH)_2$ Al ile ekzotermik reaksiyon vererek hidrojen gazı açığa çıkar ve bu hidrojen gazı gazbeton kekinin kabarması gerçekleştirir. Gazbeton döküm esnasında gerçekleşen reaksiyonlar 3.1, 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.

1) $CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + 278$ Kcal/kg (3.1)

2) $2\ Al + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow 3\ CaO\ .\ Al_2O_3 + 3H_2 + 3676$ Kcal/kg (3.2)

3) $5\ Ca(OH)_2 + 6\ SiO_2 + 5{,}5\ H_2O \longrightarrow 5CaO.\ 6SiO_2.\ 5{,}5\ H_2O + 5\ H_2O$ (3.3)



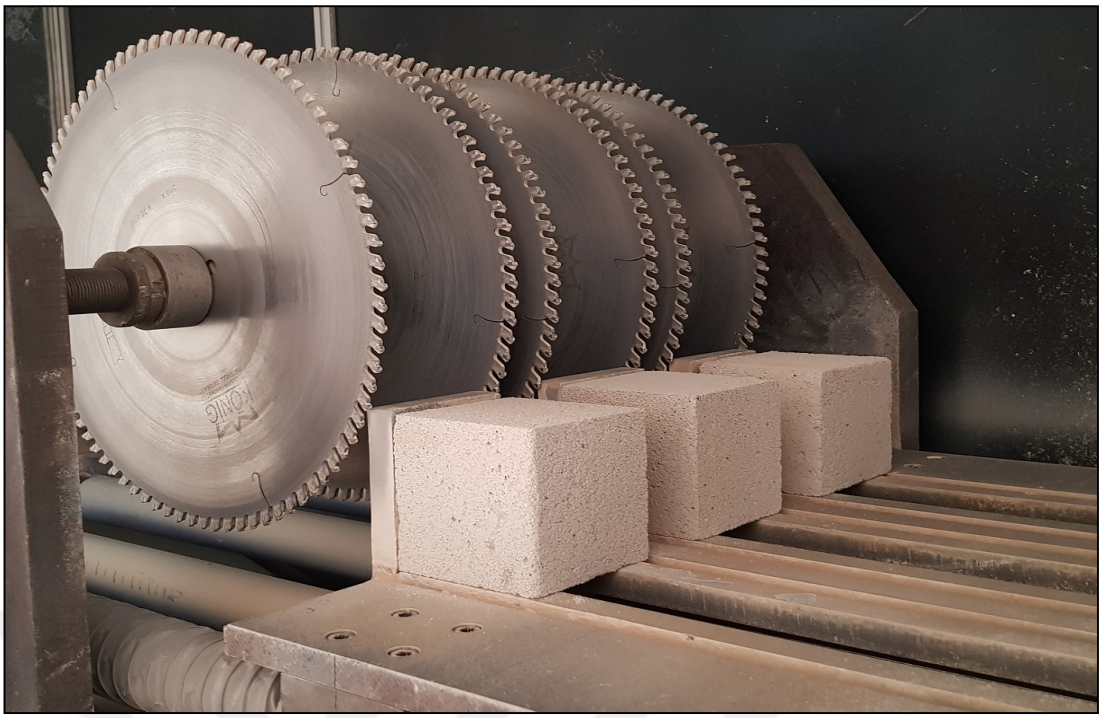
Şekil 3.5. Gazbeton Keki Kabarma Görünümü

Prizi tamamlayan numuneler kek kıvamında bir sertliğe ulaşınca otoklavda buhar kürüne alınır. Numuneler otoklavlarda buhar ile 11 bar basınç ve 180 °C sıcaklıkta

yaklaşık 6 saat doygun buhar kürüne tabi tutuldu. Buhar kürü ile gazbetona, hafiflik, gözenekli yapı ve istenilen dayanım özelikleri kazandırılır.



Şekil 3.6. Otoklav Sonrası Gazbeton Döküm Görünümü



Şekil 3.7. Gazbeton Numunelerinin Boyutlandırılması

Otoklavdan çıkarılan numuneler eğmede çekme testi yapılmak için 50x50x200 mm ebatlarında, basınç dayanım testi yapılmak için 100x100x100 mm ebatlarında, ısıl iletkenlik testi yapılmak için 300x300x50 mm ebatlarında, rötre testi yapılmak için 40x40x160 mm ebatlarında kesilmiştir.



Şekil 3.8. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi İçin Hazırlanan Numuneler

Reçetedeki kompozisyonlara göre üretilen numuneler 50x50x200 mm ebatlarında kesildikten sonra yaş birim ağırlıkları hesaplanır. TS EN 1351'e göre 50x50x200 mm ebatlarındaki gazbeton numuneleri 80ºC sıcaklık da yoğunluğunun %4-8 oranında neme ulaşıncaya kadar koşullandırılırlar [45].



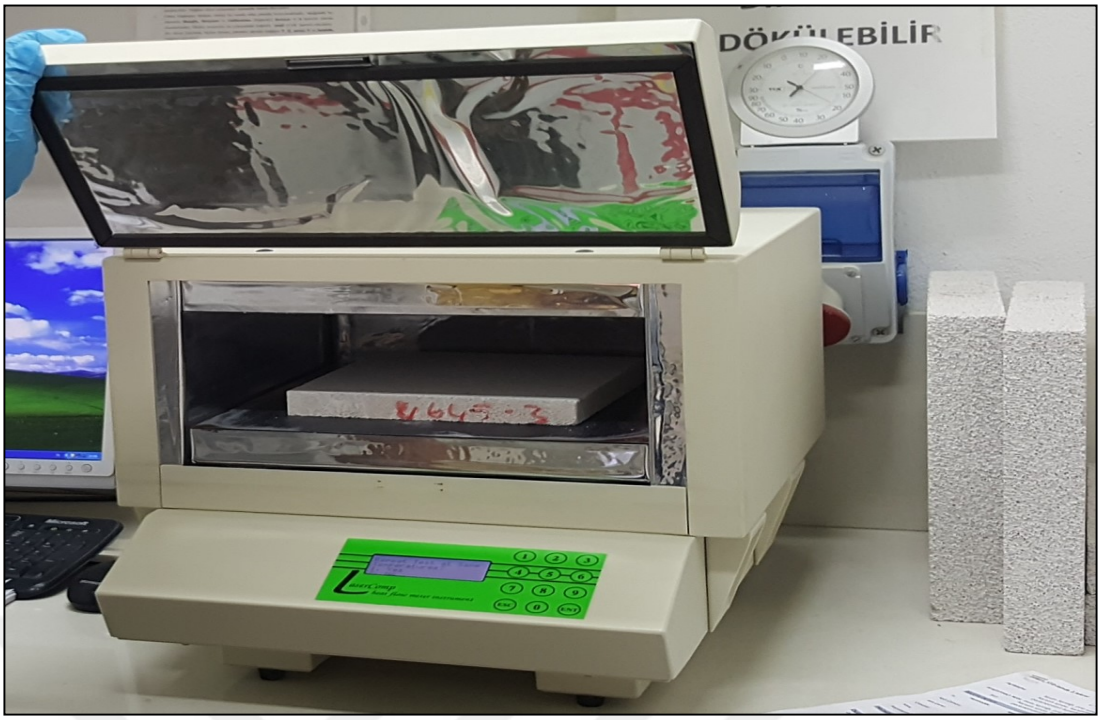
Şekil 3.9. Basınç Dayanım için Numune Görünümü

Reçetedeki kompozisyona göre üretilen numuneler 100x100x100 mm ebatlarında kesildikten sonra yaş birim ağırlıkları hesaplanır. TS EN 772-1'e göre 100x100x100 mm ebatlarındaki gazbeton numuneleri test yapılmak üzere şartlandırılır [46].



Şekil 3.10. Rötre Deneyi için Kesilen Numuneler

Reçetedeki kompozisyona göre üretilen numuneler 40*40*160 mm ebatlarında kesildikten sonra yaş birim ağırlıkları hesaplanır. TS EN 680'e göre 40*40*160 mm ebatlarındaki gazbeton numuneleri test yapılmak üzere şartlandırılır [47].



Şekil 3.11. Isıl İletkenlik Deneyi için Numune Kesiti

Reçetedeki kompozisyona göre üretilen numuneler 300*x300x50 mm ebatlarında kesildikten sonra yaş birim ağırlıkları hesaplanır. TS EN 12664'e göre 300x300*x50 mm ebatlarındaki gazbeton numuneleri test yapılmak üzere şartlandırılır [48].

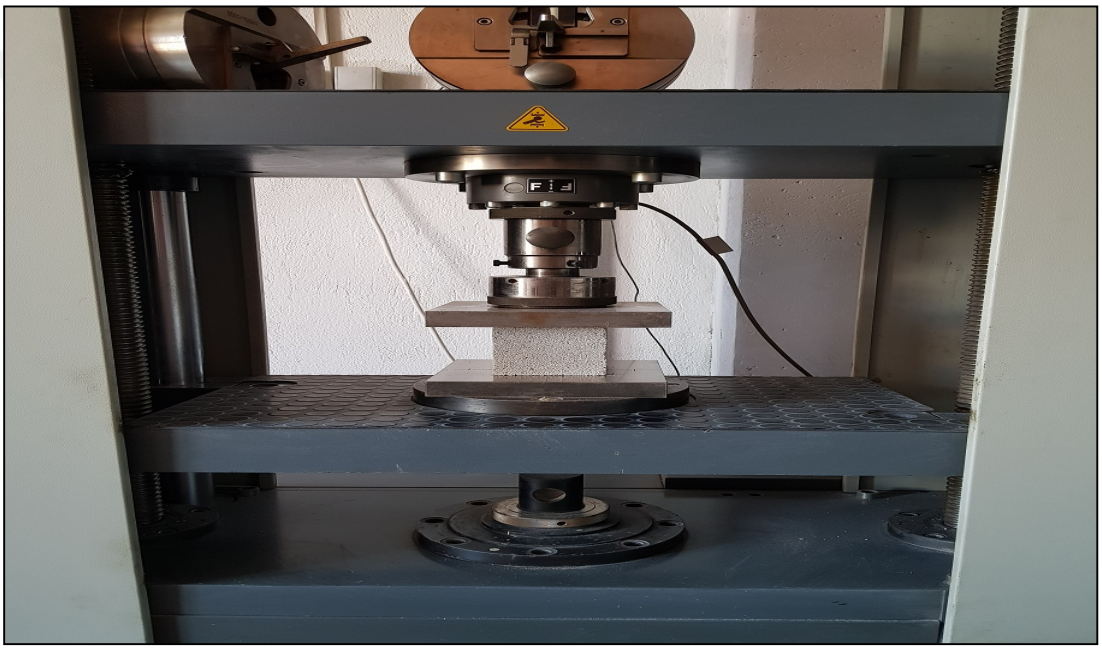
3.3. Fiziksel ve Teknik Özelliklerin Belirlenmesi

Çalışmada üretilen gazbeton numunelerinin basınç dayanımı, ısıl iletkenlik deneyi, eğmede çekme deneyi, rötre deneyi, birim hacim ağırlığı ve SEM analizlerine bakılmıştır.

3.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanım deneyi AKG Gazbeton Kırıkkale Fabrikası Laboratuvarında bilgisayar destekli deney cihazında yapılmış olup, deney numuneleri TS EN 772-1

standardına göre hazırlanıp, basınç dayanım deneyine tabii tutulmuştur. Otoklavdan çıkan gazbeton numuneleri basınç dayanımının yapılması için 100x100x100 mm boyutlarına getirilip, test parçaları sıcaklığı 60°C etüvde, yoğunluğunun %4-%8 arasında bir neme ulaşıncaya kadar koşullandırılırlar. Test nemine ulaşan parçalar, basınç test presine, kabarma yönüne dik yönde kuvvet uygulanabilecek pozisyonda yerleştirilir. Test parçaları üzerine ani darbe verilmeden ve 0,05 N/mm2/sn. gerilme artışı ve 0.1 N/sn sabit bir hızla, sürekli ve darbesiz şekilde numune kırılıncaya kadar kuvvet uygulanır [46].



Şekil 3.12. Basınç Dayanım Deneyinin Yapılması

Numunelerin basınç dayanım değerleri denklem 3.4'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$f_b = P_k / A_0 \text{ x } k \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}. \quad (3.4)$$

Burada;

f_b: Basınç mukavemeti (kgf/cm^2)

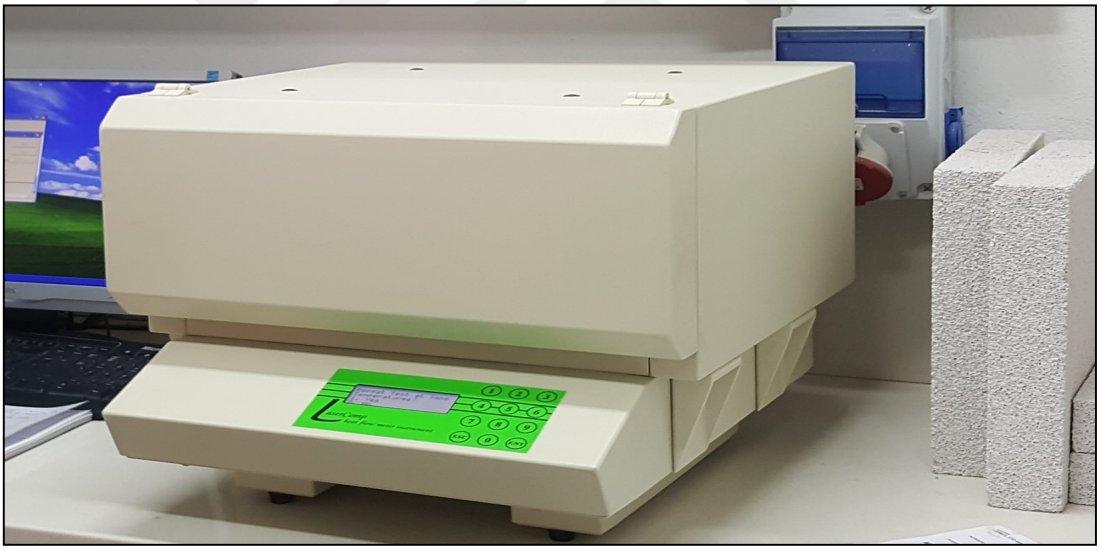
A_0:Basınç uygulanan yüzün alanı (cm^2)

P_k: Kırılma anındaki yük (kg)

k: Numunenin biçim katsayısı (k=1)

3.3.2. Isıl İletkenlik Deneyi

Isıl iletkenlik deneyi TS EN 12664 standardına göre yapılmıştır. Deney numunelerinin ısı iletkenlik ve ısıl direncinin ölçülmesinde ısı akış sayacı yöntemi ile AKG Gazbeton İzmir Fabrikası Arge Laboratuvarında bulunan "LASERCOMP FOX 314" ısı iletkenlik cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numuneler 50 mm kalınlığında 300mmx300mm ebatlarında hazırlanarak ısı iletkenlik deneyine tabi tutulmuştur [48].



Şekil 3.13. Isıl İletkenlik Cihazı

3.3.3. Kuru Yoğunluk Deneyi

Kuru yoğunluk deneyi TS EN 679 "Gaz ve köpük beton-Kuru yoğunluk tayini" standardına göre yapılmıştır. Ölçümler AKG Gazbeton Kırıkkale Fabrikası Kalite

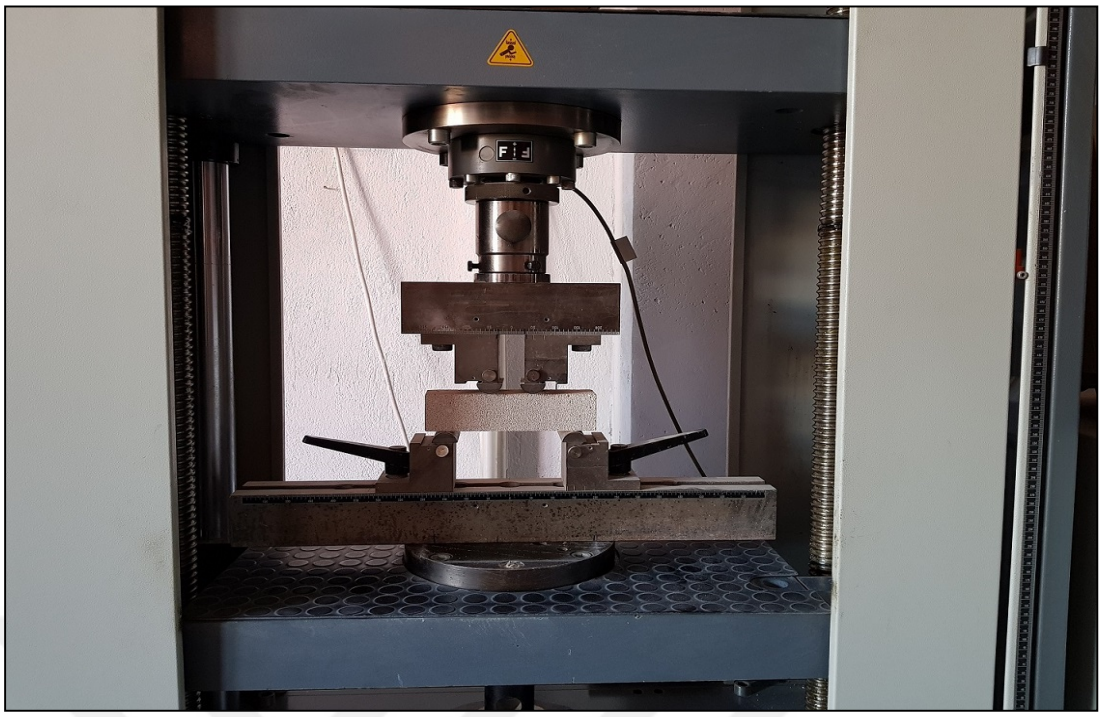
Kontrol Laboratuvarında yapılmıştır. Numuneler 10x10x10 mm ebatlarında hazırlanarak kuru yoğunluk deneyine tabi tutulmuştur [49].



Şekil 3.14. Kuru Yoğunluk Deneyi Numuneleri

3.3.4. Eğilmede Çekme Deneyi

Eğmede çekme deneyi TS EN 1351 standardına göre yapılmıştır. Ölçümler ise AKG Gazbeton Kırıkkale Fabrikası Kalite Kontrol Laboratuvarında bulunan eğmede çekme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numuneler 50x50x200 mm ebatlarında hazırlanarak eğmede çekme deneyine tabi tutulmuştur [45].



Şekil 3.15. Eğilmede Çekme Dayanımı Cihazı

3.3.5. Rötre Deneyi

Rötre deneyi TS EN 680 standardına göre yapılmıştır. Numuneler 40x40x160 mm ebatlarında hazırlanarak rötre deneyine tabi tutulmuştur [47].



Şekil 3.16. Rötre Deney Düzeneği

3.3.6. SEM Analizi

Deney numunelerinin SEM görüntüleri Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarları Müdürlüğü (KÜBTAL), Elektron Mikroskobu Laboratuvarında bulunan Jeol JSM5600 marka 30kV luk Taramalı Elektron Mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde ilk önce numuneler altın kaplanarak SEM için yüzey hazırlanmış ve tarayıcı elektron mikroskopu (Scanning Electron Microscope) ile örneklerin SEM görüntüleri kullanılarak elde edilirken, SEM görüntüleri 5.000 büyütmeye kadar alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan bu çalışmada, karışım suyu, çimento, kireç, kum çamuru ve alüminyum sabit tutularak ŞAHİT diye adlandırılan katkı olarak fiber bulunmayan referans numune G2/350 (Birim Hacim Ağırlığı 350 kg/m^3, Isıl İletkenlik Katsayısı 0,09 W/ mK ve basınç dayanımı 25 kgf/cm^2) sınıfı gazbeton ile Dost Kimya End. Ham. San. Tic. LTD. ŞTI'den alınan ve reçetede çimentonun ağırlıkça %0,5 oranında kum çamuru yerine 4mm, 6 mm ve 12 mm ebatlarında %0,5(FİB4), %0,5(FİB6) ve %0,5(FİB12) oranlarında karbon fiber ikame edilerek gazbeton numuneleri üretilmiştir. Üretilmiş olan gazbeton numunelerine basınç dayanım, eğmede çekme, ısıl iletkenli ve rötre deneyleri yapılmıştır. Ayrıca Jeol JSM5600 marka 30kV'luk taramalı elektron mikroskobu incelenerek sonuçlar Tablo 4.1. 'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney Numunelerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Numune	Yoğunluk (kg/m^3)	%	Basınç dayanımı (N/mm^2)	%	Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	%	Rötre (mm/m)	%	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	%
ŞAHİT	384,66	0	2,48	0	0,54	0	0,068	0	0,08534	0
FİB4	365,83	-5,19	2,69	8,21	0,61	13,33	0,057	-16,18	0,08806	3,19
FİB6	371,33	-3,47	2,71	9,18	0,64	18,52	0,051	-25,00	0,08991	5,36
FİB12	365,00	-5,11	2,75	10,63	0,71	31,48	0,033	-51,47	0,08895	4,23

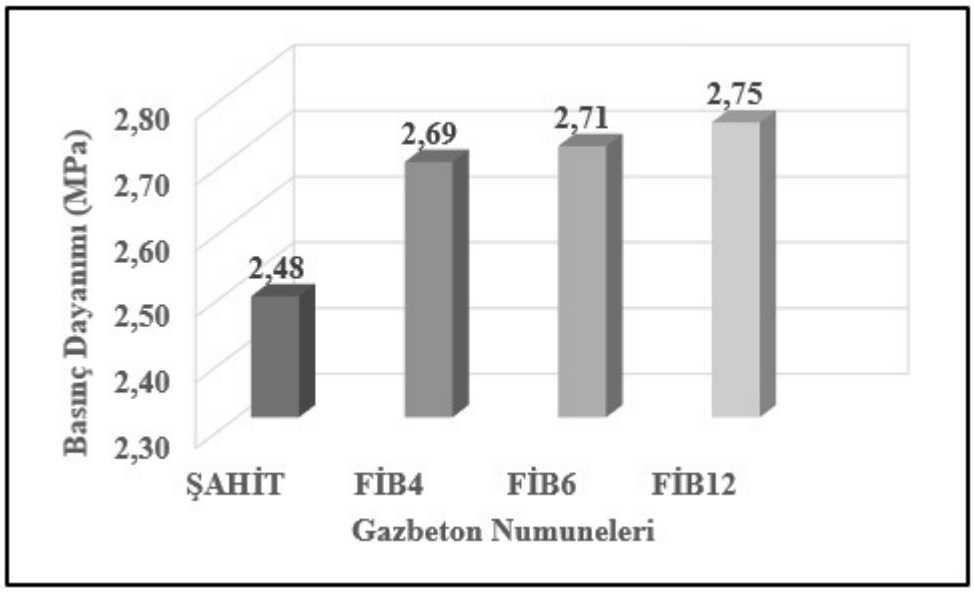
Tablo 15' de görüldüğü gibi farklı uzunluklarda karbon fiber ikame edilerek üretilen gazbeton numunelerinde, farklı ebatlarda karbon fiber ikame edilmesi sonucu basınç dayanımı, kuru yoğunluk, eğilme dayanımını ve rötre değerlerini olumlu yönde etkilerken, ısıl iletkenlik katsayısında fazla bir değişim olmadığı gözlenmiştir.

4.1. Basınç Dayanım Özellikleri

Basınç dayanımı testi TS EN 772-1 standardına göre yapılmıştır. Tablo 4.1. ve Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi; örneklerin basınç dayanım değerleri referans olan "ŞAHİT" numunede 2,48 N/mm^2 iken, FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde şahit numune basınç dayanımına göre sırasıyla %8,2, %9,2, %10,63 oranlarında artış göstermiştir.

Gazbeton ürünlerde çoğunlukla yoğunluk ve basınç dayanımı değerleri doğru orantılı değiştiği bilinmektedir. Ancak, Tablo 4.1.'de görüldüğü üzere, fiber ikame edilmiş numunelerde yoğunluk azalmış olmasına rağmen basınç dayanımlarında iyileşme olduğu görüldü. Bu durum, fiberlerin test sırasında oluşan gerilmelerin meydana getirdiği mikro çatlaklar arasında köprü vazifesi görerek gerilme üst limitini yukarı taşıdığı yönünde yorumlanabilir. Aynı zamanda, fiber ikame edilmiş numunelerde rötre miktarlarının azalmıştır. Rötre değerlerinde görülen azalmanın basınç dayanımı değerlerini olumlu yönde etkilemiştir.

Literatürde bulunan, fiber takviye edilmiş gazbeton ile yapılan çalışmalarda basınç dayanımında artış olduğu görülmüştür. (Pehlivanlı vd., 2015; Pehlivanlı vd., 2016)



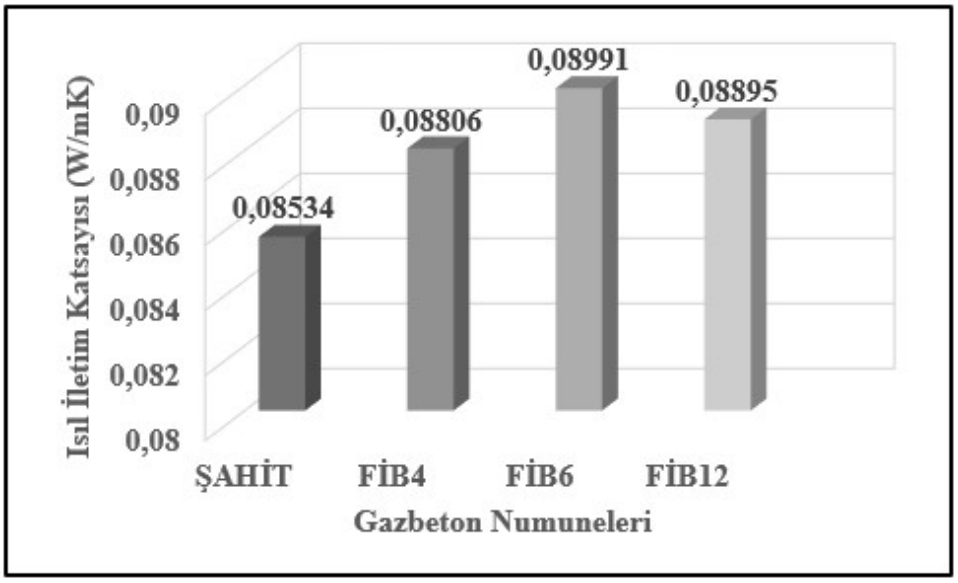
Şekil 4.1. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Basınç Dayanım Değerleri

4.2. Isıl İletkenlik Özellikleri

Isıl iletkenlik deneyi TS EN 12664 standardına uygun olarak yapılmaktadır. Tablo 4.1. ve Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi, referans olan "ŞAHİT" numunede 0,08534 W/mK olarak ölçülmüştür. FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde sırasıyla %3,19, %5,36, %4,23 olarak tamamında arttığı görülmüştür.

FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde ikame edilmiş olan karbon fiberin yapısal özellikleri ve homojen şeklide dağıldığı için oluşturduğu ısı köprüleri nedeniyle Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi ısı iletim katsayısı değerlerinde artış görülmüştür.

Literatüre paralel olarak, lif takviye edilerek hazırlanan gazbeton numunelerinde ısıl iletim katsayısı değerlerinin arttığı görülmüştür arttığını belirtmiştir. (Pehlivanlı vd., 2016)

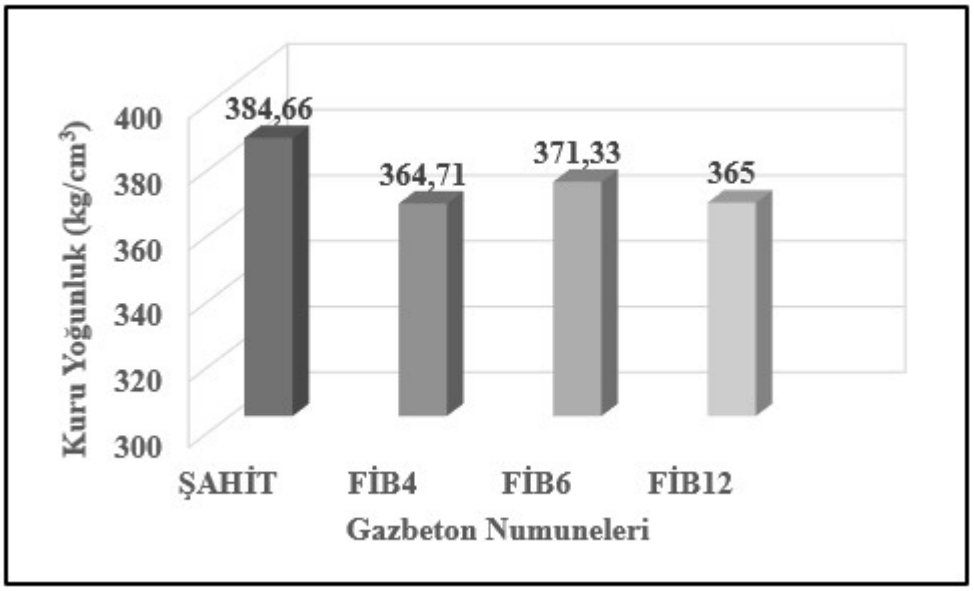


Şekil 4.2. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Isıl İletkenlik Katsayısı Değerleri

4.3. Kuru Yoğunluk Özellikleri

Kuru Yoğunluk tayini deneyi TS EN 678'e göre yapılmış olup, referans olan "ŞAHİT" numunede 384,66 kg/m^3 tespit edilmiştir. FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde sırasıyla %5,19, %3,47, %5,11 olarak benzer miktarda azaldığı görülmüştür.

Referans olan "ŞAHİT" numune ile diğer numunelerin tek farkı diğer numunelerde çimentonun ağırlıkça %0,5 kadar fiber ilave edilip aynı miktarda atık çamurun azaltılmasıdır. FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde ağrılıkça ve hacmen aynı miktarda fiber kullanılmış olup karbon fiberlerin yapısı dolayısıyla uzunluklarına bağlı olarak, tepkimeler sırasında H_2 çıkışını rahatlatarak homojen kabarma sağladığı düşünülebilir. Bu nedenle 12mm boyunda fiber kullanılan FİB12 numunelerinde en fazla kabarmanın sağlandığı da düşünülmektedir.



Şekil 4.3. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Kuru Yoğunluk Değerleri

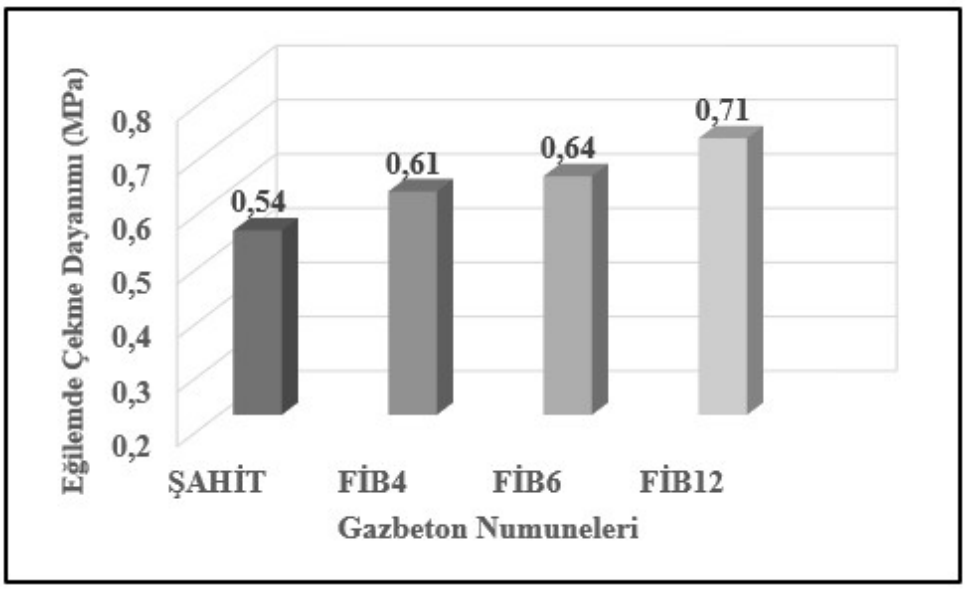
4.4. Eğilmede Çekme Dayanımı Özellikleri

Eğilme dayanımı deneyi TS EN 1351 standardına uygun olarak yapılmıştır. Tablo 4.1. ve Şekli 4.4'de görüldüğü gibi; referans olan "ŞAHİT" numunede 0,54 N/mm^2 olarak ölçülmüştür. FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde sırasıyla %13,33, %18,52, %31,48 olarak fiber boyu ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Karbon fiberin eğilme sırasında birbirinden ayrılmaya zorlanan yüzeyler arasında oluşan gerilmeyi tolere ettiği düşünülmektedir.

Aynı zamanda, karbon fiber uzunluğuna bağlı olarak daha uzun fiberin daha uzun aderans sağlaması nedeniyle karbon fiberin boyu arttıkça karbon fiberin çekme dayanımı kapasitesini daha etkin kullanması dolayısıyla gazbetonun eğilme dayanımının da arttığı görülmüştür.

Literatüre benzer olarak, lif takviye edilerek hazırlanan beton ve gazbeton numunelerde eğilmede çekme dayanımlarının arttığı görülmüştür. (Sarı, 2013; Pehlivanlı vd., 2015; Pehlivanlı vd., 2016)



Şekil 4.4. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri

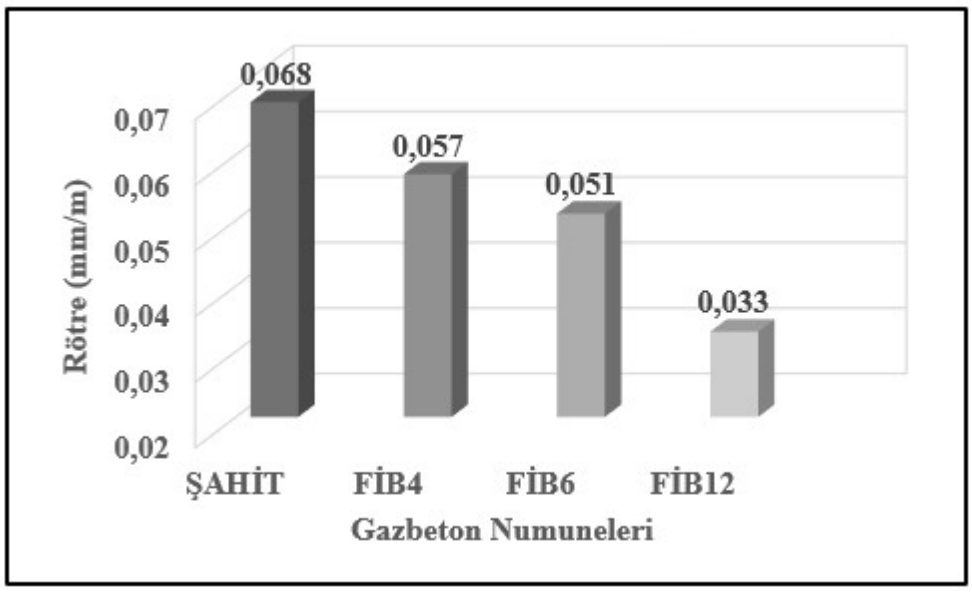
4.5. Rötre Özellikleri

Rötre deneyi TS EN 680 standardı baz alınarak yapılmıştır. Tablo 4.1 ve Şekil 4.5' de görüldüğü gibi, referans olan "ŞAHİT" numunede 0,068 mm/m olarak ölçülmüştür. FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde sırasıyla %16,18, %25, %51,47 oranlarında azaldığı görülmüştür.

FİB4, FİB6 ve FİB 12 numunelerinde rötre değeri fiber boylarına bağlı olarak azalmıştır.

Fiber boyu uzadıkça karbon fiberin çekme kapasitesi kullanım oranı artmakla birlikte, hidratasyon devam ederken meydana gelen büzülmelerin neden olduğu gerilmeleri karşılayarak oluşan mikro çatlakların büyümesine engel olduğu düşünülmektedir.

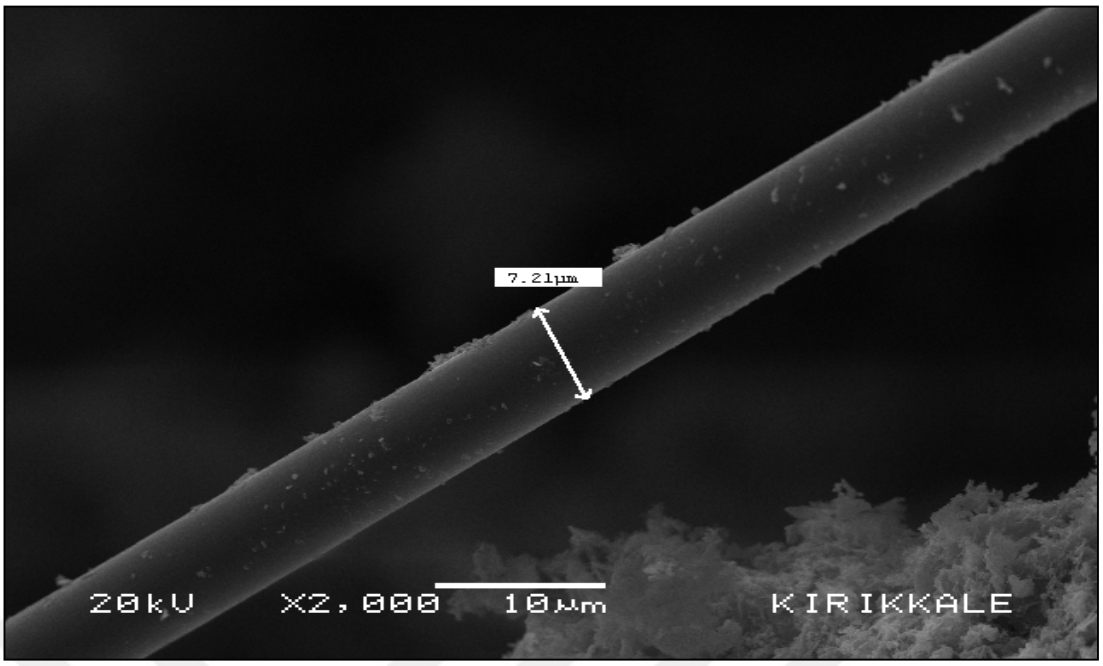
Literatüre paralel olarak, lif takviye edilerek hazırlanan gazbeton numunelerinde rötre etkilerinin azaldığı görülmüştür. (Gürdal vd.; 2004; Najimi vd., 2009)



Şekil 4.5. Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonların Rötre Değerleri

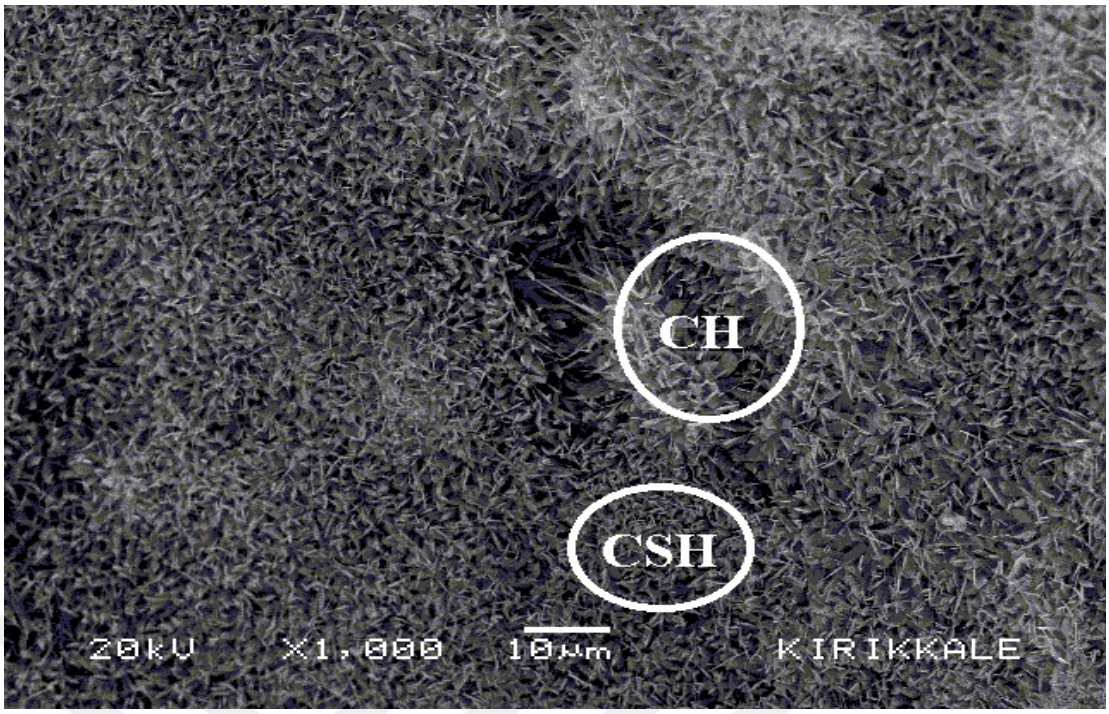
4.6. Mikroyapısal Özellikleri

Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarları Müdürlüğü (KÜBTAL), Elektron Mikroskobu Laboratuvarında bulunan Jeol JSM5600 marka 30kV'luk taramalı Elektron Mikroskobu ile örneklerin SEM görüntüleri elde edilmiş ve karbon fiberin farklı ebatlardaki SEM görüntüleriyle beraber farklı ebatlarda karbon fiber ikameli gazbeton numunelerinin SEM görüntüleri mikro yapısal özellikleri değerlendirilmiştir.



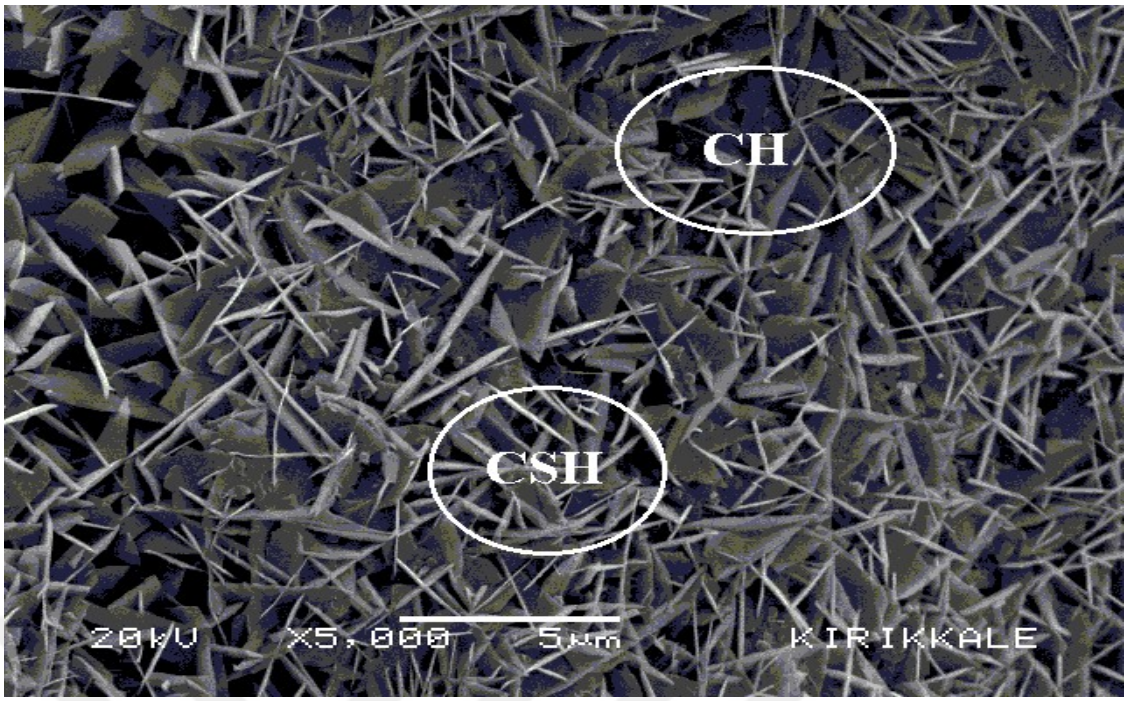
Şekil 4.6. Karbon Fiber SEM Görüntüsü (X2000)

Şekil 4.6.'da X2000 büyütmeli FİB12 kodlu numunede 12mm'lik karbon fiberin SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi karbon fiberin çapı 7.21 µm olarak ölçülmüştür.



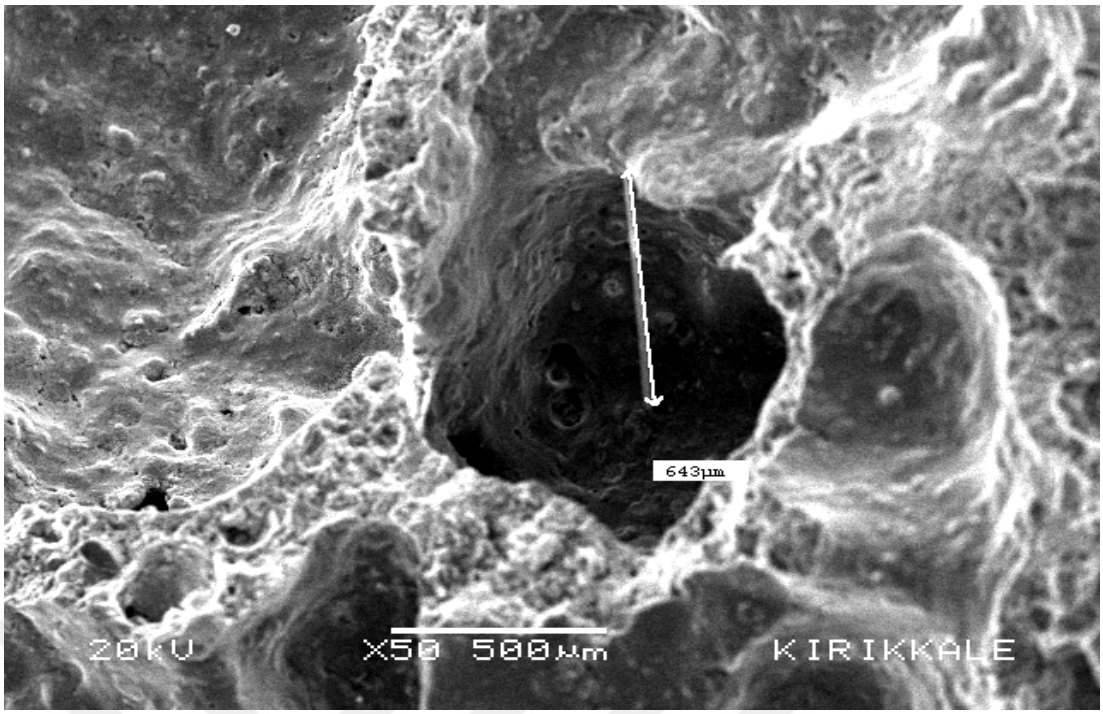
Şekil 4.7. Karbon Fiber Katkısız ŞAHİT Gazbetonun SEM Görüntüsü (X1000)

Şekil 4.7.'deki X1000 büyütmeli karbon fiber katkısız ŞAHİT gazbeton numunesinin SEM görüntüsünde iğne görünümlü ve yaprak görünümlü kristal yapılar olarak CSH (Tobermorit) ve CH kristalleri görülmektedir. C-S-H yapı bağ kuvvetinin iyi geliştiğini göstermektedir. C-S-H kristalleri yoğun olarak görülmektedir. İğnemsi C-S-H kristalleri altında ise yapraksı CH kristalleri bulunmaktadır.



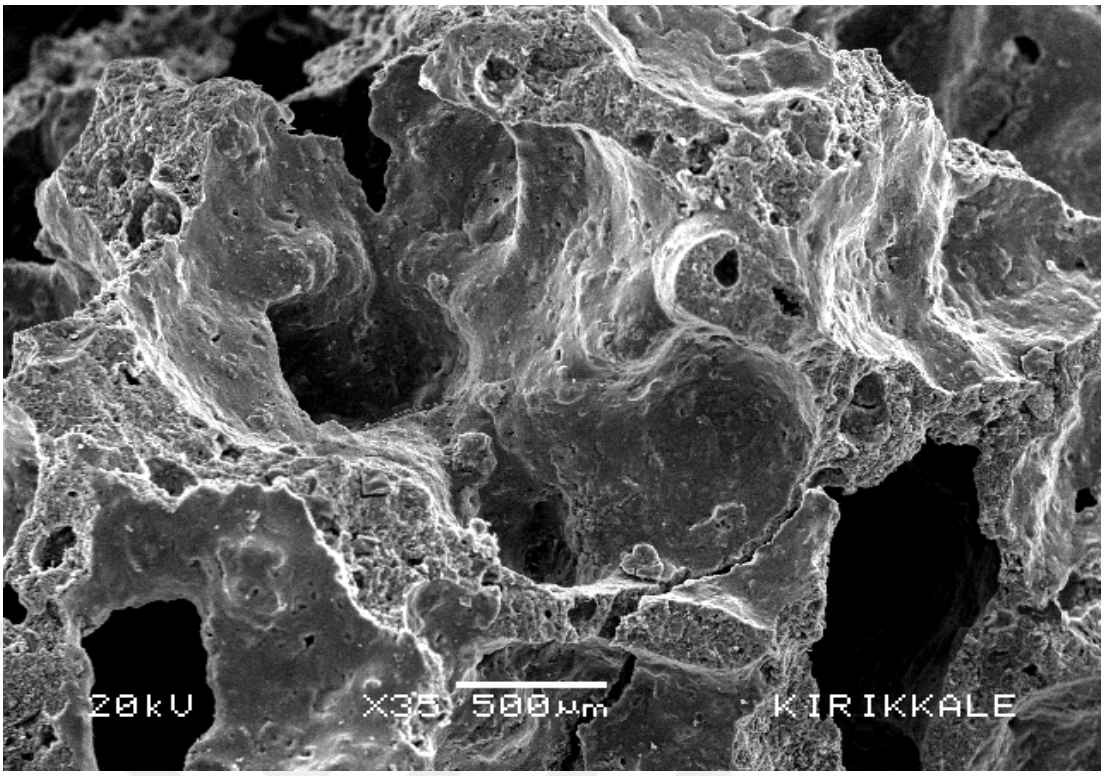
Şekil 4.8. 4mm %0,5 Karbon Fiber (FİB4) İkameli Gazbetonun SEM Görüntüsü

Şekil 4.8.'deki X5000 büyütmeli %0,5 oranında 4mm karbon fiber (FİB4) ikameli gazbetonlarda boşluklu yapı görülmektedir. C-S-H kristallerinin iğnemsi yapıları daha net görünmektedir. C-S-H kristalleri yapının mukavemetini arttıran bağlardır. Ayrıca kısmen de olsa boşluklar görülmektedir. Yapraksı CH kristalleri de daha belirgin olarak görülmektedir.



Şekil 4.9. 6mm %0,5 Karbon Fiber (FİB6) İkameli Gazbetonun SEM Görüntüsü (X50)

Şekil 4.9.'daki X50 büyütmeli %0,5 oranında 6mm karbon fiber (FİB6) ikameli gazbetonlarda gözenekli yapıların oluşumu görülmektedir. Gözenek boyutları yaklaşık 1 µm ve 500 µm arasındadır. Ayrıca boşluklar kararsız bir yapıda ve birbirlerinden bağımsız şekilde oluşmuştur. Boşluğun içine doğru uzanan karbon fiber, boşluklar arasında ısı ve gerilmelerin iletilmesi konusunda nasıl köprü vazifesi gördüğünü göstermektedir.



Şekil 4.10. 12mm %0,5 Karbon Fiber (FİB12) İkameli Gazbetonun SEM Görüntüsü (X35)

Şekil 4.10.'daki X35 büyütmeli %0,5 oranında 12mm karbon fiber (FİB12) ikameli gazbetonlarda boşlukların burada da kararsız bir yapıda ve birbirlerinden bağımsız şekilde oluştuğu görülmüştür.

Şekil 4.10.'daki X35 büyütmeli %0,5 oranında 12mm karbon fiber (FİB12) ikameli gazbetonda oluşan gözenekler ise 1-500 µm boyutlarındadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, duvar elemanı olarak kullanılan G2/350 (350 kg/m³, 3,5 MPa) sınıfı gazbeton üretimi referans alınarak hazırlanan gazbeton karışımlarına çimentonun ağırlıkça %0,5 oranında karbon fiber ilave edilmiştir. Karbon fiber katkı oranı kadar atık çamurdan azaltılmıştır. Fiber miktarı arttıkça karıştırma zorluğu çekilmekte ve bundan dolayı da ürünün gözenek yapılarında homojen dağılım gerçekleşmemektedir. Bu da ürünün teknik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu durum daha önce yapılmış faklı çalışmalarda da belirtilmiştir.[5, 10]. Yapılan çalışmada hazırlanan gazbeton karışımlarına çimentonun ağırlıkça %0,5 oranında karbon fiber ilave edilmesi ile miktar etkisi bertaraf edilerek karbon fiber boyunun etkisi gözlemlenmeye çalışılmıştır.

4mm, 6mm ve 12mm olmak üzere üç farklı uzunlukta karbon fiberin çimentonun %0,5 oranında gazbeton karışımına ilave edilmesi ile şu sonuçlar ortaya çıkmıştır;

Karbon fiber katkısız ve karbon fiber katkılı gazbeton numunelerinin basınç dayanım değerleri sırasıyla ŞAHİT, 2,48 kg/m^3, FİB4 2,69 kg/m^3, FİB6 2,71 kg/m^3 ve FİB12 için 2,75 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir.

- Karbon fiber katkılı FİB4, FİB6 ve FİB12 gazbeton numunelerinin basınç dayanım değerleri ŞAHİT numunesi basınç dayanımı değeri olan 2,48 N/mm^2 değerine göre sırasıyla %8,2, %9,2, %10,63 oranında artış göstermiştir.

- Gazbeton üretimlerinde genellikle yoğunluk ve basınç dayanımı doğru orantılı olarak hareket etmekte olup, yoğunluk azaldıkça basınç dayanımı değeri artmaktadır. Fiber ilave edilmiş numunelerde yoğunluk azalmış olmasına rağmen basınç dayanımlarında iyileşme olduğu görülmüştür. Karbon fiberin, test sırasında oluşan gerilmeler sonucu meydana gelen mikro çatlaklar arasında sağladığı aderans ile yük taşıma kapasitesini arttırdığı görülmüştür.

- Karbon fiber katkılı tüm numunelerde rötre değerleri azalmış, bu durum basınç dayanımında ise artış sağlamıştır.

Karbon fiber katkısız ve karbon fiber katkılı gazbeton numunelerinin eğilme dayanım değerleri sırasıyla 0,54 N/mm^2, 0,61 N/mm^2, 0,64 N/mm^2 ve 0,71 N/mm^2 olarak ölçülmüştür.

- Üretilen gazbeton numunelerinin eğilme dayanımı ölçümleri ŞAHİT numunesinin eğilme dayanımı değeri 0,54 N/mm^2 değeri baz alınarak FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde sırasıyla %13,33, %18,52, %31,48 oranlarında arttığı görülmüştür.

- Karbon fiberin eğilme sırasında birbirinden ayrılmaya zorlanan yüzeyler arasında oluşan gerilmeyi tolere ettiği görülmüştür. Aynı zamanda, karbon fiber uzunluğuna bağlı olarak daha uzun fiberin daha uzun aderans sağlaması nedeniyle karbon fiberin boyu arttıkça karbon fiberin çekme dayanımı kapasitesini daha etkin kullanması dolayısıyla gazbetonun eğilme dayanımının da arttığı görülmüştür.

Karbon fiber katkısız ve karbon fiber katkılı gazbeton numunelerinin kuru birim ağrılık değerleri sırasıyla 384,66 kg/m^3 364,71 kg/m^3 371,33 kg/m^3 365 kg/m^3 olarak ölçülmüştür.

- Üretilen gazbeton numunelerinin yoğunluk ölçümleri ŞAHİT numunesinin yoğunluk değeri 384,66 kg/m^3 referans alınarak FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinin yoğunluk değerleri sırasıyla %5,19, %3,47, %5,11 olarak benzer miktarda azaldığı görülmüştür.

Karbon fiber katkısız ve karbon fiber katkılı gazbeton numunelerinin ısıl iletkenlik katsayı değerleri sırasıyla 0,08534 W/mK, 0,08806 W/mK, 0,08991 W/mK, 0,08895 W/mK, olarak ölçülmüştür.

- Üretilen gazbeton numunelerinin ısıl iletkenlik katsayı ölçümleri ŞAHİT numunesinin ısıl iletkenlik değeri 0,08534 W/mK baz alınarak FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde sırasıyla %3,19, %5,36, %4,23 olarak tamamında arttığı görülmüştür.

- FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinde ilave edilmiş olan karbon fiberin yapısal özellikleri ve homojen şeklide dağıldığı için oluşturduğu ısı köprüleri nedeniyle ısı iletim katsayısı değerlerinde artış görülmüştür.

Karbon fiber katkısız ve karbon fiber katkılı gazbeton numunelerinin rötre değerleri sırasıyla 0,068 mm/m, 0,057 mm/m, 0,051 mm/m ve 0,033 mm/m olarak ölçülmüştür.

- Üretilen gazbeton numunelerinin rötre ölçümleri ŞAHİT numunesinin 0,068 mm/m olan rötre değerine göre FİB4, FİB6 ve FİB12 numunelerinin rötre değerleri sırasıyla %16,18, %25 ve %51,47 oranında azaldığı görülmüştür. Gazbeton karışımında kullanılan karbon fiberin boyu arttıkça rötre değerlerinin azaldığı görülmüştür.

SEM görüntülerine bakıldığında karbon fiberlerin gazbetonun kristal yapısına katkı sağlamadığı fakat aderans arttırıcı özelliği olduğu ve bu özelliğinden dolayı mekanik özelliklerde iyileşme sağladığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; farklı boyutlarda karbon fiber kullanılarak elde edilen gazbeton numunelerinin ŞAHİT numunenin basınç dayanımı rötre ve eğilme dayanımı özelliklerine göre iyileşme, yoğunluk ve ısıl iletim katsayısı değerlerinde ise olumsuz etkileri görülmüştür.

Sonuçlar değerlendirildiğinde gazbeton üretiminde çimento miktarının ağırlıkça %0,5 oranında ve 12 mm uzunluğunda karbon fiber kullanımının en iyi düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Gazbeton üretiminde karbon fiber kullanımın basınç dayanımı, rötre ve eğilme dayanımı özelliklerine olumlu etkileri gözlenirken, en çok eğilme dayanımı (%31,48) ve rötre (%51,47) değerlerinde iyileşme olduğu görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, bu çalışmaya ek olarak en iyi düzeyde iyileşme olduğu görülen 12 mm uzunluğunda ve çimentonun ağırlıkça %0,5'i oranında kullanılan karbon fiber miktarı arttırılarak karışımda kullanılacak optimum karbon fiber miktarının tespit edilmesi üzerine de çalışmalar yapılabilir. Buna ek olarak, gazbeton ısı köprüsü oluşturmayacak aderansı yüksek fiber katkılar üzerine de çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Sezer, H., Öğütülmüş Diyatomitin Gazbeton Üretiminde Kullaniminin Araştirilmasi Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2010

[2] TS EN 12602, Önyapımlı Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları. Türk Standard Enstitisü, 2011.

[3] Zühtü Onur Pehlivanlı , I.U., Ilhami Demir, Mechanical And Microstructural Features Of Autoclaved Aerated Concrete Reinforced With Autoclaved Polypropylene, Carbon, Basalt And Glass Fiber. Construction And Building Materials, 2015. 96: P. 428–433.

[4] Zühtü Onur Pehlivanlı , I.U., Zeynep Pınar Yücel , Ilhami Demir, The Effect Of Different Fiber Reinforcement On The Thermal And Mechanical Properties Of Autoclaved Aerated Concrete. Construction And Building Materials, 2016. 112: P. 325–330.

[5] Hussin, K.A., Cam Elyaf, Bazalt Elyaf Ve Çelik Elyaf Tel İle Takviyelendirilmiş Beton Bloklarin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Mühendisliği Anabilim Dali 2018(Yüksek Lisans Tezi).

[6] S., M.R.A., Effect Of Polypropylene Fibers On The Mechanical Properties Of Normal Concrete Journal Of Engineering Sciences, Assiut University, 2006. 34(4): P. 1049-1059.

[7] A. Sadrmomtazi, A.F., A.K. Haghi, Effect Of Polypropylene Fibers On Mechanical And Physical Properties Of Mortars Containing Nano-Sio 2. 3rd International Conference On Concrete & Development, 2009: P. 1163-1172.

[8] M. Najimi, F.M.F.A.A.R.P., Effects Of Polypropylene Fibers On Physical And Mechanical Properties Of Concretes 3rd International Conference On Concrete & Development 2009: P. 1073-1081.

[9] Antanas Laukaitis, J.K., Modestas Kligys, Donatas Mikulskis, Lina Lekunaite, Influence Of Mechanically Treated Carbon Fibre Additives On Structure Formation And Properties Of Autoclaved Aerated Concrete. Construction And Building Materials, 2012. 26: P. 362–371.

[10] A. Laukaitis, J.K., D. Mikulskis, M. Sinica, G. Sezemanas, Influence Of Fibrous Additives On Properties Of Aerated Autoclaved Concrete Forming Mixtures And Strength Characteristics Of Products. Construction And Building Materials, 2009. 23: P. 3034–3042.

[11] Demirel, B.V.G., T. , Karbon Fiber Takviyeli Betonda Farklı Fiber Boyunun Kapilariteye Etkisi. Fırat Ü. DAUM Dergisi, 2007. 6 (1): P. 12.

[12] Salih Taner Yildirim, C.E.E., Çelik, Cam Ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması Fırat Üniv. Fen Ve Müh. Bil. Dergisi 2006. 18 (3)(Çelik, Cam Ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması): P. 359-366.

[13] Bahar Demirel, T.G., Karbon Fiber Takviyeli Betonda Farkli Fiber Boyunun Kapilariteye Etkisi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 2007(Fırat Universities Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü – Elaziğ): P. 4.

[14] İlker Bekir Topçu, M.U.T., Alkalilerle Aktive Edilen Taban Küllü Hafif Harç Üretimi Journal Of Engineering And Architecture Faculty Of Eskişehir Osmangazi University, 2009. Xxii(Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi): P. 2.

[15] Mücteba Uysal, B.C.G., Mansur Sümer Gazbetonun Kuruma Rötresine Bağlayıcı Malzeme Miktarı Değişiminin Etkisi Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2012. 28(4)(Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü): P. 303-308.

[16] Hasbi Yaprak, O.Ş., Aydın Öneş, Cam Ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi Journal Of Polytechnic 2004. **7**(Cam Ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi): P. 353-358.

[17] Osman Ünal, T.U., Osman Gençel, Çelik Liflerin Beton Basinç Ve Eğilme Özeliklerine Etkisi Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Pamukkale University Engineering College Mühendislik Bilimleri Dergisi Journal Of Engineering Sciences Yüksek Lisans Tezi, 2006.

[18] Rüveyda Kömürlü , H.Ö., Usage Of Aerated Concrete Construction Elements In Houses Ytü Arch. Fac. E-Journal 2007. 2(3).

[19] Pehlivanlı, Z., Gazbeton Malzemesinin Isıl Đletkenliğinin Nem Ve Sıcaklıkla Değişiminin İncelenmesi Int.J.Eng.Research & Development, 2009. 1(2): P. 76-80.

[20] İşler, T., Karbon Fiber İle Betonarme Elemanların Güçlendirilmesi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.

[21] Alper Topsakal, C.Ö., Süreksiz Fazlı Lifli Polimer Betonların Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi Suleyman Demirel University Journal Of Natural And Applied Science 2015. 19(2): P. 1-7.

[22] Karahan, C.D.A.V.O., Lif Takviyeli Uçucu Küllü Betonlarin İşlenebilirlik Özellikleri. Ç.Ü.J.Fac.Eng.Arch, 2005. 20(1): P. 139-150.

[23] Kim Hung Mo, U.J.A., Mohd Zamin Jumaat, Bond Properties Of Lightweight Concrete – A Review. Construction And Building Materials, 2016. 112: P. 478-496.

[24] V. Dey, G.Z., M. Colombo, M. Di Prisco, B. Mobasher, Flexural Impact Response Of Textile-Reinforced Aerated Concrete Sandwich Panels. Materials And Design, 2015. 86: P. 187-197.

[25] J.M. Pastor, L.D.G., S. Quintana, J. Peña, Glass Reinforced Concrete Panels Containing Recycled Tyres: Evaluation Of The Acoustic Properties Of For Their Use As Sound Barriers. Construction And Building Materials, 2014. 54: P. 541-549.

[26] Marijonas Sinica , G.A.S., Donatas Mikulskis, Modestas Kligys, Vytautas Esnauskas, Impact Of Complex Additive Consisting Of Continuous Basalt Fibres And Sio2 Microdust On Strength And Heat Resistance Properties Of Autoclaved Aerated Concrete. Construction And Building Materials, 2014. 50: P. 718-726.

[27] Ts En 206, Beton- Özellik, Performans, Imalat Ve Uygunluk. Türk Standard Enstitisü, 2017.

[28] Neville, A.M., Properties Of Concrete. Pitmann Publishing, 1975.

[29] Akman, M.S.V.T., M.A., Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu. I. Ulusal Perlit Kongresi, Ankara, 1977: P. 40-48.

[30] Mindess, S., Young, J.F. , Concrete Englewood Cliffs, Nj: Prentice Hall. 1981.

[31] Arda, A., Hafif Betonlarda Agrega Konsantrasyonunun Mekanik Özelliklere Etkisi. İtü Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul., Y. Lisans Tezi. 1994.

[32] Sari, D., Paşamehmetoğlu, A.G., The Effects Of Gradation And Admixture On The Pumice Lightweight Aggregate Concrete. Cement And Concrete Research, 2005. 35(5): P. 936-942.

[33] Haque, M.N., Al-Khaiat, H., Kayalı, O., Strength And Durability Of Lightweight Concrete. Cement And Concrete Composites, 2004. 26: P. 307-314.

[34] Gümüşhane Ticaret ve Sanayi Odası, G.T.V.S., Gazbeton Üretim Tesisi Ön Fizibilite Raporu. 2017.

[35] J. Schreinera, D.J., D. Ectorsa, F. Goetz-Neunhoeffera, J. Neubauera, S. Volkmann, New Analytical Possibilities For Monitoring The Phase Development During Cement And Concrete Researchthe Production Of Autoclaved Aerated Concrete. Cement And Concrete Research, 2018. 107: P. 247-252.

[36] Leszek Malyszko, E.K., Piotr Bilko, Splitting Tensile Behavior Of Autoclaved Aerated Concrete: Comparison Of Different Specimens' Results. Construction And Building Materials, 2017. 157: P. 1190-1198.

[37] Savaş, M., Sepiyolitin Gazbeton Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi 2013(Sepiyolitin Gazbeton Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi): P. 1.

[38] Yoleri, G., Otoklav Ünitelerinin Teknik Ve Biyolojik Performans Analizleri. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011: P. 18-20.

[39] Türk Yapı Sektörü Raporu. Yapı Endüstri Merkezi, 2016: P. 174.

[40] Borhan, B., Ytong El Kitabı-1. Teknik Yayınları 1987(1).

[41] TS 453, T., Önyapımlı (Prefabrike), Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları. Türk Standartları Enstitüsü, 2006.

[42] www.hafifbetonblok.com, Gazbeton Tesisi. 2014(Erişim Tarihi 10.04.2018).

[43] Özbaş, E., Karbon Fiber Nedir. Https://www.Muhendisbeyinler.Net/Karbon-Fiber-Nedir/, 2017(Erişim Tarihi 15.04.2018).

[44] Akbulut, U., Karbon Fiber: Çelikten 5 Kat Hafif 10 Kat Güçlü Odtü, 2016.

[45] TS EN 1351, Gaz Beton-Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini. Türk Standardi, 1998.

[46] TS EN 772-1, Kagir Birimler-Deney Yöntemleri-Bölüm1:Basınç Dayanımın Tayini. 2015.

[47] TS EN 680, Gazbeton Kuruma Büzülmesi Tayini. 2006.

[48] TS EN-12664, Yapı Malzemeleri Ve Mamulleri - Isıl Direncin, Korumalı Tablalı Isıtıcı Ve Isı Akı Ölçerin Kullanıldığı Metotlarla Tayini - Isıl Direnci Orta Ve Düşük Seviyede Olan Kuru Ve Rutubetli Mamuller. 2009.

[49] TS EN 678, Gaz ve Köpük Beton-Kuru Yoğunluk Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Kasım 1995.

[50] Erol Gürdal, Seden Acun, Mineral Esaslı Sıvalarda Polipropilen Lif Katkısının Fiziksel Ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, 2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, Vol. 1, No. 1, 2004, P. 123-134

[51] Mertcan Sarı, Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul., Y. Lisans Tezi. 2013.