



İNORGANİK ESASLI KOMPOZİT ISI

İZOLASYON PANELİ ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülnaz YILMAZ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

Mart, 2016

Bu tez çalışması 0294 STZ.2013-2 numaralı proje ile TC Bilim, Sanayi ve Teknoloji
Bakanlığı tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNORGANİK ESASLI KOMPOZİT ISI İZOLASYON PANELİ ÜRETİMİ

Gölnaz YILMAZ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

Mart, 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Gölnaz YILMAZ tarafından hazırlanan “İnorganik Esaslı Kompozit Isı İzolasyon Paneli Üretimi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 16/03/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Taner KAVAS

Başkan : Prof. Dr. Bekir KARASU
Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İmza

Üye : Doç. Dr. Taner KAVAS
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZGÜL
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

16/03/2016

Gölnaz YILMAZ

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

İNORGANİK ESASLI KOMPOZİT ISI İZOLASYON PANELİ ÜRETİMİ

Gülnaz YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Taner KAVAS

Günümüzde ısı yalıtım amaçlı kullanılan malzemelerden EPS, XPS ve Polimerik malzemelerin üretimlerinde kullanılan hammaddeler büyük oranda (%70) dışa bağımlıdır. EPS, XPS ve Polimerik malzemelerin petrol esaslı yapıları nedeniyle yangın güvenirliliği yoktur.

Bu bilgiler ışığında olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla ithal ve pahalı yalıtım malzemelerine alternatif tamamen yerli hammaddeler kullanılarak üretilebilecek (kalker ve silis kumu gibi), mineral esaslı, yapısı doğal, yapay fiberler ve bor mineralleri ile güçlendirilmiş, yanmaz yalıtım malzemesinin üretilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada; kireç ve kuvarsça zengin hammaddeler, çimento, kalsiyum sülfat, alüminyum metal tozu ile hazırlanan karışıma borosilikat cam fiberlerin ilavesi ile elde edilen reçeteler üretim aşamalarından geçirilir. Yüksek ısı yalıtımı yapabilen, fiberler ile güçlendirilmiş (kompozit), yanmaz (mineral esaslı), düşük yoğunluklu, bir yalıtım plakasının üretilmesi hedeflenmiştir.

2016, xi + 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: Isı Yalıtımı, Kompozit, İnorganik Yalıtım Plakası.

ABSTRACT
M.Sc Thesis

INORGANIC BASED COMPOSITE THERMAL INSULATION PANEL PRODUCTION

Gölnaz YILMAZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Taner KAVAS

Today EPS, XPS that are among the preferred materials for thermal insulation and raw materials used in the production of polymeric materials to a large extent (70%) are foreign-dependent. EPS, XPS and polymeric materials do not have fire safety requirements due to their petroleum-based structure.

In the light of this information to eliminate the negatives it is necessary to produce mineral based, natural, artificial structured fibers and boron minerals reinforced, non inflammable insulation material which can be produced by using entirely domestic raw materials (such as limestone and silica sand) as an alternative instead of imported and expensive insulation materials.

In this study the prescriptions obtained by the addition of borosilicate glass fibers into a mixture prepared with lime- and quartz-riched materials, cement, calcium sulfate, aluminum metal powders are undergone the manufacturing process. It is aimed to produce an insulation plate that is capable of high thermal insulation, reinforced with fibers (composite), non-inflammable (mineral-based), low-density.

2016, xi + 81 pages

Key Words: Thermal Insulation, Composite, Inorganic Insulation Plate.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Taner KAVAS'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Grv. Deran TURAN'a, Sayın Arş. Grv. Sinan ATLI'ya, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma, arkadaşım Ömer AVCI'ya ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

0294 STZ.2013-2 numaralı SANTEZ projesi kapsamında sağlanan maddi destekler için T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Gülnaz YILMAZ
AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Taraması	2
1.2 Projenin Amacı.....	10
2. ISI YALITIMI	11
2.1 Isı Transfer Mekanizmaları	13
2.1.1 Taşınım (Konveksiyon).....	13
2.1.2 İletim (Kondüksiyon).....	14
2.1.3 Işınım (Radyasyon).....	14
2.2 Isı Yalıtımı Kullanmanın Avantajları	15
3. ISI YALITIM MALZEMELERİ	17
3.1 Isı Yalıtım Özelliğinde Etkili Olan Yapısal Özellikler	18
3.2 Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması.....	18
3.2.1 Cam Yünü.....	19
3.2.2 Taş Yünü	20
3.2.3 Ekspande Polistren Köpük (EPS)	21
3.2.4 Extrüde Polistren Köpük (XPS).....	23
3.2.5 Poliüretan Sert Köpük (PU).....	24
3.2.6 Fenol Köpüğü (PF).....	25
3.2.7 Cam Köpüğü.....	27
3.2.8 Ahşap Yünü Levhalar	28
3.2.9 Genleştirilmiş Perlit (EPB).....	28
3.2.10 Genleştirilmiş Mantar (ICB)	29
3.2.11 Gazbeton	30

3.2.11.1 Gazbetonun Fiziksel Özellikleri.....	32
3.2.11.2 Gazbetonun Kimyasal Özellikleri	35
3.2.11.3 Gazbetonun Mekanik Özellikleri	35
3.2.11.4 Gazbeton Üretimi	36
3.3 Isı Yalıtım Malzemelerinin Karşılaştırılması	37
4. KOMPOZİT MALZEMELER	39
4.1 Kompozit Malzemelerin Başlıca Özellikleri.....	39
4.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	39
4.2.1 Elyafli kompozitler	40
4.2.2 Parçacıklı Kompozitler	40
4.2.3 Tabakalı Kompozitler	41
4.2.4 Karma (Hibrid) Kompozitler.....	41
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
5.1 Hammaddeler ve Karakterizasyonu	42
5.1.1 Kuvarsit.....	42
5.1.2 Çimento	43
5.1.3 Kireç	44
5.1.4 Alçıtaşı	46
5.1.5 Alüminyum Tozu.....	47
5.1.6 Borosilikat Cam Fiber.....	47
5.2 Fiber Katkılı Kompozit Yalıtım Plakası Üretim Yöntemi	50
5.3 Numunelere Yapılan Testler	54
5.3.1 Basınç Dayanımı (BD).....	54
5.3.2 Kuru Yoğunluk.....	55
5.3.3 A Faktörü Deneyi	55
5.3.4 Isı İletkenlik Deneyi.....	56
5.3.5 Elastisite Modülü	56
5.3.6 SEM Analizi	57
5.3.7 XRD Analizi.....	57
6. BULGULAR.....	59
6.1 Basınç Dayanımı (BD), Yoğunluk, A Faktörü Özellikleri	59
6.2 Isıl İletkenlik (Lambda) Özellikleri	60
6.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Sonuçları	64
6.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları	65

6.5 X-Işınları Difraksiyonu (XRD) Analiz Sonuçları	68
7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	72
8. KAYNAKLAR.....	74
8.1 İnternet Kaynakları	80
ÖZGEÇMİŞ.....	81



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

λ	Isı İletim Katsayısı
N	Mol Sayısı
P	Özgöl Ağırlık
kPa	Kilopascal
Db	Desibel
W	Watt
K	Kelvin

Kısaltmalar

EPS	Expanded Polistiren
XPS	Extruded Polistiren
PUR	Poliüretan
CaSO ₄	Kalsiyum Sülfat
CO ₂	Karbon Dioksit
AAC	Gazbeton
BD	Basma Dayanımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Türkiye'nin Enerji Tüketimi ve Dışa Bağımlılığı.	1
Şekil 2.1 Bir Yapıda Isı Yalıtımı Gerektiren Yerler	12
Şekil 3.1 Açık Gözenek (sağda), Kapalı Gözenek (solda) Yapı.	18
Şekil 3.2 Cam Yünü	19
Şekil 3.3 Cam Yünü'nün Mikroyapısı	20
Şekil 3.4 Cam Yünü Paneli	20
Şekil 3.5 Taş Yünü	21
Şekil 3.6 Genleştirilmiş Polistiren Köpük.....	22
Şekil 3.7 EPS'nin Hücre Yapısı.....	22
Şekil 3.8 Ekstürüde Polistren Köpük.....	23
Şekil 3.9 XPS Hücre Yapısı.....	24
Şekil 3.10 Poliüretan Sert Köpük.	24
Şekil 3.11 Poliüretan Sert Köpük Hücre Yapısı	25
Şekil 3.12 Fenol Köpüğü.	26
Şekil 3.13 Mineral fenolik köpük hücre yapısı (a) 10x, (b) 30x, (c) 100x.....	26
Şekil 3.14 Cam Köpüğü.....	27
Şekil 3.15 Cam Köpüğünün Hücre Yapısı.....	27
Şekil 3.16 Ahşap Yünlü Levhalar.....	28
Şekil 3.17 Genleştirilmiş Perlit.....	28
Şekil 3.18 Genleştirilmiş Perlitin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüsü.....	29
Şekil 3.19 Genleştirilmiş Mantar Levhalar.....	29
Şekil 3.20 Çıplak Gözle Görülen (solda) ve Mikroskopta (sağda) İncelenen AAC Örneklerinin Gözenek Yapısı.....	31
Şekil 4.1 a) Elyafli Kompozit, (b) Parçacıklı Kompozit, (c) Tabakalı Kompozit, (d) Hibrit Kompozit.....	40
Şekil 5.1 E-Cam Fiber EDX Analizi.	49
Şekil 5.2 E-Cam Fiber XRD Analizi.....	49
Şekil 5.3 Isı Yalıtım Plakası Üretim Şeması.	50

Şekil 6.1 ST, Farklı Miktarlarda F1 ve F2 Cam Fiber Katkısı İçeren Denemelerin Karşılaştırmalı BD, Yoğunluk ve A faktörü Analizleri.	60
Şekil 6.2 ST ve Farklı Miktarlarda Cam Fiber Katkısı İçeren Denemelerin Yoğunluk Karşılaştırmalı Isı İletkenlik Katsayısı Analizleri.	61
Şekil 6.3 (a) Katkısız, (b) %1 F1 Fiber Katkılı, (c) %1,5 F1 Fiber Katkılı, (d) %2 F1 Fiber Katkılı (e) %0,5 F2 Fiber Katkılı Numunelerin SEM Datalarının Karşılaştırılması (X20).....	65
Şekil 6.4 (a) Katkısız, (b) %1 F1 Fiber Katkılı, (c) %1.5 F1 Fiber Katkılı, (d) %2 F1 Fiber Katkılı, (e) %0,5 F2 Fiber Katkılı Numunelerin SEM Datalarının Karşılaştırılması (X2500).....	66
Şekil 6.5 (a) Katkısız, (b) %1 F1 Fiber Katkılı, (c) %1.5 F1 Fiber Katkılı, (d) %2 F1 Fiber Katkılı, (e) %0,5 F2 Fiber Katkılı Numunelerin SEM Datalarının Karşılaştırılması (X5000).....	67
Şekil 6.6 Standart Numunenin XRD Datası.....	68
Şekil 6.7 %1 F1 Fiber Katkılı Numunenin XRD Datası.	69
Şekil 6.8 %1,5 F1 Fiber Katkılı Numunenin XRD Datası.	69
Şekil 6.9 % 2 F1 Fiber Katkılı Numunenin XRD Datası.	70
Şekil 6.10 % 0,5 F2 Fiber Katkılı Numunenin XRD Datası.	71
Şekil 6.11 Numunelerin XRD Datalarının Karşılaştırılması.	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Isı Yalıtım Malzemelerinin ve Yapı Malzemelerinin Isı İletim Katsayısı ve Özgül Ağırlık Sınırları (Dağsöz 1999).....	17
Çizelge 3.2 Isı Yalıtım Malzemeleri Ürün Standartları.....	19
Çizelge 3.3 Isı Yalıtım Malzemelerinin Kullanım Sıcaklıkları.....	37
Çizelge 5.1 Kuvarsit Bileşiklerinin Yüzde Oranları.....	43
Çizelge 5.2 Portland Çimentosu Bileşiklerinin Yüzde Oranları.....	44
Çizelge 5.3 Sönmemiş Kireç Bileşiklerinin Yüzde Oranları.....	45
Çizelge 5.4 Alçıtaşı Bileşiklerinin Yüzde Oranları.....	46
Çizelge 5.5 Borosilikat Camlarının Kimyasal Bileşimi.....	48
Çizelge 5.6 Döküm Bilgileri.....	51
Çizelge 5.7 Karışım Çamurunun Zeta Potansiyel Değeri.....	52
Çizelge 6.1 ST ve Farklı Oranlarda F1 ve F2 İçeren Cam Fiber Katkılı Denemelerin Mekanik Özellikleri.....	59
Çizelge 6.2 ST ve Farklı Miktarlarda Cam Fiber Katkısı İçeren Denemelerin Isıl İletkenlik Yoğunluk Analizleri.....	60
Çizelge 6.3 Farklı Miktarlarda Cam Fiber Katkısı İçeren Denemelerin Isıl İletkenlik Yoğunluk Analizleri.....	61
Çizelge 6.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Sonuçları.....	64

RESİMLER DİZİNİ

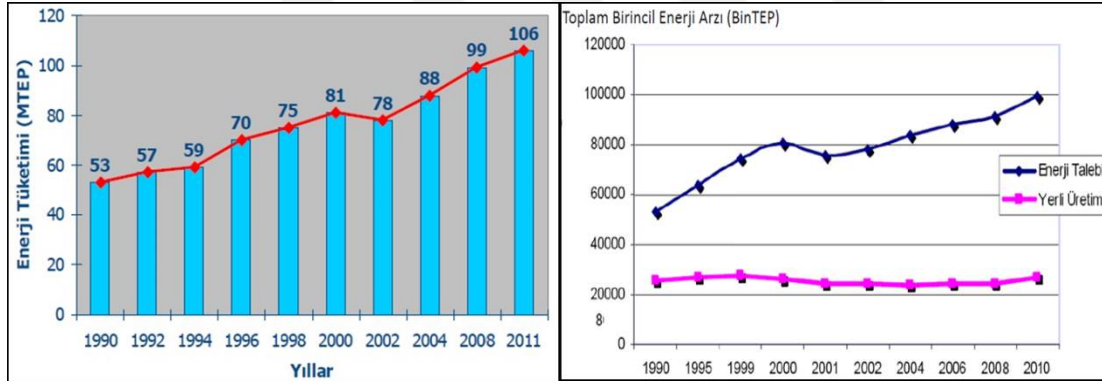
Sayfa

Resim 5.1 Öğütülmüş Kuvarsit.	42
Resim 5.2 Portland Çimentosu.	44
Resim 5.3 Sönmemiş Kireç.	45
Resim 5.4 Alçıtaşı (Kalsiyum Sülfat).	46
Resim 5.5 Alüminyum Pasta ve Süspansiyonu.	47
Resim 5.6 F1 Tip (solda) ve F2 Tip (sağda) Cam Fiberler.	48
Resim 5.7 Kalıba Dökülen Akışkan Harç.	52
Resim 5.8 Otoklav Cihazı.	53
Resim 5.9 ST ve Farklı Oranlarda F1 ve F2 İçeren Cam Fiber Katkılı Küçük Kalıp Denemeleri.	53
Resim 5.10 Fiber Katkılı Yalıtım Plakası.	54
Resim 5.11 BD –Yoğunluk ve A Faktörü Analizleri Numune Koşullandırma.	54
Resim 5.12 Isıl İletkenlik Analiz Cihazı.	56
Resim 5.13 Scanning Electron Microscope (SEM).	57
Resim 5.14 XRD Analiz Cihazı.	58
Resim 6.1 ST- %1 F1 Gözenek Karşılaştırma.	62
Resim 6.2 ST- %1,5 F1 Gözenek Karşılaştırma.	62
Resim 6.3 ST- % 2 F1 Gözenek Karşılaştırma.	63
Resim 6.4 ST - % 0,5 F2 Gözenek Karşılaştırma.	63

1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması, enerji maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Yeni enerji kaynakları aranmakta ve enerjiyi verimli kullanabilmek için tasarruf programları oluşturulmaktadır. Enerji tasarrufu sağlamak amacıyla alınacak ilk önlem ise yalıttır.

Türkiye'nin toplam enerji tüketimi her geçen yıl artarken buna bağlı olarak dışa bağımlılığımız da artmaktadır. Bunu azaltmak için alınacak tedbirlerden biri de ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan enerjide bir takım tedbirler almaktır. Bu düşünce doğrultusunda son yıllarda konut, işyeri ve kamu alanları ile benzeri binalarda yalıtım öncelikli hale gelmiştir. Şekil 1.1'de Türkiye'nin enerji tüketimi ve enerjide dışa bağımlılığımız belirtilmiştir.



Şekil 1.1 Türkiye'nin Enerji Tüketimi ve Dışa Bağımlılığı.

Dünyada üretilen toplam enerjinin %25'i sanayi üretiminde, %25'i motorlu taşıtların kullanımında, %50'si ise binalarda tüketilmektedir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere, binalardaki tüketim miktarı, üretilen toplam enerji miktarının yarısı kadardır (İzoder, 2003). Yalıtımlı binalarda, yalıtımsız binalara göre %50'ye kadar daha az enerji kullanılmaktadır. Avrupa Birliği'nde, toplam enerjinin %24,6 hane halkları tarafından tüketilir ve bu miktarın yaklaşık %70'i ısıtma enerjisi ile temsil edilir, ancak bu sayı bölgeye göre farklılık gösterir (Koci et al. 2013).

Yalıtım; malzeme üretiminden, uygulanmasına kadar titizlik, hassaslık, çok yönlü detay çalışmasını gerektiren ve birçok bilim dalını ilgilendiren bir sistem bütünü olup, yapı fiziği koludur. Yapı içerisindeki fiziksel hareketleri denetim altında tutmak ve düzenlemek için alınması gerekli önlemleri inceler (Akıncı 2007). Yalıtım, yapıyı ısıya, neme, sese, yangına karşı korumak için alınan önlemlerdir. Yalıtım çeşitleri aşağıda verilmiştir.

*Isı Yalıtımı

*Ses Yalıtımı

*Su Yalıtımı

*Yangın Yalıtımı

1.1 Literatür Taraması

Dey vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; fiber takviyeli gözenekli betonun darbe tepkisi; aletli darbe cihazının serbest düşmesine dayalı üç noktalı bir bükülme testi altında araştırılmıştır. Gözenekli betonun iki türü; demirsiz otoklavlanmış gözenekli beton (AAC) ve polimerik fiber takviyeli gözenekli beton (FRAC); test edilmiştir. Kıyaslamalar; sertlik, bükülme mukavemeti, şekil değiştirme kapasitesi ve enerji emilimi kapasitesi bazında yapılmıştır. Darbe enerjisinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi farklı örnek boyutları için araştırılmıştır. Darbe altındaki dinamik bükülme etkisinin, statik bükülme etkisinden 1,5 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Her iki malzeme de darbe altında benzer bükülme yükü taşıma kapasitesi göstermiştir ancak %0,5 polipropilen fiberlerin kullanımı, üç kat daha yüksek bükülme tokluğuyla sonuçlanmıştır. Uygulanan aletli darbe testinin; gözenekli beton ürünleri gibi çimento esaslı malzemelerin darbe direncini ölçmek için iyi bir yöntem olduğu ortaya çıkmıştır.

Yıldız vd. (2010) yaptıkları çalışmada dayanım sınıfı C30 olarak belirlenmiş, farklı oranlardaki cam elyaf katkısının betonun basınç ve çekme dayanımı üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla, C30 beton sınıfında, sabit su/çimento oranına sahip 300 ve 350 dozlu beton numuneler hazırlanarak bu numunelerin ultrases geçiş hızı, basınç ve yarmada çekme dayanımları incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde özellikle 5 ve 10 kg/m³ cam lif katkısının beton basınç dayanımına olumlu etkisi gözlenmiştir. Ayrıca, cam lif oranındaki artışa bağlı olarak betonların çekme dayanımlarında artış meydana gelirken, ultrases geçiş hızlarında da düşüşler meydana gelmiştir.

Altun (2006)'un yaptığı çalışmada, 400 dozajlı hafif betona Dramix RC-80/60-BN tipi çelik lifler 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 kg/m³ dozajlarında katılmıştır. Numuneler 28 gün sonunda kırılarak birim hacim ağırlıkları, 28 günlük basınç dayanımları, elastisite modülleri ve tokluk değerleri deneysel olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda; çelik lif katkısının sabit çimento dozajlı hafif betonun basınç dayanımı ile elastisite modüllerini değiştirmezken, tokluk değerini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Özel vd. (2011) yaptıkları çalışmada, sabit su/çimento oranında (0.55) ve iki farklı çimento tipi (CEM II/B-M (P-LL) 32,5 N ve CEM I 42,5 R) kullanılarak hazırlanmış karışımlarda polipropilen fiberlere (PPF) alternatif olarak endüstriyel atık olan polietilen tereftalat'ların (PET) betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Üretilen betonlarda, agrega yerine farklı oranlarda kullanılan PET'lerin betonun taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkilesi PPF'li betonlarla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre PET kullanım miktarına bağlı olarak betonun mekanik ve fiziksel performansını düşürdüğü, fakat piyasada kullanılan PPF'lere göre alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Arısoy (2005)'un yaptığı çalışmada, rasgele dağıtılmış kısa Polyvinyl alcohol (PVA) liflerle donatılmış yapay hafif agregalar (cenosphere) kullanılarak üretilmiş betonların dayanımlarının ve sünekliğinin artırılması için en uygun malzeme karışımının yada optimum malzeme karışımının (optimal mix design) performans dayalı tasarım yöntemi kullanılarak belirlenmesi anlatılmıştır. Performansa dayalı optimum malzeme karışım analizinde, çeşitli yükler altında malzemedan beklenen davranışın önceden belirlenip, bu doğrultuda değişik ölçütlerde en iyi karışım belirlenir. Bu çalışmada yüksek mertebelerde süneklik gösteren bir malzeme elde etmek hedeflenmiştir. Yöntem olarak kırılma mekaniğinden yararlanılmıştır. Normal betona kıyasla düşük dayanımlı olan hafif betonun rasgele dağıtılmış kısa liflerle donatıldığında sünekliğinin yanı sıra eğilme dayanımında önemli ölçülerde, hafif beton ile kıyaslandığında basınç dayanımında az ölçülerde artış kaydedilmiştir. Bu çalışmada hazırlanan lif hacim fraksiyonu 0.015 olan PVA lifli, yapay hafif agregalı beton birim ağırlığında normal betona kıyasla yüzde 30 ile 120 oranında azalma, buna karşılık eğilme gerilmesinde yüzde 50 ile 250 oranında artışlar kaydedilmiştir.

Bonakdar vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada; FRAC bloklarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin karakterize edebilmek için çeşitli aletli deneyler yapılmıştır. Fiber takviyeli gözenekli beton (FRAC); kısa polimerik fiberli iç donatıyı kapsayan yeni geliştirilmiş bir gözenekli hafif betondur. Otoklavlama süreci, FRAC üretim sürecinden çıkarılmıştır ve kütleme oda sıcaklığında gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma; mikro ölçekte ve makro-ölçekte gözenek yapısının incelenmesini içermektedir; blok içerisindeki basınç mukavemetinin ve yoğunluğun varyasyonları, basınç, bükülme ve çekme özellikleri, darbe direnci, ısı iletkenlik. Ayrıca fiber içeriğin FRAC'ın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve demirsiz otoklavlanmış gözenekli beton (AAC) ile kıyaslanmıştır. En yüksek fiber içerikli FRAC'ta elde edilen aletli deneysel sonuçlar; basınç mukavemetinin yaklaşık 3 MPa, bükülme mukavemetinin 0,56 Mpa, bükülme tokluğunun 25 Nm'den fazla ve ısı iletkenliği 0,15 W/mK olduğunu göstermiştir.

Düzgün (2001)'ün, yapmış olduğu yüksek lisans tezinde dozaj (300 kg/m^3) sabit tutulmuş, normal agrega hacimce % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında azaltılarak yerine Van'ın Erciş ilçesinden ve Erzurum'un Pasinler ilçesinden temin edilen pomza ilave edilmiştir. Elde edilen her bir karışıma da yine hacimce % 0, % 0,5, % 1,0 ve % 1,5 oranlarında, 60 mm uzunluğunda ve 0,80 mm çapında çengelli çelik lif ilave edilerek 3 ± 1 cm sabit çökme değerine sahip betonlar üretilmiştir. Üretilen betonların her birinin taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri belirlenmiş ve daha sonra kontrol numunelerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak suretiyle pomza ile üretilen hafif beton karışımlarına çelik lif ilave edilmesinin betonun özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, karışımdaki çelik lif oranının artmasının betonun birim ağırlığını fazla etkilemediğini, fakat basınç mukavemetini, çekme mukavemetini, eğilme mukavemetini, elastisite modülünü, ve deformasyon yapabilme kabiliyetini artırdığını göstermiştir. Sonuç olarak hafif agregalı betonlarda çelik lif kullanılmasıyla, bir yapı elemanında aranan hafiflik, ısı ve ses izolasyonu, ve mukavemet gibi özellikler aynı anda sağlanmıştır. Böylelikle yapının ağırlığı azaltılarak daha ekonomik çözümler gerçekleştirmenin mümkün olacağı belirtilmiştir.

Ünal vd. (2006) yaptıkları çalışmada, çelik lif katkılı betonlarda farklı lif tipi ve miktarının, basınç ve eğilme altındaki betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Beton serilerinin üretiminde, en büyük tane çapı 22 mm olan dört farklı agrega kullanılmıştır. Çimento dozajı 325 kg/m^3 , su/çimento oranı 0,60 olarak sabit tutulmuştur. Karışımlarda narinlik oranları 60 ve 80 olan iki farklı lif tipinde ve 0 (kontrol), 15, 30, 45 ve 60 kg/m^3 olarak 5 farklı lif içeriğinde olmak üzere toplam 10 farklı seri üretilmiştir. Lif katkılı betonların basınç ve eğilme altındaki mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla $\emptyset 150 \times 300 \text{ mm}$. boyutlarında silindir numuneler ile $100 \times 100 \times 350 \text{ mm}$. boyutlarında prizmatik numuneler kullanılmıştır. Silindir numuneler üzerinde basınç altında gerilme-şekil değiştirme davranışı, prizmatik numuneler üzerinde de eğilme dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak betona ilave edilen lifler, betonun basınç altındaki gerilme-şekil değiştirme yeteneğini ve eğilme dayanımını arttırdığı gözlenmiştir.

Mousa and Uddin (2009) tarafından yapılan çalışmada ise hibrid fiber takviyeli polimer (FRP) otoklavlanmış gözenekli beton (AAC) panellerinin yapısal özellikleri araştırılmıştır. FRP katmanları; çok yüksek sertlikte bir panel oluşturarak demirsiz AAC'yi dışarıdan desteklemek üzere kullanılabilir. Elde edilen hibrid FRP/AAC paneli, yapılandırılmış ya da yapılandırılmamış konut inşaatı ögesi olarak kullanılabilir. Bunu sağlamak için FRP/AAC panelleri üretilmiş ve teste hazırlanmıştır. Numuneler; gelişmiş yarı mekanik işleme tekniği VARTM (Vakum Destekli Reçine Aktarımlı Kalıplama) kullanılarak işlenir. FRP/AAC panel kavramı; çekirdek malzemeye bağlı güçlü ve sert yüzeylerle sandviç yapı teorisine dayanmaktadır, AAC panele bağlı FRP kompozitler gibi. FRP kompozit malzeme, epoksi reçineli temele gömülü karbon destekli yapılardan yapılmıştır. Paneller, mukavemet ve süneklik (çekilme) tepkilerini araştırmak için dört noktalı bükülme testi ile test edilmiştir. Deney sonuçları; FRP katmanlarının, FRP/AAC panellerinin mukavemet ve sünekliği üzerinde çok önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. FRP/AAC öğrelerin mukavemetini öngörmek için teorik bir analiz yapılmıştır ve bulunan sonuçlar deneysel sonuçlarla uyumluluk göstermiştir.

Özçelik (2013) tarafından yapılan çalışmada, birçok sektörde (ambalaj, inşaat vb.) kullanılan genleştirilmiş polistiren köpük (EPS) atıkların geri dönüşümü ve granül şeklinde genleştirilmiş polistiren köpüklerin hafif beton üretiminde kullanılabilmesi araştırılmıştır. Hafif beton kum, çimento, su, katkı maddesi ve genleştirilmiş polistiren köpük karıştırıcı ile karıştırılarak üretilmiştir. Hafif betonların üretiminde çimento miktarının (ağırlıkça) % 1, % 1,5 ve % 2 oranında atık EPS polistiren köpük granülleri kullanılmıştır. Elde edilen hafif betonun karakteristik özellikleri basınç, eğilme, su emme ve ısı iletkenlik testleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, hafif betonların birim hacim ağırlık, rötre dayanımı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan basınç dayanım testleri sonucunda, en yüksek basınç dayanımı % 1 EPS ilave edilen hafif betonda 6,246 N/mm², en düşük basınç dayanımı % 2 EPS ilave edilen hafif betonda 5,209 N/mm² sağlanmıştır. Eğilme testleri sonuçlarında, en yüksek eğilme dayanımı % 1 EPS oranında üretilen hafif betonda 2,081 N/mm², en düşük eğilme % 2 EPS oranında üretilen hafif betonda dayanımı 1,763 N/mm² değeri ile elde edilmiştir.

Su emme testi sonuçlarına göre, % 1 EPS ilave edilen hafif betonların % 2 EPS ilave edilen hafif betonlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yine su emme testlerinde, atık EPS malzemenin betona ilavesi ile elde edilen hafif betonların normal betona göre su emme oranının daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Isıl iletkenlik deney sonuçlarına göre, en düşük ısı iletkenlik değeri % 2 atık EPS polistiren ilave edilen hafif betonda 0,3296 W/mK, en yüksek ısı iletkenlik değeri % 1 atık EPS polistiren katkılı hafif betonda 0,3921 W/mK olarak tespit edilmiştir. EPS polistiren köpük granüllerin katkı oranlarının artması sonucu ısı iletkenlik değerinin azaldığı, ısı yalıtım değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, atık EPS polistiren katkılı hafif betonların yalıtımlı ve yarı taşıyıcı olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Yüksek performanslı beton üretiminde başta çelik lifler olmak üzere, polipropilen lifler, bazı polimer esaslı lifler ve cam lifleri de kullanılmaktadır. Lif eklenmesi, harç ve betonun mekanik özelliklerinin önemli ölçüde artmasını sağlamıştır. Lifli betonda, lifsiz betona göre oluşan en önemli performans artışı, kırılma sırasında enerji yutma kapasitesinin artmasından ileri gelmektedir (Kurt 2006).

Kurt (2006) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, cam lifi içeriği ve su/çimento oranı değiştirilerek sekiz farklı Cam Lifi Takviyeli Beton (Glass Fibre Reinforced Concrete (GFRC) karışımı üretilmiştir. Bütün karışımlar için elastisite modülü ve standart basınç deneyleri için 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde silindirler hazırlanmıştır. Yarmada çekme deneyleri için 150 mm çapında ve 60 mm yüksekliğinde disk numuneler ve kırılma enerjisi deneyleri için de 280 mm uzunluğunda 50 mm x 10 mm kesitinde kirişler hazırlanmıştır. Değişik oranlarda cam lifi içeren ve farklı su/çimento oranına sahip betonların basınç dayanımları, elastisite modülleri, yarmada çekme dayanımları, kırılma enerjileri, karakteristik boylarının birbiriyle ve cam lifi içermeyen betonlarla karşılaştırılarak mekanik davranış ve özellikler değerlendirilmiştir. Su/çimento oranı 0,34 olan yalın betonun (matris) kırılma enerjisi, cam liflerinin eklenmesiyle 109 katına kadar ulaşmıştır.

Su/çimento oranı 0,36 olan fibrobetonda ise matrise kıyasla kırılma enerjisi 66 kat artmıştır. Cam lifi takviyeli kompozitler yalın olanlara kıyasla daha tok ve sünek davranış sergilemiştir.

Karahan (2006) tarafından yapılan çalışmada; Sugözü uçucu külü katkılı betonlar ile polipropilen lif ve çelik lif ile güçlendirilmiş normal ve uçucu kül katkılı betonların özellikleri araştırılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0,35, bağlayıcı dozajı 400 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Uçucu kül çimento ile kütlece %10, %15, %20, %25, %30 ve %45 ikame oranlarında yer değiştirilmiştir. 19 mm uzunluğundaki polipropilen lif hacimce %0,05, %0,10 ve %0,20 oranlarında ve 35 mm uzunluğunda ve 0,55 mm çapındaki çelik lif ise hacimce %0,25, %0,50, %1,00 ve %1,50 oranlarında normal ve %15 ve %30 uçucu kül katkılı betonlara ilave edilmiştir. Betonlar üzerinde puzolanik aktiflik, birim ağırlık, işlenebilme, basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, tokluk, yarmada çekme dayanımı, aşınma, rötre, boşluk oranı, su emme, kapiler su emme, karbonatlaşma, ultrasonik hız ve donma çözülme deneyleri yürütülmüştür. Polipropilen lifin ve artan lif oranlarında özellikle %0.05 oranından sonra betonların dayanım ve dayanıklılık özelliklerine pek bir etkisi görülmemiştir. Çelik lifin özellikle lif hacmi değişimine bağlı olarak betonun eğilme dayanımı, tokluk, yarmada çekme dayanımı, aşınma ve rötre gibi özelliklerini önemli ölçüde olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Enerji tasarrufundan kaynaklanan ekonomik kazanç ve gün geçtikçe hissedilen çevreyi koruma gereği, ayrıca uçucu külün taze ve sertleşmiş betonun birtakım özelliklerini iyi yönde etkilemesi, uçucu külün lifli betonlarda kullanılmasının başlıca nedenleridir. Çalışmaların sonucunda, Sugözü uçucu külünün %30 oranlarına kadar normal ve liflerle güçlendirilmiş betonlarda mineral katkı olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Demirel (2007) tarafından yapılan çalışmada; silis dumanı ve uçucu kül gibi mineral katkıların karbon fiber takviyeli hafif beton üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Numune serileri hazırlanırken, silis dumanı, uçucu kül, CEM I 42,5 portland çimento, pomza agregası ve karbon fiber kullanılmıştır.

Çalışma için, mineral katkısız hafif beton, %10 silis dumanı katkılı hafif beton, %15 uçucu kül katkılı hafif beton olmak üzere 3 çeşit seri hazırlanmıştır. Tüm serilere çimento ağırlığının %0,5 oranında karbon fiber ilave edilerek sadece mineral katkının etkisi kıyaslanmıştır. Numunelerin etüv kurusu yoğunlukları tespit edilmiştir. Kür süresini tamamlayan küp numunelere, önce tahribatsız deney yöntemi olan ultrasonik ses hızı deneyi, daha sonra basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Prizma numunelere ise eğilmede çekme deneyi yapılmış ve mineral katkının karbon fiberli hafif betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Laukaitis vd. (2009) yaptıkları çalışmada; hidrofilize edilmiş ve edilmemiş karbonun, polipropenin, bazalt ve kaolin fiber katkılarının gözenekli otoklavlanmış beton (AAC) biçimlendirme karışımının özellikleri ve aynı şekilde final ürünün özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hem hidrofilize edilmiş hem de hidrofilize edilmemiş tüm bu fiber katkıların, biçimlendirme karışımının akışkanlığı ve şişmesi üzerinde etkisi vardır ve plastik mukavemeti arttırır. Katı bileşen kitlesi % 0,1 ile % 0,4 sınırları içerisindeki her bir fiber katkının artan içeriği ile birlikte biçimlendirme karışımlarının akışkanlığı ve şişmesi düşerken, plastik mukavemet artar. Araştırılan, hidrofilize edilmiş ve edilmemiş, tüm fiber katkıları; AAC'nin basınç mukavemetini ve bükülme mukavemetini arttırmıştır. En iyi basınç ve bükülme mukavemetini elde etmek için eklenmesi gereken optimum fiber katkı içeriği; biçimlendirme karışımındaki kuru malzemenin % 0,3'ü ile hesaplanmıştır. Fiber katkıları, basınç ve bağlanma mukavemetini arttırma kapasitesine göre şu sırayla sıralanabilir; karbon fiber > polipropen fiber > bazalt fiber > kaolin fiber. Tüm fiber katkıları, bükülme mukavemetini basınç mukavemetinden daha fazla arttırmıştır. Hidrofilize edilmiş fiberler, betonun basınç ve bükülme mukavemetini hidrofilize edilmemiş fiberlere göre daha fazla arttırmıştır. Fiber destekli gazbeton yapısına ilişkin elektron mikroskobu taranarak elde edilen araştırma sonuçlarına ve otoklav içerisinde alkalin solüsyonla işleme karşı kimyasal dirençlerini ortaya çıkarmak amacıyla donatı için kullanılan fiberle ilgili yapılan daha önceki araştırmaların sonuçlarına dayanarak fiber katkıların özelliklerinin donatı verimliliği üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

Yukarıda verilen literatür çalışmalarını çoğaltmak mümkündür. Fakat diğer yapılan çalışmaları incelediğimizde de bu çalışmalara benzer örnekler görmekteyiz. Bu çalışmada, yukarıda verilen diğer çalışmalardan farklı olarak bünyeye borosilikat cam fiber eklenecektir. Ayrıca borosilikat cam fiber katkısı standart gazbetonda değil, daha düşük yoğunluklu, daha hafif, daha çok gözenek içeren bir yapıya sahip olan ısı yalıtım plakası üretiminde kullanılacaktır. Borosilikat cam fiber katkısı ile bünyeye önemli oranda bor da eklenmiş olacaktır. Bor, ısıya dayanıklıdır, ısı yalıtım plakası üretiminde kullanılması avantajdır. Ayrıca bu durum ülkemizde rezervi bulunan bor ve ürünlerinin kullanımına katkı sağlayacaktır.

1.2 Projenin Amacı

İthal ve pahalı yalıtım malzemelerine alternatif tamamen yerli hammaddeler (kalker, silis kumu gibi) kullanılarak üretilebilecek, mineral esaslı, hücre yapılı ancak yapısı doğal/yapay fiberler ve bor mineralleri ile güçlendirilmiş, yanmaz, yeni nesil bir yalıtım malzemesinin geliştirilmesi gerekmektedir. Böylece ısıtma/soğutma amaçlı tüketilen enerjinin verimli kullanımının sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu temel düşünce ile planlanan bu projede, kireç ve kuvarsça zengin hammaddeler, çimento, kalsiyum sülfat ve eser miktarda alüminyum metal tozu ile hazırlanan karışıma borosilikat cam fiberlerin ilavesi ile elde edilen reçetelerin optimize edilecek üretim aşamalarından geçirilerek yüksek ısı yalıtımı yapabilen, yapısı ilave edilecek fiberler ile güçlendirilmiş (kompozit), yanmaz (mineral esaslı), düşük yoğunluklu, yeni, yerli bir yalıtım plakası üretimi hedeflenmiştir.

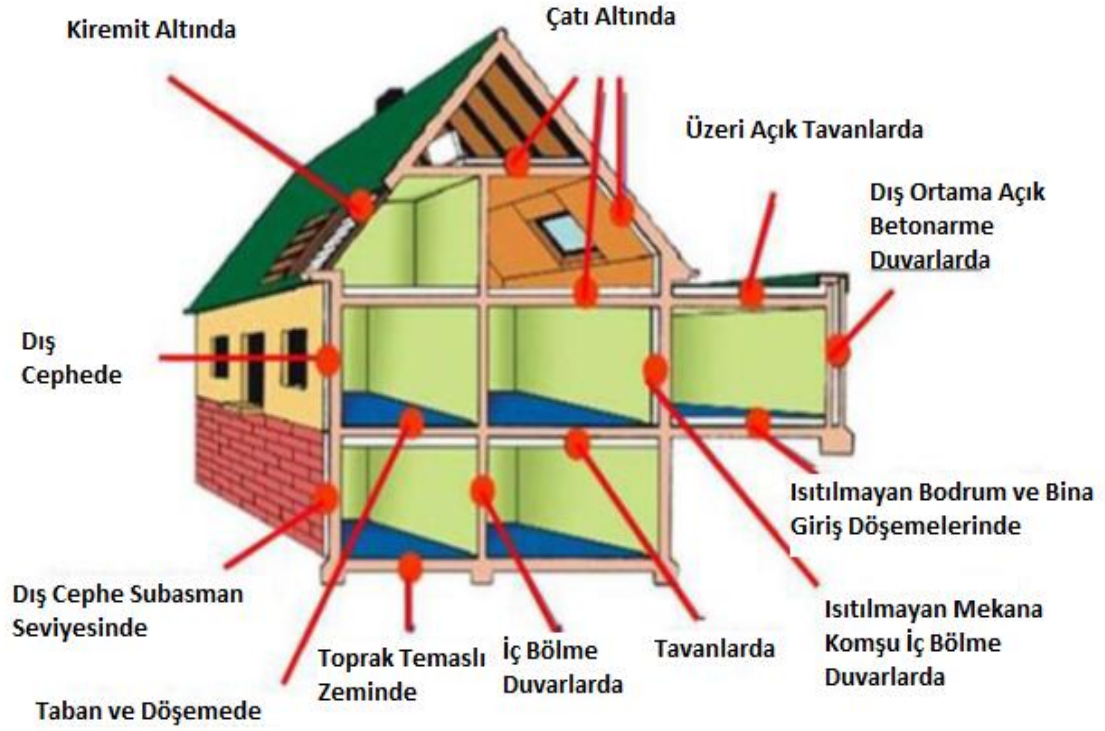
2. ISI YALITIMI

Günlük hayatımızın büyük bir kısmını sıcaklık ve sıcaklık değişimleri kontrol etmektedir. Barınma, giydirme, ısıtma, havalandırma ve yapı yalıtımı; kişinin konforunu sağlayan termal güçleri etkiler. Tasarımcıların, inşaatçıların ve mühendislerin barınak oluştururken aktif ya da pasif olarak sağlamaya çalıştığı “ısı yalıtımı” düşüncesi budur. Yapılarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ortam havalandırmasına gider. Örneğin ortalama bir yapıda kullanılan enerjinin %50-70’i ortamın ısıtılması ve soğutulmasına harcanır (Doe 2002).

Binalar, tüm ülkelerin enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. İklim şartlarının sert olduğu bölgelerde enerjinin önemli bir kısmı, binaların ısıtılmasına ve soğutulmasına gider. Bu ısıtma ve havalandırma yükü, pek çok şekilde azaltılabilir; binanın çevre kaplamasının ve bunun bileşenlerinin doğru tasarlanması ve doğru parçaların seçilmesi en göze çarpan yöntemlerden biridir (Al-Homoud 2004).

Yapı sektöründeki enerji tüketimi tüm enerji tüketimlerinin üzerinde en büyük orana sahiptir (Nature 2008). Özellikle yapı enerjisinin neredeyse yarısı ısıtma ve soğutmada kullanılıyor. Bu enerji de sonunda çevreye dağılıyor. Bu sebeple, bu enerjinin büyük bir bölümü bina yalıtımı artırılırsa (geliştirilirse) tasarruf edilebilir (Kim *et al.* 2012).

Isı yalıtımı yapılmayan yapılarda; dış duvarlar, tavan, merdivenler, pencereler, ısıtılmayan hacimler üzerindeki döşemeler, zemine oturan döşemeler ve açık geçitler üzerindeki döşemeler gibi elemanlarından ısı kaybetmekte olduğu ve bu yüzden binanın ısıtılması ve soğutulması için harcanan enerji miktarı artmaktadır (Özutku 2012). Yapılarda ısı kayıpları; pencerelerden %10-15, tavandan %25, ısı köprülerinden %20-25, duvarlardan %15-25 ve döşemelerden %10 oranında gerçekleşir. Yapılarda meydana gelen ısı kayıplarını engellemek amacıyla ısı yalıtımı uygulanan alanlar Şekil 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.1 Bir Yapıda Isı Yalıtımı Gerektiren Yerler (Ülker 2009).

Binalarda ısı yalıtımının doğru kullanımı, sadece gerekli havalandırma sisteminin boyutunu azaltmaya katkı sağlamakla kalmaz aynı zamanda yıllık enerji masrafını da düşürür. Ayrıca özellikle mevsimler arası dönemlerde mekanik havalandırmaya bağlı kalmadan termal konfor sürecini uzatmaya yardımcı olur.

Isı yalıtımı kullanımının sonucu elde edilen enerji tasarrufunun miktarı; bina tipine, binanın yer aldığı bölgenin iklim şartlarına ve kullanılan yalıtım malzemesinin türüne göre değişiklik gösterir. Yalıtım kullanılmalı mıdır sorusu artık aşılmıştır, pek çok bina sahibinin şu anda aklında olan soru daha çok hangi tür yalıtımın, nasıl ve ne kadar kullanılacağı sorusudur (Al-Homoud 2004).

Isı yalıtımı doğru uygulandığında, iletim, konveksiyon ve ışıma ile ısı akış hızını geciktiren bir malzeme veya malzemelerin kombinasyonudur. Yüksek ısıl direnci ile binanın içine veya dışına ısı akışını geciktirir, yavaşlatır (ASHRAE 2001).

2.1 Isı Transfer Mekanizmaları

Isı, ya da termal enerji, direncin en az olduğu yolu izleyerek, malzemeler ve mekanlar arasında sıcak nesnelerden soğuk nesnelere doğru ilerler. Yalıtım, ısıнын istenilen yerde tutulmasını sağlamaya çalışır. Termal yalıtımın nasıl çalıştığını anlamak; ısı enerjisi transferinin üç mekanizmasını anlamaya yardımcı olur; taşınım (konveksiyon), iletim (kondüksiyon) ve ışıınım (radyasyon).

Kışın ailenin oturma odasındaki ısı; havanın hareketi ile sürekli olarak bodrum, çatı katı, garaj gibi ısıtılmayan mekanlara akar. Bu; ısıнын hareket eden hava ile akmasına bir örnektir ve taşınım (konveksiyon) olarak adlandırılır. Isıнын, sıcak kahveden kupaya ve kupayı tutan ele aktarılması ise başka bir örnektir. Bu; iletim (kondüksiyon) ya da katı maddelerde gerçekleşen ısı transferi süreci olarak bilinir. Üçüncü örnek, çatının güneş enerjisi ile ısınmasında görülebilir. Bu, mekanlar arasında ısı transferinin elektromanyetik dalgalarla (ışım enerjisiyle) oluşmasına bir örnektir, ışıınım (radyasyon) olarak adlandırılır.

2.1.1 Taşınım (Konveksiyon)

Taşınım; ısıнын, bir yerden başka bir yere hareket eden moleküller aracılığıyla fiziksel olarak transferidir. Gaz ya da sıvı gibi akışkan maddeler ısıtıldığında ve bir yerden diğerine taşındığında taşınım gerçekleşir.

Odadaki ılık hava arttığı ve soğuk havanın azalmasını sağladığı zaman; taşınım gerçekleşir. Örneğin hava, ısıtıldığında genleşir ve yükselir. Eğer bu hava hareketi, döşeme menfezi, fan ya da rüzgarla mekanik olarak oluşturulursa zorlamalı (basıncılı) taşınım olarak adlandırılır. Güneş ılık havayı ısıttığı zaman soğuk havanın bir taşınım (konveksiyon) döngüsü oluşturmasına sebep olur ve ısınan hava yükselir; buna serbest taşınım denir. Güneş, binanın camından içeri vurduğunda ve içerideki havayı ısıttığında da serbest taşınım söz konusudur.

2.1.2 İletim (Kondüksiyon)

İletim, katı maddelerde ısı transferinin gerçekleştiği süreçtir; örneğin doğrudan temas halindeki bir ya da iki farklı cisimden oluşan bir malzemedeki direkt ısı akışı. Bilimsel olarak bu aslında, kinetik enerjinin molekülden moleküle transferidir. Bir molekül, enerjiyle hareket kazanır ve ardından etrafındaki molekülleri de hareketlendirir. Dökme demir tavanın sapı, ocağın ateşiyle sağlanan ısı enerjisinin metal üzerinden iletimi sebebiyle ısınır. Bu durum, güneşten ısınmış bir pencereye dokunulduğu zaman da söz konusudur ya da soba maşası ateşte birkaç dakika tutulduktan sonra diğer ucunun da ısınması buna örnektir.

Taşıma ve iletim, yüzey sertliği, hava hareketi ve hava ve yüzey arasındaki sıcaklık farkının fonksiyonlarıdır. Düşük yoğunluklarından ötürü kütle yalıtımları, yapıları içerisindeki hava moleküllerini sıkıştırarak parçalar arasında taşıma ve iletimi önlemek üzere tasarlanır. Taşımalı (konvektif) hava akımları, çevredeki fiber veya tel kalıpla hareketsiz hale getirilir ve hava moleküllerinin çarpışmasından kaynaklanan ısı transferi ihtimali düşer. Köpük yalıtımlar da aynı ilke ile çalışır ama yapıları içerisindeki hava yerine gaz kullanılır.

2.1.3 Işıma (Radyasyon)

Enerji transferinin üçüncü yolu ışımadır. Güneşin, dünya yüzeyini ısıtması bunun kanıtıdır. Bu durum ısıya elektromanyetik dalgalarla transferini ve bu enerjinin yüzey tarafından emilmesini kapsar. Pencereden giren güneşte oturan bir kişi, ışıma ısını absorbe eder. Evin içindeki yüzeyler, ışıma aracılığıyla diğer yüzeylerdeki ısıyı değiştirebilir ki bunun da içerideki ortam sıcaklığı üzerinde bazı etkileri olabilir. Yaz aylarında çatı ve dış duvarlar güneşten gelen ısıyı emdiklerinde; ışımadan kaynaklanan ısı enerjisi evdeki konforu en çok etkileyen faktör haline gelir. Nesneler arasındaki ışımalı ısı transferi, hava akımından bağımsız şekilde gerçekleşir; yüzey özelliği (yayılım kuvveti) ve ışımayı dışa veren ılık nesneler ile ışımayı emen soğuk nesneler arasındaki sıcaklık farkı ile kontrol edilir.

2.2 Isı Yalıtımı Kullanmanın Avantajları

Yapılarda ısı yalıtımı kullanmanın aşağıdaki gibi özetlenebilecek birçok avantajı vardır:

1. Yapılarda ısı yalıtımının kullanılması; yapıların konforlu bir şekilde yönetilmesinde ve dolayısıyla enerjiyi ve ilgili doğal kaynakları korumasında mekanik, elektriksel sistemlere bağıllığı azaltmaya yardımcı olur.

2. Enerji maliyeti bir işletme maliyetidir ve küçük sermaye masrafları ile (bina yapım maliyetinin yaklaşık sadece %5'i) ısı yalıtımının kullanılması büyük enerji tasarrufları sağlayabilir.

3. Isı yalıtımının kullanılması sadece enerji işletme maliyetinde tasarruf sağlamaz. Aynı zamanda mekanik araçların kullanılmasına bağılı olduğundan yayılan çevreye zararlı maddelerin azalmasına sebep olarak çevresel avantajlar sunar.

4. Binalarda artan ısı yalıtımı kullanımı, enerji tasarrufuyla sonuçlanacak ve böylece aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkacaktır:

- Enerji, başkaları tarafından da elde edilebilir.
- Müşteri masrafları düşer.
- Enerji hizmetlerinde daha az kesinti olur (daha iyi bir hizmet sunulur).
- Artan elektrik talebini karşılamak için gereken yeni elektrik üretim tesislerinin kurulma masrafları düşer.
- Sınırlı enerji kaynaklarının ömrü uzar.
- Kaynaklar, ileriki nesiller için korunmuş olur.

5. Binalarda ısı yalıtımının kullanılması sadece mekanik havalandırma sistemlerine olan bağıllığı azaltmaz aynı zamanda kapalı alanlardaki termal konfor süresini arttırır, özellikle de mevsim geçişlerinde.

6. Isı yalıtımının kullanılması, komşu dairelerden ya da dışarıdan gelen rahatsız edici sesleri azaltır. Bu, yalıtımlı binalardaki akustik konforu artıracaktır.

7. Yüksek sıcaklık değişiklikleri, bina yapısına ve içeriklerine zarar verecek istenmeyen ısı hareketlerine sebep olabilir. Binalardaki sıcaklık değişimlerinin minimum seviyede tutulması, bina yapılarının ve içeriklerinin bütünlüğünün korunmasına yardımcı olur. Bu; bina yapılarının ömrünü uzatmaya da yardımcı olan doğru ısı yalıtımının kullanılması ile sağlanabilir.

8. Isı yalıtımının doğru tasarlanması ve yerleştirilmesi; bina yüzeylerindeki buhar yoğunlaşmasının önlenmesine yardımcı olur. Ancak yanlış yalıtım malzemelerinin yerleştirilmesinden ve zayıf tasarımdan kaynaklanabilen olumsuz etkilerin bina yapısına zarar vermesinden sakınmak için dikkatli olunmalıdır. Düşük sıcaklıktaki yalıtım malzemelerine nem girişini önlemek için genellikle buhar bariyerleri kullanılır.

9. Eğer uygun yalıtım malzemesi seçilir ve düzgünce yerleştirilirse, yangın durumunda alevlerin bina içine girmesi önlenebilir ve binanın ısınması geciktirilerek zaman kazanılabilir (Al-Homoud 2004).

3. ISI YALITIM MALZEMELERİ

Isı yalıtım malzemeleri, yapının ısıtma, soğutma enerji tüketiminin azalması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Isı yalıtım malzemelerinin temel özelliklerinden biri de ısı iletim katsayısıdır. ISO (Uluslararası Standartlar Örgütü) ve CEN (Avrupa Standardizasyon Komitesi) 'ne göre ısı iletim katsayısı 0,065 W/mK değerinden düşük olan malzemelere ısı yalıtım malzemeleri denir (İzoder 2003). Çizelge 3.1'de ısı yalıtım malzemelerinin ve yapı malzemelerinin ısı iletim katsayısı ve özgül ağırlık sınırları verilmiştir.

Çizelge 3.1 Isı Yalıtım Malzemelerinin ve Yapı Malzemelerinin Isı İletim Katsayısı ve Özgül Ağırlık Sınırları (Dağsöz 1999).

	Yapı Malzemeleri	Isı Yalıtım Malzemeleri
Isı İletim Katsayısı W/mK	$\lambda \geq 0,15$	$\lambda \leq 0,06$
Özgül Ağırlık kg/m ³	$P \geq 300$	$P \leq 200$

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde; dayanıklılık, maliyet, basınç direnci, su buharı emilimi ve geçirgenliği, yangına dayanıklılık, uygulama kolaylığı ve ısı iletkenliği dahil pek çok değişken göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte ısı performans ve enerji tasarrufu konuları düşünüldüğünde yalıtım malzemelerinin ısıya dayanıklılığı da çok önemli bir özelliktir (Al-Homoud 2004). Yalıtım malzemelerinin seçiminde etkili olan faktörler, ısı performans, maliyet, yapı kolaylığı, dayanıklılık, hava sızdırmazlık, ve ulaşılabilirlik şeklinde özetlenebilir.

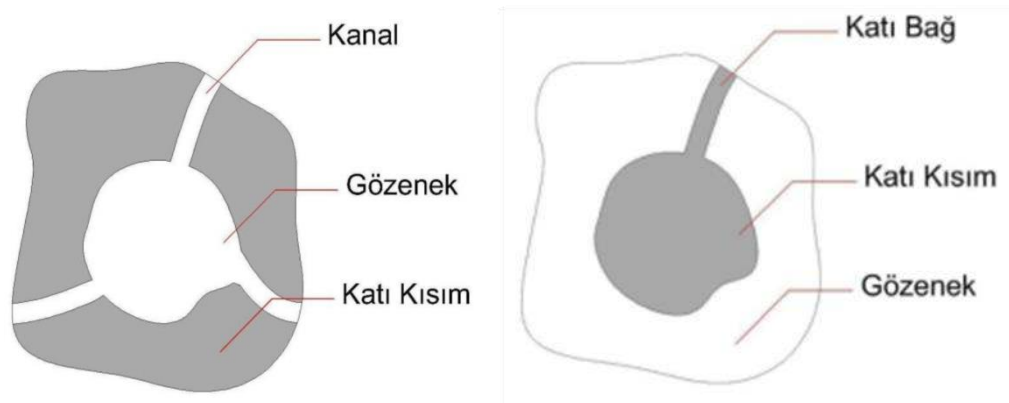
Diğer doğal ya da insan yapımı malzemeler gibi ısı yalıtım malzemeleri de, malzemenin doğası ve etkileyen sıcaklık aralığı ile değişen sıcaklığa bağlı özellikler gösterirler. İşletim sıcaklığının, yalıtım malzemelerinin ısı performansları üzerindeki etkisi pek çok çalışmaya konu olmuştur. Sonuçlar; yüksek sıcaklığa tabi olan yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliğinin yüksek olduğunu ve dolayısıyla yalıtım malzemesinin türüne göre değişen derecelerde çerçeve soğutma yükünün yüksek olduğunu göstermiştir (Budawı 2005).

3.1 Isı Yalıtım Özelliğinde Etkili Olan Yapısal Özellikler

Yapılarına göre değerlendirildiğinde ısı yalıtım malzemeleri temel olarak; lifsel ve hücresel olmak üzere ikiye ayrılır. Malzemelere ısı yalıtım özelliğini bünyesindeki boşluklu yapısı vermektedir. Çünkü bu boşluklar, havayı veya ısı iletkenlik katsayısı düşük olan gazları hapsederek taşınım yoluyla gerçekleşen ısı akımına karşı direnç oluştururlar. Lifsel malzemelerde, ısı iletkenliği düşük ve esnek bitkisel, hayvansal veya mineral kökenli liflerin boşluklu yapı oluşturacak şekilde bir bağlayıcı matris içinde dağılmasıyla ve bu liflerin birbirine bağlanmasıyla ısı yalıtım malzemesi oluşur. Hücresel malzemelerde, mineral veya plastik kökenli maddeler şişirilerek hücre çeperlerinin içinde ısı iletkenliği düşük gazların hapsedilmesiyle ve bu hücrelerin birbirine bağlanmasıyla ısı yalıtım malzemesi oluşur.

3.2 Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması

Isı yalıtım malzemeleri lifli, taneli, film-tabaka, blok veya tek parçadan yapılmış, açık veya kapalı hücreli, kimyasal veya mekanik olarak birbirine bağlanmış veya desteklenmiş karma malzemeler olabilir (Ekinci 2003). Şekil 3.1’de açık gözenek ve kapalı gözenek yapısı verilmiştir. Çizelge 3.2’de ise ısı yalıtım ürünlerinin standartları verilmiştir.

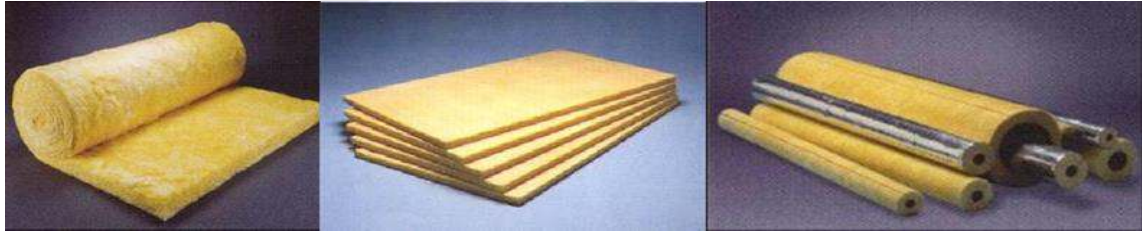


Şekil 3.1 Açık Gözenek (sağda), Kapalı Gözenek (solda) Yapı.

Çizelge 3.2 Isı Yalıtım Malzemeleri Ürün Standartları.

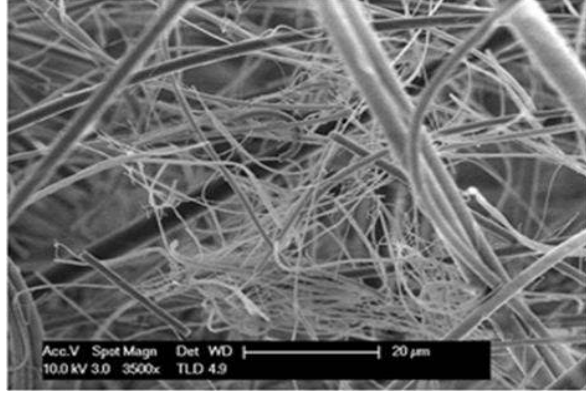
Camyünü	TS 901 EN 13162
Taşyünü	TS 901 EN 13162
Ekspande Polistren (EPS)	TS 7316 EN 13163
Ekstrude Polistren (XPS)	TS 11989 EN 13164
Poliüretan (PUR)	TS EN 13165
Fenol Köpüğü	TS EN 13166
Cam Köpüğü	TS EN 13167
Ahşap Lifli Levhalar	TS EN 13168
Genleştirilmiş Perlit (EPB)	TS EN 13169
Genleştirilmiş Mantar (ICB)	TS EN 13170
Ahşap Yünü Levhalar	TS EN 13171

3.2.1 Cam Yünü



Şekil 3.2 Cam Yünü (İzoder 2013).

İnorganik bir hammadde olan silis kumunun, yüksek basınç altında 1200°C - 1250°C’de ergitilerek, elyaf haline getirilmesi sonucu elde edilir. Farklı yoğunluklarda (14-100 kg/m³) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilebilir (İzoder 2013). Cam yünü ile çalışılırken iş güvenliği önlemlerinin alınması gerekir. Cam yünü üzerindeki olumsuz yaklaşımlar olmasının temelinde kanserojen olduğu bilinen asbeste olan benzerliği ve çalışma sırasında gözlerin, cildin ve solunum yollarının tahrişi gibi problemlere neden olması yatmaktadır (Topçuoğlu 2014). Şekil 3.3’te cam yününün mikroyapısı verilmiştir.



Şekil 3.3 Cam Yününün Mikroyapısı (Kim *et al.* 2012).

Isı iletkenlik hesap değeri 0,04 W/mK ısı iletim katsayısı ile ısı yalıtımında kullanılır. Kullanım sıcaklığı; max. 250 °C'dir. Yoğunluk; 14-100 kg/m³ arası yoğunluklarda üretilir. Yanma sınıfı; yanmaz (Kulaksızoğlu 2006). Şekil 3.4'te cam yünü paneli verilmiştir.



Şekil 3.4 Cam Yünü Paneli (Achchag *et al.* 2009).

3.2.2 Taş Yünü

Taşyünü; kimyasal olarak etkisiz bir alt maddedir, volkanik bir taş olan diyabazdan elde edilir ve gözenekliliği yaklaşık %96'dır (Jørgensen 1975). Ham madde, büyük ocaklarda 1600°C'de akışkan lav haline gelene kadar eritilir. Bu akışkan lav, taşyünü elyafları döndürülerek hızla dönen disklerin içine atılır. Elyafların kalınlık ve uzunluğunu; dönen distlerin hızı, ham maddenin bileşimi ve sıcaklık belirler. Son ürünün fiziksel özelliklerini ayarlamak için eriyik taş kalsiyum karbonat ve diğer katkı maddeleri eklenir.

Elyafların hidrofobik ya da hidrofilik (suyu seven ya da sevmeyen) olmasından katkı maddeleri sorumludur. Sertleştirmek için elyaflar, birbirleriyle sıkıştırılacakları 260°C'deki başka bir fırından geçirilir. Son olarak taşıyıcı blokları, istenen boyutlarda kesilir (Rijck *et al.* 1997). Şekil 3.5'te taş yününün yapısı verilmiştir.



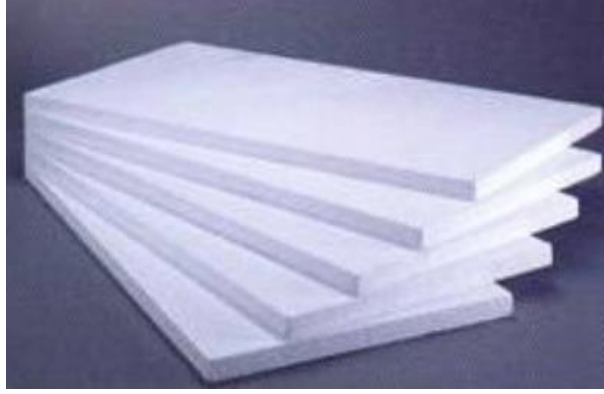
Şekil 3.5 Taş Yünü (İzoder 2013).

Ses yalıtım malzemesi ve sentetik malzemeler için güçlendirme olarak da kullanılsa da taşıyıcı esas olarak ısı yalıtım malzemesi olarak uygulanır. Taşıyıcı kullanımı 1960'ların sonlarında Danimarka'da keşfedilmiştir (De Jaeger 1987).

Taşıyıcı kimyasal olarak etkisizdir dolayısıyla besinleri doğru şekilde sağlamayı ve kök ortamını kontrol etmeyi mümkün kılar. Alkaline çok az tepkimeye girer ve neredeyse hiç iyon içermez. Üretim sırasındaki yüksek sıcaklıklar sayesinde ürünün steril olduğundan emin olunur. 7,5 cm'lik ortak kalınlık, yeterli su teminin ve havalandırmanın makul bir denge kurmasını sağlar (Willumsen 1972).

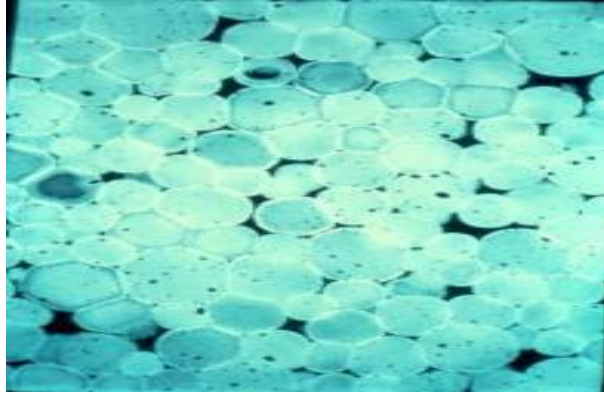
3.2.3 Ekspande Polistiren Köpük (EPS)

EPS, polistirenin, su buharı ve pentan gazı ile işleminin sonucunda elde edilen maddeye verilen isimdir. Polistiren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaştırılması ile elde edilen EPS mamüllerde, taneciklerin şişirilmesi ve köpük elde edilmesi için kullanılan şişirici gaz, pentan gazıdır. En yaygın kullanılan polimerik köpük olan genişletilmiş polistiren (EPS), yalıtılmış yapı levhalarında yalıtımın temeli olarak geniş çapta kullanılır. Şekil 3.6'da genişletilmiş polistiren köpüğün yapısı verilmiştir.



Şekil 3.6 Genleştirilmiş Polistiren Köpük.

Darbe zararlarını hafiftetici paketlenme, koruyucu başlık, çarpışmalara dayanıklı hale getiren yapı, yol dolgusu olarak kullanılan yapı malzemesi, yalıtılmış beton kalıbı ve hafif EPS köpük betonu gibi bir dizi uygulamada kullanılır. EPS; sert, sağlam ve geri dönüştürülebilirdir ayrıca kapalı hücreli gözenekli plastik malzemedir (Horvath 1994). Eps, hafif, iyi bir ısı yalıtım özelliğine sahip, nem direnci, sağlam, düşük termal iletkenliğe sahip olduğu için çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılır (Chen *et al.* 2015). Şekil 3.7’de EPS’nin hücre yapısı verilmiştir.



Şekil 3.7 EPS'nin Hücre Yapısı.

EPS’nin ısı iletkenlik değeri ortalama 0,045 W/Mk’dır (Kulaksızoğlu 2006). Kullanım sıcaklığı kısa süreli olarak 100°C’ye kadar dayanıklı olmasına karşın uzun sürede yoğunluğa bağlı olarak maksimum 75-85°C’ye, minimum olarak -180°C’ye kadar kullanılır. Yanma sınıfı; B1 sınıfı zor alev alan, B2 sınıfı normal alev alan bir ısı yalıtım malzemesidir. Pratik uygulamalar için EPS yoğunlukları 11 ile 30 kg / m³ arasında değişmektedir (Elragi 2006).

EPS bir hidrokarbon olup parlama noktası 360 - 370°C'dir (Dın 54836). Kendiliğinden yanabilmesi için ortam sıcaklığının 490°C'ye ulaşması gerekir (Astm D1929). Yalıtım gibi diğer uygulamalar için daha yüksek yoğunlukta daha verimlidir (VanDorp 1988). Mekanik dayanım; 50 - 150 kPa (5-15 ton/m²) max. basma dayanımı (Kulaksızoğlu 2006).

3.2.4 Extrüde Polistren Köpük (XPS)

Polimerlerin çeşitli reaksiyonlarıyla elde edilen polistirenin banttan çekilmesiyle elde edilir. Kapalı hücreli yapıdadır. Şekil 3.8'de XPS'nin yapısı verilmiştir.



Şekil 3.8 Ekstürüde Polistren Köpük.

Genleştirilmiş polistiren malzeme özellikleriyle benzer özellikler gösterir. Genleştirilmiş polistirende pentan yerine genellikle HFC (hidro floro karbon) ve CO₂ (karbon dioksit) gazı kullanılır. HFC'ler CO₂'ye göre küresel ısınmaya sebep oluş bakımından 3200 kat daha etkilidir. Şekil 3.9'da XPS'nin hücre yapısı verilmiştir.



Şekil 3.9 XPS Hücre Yapısı.

XPS'nin ısı iletkenlik hesap değeri; Yüzeyi pürüzsüz iken 0,027 yüzeyi pürüzlü iken 0,032 W/mK. Kullanım sıcaklığı; -50 ile +70/+80°C'dir. Yanma sınıfı; B1 sınıfı zor alev alan (Kulaksızoğlu 2006).

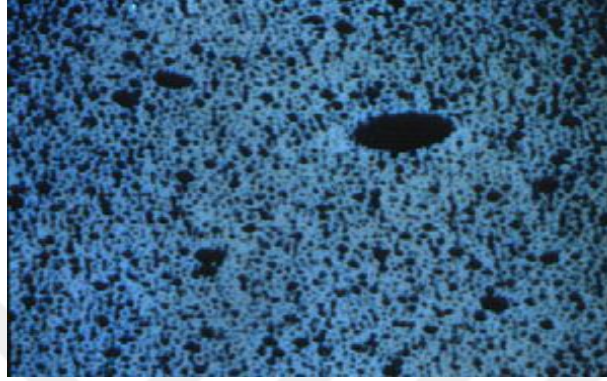
3.2.5 Poliüretan Sert Köpük (PU)

Karma (kapalı ve açık) hücreli yapıdadır. Mükemmel ısı yalıtım özellikleri, dayanıklılık ve yüksek özel mekanik özellikler (ağırlık oranına mukavemet) gibi eşsiz özelliklerinden dolayı sert poliüretan köpükler; bir dizi uygulamada büyük dikkat çekmektedirler. PU köpüklerin performansı; polioli, izosiyanat, katalizör, yüzey etkinleştirici maddeler ve patlatma maddelerinin iyi tasarlanmış formülasyonları ile geniş çaptaki uygulamalara göre optimize edilebilir. Formülasyondaki bir değişiklik; hücresel yapılarını ve polimer bileşenlerinin özelliklerini değiştirerek köpüklerin özelliklerini değiştirir.



Şekil 3.10 Poliüretan Sert Köpük.

Son yıllarda petrol bazlı poli üretan köpüklerin çevresel etkilerden kaynaklanan endişeler; araştırmacıları, yenilenebilir kaynaklardan faydalanan bu köpüklerin üretimine yönlendirmiştir (Kakroodi *et al.* 2014). Şekil 3.11’de poliüretan sert köpüğün hücre yapısı verilmiştir.



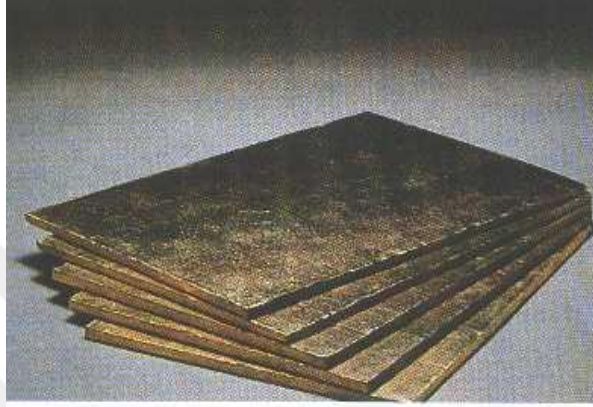
Şekil 3.11 Poliüretan Sert Köpük Hücre Yapısı (İzoder 2013).

Isı iletkenlik hesap değeri 0,035 W/mK’dir. Kullanım sıcaklığı; -200 / +110°C’dir (Kulaksızoğlu 2006).

3.2.6 Fenol Köpüğü (PF)

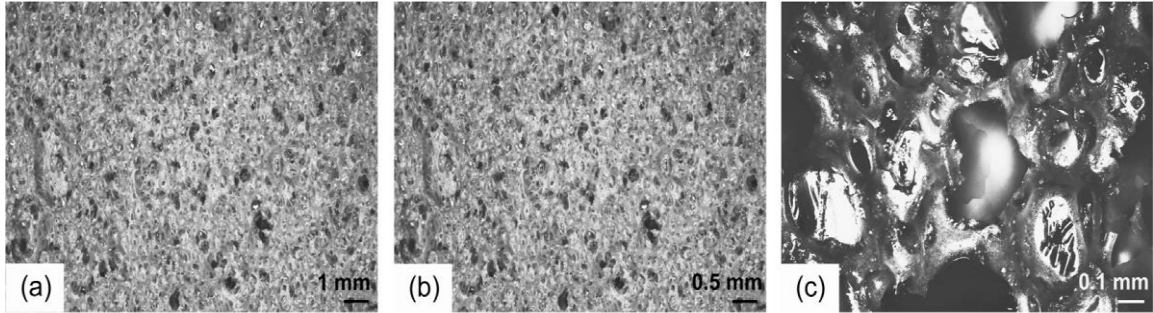
Fenolik köpük; tutuşabilirliğinin düşük olması, zehirli gaz üretiminin az olması ve yanma sırasında damlatma yapmaması gibi mükemmel yanma özellikleri sayesinde son yıllarda büyük dikkat çekmiştir (Desai *et al.* 2008). Bunun yanında düşük ısı iletim katsayısı ile karakterize edilir, geniş bir sıcaklık aralığı içerisinde ısı olarak dengelidir (Papadopoulos 2004). Pazarda yer alan diğer polimerik köpüklerle kıyaslandığında en ucuz köpüklerden biridir. Mükemmel yanma özellikleri dolayısıyla fenolik köpük; inşaat, kimya endüstrisi, uzay uygulamaları ve deniz taşıtları gibi alev, duman ve toksiklik şartları sıkı olan alanlarda pazara hakim olan diğer polimerik köpüklerin, polvinil klorür (PVC), polisitren (PS) ve poliüretan (PU) köpükler gibi, yerini yavaş yavaş almaktadır. Ancak fenolik köpüğün ana dezavantajı; düşük mukavemet ve yüksek ufalanmaya yol açan kendine has kırılabilirliği; bu yüzden yapısal uygulamalarda kullanımı oldukça sınırlıdır.

Bu köpük bir taraftan yüksek yanma özellikleri gerektiren çok geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılırken; bir taraftan da inşaat, denizcilik ve savunma yapılarına gelen çeşitli (basınçlı) patlama saldırılarında, malzemenin direncinin ve basınca tepkisinin doğru şekilde kavranması gerekir (Colombo *et al.* 2015). Şekil 3.12’de fenol köpüğünün yapısı verilmiştir.



Şekil 3.12 Fenol Köpüğü.

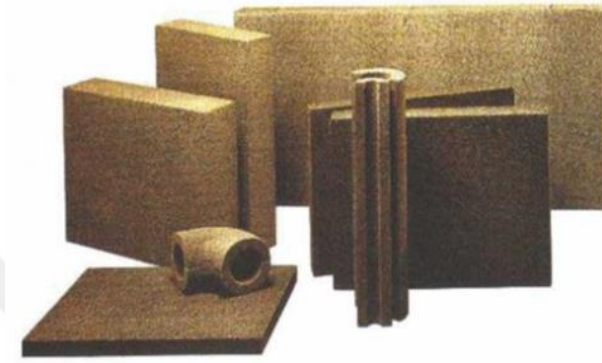
Isı iletkenlik hesap değeri 0.04 W/mK’dir. Kullanım sıcaklığı; -180/+120°C’dir. Yoğunluk; 30-35 kg/m³tür (Kulaksızoğlu 2006). Şekil 3.13’te fenolik köpüğün hücre yapısı verilmiştir.



Şekil 3.13 Mineral fenolik köpük hücre yapısı (a) 10x, (b) 30x, (c) 100x (Martinelli *et al.* 2015).

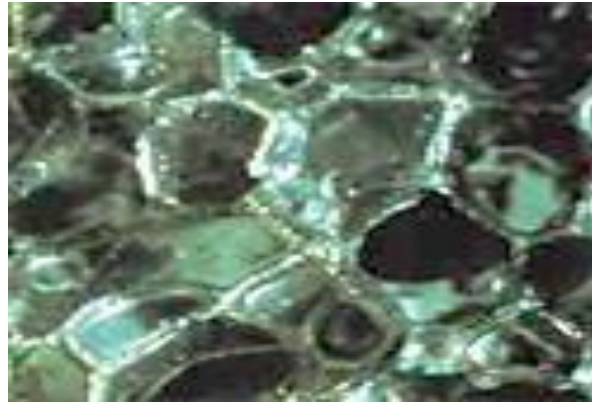
3.2.7 Cam Köpüğü

Köpük cam, açık ya da kapalı ve geçirgen gözeneklilikle üretilebilir. Yalıtıcı çatı, duvar ve yer altı uygulamalarına faydalı olabilir. Ayrıca yapısal parçaları, yangın, nem ve erozyona karşı korumak için de uygulanabilir (Bento *et al.* 2013).



Şekil 3.14 Cam Köpüğü.

Köpük cam üretmek için, kırık camlar ince toz haline getirilir ve köpük yapıcı madde ile karıştırılır. Ardından bu karışım, camın yumuşama sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklara kadar ısıtılır (Hesky *et al.* 2015). Isıl işlem sırasında köpük yapıcı madde, cam tozu ile tepkimeye girer ve gazlı gözenekler oluşturan gazlar meydana gelir. Bu dağınık gözenekler, cam örneğinin hacmini artırır ve hafif, gözenekli bir ürün verir. Isıl işlemin ardından cam köpüğü, oda sıcaklığına soğutulur böylece eriyik cam, gözenekli bir yapı ile katılaşır (König *et al.* 2014).



Şekil 3.15 Cam Köpüğünün Hücre Yapısı.

Cam köpüğünün ısı iletkenlik hesap değeri 0,052 W/mK'dir. Kullanım sıcaklığı; -260 / +430°C'dir. Yoğunluğu 100-200 kg/m³ arasındadır.(Kulaksızoğlu 2006).

3.2.8 Ahşap Yünü Levhalar

Uzun lifler haline getirilmiş ahşap talaşının bağlayıcılarla yüksek sıcaklıkta preslenerek şekil verilmesiyle üretilen yalıtım ürünüdür. İnşaat sektöründe genellikle heraklit olarak bilinir.



Şekil 3.16 Ahşap Yünlü Levhalar.

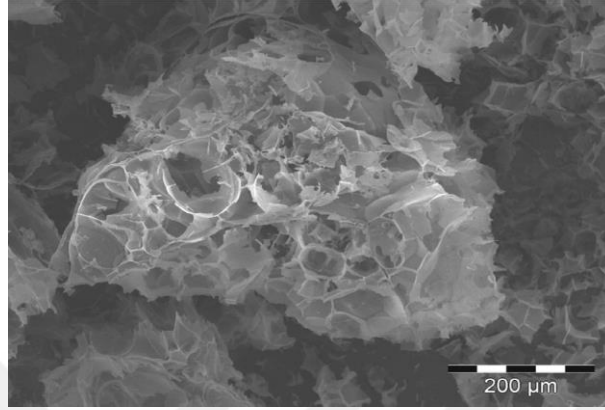
3.2.9 Genleştirilmiş Perlit (EPB)

Sülfatlı organik bir taş olan perlitin genleştirilmesiyle ve alçı, bitüm veya parafin gibi reçinelerle bağlanmasıyla elde edilir. Karma (açık ve kapalı) hücreli yapıdadır.



Şekil 3.17 Genleştirilmiş Perlit.

Kullanım sıcaklığı $-250 / +1000^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. A sınıfı yanmazdır. Isıl iletkenlik hesap değeri $0,045-0,065 \text{ W/m.K}$ 'dir.(Kulaksızoğlu 2006). Şekil 3.18'de genleştirilmiş perlitin SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.18 Genleştirilmiş Perlitin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüsü (Liu *et al.* 2014).

3.2.10 Genleştirilmiş Mantar (ICB)

Gözenekli yapıya sahip olan mantar doğadan toplanarak granül haline getirilir. Granüllerin yüksek sıcaklıktaki buharda preslenmesi ve şekillendirilmesiyle mantar plakalar elde edilir. Mantar levhalar, güneş ışınlarından etkilenmezler. Kullanım sıcaklığı $-180/+100^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. Isıl iletkenlik hesap değeri $0,045-0,055 \text{ W/m.K}$ 'dir (Kulaksızoğlu 2006). Şekil 3.19'da genleştirilmiş mantar levhaların yapısı verilmiştir.



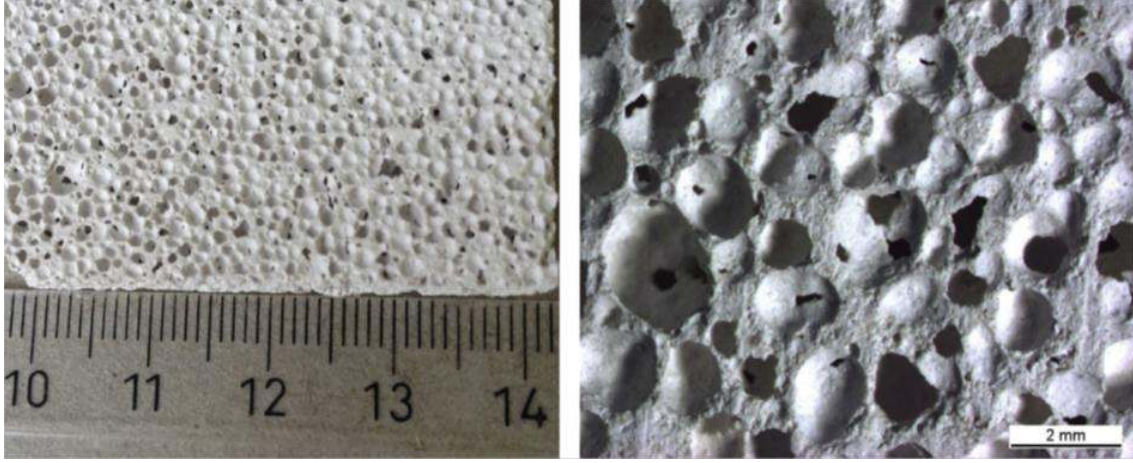
Şekil 3.19 Genleştirilmiş Mantar Levhalar.

3.2.11 Gazbeton

Kalsiyum silikat (Ca_2SiO_4), inorganik, nem emen ve kapiler etken bir yalıtım malzemesidir. Sulu kalsiyum silikat ve takviye elyafından oluşur. Kireç ve silika tozunun sulu harcını fiber dolgu ekleyerek otoklavlayarak üretilir. Elde edilen karışım istenilen şekillere sokulur (VanBelleghem 2014). Yüksek sıcaklıklara direnci sayesinde genellikle yüksek sıcaklığa ya da yangına dayanıklı yalıtım amacıyla kullanılır. Genellikle endüstrinin ihtiyaç duyduğu kazanlarda, fırınlarda kullanılır. Ayrıca su buharı bariyeri olmayan iç termal yalıtımda termal yalıtım malzemesi olarak sıklıkla kullanılır, örneğin ön cephesinin orijinal görünümünün korunması gereken tarihi yapılarda kullanılır (Pavlík *et al.* 2012).

Malzemenin yüksek nem tamponlama kapasitesi, nemlilik değişimlerinin arttırılmasını sağlar; yüksek kapiler etkinlik dolayısıyla bina bileşenleri arasındaki yoğunlaşma dağıtılabilir ve malzemenin dışına taşınabilir (VanBelleghem *et al.* 2014). Malzemenin kapiler nem içeriği tuğladan daha yüksektir. Kalsiyum silikatın gözenek hacmi dağılımı; nem çeken bölgedeki önemli bir ince gözenek kısmı ve kapiler bölgedeki kalın gözenek kısmı dahil geniş bir gözenek sistemi ile karakterize edilir. Gözenek boyutu, birkaç nanometreden bir milimetreye kadar değişir.

Gazbeton, gözenekli bir yapı malzemesi olup ısı iletim katsayısı 0,55 W/mK'dir. Gazbeton gerçekte hava gözenekli kalsiyum silikattır. Hafif beton grubundan gazbeton; kuvarsit kum, çimento, kireç ve alçıtaşının (kalsiyum sülfat dihidrat) bir karışımıdır. Ayrıca içerisinde malzemeyi bağlamak için eser miktarda alüminyum tozu da vardır. Çimento için mineral katkı maddesinin kullanımına karşı artan bir ilgi vardır (Owsiak *et al.* 2015). Şekil 3.20'de gazbetonun çıplak gözle görülen ve mikroskopta incelenen gözenek yapısı verilmiştir.



Şekil 3.20 Çıplak Gözle Görülen (solda) ve Mikroskopta (sağda) İncelenen AAC Örneklerinin Gözenek Yapısı (Wakili *et al.* 2015).

Yapısındaki hava kabarcıkları sebebiyle bu malzemeye gazbeton adı verilmektedir. İngilizce adı "Autoclaved Aerated Concrete" (AAC), Almanca adı ise "Porenbeton"dur. Gazbeton ile ilgili ilk patent 1923 yılında İsveçli Johann Eriksson tarafından alınmıştır. Bu patent otoklav kürü ve buhar kürü uygulanan betonlarda alüminyum tozu kullanmayı kapsamaktaydı. Geniş kullanım özelliği ve hafifliği nedeni ile gazbeton inşaat sektöründe önemli bir yere sahiptir.

Gazbeton gözenekli bir yapıya sahiptir, hava ve su geçirgenliği vardır ve bu geçirgenlik AAC'nin yapısı için gereklidir. Gazbeton (AAC), aynı anda iki amaca hizmet eden inşaat malzemelerine bir örnektir; hem yük taşıma hem de termal yalıtım kapasitesi vardır. Gazbeton (AAC), karmaşık bir mikroyapı olmaktan ziyade önemli bir yapı malzemesidir. Hacminin %60 ile %90'ı gözeneklerden meydana gelir ki bu gözenekler makro ve mikro kapillerler ve yapay hava boşlukları olarak sınıflandırılırlar ve çapları 10 nm ile 4 nm arasındadır (Kadashevich 2004). Pek çok malzeme gibi AAC'nin mikroyapısı da mukavemet, sertlik, nem ve ısı aktarımı gibi kitlesel özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Kadashevich *et al.* 2004). AAC durumunda en önemli malzeme parametresinin, gözeneklilik ya da hacim yoğunluğu (gevşek yığın birim ağırlığı) olduğu iyi bilinmektedir. Ayrıca geometrik gözenek yapısının homojensizlik derecesinin önemli bir rol oynadığı da iyi bilinmektedir (Schlegel *et al.* 2002). Gazbetonun özelliklerini fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler olarak 3 başlık altında inceleyebiliriz.

3.2.11.1 Gazbetonun Fiziksel Özellikleri

* Malzeme içyapısı, rengi ve yüzey yapısı: Gazbeton malzemenin yapısında 0,5-1,5 mm arasında küresel makro gözenekler vardır. Bu makro gözenekler mikrogözeneklere çevrelenmiştir. Gazbeton, kullanılan silisli hammaddenin cinsine bağlı olarak beyaz, gri veya pembe renklerde olabilir. Yaygın olarak kuvarsit kullanıldığından renk genellikle beyazdır. Kesme makinelerinde kullanılan çelik tellerin özelliğine bağlı olarak imalat yüzeyleri düz veya çizgili- pürüzlü olabilir.

* Özgül ağırlığı: Gazbeton malzemenin ortalama boşluksuz özgül ağırlığı 2,60 kg/dm³' dır.

* Porozite: Gazbetonun porozitesi kuru birim hacim ağırlığı ile ters orantılı olarak değişmektedir.

* Isı iletkenlik: Gazbetonun %80'ini oluşturan mikro ve makro gözenekler, malzemeye düşük bir ısı iletkenlik değeri sağlamaktadır. Isı iletkenlik katsayısı, malzemenin kuru birim hacim ağırlığı ve nem içeriğine bağlı olarak değişim göstermektedir

* Isıl genleşme: Gazbetonun ısı genleşme katsayısı, 20-100°C arasında 0,008 mm/m°C'dir.

* Özgül ısı: Özgül ısı katsayısı, malzemenin ağırlıkça %2-5 denge neme sahip olduğu durumda 0,24-0,26 Kcal/kg°C'dir.

* Erime noktası: Gazbeton, 1000 °C civarında sinterleşmeye (camsılaşmaya), 1100-1200 °C civarında da erimeye başlamaktadır.

* Rötire: Gazbeton, bünyesindeki nem miktarı azaldıkça hacim kaybetmekte, arttıkça da hacim kazanmaktadır. Bu değişim, 4x4x16 cm'lik dikdörtgen prizma örneklerle tespit edilir. TS 453, ağırlıkça % 3,5 ve % 20 arasındaki nem durumunda, hacim değişmesini

0,5 mm/m olarak sınırlandırılmıştır. Üretilen örneklerde bu değer 0,15 mm/m'ye kadar düşebildiği belirtilmektedir.

* Denge nemi: Yapı malzemeleri, başlangıçta içerdikleri üretim, nakliye ve inşaat nemini zaman içinde atarak, belli bir sabit nem derecesine gelirler. Denge nemi adı verilen bu durum, gazbetonun kuru birim ağırlığına ve ortamın bağıl hava nemine bağlı olarak küçük farklılıklar gösterir.

* Su emme-kuruma: Yapay taş malzemelerin su emmesinin başlıca nedeni (üretim hataları dikkate alınmazsa), üretim suyunun açığa çıkan kısmının bünyeden atılırken oluşturduğu kılcal yapıdır. Üretim sırasında karışıma verilen suyun pek az miktarda 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 nokta da, 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. Suyu doymuş duruma gelen yapı malzemesinin içerdiği nem miktarı, o malzemenin su kapasitesini belirlemektedir. Yapı malzemelerinde su kapasitesi toplam boşluk miktarına yaklaştığı oranda, malzeme donmaya karşı hassas duruma gelmekte, ayrıca nemin etkisi ile ısı yalıtım özelliğini kaybetmektedir. Gazbeton malzemenin, suya doygun durumdayken dahi, bünyesindeki boşlukların yaklaşık % 60'ının kuru kaldığı belirtilmektedir.

* Buhar geçirgenlik: Gazbeton, gözenekli yapısı sayesinde düşük bir buhar geçirgenlik direncine ($\mu=5-7$) sahiptir. Bu özellik, malzemenin yapıda rahatlıkla nefes almasını sağlamaktadır.

Ancak, özellikle don bölgelerinde gazbeton duvar çıplak (korumasız) bırakıldığı durumlarda, bu özelliğin malzemenin bünyesine büyük zarar verebildiği gözlemlenmiştir.

* Dona karşı dayanıklılık: Malzemenin nem miktarına bağlıdır. Normal şartlarda, suya doymuş gazbeton malzemenin erişebileceği en yüksek nem miktarının hacimce % 30-35 civarında olduğu belirtilmektedir. Gazbetonun bünyesindeki toplam boşluk miktarının hacimce % 70-85 olduğu göz önüne alınırsa, malzeme bünyesinde buz kristallerinin genleşebileceği kuru bir hacmin bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum, malzemeye dona karşı dayanım sağlamaktadır.

Bunun yanında, özellikle şiddetli bir yağış sonrasında ani bir don durumunda, malzemenin keskin kenar, köşe ve profillerinde suya doymuş durum oluşarak kritik nem miktarı aşılabileceğinden, bu bölgelerde don hasar yapabilmektedir. Kış aylarında, yapıdaki malzemenin bir yüzey kaplaması ile korunması bu sorun ile ilgili iyi bir çözüm olabilmektedir.

* Ateşe karşı dayanım: Gazbetonun yanmadığı kabul edilmektedir. Malzeme bünyesinde 225-450°C arasında basınç mukavemetine etki etmeyen kılcal çatlaklar oluşmaktadır. 500°C'den sonra çatlak sayısında sıcaklığa doğru orantılı olarak artış gözükmemektedir. Basınç mukavemeti, 400°C civarında bir zirveden geçtikten sonra, 740°C civarında başlangıç mukavemetine eşit bir düzeye gelmektedir. Bu noktadan sonra ise, mukavemet büyük bir hızla düşmekte, bu da gerçek sinterleşme başlangıcı anlamına gelmektedir. Benzer durum hacim değişimlerinde de görülmektedir. 300°C sıcaklığa kadar az bir hacim değişmesi olmakta, bu değer 740°C sıcaklığa kadar sabit kalmakta, bundan sonra ise büyük değerlere ulaşmaktadır. Önceden de belirtildiği üzere malzeme, 1000°C civarında sinterleşmeye, 1100-1200°C arasında da erimeye başlamaktadır.

* Ses yalıtımı: Yapılan araştırmalar, gazbeton malzemelerin yüksek gözenekli bir yapıya sahip olmasından ve bu gözeneklerde ses enerjisinin kolaylıkla ısı enerjisine dönüşebilmesinden dolayı, birim alan ağırlıklarına göre ortalama ses yalıtım değerinin, gazbeton malzemelerde diğer bazı yapı malzemelerine göre 2 Db daha yüksek olduğunu göstermektedir.

* Ses yutma: Gazbeton, gözenekli yüzeyi ve yüksek porozitesi nedeniyle ses yutma özelliği bakımından iyi bir malzemedir. Frekansın 125-4000 Hz arasındaki değişimde, gazbeton 1,10-0,27 arasında bir ses yutma katsayısına sahip olmaktadır (Sezer 2010).

3.2.11.2 Gazbetonun Kimyasal Özellikleri

* Kimyasal etkenlere karşı direnç: Gazbeton, silika hidratlardan oluşan alkali bir yapıya sahiptir. pH değeri 9,5-11,0 arasında değişir. Bu bakımdan asidik ortamlardan olumsuz yönde etkilenir. Sülfirik asit, hidroklorid asit, asetik asitmalzeme yapısını, kloridler, sülfatlar ve nitratlar ise donatıyı hasara uğrattırılar. Bu bakımdan da gazbeton, deniz suyuna karşı korunmalıdır. Ortamda yoğun ve devamlı kimyasal agresif maddelerin bulunması halinde, gazbeton malzeme, bu maddelere dayanıklı yüzey kaplamaları ile korunmalıdır.

* Suda çözülme: Gazbetonun mukavemetini sağlayan hidro silikatlar suda çözülmezler. Ancak üretime giren diğer maddeler (kum, kireç, çimento veya su)suda çözülebilen tuzlar içerirlerse, ortam şartlarına göre bu tuzlar malzeme yüzeyinde kristalleşerek çiçeklenme oluşturabilirler. Çiçeklenme, öncelikle eriyik tuz miktarına bağlı olmayıp gazbeton bünyesindeki kılcal su hareketinin hızına ve yüzeydeki kuruma hızına bağlıdır.

3.2.11.3 Gazbetonun Mekanik Özellikleri

Gazbetonun basınç dayanımına etki eden faktörler arasında şekil ve boyut, boşluk oluşturma yöntemi, yükleme yönü, beton yası, su muhtevası, kürlenme yöntemi gelir.

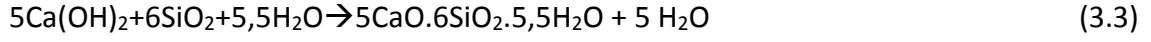
Hava gözeneklerinin gözenek yapısı, gözenek kabuklarının mekanik durumu basınç dayanımını doğrudan etkiler. Genellikle basınç dayanımı yoğunluk artışıyla lineer olarak artar. Bunun sebebi, gözeneklerin azalması sonucu yoğunluğun artmasıdır.

Pratikte gazbetonun yangına dayanıklılığı sıradan betonlardan daha iyidir ya da en az sıradan betonlar kadardır ve yangına maruz kaldığında alevler gazbetonu kuşatamaz. Bu davranışın önemli bir sebebi bu malzemenin sıradan betona göre daha homojen olmasıdır, bu sebeple sıradan betondaki kaba agreganın farklı oranlarda genleşme, çatlama ve parçalanmalara öncülük etmesidir.

3.2.11.4 Gazbeton Üretimi

Hammaddelerin ölçülmüş miktarlarının karıştırılmasıyla gazbeton üretim süreci başlamış olur. Karıştırma işleminden sonra sulu kıvamdaki gazbeton harcı, kalıbın %40'ı dolacak şekilde dökülür (kabarma oluşmadan önce). Bu karışımın kalıplara dökülmesiyle birçok kimyasal reaksiyon meydana gelir. Alüminyum tozu, kalsiyum hidroksit ve suyla reaksiyona girerek hidrojen çıkışına sebep olur. Hidrojen çıkışı sulu beton içinde baloncuklar oluşturarak hacminin artmasını sağlar ve böylece beton kabarak boşluklu bir yapı kazanır. Yaklaşık olarak 30-35 dakika içerisinde gelişen kimyasal reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan hidrojenin oluşturduğu baloncuklar sonucu kabaran, kısmen katılaşmış gazbeton bloğu oluşur. Daha sonra kesilen bloklar buhar kürüne alınır. Kesilen malzeme otoklavda doymuş buhar ile 12 bar basınç ve 190 °C sıcaklıkta yaklaşık 10-12 saat doygun buhar kürüne tabi tutulur. Buhar küründen çıkan ürünler; hafif, gözenekli ve yüksek basınç dayanım özelliğine sahip olur. Gazbetonun geçirdiği kimyasal reaksiyonlar özet olarak aşağıdaki gibidir:





Otoklavlardaki buhar sertleşmesi sonucu, malzemenin bünyesinde çeşitli kalsiyum hidrosilikatlar oluşur. En çok rastlanana 11 A^o Tobermorit (C₂S₆H₅) kristalidir. Seyrek olarak da Xonotlit (C₆S₆H), Gyrolit (C₂S₃H₂), Hillebrandit (C₂SH) ve Afwiilt (C₃S₂H₃) kristallerine rastlanır.

3.3 Isı Yalıtım Malzemelerinin Karşılaştırılması

Isı yalıtım malzemesi olarak kullanılan bu polistren levahlar XPS ve EPS'nin birbirlerine göre avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Her ikisinde üretiminde kullanılan ana malzeme polistroldür. EPS (Expanded Polistiren) Levhalarda şişirme gazı olarak pentan kullanılır. XPS (Ekstrude Polistiren) de HFCL gazı kullanılır. Pentanın hava ile yer değiştirme hızı fazladır. HFCL çevreye karşı zararlı olduğundan bazı ülkelerde kullanımı yasaktır. Bu nedenle üreticiler XPS üretiminde karbondioksit ile şişirme yolunu seçmektedirler. Her iki malzeme de 80°C sıcaklıktan sonra deforme olurlar. EPS, XPS ve polimerik malzemelerin petrol esaslı yapıları nedeniyle yangın güvenirliliği yoktur. Kolayca yanabilirler ve zehirli gaz açığa çıkararak ölümlere neden olurlar. Doğal şartlar altında hacimsel ve kimyasal kararlılıkları bozularak deforme olmaktadır. Çizelge 3.3 incelendiğinde ülkemizde yaygın olarak kullanılan EPS, XPS ve poliüretanın maksimum kullanım sıcaklıklarının düşük olduğunu ve bu malzemelerin yangın dayanımlarının olmadığını görebiliriz.

Çizelge 3.3 Isı Yalıtım Malzemelerinin Kullanım Sıcaklıkları.

Isı Yalıtım Malzemesi	Maksimum Kullanım Sıcaklığı (°C)
Expantent Polistren (EPS)	80
Extrude Polistren (XPS)	80
Polietilen Köpüğü Flex Malzeme	95
Poliüretan	110
Fenol Köpüğü	120
Melamin Köpüğü	150
Elastomerik Kauçuk	170
Camyünü (Bakalitli)	250
Cam Köpüğü	430
Taşyünü	750
Gazbeton Esaslı Malzemeler	1200

4. KOMPOZİT MALZEMELER

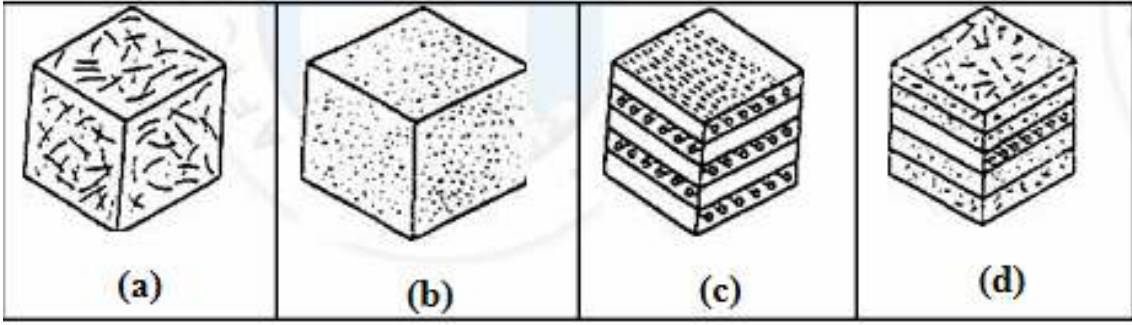
En az iki farklı malzemenin makro seviyede (birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde) birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir. Amaç ise bileşenlerde tek başına iken mevcut olmayan bazı özelliklerin (hafiflik, dayanım esneklik, vb.) geliştirilmesi ve bir araya getirilmesidir (İnt.Kyn.1).

4.1 Kompozit Malzemelerin Başlıca Özellikleri

1. Kompozit aslında karışım anlamına gelmekle birlikte çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmaz.
2. Bileşenler arasında atom alışverişi bulunmamaktadır.
3. Kompozit bileşenleri kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler.
4. Malzemeler birbiri içerisinde çözünürse ve atom seviyesinde bir karışım söz konusu olursa, bu tür malzemeler kompozit değil alaşım olur.
5. Karışım nanometre seviyesindeki partiküller düzeyinde olursa ise bu tip kompozitlere nano kompozitler denir.
6. Kompozitler genel olarak «matris» ismi verilen bir ana malzeme ve «takviye elemanı» ismi verilen daha mukavim bir malzemeden oluşturulur.
7. Bu iki malzeme grubundan, takviye malzemesi kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir (İnt.Kyn.1).

4.2 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 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1 a) Elyafli Kompozit, (b) Parçacıklı Kompozit, (c) Tabakalı Kompozit, (d) Hibrit Kompozit.

4.2.1 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 takviyelerle 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 (İnt.Kyn.1).

4.2.2 Parçacıklı Kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılardır. 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 (İnt.Kyn.1).

4.2.3 Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bilesimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. 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 (İnt.Kyn.1).

4.2.4 Karma (Hibrid) Kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki yada 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 elyaflı kompozitten daha yüksek olmaktadır (İnt.Kyn.1).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kireç ve kuvarşca zengin hammaddeler, çimento, kalsiyum sülfat, alüminyum metal tozu ile hazırlanan karışıma borosilikat cam fiberlerin ilavesi ile elde edilen reçeteler üretim aşamalarından geçirilmiştir.

5.1 Hammaddeler ve Karakterizasyonu

5.1.1 Kuvarsit

Kuvarsitin kimyasal bileşimi, kuvars, kumtaşı ve kuvars kumu gibi SiO_2 olup, az miktarda feldspat, mika, manyetit, hematit, granat ve rutil mineralleri ile kil veya kireçtaşı noktacıları bulunabilir. Kuvarsit sert, sağlam ve aşındırıcı bir kayadır. Bu nedenle istihracı ve öğütülmesi oldukça güç ve pahalıdır. Bu sebeple kuvarsit üretimi, aynı kimyasal bileşimde bulunan kuvars kumu ve kumtaşından ayrıca daha saf olan kuvarstan sonra tercih edilmektedir. Kuvarsitler cam, ferro-krom, ferro silisyum, demir-çelik, hafif gazbeton, silika tuğla, seramik, kimya, boya, plastik, sanayilerinde kullanılmaktadır (DPT, 2001). Resim 5.1’de deneysel çalışmalarda kullandığımız kuvarsit verilmiştir.



Resim 5.1 Öğütülmüş Kuvarsit.

Kuarsit genel olarak açık işletme yöntemi ile üretilir. Üretim patlayıcı kullanılarak yapılır. Kırma, öğütme zenginleştirme işlemlerinden sonra kullanıma hazır hale getirilir (Dpt 2001). Çizelge 5.1’de, kuarsitin içerisinde bulunan bileşiklerin oranları yüzde olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1 Kuarsit Bileşiklerinin Yüzde Oranları.

Bileşik	Yüzde (%)
SiO ₂	88-90
Al ₂ O ₃	2-3
Fe ₂ O ₃	1-2
CaO	1-2
MgO	0.5
Na ₂ O	0.5
K ₂ O	1

5.1.2 Çimento

Çimento; başlıca silisyum, kalsiyum, alüminyum, demir oksitlerini içeren hammaddelerin teknolojik metotlarla sinterleşme derecesine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamül madde klinkerin, tek veya daha fazla cins katkı maddesi ile öğütülmesi yoluyla üretilen hidrolik bağlayıcıları içeren bir malzemedir. Çizelge 5.2’de, portland çimentosu bileşiklerinin yüzde olarak oranları verilmiştir.

Çizelge 5.2 Portland Çimentosu Bileşiklerinin Yüzde Oranları.

Bileşik	Yüzde (%)
CaO	59-68
SiO ₂	18-26
MgO	1-3
SO ₃	1-3
Al ₂ O ₃	3-7
Fe ₂ O ₃	2-6
Alkali Oksit	1-3

Resim 5.2’de, deneysel çalışmalarda kullandığımız çimento verilmiştir.



Resim 5.2 Portland Çimentosu.

5.1.3 Kireç

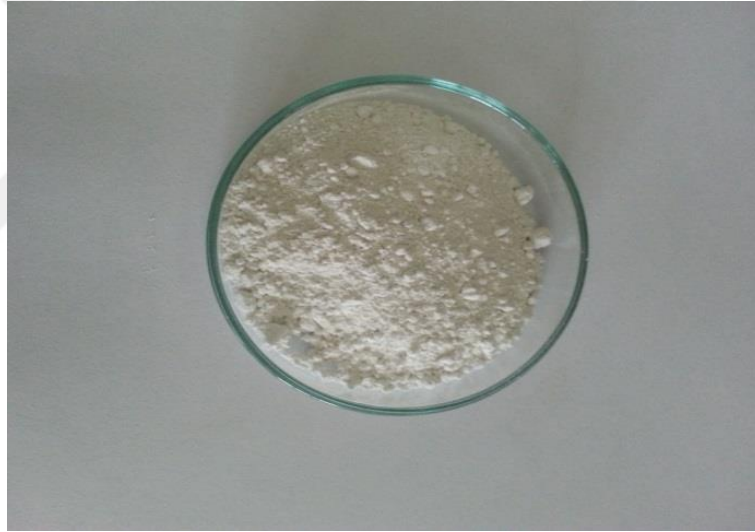
Sönmemiş kireç iki temel işlevi yerine getiren vazgeçilmez bir gazbeton bileşenidir. Formülasyon sırasında sönen kirecin açığa çıkardığı ısı sayesinde alüminyum tozları ile reaksiyona giren sönmüş kireç hidrojen açığa çıkmasına neden olur.

Otoklavda ortamda bulunan SiO₂ ile reaksiyona giren kireç Tobermorit kristalleri oluşumuna neden olur. (İnt.Kyn.2). Çizelge 5.3’te, sönmemiş kireç bileşiklerinin yüzde olarak oranları verilmiştir.

Çizelge 5.3 Sönmemiş Kireç Bileşiklerinin Yüzde Oranları.

Bileşik	Yüzde (%)
Aktif CaO	80-85
MgO	1,5-5
SO ₃	0.8-2
CO ₂	5-7
Asitte çözünmeyen madde+SiO ₂	1-1,5
Metal Oksitler (R ₂ O ₃)	0,5-1

Resim 5.3'te, deneysel çalışmalarda kullandığımız sönmemiş kireç verilmiştir.



Resim 5.3 Sönmemiş Kireç.

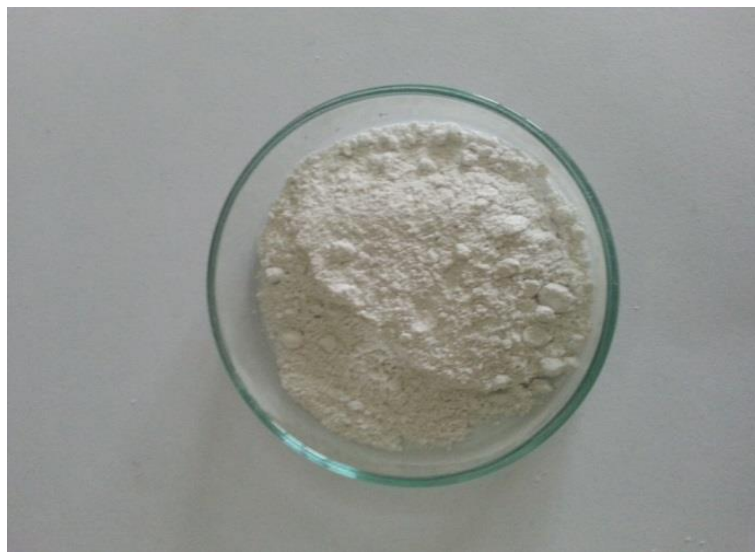
5.1.4 Alçıtaşı

Alçı taşı, kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat olan bir mineraldir. Bileşiminde iki molekül kristal suyu bulunan türüne jips ($\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$) denir. Alçı taşı iki şekilde işlenerek birbirinden farklı iki cins alçı elde edilir (İnt.Kyn.3).

Birinci şekilde alçı taşı kırılır, değirmenlerde ufalanır, tuğla fırınlarında 120 dereceye kadar ısıtılarak içindeki suyun bir miktarı alınır ve tekrar değirmenden geçirilerek toz haline getirilir. Bilhassa kalıp, model, tavan süsleri yapılmasında kullanılan bu cins alçı, su ile karıştırılırsa en geç yarım saat içinde donar. İkinci şekil alçı elde etmek, alçı taşının değirmende ufalanmasından sonra 450 dereceye kadar ısıtılarak içindeki suyun tamamen alınması ile olur. Bu cins alçılar, su ile karıştırıldığında birkaç hafta sonra donar ve çok dayanıklı bir kütle haline gelir (İnt.Kyn.3). Çizelge 5.4'te, alçıtaşının içerisinde bulunan yapıların oranları yüzde olarak verilmiştir.

Çizelge 5.4 Alçıtaşı Bileşiklerinin Yüzde Oranları.

Bileşik	Yüzde (%)
SO_3	42-45
CaO	32-33



Resim 5.4 Alçıtaşı (Kalsiyum Sülfat).

5.1.5 Alüminyum Tozu

Alüminyum ise en önemli hammaddelerden biri olup, gazbeton üretiminde saf halde kullanılır. Gazbeton üretiminde alüminyum tozu genleştirici olarak kullanılır. Alüminyum pastasına su ilave edilerek alüminyum süspansiyon homojen şekilde oluşturulur. Resim 5.5'te alüminyum pastası ve süspansiyon hali verilmiştir.



Resim 5.5 Alüminyum Pasta ve Süspansiyonu.

5.1.6 Borosilikat Cam Fiber

Cam fiberler, silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda, magnezyum oksit gibi inorganik minerallerden üretilir ve polimer matrisli kompozitlerde en çok kullanılan fiber türüdür. Bunun nedeni, daha düşük maliyet olup, çok iyi mekanik özellikler sergilemeleridir. Cam fiberler, sahip oldukları çeşitli özelliklere göre farklı isimler almaktadırlar. Bunlardan başlıcaları, E-camı, S-camı ve C-camıdır. E-camı (elektrik geçirmez), S-camı (çok güçlü) ve AR-camı (alkali geçirmez) (Baydar 2010).

Borosilikat camlarının yüksek yumuşama noktası vardır. Buna rağmen, ısıl şoklara karşı yüksek mukavemet sağlayan büyük genleşme katsayısı, su ve asitlere karşı yüksek mukavemet göstermesi ve üstün elektriksel özellikleri vardır. Camın elyaf haline getirilmesi ile elde edilen bu malzeme, genelde ısı yalıtımı ve ses yalıtımı gibi gereksinimlerin karşılanmasında kullanılır.

Fiber hale getirilmeden önce 1,15 W/mK olan ısı iletim katsayısı, cam elyaf hale geldikten sonra 0,025 W/mK düzeyine kadar küçülebilir. Isı yalıtım plakası üretiminde katkı olarak kullanılan borosilikat cam fiberler (E-Camı), Şişecam tarafından özellikle sulu karışımlar için üretilen suda homojen olabilecek dağılılabilen ve kolay işlenebilir özelliklere sahip cam fiberlerdir. Çizelge 5.5'te, borosilikat camlarının kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 5.5 Borosilikat Camlarının Kimyasal Bileşimi.

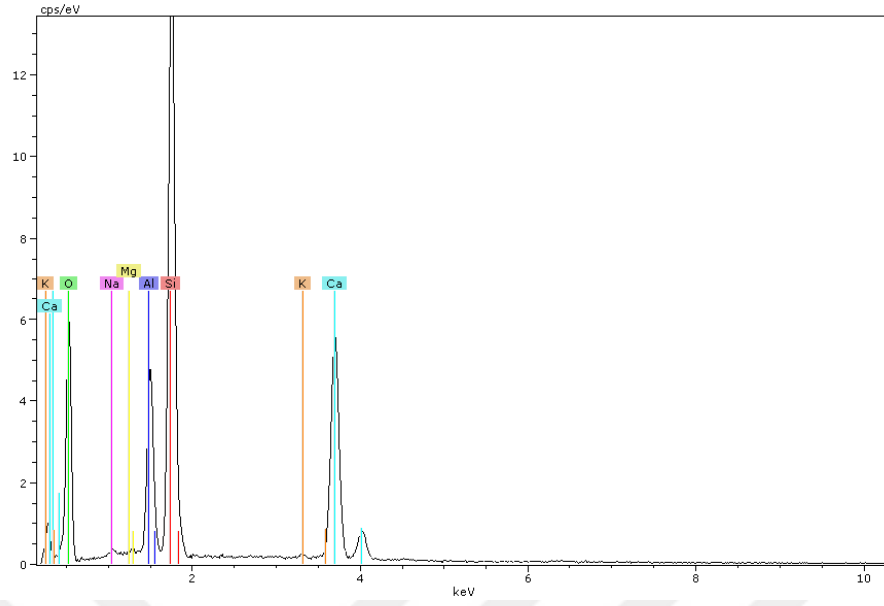
Bileşik	Yüzde (%)
SiO ₂	73-83
B ₂ O ₃	20
PbO	10
NaO	2-9
M ₂ O ₃	1.5-3

İki farklı tipteki cam fiberin ısı yalıtım plakası üretim prosesinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Resim 5.6'da F1 ve F2 tip cam fiberler görsel olarak verilmiştir. İki fiber arasındaki fark içeriklerindeki bor oranıdır.



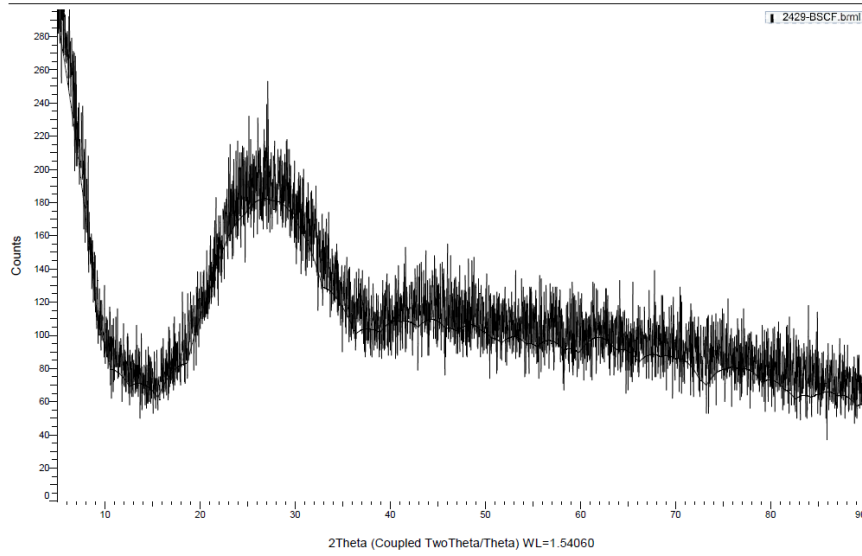
Resim 5.6 F1 Tip (solda) ve F2 Tip (sağda) Cam Fiberler.

Şekil 5.1'de e-cam fiberin EDX analizi verilmiştir. E-cam fiberin EDX analizi incelendiğinde, numune içindeki elementlerin yüzdeleri, elementlerin piklerinin altındaki alanlarla orantılıdır.



Şekil 5.1 E-Cam Fiber EDX Analizi.

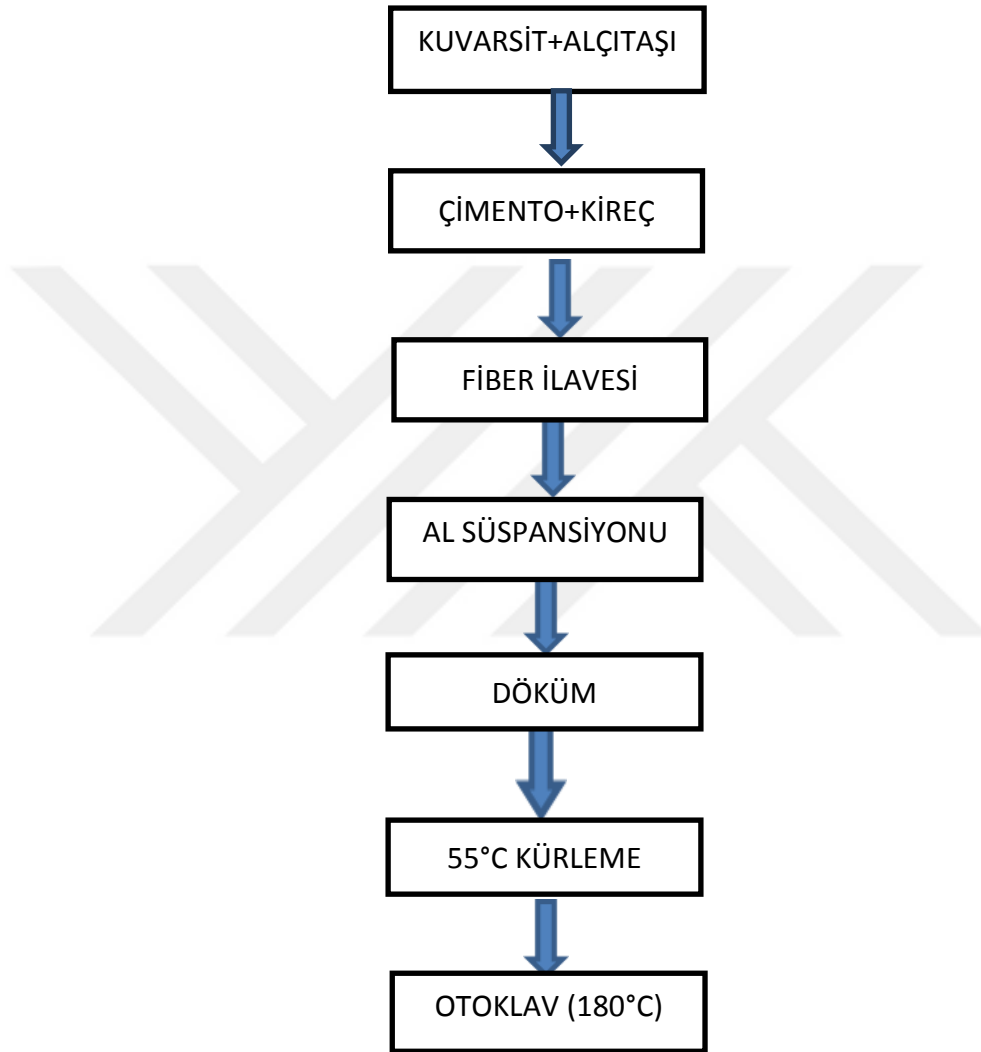
Şekil 5.2’de e-cam fiberin XRD analizi incelendiğinde, belirgin pikler oluşmadığı için yapının amorf olduğunu görebiliriz. Yapıda pik oluşturmaya çalışan bölgede SiO_2 varlığından söz edebiliriz.



Şekil 5.2 E-Cam Fiber XRD Analizi.

5.2 Fiber Katkılı Kompozit Yalıtım Plakası Üretim Yöntemi

Bu çalışmada kuvarsit, çimento, kireç, alçıtaşı, alüminyum, F1 ve F2 fiberler ve su çeşitli oranlarda karıştırılarak farklı karışımlar hazırlanmıştır. Şekil 5.3'te ısı yalıtım plakasının üretim şeması verilmiştir.



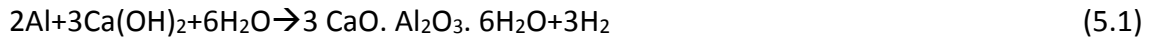
Şekil 5.3 Isı Yalıtım Plakası Üretim Şeması.

Karışım içerisine giren malzemeler, ilk olarak karışım oranları doğrultusunda ölçülerek farklı kaplara konulur. Kuvarsit ve alçıtaşı su ilavesi ile homojen bir şekilde karıştırılır. Daha sonra karışıma çimento ve kireç karışımı eklenir. Çizelge 5.6'da karışıma ait döküm bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5.6 Döküm Bilgileri.

Denemeler	Açıklama
ST	Su /katı:0,91
0,5 F1	F1 maddesi kireç ve çimento ile homojen bir şekilde karıştırıldı. Su/katı: 0,92
1 F1	F1 maddesi kireç ve çimento ile homojen bir şekilde karıştırıldı. Su/katı: 0,92
1,5 F1	F1 maddesi kireç ve çimento ile homojen bir şekilde karıştırıldı. Su/katı: 0,92
2 F1	F1 maddesi kireç ve çimento ile homojen bir şekilde karıştırıldı. Su/katı: 0,92
0,5 F2	F2 maddesi kireç ve çimento ile homojen bir şekilde karıştırıldı. Su/katı: 0,92

Homojenizasyon sağlanana kadar karıştırma işlemine devam edilir. Daha sonra karışıma farklı oranlarda F1 ve F2 fiberleri eklenerek karıştırma işlemine devam edilir. Denemelerde F1 fiber katkısı standart reçetede ki toplam katının % 1'i, % 1,5 ve %2 oranlarında reçeteye ilave edilirken, F2 fiber katkısı ise % 0,5 oranında reçeteye ilave edilmiştir. Son olarak karışıma süspansiyon haline getirilen alüminyum eklenerek karıştırma işlemine devam edilir. Alüminyum süspansiyonun eklenmesi ile Alüminyum-Kireç reaksiyonu gerçekleşir ve numune genleşmeye başlar.



Yaklaşık bir dakikalık karıştırma işleminin sonunda homojen ve akıcı hale gelen harç bekletilmeden daha önce yağlanmış kalıplara dökülür. Çizelge 5.7'de karışım çamurunun zeta potansiyeli değeri verilmiştir. Zeta potansiyel, taneler arasındaki itme veya çekme değeri ölçümüdür.

PH=11’de zata potansiyeli değeri ortam bazik olduğu için negatif bir değer almıştır. PH=5’te ise ortam asidik olduğu için zeta potansiyel değeri pozitifdir.

Çizelge 5.7 Karışım Çamurunun Zeta Potansiyel Değeri.

pH	Zeta (mV)
11	-13,3
5	23,2

Resim 5.7’de, kalıba dökülen akışkan harç verilmiştir.



Resim 5.7 Kalıba Dökülen Akışkan Harç.

Kalıplara dökülen karışım, hızlı bir şekilde genleşmeye ve priz almaya başlar. Yaklaşık 30 dakika içinde gelişen reaksiyonlar sonucu açığa çıkan hidrojenin oluşturduğu baloncuklar sonucu kabaran, kısmen katılaşmış blok oluşur. Daha sonra numuneler 50-55 °C’de 6-8 saat kürlenir.. Kek kıvamına gelen numuneler otoklavda doymuş buhar ile 12 bar basınç ve 180 °C sıcaklıkta yaklaşık 6,5 - 7 saat doymuş buhar kürüne tabi tutulur. Resim 5.8’de otoklav cihazının görüntüsü verilmiştir.



Resim 5.8 Otoklav Cihazı.

Otoklavdan çıkan numuneler, hafif, gözenekli ve yüksek basınca dayanıklıdır. Resim 5.9’da standart ve farklı oranlarda F1 ve F2 tip cam fiber içeren küçük kalıp denemeleri verilmiştir.



Resim 5.9 ST ve Farklı Oranlarda F1 ve F2 İçeren Cam Fiber Katkılı Küçük Kalıp Denemeleri.

Resim 5.10’da ise fiber katkı olarak üretilen yalıtım plakasının görüntüsü verilmiştir.



Resim 5.10 Fiber Katkılı Yalıtım Plakası.

5.3 Numunelere Yapılan Testler

Küçük kalıp denemelerine basınç dayanımı, yoğunluk, A faktörü, ısı iletkenlik(lambda), elastisite modülü testleri, SEM ve XRD analizleri yapılmıştır.

5.3.1 Basınç Dayanımı (BD)

Küçük kalıp denemeleri sonucunda, ön kurlama sonu çıkan keklerden 10 cm*10 cm*10 cm boyutlarında küpler çıkarılarak basınç dayanımı testi için 40 °C'de sabit tartıma gelecek şekilde laboratuvarında etüvde şartlandırılmıştır. Bu durum Resim 5.11'de verilmiştir.



Resim 5.11 BD –Yoğunluk ve A Faktörü Analizleri Numune Koşullandırma.

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. $\sigma_g = F_i / A_i$ bağıntısı ile hesaplanır. Burada, σ_g ; N/mm² cinsinden basınç dayanım değeri, F_i ; kırılma anındaki maksimum yük, A_i ise yük uygulanan kesitin mm² olarak alanıdır.

5.3.2 Kuru Yoğunluk

Numunenin 105±5 °C’de değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmasından sonraki kuru kütlelerinin toplam hacmine oranına kuru yoğunluk denir. Deney numuneleri, birim hacim ağırlıkları ölçülmek üzere 105°C sıcaklık da ki etüvde sabit kütleye gelince kadar bekletildikten sonra etüvden çıkarılır, hata oranı %0,1’den fazla olmamak kaydı ile tartılır. Deney numunesinin kütlesi, 24 saat süre ile kurutulduğunda %0,2 den fazla değişmiyorsa sabit kütleye eriştiği kabul edilmelidir. Örneklerin kuru yoğunluk değerleri ρ_i , kg/m³ cinsinden aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır.

$$\rho_i = \frac{M_{di}}{V_i} \quad (5.3)$$

Burada;

ρ_i : kg/m³ cinsinden kuru yoğunluk değeri

M_{di} : Deney numunesinin kuru kütlesi, kg

V_i : Deney numunesinin hacmi, m³tür.

5.3.3 A Faktörü Deneyi

Isı izolasyon panelinde A faktörü değeri ne kadar yüksekse, panel o kadar kaliteli demektir. A faktörü değeri aşağıdaki denklemle bulunur.

$$A \text{ Faktörü} = \frac{\text{Basınç Dayanımı}}{0,016 * \text{Yoğunluk}^2} \quad (5.4)$$

5.3.4 Isı İletkenlik Deneyi

Isıl iletkenlik deneyi için numuneler 20 cm x 20 cm x 20 cm ölçülerinde 2,5 cm kalınlığında etüvde 70 °C'de sabit tartıma gelecek şekilde koşullandırılmıştır. Sabit tartıma gelen numuneler ısı akış yöntemi ile Resim 5.12'de verilen Fox-314 termal iletkenlik cihazında 10 °C'de ısı iletkenlik (λ) analizleri yapılmıştır.



Resim 5.12 Isıl İletkenlik Analiz Cihazı.

5.3.5 Elastisite Modülü

Elastisite modülü, malzemenin kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin ölçüsüdür. Tanımı gereği birim kesit alanına sahip bir malzemede (genellikle 1 mm²) birim boyu bir kat arttırmak için uygulanması gerekli kuvveti gösterir. Kimi kaynaklarda Young modülü olarak da geçer. Elastik deformasyondaki birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup bir birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır. Elastisite modülünün birimi N/m²'dir. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişki şöyle tanımlanabilir:

Elastisite Modülü (E) = Normal Gerilme (σ) / Birim Uzama (ϵ)

5.3.6 SEM Analizi

Numunelerin SEM analizi ve mikro yapısal görüntüleri Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Resim 5.13'te verilen LEO 1430 VP model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin SEM görüntüleri 5000 büyötmeye kadar alınmıştır.



Resim 5.13 Scanning Electron Microscope (SEM) Cihazı.

5.3.7 XRD Analizi

XRD optik mikroskopi yöntemleri ile belirlenemeyecek kadar küçük tane boyutuna sahip minerallerin kristal yapı özelliklerine göre tanımlanmasında kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte incelenecek olan numune ideal tane boyutuna gelene kadar öğütölerek toz hale getirilmekte ve XRD analiz cihazları ile analiz edilmektedir. X-ışınları kırınımı analizi Resim 5.14'te verilen Bruker marka D8 advance model cihaz ile yapılmıştır. Tarama işlemi 10°- 100°(2θ) arasında 2 derece/dakika tarama hızında Cu-Kα ışınması kullanılarak yapılmıştır.



Resim 5.14 XRD Analiz Cihazı.

6. BULGULAR

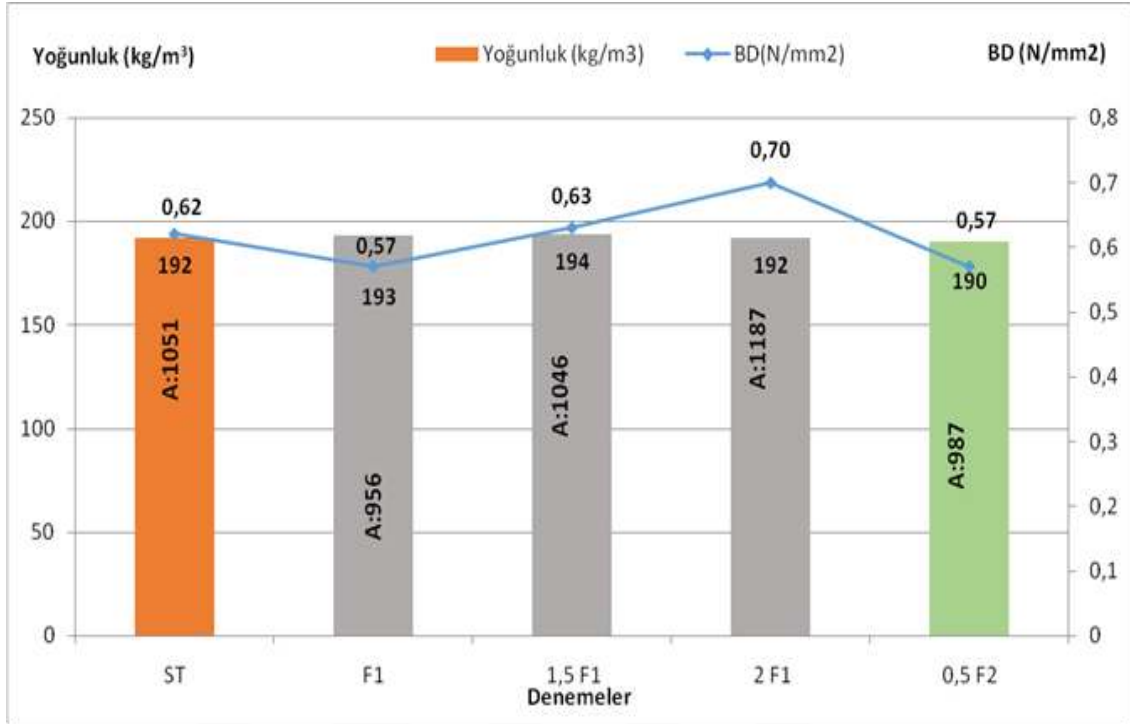
Yapılan çalışmada standart, %1, %1,5, %2 oranlarında F1 tip borosilikat cam fiber katkılı ve %0,5 oranında F2 tip borosilikat cam fiber katkılı inorganik esaslı kompozit yalıtım plakaları üretilmiştir. Üretilen yalıtım plakalarına; basınç dayanımı, yoğunluk, A faktörü, ısı iletkenlik, elastisite modülü, XRD, SEM analizleri yapılmıştır.

6.1 Basınç Dayanımı (BD), Yoğunluk, A Faktörü Özellikleri

Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1 incelendiğinde en iyi basınç dayanımı ve A faktörü değerleri standart reçetede ki toplam katının % 2'i oranında F1 numunesi içeren fiber katkılı denemelerde görülmüştür. Bununla birlikte % 1 ve % 1,5 oranındaki F1 katkılarının basınç dayanımı ve A faktörü değerleri üzerinde olumlu bir etkisi tespit edilmemiştir. F2 tip Fiber katkısının basınç dayanımı ve A faktörü değerlerini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

Çizelge 6.1 ST ve Farklı Oranlarda F1 ve F2 İçeren Cam Fiber Katkılı Denemelerin Mekanik Özellikleri.

Denemeler	BD (N/mm ²)	Yoğunluk (kg/m ³)	A Faktörü
ST	0,62	192	1051
%1 F1	0,57	193	956
%1,5 F1	0,63	194	1046
%2 F1	0,70	192	1187
%0,5 F2	0,57	190	987



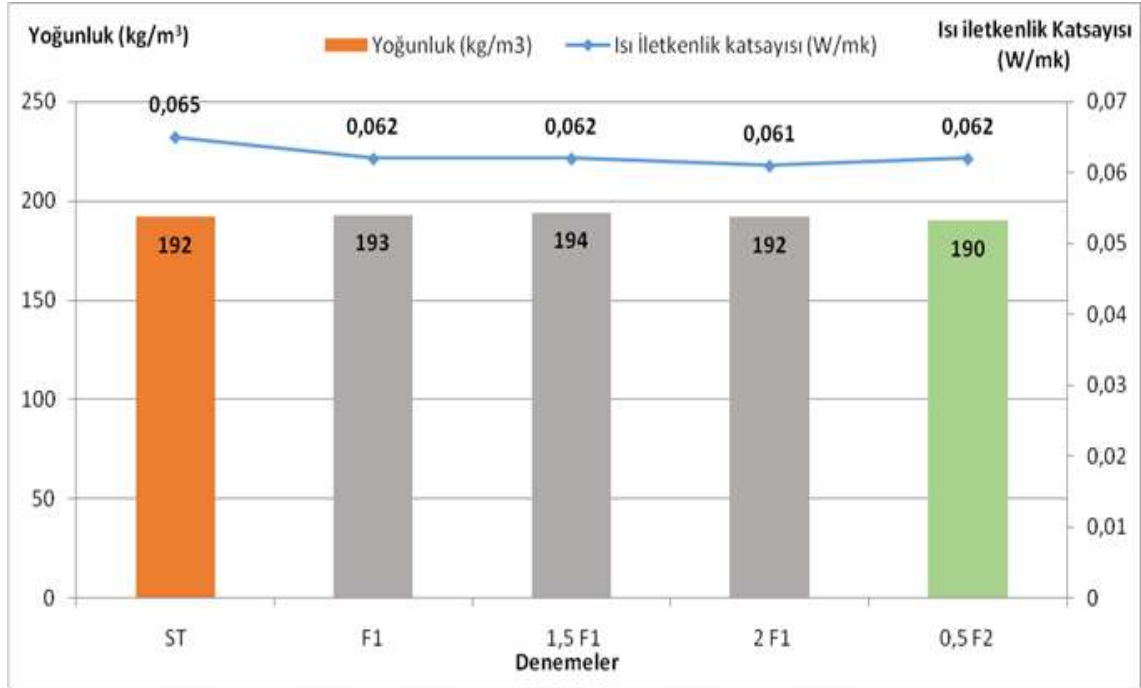
Şekil 6.1 ST, Farklı Miktarlarda F1 ve F2 Cam Fiber Katkısı İçeren Denemelerin Karşılaştırmalı BD, Yoğunluk ve A faktörü Analizleri.

6.2 Isıl İletkenlik (Lambda) Özellikleri

Çizelge 6.2 ve Şekil 6.2 incelendiğinde F1 katkılı denemelerde ısı iletkenlik değerinin bir miktar iyileştiği, özellikle % 2 F1 fiber katkısı içeren denemelerde, standart numuneye göre ısı iletkenlik değerinin% 6 iyileştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 6.2 ST ve Farklı Miktarlarda Cam Fiber Katkısı İçeren Denemelerin Isıl İletkenlik Yoğunluk Analizleri.

Denemeler	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/Mk)	Yoğunluk (kg/m³)
ST	0,065	192
%1 F1	0,062	193
%1,5 F1	0,062	194
%2 F1	0,061	192
%0,5 F2	0,062	190



Şekil 6.2 ST ve Farklı Miktarlarda Cam Fiber Katkısı İçeren Denemelerin Yoğunluk Karşılaştırmalı Isı İletkenlik Katsayısı Analizleri.

Farklı oranlarda fiber takviyesi ile üretilen ısı yalıtım plakalarının termal iletkenlik değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Daha yüksek oranda fiber takviyesi ile üretilen numunelerin termal iletkenlik değerlerinin iyileştiği görülmüştür. Bu sonuçlar Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3 Farklı Miktarlarda Cam Fiber Katkısı İçeren Denemelerin Isıl İletkenlik Yoğunluk Analizleri.

Denemeler	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/Mk)
%3 F1	0.050
%5 F1	0.047
%2 F2	0.054
%3 F2	0.043
%5 F2	0.046

Isıl özellik sonuçlarının iyileşmesinde fiber katkılı denemelerde hammaddelerin laboratuvar tipi karıştırıcıda daha yüksek devirde karıştırılmasının etkisi olabilir. Yüksek devirde karıştırmak standart ürünlerde 900 devir/dk fiber katkılılarda 1200 devir/dk tane boyutunun küçülmesine neden olmuş olabilir.

Isıl iletkenlik değerini hammaddelerin yüksek devirde karıştırılmasının etkileyeceği düşünülmektedir. Gözenek yapısındaki küçülme Resim 6.1, Resim 6.2, Resim 6.3 ve Resim 6.4'te görsel olarak anlatılamaya çalışılmıştır.



Resim 6.1 ST- %1 F1 Gözenek Karşılaştırma.



Resim 6.2 ST- %1,5 F1 Gözenek Karşılaştırma.



Resim 6.3 ST- % 2 F1 Gözenek Karşılaştırma.



Resim 6.4 ST - % 0,5 F2 Gözenek Karşılaştırma.

6.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Sonuçları

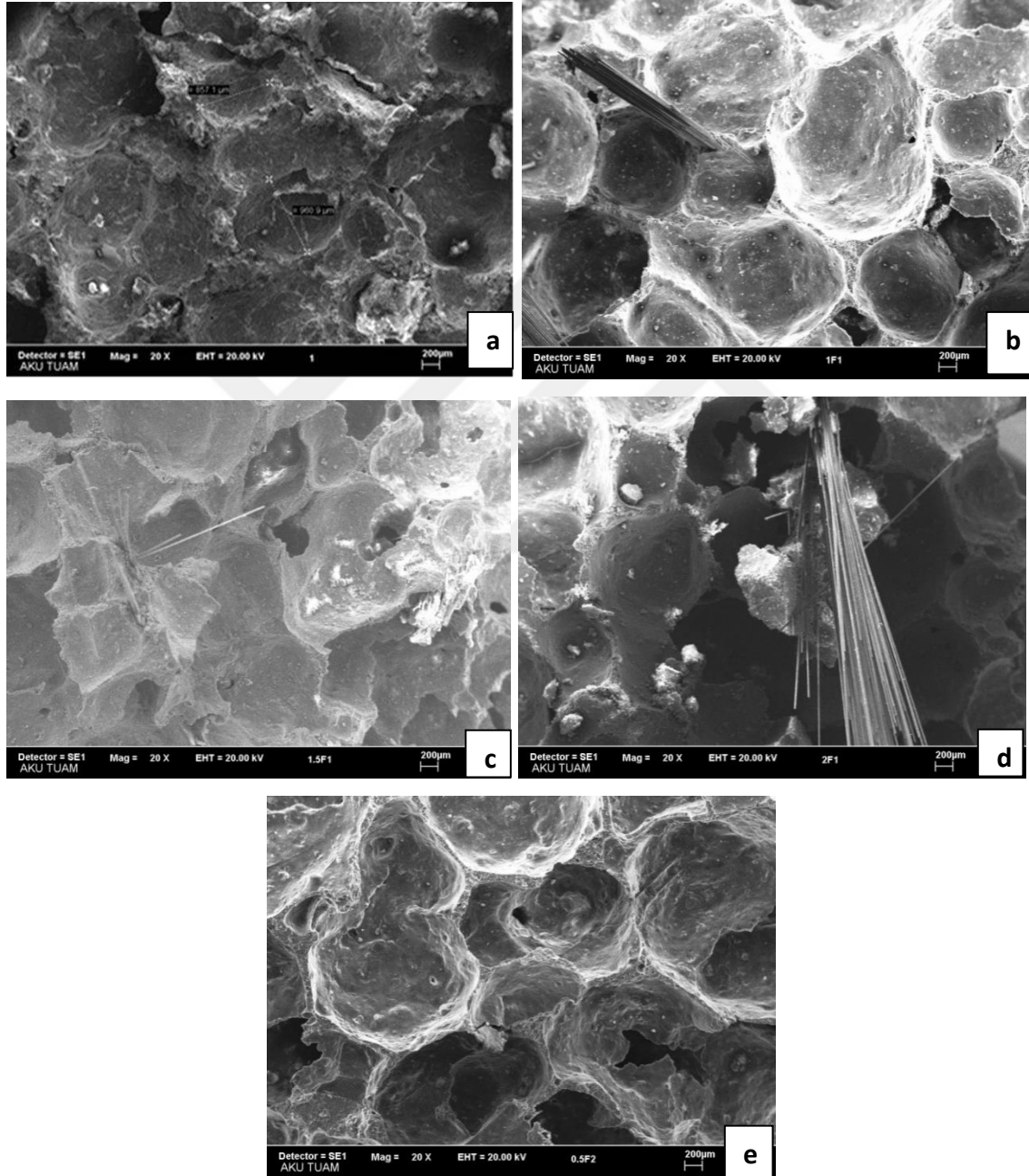
9 adet numune üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Yükleme esnasında numuneler üzerine 1/1000 mm'lik komparatör içeren bir çerçeve sistemi bağlanarak numunelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkileri belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri sonuçları Çizelge 6.4'te verilmiştir. Bir malzemenin yüksek elastisite modülüne sahip olması, elastik olarak esnemesinin zor olduğunu, düşük bir değere sahip olması da elastik biçimde esneyebileceğini gösterir.

Çizelge 6.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Sonuçları.

Numune Kodu	Numune Boyu (mm)	Numune Çapı (mm)	Kırılma Yüğü (N)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
STD 581	212	101	4208	0,53	488
STD 1	211	104	3614	0,43	588
STD 586	209	103	3674	0,44	467
%1 F1 582	209	102	4397	0,54	469
%1 F1 577	206	103	4524	0,54	490
%2 F1 526	210	103	3922	0,47	473
% 2 F1 579	206	103	4090	0,49	480
%2 F1 589	209	104	3539	0,42	433
% 2 F1 584	209	104	5639	0,66	546

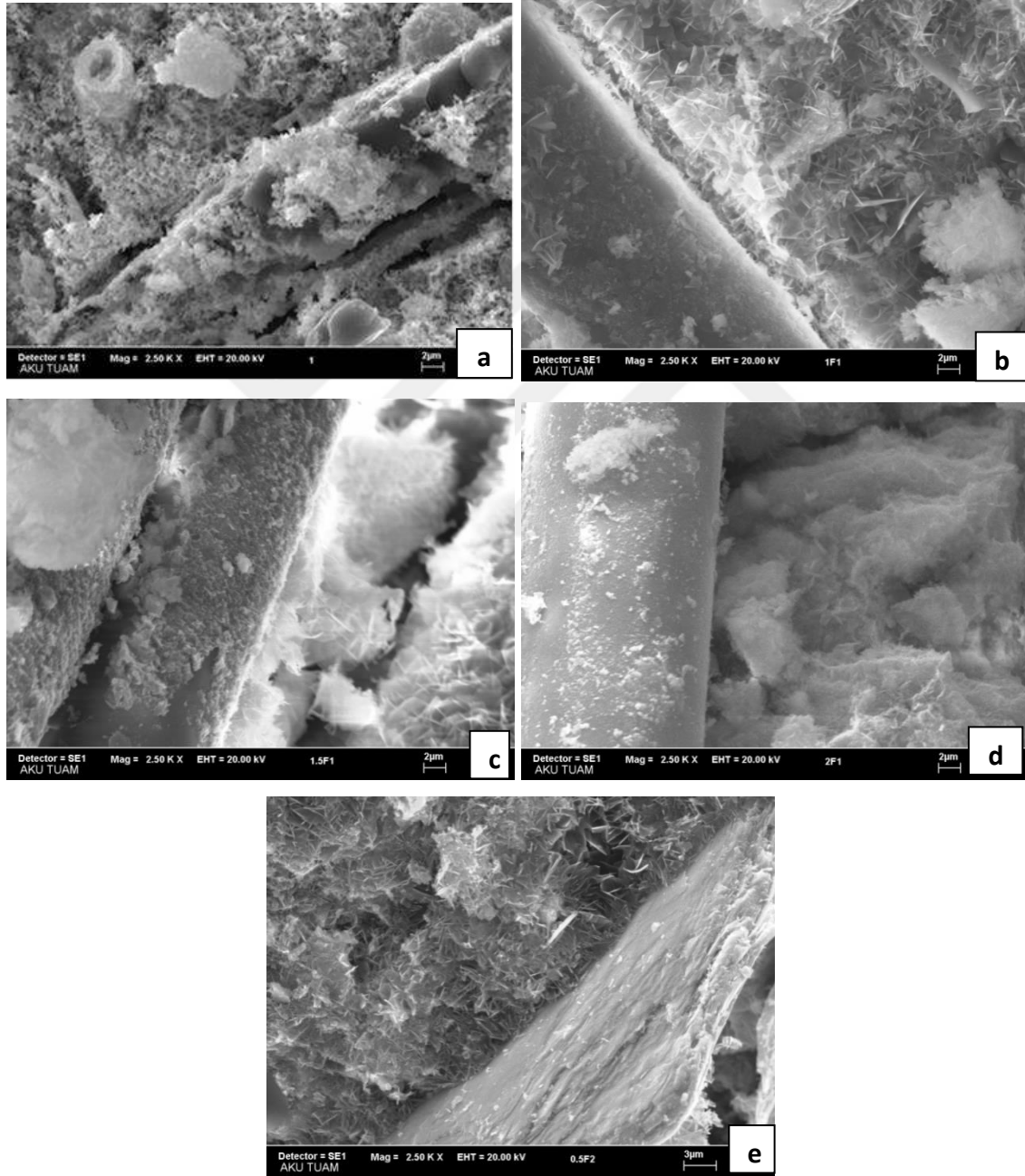
6.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları

Standart, %1 , %1,5, %2 F1 ve %0,5 F2 tip fiber katkılı numunelerin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilmiş morfoloji görüntüleri aşağıda verilmiştir. Şekil 6.3'te numunelerin X20 büyütmedeki SEM görüntüleri verilmiştir.



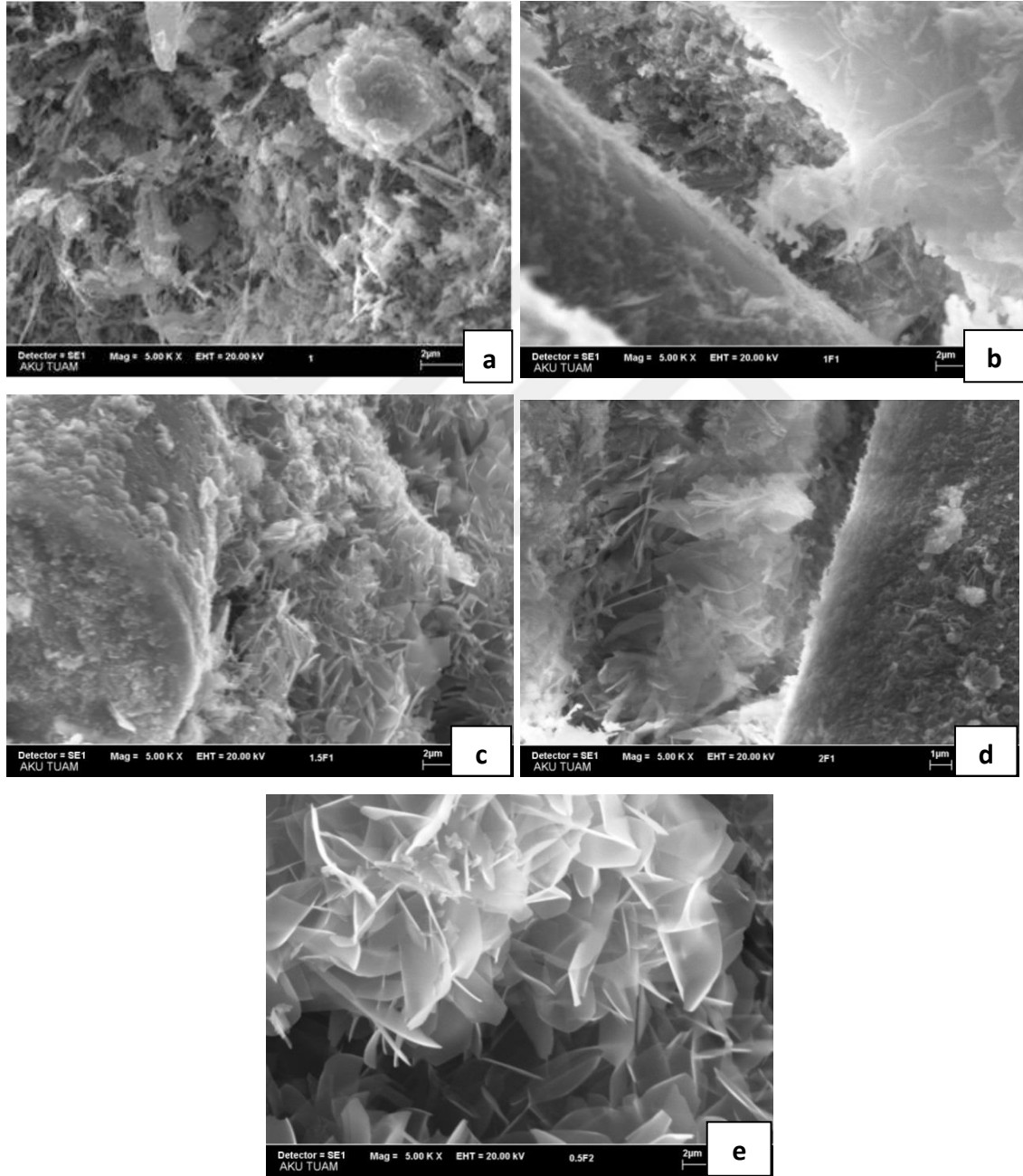
Şekil 6.3 (a) Katkısız, (b) %1 F1 Fiber Katkı, (c) %1,5 F1 Fiber Katkı, (d) %2 F1 Fiber Katkı, (e) %0,5 F2 Fiber Katkı Numunelerin SEM Datalarının Karşılaştırılması (X20).

Şekil 6.4'te X2500 büyütme katkısız (standart) numune yer yer boşluklu yapı görülmektedir. Numune görüntüsü üzerinde CSH (tobermorit) kristallerinin oluştuğu düşünülmektedir. CSH'ın altındaki kristallerin ise CH kristalleri olduğu düşünülmektedir. CH, kalsiyum hidroksittir. %1, %1,5, %2 F1 ve %0,5 F2 fiber katkı numunelerde CSH kristalleri ile birlikte fiberler ve boşluklar görünmektedir.



Şekil 6.4 (a) Katkısız, (b) %1 F1 Fiber Katkı, (c) %1.5 F1 Fiber Katkı, (d) %2 F1 Fiber Katkı, (e) %0.5 F2 Fiber Katkı Numunelerin SEM Datalarının Karşılaştırılması (X2500).

Şekil 6.5’de X5000 büyütmede CSH kristalleri daha belirgin gözükmemektedir. CSH (Tobermorit) kristalleri bağ kuvvetlerini güçlendiren kristal yapılardır. Az miktarda görülen CH kristalleri üzerinde CSH kristalleri görülmektedir. CSH kristallerin dağılımında herhangi bir düzen yoktur. CSH kristalleri dokuma parçası gibi iç içe büyümüş tarzda yer almaktadır.

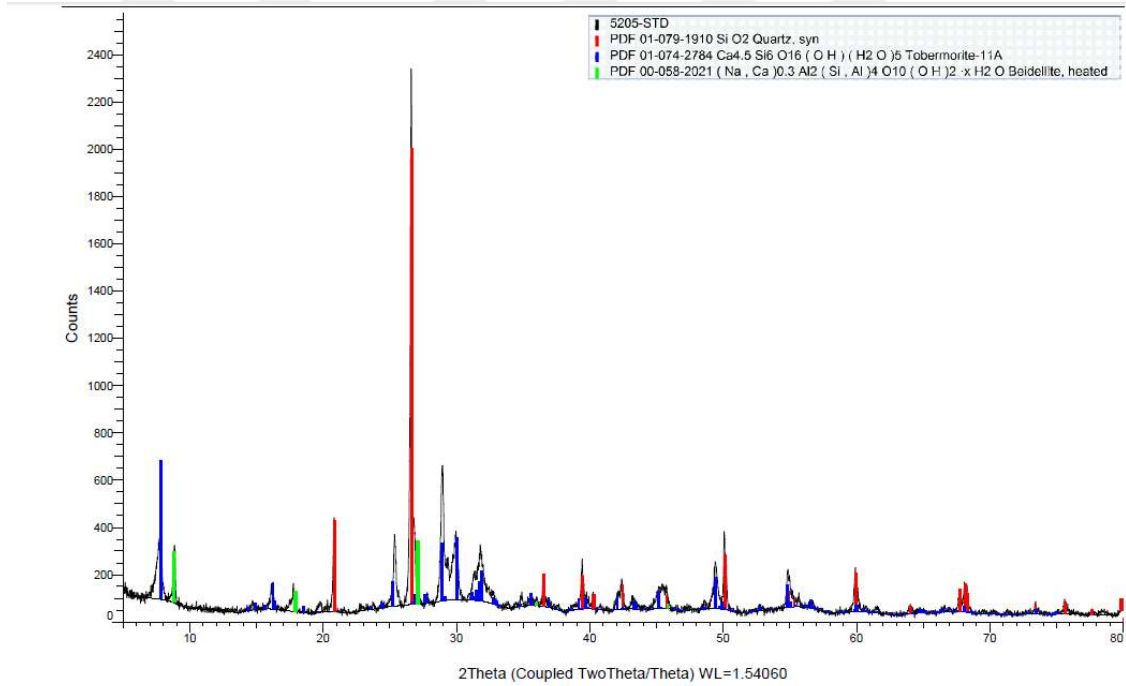


Şekil 6.5 (a) Katkısız, (b) %1 F1 Fiber Katkılı, (c) %1.5 F1 Fiber Katkılı, (d) %2 F1 Fiber Katkılı, (e) %0.5 F2 Fiber Katkılı Numunelerin SEM Datalarının Karşılaştırılması (X5000).

6.5 X-Işınları Difraksiyonu (XRD) Analiz Sonuçları

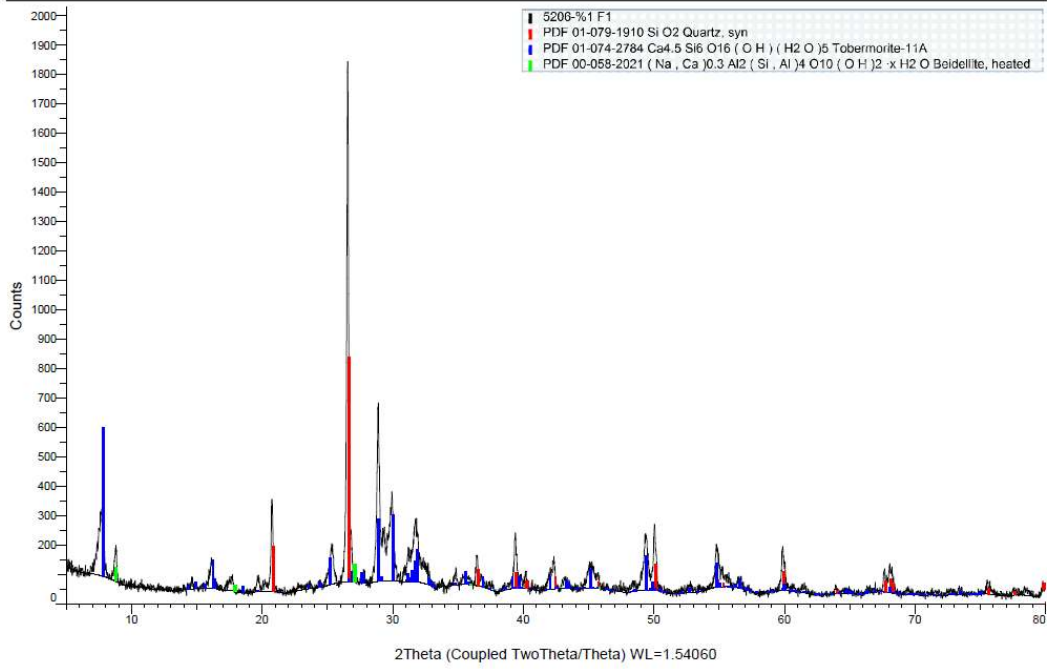
Yapılan XRD analizlerinin sonuçları aşağıda gösterilmiştir. Standart (katkısız), %1 F1, %1,5 F1, %2 F1 tip ve %0,5 F2 tip cam fiber katkıli numunelerin karakteristik XRD pikleri Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10'da görülmektedir.

Şekil 6.6'da standart numunenin vermiş olduğu bu piklere bakarak yapıda, birinci olarak silisyum dioksit (SiO_2) oluştuğunu söyleyebiliriz. İkinci olarak 11 Å Tobermorit ($\text{C}_2\text{S}_6\text{H}_5$) kristali oluşmuştur ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{C} - \text{S} - \text{H} = \text{Tobermorit}$). Üçüncü olarak da Beidellit minerali oluşmuştur. Beidellit, hidratlı doğal alüminyum silikat; bu mineral kil grubunda yer alır. Elde edilen XRD datası literatürdeki datalarla uyushmaktadır.

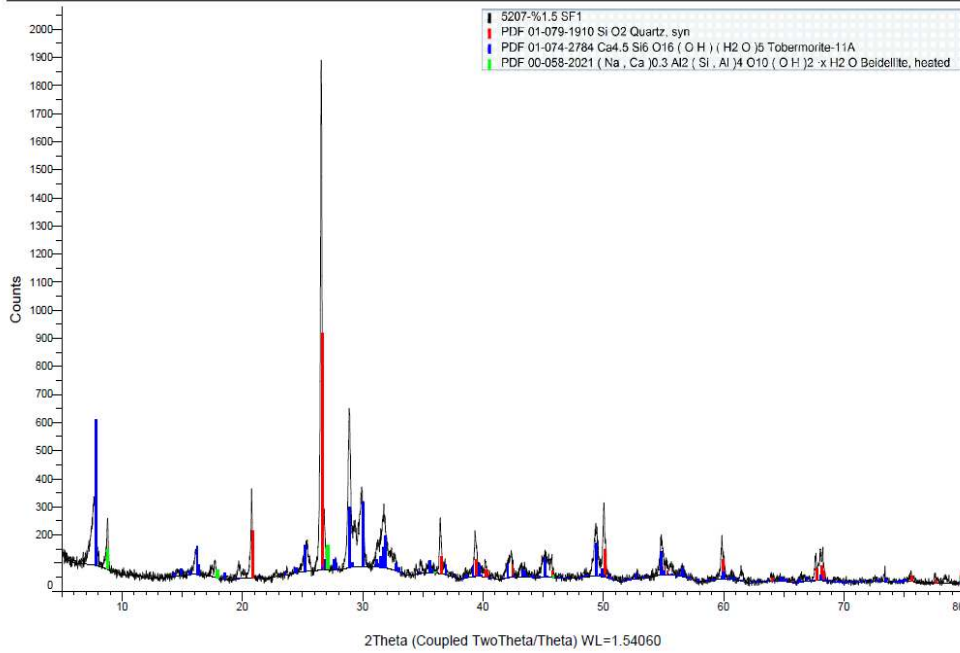


Şekil 6.6 Standart Numunenin XRD Datası.

Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de % 1 ve % 1,5 F1 tip fiber katkısı içeren numunelerin XRD dataları incelendiğinde temel olarak kuvarsit oluştuğunu görebiliriz. Numunelerimiz kalsiyum silikat esaslı olduğu için tobermorit oluşumu da gözlenir. Harca kabartıcı olarak ilave ettiğimiz alüminyumun, kuvarsit ile reaksiyona girmesi sonucu beidellit mineralinin oluşmuştur.



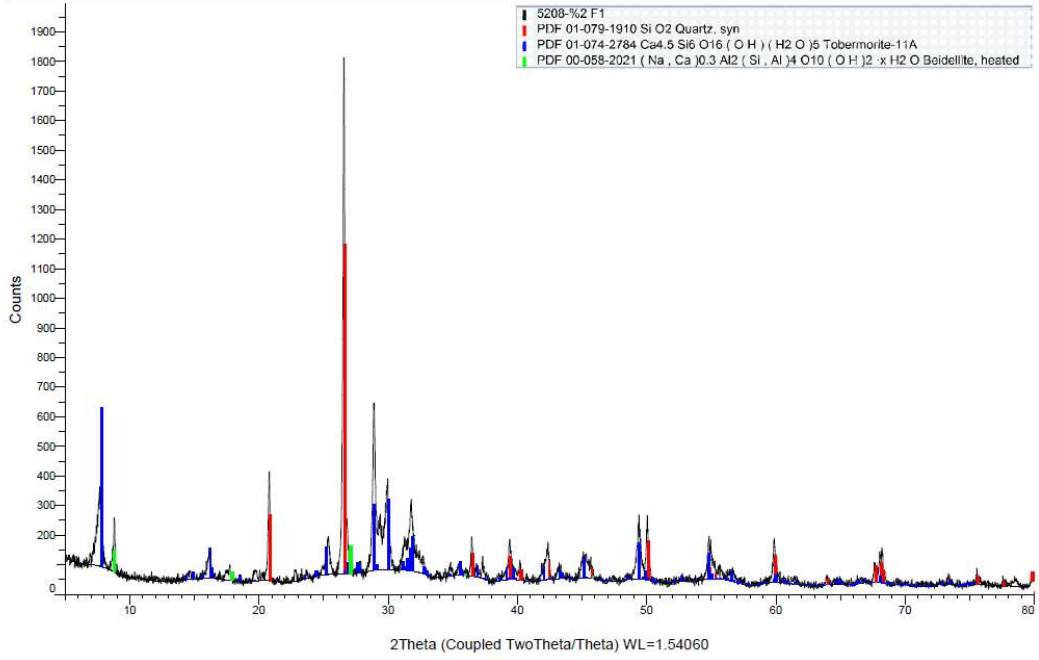
Şekil 6.7 %1 F1 Fiber Katkılı Numunenin XRD Datası.



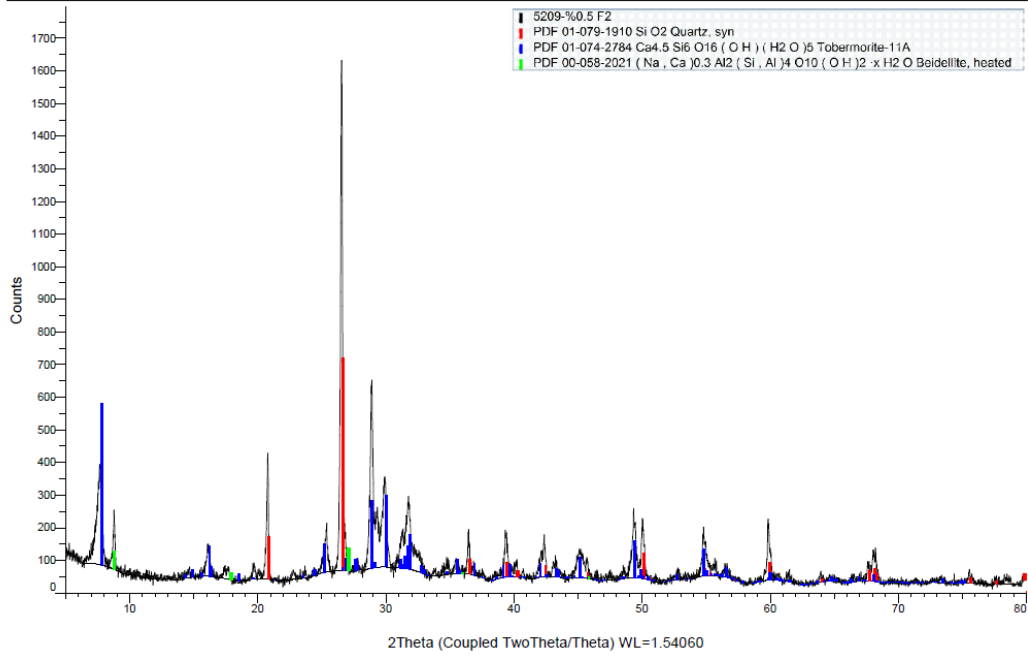
Şekil 6.8 %1,5 F1 Fiber Katkılı Numunenin XRD Datası.

Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da % 2 F1 ve % 0,5 F2 tip fiber katkı numunelerin XRD dataları incelendiğinde, diğer katkı numunelerimizde de olduğu gibi bileşimde en fazla bulunan kuvarsitin pikinin birinci olarak yapıda bulunduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca kireç, kür işlemi sırasında karışım suyu ile reaksiyona girerek Ca(OH)_2 oluşturur.

Kirecin sönmesi sırasında açığa çıkan ısı da sertleşmeyi hızlandırır. Ca(OH)_2 de SiO_2 ile reaksiyona girerek numunelerin temel iskeletini oluşturan hidrate silikat bileşiklerini oluşturur.

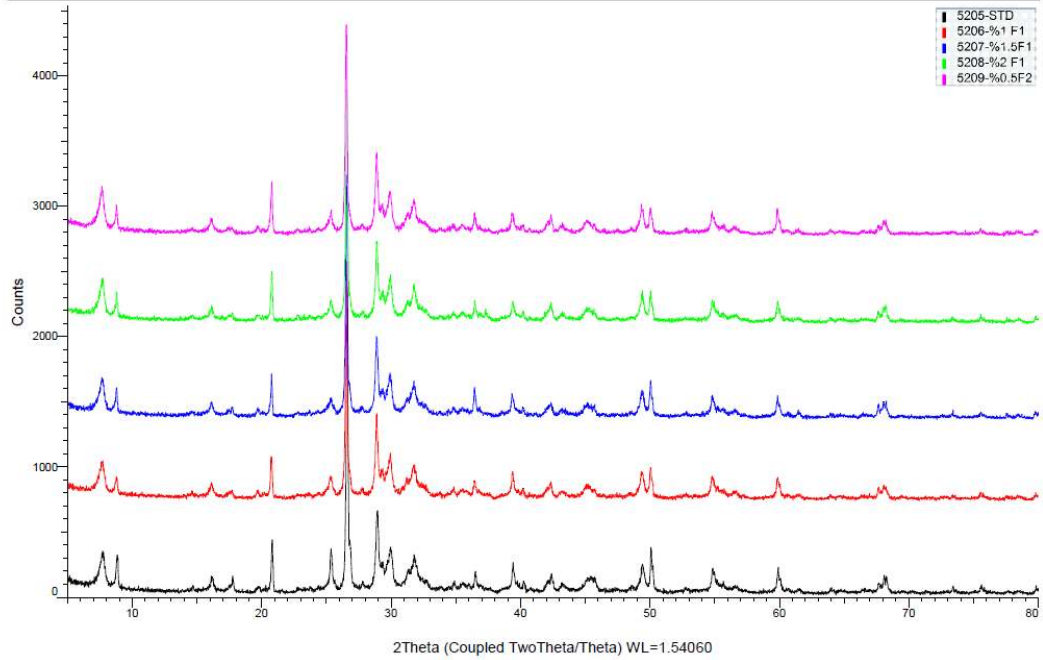


Şekil 6.9 % 2 F1 Fiber Katkılı Numunenin XRD Datası.



Şekil 6.10 % 0,5 F2 Fiber Katkılı Numunenin XRD Datası.

Şekil 6.11’de ise standart, %1, %1,5, %2 F1 ve %0,5 F2 tip fiber katkıli numunelerin XRD datalarının karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 6.11 Numunelerin XRD Datalarının Karşılaştırılması.

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışmada; standart ve farklı oranlarda F1 ve F2 tip borosilikat cam fiber katkıları ile üretilen izolasyon plakalarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Küçük kalıp denemeleri sonucunda; F1 fiber katkılı denemelerde standart ürüne (ST) göre basınç dayanımı (BD) ve A faktörü değerlerinde % 12,9 'a kadar varan artışlar tespit edilmiştir. En iyi basınç dayanımı ve A faktörü değerleri standart reçetedeki toplam katının % 2'i oranında F1 numunesi içeren fiber katkılı denemelerde görülmüştür. Bununla birlikte % 1 ve % 1,5 oranındaki F1 katkılarının basınç dayanımı ve A faktörü değerleri üzerinde olumlu bir etkisi tespit edilmemiştir.

2. F2 fiber tipi kullanıldığında ise standart ürüne göre artan F2 fiber miktarına bağlı basma dayanımı ve A faktörü değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir.

3. F1 fiber katkılı denemelerin ısı iletkenlik katsayısı (lambda) değerlerinin standart ürünün ısı iletkenlik katsayısı değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Isıl özellik sonuçlarının iyileşmesinde fiber katkılı denemelerde hammaddelerin laboratuvar tipi karıştırıcıda daha yüksek devirde karıştırılmasının etkisi olabilir.

Yüksek devirde karıştırmak standart ürünlerde 900 devir/dk fiber katkılılarda 1200 devir/dk tane boyutunun küçülmesine neden olmuş olabilir. Isıl iletkenlik değerini hammaddelerin yüksek devirde karıştırılmasının etkileyeceği düşünülmektedir.

4. F1 fiber katkılı denemelerde standart ürüne göre %6 oranında iyileşme tespit edilmiştir.

5. Numunelerin XRD dataları incelendiğinde, piklere bakarak yapıda, birinci olarak silisyum dioksit (SiO_2) oluştuğunu söyleyebiliriz. İkinci olarak 11 Å⁰ Tobermorit ($\text{C}_2\text{S}_6\text{H}_5$) kristali oluşmuştur. Üçüncü olarak da Beidellit minerali oluşmuştur. Elde edilen XRD datası literatürdeki datalarla uyumaktadır.

6. Numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde yer yer boşluklu yapı görülmektedir. Numune görüntüsü üzerinde CSH (tobermorit) kristallerinin oluştuğu düşünülmektedir. CSH'ın altındaki kristallerin ise CH kristalleri olduğu düşünülmektedir.

7. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, daha sonra yapılabilecek çalışmalar için önemli bir basamak oluşturmaktadır.



8. KAYNAKLAR

- Achchaq, F., Beji H., Djellab, K. (2009). Hydric, morphological and thermo-physical characterization of glass wools: From macroscopic to microscopic approach. *Construction and Building Materials*, **23**: 3214–3219.
- Akıncı, H. (2007). Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Al-Homoud, M.S. (2004). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, **40**: 353–366.
- Altun F. (2006). Experimental Investigation Of Lightweight Concrete With Steelfiber. *Journal Of Engineering Sciences*, **3**: 333-339.
- Arısoy, B. (2005). “Lifli Hafif Betonların Optimum Karışım Tasarımı”, Deprem Sempozyumu 23-25 Mart, Kocaeli.
- Ashrae (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers) (2001). Handbook of Fundamentals, Atlanta, Amerika.
- Astm D 1929. Standart Test Method for Determining Ignition Temperature of Plastics, Amerika.
- Baydar, D.G. (2010). Sürekli Cam Fiber Takviyeli Polipropilen Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bento, A.C., Kubaski, E.T., Pianaro, S.A., Sequinel T., Tebcherani, S.M., Varela, J.A. (2013). Glass foam of macroporosity using glass waste and sodium hydroxide as the foaming agent. *Ceramics International*, **39**: 2423–2430.

- Bonakdar, A., Babbitt, F., Mobasher, B. (2013). Physical and mechanical characterization of Fiber-Reinforced Aerated Concrete (FRAC). *Cement & Concrete Composites*. **38**: 82–91.
- Budaiwi I.M, Abdou AA, Al-Homoud MS. (2002). Variations of thermal conductivity of insulation materials under different operating temperatures: impact on envelope induced cooling load. *Journal of Architectural Engineering*, **8**: 125–132.
- Chen, W., Hao, H., Hughes, D., Shi, Y., Cui, J., Li, Z. (2015). Static and dynamic mechanical properties of expanded polystyrene. *Materials and Design*. **69**: 170–180.
- Colombo, M., Albertelli, A., Marino, N., Martinelli, P., Zedda, R. (2015). Dynamic response and energy absorption of mineral–phenolic foam subjected to shock loading. *Materials and Design*, **78**: 63-73.
- Dağsöz, A.K. (1999) Türkiye’de Yapıların Yalıtımı ve Yalıtım Sanayiinin Durumu, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 1999-52, İstanbul.
- De Jaeger, P. (1987). Tuinbouw zonder grond verliest geen grond. *Landbouwk. Tijdschrift* **2**: 13–15.
- Demirel, B. (2007). Mineral Katkı Kullanımının Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betondaki Etkileri. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- Dey, V., Bonakdar, A., Mobasher, B. (2014). Low-velocity flexural impact response of fiber-reinforced aerated concrete. *Cement & Concrete Composites*, **49**:100–110.
- DIN 54836. Testing of Combustible Materials; Determination of Ignition Temperature, Almanya.
- Doe Ce-0180. (2002). The US Department of Energy, Insulation Fact Sheet with Addendum on Moisture Control, USA.

- DPT, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. (2001). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri 3. (Kuvars Kumu Kuvarsit-Kuvars) Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
- Düzgün, O.A. (2001). Çelik liflerin hafif betonların dayanımları üzerindeki etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ekinci, C.E. (2003). Yalıtım Teknikleri. Ankara: Nobel Basımevi.
- Elragi, A.F. (2006). Selected Engineering Properties and Applications of EPS Geofoam.
- Hesky, D., Aneziris, C.G., Gross, U., Horn, A. (2015). Water and water glass mixtures for foam glass production. *Ceramics International*, **41**: 12604–12613.
- Horvath, J.S. (1994). Expanded Polystyrene (EPS) geofoam: An introduction to material behavior. *Geotextiles and Geomembranes*, **13**: 263-280.
- İzoder (Isı, Ses ve Su İzolasyoncuları Derneği). (2003). T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yapı Denetim Kuruluşları Yalıtım Seminerleri, 13 Mayıs -11 Haziran.
- Jørgensen, E. (1975). 'Grodan' stone wool as medium for propagation and culture. *Acta Horti*, **54**: 137–141.
- Kakroodi, A.R., Khazabi, M., Kwon, O.S., Maynard, K., Sain M. (2015). Soy-based polyurethane spray foam insulations for light weight wall panels and their performances under monotonic and static cyclic shear forces. *Industrial Crops and Products*, **74**: 1-8.
- Karahan, O. (2006). Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Kaynaklı, O. (2012). A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**: 415–425.
- Kim, J., Song, T.H. (2013). Vacuum insulation properties of glass wool and opacified fumed silica under variable pressing load and vacuum level. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **64**: 783–791.
- Koci, W., Cerny, R., Madera, J. (2013). Computer aided design of interior thermal insulation system suitable for autoclaved aerated concrete structures. *Applied Thermal Engineering*, **58**: 165-172.
- König, J.J., Petersen, R.R., Yue,Y. (2014). Influence of the glass–calcium carbonate mixture's characteristics on the foaming process and the properties of the foam glass. *J.Eur.Ceram.Soc.* **34**: 1591–1598.
- Kulaksızoğlu, Z. (2006). Isı Yalıtım Sektör Araştırması. *İstanbul Ticaret Odası*.
- Kurt, G. (2006). Lif İçeriği Ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Laukaitis, A., Keriene, J., Mikulskis, D., Sinica, M., Sezemanas, G. (2009). Influence of fibrous additives on properties of aerated autoclaved concrete forming mixtures and strength characteristics of products. *Construction and Building Materials* **23**:3034–3042.
- Liu, W.V., Apel, D.B., Bindiganavile, V.S. (2014). Thermal properties of lightweight dry-mix shotcrete containing expanded perlite aggregate. *Cement & Concrete Composites*, **53**: 44-51.

- Mousa, M.A., Uddin, N. (2009). Experimental and analytical study of carbon fiber-reinforced polymer (FRP)/autoclaved aerated concrete (AAC) sandwich panels. *Engineering Structures* **31**: 2337–2344.
- Nature 452 (2008). Nature Publishing Group, Architects of a low-energy future, 520–523.
- Owsiak, Z., Mazur, M., Sołtys, A., Sztąboroski P. (2015). Properties of autoclaved aerated concrete with halloysite under industrial conditions. *Procedia Engineering* **108**: 214-219.
- Özel, C., Filiz, M., Sevinç, A., Kıran, C., (2011). Betonda Fiber Katkı Olarak Polietilen Tereftalatın Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *SDU International Technologic Science*, Vol. 3, No 2, February 2011 pp. 17-28.
- Özçelik, H. (2013). Genleştirilmiş Polistiren Köpük (EPS) İle Atık Polistiren Köpük Granüllerin Betona Karıştırılmasıyla Elde Edilen Hafif Betonun Karakteristik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Özutku, O. (2012). Binalarda Isı Yalıtımı Yoluyla Enerji Tasarrufu MKÜ Mühendislik Fakültesi Binası Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pavlík, Z., Mihulka, J., Fiala, L., Cerný, R. (2012). Application of Time-Domain Reflectometry for Measurement of Moisture Profiles in a Drying Experiment. *Int J Thermophys*, **33**: 1661–1673.
- Rijck, G.D., Schrevens, E. (1998). Distribution of nutrients and water in rockwool slabs. *Scientia Horticulturae*, **72**: 277–285.
- Schlegel, E., Hums D. (2002). Porenbeton - die Entwicklung von Gefüge und Eigenschaften eines Werkstoffes. *Mauerwerk*, **6**: 82– 88.

- Sezer, H. (2010). Öğütülmüş Diyatomitin Gazbeton Üretiminde Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Su, X., Huang, C., Li, Y., Luo Z. (2004).Life cycle inventory comparison of different building insulation materials and uncertainty analysis. *Journal of Cleaner Production*, 1-7.
- Şen, A.O. (2006). Binalarda Uygulanan Yalıtım Sistemleri Dünyada ve Türkiyede Yalıtım. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Topçuoğlu, K. (2014). Yalıtım Teknolojisi. Nobel Yayınları.
- Ülker, S. (2009). Isı Yalıtım Malzemelerinin Özelliklerinin Uygulamaya Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., Gençel, O. (2006). Çelik Liflerin Beton Basınç Ve Eğilme Özelliklerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, **1**: 23-30.
- Ünverdi, A. (2006). Yüksek Sıcaklık Altında Gazbeton Kırıklı Betonların Dayanımlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- VanBelleghem, M., Janssens, A., Paepe, M.D., Steeman, M. (2014). Drying behaviour of calcium silicate. *Construction and Building Materials*, **65**: 507–517.
- VanDorp, T., (1988). Expanded Polystyrene Foam as Light Fill and Foundation Material in Road Structures. International Congress on Expanded Polystyrene, Milan, Italya.

Wakili, K.G., Hugi, E., Karvonen, L., Schnewlin, P., Winnefeld, F. (2015). Thermal behaviour of autoclaved aerated concrete exposed to fire. *Cement & Concrete Composites*, **62**: 52–58.

Willumsen, J. (1972). Water retention, water movement, and oxygen diffusion in inert root media. *Tidsskrift Planteavl.* **76**: 570–580.

Yıldız, S., Bölükbaş, Y., Keleştemur, O. (2010). Effect of Glass Fiber Addition on the Compressive and Tensile Strength of Concrete. *Journal of Polytechnic*, **13**: 239-243.

8.1 İnternet Kaynakları

1. http://kisi.deu.edu.tr//mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf, (20.12.2015)
2. <http://www.kirec.org/index.php?page=icerikgoster&menuID=109>, (20.12.2015)
3. https://tr.wikipedia.org/wiki/Alçı_tası, (20.12.2015)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gülnaz Yılmaz
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara, 18.10.1991
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0507 040 17 86/ glnazylmaz@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Batıkent Lisesi (2005-2009)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi (2009-2013)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi (2013-2016)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Çimsa (stajyer) (Temmuz 2012- Ağustos 2012)
SANTEZ Proje Asistanı (Nisan 2014-Kasım 2015)