



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DÜŞÜK SICAKLIK UYGULAMALARI İÇİN KOMPOZİT FAZ DEĞİŞİM
MALZEMESİ HAZIRLANMASI VE ISIL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SUDE YALDIZ

DANIŞMAN: DOÇ. DR. MEHMET SELÇUK MERT

**YALOVA
MAYIS 2023**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DÜŞÜK SICAKLIK UYGULAMALARI İÇİN KOMPOZİT FAZ DEĞİŞİM
MALZEMESİ HAZIRLANMASI VE ISIL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SUDE YALDIZ
195103009

DANIŞMAN: DOÇ. DR. MEHMET SELÇUK MERT

YALOVA
MAYIS 2023

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “Düşük Sıcaklık Uygulamaları için Faz Değiştiren Malzemelerin Hazırlanması ve Isıl Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

Sude YALDIZ



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince bana yol gösteren, benden desteklerini, emeklerini ve yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım tez danışmanım Sayın hocam Doç. Dr. Mehmet Selçuk MERT’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunmama katılarak, kritik noktalarda yapıcı eleştiriler getirerek tezin son şeklini almasını sağlayan, dikkat etmem gereken noktalarda bilgisinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Fikret YÜKSEL ve Sayın Doç. Dr. Ömer Faruk DİLMAÇ hocalarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Her zaman yanımda olan ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için annem Mine YALDIZ’a ve babam İbrahim YALDIZ’a, teşekkür ederim.

Çalışmanın uygulama sürecinde anlayışlarını esirgemeyen Ferroser Mümessillik ve Metal San. Ltd. Şti. yöneticilerine teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine (Proje No: 2020/YL/0021) teşekkür ederim.

Mayıs – 2023

Sude YALDIZ



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN.....	i
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	15
1.1.Literatürdeki Bazı Araştırmalar.....	18
2. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ	25
2.1. Enerji Depolama Teknolojilerinin Sınıflandırılması.....	25
3. ISI ENERJİSİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ	29
3.1. Duyulur Isıl Depolama	29
3.2. Gizli Isıl Depolama	30
3.3. Faz Değişim Malzemeleri	32
4. ANALİZ YÖNTEMLERİ	39
4.1. FT-IR spektrofotometresi	39
4.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre	39
4.3. Sem Taramalı Elektron Mikroskobu	40
4.4. XRF Analizi- X Işını Floresansı.....	40
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	41
5.1. Deneysel Yöntem	41
5.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kimyasallar	42
Kaprik asit.....	42
Destek yapı: Pomza taşı.....	43
6. BULGULAR	47
Isıl analiz bulguları	47
Morfolojik analiz bulguları.....	51
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	60



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

C _p	: Özgöl Isı (kJ/kgK)
E	: Enerji
M	: Kütle
ΔT	: Sıcaklık Farkı
V	: Çözelti hacmi (ml)
Q	: Isı Miktarı (kJ/kg)

KISALTMALAR

CP30	: %30 Katkılı Kompozit Malzeme
CTES	: Soğuk Termal Depolama
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DSU	: Düşük Sıcaklık Uygulamaları
FDM	: Faz Değişim Malzemesi
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GID	: Gizli Isıl Depolama
KA	: Kaprik Asit
SSFDM	: Şekil Stabilize Faz Değiştiren Malzeme
PT	: Pomza Taşı
TES	: Termal Enerji Depolama
TGA	: Termogravimetrik Analiz

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5.1 Pomza taşına ait karakteristik özellik tablosu.....	44
Tablo 6.1 Pomza taşının XRF analizi ile elde edilmiş kimyasal özellikler tablosu	477
Tablo 6.2 Kompozit malzemenin DSC analiz değerleri	48





ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Enerji depolama teknolojilerinin sınıflandırılması	26
Şekil 6.1. Pomza ve kaprik asit ile elde edilen kompozit FDM'in DSC analiz soğutma grafiği.....	48
Şekil 6.2. Pomza ve kaprik asit ile elde edilen kompozit FDM'in DSC analiz ısıtma grafiği.....	49
Şekil 6.3. Kompozit malzemenin FTIR analiz sonuçları	50
Şekil 6.4. CP30 kompozit FDM'nin FT-IR analizi	50
Şekil 6.5. Pomzaya ait SEM analizi görüntüsü	51
Şekil 6.6. CP30 kompozit FDM'nin SEM Analizi ile elde edilen görüntüsü	51



DÜŞÜK SICAKLIK UYGULAMALARI İÇİN FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN HAZIRLANMASI VE ISIL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Mineral yakıt diğer adıyla fosil yakıtların tükenmeye başlaması, yeniden oluşumlarının yüzyıllar sürmesi ve bunun yanı sıra ekosisteme verdiği zararlar yıllardır çeşitli araştırmacılar tarafından değerlendirilmektedir. Bu araştırmaların devamında, alternatif kaynaklara yönelim gün geçtikte artmaktadır. Alternatif kaynaklar, hidro, jeotermal, güneş, rüzgâr, odun, bitki artıkları, biyokütle, gel-git ve dalga olarak kabul görmektedir. Bu kaynakların yenilenebilir olması ve karbon salınımını önemli ölçüde azaltması Dünya için büyük önem arz etmektedir. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının doğa şartlarına bağımlılığı kesikli üretim oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu sebeple, bilim insanları yenilenebilir kaynaklı sistemler ile elde ettikleri enerjileri ve halihazırda kullanılamayan atık enerjileri saklayabilmenin yollarına yönelmiştir. Bu amaçlarla gerçekleştirilen enerji depolama, cihaz veya depolama alanında, enerjinin elektrik, ısı veya kimyasal gibi farklı şekillerde korunması olarak ifade edilebilir. Isıl depolama, hissedilir ısı depolama (sadece sıcaklık değişimine uğrayarak), gizli ısı depolama (faz değişim yolu ile) veya her ikisinin birlikte yapılabildiği enerji depolama yöntemidir. Bunlardan, gizli ısı depolama (GID) ile malzemenin faz değişimi sırasında verdiği veya aldığı ısı malzemenin bünyesinde faz değişim malzemesi (FDM) adı verilen uygun ısı kapasitesine sahip ve belirli bir sıcaklık değerinde ulaştığında, faz değiştirerek enerjiyi absorplayabilen veya salabilen malzemeler ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, düşük sıcaklık enerji uygulamalarında kullanılmak üzere yeni bir kompozit faz değiştiren malzemenin hazırlanması amaçlanmıştır. Bunun için, kaprik asit esaslı kompozit faz değiştiren malzemelerin tek adımda, impregnasyon yöntemiyle granül halindeki Pomzaya emdirilerek, yeni bir gizli ısı depolama malzemesinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, hazırlanan kaprik asit katkılı kompozit FDM'nin ısı, morfolojik ve kimyasal özellikleri; Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi analizleri ile araştırılmıştır. Elde edilen kompozit malzemenin erime gizli ısı 36,18 kJ/kg, erime ve kristalizasyon pik sıcaklıkları ise sırasıyla, 31,14 °C ve 25,32 °C olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, elde edilen kompozit FDM'nin düşük-orta sıcaklıktaki çeşitli pratik uygulama alanları için uygun bir aday olabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Faz Değişim Malzemesi, Düşük Sıcaklık Uygulamaları, Kaprik Asit, Pomza Taşı



PREPARATION OF PHASE CHANGE MATERIALS FOR LOW TEMPERATURE APPLICATIONS AND INVESTIGATION OF THEIR THERMAL PROPERTIES

ABSTRACT

The depletion of mineral fuels, also known as fossil fuels, the fact that they take centuries to regenerate, as well as the damage they cause to the ecosystem, have been evaluated by various researchers for years. In the continuation of these researches, the tendency to alternative sources is increasing day by day. Alternative sources are hydro, geothermal, solar, wind, wood, plant residues, biomass, tides and waves. It is of great importance for the world that these resources are renewable and significantly reduce carbon emissions. However, the dependence of renewable energy sources on natural conditions causes discontinuous production. For this reason, scientists have turned to ways to store the energies they have obtained with renewable sources and the waste energies that cannot be used at present. Energy storage for these purposes can be expressed as the conservation of energy in different ways, such as electricity, heat or chemicals, in the device or storage area. Thermal storage is an energy storage method in which sensible heat storage (with temperature change only), latent heat storage (through phase change) or both can be done. Of these, the heat given or received by the material during the phase change with latent heat storage (LHS) is realized with materials called phase change material (PCM) within the material, which have the appropriate heat capacity and can absorb or release energy by changing the phase at a certain temperature value. In this study, it is aimed to prepare a new composite phase change material for use in low temperature energy applications. For this, a new latent heat storage material was produced by impregnating the capric acid-based composite phase change materials into granular pumice in a single step by impregnation method. In this context, the thermal, morphological and chemical properties of the prepared capric acid added composite PCM; It was investigated by Differential Scanning Calorimetry (DSC), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy analysis. The latent heat of melting of the obtained composite material was found to be 36.18 kJ/kg, and the peak temperatures of melting and crystallization were found to be 31.14 °C and 25.32 °C, respectively. As a result, it is evaluated that the obtained composite PCM may be a suitable candidate for various practical application areas at low-medium temperatures.

Keywords: Phase Change Material, Low Temperature Applications, Capric Acid, Pumice Stone



1. GİRİŞ

Dünya gelişmekte ve gelişen dünya teknolojileri yanı sıra yeryüzünde yaşayan insan nüfusu da her geçen gün artmaktadır. Nüfus artışıyla aynı zamanda teknolojik gelişmelerin devamlılığında, enerji tüketim ihtiyacının da artması kaçınılmazdır. Enerjiye olan bu arzı karşılayabilmek için yüzyıllarca mineral kaynaklı fosil yakıtlar tüketilmiştir. Yer küre üzerinde bulunan mineralli kaynakların oluşumu uzun yıllar sürmektedir. Bu oluşum süreci, arz talep dengesinin bozulmasına yol açmaktadır. Arz talep dengesinde oluşan bozulmalar sebebiyle rekabetçi bir Dünya oluşumu baş göstermektedir. Bu olumsuzluğun yanı sıra fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar yaşam kalitesini düşürmekte, insanlık için büyük tehditlere yol açmaktadır. Bütün bunlar alternatif yenilenebilir kaynaklara yönelimi kaçınılmaz kılmıştır. Ancak, yenilenebilir kaynakların ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, coğrafyaya bağımlılığı, bu kaynaklardan elde edilen enerjilerin doğa şartlarına göre şekillenmesi sebebiyle kesikli üretim yapılmasının da bazı sonuçları bulunmaktadır. Kesikli üretilen enerjinin, ihtiyaç dışı durumlarda depolanması ve ihtiyaç halinde uygun şekilde dönüştürülerek kullanıma sunulması gerekmektedir. Bütün bu oluşumlar, enerji depolama ve enerji verimliliği kavramlarının öneminin her fırsatta vurgulanması gerektiğini göstermektedir.

Enerji verimliliği, aynı işi daha az enerji kullanılarak yapılabilmesidir. Ülkelerin enerji arz güvenliğinin yükselmesine ve cari açığın düşürülmesine destek sağlar. Üretim ve tüketim esnasında yayılan sera gazlarının miktarlarını azaltarak atmosferdeki sera gazı dengesinin korunmasına yardımcı olur. Enerji depolama, var olan enerjiden daha fazla faydalanarak verimlilik sağlar. Enerji depolama, enerjinin ihtiyaç duyulan zamanlarda kullanmasını ihtiyaç duyulmayan zamanlarda boşa salınımı yerine daha sonra kullanılmak üzere saklanabilmesidir. Sistem ile enerji depolama teknolojilerinin bütünleşmesi sistemin enerji verimliliğini iyileştirilebilir, bunun için enerji depolama üniteleri geliştirilmelidir.

Son zamanlarda, dikkat çeken enerji depolama teknolojilerinden biri de ısı enerjisi depolamadır. Isıl enerji duyulur ısı- gizli ısı olmak üzere ikiye ayrılır. Isıl enerji depolama ise gizli ısı depolama, duyulur ısı veya termokimyasal ısı depolama ya da bunların birlikte uygulandığı sistemler ile sağlanabilir.

Kimyasal yöntem, tepkime ısısı, kimyasal ısı pompası, termokimyasal ısı pompasından oluşmaktadır. Duyulur ısı, maddenin sıcaklığında olan değişimler ile ısı depolayabilme kapasitesiyle ilgidir. Malzemenin, sabit sıcaklıkta özgül ısı,, miktarına bağlıdır. Gizli ısıda ise malzemenin sıcaklığında değişim gözlenmemektedir. Malzemelerin faz değişimleri esnasında çevreyle yaptığı ısı transferinde elde edilen ısının depolanabildiği sistemlerdir. Malzemeler çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı ile faz değişimine uğramaktadır. Çevre ile yapılan bu alışveriş esnasında ortaya çıkan ısıya gizli ısı denir. Bu ısının depolandığı sistemler gizli ısı depolama sistemleri olarak adlandırılır. Faz değişim maddeleri; sabit sıcaklıkta faz değişimi esnasında ısı enerjisini depolayabilen, yeni nesil, akıllı enerji malzemeleridir. FDM'ler, uygulamada makro/mikro/nano boyutta kapsüllenecek veya kompozit bir yapı oluşturularak şekilce kararlı bir yapıda kullanılabilirler. Farklı teknolojiler uygulanarak malzemelerin ısı kapasiteleri, dayanımları ve kullanım ömürleri arttırılabilir.

Bu çalışmada, düşük sıcaklık enerji uygulamalarında kullanılmak üzere kaprik asit esaslı yeni kompozit faz değiştiren malzemelerin tek adımda impregnasyon yöntemi yani emdirme teknolojisi ile hazırlanması gerçekleştirilmiştir.

Üretilen faz değişim malzemelerinin, düşük sıcaklık uygulamalarında ısıtma-soğutma problemlerinin önüne geçmek, enerji tasarrufunu en yüksek seviyelere çıkarmak amaçlanmaktadır. Elde edilen kompozit FDM'nin ısı, morfolojik ve kimyasal özellikleri; diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi analizleri ile araştırılmıştır. Bu sayede, FDM ile gizli ısı enerji depolama yöntemi uygulanan düşük sıcaklık uygulamalarında enerji tasarrufu potansiyeli, ısı değeri ve enerji verimi arttırmalar incelenecektir. Son yıllarda bilim insanları faz değişim malzemelerinin kullanımı ve geliştirilmesi ile ilgili çalışmalara önem vermekte bu malzemelerin kullanımının yaygınlaştırılmasına dikkat çekmektedir.

Düşük sıcaklıktaki ısı enerjisini depolamak için faz değiştiren malzemelerin üzerinde durulmuştur. Bu sistemler, depolama ortamının faz değiştirme sıcaklığına karşılık gelen oldukça yüksek bir enerji depolama yoğunluğu sağlar [1]. Düşük sıcaklık uygulamaları için FDM kullanımının üzerine birçok inceleme makalesi bulunmaktadır [2-4]. Bu incelenen makalelerde, malzeme özelliklerinin çeşitli

uygulamalar için uygunlukları, artıları ve eksileri değerlendirmiş, malzemelerin gizli ısı depolamada kapasitelerini arttırmada uygulanabilecek yeni teknolojilerin önemi vurgulanmıştır. Faz değiştirme yolu ile enerji depolamak hakkında yapılan çalışmaların bir diğer kısmında, uygun iklim şartlarında enerjinin depo edilebilmesi için, uygun faz değişim maddelerinin seçilmesi, geliştirilmesi ve etkinliğinin artırılması konusundadır. Son zamanlarda yapılan deneysel çalışmalarla malzemenin farklı yapılar elde edilerek oluşturulması, kompozit polimer yapıların geliştirilmesi konusunda yoğunlaşmaktadır. Bu tip oluşturulan malzemeler, polimer örgü yapısı içerisine hapsedildiği için, kararlı FDM'ler olarak adlandırılırlar. Bu şekilde bir oluşturulan FDM'e ek bir depolanma işlemi gerekmez. Isı depolama ünitesinde, faz değişim malzemesi ile ısı transfer akışkanı direkt olarak temas etmesinden kaynaklı, enerji depolama sistemlerinin verimliliğini arttırırlar. Karışım, kolaylıkla ve düşük maliyetlerle hazırlanabilir [5].

Karaipekli ve Sarı (2010)'nın çalışmalarında, termal enerji depolaması için yağ asitlerinin kaprik-laurik, kaprik-palmitik ve kaprik-stearik asitler ötektik karışımlarından oluşan kararlı kompozit FDM'ler hazırlamışlardır. Hazırladıkları bu kompozit FDM'leri genişletilmiş vermikülit içerisine vakumlu emdirme yöntemiyle hapsedmişlerdir. Yağ asitlerinin karışımlarının, emdirilmesi ile oluşan kararlı yapıdaki kompozit FDM'ler FT-IR, SEM ve DSC analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Kılcal kuvvet ve yüzey gerilimi kuvvetinin etkisi nedeniyle, yağ asitleri, kompozitlerin gözeneklerinden herhangi bir sıvı yağ asidi sızıntısı olmadan, genişletilmiş vermikülit %40'luk kütle fraksiyonunda tutulmuştur. DSC sonuçları, kompozit malzemenin erime- donma sıcaklıklarının, gizli ısılarının düşük sıcaklıkta termal enerji depolama uygulamaları için uygun olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışma sonucunda, hazırlanan kompozit malzemelerin, iyi enerji depolama özellikleri, kolay hazırlanabilir olmaları ve fazladan bir FDM depolama malzemesine ihtiyaç duymadan doğrudan kullanılabilmeleri ve dolayısıyla enerji maliyetlerini düşürmeleri nedeniyle termal enerji depolama uygulamaları için umut verici ısı depolama malzemeleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır [6]. Zhang ve Guan (2015) da yine aynı yöntemle kaprik asit ve palmitik asitten oluşan kompozit bir faz değişim malzemesi hazırlamışlardır [7]. İmpregnasyon yöntemi kullanılarak kaprik asit-palmitik asit (CA-PA) /genleştirilmiş perlit (EP) kompozit ısı ayarlı alçı levhalar üretmişler. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, CA-PA ötektik karışımının

perlit gözeneklerinde düzgün bir şekilde dağıldığını göstermiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetre sonuçları, kompozit FDM'nin erime sıcaklığı aralığının 24,1–31 °C ve gizli ısının 88,39 Jg⁻¹ olarak ölçülmüştür. Kompozit FDM 'nin kimyasal karakterizasyonunu inceleyerek iyi bir kimyasal stabiliteye sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca ısı transfer özelliği, termal iletkenlik, eğilme ve basınç dayanımı da bu çalışmada test edilmiştir. Sonuçlar, kompozit FDM'nin hacim içeriği ne kadar yüksekse, alçı panelin ısı iletkenliğinin o kadar küçük olduğunu ve hücre sistemindeki sıcaklık dalgalanmasının o kadar düşük olduğunu göstermiştir. Eğilme mukavemeti ve basınç mukavemeti, kompozit FDM'nin hacim oranının artmasıyla kademeli olarak azalmıştır.

1.1.Literatürdeki Bazı Araştırmalar

Literatürde faz değişim malzemelerinin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması için çalışmalar devam etmektedir. Mert ve diğ. ısı enerji depolama sistemlerinde kullanılmak üzere organik faz değiştiren malzemelerin kullanıldığı depolama sistemlerinde malzemenin durumunu incelemek üzerine bir inceleme yapmıştır [8]. Mert ve Mert (2021), yaptıkları deneysel çalışmalarda pomza zeoliti kullanarak, metil metakrilat (MMA) ve divinilbenzenin emülsiyonlarını hazırlamışlardır. Emülsiyon fazları ile uyumluluğunu arttırmak için Pomzanın yüzeyi setiltrimetil amonyum bromürle modifiye etmişlerdir. Yüzeyi modifiye edilmiş olan Pomza ve emülgatör karışımı miktarının emülsiyon stabilitesine etkisi gözlenmiştir. Elde edilen malzemenin morfolojik, termal ve mekanik özellikleri, faz değişim malzeme yükleme miktarı değiştirilerek analiz edilmiştir. Açık gözenekli bir ağ sergileyen malzeme monoliti, laurik asit (LA) için destek matrisi olarak kullanılmıştır. Elde edilen kompozit malzemenin gizli ısı depolamada iyi bir performans gösterdiğini kanıtlanmışlardır [9]. Başka bir çalışmada Bayram ve diğ. (2022), faz değiştiren malzemelerin modifiye edilerek depolama sistemlerinde kullanılması ile ilgili çalışmışlardır. Yapılan çalışmada modifiye edilmiş kaolinit kil içeren gözenekli polimerler ile emülsiyon yöntemi kullanılarak destek yapı malzemeleri sentezlenmişlerdir. Oluşturulan malzemeler n-nonadekan esaslı, kararlı faz değiştiren maddelerin hazırlanması için destek malzemesi olarak kullanılmıştır. Hazırlanan ve modifiye edilen kompozit malzemelerde, gözenekli yapının elde edildiği, alüminyum silikat esaslı malzemenin gözenek morfolojisinin düzeldiğini ve

yüksek ısı kararlılığına sahip olduğu görülmüştür. Destek malzemesi olarak gözenekli kompozitler, üretilen n-nonadekan içeren şekilce kararlı tüm FDM'lerin, yüksek ısı enerji depolama kapasitesine sahip oldukları ve termal enerji depolama uygulamaları için sızdırmazlık özelliği gösterdikleri belirtmişlerdir [10]. Dimaano ve Watanabe (2002), %65 kaprik asit ve %35 laurik asit karışımı ile kompozit malzeme üretimi yapmışlardır. Ürettikleri malzemeye pentadekan ilave etmişlerdir. (CL:P) Farklı hacim oranlarında elde edilen C-L asit ile pentadekan (CL:P) kombinasyonunun termal özellikleri DSC analizi kullanılarak incelenmiştir. Destek yapıya katkılanmış kompozit FDM karışımlarının termal performansının ilk değerlendirmesinde dikkat çekici sonuçlar elde etmişlerdir. Test edilen CL:P kombinasyonları arasında en yüksek ısı depolama kapasitesine sahip olan malzeme 50:50 kaprik asit ve laurik asit olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte, deşarj işlemi sırasında belirgin bir şekilde var olan iki erime zirvesi, üçlü karışımda daha yüksek pentadekan konsantrasyonunda heterojenliği ortaya çıkardığını bildirmişlerdir [11]. Chinnasamy ve Heo (2023), termal enerji depolama uygulamaları için, farklı destek yapıları ile hazırlanan şekil stabilize faz değişim malzemeleri (SSFDM) ile ilgili bir inceleme üzerine çalışmışlardır. Destek yapıları FDM yüklemesi yapılarak malzemelerin ısı özelliklerinde gerçekleşen iyileşmeleri değerlendirmişler, destek yapıların avantajlarını ve dezavantajlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, şekil stabilize faz değişim malzemelerinin oluşabilecek sızıntıları azalttığı/engellediğini, ısı transferini etkili bir şekilde artırabildiğini ve ayrıca esnek yapıları sayesinde mekanik dayanım ve kararlılıklarını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, destek yapısına maksimum miktarda faz değişim malzemesi yüklemek, stabilize faz değişim malzemelerin verimliliğini ve ısı transferini arttırdığını vurgulamışlardır. SSFDM hazırlamak için kullandıkları teknikler, metalik, karbon bazlı ve polimerik destek yapılarıdır [12]. Song ve Dong (2014), polimerik kabuklu mikro kapsüllü faz değişim malzemelerinin (MEFDM), zararlı gaz salma, yanıcılık, zayıf termal kararlılık, düşük mekanik mukavemet ve ısı iletkenliği gibi sahip oldukları bu negatif özellikleri önüne geçmek/azaltmak için bir çalışmışlardır. Bu çalışmalarında silika kabuğunda kaprik-stearik ötektik (C-S), mikro kapsüle işlemi uygulamışlardır. Silika kabuklu kaprik asit-stearik asit ötektik FDM mikro kapsüllerinin. Erime ve donma sıcaklıkları 21,4 °C ve 22,2 °C, erime ve donma gizli ısıları sırasıyla 91,48 Jg⁻¹ ve 90,52 Jg⁻¹ idi. Hazırlandıkları mikro kapsüllerin 1100 termal döngüye kadar, ısı kararlılığına sahip

olduklarını belirtmişlerdir. Tüm sonuçlara göre, C-S/silikanın ısı ayarlı tekstiller, havalandırılmalı binalar, ısı transfer sıvıları ve benzeri uygulamalarda büyük potansiyele sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır [13]. Kaprik asit-palmitik asit ötektik FDM mikro kapsülleri, Xing ve diğ. Tarafından hazırlanmıştır [14]. Feldman ve Shapira, yağ asitlerinin (kaprik, laurik, palmitik ve stearik asitler) ve ikili karışımlarının termal özelliklerini analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmaların sonucunda, mahal ısıtma uygulamalarında gizli ısı termal enerji depolama için dikkat çeken adaylar olduklarını göstermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, yağ asitlerinin erime aralığının 30 derece ile 65 °C arasında değiştiği, gizli ısılarının 153 ila 182 kJ/kg arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu özellikler, bir gizli ısı sisteminin tasarımında birincil öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır [15]. Dimaano ve Escoto düşük sıcaklıkta depolama yapabilmek için kaprik ve laurik yağ asitlerinin bir karışımını değerlendirmiştir. Karışımın erime noktası yaklaşık 14 °C idi ve gizli erime ısısı, bileşime bağlı olarak 113 ve 133 kJ/kg arasında değişmekte olduğunu belirtmişlerdir. Bazı malzemeler yalnızca depolama birimlerinin performansını incelemek için kullanılmıştır ve pratikte uygulanmaları olası olmadığına sonucuna ulaşmışlardır [16]. Ele alınması gereken bir diğer önemli konu ise birçok FDM'nin kabul edilemeyecek kadar düşük bir termal iletkenliğe sahip olmasıdır ve bu nedenle, termal iletkenliği artırılması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bir gizli ısı termal deposunda ısı transferini arttırmak için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Parafinlerin için ısı iletkenliklerini iyileştirmek adına metalik dolgu maddelerinin, alüminyum taşların, kanatlı tüplerin kullanıldığı görülmüştür [17]. Kullanılan başka bir yöntem ise faz değişim malzemesini bir metal matris yapısı içerisine hapsedmektir. Mehling ve diğ. [18], Fukai ve diğ. [19] FDM'in termal iletkenliğinin, depolama miktarında fazla azalmaya yol açmadan artırmak için faz değişim malzemelerini farklı bir matris yapısına hapsedilmesi üzerine çalışmışlar yaptıkları deneyler ile bu çalışmalarını güçlendirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda ise termal iletkenliğinin arttığını ve malzemenin ısı kapasitesinin artmasıyla depolama verimliliğinin arttığını da gözlemişlerdir. Matris yapılara gömülen FDM'leri ileride yapılabilecek çalışmalar için önermişlerdir. Kaprik-palmitik asit/atapulgit kompozit faz değişim malzemelerinin hazırlanması, yapısı ve termal enerji depolama özelliği üzerine bir diğer çalışma da Li ve Wu tarafından yapılmıştır [20]. Çalışmalarında, yağ asidi faz değiştiren malzemeler kullanmalarının sebebini aşırı soğutma sırasında faz ayrımının

olmaması ve düşük maliyet gibi bazı avantajlara sahip olmaları olarak açıklamışlardır, çalışmalarında kaprik asit ve palmitik asit, ikili yağ asidi hazırlamak için belirli bir kütle oranına göre birleştirilmiştir. Destek yapı olarak atapulgit kullanılmıştır. Kaprik-palmitik asit, kaprik-palmitik asit/atapulgit kompozit FDM'leri hazırlamak için vakum yöntemiyle atapulgite emilir. Hazırlanan kompozit FDM'nin termal özelliklerini, yapısını ve bileşimini test etmek için diferansiyel tarama analizi (DSC), taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier dönüşümü kızılötesi (FT-IR) ve spesifik yüzey analizi (BET yöntemi) gibi analiz yöntemlerini kullanılmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmanın sonucunda, kaprik-palmitik asit/atapulgit kompozit FDM'i için, atapulgitin gözenek yapısına kaprik asit ve palmitik asit, eşit şekilde emildiğini ve kaprik-palmitik ikili yağ asidinin optimum absorpsiyon oranının %35 olduğunu gözlemişlerdir. Kaprik-palmitik asit ve atapulgit arasında kimyasal reaksiyon gerçekleşmemiştir. Kaprik-palmitik asit/atapulgit kompozit FDM'nin faz değişim sıcaklığı 21,71 °C 'dir ve gizli ısı 48,2 J/g'dir. Wen ve diğ. [21] faz değiştirici malzeme olarak kaprik-laurik asidin (CA-LA) ötektik bir karışımını kullanmışlardır. Destek yapı malzemesi olarak diatomiti birleştirerek vakumlu emprenye yöntemi kullanılarak yeni bir kararlı kompozit faz değişim malzemesi hazırlamışlardır. Hazırladıkları kompozit malzemeleri XRD, FT-IR ve SEM analiz yöntemleri kullanılarak karakterize etmişlerdir. Kompozitin termal özellikleri, DSC analizi ile ölçülüp değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kompozit malzemenin 23,61 °C'de 87,33 J/g gizli ısı ile eridiğini ve 22,50 °C'de 86,93 J/g gizli ısı ile katılaştığını göstermiştir. TGA sonucunda ise, kompozitin çalışma sıcaklığı aralıklarının üzerinde mükemmel ısıl dayanıma sahip olduğunu göstermiştir. 200 termal döngü testi sonucunda kompozitin iyi bir termal güvenilirliğe sahip olduğunu göstermiştir. İlave olarak ısı transfer performansını artırmak için kompozit içerisine genleştirilmiş grafit eklemişlerdir. Grafit eklenen kompozit malzemelerin, termal iletkenliğinde sırasıyla %3, %5, %7 ve %10'luk artışa sebep olduğunu göstermişlerdir. Sonuç olarak, CA-LA/Diatomit/EG kompozit malzemesi, mükemmel termal özellikleri, iyi kimyasal ve termal güvenilirliği ve yüksek termal iletkenliği nedeniyle modern binalarda ve güneş enerjisi sistemlerinde uygulanma potansiyeline sahiptir sonucu literatüre sunmuşlardır. Diğer bir çalışmada ise, Tang ve Yaoje [22], sıvı yağ asidi ötektiğinin diatomit içerisine emdirilmesi ile şekil stabilize yağ asidi ötektiği ve diatomit kompozitleri hazırlanmışlardır. Hazırlamış oldukları kompozit malzemelerin

özelliklerini, (DSC) ile analiz etmişlerdir. Ötektik karışımların sızmasını önlemek ve kompozit faz değiştiren malzemelerin ısı iletkenliğini artırmaya yardımcı olmak için genişletilmiş grafit (EG) ilave etmişlerdir. FTIR analizi ile kompozit karışımın kimyasal yapısını incelemiştir. Yaptıkları deneysel çalışma sonucunda ise grafitin kompozitlerde termal iletkenliği artırabilir olduğunu sonucunu desteklemiştir. Kompozitlerin termal güvenilirliği TGA ile incelenmiştir. Sonuçlar, kompozitlerin termal enerji depolamada kullanılması için şekil stabilize faz değişim malzemeleri olarak kullanılabilen iyi termal stabiliteye sahip olduğunu desteklemiştir. Sarier ve Önder (2012), organik faz değişim malzemeleri ve tekstil uygulamaları ile ilgili çalışma yapmıştır, bu çalışmada başlıca teknikler arasında mikro kapsülleme, köpük oluşumu ve organik faz değişim maddelerinin şekil stabilizasyonu yer almaktadır [23]. Sidik ve diğ. nano akışkan faz değişimi materyalleri kullanılarak soğuk termal enerji depolama sisteminin performans artışı ile ilgili incelemede bulunmuşlar. Yaptıkları incelemelerde, nanopartikül olarak geliştirilmiş kapsüllenmiş FDM materyallerinin şekli, katı hacim fraksiyonu ve parçacık büyüklüğü gibi termal iletkenliğini etkileyen çeşitli faktörler de tartışılmıştır [24]. Su ve diğ., katı-sıvı faz değişim malzemelerinin ve kapsülleme teknolojilerinin gözden geçirilmesiyle ilgilenmiştir. Bu çalışma, çeşitli katı-sıvı FDM'lerin ve çeşitli enerji depolama uygulamaları için termofiziksel özelliklerinin gözden geçirilmesine odaklanmıştır [25]. Du ve diğ. farklı sıcaklık aralıklarında soğutma, ısıtma ve güç üretiminde faz değişim malzemelerinin uygulamalarının gözden geçirilmesi ile ilgili incelemelerde bulunmuştur. Bu çalışma mevcut araştırma durumunu, malzeme özelliklerini, mikro kapsüle edilmesini, şekil stabilizasyon tekniklerini, ticari uygulamaları ve çevre sorunlarını gözden geçirmekte ve sağlık için tehlikeleri ve mevcut piyasa senaryosu gibi alanları kapsamaktadır. Bu çalışmayla, FDM'lerin uygulaması, sıfırın altındaki sıcaklık aralığı $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yüksek sıcaklığa kadar ilk defa kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmiştir [26]. Azwadi ve diğ., enerji tasarrufu amacıyla binalarda FDM ile doldurulmuş tuğlaların kullanımına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında binalarında enerji verimliliği için geliştirilen bu özel tuğlalar ile faz değişim performansını sayısal çalışmalar ile ölçmüşlerdir. Organik faz değişim malzemelerinin performansı test edilmiştir. Sayısal çalışmalarda kullanılan yöntem, entalpi-gözeneklilik yöntemi ve kafes Boltzmann yöntemidir. Faz değişim malzemesi ile dolgu yapılan tuğlalarda, enerji tasarruflu binalarda ısı modülasyonu

sağlayabildiği kanıtlanmıştır [27].Yuan ve diğ. faz değişim malzemeleri olarak yağ asitleri ile ilgili bir inceleme yapmıştır, FDM'ler olarak yağ asitleri, enerji depolama sistemi, güneş ısı depolama ve fotovoltaik sistem ile duvar panosu, klima sisteminin yoğunlaşma ısı geri kazanımı gibi çeşitli enerji depolama uygulamalarında, aynı zamanda, ısıya uyarlanabilir seralarda, termo düzenleyici liflerde veya akıllı tekstil malzemelerinde vb. uygulanabilir olduğunu kanıtlamıştır [28]. Tebaldi ve diğ., nano kapsüllü fonksiyonel polimerler ile kapsüllenmiş faz değişim malzemeleriyle ilgili çalışma yapmıştır ve FDM'lerin nano ölçekteki kapsüller ile makro ve mikro kapsüller karşılaştırıldığında daha iyi yapısal kararlılıklarını içerir sonucuna ulaşmıştır [29]. Beyhan ve Paksoy (2013), topraksız tarım seraları için faz değiştiren malzemeler ile ısı enerji depolamaya yönelik yeni bir kök bölgesi sıcaklık kontrol sistemi geliştirilmiş ve bitkilerin kökleri çevresinde optimum büyüme sıcaklıklarını elde etmeyi amaçlamışlardır. Deneysel çalışmada kullanılan FDM'ler %40 oleik asit-%60 dekanolik asit karışımı ve tek başına oleik asittir. Bu FDM'lerle saha deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Serada ilave ısıtma sistemi kullanılmamıştır. Tarımsal seralarda, FDM karışımı ile elde edilen maksimum sıcaklık farkı 2,4 °C daha yüksek olduğunun sonucuna ulaşmışlardır [30]. Azaiza ve diğ. (2019) biber yetiştiriciliği için, termal enerji depolaması olan ve olmayan yeni bir karma mod güneş ısıtma sistemi üzerine deneysel çalışma hazırlamışlardır. Faz değişim maddesi ile termal depolaması olan ve olmayan sistemleri eş zamanlı inceleyerek FDM'lerin ısıtma sistemlerinde kullanımının kırmızı biber kurutma üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçları incelendiğinde Faz değişim maddesi kullanılan sistemlerin kurutma işlemi verimliliğini arttırdığını göstermiştir [31]. Guan ve diğ. (2020) Çin güneş seralarının kuzey duvarının ısı depolama/serbest bırakma kapasitesini arttırmak ve seranın iç ortam kalitesini arttırmak için aktif pasif faz değişimi termal depolama duvarı sistemi geliştirmişlerdir. Önerilen duvarda, havalandırmanın ısı tahliye kapasitesi artmış ve duvarın iç yüzeyinin ısı tahliye kapasitesi artan havalandırma hızı ile azalmıştır [32]. Chen ve Ling (2018) Güneş seralarının kuzey duvarlarında termal kararlılığı arttırmak için faz değişim maddelerinin kullanılmasının çözüm olabileceğini öne sürmüşlerdir. Bu düşünceyi desteklemek için çalışmalarında FDM'li aktif pasif havalandırma duvarı geliştirmişlerdir ve geleneksel duvarlara göre avantajlarını ölçebilmek için hem deneysel hem de sayısal karşılaştırılmalı test düzeneği hazırlamışlardır. Elde edilen sonuçlarla önerilen duvarın sıcaklığı

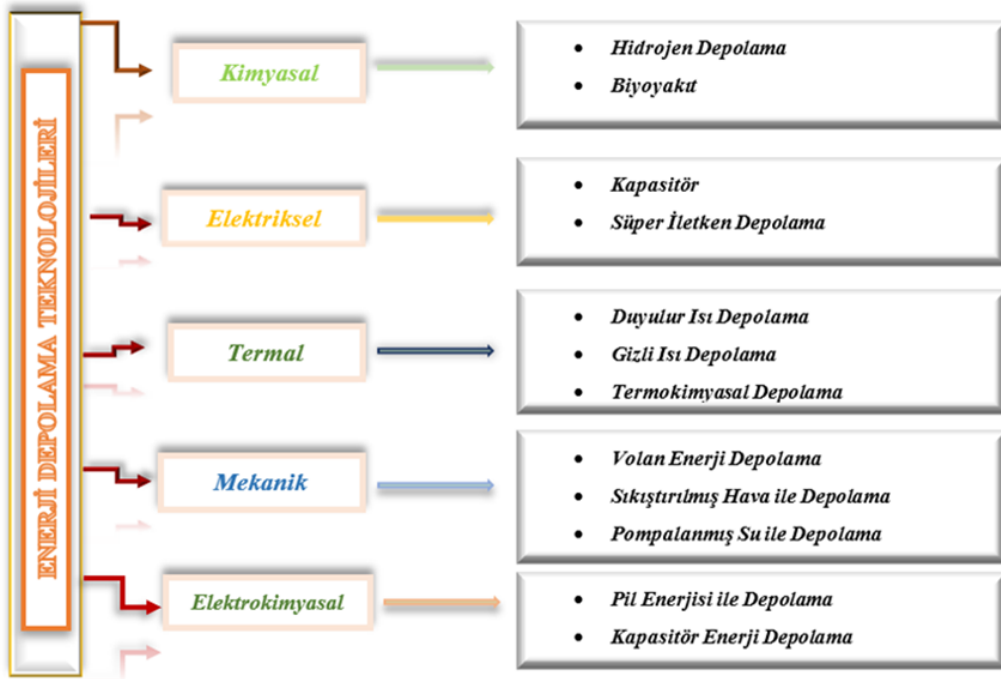
arttırmada büyük etkinliği doğrulanmıştır. Ayrıca önerilen duvarın ısı depolamasını da geliştirmiştir [33]. Yan ve diğ. (2020), İran gibi gelişmekte olan ÷lkelerde dñř÷k verimlere sahip seraların yakıt giderlerini azaltmak ve ısıtma sistemlerini geliştirmek için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma FDM kullanımı fosil yakıt sistemlerinde olası iyileşme çalışması için düzenlenmiştir. FDM ile doldurulmuş atık ısı geri kazanım sistemi ile FDM siz atık ısı geri kazanım sistemlerinin performansları deneysel olarak incelenmiştir. Her iki sistem içinde termodinamik, çevre ve ekonomik analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sistemlerinin sera çalışması için sırasıyla enerji verimliliğini %127 ve %263, ekserji verimliliklerini %33 ve %140 oranında artırdığını gözlemlemişlerdir [34]. Najjar ve Hasan (2008) tarımsal bir seranın faz değişim maddeleri ile ısı depolamasının modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Faz değişim malzemesi ile sera içindeki maksimum sıcaklık değişiminden kaynaklı enerji kullanımının azaltılması için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, FDM kullanılarak maksimum ve minimum değerler arasındaki farkın 3-5 derece azalttığını kanıtlamışlardır. FDM ile hava arasındaki ısı transferini geliştirerek bu farkın daha da azalabileceğini öne sürmüşlerdir [35]. Bilim insanları faz değişim malzemelerinin maliyet açısından uygun olması, kolay ulaşılabilirliği ve depolama sistemleri açısından önemli bir yere sahip olması sebebiyle araştırmalarına devam etmektedir. Benzer çalışmalar faz değişim malzemelerinin kullanımında ve geliştirilmesinde önc÷lük edecektir.

2. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

Gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar, sanayileşme ile dünyanın enerjiye olan ihtiyacını artırmaktadır. Mevcut fosil kaynaklar tükenmekte, yerine yenilerin gelebilmesi yıllarca sürmektedir. Fosil yakıtların, rezerv sıkıntılarının yansısı çevreye verdiği zararlar da göz önüne alındığında, arz-talep dengesinin sağlanabilmesi için alternatif enerji kaynaklarına ve ayrıca mevcut enerjinin verimli kullanılarak korunmasına ihtiyaç doğmaktadır. Alternatif kaynaklardan elde edilen enerjinin kesikli olmasından kaynaklı, elde edilen ve mevcut enerjilerin depolanması gerekmektedir. Alternatif enerji kaynaklarının çoğu hava koşullarına bağımlıdır. Bu sebep, elde edilen enerjinin talep ile örtüşmemesine yol açmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarından elde edilen enerji çeşitli tip ve kapasitedeki enerji depolama ünitelerinde depo edilebilmektedir.

2.1. Enerji Depolama Teknolojilerinin Sınıflandırılması

Enerji ihtiyacının az olduğu zamanlarda elde edilen enerjinin korunması, kesikli üretim yapan enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin ihtiyaç duyulmadığı zamanlarda depo edilmesi ile mümkündür. Enerji depolama sistemleri enerji üretimi sırasında oluşabilecek dalgalanmalardan kaynaklı problemlerin önüne geçebileceği için yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonunu kolaylaştırmasını sağlayabilir bu sayede sistemlerin güvenilirliğini destekleyebilir. Ayrıca enerjinin depolanması maliyetleri de düşürecektir. Enerji depolama sistemleri, yeni teknolojilerin çeşitliliğine, değişen tüketici alışkanlıklarına, faaliyetlerine ve son yıllarda elektrik üretiminin dönüşümlü mekanizmasına ve değişen dağıtım sistemine adaptasyon için kilit bileşen gibi görünüyor. Ayrıca, şebeke performansında güvenilirlik, hızlı yanıt, yük eşleştirme yeteneği gibi birçok iyileştirme sağlayabilir [36]. Enerji depolama teknolojilerinin sınıflandırılması Şekil 2.1’de verilmektedir.



Şekil 2.1. Enerji Depolama Teknolojilerinin Sınıflandırılması

Kimyasal enerji bir kimyasal maddenin, tepkimeye girerek değişiminin potansiyelidir. Kimyasal bağ kurma ya da koparma sonucunda enerji ortaya çıkar. Bu enerji bir kimyasal sistem tarafından emilebilir ya da yayılabilir. Oluşan bu enerji kimyasal bağlarda depo edilebilir. Elektrik enerjisi arz- talep dengesi sürekli değişmektedir. Değişen talebe karşılık verebilmek, elektriği kesintisiz kullanabilmek için elektrik enerjisi depolama teknolojileri kullanılır. Elektrik enerjisi depolama süper iletken manyetik enerji depolama ile yapılabilmektedir. Süper iletken manyetik depolama bobinden oluşmaktadır. Bobin halka şeklinde sarılmış süper-iletkenlerden oluşur. Fazla üretilen elektrik bobinde manyetik alan olarak sonra kullanılmak üzere depolanır. Volan enerjisi ile mekanik olarak depolama yapılır. Volan ile depolama yapılırken elektrik enerjisi volanlar aracılığı ile kinetik enerjiye dönüştürülür. Enerjiyi rotordan sağlanan atalet kuvveti ile depolar. Rotor bu kuvveti yüksek devir sayısı ile oluşturur. Sistemden enerji alındığında devir sayısı azalır ve sisteme enerji verildiğinde ise devir sayısı artar. İhtiyaç halinde depolanmış olan kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek tekrar sisteme verilir. Bir diğer mekanik depolama yöntemi ise sıkıştırılmış hava ile depolamadır, elektrik üretimi için kullanılacak havanın yeraltı rezervuarlarında sıkıştırılarak depolanması esasına dayanır. Bu depolama yöntemi ile üretilen elektrik enerjisi, normale oranla üçte biri kadar daha

ucuzdur. Enerji depolamanın diğ er yollarından biri ise elektrokimyasal sistemlerdir, elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayan bu sistemlerde işlem için bir cihaza ihtiyaç vardır. Bu cihaz ile elde edilen elektrik enerjisi kendi bünyesinde kimyasal enerji olarak depolanır, ihtiyaç halinde tekrar elektrik enerjisi olarak geri verilir. En bilindik ve en eski depolama yöntemi olana batarya (Ak ) teknolojileri, ak  sistemleri temiz ve sessizdir. Bataryalar elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolar. İçerisindeki kimyasal tükendiğinde bataryanın ömrü, tükenmiş olur. Son zamanlarda en çok dikkat çeken depolama yöntemlerinden biri ise ısı depolamadır. Isı depolama enerjinin yüksek ve düşük sıcaklıkta geçici olarak depolanabildiğ  sistemler olarak tanımlanabilir [37].





3. ISI ENERJİSİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

Isı, iki sistem arasında veya sistem ile çevresi sıcaklık farkından kaynaklı gerçekleşen enerji geçişi olarak tanımlanabilir [38]. Enerji depolama teknolojilerinden biri olan ısı enerji depolama teknolojileri ile doğrudan ısıtma-soğutma yapılabilir. Isı enerji depolama, sıcak ya da soğuk daha sonra kullanmak için depo edilerek saklanmasıdır [39]. Isı depolama elektrik enerjisine ihtiyaç olduğu zamanlarda enerjinin ısıtma yolu ile kullanılması ve ihtiyacın az olduğu zamanlarda ısı depolama yoluyla depolanması mantığı ile gerçekleştirilebilir [40]. Bu şekilde yapılan bir uygulamada böylece elektrik enerjisine fazla ihtiyaç duyulan zamanlarda, elektriğe aşırı yüklemesinin önüne geçilebilir. Isı enerji depolama teknolojileri duyulur ısı, gizli ısı ve termokimyasal olarak sınıflandırılmaktadır. Duyulur ısı depolama, kullanılan materyalin sıcaklığındaki değerlendirilebilen ısı miktarıdır. Gizli ısı depolama yönteminde malzemenin, faz değişimi esnasında ve sıcaklığının hemen hemen sabit kaldığı bir süreçte kullanılan malzemenin çevresi ile yaptığı ısı alışverişinde depolanan ısı enerjisi gizli ısı olarak tabir edilmektedir. Yani gizli ısı maddenin durumunun bir değişimidir. Sabit sıcaklık işlemi sırasında, bir termodinamik sistem tarafından emilen enerjinin depolanmasıdır. Faz değişimi gösteren malzemeler kullanılır. Depolama yapılmak istenen sıcaklık aralığına uygun faz değişim malzemesi seçilerek, ergime, buharlaşma veya diğer faz değişimi ile elde edilen gizli ısı belirlenir. Termokimyasal depolama sistemlerinde, enerji bileşiğin kimyasal bağ enerjisi olarak depolanabilir ve aynı enerji tersinir bir kimyasal tepkimeyle serbest bırakılarak depolama sistemi uygulanabilir. Marc, ısı enerji depolama sistemlerini; ısı geçişi mekanizması, depolama ortamı ve bunları çevreleyen bir depo olmak üzere 3 temel parça olarak gruplandırmıştır [41].

3.1. Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı depolama sistemlerinde; ısının depolanması için depolama malzemesi olan katı halde veya sıvı halde olan malzemenin bir sistem ile yaptığı ısı alışverişisi sonucunda sıcaklık artışının/azalışının olduğu sistemlerdir. Depolama için kullanılan malzemenin miktarı (kg), malzeme sahip olduğu ısı kapasitesi ve malzemedeki sıcaklık değişimi, depolanan enerji miktarını belirlenmektedir [42]. Denklem 3.1'de duyulur ısı formülü görülmektedir.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

(3.1) numaralı denklemde verilen parametreler Q ısı miktarı (kJ/kg), m kütle (kg), ΔT sıcaklık farkı C_p özgül ısıdır. Duyulur ısı, malzemenin kütlesi, bulunduğu çevre ile kendi sıcaklığı arasındaki fark ve malzemenin özgül ısıyla doğru orantılıdır.

Duyulur ısı depolama için en çok kullanılan malzemeler; su, kayalar, organik yağlar, seramikler ve tuz eriyikleridir. Malzeme seçimini, ucuz olması, kolay temin edilebilmesi ve yüksek ısı kapasitesine sahip olması gibi özellikler etkiler.3.2. Gizli Isıl Depolama

Bilim insanları eskiden yaptıkları çalışmalarında, faz değişimleri sırasında alınan ya da verilen ısıнын nerede olduğunu gözlemleyememişlerdir. Malzemelerin, ısı kapasitesini arttırmak için ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin ne kadar olduğu ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, ısı yoluyla maddeye aktarılan enerji ile sıcaklıklarının yükselmesine neden olduğu görülmüştür fakat malzemenin hal durumunda yaşanan değişiklik gerçekleştiğinde sıcaklık artışı ya da azalmasının olmadığı, hal durum değişim süresince sıcaklığın sabit kaldığı gözlenmiştir. Sıcaklık değerinde artışının yaşanmayışı, ısı enerjisinin malzeme durumunun değişimi sırasında, ısıнын malzemeye aktarılmasından dolayı olduğu sonucuna varılmıştır. Isıнын malzeme içerisinde gizlendiği bulunmuştur. Hal değişiminin yaşanmadığı sıcaklık artışlarından, sıcaklığın moleküllerde kinetik enerjinin artışına bağlı olduğu ancak faz değişimi sırasında moleküllerde kinetik enerjide artış yaşanmadığını gösterir nitelikteydi. Malzemenin hal değişimleri esnasında, verilen ya da emilen ısı enerjisi bağları koparmak veya oluşturmak için kullanılmaktaydı yani moleküllerin kinetik yerine potansiyel enerji kazanıp ya da kaybettiği keşfedilmişti. Bu nedenle, hal değişimi sırasında malzemeye aktarılan ısıya gizli ısı denilmeye başlandı. Terim İskoçyalı bir kimyacı olan Joseph Black tarafından 1762 yılında tanıtılmıştır. Kısaca gizli ısı malzemenin hal değişimi esnasında çevreden aldığı veya verdiği ısı olarak tanımlanmıştır.

Gizli ısıнын depolanması için malzemenin bir halden diğer hale dönüşümü gerekmektedir. Hal dönüşümleri katı halden sıvı hale, sıvı halden katı hale olabileceği gibi bunun yanı sıra katı-katı, sıvı-buhar ve buhar-katı dönüşümleriyle de yapılabilmektedir [43]. Malzemede oluşan bu hal değişimleri sırasında malzeme molekülleri içerisinde oluşan iç enerji değişimi ile ısı enerjisi depolanır. Hal değişimi

sırasında oluşan bu iç enerji farkı ile ısı geri kazanabilir ya da depo edilmek üzere malzeme içerisinde gizlenebilir. Katıdan gaza olan faz geçişlerinde ve sıvı fazdan gaz fazına geçişlerde kullanılan malzeme daha yüksek gizli ısı değerine sahiptir ancak hacim değişimi de aynı oranda yüksek olacağından büyük basınçlara dayanabilecekler kaplar içerisinde faz değişim malzemelerinin yerleştirilmesi gerektirir. Bu durum sistem yapısını karışık hale getireceği gibi maliyetleri de yükseltir. Sıvıdan sıvıya olan faz dönüşümlerindeyse elde edilen enerji miktarı çok azdır. Katı halde olan malzemenin yine katı fazına geçişinde malzeme kristal yapıda kalmakta devam etmektedir. Katı-katı faz dönüşümleri sırasında depolanan gizli ısı, sıvı-gaz dönüşümleri ile elde edilen gizli ısıdan oldukça düşüktür. Katı halden yine katı hale olan dönüşümler genellikle katı-sıvı geçişinden de daha az gizli ısı değerine sahip olurlar ayrıca hacim değişimi katıdan sıvıya olan dönüşümlerden daha fazladır. Katı-sıvı geçişleri uygulanabilirliğinin kolaylığı ve ekonomikliği açısından en çok tercih edilen faz değişim tipidir. Ayrıca, bu faz değişimi esnasında hacim değişimi (%10 veya daha az) oldukça küçüktür. FDM'li bir gizli ısı enerji depolama sisteminin enerji depolama kapasitesi Eşitlik (3.2) ile ifade edilir

$$Q = \int_{T_0}^{T_e} mC_p dT + mH_E + \int_{T_e}^{T_s} mC_p = m [H_E + C_k(T_e - T_i) + C_s(T_s - T_e)] \quad 3.2$$

Bu eşitlikte verilen C_k ve C_s (kJ/kgK) değerleri sabit basınçta, faz değişiminde olan malzemenin farklı fazlardaki (sırasıyla katı ve sıvı hal) özgül ısılarını belirtmektedir. T_0 (K) depolamaya başlangıç sıcaklığını, T_0 (K) faz değişimindeki malzemenin erime sıcaklığını ve T_s (K) ise son sıcaklık değerini belirtir. Formülde verilen H_E (kJ/kg) malzemenin erime gizli ısıdır. Gizli ısının duyulur ısı depolama sistemlerine oranla avantajları, birim kütle veya hacim başına sıcaklık değişmesinde daha yüksek enerji depolama yoğunluğuna sahip olmalarıdır. Isı depolama kapasitesi duyulur ısı sistemlerinden daha yüksektir ve depolama yapmak için gerekli hacim miktarı daha azdır. Duyulur ısı depolamaları için kullanılması gereken depo hacimleri yüksektir. Faz değiştiren maddelerin hal değişimleri esnasında sıcaklıkları sabit kalacağı için, sıcaklığın sabit kalması istenilen geri kazanım uygulamaları için uygundur. Buna ilaveten sabit sıcaklıkta ısı gerektiren uygulamalar için de uygundur.

Gizli ısı termal enerji depolama tekniği, geri alma ve depolama arasındaki daha küçük bir sıcaklık farkında daha yüksek enerji depolama yoğunluğu sağlama avantajı sebebi ile iyi bir depolama olanağı olduğu belirtilmiştir. Bu amaçla, Mahrevar ve

Sabbaghi (2014), mikro kapsüle edilmiş FDM ile dolgu yapılmış ısı eşanjörün ısı performansını incelemiştir. Soğuk akışkan olarak mikro kapsülle edilmiş faz değişim malzemesine sahip bir mikro elektro-mekanik sistem, tabanlı ısı eşanjörü üç boyutlu olarak simüle edilmiştir. Bu çalışma, mikro kapsüle edilmiş faz değişim malzeme kullanımının soğuk ve sıcak sıvıların sıcaklığı üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Sonuç olarak %25 hacim fraksiyonu ile kapsüle edilmiş FDM kullanımının sıvı sıcaklıklarında iyileşmeye yol açtığını, yani sıcak sıvı için sıcaklık düşürme oranının 23'e kadar çıktığını göstermektedir [44]. Isıyı gizli ısı şeklinde depolamak için faz değiştiren malzeme kullanımı, büyük miktarda termal enerjinin daha küçük hacimlerde depolanması amacı ile artmaktadır. Mehling ve Cabeza'nın (2008) yaptığı deneysel çalışmada, faz değiştiren malzeme olarak sodyum tiyosülfat pentahidrat kullanılmış ve paslanmaz çelik kapsüllerde saklanmıştır. Bu kapsüller fabrikasyon tankta bekletilmiş, içine sıcak su ilave edilmiştir. Deney, debi, ısı transfer sıvısı giriş sıcaklığı ve FDM kapsül şekli parametreleri dikkate alınarak hazırlanmıştır. Faz değişim malzemesi, kullanılarak seçilen parametrelerin ısı depolama üzerindeki etkisi, incelenmiştir [45].

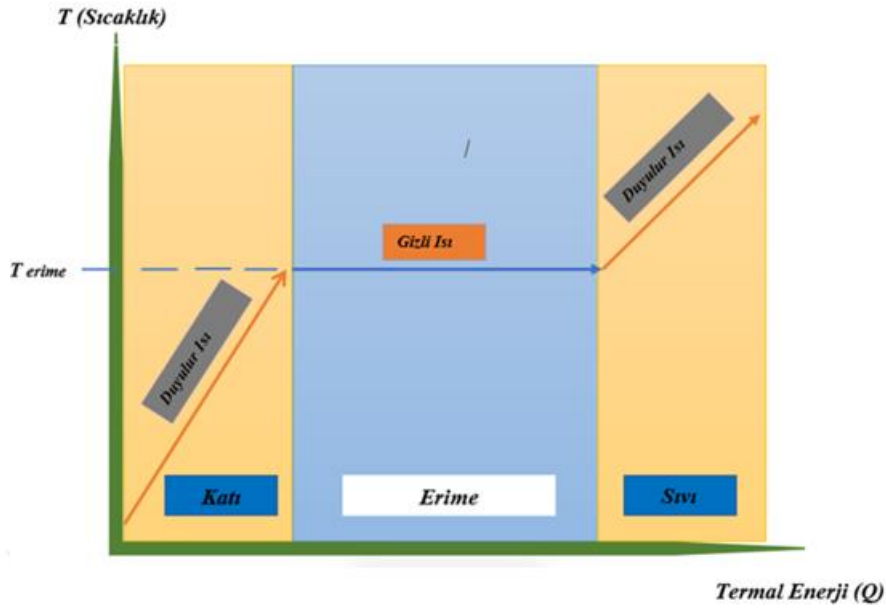
3.3. Faz Değişim Malzemeleri

Faz değişim malzemeleri, ısı enerji depolaması için kullanılan malzemelerdir. Faz değişim malzemeleri, ısı enerji depolaması için çok önemli uygulamalara sahip olan katı halden sıvı hale veya tam tersine faz değiştirdiğinde görece büyük miktarda gizli ısıyı emen veya serbest bırakabilen malzemeler olarak tanımlanabilir [46]. Büyük bir gizli ısıya ve yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaları beklenir. Pratik çalışma sıcaklık aralıklarında bulunan bir erime sıcaklığına sahip, kimyasal olarak kararlı, maliyetlerinin düşük olmaları, kolay temin edilebilmeli ve ayrıca toksik ve aşındırıcı olmamalıdır. Son 40 yılda üzerinde çalışılan malzemeler, hidratlı tuzlar, parafin mumları, yağ asitleri ve organik ve organik olmayan bileşiklerin ötektikleridir. FDM'ler ile enerji depolama konusundaki çalışmalarda faz değişim malzemesi ile yapılan uygulamalar son zamanlarda yoğunluk kazanmıştır [47]. Uzun yıllardır tuz hidratlar, parafinler, yağ asitleri, organik ve inorganik malzemeler ve bu malzemelerin ötektik karışımlarıyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. İlk çalışmalara bakıldığında FDM'in ilk kullanım denemeleri 1800'lü yıllara kadar uzanmaktadır. İngiltere'de trenlerde bulunan koltukların sıcaklığını korumak için kauçuk veya

metal paketler içerisine 44,5 °C erime sıcaklığına sahip sodyum tiyosülfat pentahidrat kullanmışlardır. Dünyadaki faz değişim malzemesi ile ilgili ilk çalışma ise Dr. Telkes'e aittir. Yaptığı çalışmada bina için FDM kullanmayı amaçlamıştır. [48].

Binalarda kullanımının yanı sıra FDM'ler birçok uygulamada denenmiş ve uygun bulunmuştur. Örneğin, güneş enerjisi sistemlerinde, ısı değiştiricilerde, elektriğin depolanması gereken yerlerde, fotovoltaiik elementlerin soğutulmasında, tekstilde, kan ünitelerinde, taze gıdaların depolanması gibi pek çok alan için kullanılabilir olduğu çalışmalarca kanıtlanmıştır. İklimlendirme yerine düşük sıcaklıkta enerji depolaması kullanılarak enerji tasarrufu sağlanabileceği gözlenmiştir. İklimlendirme sistemlerinde, gündüz ve gece dönüşümleri esnasında faz değiştiren bir malzemenin kristalleşmesi ve erimesi sırasında ısı depolama ve soğutma döngülerini içerir. Bu işlem sırasında enerji, -6 °C ile 21°C arasındaki bir sıcaklıkta ortamın iç enerjisi şeklinde depolanır [15]. Bu teknik kullanılarak, yoğun olmayan saatlerde elektrik, bir yerleşim biriminin veya bir endüstriyel tesisin soğutma ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. Sonuç olarak, ilk yatırım maliyeti tasarrufu, yakıt tasarrufu ve hatta yakıt yerine kullanılması sağlanabilir. Ayrıca, bu iklimlendirme işlemi çevre için oldukça olumlu bir seçenektir [15].

Tipik bir saf maddenin faz değişim diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Sıcaklık faz değiştiren madde erime sıcaklığına yükseldiğinde, faz değişim maddesi erimeye başlar ve erime süresince ortamdan ısı soğurur. FDM'nin soğurduğu ısı, maddenin faz değişimi için kullanılmaktadır. Diğer durumda ise, sıcaklık faz değiştiren maddenin katılaşma sıcaklığına düştüğünde, faz değişim maddesi katılaşmaya başlar ve katılaşma süresince yapısında bulunan ısıyı ortama verir. Faz değişim prosesi esnasında, faz değiştiren madde sıvı veya katı hala gelene kadar sıcaklığı sabit kalır. Ayrıca bu proses esnasında önemli miktarda gizli ısı absorbe edilir veya salınır, bu yüzden faz değiştiren maddeler ısı depolama kaynağı olarak büyük ilgi görmektedirler.



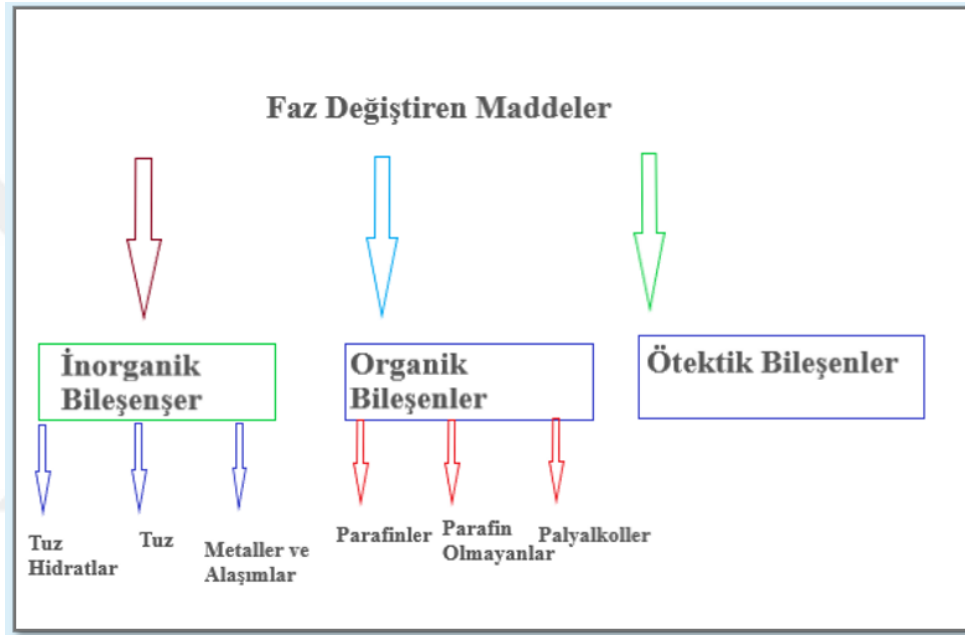
Şekil 3.1. Faz Değişim Diyagramı

Sıvı-katı faz değişimi yıllardır kullanılmaktadır: örneğin 1892'de demiryolunda sodyum asetat kullanılmıştır. Bugün tek yaygın ticari uygulamayı sunarlar, ancak yine de bazı sınırlamalardan mustarıptirler. Sıvı-katı faz değiştiren malzemenin sıcaklığı, faz dönüşümü sırasında aşağı yukarı sabit kalır. FDM yoluyla ısı depolama, kompakt olma avantajına sahiptir çünkü FDM'lerin füzyon ısısı (erime), spesifik (duyulur) ısılarından çok daha büyüktür. Çeşitli FDM'ler genellikle iki gruba ayrılır: organik ve inorganik bileşikler. İnorganik bileşikler, organik bileşiklerin iki katı hacimsel gizli termal enerji depolama kapasitesi gösterir [26]. Bununla birlikte, organik maddeler, uyumlu bir şekilde erime yetenekleri, kendi kendine çekirdeklenmeleri ve aşındırıcı olmayan davranışları dahil olmak üzere çeşitli avantajlar sunar. Alkanlar, parafinler ve mumlar ikinci kategoriye girer. Depolama sistemleri için kullanılacak malzemeleri seçerken erime ve katılaşma süreçleri, bu süreç esnasında malzemede yaşanan etkilerin bilinmesi gerekmektedir. Malzemenin aşırı soğumaması, paketlenebilmesi, kimyasal dönüşümlere uğramaması ve termal kararlılığa sahip olması gerekmektedir. Uygulamalara bağlı olarak, FDM'ler önce erime sıcaklıklarına göre seçilmelidir. İklimlendirme uygulamalarında 15 °C'nin altında eriyen malzemeler serinlik depolamak için kullanılırken, 90 °C'nin üzerinde eriyen malzemeler absorpsiyonlu soğutma için kullanılır. Bu iki sıcaklık arasında eriyen diğer tüm malzemeler güneş enerjisi ile ısıtma ve ısı yükü tesviye

uygulamaları için uygulanabilir. Bu malzemeler en çok çalışılan malzeme sınıfını temsil etmektedir [49].

3.3.1. Faz değişim malzemelerinin sınıflandırılması

FDM'ler organik, inorganik ve ötektik faz değiştiren maddeler olarak 3 sınıfa ayrılır. Şekil 3.2'de faz değişim malzemelerinin sınıflandırılması görülmektedir. İnorganik maddelere tuz hidratları, klatrat hidratlar örnek verilebilir. Organik ve inorganik bileşikler, FDM'lerin en yaygın iki grubudur.



Şekil 3.2. Faz Değişim Malzemelerinin Sınıflandırılması

Organik FDM'lerin çoğu kimyasal olarak kararludur ve aşındırıcı özellik göstermezler. çok az aşırı soğuma gösterirler. Yapı malzemeleri ile uyumludur ve birim ağırlık başına düşen yüksek gizli ısıya ve düşük buhar basıncına sahiptir. Dezavantajları, düşük termal iletkenlik, faz değişimi sırasında yüksek hacim değişikliği ve yanıcılıktır. Organik FDM'lere yağ asitleri, parafinler örnek olarak verilebilir. Organik FDM'lerin düşük buhar basıncı ve yüksek ergime sıcaklıkları nedeniyle daha fazla ısı depolama kapasitelerine sahip olmaları sonucu termal ısı depolama için daha çok tercih edilmektedirler. Dezavantajlarının önüne geçmek için araştırmalar devam etmektedir. Hacim değişimlerinin önüne geçmek için kapsülasyon yöntemleri, vakum ile emdirme uygulamaları denenmektedir. Yağ asitleri [51], [52], [53], ve ötektik karışımları [54], [55], araştırmacılar tarafından test edilmiş ve gizli ısı depolamaya uygun bulunmuştur.

İnorganik bileşikler, birim hacim başına yüksek gizli ısıya ve yüksek ısı iletkenliğe sahiptir ve organik bileşiklere göre yanmaz ve düşük maliyetlidir. Ancak çoğu metal malzeme için aşındırıcıdır ve faz değiştirme özelliklerini etkileyebilecek ayrışma ve aşırı soğuma gösterirler. Korozyon olmaları, aşırı soğuma göstermelerinin sonucunda hidrat sayısında azalma ve faz bozulmaları gözlenmektedir. İnorganik malzemelerinin dezavantajları sebebiyle endüstriyel kullanımda tercih edilememektedirler. İnorganik FDM'lerin uygulamalarda kullanımı için aşırı soğumanın ve faz ayrışmasını en aza indirmek gerekir. Bunun için ilave olarak çekirdekletirici malzeme ve/veya koyulaştırıcı ajan malzemelerin kullanılmasını gerektirir. Tuz hidratların ötektik karışımları FDM'ler arasında en çok çalışılan karışımlardır ve çekici özelliklere sahip oldukları gözlemlenmiştir [55], [56], [57]. Ötektik karışımlar arasında ise birincil tuz hidrat olarak sodyum sülfat ötektik geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Parafinler ayrıca soğutma için kullanılmış ancak pahalı olmaları ve gerekli hallerinde temin zorlukları vardır [58].

Ötektik karışımı yararlı bir FDM olarak geliştirmek için iki önemli faktör yüksek gizli ısı ve uygun faz değişim sıcaklığı dikkate alınmalıdır. Uygun oranda karıştırılarak FDM'lerin erime sıcaklıkları ayarlanabilmektedir. Şu anda ana odak noktası, yüksek kaliteli FDM'lerin ötektik karışımının geliştirilmesidir. Şu anda, çok sayıda inorganik, organik ve bunların karışımları araştırılmaktadır. Araştırılan tüm FDM'ler arasında, yağ asitleri, uygun erime sıcaklığı aralığı, yüksek ısı kapasitesi, uyumlu erime, faz geçişi sırasında çok az veya hiç aşırı soğutma, düşük buhar basıncı, toksik olmayan, metal kapları aşındırmayan, ısı kararlılık, düşük maliyet, yanmazlık ve küçük hacim değişimi dahil olmak üzere birçok avantajlı özelliğe sahiptirler. Yağ asitlerinin FDM olarak araştırılmasında, iki veya daha fazla yağ asidinin karıştırılarak daha düşük faz değişim sıcaklığına sahip ötektik karışım oluşturabileceği bulunmuştur.

Faz değiştiren malzemenin ile enerji depolanması için T_1 sıcaklığından, T_2 sıcaklığına ulaştığı ana kadar ısıtma işlemi ya da tam tersi T_1 sıcaklığından T_2 sıcaklığına kadar soğutma işlemi uygulanın, malzemenin faz değiştirdiği T^* sıcaklığında ($T_1 < T^* < T_2$) depolanan enerji miktarı, Q olarak belirtilebilir [60];

$$Q_d = m. [C_k(T^*-T_2) + \phi + C_s (T_2-T^*)] \quad (3.3)$$

Denklem 3.3' de m maddenin kütlesini, C_k katı fazın ısı kapasitesini, C_s sıvı fazın ısı kapasitesini ve Q ise faz değişimi sırasında depolanan gizli ısıyı ifade etmektedir.

Günlük döngü sırasında depolanan enerji şunlara bağlıdır: FDM'nin erime sıcaklığı; FDM'nin erimenin meydana geldiği sıcaklık aralığı ve FDM kaplamasının birim alanı başına düşen gizli kapasitedir [60].

FDM'lerin uygulanabileceği uygulamalar, binalardaki ısı ve soğukluk depolamasından uydulardaki termal depolamaya ve koruyucu giysilere kadar çok geniştir. Farid'e göre FDM seçmek için erime noktası en önemli kriter olduğundan, kolayca ayarlanabilen bir erime noktasına sahip bir FDM gereklilik olacaktır. Daha birçok uygulama henüz keşfedilmemiştir [50].



4. ANALİZ YÖNTEMLERİ

4.1. FT-IR spektrofotometresi

Fourier dönüşüm yönteminin prensibi, kızılötesi ışınların yoğunluğuna karşılık oluşan renkler ve şekillerin görüntüleme sistemidir. Malzeme üzerindeki moleküllerin üzerine kızılötesi ışınlar düşürülerek bağların hareketleri ile (titreşim ya da dönme gibi) malzeme moleküllerinin karakterizasyonunun belirlenmesini sağlayan araçtır.

4.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre

Diferansiyel taramalı kalorimetre prensibi malzemenin ısıtılması, soğutulması ya da sabit sıcaklıkta tutulurken alınan ya da verilen ısı enerjisi miktarının ölçülmesine dayanır. Referans malzemenin ve örnek malzemenin sıcaklıkları, düzenli bir hızla artırılır, iki maddenin de sıcaklığının eşit noktaya ulaşmış olması için ihtiyaç duyulan malzemeye dışardan gerekli miktarda ısı ilave edilir. İlave edilen ısı miktarları kayıt altına alınır. Diferansiyel kalorimetrede ısıtıcı, ısı kaybını minimum tutmak için örnek malzemenin ve referans kaplarına yakın konumlandırılır. Termokupllar aracılığıyla sıcaklık farkı hissedildiğinde örnek ve referanstan sıcaklığı daha az olana, diğeri ile aynı seviyede sıcaklığa gelecek miktarlarda ısı ilavesi yapılır. Isıtma hızı örnek sıcaklığının fonksiyonu olarak kaydedilir [30].

Bu tip analiz cihazlarında elektrikli ısıtıcılar ile sağlanır. Örnek ve referans malzeme ısı aktarımını sağlayacak malzemelerden üretilmiş krozelere yerleştirilir, daha sonra disk üzerindeki platform yüzeyine yerleştirilir. Isı, disklere oradan krozelere daha sonra da örnek ve referansa iletilir. Numune ve referansa yapılan ısı akışı termokupllar ile izlenir. Örnek ile referansın yerleştirildiği krozelerin arasında diferansiyel ısı akışı, sıcaklık sensörünün çıkışları arasındaki fark ile doğru orantılı olmalıdır. Yapılan işlem sonunda elde edilen DSC eğrileri grafiğinin yatay ekseninde numuneye ait sıcaklığı veya zamanı, düşey ekseninde ise ısı akışı görülür. Eğriler değerlendirilirken öncelikle numune için erime sıcaklığı, DSC pikinin maksimum eğimli kısmından, temel olarak seçilen çizgiye kadar çizilen teğetin çizgiyi kestiği nokta olarak belirlenir. Faz değişim gizli ısı DSC eğrisinde görülen ilgili pikin altında kalan alanın sayısal integrasyonu ile belirlenir. Malzemenin faz değişim sıcaklık aralıkları ve erime/donma entalpileri bir software yardımıyla gösterilir [59].

4.3. SEM Taramalı Elektron Mikroskobu

Taramalı elektron mikroskobu kısaca SEM, odaklanmış bir elektron demeti ile örnek malzemenin yüzeyini tarayarak topografik görüntü elde eden elektron mikroskobudur. Elektronlar aracılığı ile örnek malzeme atomları etkileşerek, malzeme yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren sinyaller elde edilir. SEM görüntüsü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların vakum ortamında örnek yüzeyinde taratılması esnasında elektron-numune atomları arasında oluşan çeşitli etkileşimlerin ekrana aktarılmasıyla elde edilir. İkincil elektronlar sayesinde numunenin topografik görüntüsü elde edilir [60].

4.4. XRF Analizi- X Işını Floresansı

X-ışını spektroskopisi kimyasal elementel analiz için karakteristik x ışını kullanılan yöntemidir. X-ışını spektroskopisiyle örnek malzemenin kimyasal elementlerinin ve bu elementlerin miktarları ölçülebilir. Referans, örneğin atomlarından gelen karakteristik x-ışınlarını ölçer. Ölçülen x ışınlarının göre örnek malzemenin temel bileşenleri belirlenir. Belirlenen foton etkileşimine göre nicel ve nitel özellikler değerlendirilir. X-ışını spektrometresi olarak kullanılan en yaygın, spektrometreler X-ışını floresans (XRF) ve elektron mikroskoptaki mikroanalizördür.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, düşük sıcaklık enerji uygulamalarında kullanılmak üzere kaprik asit esaslı yeni kompozit faz değiştiren malzemelerin tek adımda impregnasyon yöntemi ile hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kompozit FDM'e ait ısı, morfolojik ve kimyasal özellikleri; diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi analizleri ile araştırılmıştır.

Çalışma, FDM'nin ve destek yapısının belirlenmesi, tek adımda impregnasyon yöntemi ile kompozit malzemenin elde edilmesi, elde edilen kompozit malzemenin karakterizasyonu ile performans değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Pomza numunesine sırasıyla %10, %20 ve %30 oranlarında kaprik asit emdirilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde elde edilen bulgulara göre, %30 dan fazla kaprik asit kullanımında sızıntı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, ideal impregnasyon oranı %30 olarak belirlenmiştir. Bu sonuca bağlı olarak %30 kaprik asit içeren kompozitin ileri analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen CP30 (%30 kaprik asit emdirilmiş) kompozit malzemenin kimyasal yapısını incelemek için FT-IR spektrofotometresi (Perkin Elmer, Spectrum 100), ısı özelliklerinin incelenmesi için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC 7020, HITACHI) ve morfolojik yapılarının incelenmesi için SEM-Taramalı Elektron Mikroskobu (FEI, Ouanta FEG 250 model, Thermo Scientific) kullanılmıştır.

5.1. Deneysel Yöntem

Bu çalışmada, deneysel yöntem olarak tek adımla gerçekleşen impregnasyon yöntemi uygulanmıştır. Farklı alanlarda değişik amaçlara yönelik uygulanan impregnasyon yöntemi ile gözenekli yapıları bulunan malzemeler, vitamin, mineral, antimikrobiyal madde, fenolik madde, organik asit gibi maddeler ile zenginleştirilebilir. Bu yöntem ile yeni fonksiyonel ürün grupları oluşturulabilir; basit ve faydalı bir teknolojidir [61].

Destek yapının belirlenmesinde Pomza taşının bol miktarda bulunması etkili olmuştur. Pomzanın yapısında bulunan bileşiklerinden kaynaklı termal stabiliteye ve mekanik dayanıma sahiptir. Zengin kimyasal bileşiminin yanı sıra gözenekli bir yapıya ve buna bağlı olarak düşük bir yoğunluğa sahiptir.

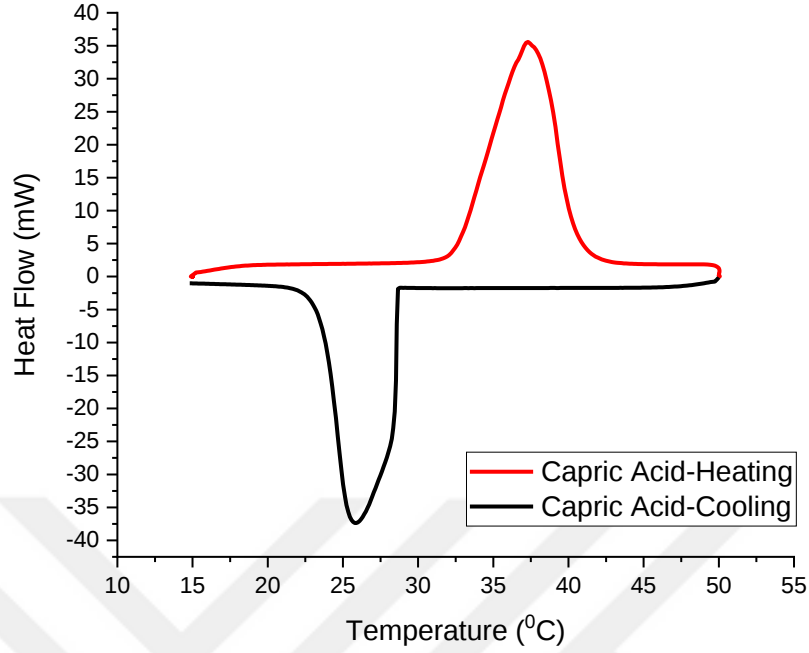
Yağ asitleri, soğutma uygulamalarında enerji depolaması için umut vadeden adaylar olarak tanımlanmıştır. Emprenye edilmiş yağ asitleri karışımlarının duvarlarda kullanılması, oda sıcaklığını rahat bir aralıkta tutabilen soğutma işlevleri gerçekleştirebilir [62]. Yağ asitleri, erime uyumluluğu, iyi kimyasal kararlılık ve toksik olmama gibi birçok FDM üzerinde önemli özelliklere sahiptir. Karakteristiklerinden daha önemlisi, erime ve donma sırasında daha düşük erime noktası aralıkları ve kütlesinin birimi başına yüksek gizli geçiş ısısı ile daha küçük hacim değişimleridir. İlave bir avantaj, yağ asitlerinin, yakıt enerjisi kaynaklarının kıtlığına rağmen sürekli bir tedarik garantisi sağlayan bitkisel ve hayvansal yağlardan türetilmesidir.

Gözenekli yapı malzemelerinden yapılan kompozit FDM'ler ve FDM'ler, yüksek gözenekliliğe sahip yapı malzemeleri seçildiğinde korozyona yol açmamaları, hızlı ısı transferi sağlamaları ve büyük bir ısı depolama yoğunluğu sunmaları nedeniyle umut verici malzemelerdir. Kompozit malzemeleri hazırlamak için iki genel yöntem vardır: erimiş FDM'lerin impregne edilmesi ve FDM'lerin gözenekli malzemeye doğrudan dahil edilmesi impregnasyon yöntemi, üretim için açıkça en basit ve en ucuz olanıdır. Gözenekli malzemelerde FDM'nin impregnasyon miktarı az olmakla birlikte, kompozit yapı malzemesinin hazırlanması sırasında vakum uygulanarak bu miktar arttırılabilir.

5.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kimyasallar

Kaprik asit

Dekanoik asit veya desilik asit olarak da bilinen kaprik asit, doymuş bir yağ asidi, orta zincirli yağ asidi ve karboksilik asittir. Formülü $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$ 'dir. Dekanoik asidin tuzlarına ve esterlerine kapratlar veya dekanoatlar denir. Kaprik asit, Hindistan cevizi yağında (yaklaşık %10) ve hurma çekirdeği yağında (yaklaşık %4) doğal olarak bulunur, bunun dışında tipik tohum yağlarında yaygın değildir. Çeşitli memelilerin sütünde ve daha az oranda diğer hayvansal yağlarda bulunur. Aşağıda şekil 5.1'de verilen grafikte saf kaprik asite ait DSC analizi sonucu elde edilen ısıtma soğutma eğrileri görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere kaprik eşitin pik erime sıcaklığı 37,3 °C, erime entalpisi 133,33 J/g'dır. Kristalleşme sıcaklığı 25,89 °C ve kristalleşme entalpisi -135,88 J/g'dır.



Şekil 5.1. Saf Kaprik Asite Ait DSC Isıtma-Soğutma Eğrileri

Kaprik asit, bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edildikleri için özünde çevre dostu olan yağ asitleridir. Tropikal ülkelerde bol miktarda bulunan hindistancevizi yağından elde edilebilirler. Ancak, bu tür FDM hakkında çok az bilgi verilmektedir. Önceki bir araştırma, kaprik asit ve laurik asit (C-L asit) karışımının potansiyel bir gizli ısı depolama malzemesi olduğunu göstermiştir [63].

Destek yapı: Pomza taşı

Doğal olarak bol bulunan bir kil olan Pomza, kimyasal bileşiminde SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 , CaO ve MgO 'dan oluşmaktadır. Bu nedenle, önemli bir termal stabiliteye ve mekanik dayanıma sahiptir. Zengin kimyasal bileşiminin yanı sıra oldukça gözenekli bir yapıya ve buna bağlı olarak düşük yoğunluğa sahiptir.

Pomza özellikle Türkiye, İran ve Çin'de doğal olarak bol miktarda bulunmaktadır. Pomza taşının görüntüsü Şekil 5.2 ve şekil 5.3'te gösterilmektedir. Pomza taşının karakteristik özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.



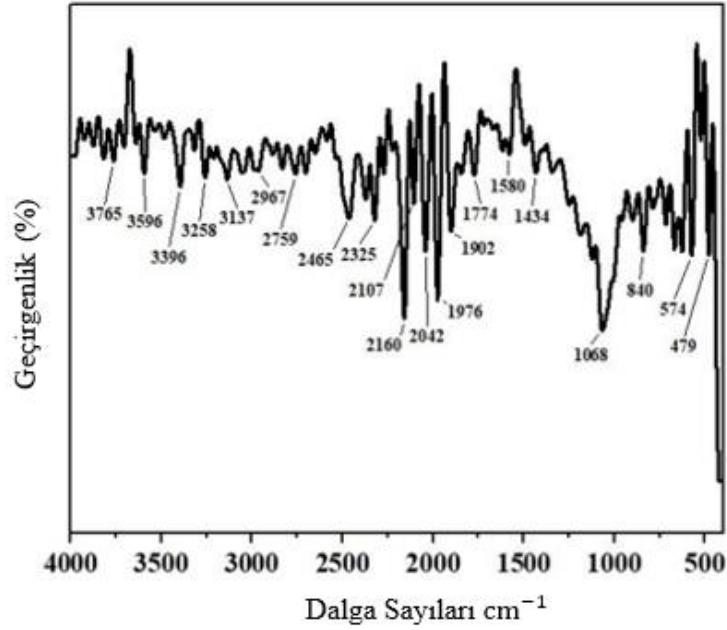
Şekil 5.2. Pomza taşının görünümü



Şekil 5.3. Öğütülmüş pomza taşı görüntüsü

Tablo 5.1. Pomza Taşına Ait Karakteristik Özellik Tablosu

Pomza Taşının Teknik Özellikleri	
Renk	Açık Gri
Ph	6,5-7
Kimyasal Reaksiyon	HF Asit hariç kimyasal tepkimesiz
Nem	1%
Isı Dayanımı	1240 °C
Su Emme	46-60 (Ağırlıkça)
Porozite	%45-90
Özgül Isı Değeri	0,24-0,26 kcal/kg°C
Isıl İletkenlik Değeri	0.11-0,21 W/mK
Isınma Isısı	0,24-0,27 kcal/kg°C



Şekil 5.4. Pomza numunesine ait FT-IR spektrumu

Mikronize Pomza numunesine ait FT-IR spektrumu şekil 5.4 'de yer almaktadır. Pomza taşının FTIR spektrumundaki 783 cm^{-1} de görülen pik, yapıyı oluşturan SiO_2 'nin (silisyum dioksitin) Si-O eğilme mukavemeti titreşimlerinden kaynaklanmış olabilir. 1013 cm^{-1} civarındaki güçlü pik ise Pomzaya ait Si-O (Silisyum oksit) germe titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Dış ortamdan emilen su da 1627 cm^{-1} civarında bir deformasyon titreşim piki üretmiştir.

Termal enerji depolama sistemleri, enerji tasarrufunda ve enerji talebini/arzını dengelemede çok önemli bir rol oynar. Son termal depolama teknikleri ve yeni stratejiler, çeşitli uygulamalarda kullanımlarını genişletmiştir. Bununla birlikte, faz değişimi sırasındaki sızıntı ve faz değiştiren malzemeler kullanılarak zayıf termal iletkenlik limitleri potansiyel bir termal depolama ortamı olarak. Şekil stabilize faz değişim malzemeleri (SSFDM), ısı transferini etkili bir şekilde artırabilir ve sızıntıyı önleyebilir. Ayrıca esnek yapılar, iyi mekanik dayanım ve kararlılık sağlar. Ayrıca, destek yapısına maksimum miktarda FDM yüklemek, SSFDM'lerin verimliliğini artırır ve ısı transferini artırır.

SSFDM iki bölümden oluşmaktadır. Biri enerjiyi depolayan FDM, diğeri FDM i tutan destek yapısıdır. Şekil stabilizasyonu için kullanılan destek malzemeleri farklı

tiptedir: Mikro kapsülleme, metalik destek (metal form/matris), karbon bazlı (nanoyapı) ve polimer matris. Farklı destek yapılarına sahip SSFDM'lerin hazırlanmasına ilişkin çeşitli çalışmalar mevcuttur ve bunlar yüksek enerji yoğunluğuna ve yüksek termal iletkenliğe sahip SSFDM geliştirmeye odaklanmıştır. Ayrıca, akıllı TES sistemi için termal iletkenliği artırmaya ve çok işlevli SSFDM geliştirmeye yönelik araştırmalar da yoğunlaşmaktadır [68].



6. BULGULAR

Pomzanın kimyasal bileşimini ortaya çıkarmak için XRF analizi yapılmıştır. Pomza numunesine ait XRF analizi ile çıkan analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 6.1’de verilmiştir. Pomzanın özellikle silika ve alümina açısından zengin olduğu görülmektedir.

Tablo 6.1. Pomza taşının XRF analizi ile elde edilmiş kimyasal özellikler tablosu

Bileşik	Element	Konsantrasyon(ppm)	Mutlak Hata
<i>SiO</i>	<i>Silikon</i>	753,000	500
<i>Al2O3</i>	Alüminyum	129,300	200
<i>Na2O</i>	Sodyum	47,300	440
<i>K2O</i>	Potasyum	44,430	60
<i>CaO</i>	Kalsiyum	9983	29
<i>MgO</i>	Magnezyum	1502	43
<i>TiO2</i>	<i>Titanyum</i>	900	7
<i>MnO</i>	Manganez	672	2
<i>P2O5</i>	Fosfor	263	7

Isıl analiz bulguları

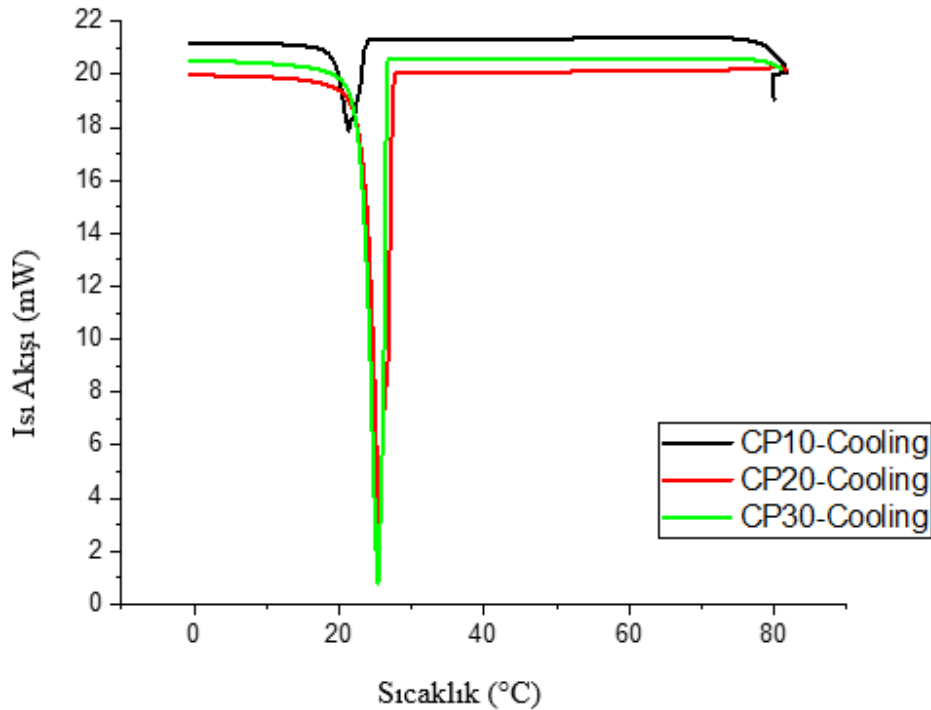
Pomza taşı ile kaprik asitin impregnasyonu ile elde edilen kompozit malzemelere ait DSC analiz sonuçları aşağıda görülmektedir. Grafikleri incelediğimizde en uygun malzemenin %30 kaprik asit katkılı Pomza kompozit malzemesi olduğu belirlenmiştir. CP30 malzemesinin ilk erime sıcaklığı son erime sıcaklığı 27,55 °C ve pik erime sıcaklığı 31,34 °C ve erime entalpisi 36,18 J/g’dır. İlk kristalleşme sıcaklığı 32,69 °C, son kristalleşme sıcaklığı 36,18 °C kristalleşme entalpisi 26,54 J/g’dır. %40 kaprik asit katkıladoğında sızdırma meydana gelmiştir ve daha fazlası

denenmemiştir. Aşağıdaki Tablo 6.2’de kompozit malzemenin DSC analiz sonuçları gösterilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere kaprik asit-pomza kompozit malzemesine ait en yüksek erime entalpisi değeri %30 kaprik asit kütle fraksiyonuna ait kompozitte görülmüştür. Daha fazla kaprik asit ilavesi pomza numunesi içerisinde sızıntılara sebep olmuştur.

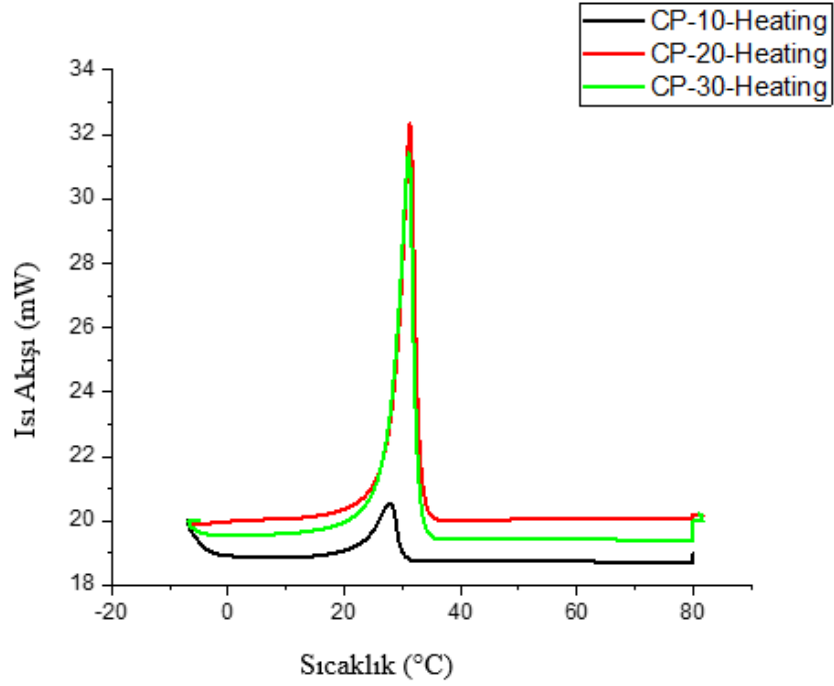
Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de kompozit malzemeye ait ısıtılması ve soğutulması ile elde edilen DSC eğrileri görülmektedir.

Tablo 6.2. Kompozit malzemenin DSC analiz değerleri

Numune	T_{ie} °C	T_{pe} °C	T_{se} °C	ΔH_e (J/g)	T_{ik} C°
Kaprik Asit	32,49	37,31	46	133,23	28,65
CP10	23,12	27,87	29,8	9,45	23,55
CP20	28,19	31,28	32,73	23,26	27,34
CP30	27,55	31,14	32,69	36,18	26,54
CP40	Sızıdırma meydana gelmiştir.				

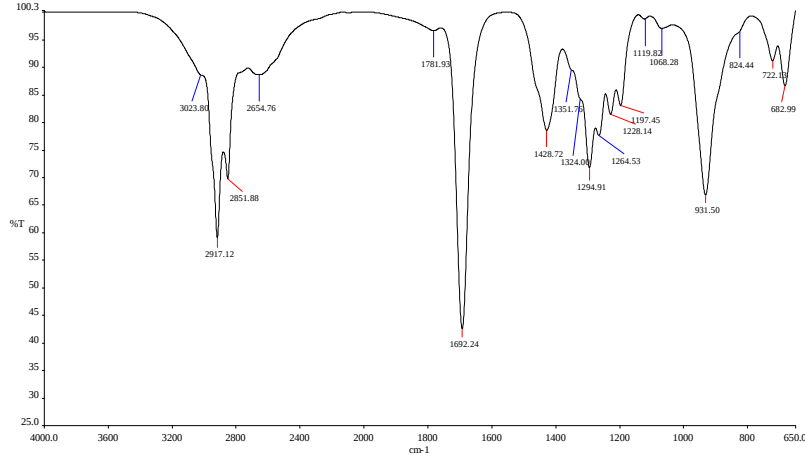


Şekil 6.1. Pomza ve kaprik asit ile elde edilen kompozit FDM’nin DSC analiz soğutma grafiği

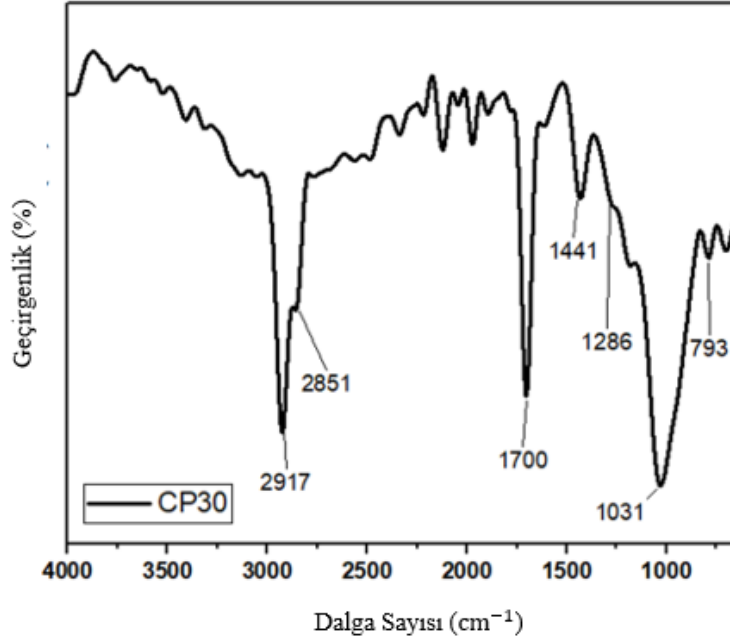


Şekil 6.2. Pomza ve kaprik asit ile elde edilen kompozit FDM'in DSC analiz ısıtma grafiği

Kaprik asite ait FT-IR spektrumu aşağıda verilen Şekil 6.2'de yer almaktadır. Bu spektrumda 2917 cm^{-1} ve 2851 cm^{-1} civarında görünen bantlar, Kaprik asite ait alifatik C–H gruplarının sırasıyla CH_2 (metilen) ve terminal CH_3 'teki (metil grup) anti-simetrik ve simetrik gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca 1400 cm^{-1} ile 1200 cm^{-1} aralığında gözlenen bantlar alifatik CH_2 (metilen) ve CH_3 (metil) gruplarının eğilme titreşimlerine bağlanabilir. 1700 cm^{-1} civarında gözlenen bant kaprik asitin C=O (karbonil) grubu için karakteristiktir.



Şekil 6.3. Kompozit malzemenin FTIR analiz sonuçları



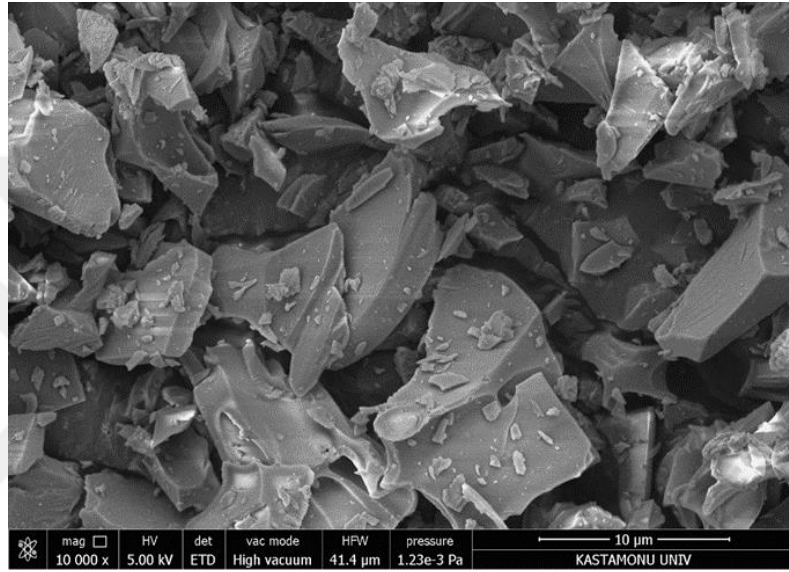
Şekil 6.4. CP30 kompozit FDM'nin FT-IR analizi

Elde edilen CP30 kompozit malzemenin FT-IR spektrumları Şekil 6.4'te görülmektedir. Yapılan impregnasyon işlemi sonucunda kaprik asit ve pomzaya ait karakteristik pikler kompozit malzemenin FT-IR spektrumunda da yer almaktadır.

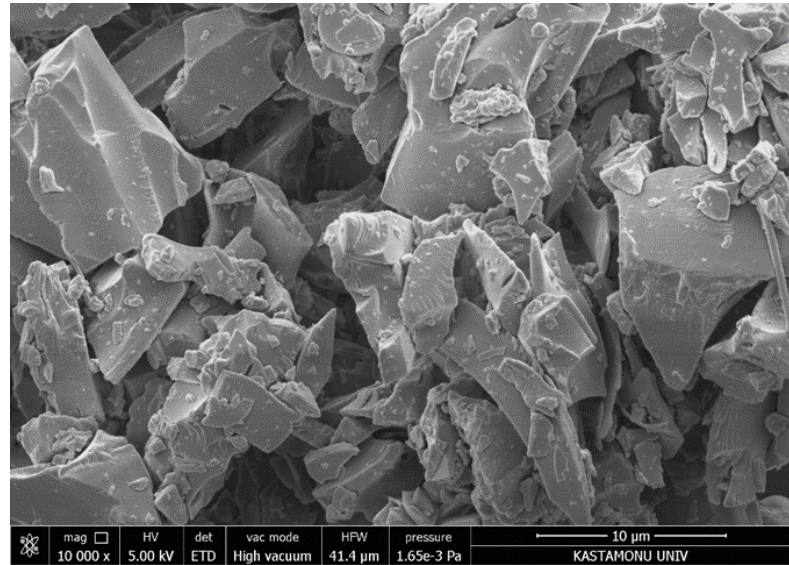
Tüm bu sonuçlara göre kompozit malzemenin spektrumu, kaprik asit ve pomzaya ait spektrumlarında bulunan tüm karakteristik bantları göstermiş ve kaprik asit ile Pomza arasındaki kimyasal reaksiyona atfedilebilecek yeni bir pik görülmemiştir. Sonuçlar, kaprik asitin Pomza yapısına dahil edilmesinin başarıldığını göstermektedir.

Morfolojik analiz bulguları

Pomzanın ve CP30 Kompozit FDM'sinin mikro yapısını (yani iç gözenek yapısını) detaylandıran SEM görüntüleri Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da gösterilmektedir. SEM görüntülerine göre, pomza numunesi düzensiz, heterojen ve gözenekli bir yapıya sahiptir. CP30 Kompozit FDM'sinin SEM görüntüsü incelendiğinde impregnasyon yöntemiyle kaprik asitin Pomzanın gözenek ve yüzeylerine yerleşmesi neticesinde yapıda değişiklik meydana geldiği açıkça görülmektedir.



Şekil 6.5. Pomzaya ait SEM analizi görüntüsü



Şekil 6.6. CP30 kompozit FDM'nin SEM analizi ile elde edilen görüntüsü

Kompozit malzemenin şekli veya yağ asitlerinin destek yapı içerisinde dağılma şekli yüzey morfolojilerinin incelenmesiyle ortaya çıkarılmıştır. Bu morfolojik inceleme işlemi SEM analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece ilgili destek yapının (*Pomza* numunesinin) yapısında kütlece maksimum oranda ilgili yağ asitlerini (kaprik asit) %30 miktarında, herhangi bir sızma davranışı olmaksızın yapısında tutunabildiği somut olarak gözlendi.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji depolama yöntemlerinden, gizli ısı depolama, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki uyumsuzluğu gidermek amacıyla umut vadeden teknolojiler arasında görülmektedir. FDM'lerin iklimlendirme sistemlerinde, elektronik ekipmanların soğutulmasında, özellikle binalarda yapı malzemeleri ile kullanımı dışında seralar gibi düşük sıcaklık uygulamalarında da uygun ortam sıcaklığının sağlanması gibi alanlarda kullanılması mümkün olmaktadır. Faz değişim malzemelerinin enerji depolamak için kullanımı fikri çok eski zamanlara dayansa da özellikle son yıllarda bu malzemelerin kullanımını yaygınlaştırmak için yapılan bilimsel çalışmalar giderek artmaktadır.

Bu çalışmada, faz değiştiren madde olarak kaprik asit kullanılarak tek adımda impregnasyon yöntemiyle şekilce kararlı kompozit FDM elde edilmiştir. Elde edilen kompozit FDM'nin fiziksel, kimyasal, ısı, morfolojik ve yapısal özellikleri; diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi analizleri ile araştırılmıştır. Elde edilen kompozit malzemenin ısı enerji depolama kapasitesi 36,18 kJ/kg, erime ve kristalizasyon pik sıcaklıkları sırasıyla, 31,14 °C ve 25,32 °C olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, elde edilen kompozitin düşük-orta sıcaklıktaki çeşitli pratik uygulama alanları için uygun bir aday olabileceği değerlendirilmektedir. Sentezlenen bu faz değişim malzemesinin erime entalpisi ve erime sıcaklığı göz önüne alındığında düşük sıcaklık ısı enerji depolama uygulamalarında kullanım potansiyeli olduğu görülmüştür. Gelecek bir çalışma olarak elde edilen kompozit FDM'nin faz geçiş sıcaklığı ile uyumlu bir uygulama alanında değerlendirilmesi planlanabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Thumann, A. (1991), *Handbook of Energy Engineering*, 2., Fairmont Press, Lilburn, GA,
- [2] Garg, H., Mullick, S. And Bhargava, A. (1985). *Solar Thermal Energy Storage*, D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, Hollanda.
- [3] Herrick, C. Ve Golibersuch, D. (1977). *General Electric Company*, Rapor No. 77 CRD006, Valley Forge, PA.
- [4] Heine, D. Ve Abhat, A. (1978). *Mankind's Future Source of Energy*, Ed. F. De Winter Ve M. Cox. 1, Pergamon Press, NY.
- [5] Akçay M. (2006). *Isıl Enerji Depolama Amaçlı Bazı Polimer/Yağ Ası Karışımlarının Hazırlanması ve Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi* [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, 182480] Gaziosmanpaşa Üniversitesi.
- [6] Karaipekli A., Sarı A., *Preparation, Thermal Properties And Thermal Reliability of Eutectic Mixtures Of Fatty Acids/Expanded Vermiculite as Novel Form-Stable Composites For Energy Storage*, Volume 16, Issue 5, 25 September 2010, Pages 767-773
- [7] Zhang J., Guan X. (2015). *Preparation And Properties Of Gypsum Based Energy Storage Materials with Capric Acid–Palmitic Acid/Expanded Perlite Composite PCM* Pages 155-160
- [8] Mert M.S., Mert H.H., Gümüş Y. (2019) C., “*Preparation And Characterization Of Paraffin Microcapsules for Energy-Saving Applications*”, *Journal Of Applied Polymer Science*. DOI 10.1002/App.47874 ,
- [9] Mert, H.H., Eslek, A., Mert, M.S., Mert, E.H (2021). *Preparation Of Pickering-Polyhypes From Surface Modified Pumice Stabilized High Internal Phase Emulsions as Supporting Materials For Lauric Acid Impregnation*, *Journal Of Applied Polymer Science*, November,
- [10] Bayram S., Mert H.H., Mert M.S. (2022). *Preparation of Shape-Stabilized Composite Phase Change Materials Containing Nonadecane with Modified Kaolinite Clay-Doped Poly(Styrene-Co-Divinyl Benzene) Matrix And Determination of Their Properties*. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*. 2022; 38(1): 435-450.
- [11] Dimaano M., Watanabe T. (2002). *The Capric–Lauric Acid and Pentadecane Combination As Phase Change Material for Cooling Applications*, Volume 22, Issue 4, March 2002, Pages 365-377
- [12] Chinnasamy V., Heo Jung S. Shape (2023). *Stabilized Phase Change Materials Based On Different Support Structures for Thermal Energy Storage Applications–A Review*, 1 January 2023, DOI: 125463
- [13] Song S., Dong L. (2014). *Microencapsulated Capric–Stearic Acid With Silica Shell As A Novel Phase Change Material for Thermal Energy Storage*, Volume 70, Issue 1, Pages 546-551
- [14] Xing J., Yucheng Z. (2021). *Microencapsulation of Fatty Acid Eutectic with Polyvinyl Chloride Shell Used For Thermal Energy Storage*, 34, DOI: 101998
- [15] Feldmann D., Shapiro M.M. (1989). *Fatty Acids And Their Mixtures As Phase-Change Materials For Thermal Energy Storage* , Issues 3–4,, Pages 201-216

- [16] Dimaano M., Escoto A. (1998). *Preliminary Assessment of A Mixture Of Capric And Lauric Acids For Low-Temperature Thermal Energy Storage*, Issue 5, , Pages 421-427
- [17] Hasnain M.S. (1998). *Review On Sustainable Thermal Energy Storage Technologies, Part I: Heat Storage Materials And Techniques*, , Pages 1127-1138
- [18] Mehling H, Hiebler S, Ziegler F. (1999). *Latent Heat Storage Using A PCM-Graphite Composite Material: Advantages And Potential Applications*. In: *Proceedings Of The 4th Workshop Of IEA ECES IA Annex 10*, Bendiktbeuern, Germany,
- [19] Fukai J, Morozumi Y, Hamada Y, Miyatake O. (2000). *Transient Response Of Thermal Energy Storage Unit Using Carbon Fibers As Thermal Conductivity Promoter*. In: *Proceedings Of The 3rd European Thermal Science Conference*, Pisa, Italy,
- [20] Li M., Zhishen W. (2011). *Study On Preparation, Structure And Thermal Energy Storage Property Of Capric–Palmitic Acid/Attapulgit Composite Phase Change Materials*, September 2011, Pages 3125-3132
- [21] Wen R., Xiaoguang Z. Huang Z., Fang M., Liu Y. (2018), *Preparation And Thermal Properties Of Fatty Acid/Diatomite Form-Stable Composite Phase Change Material For Thermal Energy Storage*. Volume 178, May 2018, Pages 273-279
- [22] Tang F., Su D. Yaojie T. (2015). *Synthesis And Thermal Properties Of Fatty Acid Eutectics And Diatomite Composites As Shape-Stabilized Phase Change Materials With Enhanced Thermal Conductivity*, Pages 218-224
- [23] Sarier N., Önder E., *Organic Phase Change Materials And Their Textile Applications: An Overview*, Volume 540, 2012 , 7-60
- [24] Sidik C., Azwadi N., Hao T., Hong K. (2018). *Performance Enhancement Of Cold Thermal Energy Storage System Using Nanofluid Phase Change Materials: A Review*, Volume 94, May 2018, Pages 85-95
- [25] Weiguang S., Darkwa J. (2015). Kokogiannakis G., *Review Of Solid–Liquid Phase Change Materials And Their Encapsulation Technologies*, Elsevier, Pages 373-391
- [26] Du K., Calaulit J., Wang Z., Yupeng W., Liu H. (2018). *A Review Of The Applications Of Phase Change Materials In Cooling, Heating And Power Generation In Different Temperature Ranges*, Pages 242-273
- [27] I. Mohd., Azwadi C., Asako., Razali N. (2020). *Numerical Studies On PCM Phase Change Performance In Bricks For Energy-Efficient Building Application – A Review*, Journal, Vo. No.1
- [28] Yuan Y., Gao X., Hongwei W., Zhang Z., Cao X., Sun L., Yu N. (2017). *Coupled Cooling Method And Application Of Latent Heat Thermal Energy Storage Combined With Pre-Cooling Of Envelope: Method And Model Development*. Volume 119, Pages 817-833
- [29] Tebaldi M.L., Belardi R.M., Montoro S.R. (2016). *Polymers With Nano-Encapsulated Functional Polymers: Encapsulated Phase Change Materials*. *Encapsulated Phase Change Materials*. Micro And Nano Technologies, Page 155-169
- [30] Beyhan B., Paksoy H., Daşgan Y. (2013). *Root Zone Temperature Control With Thermal Energy Storage In Phase Change Materials For Soilless Greenhouse Applications*, Pages 446-453

- [31] Azaizia Z., Kooli S., Hamdi İ., Elkhail W., Guizani A.A. (2020). *Experimental Study Of A New Mixed Mode Solar Greenhouse Drying System With And Without Thermal Energy Storage For Pepper*. Renewable Energy, Pages 1972-1984
- [32] Guan Y., Wang T., Tang W., Hu Wanling, Guo J., Yang H., Zhang Y., Duan S. (2020). *Numerical Study On The Heat Release Capacity Of The Active-Passive Phase Change Wall Affected By Ventilation Velocity*, Renewable Energy, Pages 1047-1056
- [33] Chen C., Ling H., Zhai Z., Li Yin., Han F., Wei S. (2018). *Thermal Performance Of An Active-Passive Ventilation Wall With Phase Change Material In Solar Greenhouses*, Appleid Energy, Pages 602-612
- [34] Yan S.R., Fazilati A.M., Samani N., Ghasemi R.H., Toghraie D., Nguyen Q., Karimipour A. (2020). *Energy Efficiency Optimization Of The Waste Heat Recovery System With Embedded Phase Change Materials In Greenhouses: A Thermo-Economic-Environmental Study*,
- [35] Najjar A., Hasan A. (2008). *Modeling Of Greenhouse With PCM Energy Storage*, Issue 11
- [36] Emeksiz C., Kara B. (2022). *Enerji Depolama Teknolojilerinin İncelenmesi Ve Karşılaştırmalı Analizi*, Accepted: Nov. 7, 2022
- [37] Y. A. Çengel, Michael A. Boles (2013)., *Temodinamik: Mühendislik Yaklaşımıyla*, Palme Yayıncılık; 7. Basım
- [38] Cabeza, 2008 Mehling, H. Ve Cabeza, L. F. (2008). *Heat And Cold Storage With PCM: An Up To Date Introduction Into Basics And Applications*, Heidelberg, Berlin: Springer
- [39] Ataer E.Ö. *Storage Of Thermal Energy, Energy Storage Systems – Vol. I – Storage Of Thermal Energy -*
- [40] Özer S., Sönmez F. , *The Alternative Solution Proposals For The Need Of Energy In Turkey*, Muş Alparslan University Journal Of Science ISSN:2147-7930
- [41] Rezaie B, Rosen M.A. (2011). *Role Of Thermal Energy Storage In District Energy Systems*, January
- [42] Esgel H. (2014). *Kordiyerit Esaslı Seramik Malzemeden Yapılmış Termal Enerji Depolama Sisteminin Analizi*, İstanbul Teknik Üniversitesi,
- [43] Yılmaz S. (2008). *Soğutma Uygulamaları İçin Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 178109
- [44] Mehravar S., Sabbaghi. (2014). *Thermal Performance Of MEMS-Based Heat Exchanger With Micro-Encapsulated PCM Slurry*, Department Of Nano Chemical Engineering, Faculty Of Advanced Technologies, Shiraz University, Shiraz, Iran.
- [45] Mehling, H. And Cabeza, L.F. (2008) *Heat And Cold Storage With PCM. An Up To Date Introduction Into Basics And Applications*. Springer, Berlin
- [46] Pahamli Y., Hosseini M.J., Ranjbar A.A. (2017). *Effect Of Nanoparticle Dispersion And Inclination Angle On Melting of PCM In A Shell And Tube Heat Exchanger*, December, Pages 316-334

- [47] Zalba, B., Marin, J., Cabeza, L., And Mehling, H., (2003). *Review On Thermal Energy Storage With Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis And Applications*, Applied Thermal Engineering, 23, 251-283.
- [48] Xaier P., R. Olives R. (2001). *Paraffin/Porous-Graphite-Matrix Composite As A High And Constant Power Thermal Storage Material* . International Journal Of Heat And Mass Transfer, Issue 14 Pages 2727-2737
- [49] Temiz İ., Erdal H. (2006). *Faz Değiştirici Malzeme (PCM) Kullanılarak Transformatörlerin Soğutulması*, [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi], Marmara Üniversitesi. 185280
- [50] Farid M., Khudair M. (2004). *A Review On Phase Change Energy Storage: Materials And Applications*, Energy Conversion And Management Issues 9-10, Pages 1597-1615
- [51] Li J., , He L. Liu T., Cao X., Zhu H. (2013). *PEG/Sio2 Kompozitlerinin Termal Enerji Depolaması İçin Şekil Stabilize Faz Değişim Malzemeleri Olarak Hazırlanması Ve Karakterizasyonu* Sol. Enerji Materyali. Sol. Hücreler , S. 48 – 53
- [52] Sarı A., , Sarı H., Önal A. *Gizli Isı Depolama Malzemeleri Olarak Bazı Yağ Asitlerinin Ötektik Karışımlarının Termal Özellikleri Ve Termal Güvenilirliği*.
- [53] Qian T., Li J., Min X., Guan W., Deng Y., Ning L. (2015). *Enhanced Thermal Conductivity Of PEG/Diatomite Shape-Stabilized Phase Change Materials With Ag Nanoparticles For Thermal Energy Storage*. Journal Of Materials Chemistry A., J. Mater. Chem. A, 3, 8526-8536
- [54] Wang W., Yang X., Fang Y., Ding J. (2009). *Preparation And Thermal Properties Of Polyethylene Glycol/Expanded Graphite Blends For Energy Storage*. Applied, Issue 9, Pages 1479 – 1483
- [55] Nepeer D.A. (2000). *Thermal Dynamics of Wallboard With Latent Heat Storage*, Volume 68, Issue 5, Pages 393-403
- [56] Dokuz Eylül Üniversitesi (2002). *Elektronik Malzemeler Üretim ve Uygulama Merkezi, SEM-Taramalı Elektron Mikroskobu*, Pages 377-388
- [57] Dinçer İ. (2002). *On Thermal Energy Storage Systems And Applications In Buildings*, Energy And Buildings, Issue 4 Pages 377-388
- [58] Akçay M. Sarı A. (2006) *Isıl Enerji Depolama Amaçlı Bazı Polimer/Yağ Asidi Karışımlarının Hazırlanması ve Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi*. [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi.] Gaziosmanpaşa Üniversitesi. 182480
- [59] Douglas A. Skoog, F., James H., Stanley R. (2017). *Crouch, Principles of Instrumental Analysis*, Principles of Instrumental Analysis, 7th Editio
- [60] Mamat H. (2019)., *Nanofluids: Thermal Conductivity And Applications*
- [61] Shah K.W. (2018). *A Review On Enhancement of Phase Change Materials - A Nanomaterials Perspective*, 15, Pages 57-68
- [62] Damaano M., Watanabe T. (2002) *The Capric–Lauric Acid and Pentadecane Combination As Phase Change Material For Cooling Applications*, Pages 365-377

- [63] Yılmaz M.F., Bilek S.E. (2017). *Vakumlu Emdirim (İmpregnasyon) Teknolojisinin Fonksiyonel Meyve Ve Sebze Ürünlerinin Geliştirilmesinde Kullanımı*, Akademik Gıda 15(2) (2017) 163-171, DOI: 10.24323/Akademik-Gıda.333673



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Bursa’da tamamladı. 2014 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünden 2019 yılında mezun oldu. 2022 yılından beri Ferroser Mümessillik ve Metal San. Ltd. Şti’de Satın Alma Uzmanı olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Yaldız, S., Mert, M.S., Mert, H.H. “Düşük sıcaklık uygulamaları için faz değiştiren malzemelerin hazırlanması ve ısı özelliklerinin incelenmesi”, 5th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences-EurasianBioChem2022, 23-25 November, 2022.

