



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİATOMİT/KAPRIK ASİT KOMPOZİT KATKILI KÖPÜK
BETONLARIN ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE TERMAL
REGÜLASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

SULTAN ASLANTAŞ KAYIŞLI

DANIŞMAN

DOÇ. DR. ALİ YARAŞ

BARTIN-2025



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**DİATOMİT/KAPRIK ASİT KOMPOZİT KATKILI KÖPÜK BETONLARIN
ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE TERMAL REGÜLASYON
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sultan ASLANTAŞ KAYIŞLI

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Doç. Dr. Ali YARAŞ

Üye : Doç. Dr. Muhammed Yasin DURGUN

Üye : Doç. Dr. Ahmet Hayrullah SEVİNÇ

BARTIN-2025

KABUL VE ONAY

Sultan ASLANTAŞ KAYIŞLI tarafından hazırlanan “ DİATOMİT/KAPRIK ASİT KOMPOZİT KATKILI KÖPÜK BETONLARIN ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE TERMAL REGÜLASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ” başlıklı bu çalışma 24.01.2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Ali YARAŞ

Üye : Doç. Dr. Muhammed Yasin DURGUN

Üye : Doç. Dr. Ahmet Hayrullah SEVİNÇ

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK
Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Ali YARAŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum “DİATOMİT/KAPRIK ASİT KOMPOZİT KATKILI KÖPÜK BETONLARIN ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE TERMAL REGÜLASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

24.01.2025

Sultan ASLANTAŞ KAYIŞLI



ÖN SÖZ

Yüksek lisans tezim sırasında bana yol göstererek desteğini ve yardımını hiç esirgemeyen engin bilgilerini benimle paylaşan danışmanım Doç. Dr. Ali YARAŞ’a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, köpük beton esaslı kompozit harçların üretiminde büyük katkısı olan Çevre Mühendisliği Bölümü’nden Prof. Dr. Ertuğrul ERDOĞMUŞ’a ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan ve manevi desteklerini eksik etmeyen sevgili eşim İsmail KAYIŞLI ‘ya ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Sultan ASLANTAŞ KAYIŞLI



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DIATOMİT/KAPRIK ASİT KOMPOZİT KATKILI KÖPÜK BETONLARIN ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE TERMAL REGÜLASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Sultan ASLANTAŞ KAYIŞLI

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali YARAŞ

Bartın-2025, sayfa: 58

Faz değıştiren malzemeler (FDM), ortam sıcaklığına bağı olarak enerjiyi depolayabilir ya da serbest bırakabilir. Bu nedenle, yapı malzemelerinde FDM kullanımı, yapıların enerji verimliliğini artırmak ve termal konforunu iyileştirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında, gözenekli bir forma sahip olan diatomit destek materyali olarak kullanılmış ve kaprik asit (KA) ile direkt emdirme işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanan sızıntı testleri neticesinde, diatomitin en fazla kütlece %50 oranında KA emebildiğı belirlenmiştir. Hazırlanan diatomit/KA kompoziti kütlece %15, %20, %25 ve %30 olmak üzere dört farklı oranda kuma ikame olarak köpük beton karışımına dahil edilmiştir. Termal analiz sonuçlarına göre, diatomit/KA kompozitinin erime ve donma sıcaklıkları ile erime ve donma entalpi değeri sırasıyla 28,73 °C ve 28,49 °C ile 101 J/g ve 193 J/g olarak tespit edilmiştir. Diatomit/KA miktarının artışına bağı olarak su emme ve görünür gözeneklilik değeri artarken yayılma çapı ve kuru birim ağırlık değeri azalma meydana gelmiştir. Termal iletkenlik ve basınç dayanım değeri ise diatomit/KA miktarının artışına bağı olarak azalma göstermiştir. Kütlece %30 diatomit/KA katkı köpük beton numunesi için en yüksek su emme, görünür gözeneklilik ve basınç dayanım değeri sırasıyla %25,9, %34 ve 6,31 MPa olarak ölçülmüştür. Termal iletkenlik değeri ise 0,495-0,241 W/mK aralığında

değişim göstermiştir. Termoregülasyon test sonuçları; kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton plakanın yüzey ve ortam sıcaklıklarında önemli miktarda bir azalma (serinleme) sağlarken, gece vakitlerinde de ısıtma yükünün azaltılmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Diatomit, faz değiştiren malzeme, fiziksel ve mekanik özellikler, köpük beton, termoregülasyon performans



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PRODUCTION, CHARACTERIZATION AND INVESTIGATION OF THERMAL ENERGY REGULATION PROPERTIES OF FOAM CONCRETES WITH DIATOMITE/CAPRIC ACID COMPOSITE

Sultan ASLANTAŞ KAYIŞLI

Bartın University

Graduate School

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ali YARAŞ

Bartın-2025, pp: 58

Phase change materials (PCM) can store or release energy depending on the ambient temperature. Therefore, the use of PCM in building materials is of great importance in terms of increasing the energy efficiency and improving the thermal comfort of buildings. In this thesis, diatomite, which has a porous form, was used as support material and subjected to direct impregnation with capric acid (CA). As a result of the applied leakage tests, it was determined that diatomite could absorb CA at most 50% by weight. The prepared diatomite/KA composite was included in foam concrete mixture as a sand substitute at four different ratios of 15%, 20%, 25% and 30% by weight. According to thermal analysis results, melting and freezing temperature; melting and freezing enthalpy values of diatomite/KA composite were determined as 28.73 °C ve 28.49 °C ile 101 J/g ve 193 J/g, respectively. Depending on increase in amount of diatomite/CA, water absorption and apparent porosity values increased, while the spreading diameter and dry unit weight values decreased. Thermal conductivity and compressive strength values decreased depending on the increase in amount of diatomite/CA. For foam concrete with 30% diatomite/CA, the highest water absorption, apparent porosity and compressive strength values were measured as 25.9%, 34% and 6.31 MPa, respectively. Thermal conductivity values varied in the range of 0.495-

0.241 W/mK. Thermoregulation test results show that foam concrete slabs with 30% diatomite/CA composite provide a significant reduction (cooling) in surface and ambient temperatures and can contribute to the reduction of heating at night.

Keywords: Diatomite, foam concrete, phase change material, physical and mechanical properties, thermoregulation performance



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME	iii
ÖN SÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Termal Enerji Depolama (TED) Yöntemleri	2
1.1.1 Duyulur Isı Depolama	3
1.1.2 Gizli Isı Depolama	3
1.1.3 Termokimyasal Enerji Depolama.....	5
1.2 Faz Değiştiren Maddeler (FDM)	5
1.2.1 Organik Faz Değiştiren Malzemeler	5
1.2.2 İnorganik Faz Değiştiren Malzemeler	5
1.2.3 Ötektik Faz Değiştiren Malzemeler	6
1.3 Faz Değiştiren Malzemelerin Uygulama Alanları	7
1.4 Beton	8
1.5 Köpük Beton ve Özellikleri.....	9
1.6 Diatomit ve Özellikleri.....	9
1.6.1 Diatomit.....	10
1.6.1.1 Diatomitin Kullanım Alanları.....	10
1.7 Kaprik Asit (KA)	11
2. ENERJİ KAYNAKLARININ VERİMLİ KULLANIMI	13
2.1 Binalarda Enerji Verimliliği	13
2.2 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (TS 825)	14
2.3 Binalarda Enerji Performansı	15
2.4 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	16
2.5 Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğinin	17
Artırılmasına Dair Yönetmelik.....	17

3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	19
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
4.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	26
4.2 Kaprik asit (KA) Katkılı Diatomit Kompozitlerin Hazırlanması ve Sızıntı Testi	27
4.3 Diatomit/KA Kompozit Katkılı Köpük Betonların Üretimi	28
4.4 Karakterizasyon İşlemleri.....	30
4.5 Termoregülasyon Test Düzeneği	32
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
5.1 FTIR Analizi.....	33
5.2 DSC Analizi	34
5.3 Yaş ve Kuru Birim Ağırlık.....	35
5.4 Görünür Gözeneklilik ve Su Absorpsiyonu.....	36
5.5 Yayılma Çapı.....	37
5.6 Basınç Dayanımı	37
5.7 Termal İletkenlik	38
5.8 SEM ve EDS Analizleri	39
5.9 Termal Regülasyon Deney Sonuçları.....	45
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Katı-sıvı faz değişimi durumunda gizli ısı olarak ısı depolama	4
1.2: Faz değiştiren maddelerin sınıflandırılması	6
4.1: Deneyde kullanılan malzemeler	27
4.2: Diatomit/KA kompozitlerin sızıntı test görüntüleri	28
4.3: Köpük beton numunelerinin hazırlanması	29
4.4: Diatomite ait partikül boyut analizi grafiği	30
4.5: Diatomitin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	31
4.6: Basınç dayanım testi (a) ve termal iletkenlik ölçümü (b)	31
4.7: Termoregülasyon testleri için hazırlanan deney düzeneği	32
5.1: Diatomit, KA ve diatomit/KA kompozitin IR spektrumları	33
5.2: KA ve diatomit/KA kompozitin DSC eğrileri	34
5.3: Köpük beton numunelerinin yaş ve kuru birim ağırlık sonuçları	35
5.4: Köpük beton numunelerinin su absorpsiyon ve görünür gözeneklilik sonuçları	36
5.5: Köpük beton numunelerinin basınç dayanım sonuçları	38
5.6: Köpük beton numunelerinin termal iletkenlik katsayı değerleri	39
5.7: Diatomit/KA kompozitinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	40
5.8: Diatomit/KA kompozitinin SEM-EDS analizi	41
5.9: Referans numunenin SEM-EDS görüntüleri ve mapping analizi	42
5.10: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton numunesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	43
5.11: Kütlece %30 diatomit/KA kompozit katkılı köpük beton numunesinin SEM-EDS analizi	44
5.12: Kütlece %30 diatomit/KA kompozit katkılı köpük beton numunesinin SEM-EDS ve mapping analizleri	45
5.13: Global güneş ışıınımı, doğrudan gelen güneş ışıınımı ve dağınık güneş ışıınımının değişimi (15-19.06.2023)	46
5.14: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton ve referans plakaların kullanıldığı	

test odalarındaki alt yüzey (a) ve üst yüzeydeki (b) sıcaklık değişimi (15-19.06.2023)	47
5.15: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton ve referans plakaların kullanıldığı test odalarındaki yakın yüzey (c) ve merkezdeki (d) sıcaklık değişimi (15-19.06.2023)	48
5.16: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton ve referans plakaların alt yüzey ile üst yüzey (a) ve üst yüzey (b) arasındaki sıcaklık farkları (15-19.06.2023)	49
5.17: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton ve referans plakaların alt yüzey ile yakın yüzey (c) ve oda merkezi (d) arasındaki sıcaklık farkları (15-19.06.2023)	50



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1. 1: FDM türlerinin karşılaştırılması.....	7
1. 2: Türkiyedeki diatomit rezervlerinden alınan numunelerin birleşen sınır değerleri	10
4. 1: Çimento ve Diatomitin XRF sonuçları	26
4. 2: Hazırlanan köpük beton numunelerine ait karışım oranları	29
5. 1: KA ve Diatomit/KA kompozitine ait DSC sonuçları.....	34
5. 2: Köpük beton harçlarının yayılma çapı değerleri	37



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Q: depolanan ısı miktarı

m: kütle

C: özgül ısı

ΔT : başlangıç ve son durum arasındaki sıcaklık farkı

$^{\circ}\text{C}$: santigrat derece

kg: kilogram

μm : mikrometre

g: gram

cm^3 : santimetreküp

cm^2 : santimetrekare

m: metre

m^2 : metrekare

m^3 : metreküp

KISALTMALAR

DSC: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri

FDM: Faz Değiştiren Malzeme

FTIR: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi

GID: Gizli Isı Depolama

KA: Kaprik Asit

LA: Laurik Asit

LOI: Limit Oksijen İndeksi

MD: Mikro Dalga

PKK: Pirinç Külü Kabuğu

PUA: Poliüretan Akrilat

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

TED: Termal Enerji Depolama

TGA: Termogravimetrik Analiz

UEA: Uluslararası Enerji Ajansı

UV: Ultraviyole

XRF: X-Işını Floresans Spektrometresi



1. GİRİŞ

Dünya genelinde her geçen gün sera gazı emisyonlarının artması ve yakıt maliyetlerindeki yükseliş, insanların yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini ve enerjiyi daha verimli ve etkin kullanmasını zorunlu hale getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkili bir şekilde kullanılmasındaki en büyük zorluklardan biri, uygun enerji depolama yöntemlerinin hala gelişme sürecini tamamlamamış olmasıdır. Depolanmış enerjinin gerektiğinde kolayca kullanılabilir hale getirilmesi oldukça önemlidir. Bu hedefe ulaşmak için kapsamlı bir sistem tasarımına ihtiyaç vardır (Hekimoğlu vd.,2022).

Sanayileşme ile birlikte meydana gelen hızlı nüfus artışı beraberinde enerji tüketimini de artırmış ve dolayısıyla enerji ihtiyacı son yılların önemli bir sorunu haline gelmiştir. Bu sorunun çözümü için geliştirilen çözümler, genellikle enerjinin depolanması ve kaynakların verimli bir şekilde kullanımına yöneliktir. Dünyadaki enerji talebi, günümüzde büyük ölçüde kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtlar atmosferde istenmeyen zararlı gazların birikimine ve küresel ısınmaya neden olurken, aynı zamanda hava kirliliği ve iklim değişikliğine de yol açmaktadırlar. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve enerji ihtiyacının sürekli artması, alternatif enerji kaynakları açısından fakir olan veya mevcut enerji kaynaklarını verimli kullanamayan ülkeleri, ekonomik ve çevre sorunları ile karşı karşıya bırakmaktadır. Bu durum, çeşitli sosyal ve toplumsal birçok olayı da beraberinde getirmektedir (Bulut vd., 2020).

Isıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin büyük bir kısmı binalarda gerçekleştiğinden, binalardaki enerji tüketimi ve maliyetleri, küresel ölçekte ciddi bir sorun haline gelmiştir. Bir binanın enerji tüketim miktarı, binanın iç hava sıcaklığının korunmasıyla doğrudan ilişkilidir. Binalarda kaybedilen ısı miktarı, yüzeylerin ve havalandırma sisteminin özelliklerine göre iç ve dış sıcaklık farkına bağlı olarak değişim göstermektedir. İç ortam sıcaklığını termal konfor sıcaklığı aralığında tutabilmek için, enerji talebini azaltan yapı malzemelerinin ve tasarımlarının kullanımı büyük önem taşımaktadır. Çünkü, sürdürülebilir enerji tüketimi için, ısıtma ve soğutma için gerekli olan enerji talebini azaltacak yöntemlerin ve malzemelerin kullanımı elzemdir. Bu bağlamda, iç ortam sıcaklığını ısıl konfor aralığında tutabilmek ve ısıtma/soğutma için harcanan enerji yükünü azaltmaya katkı sağlayacak en etkili yöntemlerden birisi de faz değiştiren malzemelerin (FDM) kullanımıdır. Günümüzde

farklı faz değişim sıcaklıklarına sahip çeşitli FDM türleri bulunmaktadır. Bu FDM'ler; yapı malzemeleri, tekstil ürünleri, sıcaklık duyarlı malzemelerin taşınması ve saklanması, elektronik cihazların soğutulması, aktif ve pasif ısıtma/soğutma sistemleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapı malzemelerinin bünyesine FDM ilavesiyle, etkili bir termal enerji depolama sistem tasarımı geliştirmek mümkündür. Şöyle ki; iyi bir şekilde tasarlanan ve FDM içeren termal enerji depolama özelliğine sahip bir bina, enerji kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırarak sıcaklık aralıklarını termal konfor seviyesinde tutabilmek için gereken enerjiyi azaltabilir. İnşaat sektöründe FDM'ler; alçı, çimento harcı, beton ve duvar kaplama malzemeleri gibi çeşitli yapı elemanlarının üretiminde kullanılabilmektedir. Bu şekilde, ısı enerji depolama kapasitesine sahip yeni nesil kompozit yapı malzemelerinin üretimi mümkündür. FDM içeren yapı malzemelerinin geliştirilmesi sürecinde kullanılacak destek materyalinin seçimi oldukça önemlidir. Destek materyali seçilirken; FDM ile fiziksel ve kimyasal uyumluluk göstermesi, gözenekli ve geniş yüzey alanına sahip olması ve yüksek oranda FDM absorplayabilme kapasitesine sahip olması gibi faktörler dikkate alınır. Diğer taraftan, FDM içeren yapı malzemelerinin üretiminde bazı sorunlarla da karşılaşmaktadır. FDM'lerin doğrudan (herhangi bir destek malzemesi olmaksızın) yapı malzemelerine eklenmesi durumunda meydana gelen FDM'nin akması (sızıntı meydana gelmesi) bu sorunların başında gelmektedir. Literatürde, sıvı fazdaki FDM'nin bir destek materyaline emdirilmesi ile akma sorununun çözüldüğü bilinmektedir. Bu yöntemde, sıvı formdaki FDM, gözenekli bir destek malzemesine doğrudan veya vakum yoluyla emdirilebilir. Bu yöntemlerle hazırlanan kompozit yapısındaki FDM, termal enerji depolama (TED) ve salınım işlevini yerine getirirken, destek malzemesi sıvı fazdaki FDM'nin bünyeden akmasını önler ve katı formun korunmasını sağlar. FDM içeren kompozitlerin hazırlanmasındaki diğer önemli bir konu ise, FDM'lerin termal iletkenliklerinin düşük olmasıdır (Hekimoğlu vd.,2022).

1.1 Termal Enerji Depolama (TED) Yöntemleri

Kısaca TED olarak da bilinen termal enerji depolama, genellikle ısı ve soğuk depolama olarak adlandırılır. TED, bir sistem veya ortam tarafından ısının veya soğukun depolanması ve daha sonra ihtiyaç duyulduğunda kullanılması anlamına gelir. Bu nedenle, depolama

yöntemi tersine çevrilebilir olmalıdır, böylece belirli bir süre sonra depolanan enerji geri alınabilir (Hekimoğlu vd.,2022).

Termal enerji depolama (TED), yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin depolanarak gerektiğinde kullanılmasını sağlayan bir teknolojidir. Konut, sanayi, ulaşım ve tarım sektörlerinde uygulanabilirliği olan TED, fosil yakıtlardan tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini büyük ölçüde artırır. Bu nedenle, son yıllarda termal enerjinin depolanmasını sağlamak amacı ile birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemleri duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama ve termokimyasal ısı depolama olmak üzere üç başlıkta incelemek mümkündür (Paksoy,2007). Bu yöntemler, birim hacimde depolayabilecekleri enerji miktarı açısından farklılık gösterirler (Lane, 1983).

1.1.1 Duyulur Isı Depolama

Termal enerji depolamanın bilinen ve yaygın olarak kullanılan yolu duyulur ısı depolama yöntemidir. Bu yöntemde, depolama ortamına aktarılan ısı, depolama ortamının sıcaklık artışına yol açar. Bu sıcaklık artışına bağlı olarak depolanan ısıya duyulur ısı adı verilir. Dolayısıyla, duyulur ısı depolama işlemi, depolama sürecinde depolama malzemesi veya ortam fazında bir değişiklik olmaksızın sıcaklık değişimine bağlı olarak gerçekleşir. Duyulur bir TED sisteminin depolayabileceği ısı miktarı, başlangıç ve son koşullar arasındaki sıcaklık farkına, depolama ortamının kütlesine ve ısı kapasitesine bağlıdır.(Hasanuzzaman ve Rahim, 2019)

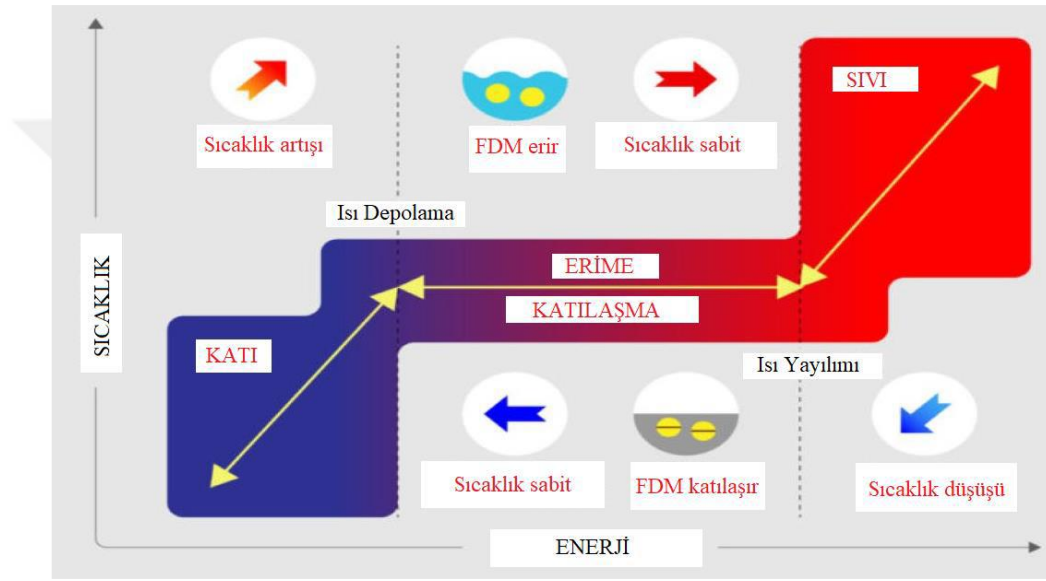
$$Q = m \times c \times \Delta T$$

burada m, c ve ΔT terimleri sırasıyla depolama malzemesinin kütlesini, depolama malzemesinin özgül ısısını ve başlangıç ile son durum arasındaki sıcaklık farkını ifade etmektedir.

1.1.2 Gizli Isı Depolama

Gizli ısı, maddenin bir fazdan başka bir faza geçişi esnasında depoladığı veya saldırdığı enerjiye verilen isimdir. Gizli ısı değişimi, duyulur ısı değişiminden genellikle daha yüksektir. Gizli ısı depolaması için kullanılan malzemeler genellikle FDM'lerdir. Gizli ısı depolama, katı-katı, katı-sıvı ve sıvı-gaz olmak üzere üç farklı faz değişimi şeklinde

gerçekleşebilir. Sıvı-gaz faz değişiminin gizli ısı depolama kapasitesi yüksek olsa da, faz geçişi sırasında büyük hacim değişikliği gerektirdiğinden yüksek basınca dayanıklı depolama kaplarına ihtiyaç duyulur. Bu, ısı enerjisi depolama işlemini sınırlayıcı bir durumdur. Katı-katı faz değişimi esnasında malzeme bir kristal yapıdan başka bir kristal yapıya geçerken ısı depolar. Bu faz geçişinin, katı-sıvı faz geçişine nazaran gizli ısı kapasitesi ve hacim değişikliği daha düşük seviyededir. Katı-sıvı faz geçişi ise büyük miktarda ısı depolamanın yanı sıra küçük miktarda hacim ve basınç değişikliği gerektirdiğinden TED uygulamalarında en sık kullanılan faz değişimidir.(Wu, 2010)



Şekil 1.1: Katı-sıvı faz değişimi durumunda gizli ısı olarak ısı depolama (URL-1.2024)

Şekil 1.1’de görüldüğü üzere, erime işlemi sabit sıcaklıkta gerçekleştiğinden, depolanan erime ısısı sıcaklıktan bağımsızdır. Faz dönüşümü sırasında sağlanan ısı, gizli ısı olarak adlandırılır ve bu işlem gizli ısı depolama (GID) olarak bilinir. Depolanan ısı, hacim değişimi küçük olduğu için entalpi farkına eşittir. GID yöntemi, duyulur ısı depolama yöntemiyle karşılaştırıldığında iki önemli avantaj sunar. Bu avantajlar; birim kütle veya hacim başına daha yüksek enerji depolama yoğunluğunun elde edilmesi ve ısı depolama/salınım işleminin sabit bir sıcaklıkta veya belirli bir sıcaklık aralığında gerçekleşmesi olarak ifade edilebilir(Mehling ve Cabeza, 2008).

1.1.3 Termokimyasal Enerji Depolama

Termokimyasal enerji depolama yönteminde, ısı enerjisi bir bileşiğin bağ enerjisi olarak depolanır ve aynı enerji tersinir kimyasal tepkimelerle serbest bırakılabilmektedir. Bu yöntem, gizli ve duyulur ısı enerji depolama sistemlerine kıyasla daha karmaşıktır. Yöntemin esası, moleküler bağ oluşumuna dayandığından bu yöntem uzun vadeli veya mevsimsel depolama için uygundur (Hekimoğlu vd.,2022).

1.2 Faz Değiştiren Maddeler (FDM)

FDM, katı ve sıvı arasındaki faz değişim süreçlerinde enerji depolayan veya enerji salabilen malzeme olarak tanımlanır. FDM'ler, bir maddenin belirli sıcaklık aralığında katı halden sıvı hale geçişi esnasında ısıyı absorbe edebilir, sıvı halden katı hale geçerken de bu ısıyı dışarıya verebilir. Faz değişim sırasında ısının depolanması veya salınması işleminden dolayı FDM'ler gizli ısıyı depolayabilen malzemeler olarak da bilinir (Sharma vd., 2009). Faz değişim süreçlerinde FDM'lerin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için, hacimsel bir değişim olmamalı, madde faz değişim sırasında fiziksel ve kimyasal özelliklerini koruyabilmelidir. Günümüzde FDM'ler, genellikle katı-sıvı faz değişiminde ısı depolama uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. FDM'ler aşağıdaki şekilde üç ana kategoride sınıflandırılabilir (Şekil 1.2) (Karaipekli ve Sarı, 2006).

1.2.1 Organik Faz Değiştiren Malzemeler

Katı-sıvı faz değişimi sırasında ciddi hacim değişimine uğramayan organik formdaki parafinler ve yağ asitleri gibi FDM'ler yüksek miktarda termal enerji depolayabildikleri için diğer FDM türlerine kıyasla daha fazla tercih edilirler. Bunlardan parafin, kimyasal stabilitesi ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilmesi nedeniyle enerji depolama uygulamalarında tercih edilen FDM'lerin başında gelmektedir. Ancak parafinin düşük ısı iletkenliğe sahip olması enerji depolama performansını önemli ölçüde sınırlamaktadır (Iten ve Liu, 2014; Khadiran vd., 2016).

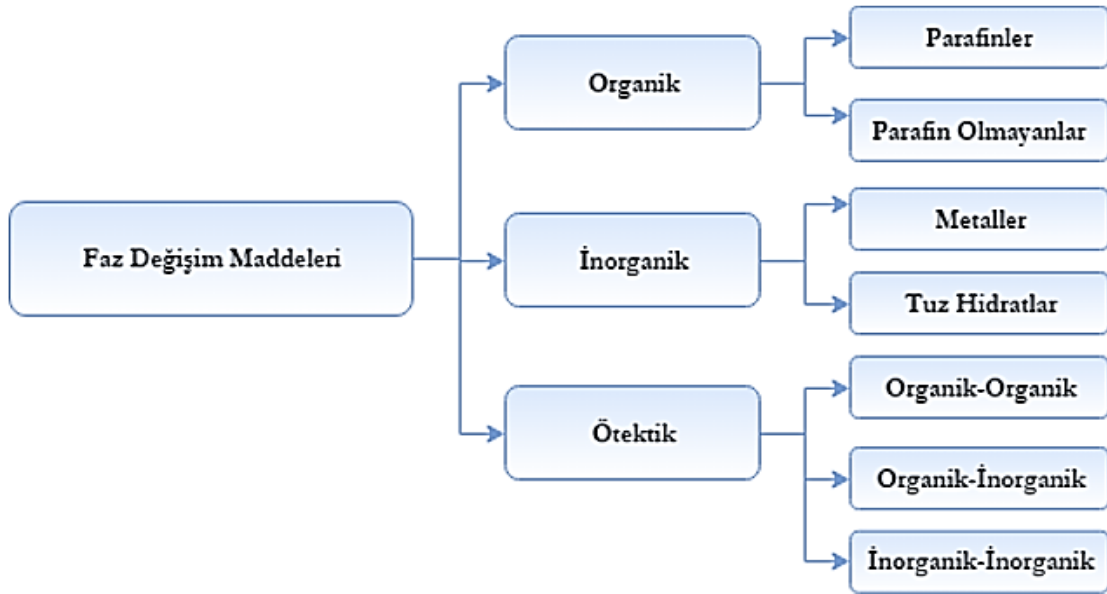
1.2.2 İnorganik Faz Değiştiren Malzemeler

Genellikle tuz hidratları bünyesinde barındıran inorganik FDM'lerin gizli ısı depolama performansları ve ısı iletkenlik değerleri yüksektir. Düşük maliyetli olan inorganik FDM'ler

korozif özellik gösterebilmekle birlikte, bozunmaya uğrama ve bünyesindeki hidrati kaybetme gibi bazı dezavantajlara da sahiptir. Diğer taraftan, yüksek erime sıcaklığına sahip olan inorganik formdaki metaller, tuz hidrat içeren FDM'lere nazaran daha yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılabilir. Fakat, bu tür FDM'ler daha pahalıdır ve enerji verimliliği açısından organik FDM'lere kıyasla daha az verimli olabilmektedirler.

1.2.3 Ötektik Faz Değiştiren Malzemeler

Bu tür FDM'ler, iki veya daha fazla bileşiğin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Bu karışımlar organik-organik, organik-inorganik veya inorganik-inorganik şeklinde farklı kombinasyonlarda olabilir. TED uygulamalarında hangi tür FDM'nin kullanılacağı, çalışma sıcaklık aralığına ve çevresel faktörlere bağlıdır (Tuçbilek, 2005). Yukarıda ifade edilen FDM türlerinin karşılaştırılması Tablo 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.2: Faz değiştiren maddelerin sınıflandırılması (Abhat, 1983)

Tablo1. 1: FDM türlerinin karşılaştırılması (İten ve Liu, 2014; Khadiran vd., 2016)

FDM Türü	Avantaj	Dezavantaj
Organik	Yüksek termal kararlılık Oda sıcaklığında donabilme Düşük buhar basıncı Reaktif ve toksik olmama Düşük hacim değişiklikleri Yapı malzemeleri ile uyumluluk Geniş çalışma sıcaklık aralığı	Sızıntı oluşumu Düşük termal iletkenlik Yanıcılık
İnorganik	Yüksek miktarda gizli ısı depolama kapasitesi Yanıcı olmama Yüksek termal iletkenlik	Faz ayrışması Yüksek hacim değişiklikleri Metalle korozif olma
Ötektik	İsteğe göre çalışma sıcaklığının ayarlanması	Yüksek maliyet

1.3 Faz Değiştiren Malzemelerin Uygulama Alanları

FDM'ler, ısıyı depolayabilme ve gerektiğinde geri verebilme özellikleri nedeniyle enerji verimliliğini artırmak, sıcaklık kontrolünü sağlamak ve sürdürülebilirlik açısından pek çok alanda kullanılmaktadır (Aslan, 2014). Aşağıda FDM'lerin bazı uygulama alanları sıralanmıştır;

- Elektronik ekipmanların ve bataryaların soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan olarak FDM'ler kullanılabilir.
- Medikal malzemelerin ısı regülasyonunda, aşılarda ve ilaçlar gibi sıcaklığa duyarlı ürünlerin taşınmasında sıcaklık kontrolünü sağlayabilir. Ameliyat sonrası hastaların vücut sıcaklığını stabilize etmek için cerrahi yastıkların ve battaniyelerin üretiminde FDM kullanılabilir.
- Gıda endüstrisinde yiyecek ve içeceklerin ısı muhafazasında, gıda saklama ve soğutma süreçlerinde sıcaklık dalgalanmalarını önlemek amacıyla FDM'ler tercih edilmektedir.

- Akıllı tekstillerde, kıyafetlerde ve uyku tulumlarında FDM'ler sıcaklık kontrolünü sağlayabilir. Bununla birlikte, askeri ve spor ekipmanlarında kullanılarak termal konforun artırılması mümkündür.

Bina uygulamalarında ısı yalıtımı, enerji verimliliği ve zemin ısıtma sistemlerinde tercih edilmektedir. Duvar panelleri, çatı sistemleri ve döşemelerde FDM'ler kullanılarak ısı depolanabilir ve iç mekandaki sıcaklık dalgalanmaları azaltılabilir. FDM, binalarda enerji tüketimini azaltarak iklimlendirme (ısıtma, havalandırma, klima) sistemlerinin yükünü hafifletebilir (Hekimoğlu vd.,2022).

1.4 Beton

Yapı sektörünün en yaygın kullanılan malzemelerinden biri olan beton; su, çimento, agrega (kum, çakıl, taş) ve katkı maddelerinin karıştırılmasıyla elde edilir ve sertleşerek dayanıklı bir yapı malzemesi haline gelir. Betonun bileşenlerinden çimento, bağlayıcı olarak görev yapar ve su ile reaksiyona girerek sertleşir ve diğer bileşenleri bir arada tutar. Beton hacminin önemli kısmını oluşturan agrega ise tane boyutuna göre ince agrega (kum) veya kalın agrega (çakıl) şeklinde olabilir. Beton içerisinde agreganın varlığı dayanıklılığı ve stabiliteyi artırır. Çimento ile reaksiyona girerek hidrasyon sürecini başlatan su, beton karışımının işlenebilirliğini ve sertleşmesini sağlar. Beton üretiminde kullanılan suyun temiz ve içme suyu kalitesinde olması istenir. Bunların dışında, beton özelliklerini geliştirmek için çeşitli katkı maddeleri (priz süresini ayarlayan katkıları, su geçirimsizlik sağlayan maddeler gibi) kullanılmaktadır.

Beton, dayanıklı ve uzun ömürlü bir yapı malzemesidir. Çeşitli şekillerde dökülebilen beton nispeten düşük maliyetlidir. Betonun çekme dayanımı düşüktür ve aşırı yük altında zamanla deformasyona uğrayabilir. Çevresel açıdan ise beton üretiminde kullanılan çimento, yüksek karbon ayak izi oranına sahiptir. Teknolojinin ilerlemesiyle beton, daha sürdürülebilir ve dayanıklı hale gelmektedir. Günümüzde geri dönüştürülmüş malzemeler, yeşil beton ve FDM'ler ile entegre beton gibi yenilikçi türleri, çevre dostu inşaat projelerinde kullanılmaktadır. Beton türlerini aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür;

Normal Beton: Genellikle Portland çimentosu içeren ve standart yapı projelerinde kullanılan beton türüdür.

Hazır Beton: Beton üretim tesislerinde üretilip şantiye sahasına taşınan beton olarak tanımlanır.

Hafif Beton: Yoğunluğu düşük olan agregaların kullanılmasıyla üretilir. İzolasyon amacıyla veya hafif yapı elemanlarında tercih edilir.

Kendiliğinden Yerleşen Beton: Kalıba döküldüğünde vibrasyona gerek kalmadan kendiliğinden yerleşebilen betondur.

Fiber Takviyeli Beton: Betonun çekme dayanımını artırmak için çeşitli fiberlerin (cam, çelik, karbon gibi) katkılandığı beton çeşididir.

1.5 Köpük Beton ve Özellikleri

Köpük beton; çimento, su, ince agrega ve köpük yapıcı ajan kullanılmasıyla üretilen ve yaklaşık %75-80 oranında hava boşlukları içeren hafif ve gözenekli bir beton türüdür. Karışımdaki köpük ajanı betona hafiflik ve yalıtım özelliği kazandırır. Köpük beton, geleneksel betona kıyasla daha düşük yoğunluğa sahiptir. Yoğunluğu, kullanılan köpük miktarına bağlı olarak 300-1800 kg/m³ arasında değişim gösterebilir (Arslan, 2022). Düşük yoğunluğu sayesinde sergilediği ısı ve ses yalıtım özelliği ile enerji tasarrufuna katkıda bulunarak binaların enerji verimliliğini artırır. Köpük beton, hafif olduğu için bina yükünü ve taşıma maliyetlerini de azaltır. Diğer taraftan, köpük betonların çekme dayanımı, geleneksel betonlara kıyasla daha düşük olmasına rağmen kullanım alanına bağlı olarak yeterli düzeyde basınç dayanımı sunabilmektedir. Köpük betonun, gözenekli yapısı nedeniyle su emme oranı yüksektir. Bu nedenle, suya maruz kalınan alanlarda kullanılması durumunda etkili bir su yalıtımına ihtiyaç vardır (Yılmaz vd., 2021).

Hafif beton türleri; şap ve zemin uygulamaları, prefabrik elemanlar (blok, panel), çatı, duvar ve diğer yapı elemanlarında geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Yangına karşı yapı çeliğini koruma amacıyla veya mimari kaplama malzemesi olarak da tercih edilmektedir (Yılmaz vd., 2021).

1.6 Diatomit ve Özellikleri

FDM içeren kompozit üretiminde destek materyalinin seçimi oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında, destek materyali olarak kullanılan diatomit hakkındaki bilgiler aşağıda verilmiştir.

1.6.1 Diatomit

Diatomit, mikroskopik su yosunları olan diatomların fosilleşmesiyle oluşan doğal bir silis tortul kayacıdır. Genellikle beyaz, gri veya sarımsı renklerde bulunur ve hafif, gözenekli yapısıyla dikkat çeker. Diatomit, yüksek silis (SiO_2) içeriği ve düşük yoğunluğu nedeniyle sanayi ve tarımda yaygın olarak kullanılır (Taş, 2012). Hafif bir yapıya sahip olan diatomitin kuru özgül ağırlığı $0,15-0,40 \text{ g/cm}^3$ aralığında değişim gösterebilir. Diatomitin sertliği ise Mohs sertlik skalasında 4,5 ile 6 arasında değişebilir. Diatomitin boşluk oranı yaklaşık %80-85 civarında olup, gevşek bir yapıya sahiptir ve genellikle toz formda bulunur (Pınarcı, 2022). Türkiye’deki mevcut 13 farklı diatomit yatağından alınan numunelerin kimyasal açıdan ana bileşenlerine ait üst, alt ve ticari değer açısından sınır değerleri Tablo 1.2.’de sunulmuştur.

Tablo1. 2: Türkiye’deki diatomit rezervlerinden alınan numunelerin bileşen sınır değerleri (Taş, 2012)

Bileşen	Kütlece %		
	Min.	Maks.	Sınır değeri
SiO_2	65,42	87,48	En az 85
Al_2O_3	0,81	3,42	En çok 5
Fe_2O_3	0,64	2,48	En çok 1,5
CaO	0,71	9,37	En çok 1
MgO	0,39	7,20	En çok 0,5
Alkali oksitler			En çok 1
Kızdırma Kaybı			En çok 6

1.6.1.1 Diatomitin Kullanım Alanları

Diatomit, geniş kullanım alanları nedeniyle birçok sektör için önemli bir malzemedir. Diatomitin kullanım alanlarını aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür; (Tandoğan, 2021)

Filtrasyon: Gözenekli yapısı ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı nedeniyle süspansiyon halindeki katı partiküllerin sıvılardan ayrılması işleminde tercih edilir. Ayrıca, suyun içerisindeki partikül ve mikroorganizmaların filtrelenmesinde ve asitler, alkoller ve yağlar

gibi kimyasalların saflaştırılması işlemlerinde kullanılır. İçecek üretiminde, özellikle bira, şarap ve meyve suyu gibi içeceklerin süzülmesi süreçlerinde yer alırlar. Diatomit, geniş yüzey alanı ve gözenekli formu sayesinde yağları ve mikroorganizmaları absorbe ederek filtrasyon hızını artırır. Dolayısıyla, diatomitin verimli ve etkili bir filtrasyon malzemesi olarak çeşitli filtrasyon proseslerinde kullanılması mümkündür (Taş, 2012;Çetin vd., 2012).

Katkı veya Dolgu Maddesi: Diatomit, yumuşak aşındırıcı yapısı nedeniyle diş macunu, cilalama tozları ve deterjanlarda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, boya, plastik, kauçuk ve kağıt endüstrilerinde dolgu malzemesi olarak, kimya endüstrisinde ise katalizörlerin taşınması işleminde katalizör taşıyıcısı olarak tercih edilmektedir.

Tarım ve Hayvancılık: Diatomit, toprak düzenleyici ve doğal bir pestisit taşıyıcısı olarak tarım ve hayvancılık sektöründe kullanılmaktadır. Toprağın su tutma kapasitesini artırarak toprak verimliliğini artırır. Organik tarım uygulamalarında, böcekleri fiziksel olarak etkisiz hale getiren doğal bir pestisit olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, hayvan yemlerinde toksin bağlayıcı olarak kullanılması besinlerin güvenliğini artırır. Örneğin, tavuk yemine %2 oranında diatomit eklenmesi, yemin ete dönüşüm verimliliğini artırır. Bu durum, hayvanların büyüme hızını ve et üretimini de olumlu yönde etkiler.

İnşaat ve Yapı Malzemesi: Yüksek ısı direnci sayesinde fırın ve ocaklarda yalıtım malzemesi olarak kullanılan diatomit, refrakter tuğla ve harç üretiminde de tercih edilebilmektedir.

Ayrıca, hafif ve gözenekli formu nedeniyle beton karışımlarına eklenerek yapı malzemelerinin ağırlığını azaltan hafif betonların üretiminde de kullanılmaktadır.

Bu özellikler ve kullanım alanları, diatomitin hem ekonomik hem de çevresel faydalarını her geçen gün artırmaktadır (Bentli, 2010; Çetin vd., 2012;URL-2.2024).

1.7 Kaprik Asit (KA)

Kaprik asit (KA), diğer adıyla dekanoyik asit, karbon zincirinde 10 karbon atomu içeren bir doymuş yağ asididir. Doğal olarak bazı hayvansal ve bitkisel yağlarda bulunur ve kokusu genellikle keçi sütünden türetilmiş ürünlerle ilişkilendirilir. İsmini de Latince ‘keçi’ anlamına gelen *capra* kelimesinden alır. Kimyasal formülü $C_{10}H_{20}O_2$ olan KA, uzun zincirli doymuş bir karboksilik asittir. Molekülü bir karboksil grubu (-COOH) ve 10 karbonlu bir alifatik hidrokarbon zincirinden oluşur. Beyaz renkli kristal katı formunda bulunan KA, 32°C erime

sıcaklığına sahiptir. Keçi sütüne benzeyen, keskin bir kokusu vardır. Sudaki çözünürlüğü çok azdır. Ancak, alkol ve eterde kolayca çözünür (Segin, 2024).

KA, doğal olarak Hindistan cevizi yağı, palm çekirdeği yağı, tereyağı ve diğer hayvansal yağlar olmak üzere çeşitli yağ ve türevlerinde bulunur. KA; nemlendirici, emülgatör ve yumuşatıcı olarak kozmetik ve cilt bakım ürünlerinde tercih edilir. Ayrıca, gıda endüstrisinde tatlandırıcılarda, aromalarda ve koruyucularda gıda katkı maddesi olarak ve meyve sularında, tatlı ürünlerinde asitlik düzenleyici olarak işlev görür. Bakteri, maya ve mantarlara karşı doğal mikrobiyal özelliklere sahip olduğu için sağlık ve tıbbi uygulamalarda, köpük artırıcı ve yağ çözücü özelliklerinden dolayı temizlik ürünlerinde de tercih edilmektedir. KA hem doğal kaynaklardan elde edilmesi hem de çok yönlü kullanımları nedeniyle ticari ve endüstriyel açıdan oldukça değerlidir (URL-3,2024).

2. ENERJİ KAYNAKLARININ VERİMLİ KULLANIMI

Enerji, insan yaşamının devamı için vazgeçilmez bir unsurdur ve toplumsal düzenin sağlanmasında da önmlü bir rol oynamaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için kaynaklardan başlayarak üretim, depolama ve geri kazanım süreçlerinde çevreye ve doğaya verilen zararın en aza indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından yapılan araştırmalar, mevcut enerji politikalarının ve enerji arzının sürdürülebilir bir şekilde devam ettirilmesi durumunda, 2007-2030 yılları arasında dünya birincil enerji talebinin %40 oranında artış göstereceğini ortaya koymuştur (URL-4,2024). Sanayileşme, teknolojik gelişmeler ve nüfus artışı gibi pek çok faktör nedeniyle hem dünya genelinde hem de ülkemizde enerji talebi hızla artmaktadır. Türkiye, enerji ihtiyacını büyük oranda petrol, kömür gibi fosil yakıtlardan karşılamakta ve bu durum, enerji politikalarında dışa bağımlılığa yol açmaktadır. Fosil yakıtların hızla tükenmesi ve bu yakıtların tüketimi sırasında açığa çıkan sera gazları ise küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi ciddi çevresel sorunlara zemin hazırlamaktadır (Kahraman, 2019).

2 Mayıs 2007 tarih ve 26510 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu’nun temel amacı, enerjinin daha verimli ve bilinçli kullanılmasını sağlamaktır. Kanun, enerji kaynaklarının etkin kullanımını teşvik ederek enerji israfının önlenmesini ve enerji verimliliğinin artırılmasını hedeflemektedir. Bu kapsamda, enerji üretiminden tüketimine kadar olan süreçlerde, endüstriyel işletmelerden konutlara ve ulaşım sektörüne kadar birçok alanda enerji bilincinin yaygınlaştırılması ve enerji tasarrufunu destekleyici uygulamaların hayata geçirilmesi öngörülmektedir (URL-5,2024).

2.1 Binalarda Enerji Verimliliği

Enerji tüketim hızları farklı sektörler için yıllar içerisinde değişiklik göstermektedir. 1980 ile 1986 yılları arasında sanayi ve ulaşım sektörlerinde enerji tüketimi yıllık ortalama %5,2 oranında artış göstermiştir. Yapı sektöründe ise bu dönemde yıllık yaklaşık %2 oranında bir artış kaydedilmiştir. Elektrik tüketimi açısından değerlendirildiğinde, sanayi sektörü en büyük tüketici konumundayken, konut ve hizmet sektörlerinde elektrik tüketimindeki artışın daha belirgin olduğu görülmektedir (URL-6,2024).

Ülkemizde toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %43'ü ve toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30'u binalarda kullanılmaktadır (URL-7,2024). Binalarda tüketilen enerjinin yaklaşık %82'lik önemli bir kısmı ısınma amacıyla harcanmaktadır. Bu bağlamda, konutların yalıtımının güçlendirilmesi, %25 ila %50 arasında bir yakıt tasarrufu sağlayabilir. Diğer taraftan, binaların ısıtılmasında enerjinin verimli bir şekilde kullanıldığını söylemek pek mümkün değildir. Türkiye'de hızlı kentleşme süreciyle birlikte, yeni konutların enerji verimliliği standartlarına uygun şekilde inşa edilmemesi ve eski konutların ısı yalıtımı kurallarına göre yapılmamış olması, binalarda önemli enerji kayıplarına yol açmaktadır. Yapılan bir araştırmada, konutların yalnızca %10'unun çatı ısı yalıtımına, %9'unun çift camlı pencereye ve %14'ünün merkezi ısıtma sistemine sahip olduğu belirlenmiştir (URL-8,2024).

2.2 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (TS 825)

İlk olarak 1998 yılında yürürlüğe giren enerji verimliliği standardı, Türk Standartları Enstitüsü Mühendislik Hizmetleri Enerji Sistemleri Teknik Komitesi aracılığıyla 2008 ve 2009 yıllarında revize edilmiş ve 2013 yılı Aralık ayında Türk Standardı olarak kabul edilmiştir (Atmaca, 2016). Bu standardın başlıca amacı, Türkiye'deki konutlarda kullanılan ısıtma enerjisinin miktarını düzenleyerek enerji tasarrufu sağlamak ve enerji ihtiyacı hesaplamasında kullanılacak standart metotları ve değerleri belirlemektir (URL-9,2024). Ayrıca, bu standardın aşağıda belirtilen çeşitli hedefler için de kullanılması amaçlanmaktadır:

Enerji Verimliliği: Binalarda enerji tasarrufu sağlamak, daha verimli ısınma sistemleri kullanmak ve enerji israfını azaltmak.

Enerji İhtiyacı Hesaplama: Binaların enerji ihtiyacının doğru şekilde hesaplanabilmesi için geçerli metot ve değerlerin sağlanması.

Çevresel Etkilerin Azaltılması: Enerji tüketiminin azaltılması ile karbon salınımının ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi.

Yasal Düzenlemelere Uygunluk: Binalarda enerji verimliliği ile ilgili yasal düzenlemelere ve standartlara uyumu sağlamak.

Bu standardın uygulanması, Türkiye'de binalarda enerji verimliliğinin artırılması için önemli bir adım oluşturmaktadır.

2.3 Binalarda Enerji Performansı

Yapıların enerji verimliliği hesaplanırken dikkate alınması gereken bazı önemli parametreler şunlardır (URL-10,2024);

Binaların Soğutulması ve Isıtılması İçin Net Enerji İhtiyacı: Binanın soğutma ve ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için gereken net enerji miktarı hesaplanmalıdır.

Sistem Performansları ve Kayıplar: Binadaki kurulu sistemlerin enerji tüketimini etkileyen kayıplar ve sistem performansları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu, yapıların toplam soğutma ve ısıtma enerji tüketimini etkileyen önemli bir faktördür.

Havalandırma Enerji Tüketimi: Binada kullanılan havalandırma sistemlerinin enerji tüketimi de hesaplanmalıdır.

Aydınlatma Enerji İhtiyacı ve Tüketimi: Gün ışığı etkilerinin hesaba katıldığı bir ortamda, gün ışığından yeterince yararlanılamayan zaman dilimlerinde aydınlatma için gerekli enerji miktarı belirlenmelidir.

Sıhhi Sıcak Su İçin Enerji Tüketimi: Yapılarda sıcak su ihtiyacı da enerji verimliliği hesaplamalarına dahil edilmelidir.

Enerji verimliliği kavramı, yalnızca enerji tüketimini azaltmak anlamına gelmemelidir. Aslında enerji verimliliği; yaşam kalitesi, üretim miktarı ve kalitesinde, refah seviyelerinde bir azalma olmaksızın enerji tüketiminin azaltılması olarak açıklanabilir. Enerji verimliliğiyle ilgili en önemli tedbirlerden biri hiç şüphesiz enerji tasarrufu sağlamaktır. Enerji tasarrufu, yalnızca harcanan enerji miktarının azaltılması değil, aynı zamanda ürün başına tüketilen enerji miktarının düşürülmesidir. Bu, üreticilerin aynı miktarda hizmet veya malı daha az enerjiyle veya aynı enerjiyle daha verimli bir şekilde üretmelerini sağlayarak, ulusal ve uluslararası alanda rekabet güçlerini artırmalarına olanak tanır.

Enerji verimliliği stratejilerinin temeli, daha az enerji tüketimiyle daha fazla üretim yapmak ve bunun sonucunda hem ekonomik hem de çevresel faydalar elde etmektir (URL-11,2024). Isı yalıtımı, binalarda enerji tasarrufu sağlamanın temel şartlarından biridir ve ısı kayıplarının engellenmesi bu amaca ulaşmak için ilk adımdır. Binalarda ısı kayıplar, iç ortam ile dış ortam arasındaki ısı transferi ile gerçekleşir. Kış aylarında, iç mekanın sıcak havası dışarıya doğru hareket ederken, yazın ise dışarıdaki sıcak hava içeriye doğru geçer. Bu ısı geçişi, yapıların enerji verimliliğini doğrudan etkiler.

Isı geçişinin ölçüsü olarak kullanılan U katsayısı, iç ortam ile dış ortam arasındaki ısı transferinin miktarını belirler. U katsayısının birimi W/mK 'dir ve bu katsayı, yapı elemanlarının ısı iletkenliğini gösterir. U katsayısının düşük olması, yapı elemanlarından daha az ısıнын geçiş yaptığı anlamına gelir, dolayısıyla ısı kaybı da azalır ve verimlilik artar. Bunun tersine, U katsayısının yüksek olması, ısı kayıpların fazla olduğunu ve yapıdaki ısı geçişinin verimsiz olduğunu gösterir. Bu nedenle, U katsayısının azaltılması, binalarda enerji verimliliğini artırmak ve ısı kayıpları minimize etmek için kritik öneme sahiptir. Uygulanan etkili ısı yalıtımı, enerji tüketimini azaltarak hem ısınma hem de soğutma maliyetlerini düşürür ve çevresel etkileri azaltabilir (URL-12,2024).

2.4 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

2008 yılı Aralık ayında 21075 sayılı Resmî Gazete ile yürürlüğe giren yönetmelik, enerji israfını önlemek ve çevreyi korumak amacıyla binalarda enerjinin ve bu enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını hedeflemektedir. Bu yönetmelik, özellikle yeni binaların tasarımında ve mevcut binalarda yapılacak önemli değişikliklerde, mekanik ve elektrik tesisat projelerinin gerektiğinde göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmektedir (URL-13,2024). Yönetmelikte uyulması gereken bazı temel konular şunlardır:

Mimari Proje Tasarım Şartları: Binaların enerji verimliliği açısından tasarlanması ve mevcut yapıların bu standartlara uygun hale getirilmesi gereklidir.

Sıcak Su Hazırlama ve Dağıtım Sistemleri: Binalarda sıcak su üretiminde verimli sistemlerin kullanılması ve bu sistemlerin enerji verimliliği açısından düzenlenmesi.

Hava Sirkülasyonu: İyi bir hava sirkülasyonu, iç mekanların enerji verimli bir şekilde ısınmasını ve soğutulmasını sağlar.

Isı Yalıtımı ve Sızdırmazlık: Binaların ısı kaybını önlemek için yalıtımın güçlendirilmesi ve hava sızdırmazlığının sağlanması.

Isıtma, Soğutma, İklimlendirme ve Havalandırma Sistemleri: Bu sistemlerin enerji verimliliği göz önünde bulundurularak tasarlanması ve uygulanması.

Otomatik Kontrol Sistemleri: Enerji tüketimini izleyen ve kontrol eden otomatik sistemlerin kullanımı.

Elektrik Tesisatı ve Aydınlatma Sistemleri: Elektrik tüketimini azaltacak ve enerji verimliliğini artıracak şekilde tasarlanmış tesisatlar.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda kullanımı.

Isı Pompası ve Kojenerasyon Sistemleri: Isı pompası ve kojenerasyon sistemlerinin enerji üretiminde kullanımı ve bu sistemlerin işletme, bakım ve denetim koşullarının belirlenmesi. Bu yönetmelik, Türkiye’de binalarda enerji verimliliğinin sağlanmasında önemli bir düzenleyici rol oynamaktadır ve hem yeni binaların tasarımını hem de mevcut binalarda yapılacak iyileştirmeleri kapsamaktadır. (URL-13,2024).

2.5 Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğinin Artırılmasına Dair Yönetmelik

2008 yılında Kasım ayında 27035 sayılı Resmî Gazete ile yürürlüğe giren yönetmeliğin amacı, enerji israfını önleyerek enerjinin etkin kullanımını sağlamak ve enerji kaynaklarının verimliliğini artırarak çevrenin korunmasına katkı sunmaktır. Bu yönetmelikte, mevcut tesislerin işletilmesi ve yeni tesislerin kurulması sırasında modernizasyon, kapasite artırımı gibi çalışmaların yanı sıra, enerji yöneticilerine düşen görevler ve etüt ile projelerde takip edilmesi gereken metotlar sıralanmıştır. Yönetmeliğin ana hedeflerine ulaşmak için belirlenen bazı önemli adımlar şunlardır (URL-14,2024);

Isı Transferinde Verimlilik: Isı transfer sistemlerinde verimlilik sağlanmalı ve enerji kayıpları minimize edilmelidir.

Yakıtların Verimli Yakılması: Yakma sistemlerinde yakıtların verimli bir şekilde yakılması sağlanmalı ve yanma optimizasyon çalışmaları ile gerçekleştirilmelidir.

Isı Yalıtımı: Soğuk ve sıcak yüzeylerin bulunduğu, ısı üretimi ve dağıtımı yapılan sistemlerde, standartlara uygun izolasyonlar yapılarak ısı kayıpları minimuma indirilmelidir.

Atık Isı Geri Kazanımı: Atık ısıнын yeniden kazanılması sağlanmalı, enerji verimliliği artırılmalıdır.

Isı ve Elektrik Enerjisi Dönüşümü: Isı enerjisinin daha verimli kullanılabilmesi ve elektrik enerjisinin ısı ve mekanik enerjiye dönüştürülmesi sağlanarak verimlilik artırılmalıdır.

Elektrik Tüketiminde Verimlilik: Elektrik tüketimindeki kayıplar önlenmeli, yüksek verimli aydınlatma armatürleri kullanılmalı ve aydınlatma otomasyon sistemleriyle gün ışığından maksimum fayda sağlanmalıdır.

Otomatik Kontrol Sistemlerinin Artırılması: İnsan faktörünü azaltacak otomatik kontrol sistemleri devreye alınmalı, enerji yönetimi daha verimli hale getirilmelidir.

Kesintisiz Enerji Talebinde Seçim: Kesintisiz enerji talebinde kullanılan girdilerin dikkatlice seçilmesi önemlidir.

Yüksek Verimli Cihaz Seçimi: Makine ve ekipman seçiminde yüksek verimli cihazlar tercih edilmelidir.

Isı Kaybının Azaltılması: Projeler, ısı kayıplarını minimize edecek şekilde tasarlanmalı ve projeye uygun malzeme ve imalat yapılmalıdır. Ayrıca, enerji verimliliği ölçüm cihazları kurulmalıdır.

Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Kullanımı: Yenilenebilir enerji kaynakları ve sistemleri ile enerji çözümleri yapılmalıdır.

Asgari Verimlilik Ölçütleri: Enerji tüketen ve dönüştüren ekipmanlarla ilgili mevzuat kapsamında belirlenen asgari verimlilik standartlarına uyulmalıdır.

Pencere Sistemleri: Pencereelerde düşük yayınlı ısı kontrol kaplamalı çift cam sistemleri kullanılmalıdır.

Bu yönetmelik, enerji verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılması konusunda önemli bir rehberdir. Verimliliği artırmak için yukarıda belirtilen uygulamaların tüm binalarda ve tesislerde dikkate alınması gerekmektedir.

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde sadece diatomit katkılı (FDM ihtiva etmeyen) yapı malzemelerinin üretimine dair çalışmaların yanı sıra, farklı teknikler kullanılarak FDM içeren yapı malzemelerinin hazırlanmasına yönelik de çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte, FDM katkılı kompozitlerin köpük beton üretiminde kullanımına dair çalışmaların sayısı ise oldukça sınırlıdır. Yukarıda bahsi geçen çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

Costa vd., yaptıkları çalışmada diatomit ve vermikülit gibi gözenekli minerallerle parafin karışımlarını birleştirerek, binalarda enerji depolama performansını artıran ve termal özellikleri geliştirilmiş FDM katkılı kompozitlerin özelliklerini karakterize etmişlerdir. Bunun için ilk olarak diatomit ve vermikülit hazırlanan parafin karışımlarına emdirilmiştir. Kütlece %20 oranında parafin içeren karışım, 159,42 J/g gizli ısı kapasitesi ile en uygun termal davranışı sergilemiştir. Diatomit, vermikülit partiküllerini sararak ısı yalıtım performansını iyileştirmiştir. Deneysel verilere göre, FDM kompozit içeren çimento esaslı harçların termal iletkenliği %44,2, ısı kapasitesi %36,7 ve termal difüzyonu %11,8 oranında azalırken, termal direnci %78,7 oranında artış kaydetmiştir. Bu tip FDM'li kompozitler, çimento esaslı harçların termal yalıtımını artırmada katkı maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca, tropikal ve subtropikal bölgelerde enerji tasarrufu sağlayan bu malzeme türü, binaların termal konforunu artırarak enerji tüketimini düşürebilir (Costa vd., 2020).

Destek materyali olarak diatomit ve FDM olarak da dodekonol'un kullanıldığı çalışmada vakum emdirme tekniği ile kompozitler hazırlanmış ve üretilen kompozitler farklı oranlarda alçı bünyesine dahil edilmiştir. Kütlece %8 ve %16 FDM katkılı kompozit içeren numunelerin gizli ısı ve termal iletkenlik değerleri sırasıyla 4,88 J/g ve 10,32 J/g; 0,52 W/mK ve 0,49 W/mK olarak belirlenmiştir (Fořt vd., 2018).

Xu vd., parafin/diatomit formundaki kompozitleri 4 farklı oranda (kütlece %10, %15, %20 ve %30) çimento içerisine katılamışlardır. Numunelerin 28. gün sonundaki basınç dayanımları sırasıyla 38 MPa, 35 MPa, 30 MPa ve 25 MPa olarak belirlenmiştir. Termal iletkenlikleri ise sırasıyla 1,8W/mK, 1,7 W/mK, 1,5 W/mK, 1,4 W/mK olarak ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar, çimento bünyesindeki kompozit içeriği arttıkça basınç dayanımı ve termal iletkenliğin azaldığını göstermiştir (Xu ve Li, 2013).

Ren vd., diatomit destek malzemesine laurik asit, miristik asit ve palmitik asitten oluşan üçlü yağ asit karışımını vakum emdirmeye yöntemini kullanarak emdirmişlerdir. Hazırlanan FDM/diatomit kompozitinin erime sıcaklığı $29,82^{\circ}\text{C}$ ve gizli ısı $65,84 \text{ J/g}$ olarak belirlenmiştir. Sonrasında, FDM katkılı kompozitler kütlece %5, %10 ve %15 oranlarında çimento bünyeye katılmıştır. 28. gün sonundaki basınç dayanım verileri, kompozit katkı oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığını ve en yüksek basınç dayanımının (35 MPa) kütlece %5 kompozit varlığında elde edildiğini göstermiştir (Ren vd., 2022).

Acurio vd., palm yağı üretim sürecinde ortaya çıkan atık diatomitin, binalardaki termal enerji depolama sistemleri için uygun bir destek malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Bunun için, atık diatomit farklı sıcaklık ($400, 550$ ve 700°C) ve sürelerde (1 ve 2 saat) kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Optimum kalsinasyon şartları 700°C ve 1 saat olarak belirlenmiştir. Sonrasında, FDM olarak palm yağı ve ticari stearik asit esterlerinden oluşan bir karışım hazırlanmış ve vakum altında FDM/diatomit kompozitleri hazırlanmıştır. %100 ticari stearik asit metil esterinden oluşan FDM'ye ait en yüksek erime gizli ısının $34,67 \text{ J/g}$ olduğu ve faz değişim sıcaklığının da $16,4- 33,5^{\circ}\text{C}$ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. 360 termal döngüden sonra FDM'lerin kimyasal ve termal olarak stabil kaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, hazırlanan FDM'li kompozitlerin binalarda enerji tasarrufu sağlamak ve konfor sıcaklıklarını korumak için güvenilir ve çevre dostu bir çözüm sunduğu düşünülmektedir (Acurio vd., 2019).

Xie vd., $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuz hidratları ile diatomitin birleştirilerek sızıntıya dayanıklı bir kompozit hazırlamışlar ve kompozitin şekil kararlılığını artırmak için ultraviyole (UV) ışıkla kürlenebilen poliüretan akrilat (PUA) kullanmışlardır. Bunun için tuz hidratlar önce diatomite emdirilmiş ve ardından UV ışığı altında PUA ile kaplanmıştır. Bu işlem sayesinde diatomitin gözenekli yapısı tuz hidratların emilimini sağlamış, PUA kaplama ise kristal suyun buharlaşmasını önlemiştir. Elde edilen kompozit malzeme, 24°C civarında erime sıcaklığı ve $102,6 \text{ J/g}$ gizli ısı kapasitesi göstermiştir. Hazırlanan FDM'li kompozit içeren paneller, model odanın iç sıcaklık dalgalanmalarını azaltmış, maksimum sıcaklığı $17,29^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşürmüş ve konfor sıcaklık aralığını daha uzun süre sağlamıştır. FDM içeren kompozitli panellerin, binalarda enerji tasarrufu sağlamak ve iç mekan sıcaklık dalgalanmalarını kontrol etmek için etkili bir çözüm olduğu düşünülmektedir (Xie vd., 2020).

Konuklu vd., diatomit destek materyalini mikrodalga ile ön işleme tabi tuttuktan sonra laurik asit ile muamele etmişlerdir. Doğrudan emdirme yöntemiyle LA'yı hem modifiye edilen diatomite hem de mikrodalga ile modifiye edilmemiş diatomite emdirerek LA/diatomit kompozitlerini hazırlamışlardır. Modifiye diatomit katkılı kompozitlerin erime ve donma sıcaklıkları sırasıyla 40,4°C ve 39,5°C olarak ölçülmüş, gizli ısı değerleri 55,7 J/g (erime) ve -49,9 J/g (donma) olarak belirlenmiştir. SEM analiz sonuçları, mikrodalga ön işlemi ile diatomitin gözenek hacminin genişlediğini ve diatomitin FDM emebilme kapasitesinin arttığını göstermektedir. LA ve diatomit arasında kimyasal reaksiyon olmadığı FTIR spektroskopisi analizi ile doğrulanmıştır. Termal direnç test sonuçları da LA/diatomit kompozitlerinin 95°C'de yapısal bütünlüğünü koruduğunu göstermiştir (Konuklu vd., 2019).

Fu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise doğrudan emdirme yöntemi ile hazırlanan LA/diatomit kompozitleri, FTIR, XRD, DSC ve TGA teknikleri kullanılarak detaylı bir şekilde karakterize edilmiştir. Buna göre, LA ve diatomit arasında yalnızca fiziksel etkileşimlerin olduğu ve LA'nın kristal boyutunun azaldığı belirlenmiştir. DSC analizleri, FDM katkılı kompozitin erime, donma ve gizli ısı kapasite değerlerinin sırasıyla 40,9°C, 38,7°C ve 57,2 J/g olduğunu göstermiştir. FDM katkılı kompozitin 157°C'ye kadar termal bozunma göstermediği ve yüksek termal stabiliteye sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, LA/diatomit kompozitin bina yapı malzemelerinde termal enerji depolama amacıyla kullanılabileceğini ve enerji verimliliğine katkı sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Fu vd., 2015).

Li vd., kaprik asit, palmitik asit, laurik asit ve stearik asitten oluşan ikili yağ asitleri kullanarak ötektik karışımlar hazırlamışlardır. Daha sonra hazırladıkları bu ikili yağ asitlerini, şekil kararlı FDM'ler hazırlamak için diatomit içerisine emdirmişlerdir. Deneysel bulgular, kaprik-laurik asit/diatomit kompozitinin faz geçiş sıcaklığının 16,74°C ve gizli ısılarının 66,81 J/g olduğunu ve binalarda enerji depolama uygulamaları için kullanılabileceğini göstermiştir (Li vd., 2011).

Jeong vd., vakum emdirme yöntemi kullanılarak diatomit katkılı FDM kompozitler hazırlamışlardır. Bu amaçla, FDM olarak hekzadekan ve oktadekan kullanılmış ve sızıntı olmaksızın diatomitin kütlece %50 oranında FDM emebildiği belirlenmiştir. SEM analizlerinden FDM'nin diatomit gözeneklerine dolduğu görülürken, FTIR analizleri diatomit ve FDM arasında kimyasal bir bağlanmanın olmadığını, yalnızca fiziksel bir

etkileşimin meydana geldiğini göstermiştir. FDM/diatomit kompozitinin gizli ısı değeri yaklaşık 120 J/g olarak belirlenmiştir. Hazırlanan FDM/diatomit kompozitlerinin bina ısıtma ve soğutma sistemlerinde etkin şekilde kullanılabileceği ifade edilmiştir (Jeong vd., 2013).

Liu vd., diatomit destek malzemesine doğrudan emdirme yöntemiyle kaprik asidi emdirmişlerdir. Analizler sonucunda, %50 oranında kaprik asit içeren diatomit kompozitin erime noktası 34,9°C ve gizli ısı 78,9 J/g olarak ölçülmüştür. Elde edilen kaprik asit/diatomit form kararlı kompozitlerinin sergiledikleri iyi termofiziksel özellikleri nedeniyle enerji verimliliği açısından binalarda yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği düşünülmüştür (Liu vd., 2019).

Sun vd., füzyon adsorpsiyon yöntemiyle parafin ve kalsine edilmiş diatomiti kullanarak kompozit hazırlamışlardır. Sızıntı testleri sonucunda, kalsine diatomitin en fazla kütlece %61 oranında parafin absorplayabildiği ve hazırlanan kompozitin faz değişim sıcaklığının 33,04°C ve gizli ısı değerinin ise 89,54 J/g olduğu belirlenmiştir. Termal döngü testleri, kompozitin kimyasal olarak kararlı ve termal açıdan güvenilir olduğunu ortaya koymuştur (Sun vd., 2013).

Zhang vd., diatomite eriyik haldeki parafini emdirerek şekil kararlı kompozit hazırlamışlardır. Üretilen kompozitin erime sıcaklığı 45,70 °C ve gizli ısı değeri 114,21 J/g olarak ölçülmüştür (Zhang vd., 2021).

Konuklu vd., doğrudan emdirme yöntemi ile FDM/diatomit kompozitleri hazırlamışlardır. SEM analizlerinden diatomit içerisinde bulunan tüplerin tamamen FDM ile dolduğu görülmüştür. DSC verileri, kompozitlerin erime ve donma sıcaklıklarının 41,97 °C ve 45,77 °C; gizli ısı depolama kapasitesinin ise +45 ve -44 J/g olduğunu göstermiştir. Bu çalışma ile yoğunluğu düşük olan diatomitin bina uygulamalarında enerji depolama özelliğine sahip hafif yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği ve enerji tasarrufuna önemli katkılar sağlayacağı belirtilmiştir (Konuklu vd., 2017).

Konuklu vd., doğrudan emdirme yöntemi ile biyobozunur esaslı FDM içeren çam kozalağı kompozitlerini ürettikleri çalışmada, FDM olarak miristik asit ve palmitik asiti, destek materyali olarak da doğal çam kozalağını kullanmışlardır. DSC analizlerine göre, miristik asit kompozitinin erime sıcaklığı 51,82°C, gizli ısı depolama kapasitesi 74,60 J/g, palmitik

asit kompozitinin ise erime sıcaklığı 59,36°C ve gizli ısı depolama kapasitesi 71,22 J/g olarak ölçülmüştür. Çam kozalağının gözenekli yapısının FDM'leri başarılı bir şekilde emdiği SEM görüntülerinden anlaşılmıştır. Sonuçlar, hazırlanan bu biyobozunur kompozitlerin enerji tasarruflu bina uygulamalarında potansiyel bir termal enerji depolama malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Konuklu, 2020).

Jia vd., organik FDM olarak kullandıkları palmitik asiti (PA) farklı oranlarda diatomit destek malzemesine doğrudan emdirme yöntemi ile emdirmişlerdir. Sızıntı testi sonucuna göre, diatomitin en fazla kütlece %55 PA emebildiği belirlenmiştir. %55 PA içeren PA/diatomit kompozitin erime sıcaklığı 63°C, gizli ısı depolama kapasitesi 88 J/g olarak ölçülmüştür. Kompozitlerin termal kararlılıklarını 1000 termal çevrim sonrasında koruyabildikleri görülmüştür. Kompozitin termal iletkenliği 0,5810 W/mK olarak ölçülmüştür. Kompozitin, PA'ya kıyasla ısı depolama süresinin %40, ısı salınım süresinin ise %60 oranında azaldığı belirlenmiştir. PA/diatomit kompozitlerin termal stabilitesinin ve gizli ısı kapasitesinin yüksek olması ve geliştirilmiş ısı transfer özellikleri sayesinde bina enerji verimliliği açısından uygun bir termal enerji depolama malzemesi olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir (Jia vd., 2020).

Pınarcı vd., kum yerine diatomit ve pomza ikameli olacak şekilde 7 farklı çimento harç kombinasyonu hazırlamışlar ve hazırlanan harçların 2, 7, 28 ve 90. Gün sonundaki basınç dayanımlarını test etmişlerdir. Buna göre; 90. günde %10 pomza ikameli harcın (59,1 MPa), %5 pomza ve 5 diatomit ikameli harcın (61,9 MPa) basınç dayanım değerlerinin referans harçtan (60 MPa) daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Pınarcı, 2022).

Saraç vd., silikon matrisli kompozit üretimi için takviye maddesi olarak diatomiti kullanmışlardır. Silikon matrisi içerisine diatomit farklı oranlarda (%2,5, %5, %7,5, %10 ve %15) (D025, D050, D075, D100, D150) ilave edilmiş ve kompozitlerin karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre; diatomit içeriği arttıkça kompozit yoğunluğunda artış meydana gelirken, yırtılma mukavemeti, uzama ve termal iletkenlik değerlerinde azalma kaydedilmiştir. Bununla birlikte, diatomit ilavesinin kompozitin termal bozunmasını hızlandırdığı ve termal kararlılığı artırıcı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Saraç vd., 2023).

Gencel vd., lauril alkol (LA) emdirilmiş pirinç kabuğu külü (PKK) içeren çevre dostu bir köpük beton geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bunun için, tarımsal bir atık olan PKK, destek malzemesi olarak kullanılmıştır. DSC sonuçlarına göre; LA/PKK kompozitinin erime sıcaklığı ve gizli ısı kapasitesi sırasıyla 19,97°C ve 99,60 J/g iken, LA/PKK katkılı köpük betonun erime sıcaklığı ve gizli ısı kapasitesi sırasıyla 20,01°C ve 16,55 J/g olarak bulunmuştur. Termoregülasyon test sonuçları, LA/PKK katkılı köpük beton plakaların soğuk havada iç ortam sıcaklığını 1,29°C arttırdığı, sıcak havada ise oda sıcaklığını 2,8°C azalttığını ortaya koymuştur. Ayrıca, LA/PKK katkılı köpük beton plakalar, günlük 14,28 kWh enerji tasarrufu sağlamış ve karbon emisyonlarını ciddi oranda azaltmıştır (Gencel, Sarı, Kaplan, Ustaoglu, Hekimoğlu, Bayraktar 2022).

Qu vd., yüksek gizli ısı kapasitesi ve düşük maliyeti nedeniyle FDM olarak parafini tercih ettikleri çalışmada, destek materyali olarak füme silikayı kullanmışlar ve sonrasında hazırladıkları parafin/füme silika kompozitleri farklı oranlarda köpük beton bünyesine dahil etmişlerdir. Sızıntı testleri neticesinde, füme silikanın en fazla kütlece %45 oranında parafin absorplayabildiği belirlenmiştir. DSC sonuçlarından, kompozitin erime sıcaklığının yaklaşık 41°C ve gizli ısı kapasitesinin 113,3 J/g olduğu anlaşılmıştır. Parafin/füme silika katkılı köpük betonların ısı iletkenlik değerlerinin düşük olduğu ve 0,101 ile 0,127 W/mK aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Termal performans deney sonuçlarına göre, üretilen FDM katkılı köpük betonun yaz aylarında aşırı ısınmayı önleyerek bina içindeki sıcaklık dalgalanmalarını dengeleyebileceği ve pasif bina tasarımı için uygun bir yalıtım malzemesi olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir (Qu vd., 2020).

Liu vd., grafit tozunu mikro dalgada 40 saniye boyunca bekleterek genleştirilmiş grafit elde etmişlerdir. FDM katkılı kompozit hazırlamak için genleştirilmiş grafit, parafine kütlece 2:8 oranında emdirilmiştir. Hazırlanan parafin/genleştirilmiş grafit kompoziti 5 farklı oranda (%10, %15, %20, %25 ve %30) köpük beton içerisine katılanmıştır. Parafin/genleştirilmiş grafitin erime sıcaklığı ve gizli ısı kapasitesi sırasıyla 41,9°C ve 207,8 J/g olarak bulunmuştur. Parafin/ genleştirilmiş grafit kompozit katkılı köpük betonların termal iletkenliklerinin 0,48 ile 0,60 W/mK aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, parafin/genleştirilmiş grafit kompozit içeren köpük betonların binalarda enerji verimliliğini etkili bir şekilde iyileştirileceği düşünülmektedir (Liu vd., 2019).

Literatür incelendiğinde, diatomitin yanısıra farklı destek materyalleri ve farklı FDM'ler ile kompozit üretimine yönelik çok sayıda çalışma olduğu görülmektedir. İlgili çalışmalarda üretilen kompozitlerin termal karakteristikleri yalnızca TGA ve DSC gibi termal analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Ayrıca, FDM'li kompozitleri ihtiva eden yapı malzemelerinin gerçek hava şartları altındaki termal enerji depolama özelliklerine yönelik çalışmaların sayısı da oldukça sınırlıdır. Bununla birlikte, diatomit/KA kompozitinin köpük betonda kullanılabilirliğine dair herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu tez çalışmasında, doğrudan emdirme yöntemiyle diatomit/KA kompozitleri hazırlanarak fiziksel, kimyasal ve termal açıdan karakterize edilmiştir. Ardından, hazırlanan diatomit/KA kompozitleri farklı oranlarda köpük beton karışımına kuma ikame olarak ilave edilmiştir. Hazırlanan köpük beton numunelerinin mekanik, fiziksel ve termal iletkenlik özellikleri belirlenmiş ve termoregülasyon performansları gerçek hava şartlarında test edilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında, deneylerde kullanılan ham maddeler ve özellikleri, kompozit ve köpük beton hazırlama aşamaları ile analiz yöntemlerine dair bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Köpük beton karışımlarının hazırlanmasında bağlayıcı olarak kullanılan Portland çimentosu (CEM I 42,5 R) ve agrega olarak kullanılan kum (TS EN 196-1) Bartın'daki Çimko Çimento ve Beton San. Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Köpük beton üretiminde kullanılan organik yapıya sahip sıvı formdaki köpük ajanının (Genfil) yoğunluğu $1,05 \text{ kg/m}^3$ olup açık kahve rengindedir ve Artra İnşaat Peyzaj Plastik Ltd. Şti'den satın alınmıştır. Deneylerde, FDM olarak kullanılan teknik saflık derecesine sahip ($>99\%$) dekanolik asit olarak da bilinen kaprik asit (KA) ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$) Merck firmasından temin edilmiştir. FDM içeren kompozitleri hazırlamak için destek materyali olarak gözenekli yapıya sahip diatomit, Gerecede'deki Halavet Gıda San. ve Tic. A.Ş.'den alınmıştır. Deneylerde kullanılan diatomit ve çimentonun kimyasal bileşimleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Çimento, diatomit ve kumun özgül ağırlıkları sırasıyla $3,13 \text{ g/cm}^3$, $2,26 \text{ g/cm}^3$ ve $2,67 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Köpük beton karışımlarının hazırlanmasında şebeke suyu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemelerin dijital fotoğrafları Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1 Çimento ve Diatomit'in XRF sonuçları

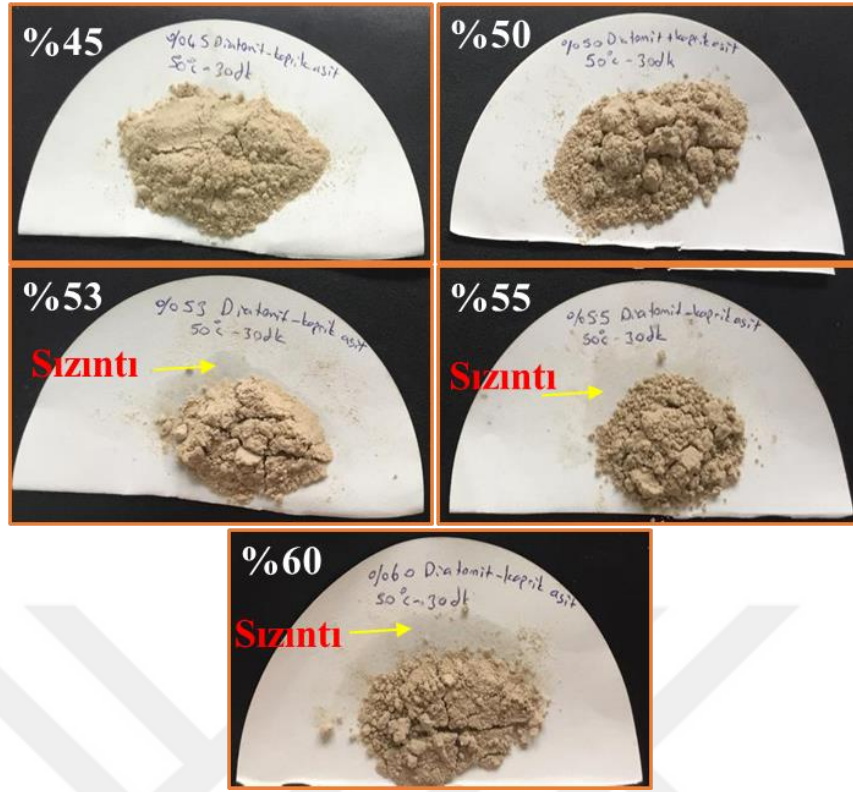
Bileşen	Değer (kütlece %)	
	Çimento	Diatomit
SiO_2	19,9	76,2
CaO	59,8	2,4
Al_2O_3	4,9	8,4
Fe_2O_3	5,2	1,8
MgO	2,2	0,6
Na_2O	0,8	0,04
K_2O	0,8	0,51
SO_3	3,9	-
Kızdırma kaybı (%)	2,5	10,05
Özgül ağırlık (g/cm^3)	3,13	2,26



Şekil 4.1: Deneyde kullanılan malzemeler

4.2 Kaprik asit (KA) Katkılı Diatomit Kompozitlerin Hazırlanması ve Sızıntı Testi

İlk olarak, oda sıcaklığında katı formda bulunan KA erime sıcaklığının üzerindeki (yaklaşık 40°C) bir etüve konularak sıvı hale getirildi. Diatomit, bünyesindeki suyun uzaklaştırılması için 1 gün boyunca 105°C'deki etüvde kurumaya bırakıldı. KA, doğrudan emdirme yöntemiyle kütlece 5 farklı oranda (%45, %50, %53, %55 ve %60) diatomite emdirildi ve diatomit/KA kompozitleri hazırlandı. Emdirme işlemi için, hesaplanan miktarlarda diatomit ve sıvı haldeki KA alınarak beher içerisine konuldu ve 5 dk boyunca karıştırıldı. Karıştırma işlemi sonunda, diatomit/KA kompoziti oda sıcaklığında 30 dk boyunca beklemeye bırakıldı. Ardından, herhangi bir sızıntı olmaksızın diatomitin absorplayabildiği maksimum KA miktarını belirleyebilmek için diatomit/KA kompozitine sızıntı testi uygulandı. Sızıntı testinde, hazırlanan diatomit/KA kompozit tozları filtre kağıdı üzerine yerleştirildikten sonra yaklaşık 50°C sıcaklıkta 30 dk boyunca ısıya maruz bırakıldı. Isıtma işlemi sonrasında filtre kağıdı üzerinde KA'dan dolayı herhangi bir sızıntının olup olmadığı çıplak gözle gözlemlendi. Test sonunda, %45 ve %50 oranlarında KA içeren diatomit/KA kompozitlerinde sızıntı gözlemlenmezken %53, %55 ve %60 oranlarında sızıntı meydana geldi. Sonuç olarak; diatomitin sızıntı olmaksızın en fazla kütlece %50 oranında KA absorplayabildiği belirlendi (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Diatomit/KA kompozitlerinin sızıntı test görüntüleri

4.3 Diatomit/KA Kompozit Katkılı Köpük Betonların Üretimi

Köpük beton numuneleri Tablo 4.2'deki karışım oranlarına göre üretilmiştir. Karışım reçetesinde köpük (50 ml), su (300 ml) ve çimento (450 g) miktarı sabit tutuldu. Buna göre, %50 diatomit/KA kompoziti farklı oranlarda çimento bünyesine kuma ikame olarak ilave edildi. İlk olarak, köpük oluşumu için köpük ajanı ile su mekanik bir karıştırıcı vasıtasıyla 3 dk boyunca karıştırıldı. Sonrasında, öncesinde hazırlanmış olan kütlece %50 oranında KA içeren diatomit/KA kompoziti 4 farklı oranda (kütlece %15, %20, %25 ve %30) kum yerine köpük beton karışımına dahil edildi (Tablo 4.2). Karışımın homojenliğini sağlamak için karışım mekanik bir karıştırıcı yardımıyla 3 dk boyunca karıştırıldı. Hazırlanan karışımlar prizma (40 x 40 x 160 mm) ve plaka (20 x 20 x 2 cm) kalıplara dökülmüştür. Sertleşmesi için oda sıcaklığında 1 gün bekletildikten sonra numuneler kalıptan çıkarıldı ve kürlenmesi için oda sıcaklığındaki su banyosunda 28 gün süreyle beklemeye bırakıldı. Köpük beton hazırlama sürecine dair dijital fotoğraf görüntüleri Şekil 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.2: Hazırlanan köpük beton numunelerine ait karışım oranları

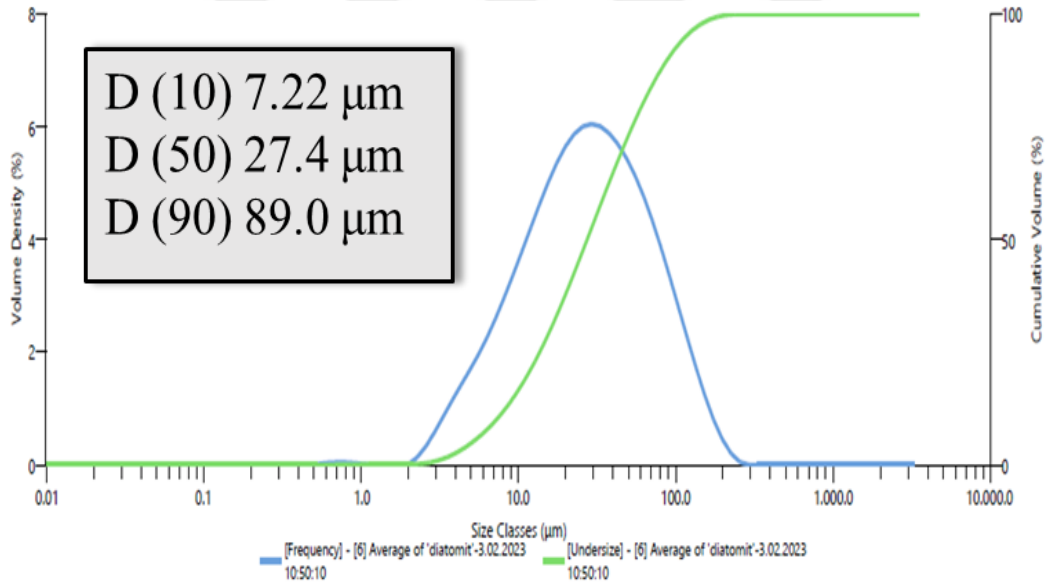
Numune	Miktar				
	Diatomit/KA (g)	Kum (g)	Çimento (g)	Köpük ajanı (ml)	Su (ml)
Referans	0	596,5	450	50	300
%15 Diatomit/KA	54,8	507,0	450	50	300
%20 Diatomit/KA	73,1	477,2	450	50	300
%25 Diatomit/KA	91,4	447,4	450	50	300
%30 Diatomit/KA	109,7	417,6	450	50	300



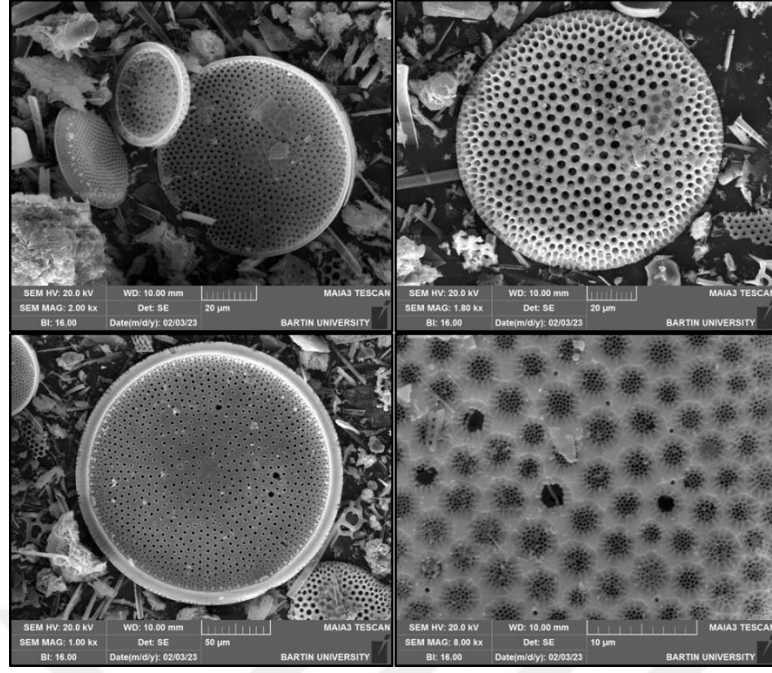
Şekil 4.3: Köpük beton numunelerinin hazırlanması

4.4 Karakterizasyon İşlemleri

Diatomit/KA kompoziti ve KA'nın ısı özellikleri 3°C/dk ısıtma hızı ve 30 ml/dk akış hızına sahip azot atmosferinde diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC, Hitachi 7020) kullanılarak tespit edilmiştir. Termal gravimetrik analiz (TGA) (Linseis STA PT1600) cihazı kullanılarak numunelerin termal bozunma davranışları 20°C/dk ısıtma hızına sahip 25-600°C sıcaklık aralığında ve azot ortamında belirlenmiştir. KA, diatomit ve diatomit/KA kompozitlerin kimyasal bağ yapı analizi 4000-500 cm⁻¹ dalga boyu aralığında Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FTIR) (Shimadzu IRSpirit) ile gerçekleştirildi. Numunelerin mikroyapı ve yüzey özellikleri ile elementel dağılım analizleri sırasıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (TESCAN MAIA3 XMUv) ve enerji dağılım X-ışını spektroskopisi (EDS) ile karakterize edildi. Partikül boyut dağılımı, partikül boyut ölçüm cihazı (Malvern, mastersizer 3000) kullanılarak ölçüldü. Partikül boyut dağılım sonuçlarına göre, diatomitin partikül boyutları D10 (7,22 µm), D50 (27,4 µm) ve D90 (89,0 µm) olarak ölçülmüştür (Şekil 4.4).



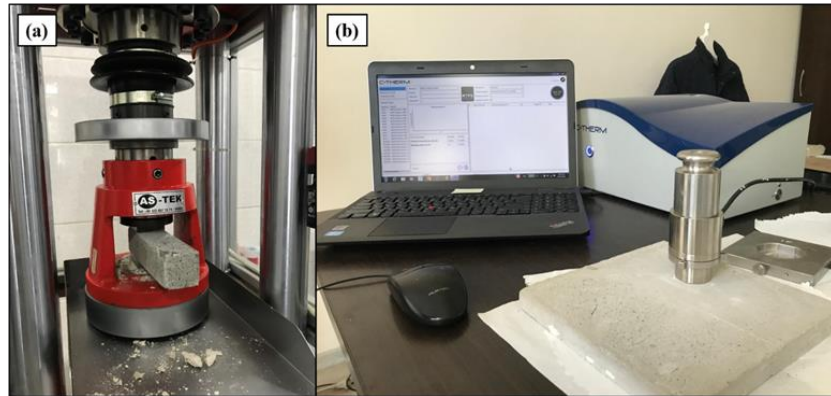
Şekil 4.4: Diatomite ait partikül boyut analiz grafiği



Şekil 4.5 Diatomitin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 4.5'deki SEM görüntülerinden, diatomitin gözenekli bir yapıya sahip disk plaka formunda morfolojik özelliğe sahip olduğu net bir şekilde görülmektedir.

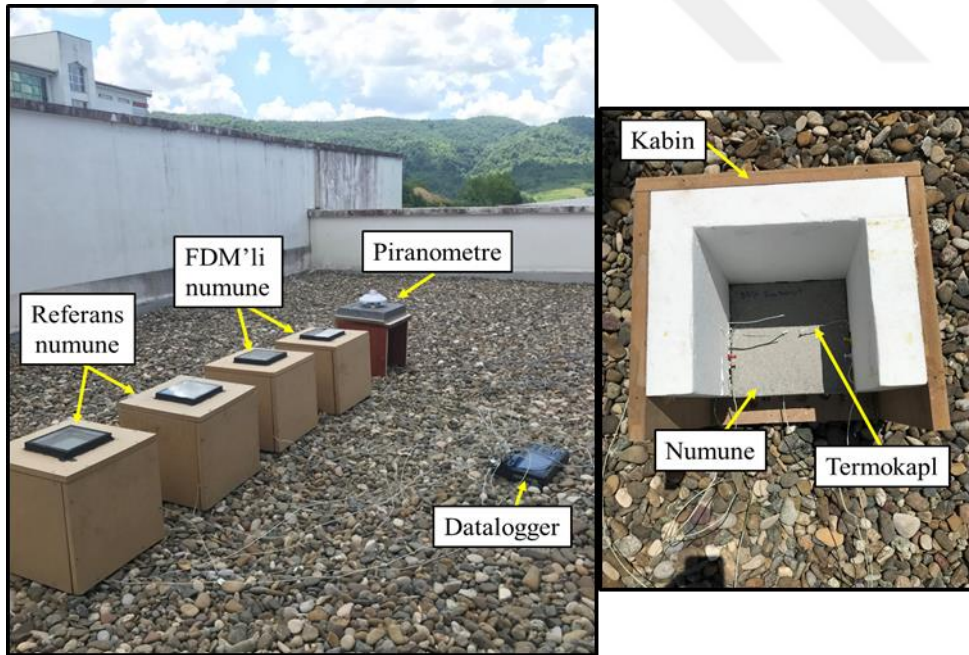
Köpük beton numunelerinin bazı fiziksel özellikleri (su emme, kuru birim ağırlık ve görünür gözeneklilik) Arşimet metoduna göre belirlendi. Numunelerin basınç dayanım testleri Bartın Çimento fabrikası laboratuvarındaki mekanik test cihazında (As-Tek Makine, Adana) gerçekleştirildi. Numunelerin termal iletim katsayıları ise Bartın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarındaki termal iletkenlik ölçüm cihazı (C-Therm TCi, Kanada) kullanılarak tespit edildi (Şekil 4.6).



Şekil 4.6: Basınç dayanım testi (a) ve termal iletkenlik ölçümü (b)

4.5 Termoregülasyon Test Düzeneği

Plaka formunda üretilen köpük beton numunelerin gerçek hava şartlarındaki termoregülasyon ölçümleri özel olarak tasarlanan test kabinlerinde gerçekleştirildi (Şekil 4.7). Test kabinlerinin ana iskeleti ahşap malzemeden yapılmış olup (39 x 39 x 39 cm) iç yüzeyleri 5 cm kalınlığındaki polistiren köpük ile kaplanmıştır. Güneş ışınları kabinin üst yüzeyinde yer alan çift camlı pencere (20 x 20 cm) vasıtasıyla kabine girmektedir. Köpük beton plakalar (20 x 20 x 2 cm) kabin içerisindeki alt tabana yerleştirilmiştir. Kabin içerisindeki ve numune yüzeyindeki sıcaklık değişimlerini ölçebilmek amacıyla 0,006 mV/°C hassasiyetinde K tipi termokapılar kullanılmıştır. Piranometre (Eco MS-410) ile güneş ışınım yoğunluğu ölçülmüş ve elde edilen veriler datalogger (Graphtec GL-240) ile bilgisayara aktarılmıştır. Termoregülasyon deneylerine ait ölçümler Bartın Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi binasının çatı katında (41,6°K ve 32,3°D) alındı. Termoregülasyon deneyleri 15/06/2023 tarihinde saat 12:30'dan 19/06/2023 saat 14:30 zaman aralığında gerçekleştirildi. Termal regülasyon deney düzeneğine ait dijital fotoğraf Şekil 4.7'de verilmiştir.



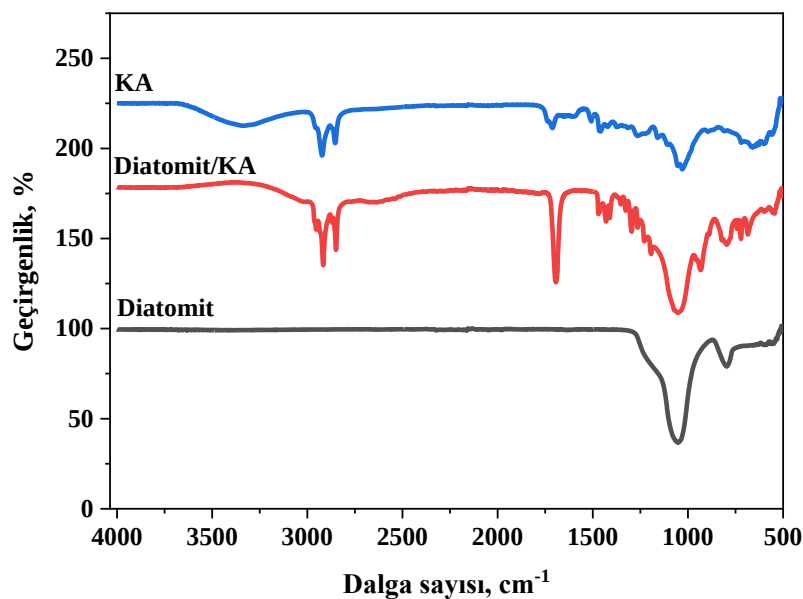
Şekil 4.7: Termoregülasyon testleri için hazırlanan deney düzeneği

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, hazırlanan diatomit/KA kompozitinin termal ve kimyasal özellikleri DSC ve FTIR analizleri ile belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, köpük beton numunelerinin su emme, görünür gözeneklilik gibi fiziksel özellikleri ile termal iletkenlik katsayıları ve basınç dayanımları detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca, üretilen köpük betonların mikro yapısal özellikleri ile gerçek hava koşullarında sergiledikleri termal performansa ilişkin bulgular aşağıda verilmiştir.

5.1 FTIR Analizi

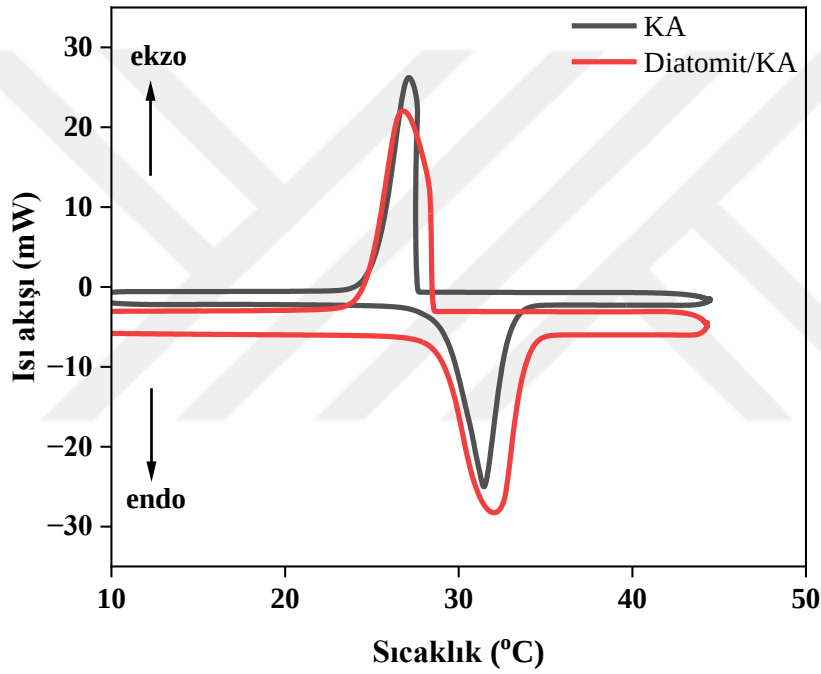
Diatomit, KA ve Diatomit/KA'ya ait FTIR analiz sonuçları Şekil 5.1'de verilmiştir. Buna göre; diatomitin IR spektrumunda yaklaşık 800 cm^{-1} 'deki keskin band Si-O-Si'nin eğilme titreşimine aittir. 1100 cm^{-1} 'deki pik Si-O-Al titreşimleriyle ilişkili iken 1235 cm^{-1} 'deki bant Si-O'nun asimetrik titreşiminden kaynaklanmaktadır (Chen vd., 2020). KA'ya ait spektrumunda ise 941 cm^{-1} ve 1695 cm^{-1} 'deki pikler C-O ve C=O gruplarının simetrik esneme titreşimlerine, 2912 ve 2851 cm^{-1} 'deki pikler $-\text{CH}_3$ ve $-\text{CH}_2$ simetrik gerilme titreşimlerine atfedilebilir. 1430 ve 1302 cm^{-1} 'de gözlenen pikler ise $-\text{OH}$ grubunun asimetrik gerilme titreşimlerine aittir. Diatomit/KA kompozitinin IR spektrumunda, mevcuttaki bir pikin kaybolması ya da yeni bir pikin ortaya çıkması gibi bir duruma rastlanmamıştır. Bu nedenle, diatomit ve KA bileşenleri arasında herhangi bir kimyasal tepkimenin gerçekleşmediği, fiziksel bir etkileşimin meydana geldiği söylenebilir.



Şekil 5.1: Diatomit, KA ve diatomit/KA kompozitin IR spektrumları

5.2 DSC Analizi

KA ve diatomit/KA kompozitine ait DSC analizinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.2’de sunulmuş, ilgili veriler ise Tablo 5.1’de özetlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, KA’nın erime ve donma sıcaklıklarının sırasıyla 29,4°C ve 27,7°C olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, diatomit/KA kompozitinin erime ve donma sıcaklıkları sırasıyla 28,73°C ve 28,49°C olarak tespit edilmiştir. KA ve diatomit/KA kompozitine ait erime ve donma entalpi değerleri sırasıyla 194 J/g, 193 J/g ve 101 J/g, 102 J/g olarak ölçülmüştür. Bu verilere göre, faz değişim sıcaklıklarında gözlenen küçük sapmalar, diatomit/KA kompozitindeki bileşenler arasındaki fiziksel etkileşimlerin zayıflığına işaret etmektedir.



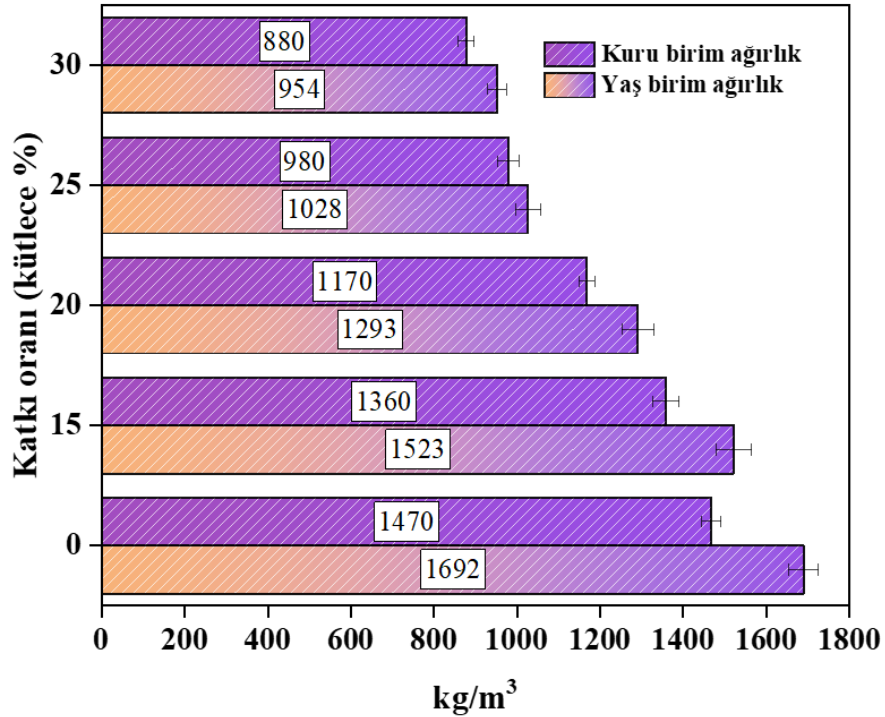
Şekil 5.2: KA ve diatomit/KA kompozitin DSC eğrileri

Tablo 5.1 KA ve Diatomit/KA kompozitine ait DSC sonuçları

Numune	Erime sıcaklığı, °C	Erime entalpisi, J/g	Donma sıcaklığı, °C	Donma entalpisi, J/g
KA	29,4	194,0	27,7	193,0
Diatomit/KA	28,73	101,0	28,49	102,0

5.3 Yaş ve Kuru Birim Ağırlık

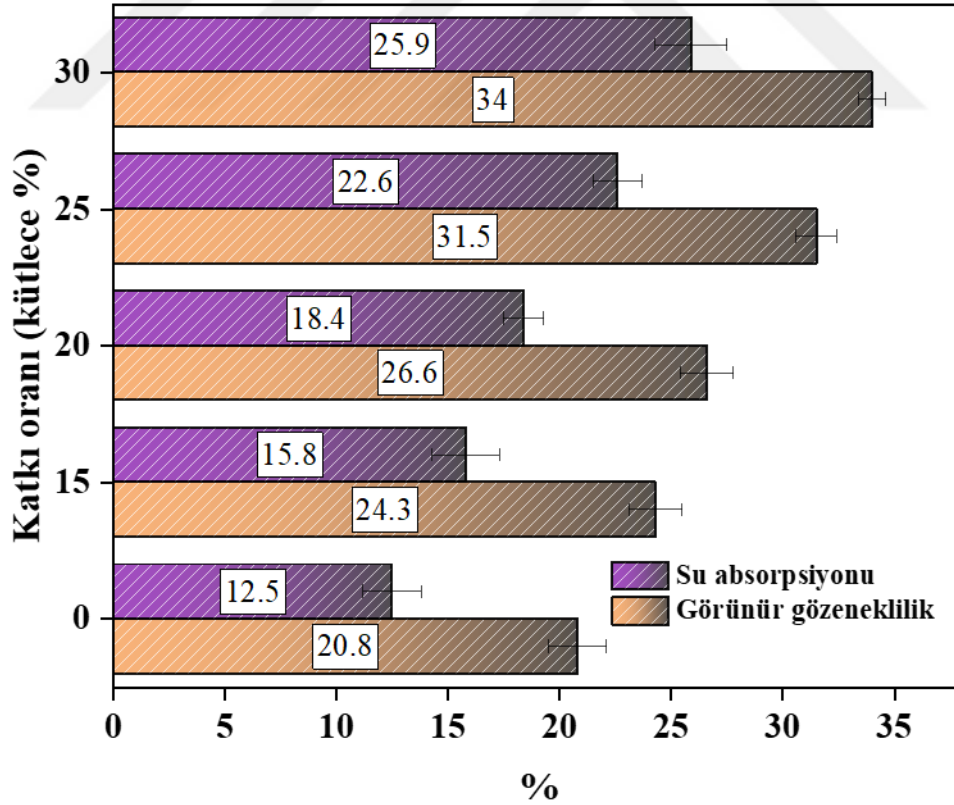
Şekil 5.3, hazırlanan köpük beton numunelerinin yaş ve kuru birim ağırlıklarındaki değişimi göstermektedir. Buna göre; referans ve kütlece %15, %20, %25 ve %30 diatomit/KA katkılı köpük betonların yaş birim hacim ağırlıklarının sırasıyla 1692, 1523, 1293, 1028 ve 954 kg/m^3 olduğu görülmektedir. Diatomit/KA katkı oranı arttıkça köpük betonun yaş birim hacim ağırlığı referans köpük betona göre azalmıştır. Benzer şekilde, referans numuneye kıyasla diatomit/KA katkılı köpük betonların kuru birim hacim ağırlıklarının düşüş eğilimi sergilediği açıktır. Referans ve içeriğinde kütlece %15, %20, %25 ve %30 diatomit/KA bulunduran köpük betonların ve kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla 1470, 1360, 1170, 980 ve 880 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Referansa kıyasla yaş ve kuru birim hacim ağırlıklarındaki azalma oranları sırasıyla %9,98, %23,5, %39,24 ve %43,6; %7,48, %20,41, %33,3 ve %40,14 şeklindedir. Bunun nedeni, diatomitin özgül ağırlığının ($2,26 \text{ g/cm}^3$) kendisine ikame olarak kullanılan kumun özgül ağırlığından ($2,66 \text{ g/cm}^3$) daha düşük olmasıdır. Literatürde de, benzer şekilde FDM katkılı hafif yapı malzemelerinin üretilebildiği belirtilmiştir (Shadnia vd., 2015; Gencel ve Ustaoglu, 2022). Köpük betonunun kütle yoğunluğunun düşük seviyede olması, yapının maruz kaldığı yükün daha az olması demektir ki bu durum yapıların depreme dayanıklılığı açısından önemlidir (Gencel ve Ustaoglu, 2022).



Şekil 5.3 Köpük beton numunelerinin yaş ve kuru birim ağırlık sonuçları

5.4 Görünür Gözeneklilik ve Su Absorpsiyonu

Şekil 5.4'deki veriler, diatomit/KA kompozit ilavesinin köpük betonların görünür gözeneklilik ve su emme değerleri üzerinde artırıcı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Numunelerin görünür gözeneklilik ve su absorpsiyon değerleri sırasıyla %20,8- 34 ile %12,5- 25,9 aralığında değişmektedir. Referans ile karşılaştırıldığında görünür gözeneklilik ve su emme değerlerindeki en yüksek artış oranları kütlece %30 diatomit/KA kompozit varlığında sırasıyla %63,46 ve %107,2 olarak ölçülmüştür. Diatomitin gözenekli bir forma sahip olması ve köpük betonun hava kabarcıkları ihtiva etmesi diatomit/KA katkılı numunelerin su absorplama performansını artırmaktadır. Diğer taraftan, katkısız (referans numune) köpük beton üretiminde diatomite göre daha yoğun bir forma sahip kum kullanılmıştır. Dolayısıyla, referans numunenin su emme kapasitesinin diatomit/KA katkılı numuneye göre daha düşük olması beklenen bir durumdur. Numunenin görünür gözeneklilik değerinin yüksek olması, ısı yalıtım performansının da yüksek olabileceğine işaret etmektedir (Ören, 2017; Hu vd., 2019).



Şekil 5.4: Köpük beton numunelerin su absorpsiyon ve görünür gözeneklilik sonuçları

5.5 Yayılma Çapı

Hazırlanan taze köpük beton harcının yayılma çapındaki değişim Tablo 5.2’de verilmiştir. Buna göre; köpük beton harçlarının yayılma çapları diatomit/KA kompozit miktarına bağlı olarak 198 mm ile 158 mm aralığında değişim sergilemiştir. Referans numunenin yayılma çapı 198 mm iken, en düşük yayılma çapı değerine (158 mm) kütlece %30 diatomit/KA kompozit içeriğinde ulaşılmıştır. Kütlece %15, %20, %25 ve %30 diatomit/KA katkılı numuneler için yayılma çaplarındaki bu azalma oranı sırasıyla %5,05, %9,6, %15,6 ve %20,2 şeklinde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, gözenekli yapıya sahip diatomitin su emme performansının ve yüzey alanının yüksek olmasına atfedilebilir (Memon,2014; Ramakrishnan vd., 2015). Ayrıca, agrega yüzeyinin köpük beton üretim sürecinde ıslak olması arzu edilir. Fakat, köpük beton karışımında kuma ikame olarak kullanılan diatomitin varlığı karışımın agrega yüzeyini yükselterek agrega yüzeyinin ıslanmasını engelleyebilir. Böyle bir durumda, karışımın su/çimento oranının artırılması ile agrega yüzeyinin ıslatılması sağlanabilir (Gencel vd., 2021). Bu tez çalışmasında, köpük beton karışım oranları hazırlanırken çimento ve su miktarı sabit tutulmuştur.

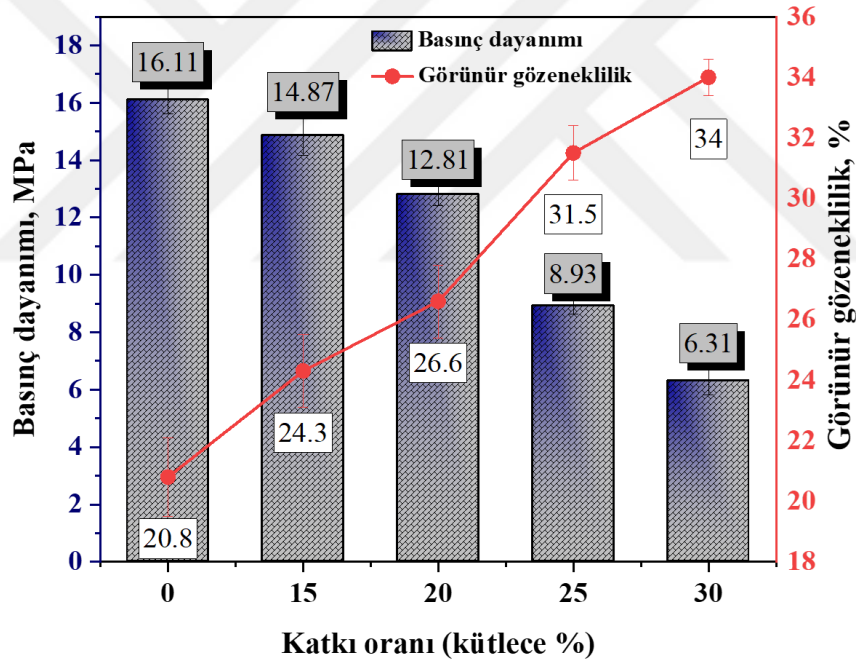
Tablo 5.2 Köpük beton harçlarının yayılma çapı değerleri

Katkı oranı (kütlece %)	Yayılma çapı (mm)
0	198
15	188
20	179
25	167
30	158

5.6 Basınç Dayanımı

Köpük betonlar, basınç dayanımlarının düşük olması sebebiyle betonarme binalarda taşıyıcı beton olarak kullanılmazlar. Bu betonlar daha çok yalıtım, kaplama, estetik gibi özellikleriyle ön plana çıkarlar (Oğuz vd., 2019). Şekil 5.5, 28 gün kürleme süresi sonundaki köpük betonların basınç dayanım sonuçlarını göstermektedir. Basınç dayanım verilerine göre, kuma ikame olarak diatomit/KA kompozitinin kullanılması basınç dayanımında

azalmaya neden olmuştur. Referansla karşılaştırıldığında, kütlece %15, %20, %25 ve %30 diatomit/KA katkılı numunelerin basınç dayanımları sırasıyla %7,7, %20,48, %44,56 ve %60,8 oranında azalmıştır. Bunun nedeni, hafif ve gözenekli yapıdaki diatomitin özgül ağırlığının silis kumuna kıyasla daha düşük olması şeklinde açıklanabilir. Elde edilen basınç dayanım verileri, numunelerin diğer fiziksel özelliklerine (su emme, görünür gözeneklilik gibi) ait sonuçları desteklemektedir. Diatomite emdirilen KA'nın varlığı da basınç dayanımındaki azalmanın bir başka sebebi olabilir. Şöyle ki; diatomit/KA miktarının artışına bağlı olarak köpük beton karışımındaki KA miktarının da artması betonun hidrasyon zamanını uzatabilir. Bu durumun basınç dayanımında azalmaya neden olması muhtemeldir. Diğer bir deyişle, köpük beton karışımında FDM kullanımı, betonun hidrasyon tepkimelerini etkileyebilir (Cunha vd., 2023). Çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda basınç dayanımı açısından benzer sonuçlar elde edilmiştir (Gencel vd., 2021; Hekimoğlu vd., 2021).

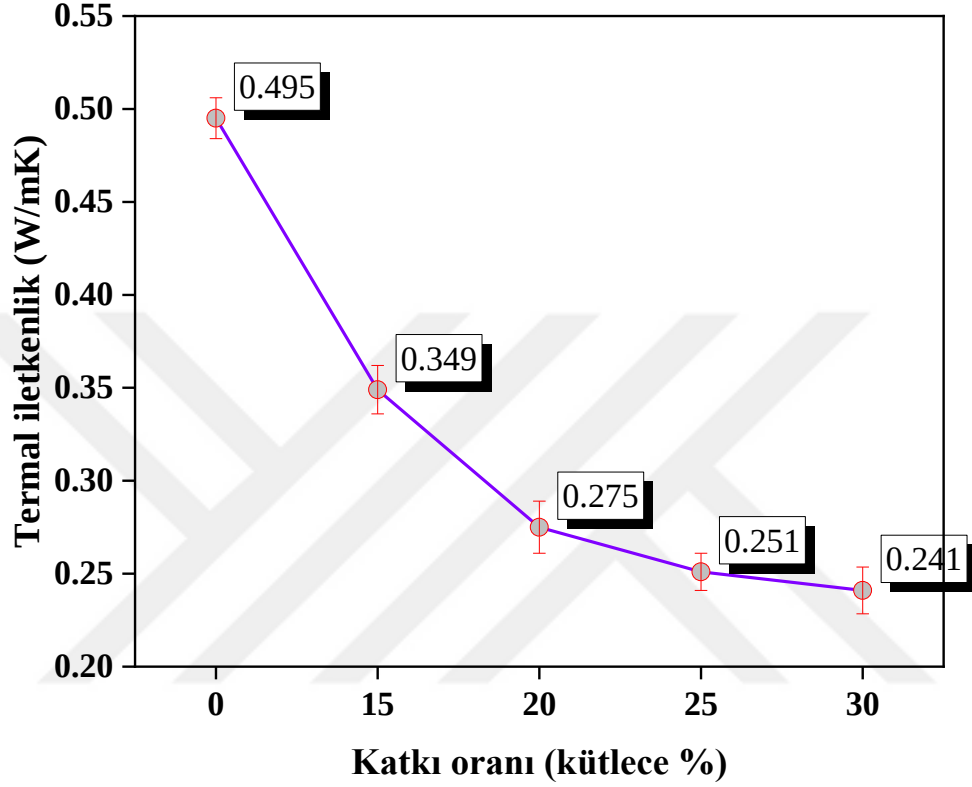


Şekil 5.5: Köpük beton numunelerinin basınç dayanım sonuçları

5.7 Termal İletkenlik

Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği termal iletkenliğinin düşük olması ve ısı geçişine karşı gösterdikleri direncin yüksek olmasıdır. Köpük betonların termal iletkenlikleri, karışım bileşenlerinin cinsi, miktarı ve harç/köpük oranı gibi faktörlere bağlıdır (Yılmaz vd., 2021). Referans ve diatomit/KA katkılı köpük betonların termal iletkenlik katsayıları Şekil 5.6'da verilmiştir. Buna göre; diatomit/KA kompozit katkısı termal iletkenlik katsayısını azaltıcı

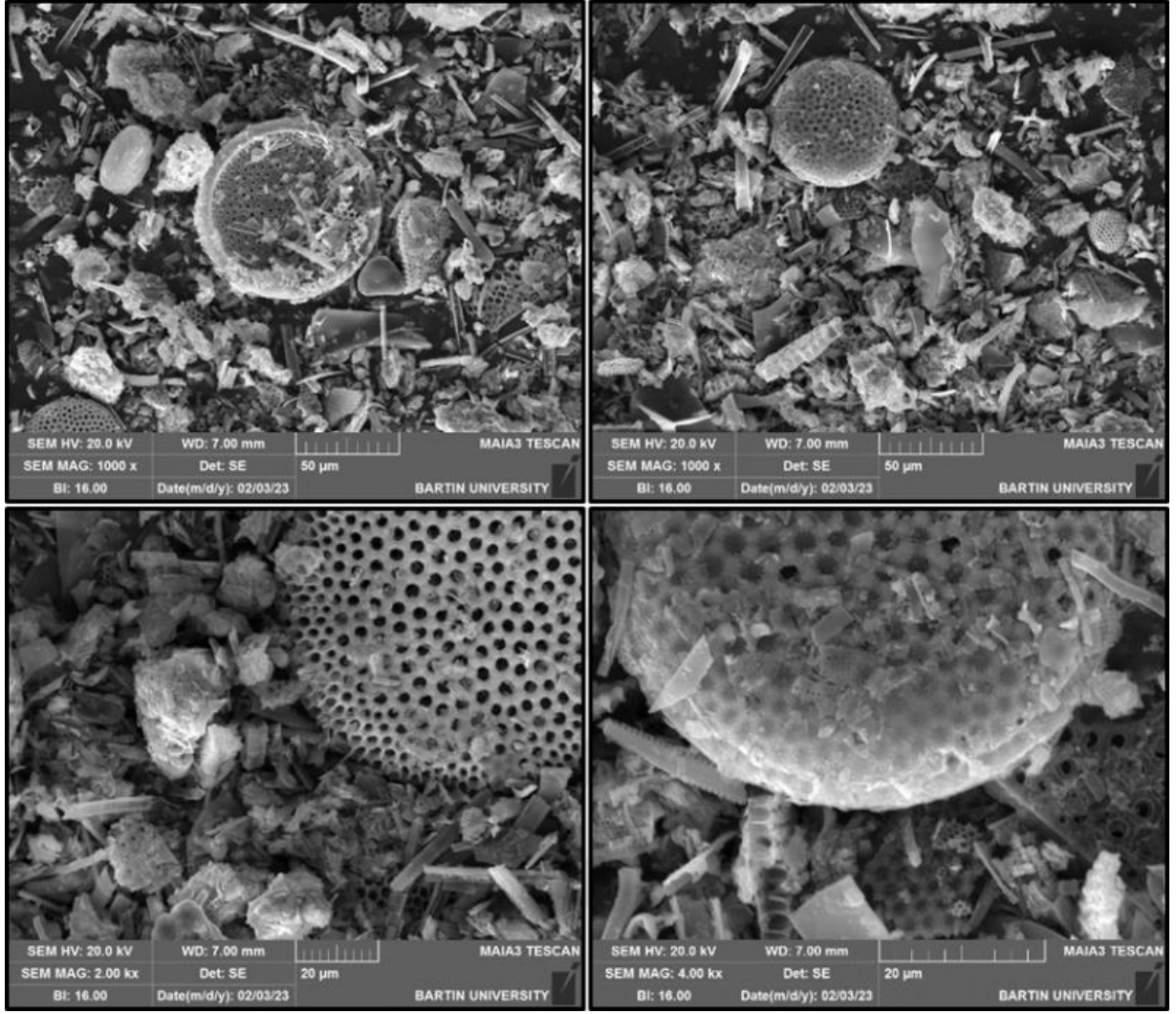
yönde etkilemiş ve termal iletkenlik değeri 0,495 W/mK'den 0,241 W/mK'e düşüş göstermiştir. Burada, tüm diatomit/KA kompozit katkı oranları için, kum agregası yerine diatomit/KA kullanımı gözenekliliği artırmıştır. Bu, numunenin daha az kompakt yapıda olması ve dolayısıyla da ısı transferinin azalması anlamına gelmektedir.



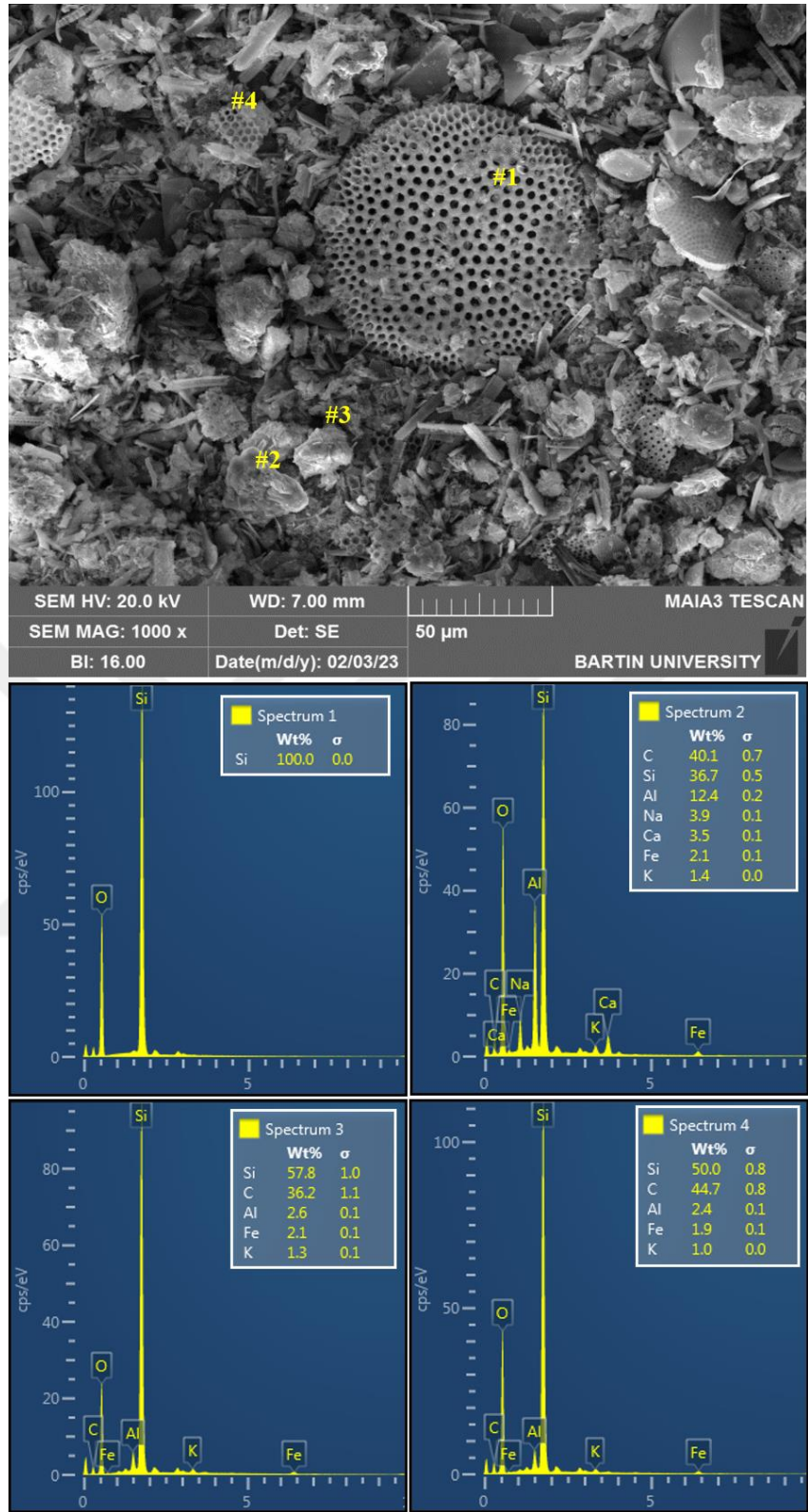
Şekil 5.6: Köpük beton numunelerin termal iletkenlik katsayı değeri

5.8 SEM ve EDS Analizleri

Diatomit/KA kompozitinin farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri ve EDS analizleri sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de sunulmuştur. SEM görüntüleri, farklı boyut ve şekillere sahip diatomit gözeneklerinin KA ile dolduğunu ve diatomit partikül yüzeylerinin KA ile kaplandığını göstermektedir. EDS analizlerinde ise, organik yapıya sahip KA'dan kaynaklanan karbon elementi ve diatomitin kimyasal bileşiminde yer alan silisyum elementinin varlığı dikkat çekmektedir.

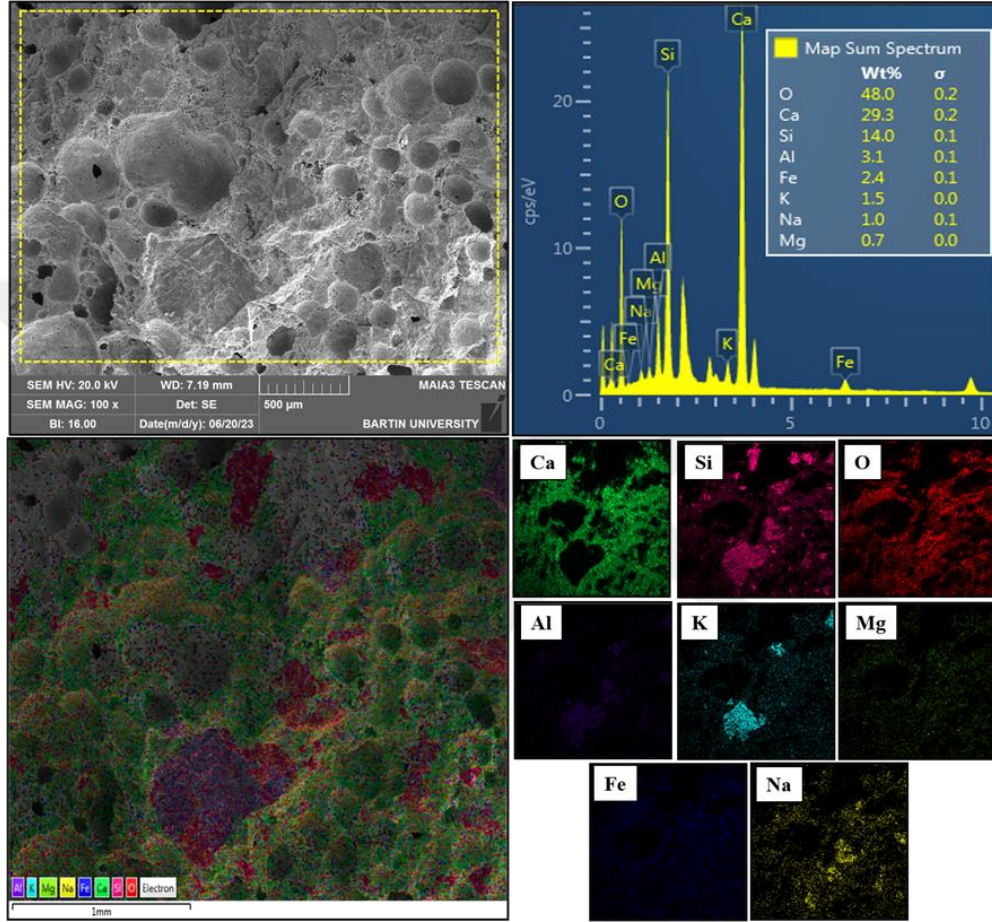


Şekil 5.7: Diatomit/KA kompozitinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri



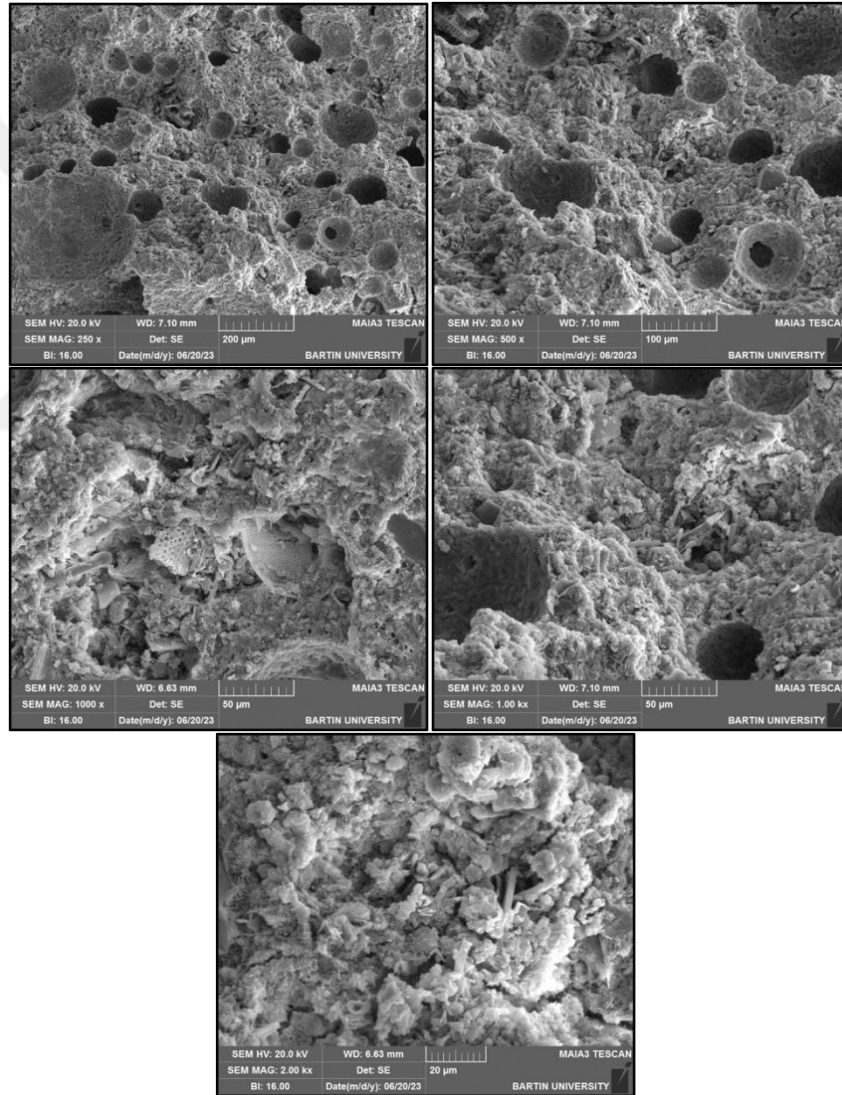
Şekil 5.8: Diatomit/KA kompozitinin SEM-EDS analizi

Referans köpük beton bünyesindeki hava kabarcıklarının ve gözeneklerin varlığı Şekil 5.9’da net bir şekilde görülmektedir. EDS analizlerinde ise, köpük beton üretiminde kullanılan çimentonun kimyasal bileşiminden kaynaklanan başta kalsiyum ve silisyum olmak üzere alüminyum gibi elementler de yer almaktadır. Kum ve çimento bünyesinde bulunan elementlerin köpük beton matrisindeki dağılımı da mapping analizinde verilmiştir.

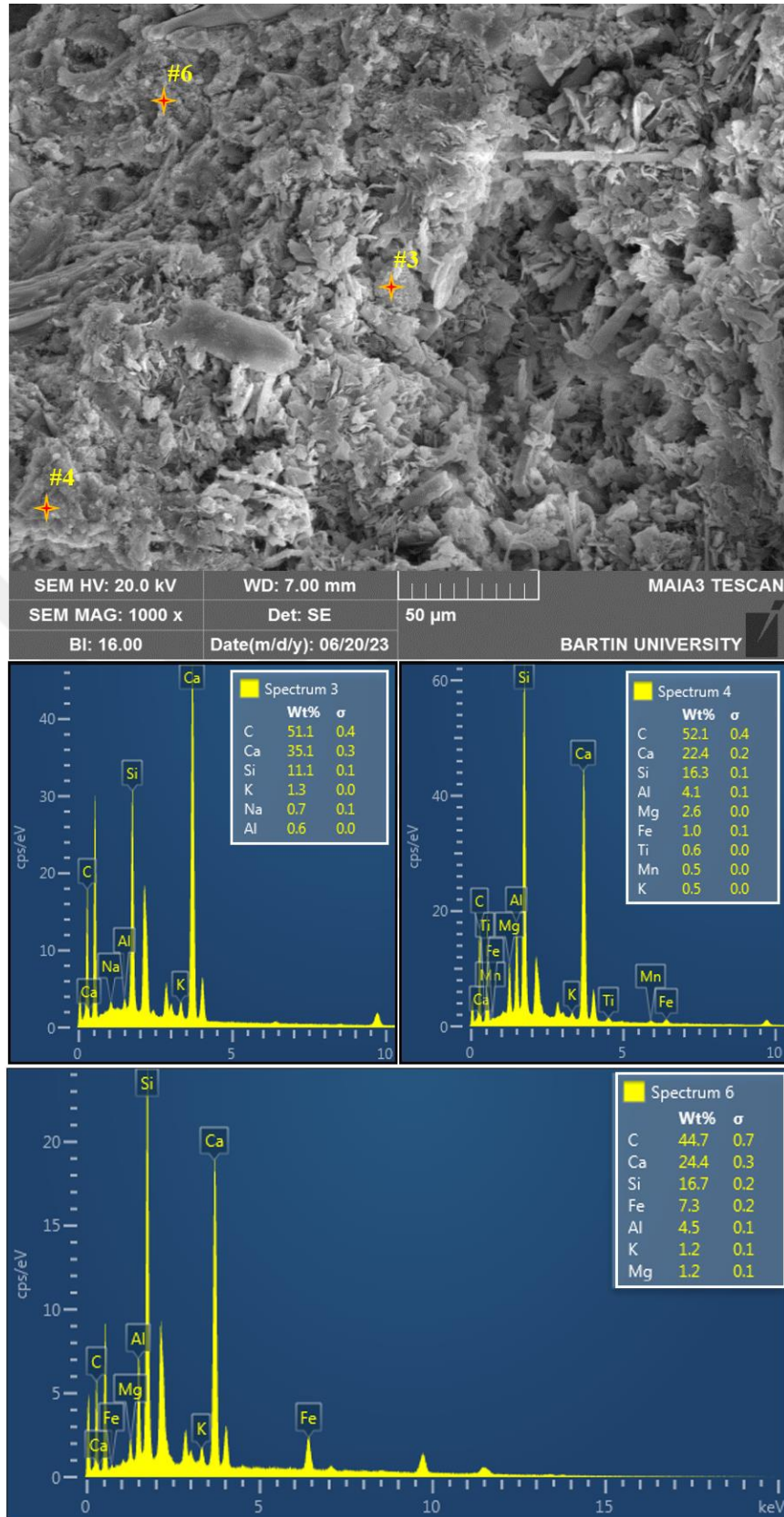


Şekil 5.9: Referans numunenin SEM-EDS görüntüleri ve mapping analizi

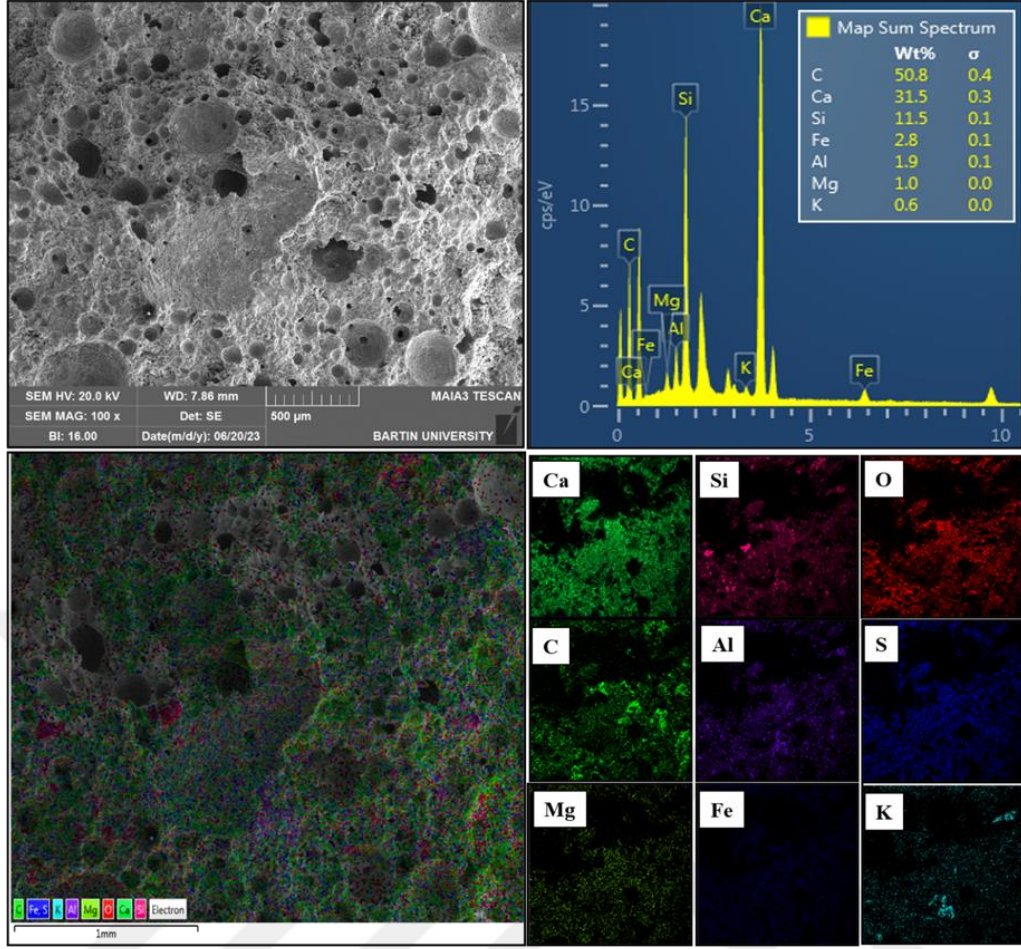
Kütlece %30 diatomit/KA katkılı numunesine ait farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntülerinde (Şekil 5.10) köpük beton bünyesindeki gözeneklerin farklı boyutlara sahip olduğu ve tamamen homojen bir dağılım sergilemediği görülmektedir. Ayrıca, emdirme işlemi ile diatomitin gözenek ve yüzeyinin KA ile kaplandığı söylenebilir. Neticede, EDS analiz sonuçlarında gözlenen yüksek orandaki karbon elementinin varlığı bunun bir göstergesidir. Bununla birlikte, başta silisyum ve kalsiyum olmak üzere demir ve alüminyum gibi elementlerin varlığı çimentonun kimyasal içeriğinden kaynaklanmaktadır (Şekil 5.11). Kütlece %30 diatomit/KA içeren köpük beton numunesindeki elementlerin dağılımına dair görüntüler ise Şekil 5.12’de sunulmuştur.



Şekil 5.10: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton numunesinin farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri



Şekil 5.11: Kütlece %30 diatomit/KA kompozit katkıli köpük beton numunesinin SEM-EDS analizi

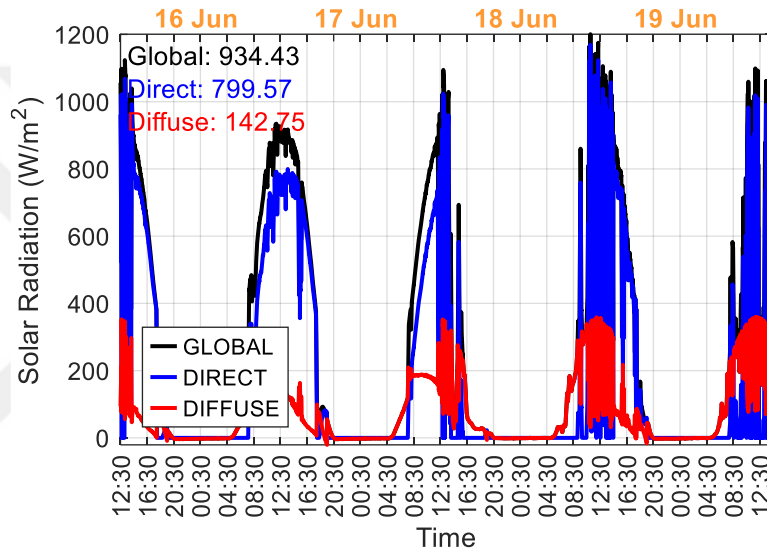


Şekil 5.12: Kütlece %30 diatomit/KA kompozit katkılı köpük beton numunesinin SEM-EDS ve mapping analizleri

5.9 Termal Regülasyon Deney Sonuçları

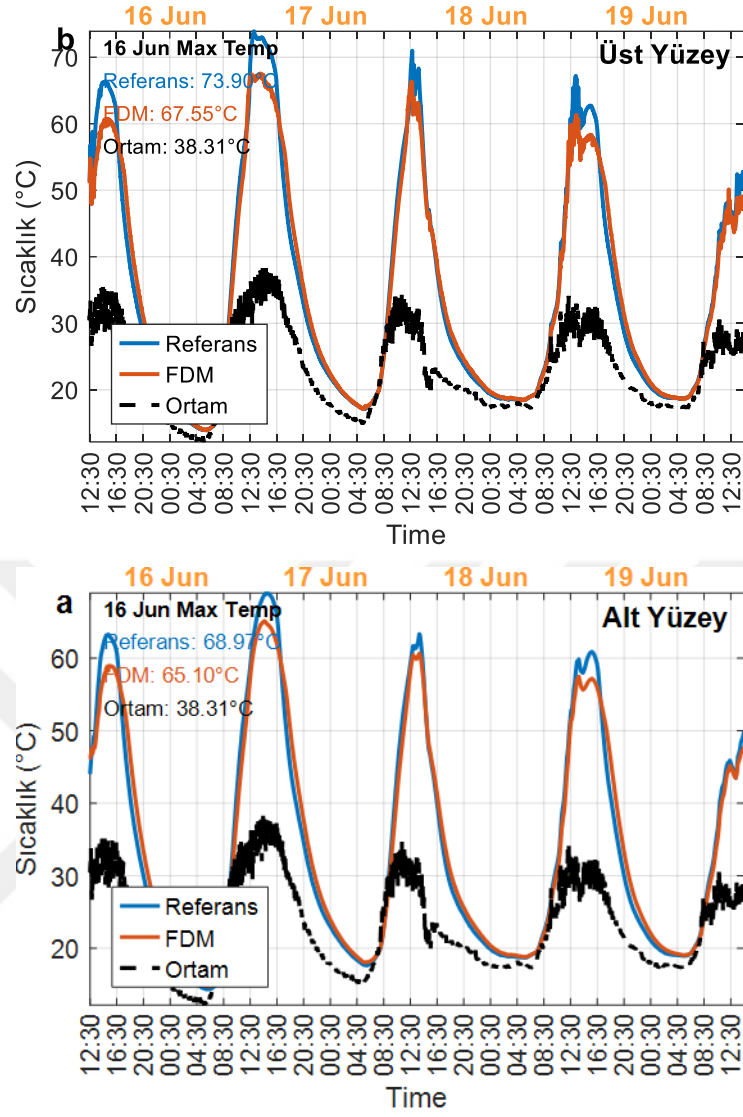
Referans ve kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton plakaların termal regülasyon testleri 5 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Deney sürecinde, hava koşulları genel olarak bulutlu ve açık gökyüzü şeklinde görülmüştür. Şekil 5.13'te global, doğrudan ve dağınık güneş radyasyon değerleri gösterilmektedir. Buna göre, deney günleri boyunca gökyüzünün en açık olduğu tarih 17.06.2023 olarak gözlenmiştir. Dağınık güneş radyasyon yoğunluğuna göre havadaki kapalılık belirlenebilmektedir. Burada, en yüksek dağınık radyasyon 18.06.2023 günü gerçekleşmiştir. Hava koşullarının yoğun bulutlu olmasından dolayı 17 - 18 Haziran 2023 günleri için maksimum güneş radyasyon değerleri doğrudan anlaşılamamaktadır. Diğer taraftan, birbirini takip eden günler olmaları nedeniyle açık hava durumlarında birbirlerine yakın güneş radyasyon değerlerine ulaşılacağı düşünülebilir. 16.06.2023 gününde, en yüksek güneş radyasyon değeri yaklaşık 934 W/m² olarak gündüz öğle vaktinde ölçülmüştür. Doğrudan gelen güneş radyasyon değeri ise 799 W/m²

civarlarındadır. Buradan, yatay yüzeye düşen global güneş radyasyonunun yaklaşık %83,7'lik bir kısmının doğrudan gelen güneş radyasyonundan oluştuğu söylenebilir. Dağınık güneş radyasyonu oranı ise yaklaşık %16,3'tür. Bölgenin nem oranına veya havanın kapalılığına göre bu oran farklılık gösterebilir. Deney kabiniinde, test edilecek malzemenin alt ve üst yüzey sıcaklıkları, yüzeyin yaklaşık 1 cm yakınındaki hava sıcaklığı ve odanın tam merkez sıcaklığı olmak üzere 4 farklı bölgeden sıcaklık ölçümü alınmıştır. Bunun yanı sıra, gölgedeki ortam sıcaklığı da ölçülmüştür. Deney süresi boyunca oda sıcaklığının 17.06.2023 günü en yüksek değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bu durum, 17.06.2023 tarihinde havanın diğer günlere göre daha az bulutlu olmasından kaynaklanmaktadır.

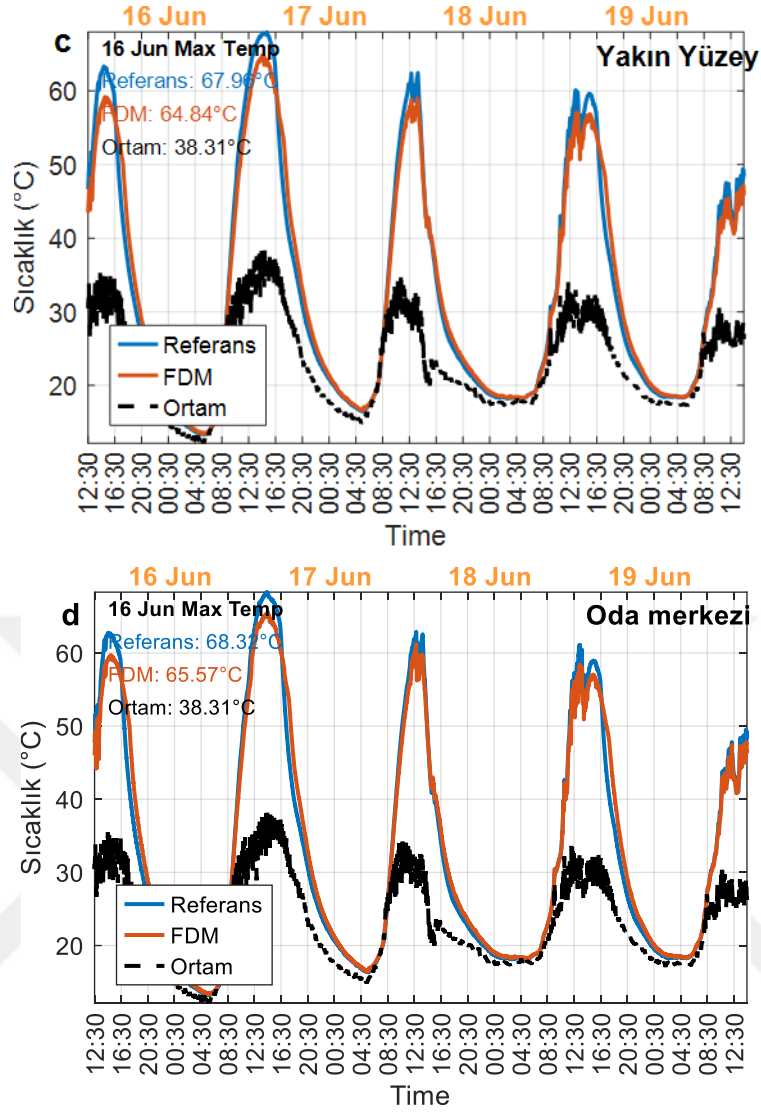


Şekil 5.13: Global güneş ışıınımı, doğrudan gelen güneş ışıınımı ve dağınık güneş ışıınımının değişimi (15-19.06.2023)

FDM'nin soğutma etkisi bütün günlerde ve ölçüm noktalarında belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. En yüksek sıcaklık değerleri malzemenin üst yüzeyinde görülmüştür. Bu, güneş radyasyonunun üst yüzeye gelmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda malzemenin yüzey özellikleri önemli bir rol oynamaktadır. Yansıtıcılık oranı görece büyük olan yüzeylerde, ortam sıcaklığı yüzeyden daha önce artabilmektedir. Ancak, yüzey soğuruculuğu yükseldikçe malzemenin sıcaklığı daha yüksek olabilir. Ortamın kapalı olması nedeniyle, iç ortam sıcaklığı çevre sıcaklığının oldukça üzerine çıkmaktadır. Bu şekilde, iyi yalıtımlı odaların kullanılmasının amacı malzemenin enerji depolama özelliğini daha iyi gözlemleyebilmektir. Bütün günlerde değişik oranlarda bir sıcaklık farkı meydana gelmiştir.



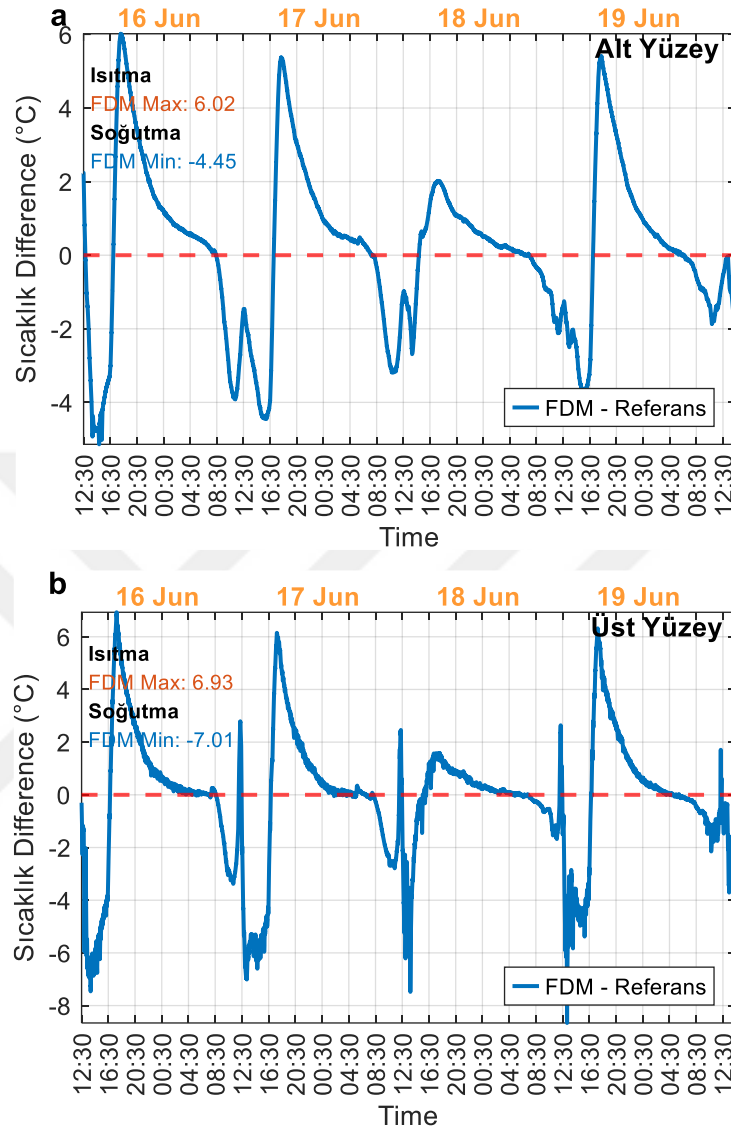
Şekil 5.14: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton ve referans plakaların kullanıldığı test odalarındaki alt yüzey (a) ve üst yüzeydeki (b) sıcaklık değişimi (15-19.06.2023)



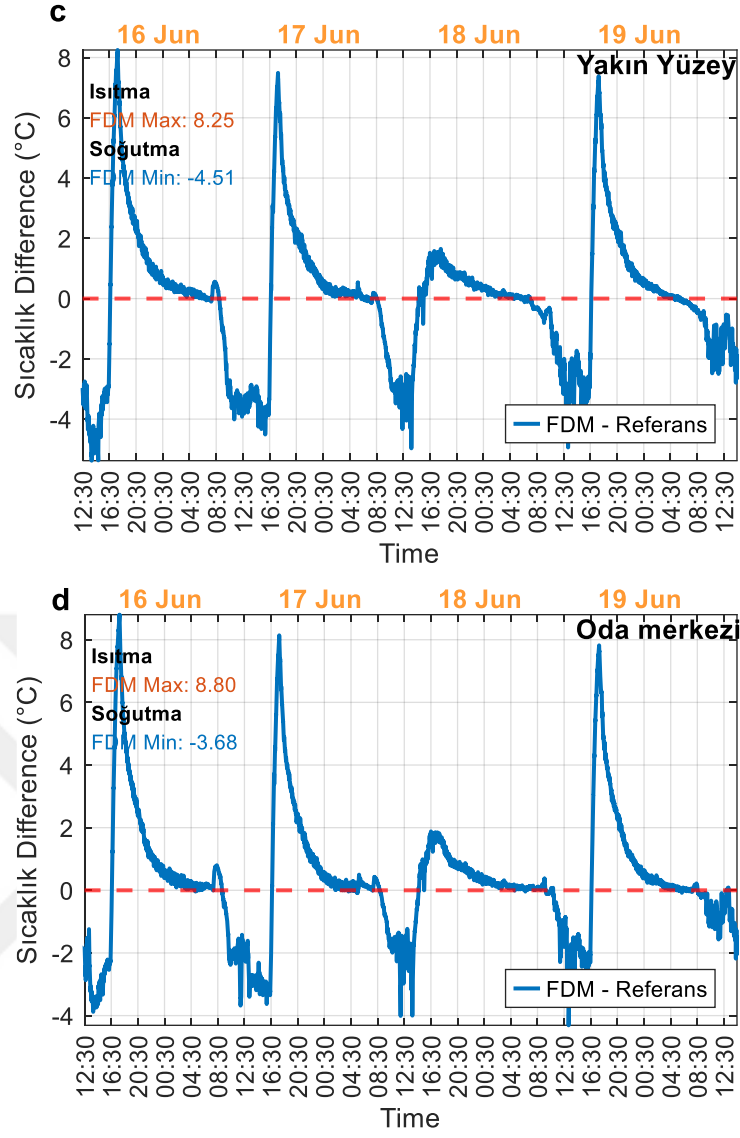
Şekil 5.15: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton ve referans plakaların kullanıldığı test odalarındaki yakın yüzey (c) ve merkezdeki (d) sıcaklık değişimi (15-19.06.2023)

FDM etkisini daha net görebilmek adına sıcaklık farkları Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te görselleştirilmiştir. Burada; alt yüzey, üst yüzey, yakın yüzey ve oda merkezleri arasındaki sıcaklık farkları gösterilmiştir. Öğle saatlerinde en yüksek sıcaklık farkı üst düzeyde gözlenirken maksimum sıcaklık farkı $7,01^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Oda merkezinde sıcaklık farkları güneş öğlesinde yaklaşık 4°C iken alt yüzeyde ise $2-4,45^{\circ}\text{C}$ aralığında değişim göstermektedir. FDM'nin öğle saatlerinde soğutma etkisinin yanı sıra gece vakitlerinde de ısıtma etkisinin olduğu Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de görülmektedir. Bu bağlamda en yüksek etki oda merkezinde $8,80^{\circ}\text{C}$ olarak kaydedilmiştir. Sonuç olarak; kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton plakanın yüzey ve ortam sıcaklıklarında önemli miktarda bir azalma

(serinleme) sağlarken, gece vakitlerinde ısıtma yükünün azaltılması noktasında katkı sağlayacağı açıkça görülmektedir.



Şekil 5.16: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton ve referans plakaların alt yüzey ile üst yüzey (a) ve üst yüzey (b) arasındaki sıcaklık farkları (15-19.06.2023)



Şekil 5.17: Kütlece %30 diatomit/KA katkılı köpük beton ve referans plakaların alt yüzey ile yakın yüzey (c) ve oda merkezi (d) arasındaki sıcaklık farkları (15-19.06.2023)

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, diatomit/KA katkılı köpük beton numunelerinin üretimi ve karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Numunelerin fiziksel, mekanik, termal ve mikroyapısal özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, üretilen referans ve kütlece %30 diatomit/KA içeren köpük beton plakaların gerçek hava koşulları altında termal regülasyon testleri yapılmıştır. Deneysel bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Sızıntı testleri sonucunda, herhangi bir sızdırma olmaksızın diatomitin en fazla kütlece %50 oranında KA absorplayabildiği belirlenmiştir.
- Diatomit/KA kompozitinin erime ve donma entalpi değerlerinin sırasıyla 101,0 J/g ve 102,0 J/g olduğu tespit edilmiştir.
- Diatomit/KA kompozitinin IR spektrumundan, diatomit ve KA bileşenleri arasında herhangi bir kimyasal tepkimenin gerçekleşmediği, fiziksel bir etkileşimin meydana geldiği görülmüştür.
- Kum agregasına ikame olarak kullanılan diatomit/KA kompozitinin köpük beton karışımına ilavesiyle yayılma çapı, kuru ve yaş birim ağırlık değerleri azalma göstermiştir.
- Referans ile kıyaslandığında, görünür gözeneklilik ve su emme değerleri, diatomit/KA kompozit miktarının artışına bağlı olarak artmıştır. Diğer taraftan, görünür gözeneklilikteki bu artış basınç dayanımı ve termal iletkenlik değerlerinde azalmaya neden olmuştur. En düşük basınç dayanımı ve termal iletkenlik değerleri kütlece %30 diatomit/KA varlığında sırasıyla 6,31 MPa 0,241 W/mK olarak ölçülmüştür.
- Termal regülasyon test sonuçlarına göre, referans numune ile karşılaştırıldığında, kütlece %30 diatomit/KA kompozit katkılı köpük betonun güneş yoğunluğunun yüksek olduğu saatlerde iç ortam sıcaklığını azalttığı ve oda sıcaklığını daha serin tutabildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, aynı köpük betonun ortam soğuduğunda ya da sıcaklığın düşük olduğu gece saatlerinde iç ortamı daha sıcak tutabildiği görülmüştür. Bu sayede, diatomit/KA katkılı

köpük beton kullanımı, odanın ısıtma ve soğutma işlemi için ihtiyaç duyduğu enerji yükünü azaltarak enerji tasarrufu sağlayabilir.

Sonraki çalışmalarda;

- Atık esaslı gözenekli forma sahip malzemeler çevre dostu sürdürülebilir bir üretim için alternatif destek materyali olarak denenebilir.
- FDM katkılı kompozit hazırlamak için farklı emdirme tekniklerinin yanı sıra çalışma sıcaklıklarına uygun olarak farklı FDM türleri veya ötektik karışımlar kullanılabilir.
- Köpük beton dışında alçı veya çimento esaslı yapı malzemelerinin üretiminde de FDM katkılı kompozitler denenebilir.



KAYNAKLAR

- Abhat, 1983. (1983). Abhat A., (1983). Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage Materials, *Solar Energy* 30 (4) 313-332. *Solar Energy*, 30(4), 313–332.
- Acurio, K., Chico-Proano, A., Martínez-Gómez, J., & Orozco, M. (2019). Regeneration of Waste Diatomite from Palm Oil Production Process as a Support Material for PCMs in Thermal Energy Storage in Buildings. *Advanced Materials Research*, 1151, 29–33.
- Aslan, O., Lisans, Y., Fizik, T., & Dalı, A. (2014). Faz Değiştiren Malzemelerle Güneş Enerjisinin Depolanması.
- Atmaca, U. (2016). “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 154: 21-35, Ankara, (2016).
- Bentli, İ. (2010). Kütahya-Alayunt Diatomit Cevherindeki Safsızlıkların Hidrosiklon ve Kalsinasyonla Giderilmesi Removal Of Impurities From Kütahya-Alayunt Diatomite Ore By Hydrocyclone And Calcination. In Eylül (Vol. 49, Issue 3).
- Bulut, F., Lisans, Y., Kimya, T., Dali, A., Kimya, A., & Dalı, B. (2020). Palmitik Asit/Dekanoik Asit-Dekanoik Asit/Setil Alkol Ötektik Karışımlarının Hazırlanması ve Faz Değiştirici Malzeme (FDM) Özelliklerinin İncelenmesi.
- Çetin, M., Taş, B., Üniversitesi, O., Fakültesi, F.-E., & Bölümü, B. (2012). Biyolojik Orijinli Tek Doğal Mineral: Diatomit.
- Chen, F., Miao, Y., Ma, L., Zhan, F., Wang, W., Chen, N., & Xie, Q. (2020). Optimization of pore structure of a clayey diatomite. *Particulate Science and Technology*, 38(5), 522–528.
- Costa, J. A. C., Martinelli, A. E., do Nascimento, R. M., & Mendes, A. M. (2020). Microstructural design and thermal characterization of composite diatomite-vermiculite paraffin-based form-stable PCM for cementitious mortars. *Construction and Building Materials*, 232.
- Cunha, S., Aguiar, J., & Martins, F. (2023). Prediction of the mechanical behavior of mortars incorporating phase change materials using data mining techniques. *Materiales de Construcción*, 73(350).
- Fořt, J., Trník, A., Pavlíková, M., Pavlík, Z., & Černý, R. (2018). Fabrication of Dodecanol/Diatomite Shape-Stabilized PCM and Its Utilization in Interior Plaster. *International Journal of Thermophysics*, 39(12).
- Fu, X., Liu, Z., Xiao, Y., Wang, J., & Lei, J. (2015). Preparation and properties of lauric acid/diatomite composites as novel form-stable phase change materials for thermal energy storage. *Energy and Buildings*, 104, 244–249.
- Gencil, O., Hekimoğlu, G., Sarı, A., Sutcu, M., Er, Y., & Ustaoglu, A. (2021). A novel energy-effective and carbon-emission reducing mortars with bottom ash and phase change material: Physico-mechanical and thermal energy storage characteristics.
- Gencil, O., Sarı, A., Kaplan, G., Ustaoglu, A., Hekimoğlu, G., Bayraktar, O. Y., & Ozbakkaloglu, T. (2022). Properties of eco-friendly foam concrete containing PCM impregnated rice husk ash for thermal management of buildings. *Journal of Building Engineering*, 58, 104961.

- Gencel, O., Ustaoglu, A., Benli, A., Hekimoğlu, G., Sarı, A., Erdogmus, E., Sutcu, M., Kaplan, G., & Yavuz Bayraktar, O. (2022). Investigation of physico-mechanical, thermal properties and solar thermoregulation performance of shape-stable attapulgite based composite phase change material in foam concrete. *Solar Energy*, 236, 51–62.
- Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2019). Energy for sustainable development: Demand, supply, conversion and management. *Energy for Sustainable Development: Demand, Supply, Conversion and Management*, 1–204.
- Hekimoğlu, G., Nas, M., Ouikhalfan, M., Sarı, A., Kurbetci, Ş., Tyagi, V. V., Sharma, R. K., & Saleh, T. A. (2021). Thermal management performance and mechanical properties of a novel cementitious composite containing fly ash/lauric acid-myristic acid as form-stable phase change material. *Construction and Building Materials*, 274, 122105.
- Hekimoğlu Gökhan. (2022). G.Hekimoğlu,Doktora Tezi, Met Ve Mal Müh A.Dalı ,’’Binalarda Isıl Enerji Depolama Amaçlı Kompozit Faz Değişim Malzemelerinin Geliştirilmesi, Karakterizasyonu Ve Laboratuvar Ölçekli Uygulamaları ‘’.
- Hu, X., Zhu, F., & Gong, X. (2019). Experimental and numerical study on the thermal behavior of phase change material infiltrated in low porosity metal foam. *Journal of Energy Storage*, 26.
- Iten, M., & Liu, S. (2014). “A work procedure of utilising PCMs as thermal storage systems based on air-TES systems”, *Energy Conversion and Management*, 77: 608-627, (2014).
- Jeong, S. G., Lee, J. H., & Kim, S. (2013). Preparation of shape stabilized PCMs by vacuum impregnating method of diatomite. *Advanced Materials Research*, 630, 71–74.
- Jia, W., Wang, C., Wang, T., Cai, Z., & Chen, K. (2020). Preparation and performances of palmitic acid/diatomite form-stable composite phase change materials
- Kahraman, G. (2019). Türkiye’de Kentleşmenin Enerji Tüketimi ve Karbon Salınımı Üzerine Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 1559–1566.
- Karaipekli ve Sarı. (2006). Karaipekli A., (2006). Faz Değişimli Enerji Depolama Maddelerinde Isıl İletkenliğin Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Khadiran, T., Hussein, M. Z., Zainal, Z., & Rusli, R. (2016). Khadiran, T., Hussein, M.Z., Zainal, Z. and Rusli, R., “Advanced energy storage materials for building applications and their thermal performance characterization: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57: 916-928, (2016). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 916–928.
- Konuklu, Y. (2020). Isıl Enerji Depolama Uygulamaları İçin Biyobozunur Esaslı Faz Değiştiren Madde/Çam Kozalağı Kompozitlerinin Üretilmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- Konuklu, Y., Ersoy, O., Erzin, F., & Toraman, Y. Ö. (2019). Experimental study on preparation of lauric acid/microwave-modified diatomite phase change material composites.
- Konuklu, Y., Ersoy, O., Ömür Paksoy, H., Evcimen, S., Çelik, S., Yusuf Toraman. (2017). Termal Enerji Depolama Materyali Olarak Diyatomit/Faz Değiştiren Madde Kompozitlerinin

Üretilmesi. In Omer Halisdemir University Journal Of Engineering Sciences (Vol. 6, Issue 1).

Lane. (1983). Lane, G. A., (1983), Solar Energy Latent Heat Material , Volume I, CRC Pres Inc. Boca Raton /Florida,450. Solar Heat Storage: Latent Heat Material: Volume I: Background and Scientific Principles, 153–222.

Li, M., Wu, Z., & Kao, H. (2011). Study on preparation and thermal properties of binary fatty acid/diatomite shape-stabilized phase change materials.

Liu, L., Chen, J., Qu, Y., Xu, T., Wu, H., Huang, G., Zhou, X., & Yang, L. (2019). A foamed cement blocks with paraffin/expanded graphite composite phase change solar thermal absorption material.

Liu, P., Gu, X., Bian, L., Peng, L., & He, H. (2019). Capric acid/intercalated diatomite as form-stable composite phase change material for thermal energy storage. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 138(1), 359–368.

Mehling, H., & Cabeza, L. F. (2008). Heat and cold storage with PCM.

Memon, S. A. (2014). Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review

(URL-1,2024) <https://www.coralinnovative.com/pcm> (15.01.2024)

(URL-2,2024) <https://www.gidamuhendisi.net/2020/07/01/kaprik-asit-nedir>(12.12.2024)

(URL-3,2024)<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/diatomit#:~:text=Diatomit%20ba%C5%9Fta%20boya%20olmak%20%C3%BCze%20re,kabiliyeti%20%C2%20y%C3%BCksek%20emicilik%20%C3%B6zellik%C4%9Finden%20y%C4%B1%20ararlar> (08.12.2024)

(URL-4,2024) www.enerji.gov.tr

(URL-5,2024) Enerji Verimliliği Kanunu”, T.C. Resmî Gazete,;http://wwwl.mmo.org.tr/ (20.01.2021).

(URL-6,2024) Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Eğitim Dökümanları.

(URL-7,2024) TEİAŞ, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (02.01. 2024).

(URL-8,2024) İYEM, İzocam Yalıtım Eğitim Merkezi, Eğitim Notları, 2007.

(URL-9,2024) Binalarda ısı yalıtım kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

(URL-10,2024) <https://mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5627.pdf>

(URL-11,2024)<http://www.meramedas.com.tr/Cevrebilinci.aspx?id=5>(03.02.2024)

(URL-12,2024 http://www.izoder.org.tr/isiyalitimi/ISIYALITIMI_GIRIS.pdf

(URL-13,2024) Binalarda enerji performansı yönetmeliği”, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, (2008)

(URL-14,2024) Enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğinin artırılmasına dair yönetmelik”, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2008).

Oğuz Miraç, “Geri Dönüştürülmüş Betonların Köpük Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması,” 2019.

Ören Osman Hulusi. (2017). Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Köpük Beton Özelliklerine Etkisi.

Paksoy, (2007). Paksoy, H. Ö. (Ed.), (2007). Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption: Fundamentals, Case Studies and Design (Vol. 234). Springer Science & Business Media. Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption.

Pınarcı, (2022). Diatomit ve pomza ikameli çimentoların hidrasyon reaksiyonlarının ve yüzey özelliklerinin spektroskopik yöntemlerle araştırılması. 1–133.

Qu, Y., Chen, J., Liu, L., Xu, T., Wu, H., & Zhou, X. (2020). Study on properties of phase change foam concrete block mixed with paraffin / fumed silica composite phase change material. Renewable Energy, 150, 1127–1135.

Ramakrishnan, S., Sanjayan, J., Wang, X., Alam, M., & Wilson, J. (2015). A novel paraffin/expanded perlite composite phase change material for prevention of PCM leakage in cementitious composites. Applied Energy, 157, 85–94.

Ren, M., Zhao, H., & Gao, X. (2022). Effect of modified diatomite based shape-stabilized phase change materials on multiphysics characteristics of thermal storage mortar. Energy, 241.

Saraç Özgür. (n.d.). Farklı Oranlarda Diatomit Takviyeli Silikon Matrisli Kompozit Malzemelerin Termal Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Retrieved January 23, 2023.

Segin, D. (2024). Mannitolün Kaprilik Kaprik Asidiyle Esterleşme Reaksiyonları ve Kozmetikte Kullanımı Deniz Zengin Yüksek Lisans Tezi Kimya Anabilim Dalı.

Shadnia, R., Zhang, L., & Li, P. (2015). Experimental study of geopolymer mortar with incorporated PCM. Construction and Building Materials, 84, 95–102.

Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(2), 318–345.

Sun, Z., Zhang, Y., Zheng, S., Park, Y., & Frost, R. L. (2013). Preparation and thermal energy storage properties of paraffin/calcined diatomite composites as form-stable phase change materials. Thermochimica Acta, 558, 16–21.

Tandoğan, M. (2021). Diatomitin Zemin Stabilizasyonunda Kireçle Birlikte Kullanılabilirliğinin Araştırılması.

Taş, B. ve Ç. M. (2012). Biyolojik Orijinli Tek Doğal Mineral: Diatomit. Tübvav Bilim Dergisi, 5(2), 28-46.

Tuçbilek, K. (2005). Laurik-palmitik asit ötektik karışımının enerji depolama karakteristiklerinin belirlenmesi.

Wu, S. (2010). Heat energy storage and cooling in buildings. Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings, 101–126.

- Xie, N., Niu, J., Zhong, Y., Gao, X., Zhang, Z., & Fang, Y. (2020). Development of polyurethane acrylate coated salt hydrate/diatomite form-stable phase change material with enhanced thermal stability for building energy storage. *Construction and Building Materials*, 259.
- Xu, B., & Li, Z. (2013). Paraffin/diatomite composite phase change material incorporated cement-based composite for thermal energy storage. *Applied Energy*, 105, 229–237.
- Yılmaz, M., Berat Gökhanoglu, H., Alparslan, G., Yusuf Özgan, M., Ahi Evran Üniversitesi, K., & ve Mimarlık Fakültesi, M. (2021). Köpük Beton Hakkında İnceleme Review of Foam Concrete. 4(1), 16–21.
- Zhang, P., Cui, Y., Zhang, K., Wu, S., Chen, D., & Gao, Y. (2021). Enhanced thermal storage capacity of paraffin/diatomite composite using oleophobic modification. *Journal of Cleaner Production*, 279.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :

Doğum Yeri ve Tarihi :

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi :

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller :

Bilimsel Faaliyet/Yayınlar :

Aldığı Ödüller :

İş Deneyimi

Stajlar :

Projeler ve Kurs Belgeleri :

Çalıştığı Kurumlar :

İletişim

E-Posta Adresi :

Tarih :