BİLECİK
ŞEYH EDEBALİ ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı

YÜKSEK PERFORMANSLI STABİL FAZ DEĞİŞİM MALZEMESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

İsmail DAL
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ

İkinci Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Şenay BALBAY

BİLECİK, 2020
Ref. No.: 10347935

BİLECİK
ŞEYH EDEBALİ ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı

YÜKSEK PERFORMANSLI STABİL FAZ DEĞİŞİM MALZEMESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

İsmail DAL
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ

İkinci Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Şenay BALBAY

BİLECİK, 2020

BILECIK
SEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Sciences
Department of Chemical Engineering

DEVELOPMENT OF HIGH PERFORMANCE STABLE PHASE REPLACEMENT MATERIAL

İsmail DAL
Master's Thesis

Thesis Advisor
Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ

Thesis Co-Advisor
Dr. Öğr. Üyesi Şenay BALBAY

BILECIK, 2020

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bilgi birikimini benimle paylaşan, çalışma boyunca bana yol gösteren ve her zaman destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ'e,

Başarılarına, fikirlerine ve yorumlarına imrendiğim, çalışma boyunca beni bu konuda geliştiren ve desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Dr.Öğr.Üyesi Şenay BALBAY'a ve emeği geçen tüm hocalarıma,

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna vermiş olduğu mali destek için teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımda laboratuvar ekipmanlarını kullanmama yardımcı olan ve deney çalışmalarında yanımda olan değerli arkadaşım Cemal Tuğrul BİLGİÇ'e

Benim her zaman yanımda olanve bugünlere kadar gelmemi sağlayan sevgili ailem Kadir DAL, Hatice DAL, Mustafa DAL, Emine BAYRAK ve bana destek olan nişanlım Seda ÇAKMAK'a

Sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

…../…./ 2020

İsmail DAL

YÜKSEK PERFORMANSLI STABİL FAZ DEĞİŞİM MALZEMESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Faz Değiştiren Maddeler (FDM, PCM, Phase Change Material) termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. Bu çalışmada; Parafin (PAR), PEG600, 4 farklı Sürfaktan(Labsa, Mer-İZ, Dehyquart ACA (CTAC) ve Dehyton PK 45) ve atık lastiğin kimyasal bozundurulması yöntemiyle elde edilmiş olan Geri Kazanılmış Karbon (GKK) kullanılarak kompozite Organik Faz Değişim Malzemesi (OFDM) üretildi. OFDM 'lerinin hazırlanması için basit karıştırma ve vakum emprenye yöntemi kullanıldı. Vakum sistemi yardımıyla GKK'nın sürfaktan, PEG600 ve PAR'ı absorplaması sağlandı. Farklı türdeki sürfaktanların kullanıldığı farklı kompozisyonlarda elde edilen numunelere; faz değişim sıcaklık farkı testleri yapılarak en yüksek sıcaklık farkına sahip numuneler belirlendi. Belirlenen bu numunelerin (FM7; FM13; FM20 ve FM26 Kodlu) fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerini belirlemek amacıyla; sızdırmazlık, FT-IR,ve DSC analizleri gerçekleştirildi. En yüksek enerji depolama kapasitesine (85.6 j/g) sahip numunenin FM-26 kodlu numune olduğu belirlendi.

.

Anahtar Kelimeler: Faz değişim malzemesi, Isı enerjisi depolama, karbon, kompozit malzemeler.

DEVELOPMENT OF HIGH PERFORMANCE STABLE PHASE REPLACEMENT MATERIAL

ABSTRACT

Phase Changing Materials (PCM) are substances that store thermal energy as latent heat.In this study; composite Organic Phase Change Material (OFDM) was produced using Paraffin (PAR), PEG600, 4 different Surfactant (LABSA, MER-İZ, Dehyquart ACA (CTAC) and Dehyton PK 45) and recycled carbon (GKK) obtained by chemical degradation of the waste tire. For the preparation of OFDMs; simple mixing and vacuum impregnation method is used.The absorption of surfactant, PEG600 and PAR onto GKK was achieved by the vacuum system.The samples with the highest temperature difference were determined by performing phase change temperature difference tests.In order to determine the physical, chemical and thermal properties of these samples (Coded FM7; FM13; FM20 and FM26); sealing, FT-IR, and DSC analyzes were performed.The sample with the highest energy storage capacity (85.6 j / g) was determined to be the FM-26 code sample.

Keywords: Phase Change Materials, heat energy storage,carbon, composite materia

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....
BEYANNAME .....
ÖZET ..... **I**
ABSTRACT ..... **II**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **VI**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **VIII**
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... **IX**
1.GİRİŞ **1**
2. FAZ DEĞİŞİM MALZEMELERİ **5**
2.1. Faz değişim malzemelerinin sınıflandırılması 5
2.1.1. Organik faz değişim malzemeleri (OFDM) 7
2.1.1.1. Parafin malzemeler 8
2.1.1.2. Parafin olmayan malzemeler 9
a. Yağ asitleri 11
b. Esterler 11
c. Alkoller 12
d. Polietilen glikoller 12
2.1.2. İnorganik faz değişim malzemeleri 13
2.1.2.1. Tuz hidratları 13
2.1.2.2. Metalik 14
2.1.3. Ötektik faz değişim malzemeleri 15
2.1.4. Faz değişim malzemeleri farklılıkları ve benzerlikleri 16
2.1.5. FDM'nin mikrokapsüllenmesi 19
2.1.5.1. Kimyasal Yöntem 21
2.1.5.2. Fiziksel Yöntem 22
2.1.5.3. Fiziksel-Kimyasal Yöntem 23
2.1.5.4. Kararlı kapsül kabuğunun oluşumu 24
2.1.5.5. Kapsül kabuk malzemeleri 26
a. Organik kabuklar 27
b. İnorganik kabuklar 29
c. Organik-İnorganik Hibrit kabuklar 30
2.1.6. FDM seçiminde önemli parametreler 31

2.1.7. FDM'nin çalışma prensibi 32
2.1.8. FDM'nin kullanım alanları 33
2.1.8.1. FDM'lerin bina uygulamaları 33
a. FDM güneş duvarı sistemleri 35
b. FDM'lerin entegre edildiği ahşap hafif beton sistemleri 36
c. FDM dolgulu cam pencere sistemleri 36
d. FDM destekli güneş kırıcı sistemler 37
e. FDM destekli yer altı elektrik ısıtma sistemi 38
f. FDM entegreli çatı sistemleri 39
g. FDM destekli tavan sistemleri 40
h. FDM entegreli ısıtma ve soğutma sistemleri 41
2.1.8.2. FDM'lerin tekstil sektöründe kullanımı 42
2.1.8.3. FDM'li güneş enerjili su ısıtma sistemi 42
2.1.8.4. FDM'li güneş ocaklı sistemler 43
2.1.8.5. FDM'li soğutma kaskları 43
2.1.8.6. FDM'lerin tıbbi uygulamalarda kullanımı 43
2.1.8.7. FDM'nin tarımsal alanlarda uygulamaları 44
2.1.8.8. FDM'nin soğuk hava depolarındaki uygulamaları 44
2.1.8.9. Faz değişim malzemelerinin ticari uygulamalarda kullanımı 45
2.1.8.10. FDM'nin klima uygulamaları 45
2.1.8.11. FDM'nin kullanıldığı diğer uygulama alanları 46
3. FAZ DEĞİŞİM MALZEMELERİ ÜRETİMİNDE KARBON KAYNAĞININ ETKİSİ 49
3.1. Organik faz değişim malzemesi (OFDM) nedir ve nasıl üretilir? 49
3.2. OFDM içinde karbon kaynağı etkisi 50
4- LİTERATÜR TARAMASI 57
5. MATERYAL VE METOD 66
5.1. Materyal 66
5.1.1. Kullanılan malzemeler 66
5.1.2. Kullanılan alet ve düzenekler 67
5.2. Metod 67
5.3. Karakterizasyon 69

5.3.1. Faz değişimi sıcaklık farkı 70
5.3.2. Sızdırmazlık testi 70
5.3.3. Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (FT-IR) 70
5.3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi 71
6. BULGULAR 72
6.1. Faz değişimi sıcaklık farkı 72
6.2. Sızdırmazlık testi 74
6.3. Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FT-IR) 75
6.5. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi 81
7. TARTIŞMA 84
7.1. Faz değişimi sıcaklık farkının belirlenmesi 84
7.2. Sızdırmazlık testi değerlendirilmesi 84
7.3. Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FT-IR) değerlendirilmesi 84
7.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz değerlendirilmesi 86
8. SONUÇLAR 88
KAYNAKLAR 89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2. 1. Bazı ortak FDM grupları için birim hacim başına sıcaklık aralığı ve faz değişimi entalpisi 5
Şekil 2. 2. Faz değişim malzemelerinin sınıflandırılması 6
Şekil 2. 3. Organik faz değişim malzemeleri 8
Şekil 2. 4. FDM mikrokapsül fotoğrafı 20
Şekil 2. 5. Kimyasal Mikrokapsülleme yöntemleri; (a) yerinde polimerizasyon, (b) ara yüzey polimerizasyon, (c) süspansiyon polimerizasyonu, (d) emülsiyon polimerizasyonu 22
Şekil 2. 6. Polielektrolitlerin elektrostatik kaynaklı katmanlar halinde çökelmesinin şematik gösterimi 25
Şekil 2. 7. Katman katman polielektrolit emülsiyon kapsülleme sırasında çeşitli adımların şematik gösterimi 26
Şekil 2. 8..Mikrokapsül malzemelerinin sınıflandırılması 27
Şekil 2. 9. X-ışını difraktogramları, (a) toplu n-dokosan, (b) poliüretan kabuk (içi boş mikrokapsüller), (c) 10 mm mikrokapsüllere yüklenen n-dokosan, (d) 4 mm mikrokapsüller ve (e) 2 mm mikrokapsüller 29
Şekil 2. 10. Farklı CTAC konsantrasyonlarında hazırlanan n-oktadekan yüklenmiş silika nanokapsüllerin SEM ve TEM görüntüleri 30
Şekil 2. 11.FDM'nin enerji ile sıcaklık değişimi 32
Şekil 2. 12.TED sisteminin çalışma prosesi 33
Şekil 2. 13.FDM çalışma prensibi 33
Şekil 2. 14.Binalarda FDM uygulama alanları 34
Şekil 2. 15.FDM'nin farklı iki zemin uygulaması 35
Şekil 2. 16.Bina sistemlerinde kullanılan FDM sistemi 36
Şekil 2. 17.FDM dolgulu cam pencere sistemi 37
Şekil 2. 18.FDM'li ve FDM'siz güneş kırma sistemleri 38
Şekil 2. 19.Elektrikli yerden ısıtma sistemleri 39
Şekil 2. 20.Güneş ısıtma sistemi 40
Şekil 2. 21.Çatı malzemesi olarak kullanılan malzemeler 40
Şekil 2. 22.FDM destekli tavan sistemleri 41

Şekil 2. 23. Isıtma ve soğutma sisteminin mevsimlere göre şarj ve deşarj süreçleri.....42
Şekil 2. 24. Kan ve organ nakli için FDM içeren kaplar 44
Şekil 2. 25.Sıcaklığa duyarlı gıdaların taşınması.....45
Şekil 2. 26.Yemek firmalarının kullandığı sistem 45
Şekil 2. 27. Odun sobalarında TED sistemlerinin kullanım prosesi 46
Şekil 5. 1.FDM karıştırma düzeneği 68
Şekil 5. 2.Vakumlama işlemi 69
Şekil 5. 3.FT-IR (Cary 630) cihazı 72
Şekil 5. 4.Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) 72
Şekil 6. 1. Mer-İZ kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı 73
Şekil 6. 2.Labsa kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı 74
Şekil 6. 3.Dehyquart ACA (KB) kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı 74
Şekil 6. 4.Dehyton PK 45 kullanılarak üretilen FDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı.....75
Şekil 6. 5.GKK FT-IR spektrum grafiği 77
Şekil 6. 6.PEG-600 FT-IR spektrum grafiği.....78
Şekil 6. 7.Parafin FT-IR spektrum grafiği 78
Şekil 6. 8.Labsa FT-IR spektrum grafiği 79
Şekil 6. 9. Mer-İZ FT-IR spektrum grafiği.....79
Şekil 6. 10.CTAC FT-IR spektrum grafiği 80
Şekil 6. 11.KB FT-IR spektrum grafiği 81
Şekil 6. 12.FM-7 FT-IR spektrum grafiği.....81
Şekil 6. 13.FM-13 FT-IR spektrum grafiği.....81
Şekil 6. 14.FM-20 FT-IR spektrum grafiği.....82
Şekil 6. 15.FM-26 FT-IR spektrum grafiği.....82
Şekil 6. 16.FM-7 Kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği 83
Şekil 6. 17.FM-13 kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği 83
Şekil 6. 18.FM-20 kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği 84
Şekil 6. 19.FM-26 DSC analizi spektrum grafiği 84

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2. 1. Parafin ve tuz hidratlarının özelliklerinin karşılaştırılması 7
Çizelge 2. 2. Organik ve inorganik malzemelerin avantajları ve dezavantajları 7
Çizelge 2. 3.Parafin ve parafin olmayan FDM'lerin özellikleri 8
Çizelge 2. 4. Parafin ve rafine edilmemiş parafinlerin bazı termal özellikleri 9
Çizelge 2. 5. Parafin olmayan bazı malzemelerin özellikleri 10
Çizelge 2. 6. Sulu NaCl ve KCl çözeltileri için donma-erime ve alt soğutma aralıklar ..14
Çizelge 2. 7. Bazı ötektik FDM'lerin özellikleri verilmiştir.....16
Çizelge2.8.TED malzemelerinin seçim kriterleri, dezavantajları, avantajları ve zorlukları 17
Çizelge 2. 9.Tüm FDM'lerin avantaj ve dezavantajları.....19
Çizelge2.10.Çekirdek kabuklu FDM yapılarının kapsülleme yöntemlerinin sınıflandırılması 21
Çizelge 2. 11.FDM seçim kriterleri 31
Çizelge 3. 1. Karbon malzemeler kullanılarak yapılan bazı OFDM'ler ve termal özellikleri.....50
Çizelge 3. 2. Karbon yapıların özellikleri.....51
Çizelge 3. 3.FDM'lere yüklenen karbon nanotüplerin termal özellikleri.....52
Çizelge 3. 4.Karbon ilaveli ŞKFDM'lerin termal özellikleri 55
Çizelge 3. 5.Çalışmalarda kullanılan bazı karbon türleri.....57
Çizelge 5. 1.Sürfaktanların özellikleri 67
Çizelge 5. 2.MER-İZ kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi 69
Çizelge 5. 3.LABSA kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi.....69
Çizelge 5. 4.Dehyquart ACA (Kokoamidopropil Betain (KB)) kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi 70
Çizelge 5. 5.Dehyton PK 45 (Setil Trimetil Amonyum Klorür (CTAC)) kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi 70
Çizelge 6. 1.Elde edilen OFDM'numunelerinin sızdırmazlık test sonuçları 76
Çizelge 7.1. DSC analiz verilerine göre hesaplanan ısı depolama miktarı……..87

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

μ	: Mikron
μm	: Mikrometre
ΔH_F	: Erime sırasında gizli füzyon ısısı
%	: Yüzde değer
ark.,	: Arkadaşları
η	: Sızıntı yüzdesi
A_L	: Sızıntı alanı
A_R	: Referans alanı
$AlCl_3$	: Alüminyum klorür
KCl	: Potasyum klorür
$KClO_4$	: Potasyum perklorat
KNO_3	: Potasyum nitrat
kg	: Kilogram
kJ	: Kilokalori
^oC	: Santigrat sıcaklık
^oK	: Kelvin sıcaklık
Cp	: Özgül ısı
Q	: Depolanan ısı
dT	: Sıcaklık değişimi (K)
DC	: Doğru akım
NaCl	: Sodyum klorür
NiCad	: Nikel-kadmiyum
NiMH	: Nikel metal hidrit
Li-Ion	: Lityum-iyon
$LiNO_3$	: Lityum nitrat
LiH	: Lityum hidrid
H_2SO_4	: Sülfürik asit
PbO_2	: Kurşun oksit

Pb	: Kurşun
H_2O	: Su
H	: Hidrojen
O	: Oksijen
CO_2	: Karbondioksit
CH_2	: Metilen
CH_3	: Metil grubu
CH_4	: Metan
$NaNO_3$	: Sodyum nitrat
m	: Depolama malzemesinin kütlesi
mm	: Milimetre
MnH_2O	: Tuz hidratları
$MgCl_2$	: Magnezyum klorür
N	: Newton
ρCp	: Isı kapasitesi
SiO_2	: Silikon dioksit
TiO_2	: Titanyum dioksit
ZnO	: Çinko oksit

Kısaltmalar

CNT : Karbon nanotüp hibritleri

COP : Performans katsayısı

CTAC : Setil trimetil amonyum bromid - Dehyquart ACA

ÇKKNT : Çok katmanlı karbon nanotüp

DODAB : Dioktadesil dimetil amonyum bromür

DSC : Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı

EDS : Enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi

FDM : Faz değişim malzemesi

FT-IR : Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi

GG : Genişletilmiş grafen

GKK : Geri kazanılmış karbon

GIDM : Gizli ısı depolama mazlemeleri

GN : Nanografit

GNT : Grafen nanotrombosit

GO : Grafen oksit

HIDM : Hassas ısı depolama malzemeleri

ITS : Isı transfer sıvısı

KA : Karbon aerojel

KB : Kokoamidopropil Betain - Dehyton PK 45

KNF : Karbon nanofiber

KNT :Karbon nanotüp

LbL : Katman katman montaj teknolojisi

LNG : Sıvılaştırılmış doğalgaz

NG : Nanografit

OFDM : Organik faz değişim malzemesi

OKG : Azot katkılı grafen

PAR : Parafin

PDADMAC : Polidialilmetil amonyum klorit

PEG : Polietilen glikol

PEO : Polietilen oksit

PMMA : Polimetil metakrilat

POE : Polioksietilen

PSS : Polistiren sülfat

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

SGDG : Sıkıştırılmış genişletilmiş doğal grafit

SHS : Hissedilir ısı depolama

ŞKFDM : Şeklini koruyan faz değişim malzemeleri

TDM : Termokimyasal depolama malzemeleri

TDO : Termal depolama ortamı

TDS : Termal depolama sistemleri

TED : Termal enerji depolama

TEM : Taramalı elektron mikroskobu

TGA : Termogravimetrik analiz

TKKNT : Tek katmanlı karbon nanotüp

UPS : Kesintisiz güç kaynağı

Y : Yağ

xGNP : Pul pul dökülmüş nanotrombositler

1.GİRİŞ

Enerji, her çağda uygarlıkların ilerleyebilmesi ve insanların daha ferah bir yaşam sürdürebilmesi için önemli parametrelerden bir tanesini oluşturmaktadır. Enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların dünya üzerinde önümüzdeki 100 yıl içerisinde tükeneceği varsayılmaktadır. Bunun yanı sıra fosil yakıtların yakılması sonucu atmosferimizde zehirli gaz birikimi olmakta ve sürekli uzun vadede kullanımlarında çevreye zarar vermektedir. Bu sebeplerden dolayı yeni enerji kaynaklarına olan ihtiyacın önemi artmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş ışığından, rüzgardan, denizlerdeki gelgitlerden ve dalgalardan, biyokütlelerden ve jeotermal sistemlerden enerji üretebilmektedir. Enerjinin üretilebilmesi kadar depolanması da çok önemlidir. Enerji depolanarak taleplerin fazla olduğu dönemlerde taleplerin karşılanabilmesi veya enerjiye ihtiyaç duyulan zamanlarda depolanmış enerjinin kullanılabilir olması önemlidir. Bu nedenlerden dolayı enerji depolama sistemleri araştırılmaya ve kullanılan enerji depolama yöntemleride geliştirilmeye başlanmıştır. Enerji depolama sadece arz ve talep arasındaki uyumsuzluğu azaltmakla kalmaz,aynı zaman da enerji sistemlerinin performansını ve güvenirliğini arttırmak enerjinin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bir enerji depolama sistemindeki temel talepler, yüksek verimlilik, düşük kendi kendine deşarj, yüksek kapasite, yüksek şarj ve deşarj döngüleri, yüksek performans ve yüksek kamu kabulü ve düşük maliyetlerdir. Mevcut depolama teknolojileri ise tüm bu gereksinimleri karşılamamaktadır. (Sharma vd., 2007; Wagner, 2007)

Üretilen enerjinin birden fazla depolanma yöntemi bulunmaktadır.Bu depolama yöntemlerinden termal enerji depolama yöntemi enerjinin yüksek veya düşük sıcaklıklar içerisinde geçici olarak depolanması olarak tanımlanabilmektedir. Termal (ısıl) Enerji Depolama yöntemleri ısıl yöntem ve kimyasal yöntem olmak üzere ikiye ayrılır. Isıl yöntem duyulur ısı ve gizli ısıdan oluşurken, kimyasal yöntem tepkime ısısı, kimyasal ısı pompası ve termokimyasal ısı pompasından oluşur. Termal enerji depolama, bir malzemenin iç enerjisinde bulunan duyulan ısı, gizli ısı ve termokimyasal ısı veya bunların kombinasyonu olarak depolanabilir. Duyulur ısı depolama yönteminde, ısı depolama materyalin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ısıdır. Isı depolama

sıvı, katı ve sıvı ile katının beraber olduğu hibrit materyallerde yapılabilir. Çok sayıda depolama ve geri kazanma çevriminin gerçekleşebilmesi bu sistemin avantajı, gereksinim duyulan depo hacminin büyük olması ise dezavantajıdır.Gizli ısı maddenin faz değişimi sırasında çevreden aldığı veya verdiği ısıdır. Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi duyulur ısıya göre daha küçüktür.(Sharma vd., 2007)

Faz Değiştiren Maddeler (FDM, PCM, Phase Change Material) termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. Isı depolama materyalinin iç enerjisinin önemli oranda değişmesi, bu materyalin faz değiştirmesine neden olur. Uygun sıcaklık sınırlarında, depolama materyalinin faz değiştirmesi ile ortaya çıkan gizli ısı depolanabilir. Isı depolama amacıyla, belirli sıcaklıklarda faz değişimlerine uğrayan ve gizli ısı değerleri yüksek olan materyallerden yararlanılır. Isı depolamaya uygun faz değişimleri; katı-katı ve katı-sıvıdır. Sıvı-buhar faz değişimi, gaz fazın depolanmasının basınçlı depolama kaplarını gerektirmesi gibi karşılaşılan sorunlar nedeniyle ısı depolamaya uygun değildir.FDM'ler depoladıkları enerjiyi katı faza geçişleri sırasında bulundukları ortama serbest bırakır ve sıvı faza geçişleri sırasında ise ortamdan serbest bıraktığı miktar kadar enerjiyi geri alır. FDM'ler kullanılan malzemelerin özelliklerine göre büyük miktardaki enerjiyi depolayabilmektedir. FDM'lerin bazı kullanım alanları inşaat, tekstik, otomotiv ve elektronik sektörleridir. (Geete vd., 2017; Rathod vd., 2017; URL-1, 2020)

Katı-Sıvı FDM'ler organik veya inorganik malzemeler olarak ayrılmaktadır. Organik malzemeler parafin mumları, yağ asitleri ve polietilen glikoller (PEG)'dir. İnorganik malzemeler tuz hidratlar, tuzlar ve metalik bileşiklerdir.Kristalleşebilen ve korozif olmayan malzeme olarak bilinen Organik Faz Değişim Malzemeleri (OFDM)'ler parafin ve parafin olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. OFDM'ler faz ayırımı olmadan sıvı faza ve tekrar faz ayırımı olmadan katı faza geçebilmektedir. Bu durumun sürekliliği, OFDM'leri diğer FDM'lerden daha önemli hale getirmektedir. (Sharma vd., 2007)

Parafinler kimyasal olarak inert yapıya sahiptir ve geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilmektedirler. Aynı zamanda 500 °C'nin altında kararlı yapıda bulunmaktadır. Parafinlerin sıvı faz geçişleri sırasında az miktarda hacim değişimleri meydana gelmekte ve sıvı faza geçişleri sırasında düşük buhar basıncı oluşmaktadır. Parafinler kullanıldıkları sistemler içerisinde bir den fazla faz değişim işlemine tabi

tutulabilmektedir. Gizli ısı depolama sistemlerinde FDM olarak teknik sınıf parafinlerin kullanılması maliyet açısından daha uygundur.(Sharma vd., 2007)

Parafin olmayan OFDM'ler, farklı sistemlerde kullanılabilmesi için farklı türlerde bulunmaktadır. Bu malzemeler hem parafinlerin benzer özelliklerini hem de kendi özelliklerini taşımaktadır. Parafin olmayan malzemeler yağ asitleri, esterler, alkoller ve polietilen glikol (PEG) olarak incelenmektedir. Parafin olmayan bu maddelerin yanıcı ve aşındırıcı özellikleri bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklara, alevlere ve oksitleyicilere maruz bırakılmamalıdır. (Sharma vd., 2007)

Polietilen oksit (PEO) veya polioksietilen (POE) olarakta bilinen polietilen glikolün (PEG) sonun da hidroksil grubu olan dimetil eter zincirlerini içermektedir ($HO–CH_2–(CH_2–O–CH_2-)n–CH_2–OH$). Hem su içerisinde hem de organik bileşikler içerisinde çözünmektedir. PEG400 ve PEG600 gibi molekül ağırlıklarına göre değişen çeşitli PEG bileşikleri bulunmaktadır. Termal ve kimyasal olarak kararlı, yanıcı, toksik ve aşındırıcı olmamaları, düşük ısı iletkenliği ve uygun maliyetlere sahip olmaları gibi özelliklere sahiptir. (Prasad vd.,2019)

Sistemlerde kullanılan FDM'lerin düşük termal iletkenliği sebebiyle FDM'nin tüm potansiyelinin kullanımını engellemekte ve şarj – deşarj işlemleriyle ısı transferini yavaşlatmaktadır. FDM'lerin termal özelliklerini, gizli ısı kapasitelerini ve termal iletkenliklerini iyileştirme yöntemlerinden bir tanesi karbon nanoyapıların FDM'lere eklenmesidir. Karbon kaynağının FDM'lere etkilerini incelemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri; sıvı FDM'ye karbon nanotüp, karbon nanofer, grafen nanotrombosit ve genişletilmiş grafit ilave edilerek karıştırma ve çalkalama işlemlerinin uygulanmasıyla farklı yükleri içeren karbon nanoyapıların dağıtılması sonucunda nanokompozit karışımlar hazırlanmaktadır. Bu işlem ile karbonun FDM üzerindeki termal iletkenliği artmaktadır.(Amaral vd., 2017; Shchukina vd., 2018; Amaral vd., 2017)

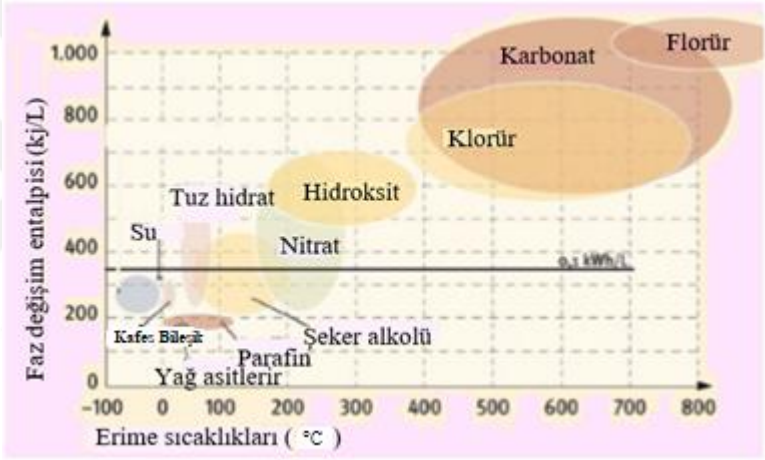
Yapılan bu çalışmada uygun maliyetli yüksek performanslı kararlı faz değişim malzemesinin basit bir yöntemle üretilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda; Parafin (PAR), PEG600, Sürfaktan(Labsa, Mer-İZ, Dehyquart ACA (CTAC) ve Dehyton PK 45) ve atık lastiğin kimyasal bozundurulması yöntemiyle elde edilmiş olan Geri Kazanılmış Karbon (GKK) kullanılarak farklı reçetelere bağlı kompozit OFDM malzeme numuneleri üretilmiştir. Çalışmada elde edilen numuneler sızıntı testi, FTIR

ve DSC analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, Geri Kazanılmış Karbon (GKK) diğer birçok karbon malzemesinde olduğu gibi gözenekli yapısından dolayı PAR, PEG ve Sürfaktanların adsorpsiyonu ve ısının depolanması için güvenilir bir adsorban materyali olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.(Amaral vd., 2017)

2. FAZ DEĞİŞİM MALZEMELERİ

Faz değişim malzemeleri (FDM) erime ve donma faz değişimleri sırasında termal enerjiyi depolayan ve serbest bırakan malzemelerdir. Faz değişiminde maddeler, depoladığı gizli ısıyı donma işlemi boyunca serbest bırakır ve erime işlemi süresince de serbest bıraktığı miktar kadar enerjiyi geri almaktadır. FDM'lerin faz değişim sıcaklığı ve faz değişim entalpilerinde farklılıklar bulunmaktadır. (Şekil 2.1.). (URL-1, 2020)

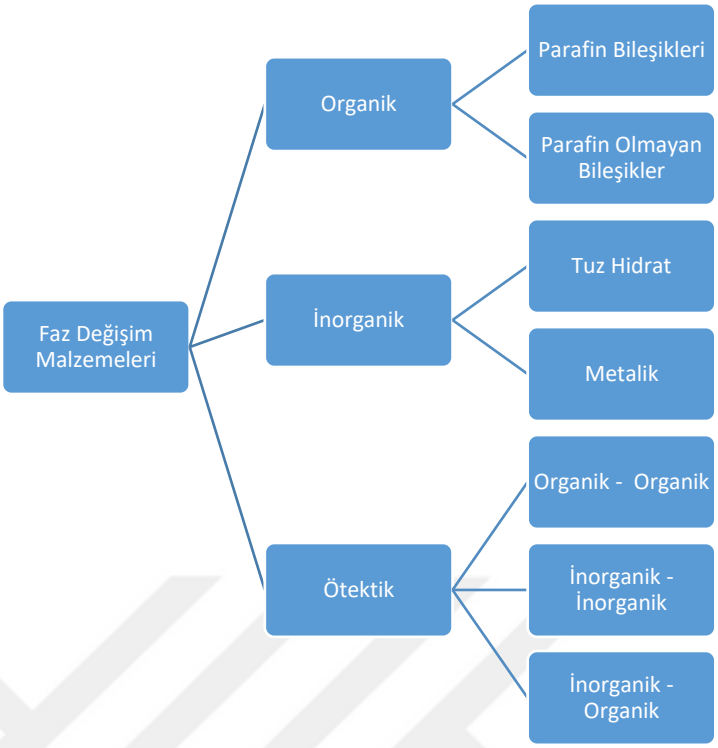
FDM'ler gıda ürünlerinin soğutulması, uzay araçları termal sistemleri, tekstil kumaşları, bina yalıtımı, enerji depolama sistemleri ve atık geri kazanım sistemleri gibi geniş uygulama alanına sahiptir. (Peng vd., 2020)



Şekil 2.1. Bazı ortak FDM grupları için birim hacim başına sıcaklık aralığı ve faz değişimi entalpisi. (Sevault vd.,2017)

2.1. Faz değişim malzemelerinin sınıflandırılması

Çalışılmak istenilen sıcaklık aralıkları için birden fazla faz değişim malzemeleri bulunmaktadır. FDM'lerin özelliklerine göre sınıflandırılması Şekil2.2.'de verilmiştir. Erime ve gizli füzyon ısısı olarak birden fazla organik ve inorganik kimyasal maddeler içermektedir. Sistemde kullanılacak olan FDM'nin seçiminde malzemelerin kullanılacağı sistem ve erime sıcaklık değeri gibiparametrelere bakılarak karar verilmelidir. (Sharma vd., 2007; Mazzucco vd., 2016)



Şekil 2.2. Faz değişim malzemelerinin sınıflandırılması. (Sharma vd., 2007)

FDM'ler faz değişim özelliklerine göre de sınıflandırılmaktadır. Katı-gaz ve sıvı-gaz faz değişimleri boyunca ortamdan yüksek miktarda enerji salınır ve gaz fazına geçiş sırasında FDM'lerde hacimsel olarak büyük değişimler meydana gelir. FDM'lerde ortaya çıkan hacimsel genişlemeden kaynaklı malzeme kaybının önlenebilmesi için sistemin özel koruyucu malzemelerden yapılması gerekmektedir. Katı-Katı FDM'ler düşük miktarda gizli ısıya sahip olduklarından dolayı uygulamalar da kullanım açısından uygun değildir. Katı-Sıvı FDM'ler, yüksek miktarda gizli ısının açığa çıktığı sistemlerdir ve hacim değişimleri sistem içerisinde kolaylıkla sağlanabilmektedir. Katı-Sıvı FDM'ler organik veya inorganik malzemeler olarak ayrılmaktadır. Organik malzemeler parafin mumları, yağ asitleri ve polietilen glikoller (PEG)'dir. İnorganik malzemeler tuz hidratlar, tuzlar ve metalik bileşiklerdir. FDM'lerin üretiminde kullanılan organik ve inorganik malzemelerin karşılaştırılması Çizelge 2.1.'de verilmiştir. Bu özelliklerine göre kullanım alanları farklılıklar göstermketedir. (Shchukina vd., 2018)

Çizelge 2. 1. Parafin ve tuz hidratlarının özelliklerinin karşılaştırılması. (Shchukina vd., 2018)

	PARAFİN	TUZ HİDRAT
Enerji yoğunluğu	125-200 $j.dm^{-3}$	250-400 $j.dm^{-3}$
Gizli ısı	150-200 $j.g^{-1}$	150-250 $j.g^{-1}$
T_M aralık	-60 ile 80 °C	5 ile 130 °C
Termal iletkenlik (katı faz)	0.2 $W.m^{-1}.K^{-1}$	0.7-1 $W.m^{-1}.K^{-1}$
Aşırı soğuma	Hayır	Evet
Eş Zamanli Erime	Evet	Hayir

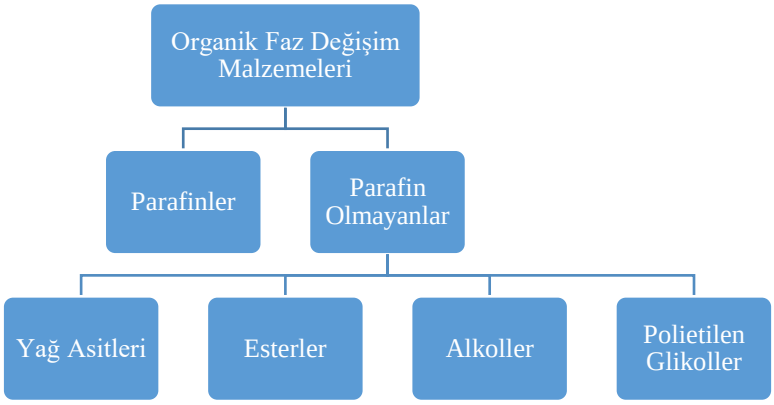
Organik ve inorganik FDM'lerin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. (Çizelge 2.2.). (Socacıu, 2012)

Çizelge 2. 2. Organik ve inorganik malzemelerin avantajları ve dezavantajları. (Socacıu, 2012)

	Organik	İnorganik
Avantajları	Aşındırıcı değil Düşük soğutma veya düşük soğuma Kimyasal ve termal kararlılık	Büyük faz değişim entalpisi
Dezavantaj	Düşük faz değişim entalpisi Düşük ısı iletkenliği Çabuk alev alma	Alt soğuma Aşınma Faz ayrımı, termal kararlılık eksikliği

2.1.1. Organik faz değişim malzemeleri (OFDM)

Kristalleşebilen ve korozif olmayan malzeme olarak bilinen OFDM'ler parafin ve parafin olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.3.). Organik FDM'lerin en önemli özellikleri, faz değişimi boyunca FDM üretiminde kullanılan malzemelerin uyum içerisinde faz değiştirmesidir. Organik FDM'leri, faz ayırımı olmadan sıvı faza ve tekrar faz ayırımı olmadan katı faza geçebilmektedir. Bu durumun sürekliliği, OFDM'leri diğer FDM'lerden daha önemli hale getirmektedir. (Sharma vd., 2007)



Şekil 2.3. Organik faz değişim malzemeleri. (Sharma vd., 2007)

Organik faz değişim malzemeleri olan parafin ve parafin olmayan malzemelerin avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.3.'te incelenmektedir. (Crespoa vd.,2018)

Çizelge 2.3.Parafin ve parafin olmayan FDM'lerin özellikleri. (Crespoa vd.,2018)

	Avantajları	Dezavantajları
Parafin malzemeler	Güvenli çalışma	Düşük ısı iletkenliğine sahip
	Emniyetli çalışma	Faz değişimi ile yüksek ses seviyesi değişimi
	Kullanım sırasında sonuçları öngörülebilir	
	Fiyat olarak uygun	Plastik saklama kapları ile uyumsuzluk
	Aşındırıcı özellikleri bulunmaz	Orta derece yanıcı
	Düşük buhar basıncına sahip	
Parafin olmayan malzemeler	Termal kararlılık	Oldukça yanıcı
	Kimyasal dayanıklılık	Düşük erime ısısı
	Korozif olmama	Düşük ısı iletkenliği
	Zehirsizlik	Düşük yanma noktası
	Kolay temin edilebilmeleri	Toksik
	Az soğutma / aşırı soğutma gibi özellikleri bulunmaz	Yükseksıcaklıklarda dengesizlik
	Dar sıcaklık aralığı	

2.1.1.1. Parafin malzemeler

Parafinler çoğunlukla düz zincir n-alkanlar (CH_3-$(CH_2)_n$-CH_3)karışımından oluşmaktadır. CH_3 zincirinin kristalleşmesi sırasında büyük miktarda gizli ısı ortaya çıkmaktadır. Erime sıcaklıkları ve gizli ısı depolama özelliklerindeki değişimler malzemelerin zincir uzunluğuna göre farklılık göstermektedir. Parafinler kimyasal

olarak inert yapıya sahiptir ve geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilmektedirler. Aynı zamanda 500 °C'nin altında kararlı yapıda bulmaktadır. Parafinlerin sıvı faz geçişleri sırasında az miktarda hacim değişimleri meydana gelmekte ve sıvı faza geçişleri sırasında düşük buhar basıncı oluşmaktadır. Parafinler kullanıldıkları sistemler içerisinde bir den fazla faz değişim işlemine tabi tutulabilmektedir. Gizli ısı depolama sistemlerinde FDM olarak teknik sınıf parafinlerin kullanılması maliyet açısından daha uygundur. Parafinler güvenli bir yapıya sahip olduklarından dolayı sistem içerisinde kullanımları sırasında yapılan işlemlere göre yaşanacak aksaklıklar tahmin edilebilmektedir. Parafin karışımları ve parafinin içerisinde bulunan yağların rafine edilmediği bazı teknik sınıf parafinlerin termal özelliklerinde farklılıklar görülebilmektedir (Çizelge 2.4.). (Hale vd., 1971; Sharma vd., 2007)

Çizelge 2.4. Parafin ve rafine edilmemiş parafinlerin bazı termal özellikleri. (Sharma vd., 2007)

Parafin[a]	Donma Noktası/Aralığı (^{o}C)	Erime Isısı (kJ/kg)	Grup[b]
6106	42-44	189	I
P116[c]	45-48	210	I
5838	48-50	189	I
6035	58-60	189	I
6403	62-64	189	I
6499	66-68	189	I

[a] Teknik Sınıf Parafin 6106, 5838, 6035, 6403 ve 6499 üreticisi: Ter Hell Parafin Hamburg, FRG.
[b] Grup I, en umut verici; grup II, umut verici; grup III, daha az umut verici; - yetersiz veri.
[c] Parafin P116 üreticisi: Sun Company, ABD.

2.1.1.2. Parafin olmayan malzemeler

Parafin olmayan OFDM'ler, farklı sistemlerde kullanılabilmesi için farklı türlerde bulunmaktadır. Bu malzemeler hem parafinlerin benzer özelliklerini hem de kendi özelliklerini taşımaktadır (Çizelge 2.5.). Parafin olmayan malzemeler yağ asitleri, esterler, alkoller ve polietilen glikol olarak incelenmektedir. Bu maddelerin yanıcı ve aşındırıcı özellikleri bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklara, alevlere ve oksitleyicilere maruz bırakılmamalıdır. (Sharma vd., 2007)

Çizelge 2.5. Parafin olmayan bazı malzemelerin özellikleri. (Sharma vd., 2007)

Malzeme	Erime noktası (^{o}C)	Gizli ısı (kJ/kg)	Grup[a]
Formik asit	7.8	247	III
Kaprilik asit	16.3	149	-
Gliserin	17.9	198.7	III
D-Lattik asit	26	184	I
Metil palmitat	29	205	II
Kamfenilon	39	205	II
Docasil bromür	40	201	II
Kaprilon	40	259	II
Fenol	41	120	III
Heptadekanon	41	201	II
1 - sikloheksilooktadekan	41	218	II
4 – heptadakanon	41	197	II
ρ– joluidin	43.3	167	-
Siyanamid	44	209	II
Metil eikosanat	45	230	II
3 – heptadekanon	48	218	II
2 – heptadekanon	48	218	II
Hidrosinnamik asit	48.0	118	-
Setil alkol	49.3	141	-
a – neptilamin	50.0	93	-
Kamfen	50	238	III
O – nitroaniline	50.0	93	-
9 – heptadekanon	51	213	II
Timol	51.5	115	-
Metil behenate	52	234	II
Difenil amin	52.9	107	-
ρ-diklorobenzen	53.1	121	-
Oksolat	54.3	178	-
Hipofosforik asit	55	233	II
O-ksilen diklorür	55.0	121	-
b-kloroasetik asit	56.0	147	III
Kloroasetik asit	56	130	III
Nitro naftalin	56.7	103	-
Trimiristin	35 – 57	201 – 213	I
Heptaudekanoik asit	60.6	189	II
a-kloroasetik asit	61.2	130	-
Arı balmumu	61.8	177	II
Glikolik asit	63	109	-
ρ-bromofenol	63.5	86	-
Azobenzen	67.1	121	-
Akrilik asit	68.0	115	-
Dinto toluent (2.4)	70.0	111	-
Fenilasetik asit	76.7	102	-
Tiyosinamin	77.0	140	-
Bromcamphor	77	173	-
Durene	79.3	156	-
Benzilamin	78.0	174	-
Metil brombrenzoat	81	126	-
Alfa napthol	96	163	-

Glautarik asit	97.5	156	-
ρ-Ksilen diklorür	100	138.7	-
Katekol	104.3	207	III
Kinon	115	171	II
Asetanilid	118.9	222	II
Süksinik anhidrit	119	204	II
Benzoik asit	121.7	142.8	III
Stibene	124	167	-
Benzamid	127.2	169.4	III

[a] grup I, en umut verici; grup II, umut verici; grup III, Daha az umut verici; - yetersiz veri.

a. Yağ asitleri

Geniş bir sıcaklık aralığında çalışan birden fazla potansiyel organik FDM'ler bulunmaktadır. Petrol bazlı parafin (n-alkanlar) malzemeleri bu süreçte önem kazanmakta ve FDM olarak kullanılmaktadır. Miristik, laurik, palmitik ve stearik asit kullanılarak çok fazla FDM çalışmaların yapılması, bu malzemeler hakkında fazla bilgi edinilmesine katkı sağlamaktadır, fakat doymamış yağ asitleri hakkında ise az bilgi bulunmaktadır. Bunun nedeni kullanılan malzemelerin oksidasyon duyarlılıkları hakkında çok fazla bilgiye sahip olunmamasındandır. Yağ asitlerinin erime ve katılaşma sıcaklıkları yaklaşık olarak 0 – 80 °C arasında değişkenlik göstermektedir. Yağ asitleri alkil zincirinde bulunan karbon atomlarının sayısı arttıkça erime - katılaşma sıcaklık değeri de artar.Homolog yağ asitlerinde tek – çift sayıya sahip karbon atomu içeren zincirlerin erime noktalarında fark edilebilir bir değişim bulunmaktadır. Yağ asitleri toksik olmayan malzemeler olarak kabul edilmektedir. Faz değişimlerinin katılaşmaları boyunca küçük hacim değişikliklerinin meydana geldiği gözlenmektedir ve erime gizli ısısı 140 – 220 kJ/kg ve 1,9 – 2,1 J/g.°C aralığındadeğişmektedir. Sistemlerde teknik sınıf parafinin kullanım maliyeti fazladır. Yağ asitleri genellikledüşük ısı iletkenliğine, orta derecede yanıcılığa ve aşındırma gibi özellikleresahiptirler. (Kenar, 2014; Sharma vd., 2007)

b. Esterler

Yağ asitlerinin istenmeyen aşındırıcı yönlerinin azaltılması amacıyla yağ asidi esterleri kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan yağ asit esterlerimetil, etil ve izopropil esterleridir. Yağ asitlerine benzer yaygın olarak kullanılan yağ asit esterleri de ani faz geçişlerine ve gizli enerji özelliklerine sahip ötektik karışımlardan oluşmaktadır. Yağ asit esterlerinin erime faz değişimleri boyunca ortaya çıkan gizli enerji miktarları, yağ

asitlerinde ortaya çıkan enerji miktarından daha düşüktür. Alkol zincirleri yaklaşık yedi karbon atomuna kadar arttığından dolayı belirli bir yağ asidi için erime noktası minimum seviyelere düşmekte ve daha sonra alkol zincir uzunluğunun artmasına bağlı olarak esterin erime noktası artmaktadır. Uzun zincirli FDM esterlerinin uygulamalarda kullanılabilirlikleri incelenmiş ve esterlerin erime noktalarına karşılık gelen yağ asitlerine göre çıkan enerjinin daha düşük olduğu fakat gizli ısı özelliklerinin de daha iyi olduğu belirlenmiştir. 14 karbonlu miristik asitin erime noktası ve entalpi değerleri sırasıyla yaklaşık 53°C ve 186 – 204 kJ/kg'dır. Miristik, laurik, palmitikasitler ve stearik alkollerin uzun zincirli esterlerinin erime noktaları sırasıyla yaklaşık olarak 44 – 45 °C, 38 – 40 °C, 48 – 50 °Cve 49 – 53 °C'dir ve entalpi değerleri de sırasıyla 210, 208, 214 ve 222 kJ/kg'dır. Birden fazla yağ asidi ve ester malzemeleri için erime noktası eğrileri bilinmesine rağmen ester malzemelerinin yapısı ve faz değişim sırasında ortaya çıkabilecek durumlar ve performansların nasıl etkilendiği tam olarak bilinmemektedir. (Kenar, 2014; Knothe vd.2009)

c. Alkoller

FDM'lerde destekleyici olarak kullanılan diğer bir malzeme yağlı alkollerdir. Karbon atomlarının sayısının artmasına bağlı olarak yağlı alkollerin erime noktası doğru orantılı olarak artmaktadır. Karbon atom sayısı 8-20 olduğunda erime noktası -15 – 65 °C'dir. Bu malzemelerin gizli ısı değerlerinin 187 – 260 kJ/kg arasında değiştiği görülmektedir. Sistemlerde kullanılabilirliği bulunan FDM'ler arasında dikarboksilik asit, ester, 1.4-bütandiol, pentaeritritol, uzun zincirli amid ve simetrik uzun zincirli karbonat ester, çeşitli diol ve polioller gösterilebilir. (Kenar, 2014; Dunkin vd., 2005)

d. Polietilen glikoller

Polietilen oksit (PEO) veya polioksietilen (POE) olarakta bilinen polietilen glikolün (PEG) sonun da hidroksil grubu olan dimetil eter zincirlerini içermektedir ($HO–CH_2–(CH_2–O–CH_2-)n–CH_2–OH$). Hem su içerisinde hem de organik bileşikler içerisinde çözünmektedir. PEG400 ve PEG600 gibi molekül ağırlıklarına göre değişen çeşitli PEG bileşikleri bulunmaktadır. Termal ve kimyasal olarak kararlı, yanıcı, toksik ve aşındırıcı olmamaları, düşük ısı iletkenliği ve uygun maliyetlere sahip olmaları gibi özelliklere sahiptir. (Prasad vd.,2019)

2.1.2. İnorganik faz değişim malzemeleri

İnorganik FDM'ler, su ile doğal tuzlardan yapılan, tasarlanan ve hidratlanan tuz çözeltileridir. Tuzların kimyasal bileşimi, gerekli faz değişim sıcaklıklarına ulaşmak için karışım içerisinde oranlı olarak değiştirilerek kullanılmaktadır. Karışımda tuz ayrışması ve super soğutmayı en aza indirmek için karışıma özel ajanlar (tuz hidratları (MnH_2O)) ilave edilmektedir. Kullanılan malzeme yüksek yoğunluklu ve yüksek erime entalpisine sahip olduğu için geniş bir uygulama alanına sahiptir. İnorganik FDM'lerin aşırı soğutulması sistemlerdeki uygulamalarda sorunlara sebep olmaktadır. Katı-sıvı faz geçişleri boyunca malzemelerin bir kısmının sıvı faza geçiş yapamayarak katı fazda kalmasından dolayı verilen enerji sistem içerisinde eşit yayılmamaktadır. Bu özelliklerinin yanı sıra, zayıf bir stabiliteye sahiptir ve doğada aşındırıcı olarak bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, kullanımlarında korozyona dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. (Anusha, 2016)

2.1.2.1. Tuz hidratları

Tuz hidratları genellikle düşük sıcaklık (30-50 °C) aralıklarında kullanılmaktadır. Tuz hidratlarının genel formulleri $AxBy{\cdot}nH_2O$'dir. Kristalimsi katı oluşturan organik tuz ve su alaşımları olarak kabul edilmektedir. AxBy metal karbonat, sülfat, asetat, fosfat, klorür veya nitrit anlamına gelmekte ve n ise su molekül sayısını ifade etmektedir. (Prasad vd., 2019; Sharma vd., 2007)

$$AB{\cdot}nH_2O \rightarrow ABmH_2O + (n\text{-}m)\ H_2O \quad (2.1)$$

$$AB{\cdot}nH_2O \rightarrow AB + nH_2O \quad (2.2)$$

Kimyasal bağları iyon-dipol (bir iyon ve bir polar molekül) veya H-H bağlarıdır. Faz değişim erime noktalarında hidrat kristalleri susuz tuz ve suya veya daha düşük hidrat ve su olarak ayrılmaktadır. Çoğu tuz hidrattan kaynaklı problemler de kristalizasyon sırasında salınan suyun mevcut tüm katı fazlarını çözmek için yeterli olmadığından dolayı faz değişimleri sırasında uyumsuz bir erime meydana gelmektedir. En önemli teknik sorun olarak termal iletkenliklerinin düşük olması gösterilmektedir (1 W/m.K). Yoğunluk farklarından kaynaklı düşük hidrat kabın dibine çökmektedir. Çeşitli inorganik tuzlar, $NaNO_3$, $LiNO_3$, LiH, $AlCl_3$, $KClO_4$, $MgCl_2$, ve KNO_3 dahil olmak üzere enerji depolama için kullanılan potansiyel FDM'lerdendir. Farklı olarak kullanılabilir potansiyel tuz hidratları arasında $Ba(OH)_2{\cdot}8H_2O$,

$MgCl_2 \cdot 6H_2O$,$(NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ve $Na_2P_2O_7 \cdot 10H_2O$ bulunmaktadır. Tuz nemlendirildiğinde su moleküllerinin bir kısmı veya tamamı kaybolduğundan dolayı gizli ısıyı absorbe ederken de dehidrasyonla suyu serbest bırakmaktadır. Bu dehidrasyon ve hidrasyon, katı-sıvı faz dönüşümü şeklinde olabilmektedir. (Prasad vd., 2019; Sharma vd., 2007)

Soğutma uygulamaları ve soğuk depolama sistemleri için FDM olarak sodyum klorür (NaCl) ve potasyım klorürün (KCI) sulu tuz çözeltileri incelenmiştir (Çizelge2.6.). (Oro vd., 2012)

Çizelge 2.6. Sulu NaCl ve KCl çözeltileri için donma-erime ve alt soğutma aralıkları. (Oro vd., 2012)

Çözeltiler	Alt Soğutma (^oC)	Donma Sıcaklığı (^oC)	Erime Sıcaklığı(^oC)	ΔT
%5 NaCl	3.87	-3.87/-4.27	-4.87/-3.18	3.04
%10 NaCl	6.28	-7.60/-7.70	-7.80/-6.10	6.56
%15 NaCl	5.30	-15.19/-15.29	-10.40/-9.20	10.88
%20 NaCl	2.79	-18.22/-17.92	-18.92/-14.62	16.45
%21 NaCl	2.20	-18.46/-18.36	-18.36/-18.26	17.77
%22 NaCl	1.60	-21.95/-21.85	-20.15/-19.65	19.17
%23 NaCl	0.20	-20.89/-21.39	-22.39/-20.89	20.66
%24 NaCl	0.30	-20.19/-19.79	-22.08/-19.59	-
%5 KCl	1.59	-3.38/-3.58	-3.28/-2.08	2.32
%10 KCl	7.48	-6.60/-7.10	-11.79/-6.00	4.80
%15 KCl	4.40	-12.80/-13.20	-11.40/-9.60	-
%20 KCl	5.59	-12.93/-13.13	-10.23/-9.43	-
%21 KCl	4.80	-10.35/-10.65	-10.15/-9.65	-
%22 KCl	6.90	-10.45/-11.25	-10.95/-9.15	-
%23 KCl	7.48	-12.12/-12.82	-12/-9.83	-
%24 KCl	5.10	-10.80/-11.10	-11.10/-9.10	-

2.1.2.2. Metalik

Metaller ve metal alaşımları düşük, orta ve yüksek sıcaklık aralıklarında FDM olarak kullanılabilmektedir. Düşük ve orta sıcaklıktaki uygulamalara uygun metaller arasında erime sıcaklığı 30 °C olan galyum ve sezyum, erime sıcaklığı 100-200 °C olan indiyum, kalay ve bizmut bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki uygulamalar da 400 °C ile 700 °C arasında alüminyum, çinko ve magnezyum kullanılabilir. Metaller ve metal alaşımları düşük termal iletkenlikten etkilenmeyen tek FDM grubudur. Bu FDM'lerin

çoğu güvenli ve kullanımı kolay malzemelerden oluşmaktadır. Ancak düşük gizli ısılara ve yüksek yoğunluklara sahip olduklarından uygulama sırasında fazla miktarda kullanılmaları gerekmektedir. Bunun durumda yüksek kütleler ortaya çıkmaktadır. Düşük sıcaklık rejimlerine sahip galyum ve sezyuma benzer organik malzemeler ile karşılaştırıldığında gizli ısı depolamaları düşüktür. Yüksek çalışma sıcaklıklarında metalik malzemeler, benzer FDM'ler ile kıyaslandığında benzer gizli ısıl özellik sergilemektedir. Bu yüzden yüksek sıcaklıkta çalışan sistemler de metalik FDM kullanımları daha uygundur. (Sevault vd., 2017)

2.1.3. Ötektik faz değişim malzemeleri

Ötektik FDM'lerin ikili karışımlarında, iki bileşenden oluşan doygun ve en düşük donma sıcaklığına sahip olan çözeltiye ötektik sıvı, bu sıvıların oluşmasını sağlayan bileşime ötektik bileşim denir. FDM'lerin bileşimleri sabit kalarak, sıvının tamamının donduğu sabit sıcaklığı ötektik sıcaklık denir. Ötektik FDM'ler en az iki FDM'nin karışımından elde edilmektedir. Organik-organik, organik-inorganik veya inorganik-inorganik olabilmektedir. Saf maddeler gibi ötektik FDM'ler çok keskin erime ve çözülme noktalarına sahiptir. Ötektik FDM'lerin çoğu, faz ayrımı görülmeden fazlarını değiştirmektedir. Depolama yoğunlukları organik bileşiklerle kıyaslandığında biraz daha yüksektir. Ötektik FDM'lerin termal iletkenliği, tuz hidrat FDM'lere kıyasla daha yüksek veya aynıdır. Ötektik FDM'lerin termofiziksel özellikleri ile ilgili sınırlı veri bulunmaktadır (Çizelge 2.7.). (Waqas vd., 2018; Soytürk, 2018)

Çizelge 2.7. Bazı ötektik FDM'lerin özellikleri verilmiştir. (Cunha vd., 2019)

Ötektik Bileşikler	Kütle Oranı	T_m	ΔH_m	Cp_s	$Cp_ı$	λ_s	$\lambda ı$	ρ_s	$E_{yoğunluk}$	Fiyat	
		^oC	kj/kg	J/kg.K		mW/m.K		Kg/m^3	kWh/m^3	£/m^3	£/kWh
Üre-KCl	89-11	115	227	1690	1960	830	0.60	1370	83	197	2.4
$LiNO_3 – NaNO_3 – KNO_3$	30-1852	123	140	1170	1440	790	530	2068	79	1979	25
$LiNO_3 – KNO_3$	34-66	133	150	1170	1350	960	520	2018	82	2167	26
$KNO_3 – NaNO_2$	56-44	141	97	1180	1740	730	570	1994	52	504	9.7
$KNO_3 – NaNO_3 – NaNO_2$	53-641	142	110	1170	1730	720	570	2006	60	497	8.3
$KNO_2 – NaNO_3$	48-52	149	124	1050	1630	580	520	2080	70	994	14
$LiNO_3 – NaNO_2$	62-38	156	233	1570	1910	1120	660	2296	143	3816	27
$LiNO_3 – KCl$	58-42	160	272	1260	1350	1310	590	2196	161	3409	21
$LiNO_3 – NaNO_3 – KCl$	45-505	160	266	1320	1690	880	590	2297	166	2852	17
HCOONa – HCOOK	45-55	176	175	1150	930	630	430	1913	92	421	4.6
$LiOH – LiNO_3$	19-81	183	352	1600	2000	1330	690	2124	202	5165	26
$LiNO_3 – NaNO_3$	49-51	194	262	1350	1720	870	590	2317	165	3084	19
$LiNO_3 – NaCl$	87-13	208	369	1540	1560	1350	630	2350	235	5254	22
$KNO_3 – KOH$	80-20	214	83	1030	1350	880	540	1905	43	611	14
$KNO_3 – NaNO_3$	55-45	222	110	1010	1490	730	510	2028	61	482	8.0
$LiBr – LiNO_3$	27-23	228	279	1340	1380	1140	570	2603	196	6134	31
$LiOH – NaNO_3 – NaOH$	6-6727	230	184	1300	2000	780	670	2154	107	538	5.0
$NaNO_2 – NaNO_3$	55-45	233	163	1310	2130	590	640	2210	97	382	3.9
$CaCl_2 – LiNO_3$	13-87	238	317	1500	1530	1370	690	2362	204	5325	26
$LiCl – LiNO_3$	9-91	244	342	1580	1610	1370	640	2351	218	6019	28
$NaNO_3 – NaOH$	86-14	250	160	1190	1860	660	600	2241	97	339	3.5

2.1.4. Faz değişim malzemeleri farklılıkları ve benzerlikleri

Literatürlerdeki çalışmalar baz alındığında son teknolojilere göre termal depolama sistemleri (TDS) için seçim kriterleri, dezavantajları, avantajları ve zorlukları özetlenmektedir (Çizelge 2.8.). Uygun TDS malzemesinin seçimi için termal, fiziksel, kinetik, kimyasal ve ekonomik parametreler gözardı edilmemelidir. Malzeme grupları için gösterilen dezavantajlar, daha etkili sistemlerin kurulması için önemlidir. (Lizana vd.,2017)

Çizelge 2.8.TED malzemelerinin seçim kriterleri, dezavantajları, avantajları vezorlukları. (Lizana vd., 2017)

TDM Materyal	**Özelikler**	**Seçim Kriterleri**	**Dezavantaj**	**Avantaj**	**Zorluklar**
HIDM (Duyulan Isı Depolama Malzemeleri)		-Özgül ısı kapasitesi>2000 kJ/m^{3}K	-Yüksek ısı kayıpları -Kendi deşarj	-Kolay tabakalaşma	-Isı kaybını azaltma
HIDM (Duyulan Isı Depolama Malzemeleri) **GIDM** (Gizli ısı depolama malzemeleri)	Termal	-Isı iletkenliği>0.6 W/m^{o}C -Termal yayılım> 0.5 mm^2/s	-Düşük depolama yoğunluğu		-Ünitelerin süper yalıtımı
	Fiziksel	-Yoğunluk>1000 kg/m^3	-Büyük hacimler	-Pompalanabilir sıvı	
	Kimyasal	- Uyumluluk		-Uzun vadeli istikrar ve güvenilirlik - Çevre dostu	
	Ekonomik	-Maliyet<10 €/m^3	-Yüksek inşaat maliyeti	-Düşük maliyet	-Ultra ucuz depolama
	Termal	-Uygun faz değişim sıcaklığı -Faz değişikliği entalpisi> 200 kJ/kg -Her iki fazda da özgül ısı kapasitesi> 2000 kJ/m^{3}K Her iki fazda termal iletkenlik> 0.6 W/m^{o}C	-Termal iletkenlik -Her fiziksel durumda farklı ısı transferi -Düşük termal kararlılık ve güvenilirlik	-Kısa sıcaklık aralığında yüksek depolama yoğunluğu -Sabit çalışma sıcaklığı	-Isı iletkenliğinin arttırılması -Yüksek termal güvenilirlik.
GIDM (Gizli ısı depolama malzemeleri)		-Yoğunluk> 1000 kg/m3	-Pompalanabilir değil	-Daha büyük tasarım esnekliği	-Pompalanabilir malzemelerin geliştirilmesi
	Fiziksel	- Düşük yoğunluk değişimi	- Ses seviyesi değişimi		
	Kinetik	-Aşırı soğutma değil	- Soğutma -Kristalizasyon		

TDM (Termokimyasal depolama malzemeleri)	Kimyasal	-5000 döngüden sonra kimyasal kararlılık -Uyumluluk ve güvenlik	- Faz ayrımı -Toksisite -Koroziflik		-Yüksek kimyasal kararlılık
	Ekonomik	-Maliyeti <8 €/kg	-Yüksek maliyet		-Düşük maliyetli çözümler
	Termal	-Uygun şarj / deşarj sıcaklığı -Volumetrik depolama kapasitesi> 1000 MJ/m^3 -Termal transfer kapasitesi -Termal döngü> 5000	-Yüksek yoğunluklu koşullar altında düşük ısı ve kütle aktarım özelliği -Termal güvenilirlik -Prototiplerin düşük hacimsel depolama kapasitesi	-Yüksek depolama yoğunluğu -İhmal edilebilir ısı kayıpları	-Termal transfer kapasitesinin iyileştirilmesi -Gerçekçi koşullar altında maddi davranış bilgisi -Nihai çözümlerin daha yüksek depolama kapasitesi
TDM (Termokimyasal depolama malzemeleri)	Fiziksel	- Düşük işletme basıncı			
	Kinetik	- Reaksiyon kinetiği			
	Kimyasal	- 5000 döngüden sonra kimyasal kararlılık - Uyumluluk	- Düşük kimyasal kararlılık		- Daha yüksek kimyasal kararlılık
	Ekonomik	- Rekabetçi maliyet	- Yüksek maliyet		- Ucuz çözümler

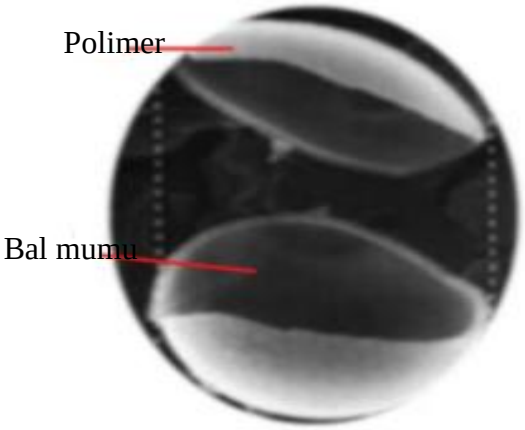
Faz değişim malzeme gruplarının avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Çizelge 2.9.). (Waqas vd.,2018)

Çizelge 2.9.Tüm FDM'lerin avantaj ve dezavantajları. (Waqas vd.,2018)

FDM Grupları	Avantaj	Dezavantaj
Organik FDM	-Aşırı soğutma ve korozyon sorunu yok - Kimyasal olarak kararlı -Farklı PCM kapları ile iyi uyumluluk -Uygulama talebini karşılayan istenilen sıcaklık aralıklarında mevcuttur	-Son derece yanıcı -Çok düşük ısı iletkenliği -Daha büyük hacim değişiklikleri -Teknik sınıf PCM'lerin maliyeti yüksektir
İnorganik FDM	-Yüksek ısı iletkenliği ile birlikte yüksek gizli ısı -Erime ve katılaşma sırasında düşük hacim değişiklikleri -Yanıcı değildir -Kolaylıkla düşük maliyet	-Oldukça aşındırıcı -İstenilen sonuçları etkileyebilecek büyük derecede aşırı soğutma ve aşırı soğutma -PCM konteynerini ve kapsülasyonu bozabilecek aşındırıcı doğa -Mikro ve nano kapsülleme teknikleriyle uyumlu değildir
Ötektik FDM	-Saf bir madde gibi keskin faz değişim sıcaklığı -Diğer tiplere kıyasla daha yüksek ısı iletkenliği -Birim hacim başına termal depolama yoğunluğu çok yüksektir -Erime ve katılaştırma işlemi sırasında faz ayrımı sorunları çok sınırlıdır	-Maliyetli ve sınırlı kullanılabilirlik -Termofiziksel özellikler hakkında çok sınırlı veri mevcuttur

2.1.5. FDM'nin mikrokapsüllenmesi

FDM'nin mikrokapsülasyonu, küçük FDM parçacıklarının veya damlacıklarının bir kaplama malzemesi ile çevrelendiği homojen veya heterojen bir matrikse eklenerek fiziksel veya kimyasal işlemler sonucunda üretilmektedir (Çizelge 2.10.). Mikrokapsüller (Şekil 2.4.), parafinik FDM'lerden elde edilen çekirdek malzemesini ayrı ayrı sert bir polimerik kabukla çevreleyen ve >1mm ve/veya <1 μm'den (genellikle 5-10 mm çapında) katı, sıvı veya gaz parçacıklarıdır. FDM mikrokapsül çekirdeğini ve polimerik malzeme ise mikrokapsül kabuğunu oluşturmaktadır. Mikrokapsüller FDM'nin hacim değişikliklerine izin vererek FDM'nin dış çevreyle reaksiyonunu ve etkileşimini azaltmaktadır. Kapsülleme teknolojisinde FDM'lerin küçük hacim kaplamalarından dolayı sızıntı riski yaşanmamaktadır. Kapsüller küçük çapları nedeniyle düşük ısı iletkenliğine sahiptir. FDM'ler artan yüzey alanlarına bağlı olarak bulunduğu ortam için gelişmiş ısı transferi sağlayabilmektedir. (Sevault vd. 2017; Socaciu, 2012; Ostrý vd. 2015; Anusha vd. 2016)



Şekil 2.4. FDM mikrokapsül fotoğrafı. (Socaciu, 2012)

FDM'lerin kapsüllenmesi sırasında bazı problemlerle karşılaşılmaktadır. Bu problemler;

- Sıvı metal ve erimiş tuzlar genellikle bazı kabuk malzemelerin (metal kabuklar) kullanımlarında yüksek kimyasal korozyona sebep olmaktadır.
- Katı-Sıvı faz geçişleri sırasında genellikle hacim genişlemesi ortaya çıkmasına bağlı olarak malzemelerde termal gerilim oluşmaktadır.
- Yukarıda verilen sorunları gidermek için ısı depolama yoğunluğunun düşmesini sağlayan kalın kabuklar kullanılmaktadır. (Tudor, 2018)

Çizelge 2.10.Çekirdek kabuklu FDM yapılarının kapsülleme yöntemlerinin sınıflandırılması. (Sevault vd. 2017)

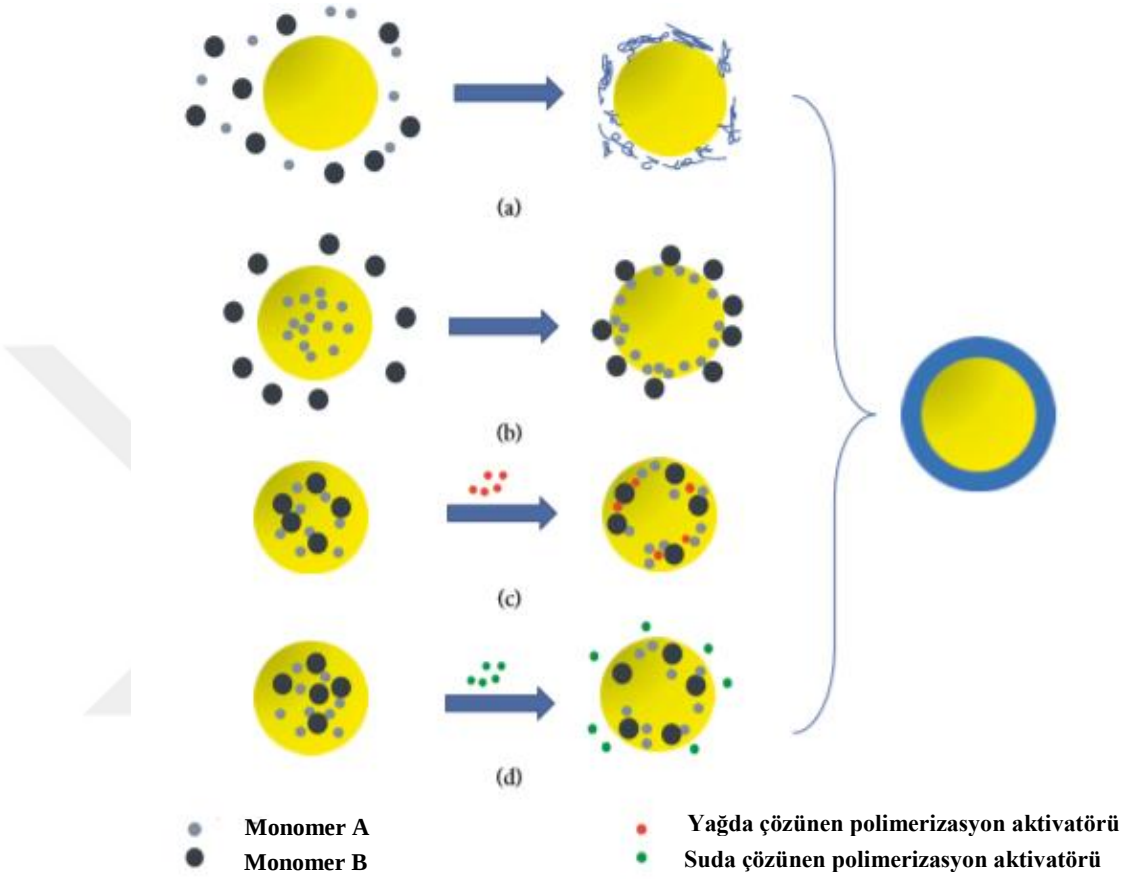
METOD		ORGANİK	İNORGANİK
Kimyasal	Süspansiyon polimerizasyonu	Evet	Hayır
	Dağılım	Evet	Hayır
	Emülsiyon	Evet	Evet
	Yerinde polimerizasyon	Evet	Evet
	Arayüzey polimerizasyon	Evet	Evet
	Elektroliz	Evet	Evet
Fiziksel	Faz ayrımı yöntemi (Koaservasyon)	Evet	Hayır
	Sol-Jel işlemi	Evet	Evet
	Süperkritik CO_2 destekli yöntemi	Evet	Hayır
	Sprey kurutma	Evet	Hayır
	Elektrostatik kapsülleme	Evet	Hayır
	Tek adımlı yöntem	Evet	Hayır
Mekanik ambalaj	-	Evet	Evet
Mekanik + Galvanik (Kimyasal etkiyle oluşturulan elektrik akımı)	-	Hayır	Evet

2.1.5.1. Kimyasal Yöntem

Kimyasal mikrokapsülleme yöntemleri, bir yağ-su ara yüzeyinde kabuk oluşturmak amacıyla hammadde olarak monomerler, oligomerler veya önpolimerler polimerizasyonu veya yoğuşmasında kullanılmaktadır. Yerinde polimerizasyon, ara yüzey polimerizasyonu, süspansiyon polimerizasyonu ve emülsiyon polimerizasyonu arasındaki farklar aşağıda anlatılmıştır (Şekil 2.5.).(Guangjian vd., 2020; Konuklu vd., 2014)

- Yerinde polimerizasyon, monomerlerin ön polimerizasyonu sonucu oluşan polimerlerin damlacık yüzeyinde kabuk oluşturmasıdır.
- Ara yüz polimerizasyonu, iki reaktif monomer, yağ ve sulu fazda ayrı ayrı çözülerek polimerize edilmesidir.
- Süspansiyon polimerizasyonu, FDM, monomer ve aktivatör içeren dağınık damlacıklara yüzey aktif madde ilave edilerek karıştırılması sonucu sulu fazda askıda tutulmasıdır.

- Emulsiyon polimerizasyonu, FDM ve monomerlerden oluşan fazda kuvvetli çalkalama ve yüzey aktif maddelerin yardımıyla ayrık damlacıklar halinde sürekli fazda askıya alınmasıdır. (Shchukina vd. 2018; Guangjian vd., 2020)



Şekil 2.5. Kimyasal Mikrokapsülleme yöntemleri; (a) yerinde polimerizasyon, (b) ara yüzey polimerizasyon, (c) süspansiyon polimerizasyonu, (d) emülsiyon polimerizasyonu (Guangjian, 2020)

2.1.5.2. Fiziksel Yöntem

Fiziksel yöntemlerde mikrokapsül kabuklarının oluşumu kurutma, dehidrasyon ve yapışma gibi fiziksel süreçleri içermektedir. FDM'leri kapsüllemek için yaygın olarak püskürtmeli kurutma ve çözücü buharlaştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Püskürtme yöntemiyle elde edilen kapsüller küresel bir şekle ve düzgün boyutlara sahiptir. Püskürtmeli kurutma sistemleri;

- FDM'ler ve kabuk malzemeleri içeren yağ-su emülsiyonunun hazırlanması,
- Hazırlanan yağ-su emülsiyonunun bir atomizer kullanarak kurutma odasında püskürtülmesi,

- Püskürtülen damlacıkların uygun sıcaklıkta kurutma gazı akımıyla kurutulması,
- Katı partiküllerin siklon ve filtre ile ayrılması. (Guangjian, 2020)

Çözücü buharlaştırma yöntemi;

- Uçucu bir çözücü içinde kabuk malzemelerini eriterek polimer çözeltisinin hazırlanması,
- Yağ (Y) / Su (H_2O) emülsiyonu oluşturmak için çözeltiye FDM eklenmesi,
- Çözücüyü buharlaştırarak damlacıklar üzerinde kabuklar oluşturulması,
- Filtrasyon ve kurutma yoluyla mikrokapsüllerin elde edilmesi. (Guangjian, 2020; Su vd. 2011)

2.1.5.3. Fiziksel-Kimyasal Yöntem

Fiziksel-kimyasal yöntem, mikrokapsülasyon elde etmek için faz ayırma, ısıtma ve soğutma gibi fiziksel işlemler ile hidroliz, çapraz bağlama ve yoğunlaşma gibi kimyasal işlemlerin birleştirilmesi yöntemidir. Bu yöntemler içerisinde en yaygın sol-jel ve koaservasyon (faz ayrımı yöntemi) yöntemleri kullanılmaktadır.Koaservasyon yöntemi tek koaservasyon ve karmaşık koaservasyon olarak iki bölüme ayrılmaktadır. Tek koaservasyon yöntemi ile bir tür kabuk malzemesine ihtiyaç duyulurken karmaşık koaservasyon yönteminde iki çeşit zıt yüklü kabuk malzemesi gerekmektedir. Karmaşık koaservasyon kullanılarak hazırlanan mikrokapsüller daha iyi morfolojiye, daha düzgün boyuta ve daha iyi stabiliteye sahiptir. Karmaşık koaservasyon (faz ayrımı) işlemlerinde;

- Emülsiyonu oluşturmak için sulu polimer çözeltisinde FDM'ler dağıtılır,
- Karşıt yüklere sahip ikinci bir sulu polimer çözeltisi eklenir ve kabuk malzemesinin elektrostatik çekim kuvveti etkisiyle damlacık yüzeyinde kabuk malzemesinin birikmesine neden olur;
- Stabil mikrokapsüllerin elde edilmesi için çapraz bağlama, ısıl (termal) işlem uygulanır. (Arshad vd., 2019)

Sol-jel yöntemi, FDM mikrokapsüllerinin sentezlenmesi için kolay ve maliyet olarak uygun bir yöntemdir. Mikrokapsül hazırlanması;

- FDM, çözücü ve emülsiyon içeren reaktif malzemeler, hidroliz reaksiyonu ile bir koloidal çözelti oluşturmak için sıvı fazda homojen şekilde dağıtılır,

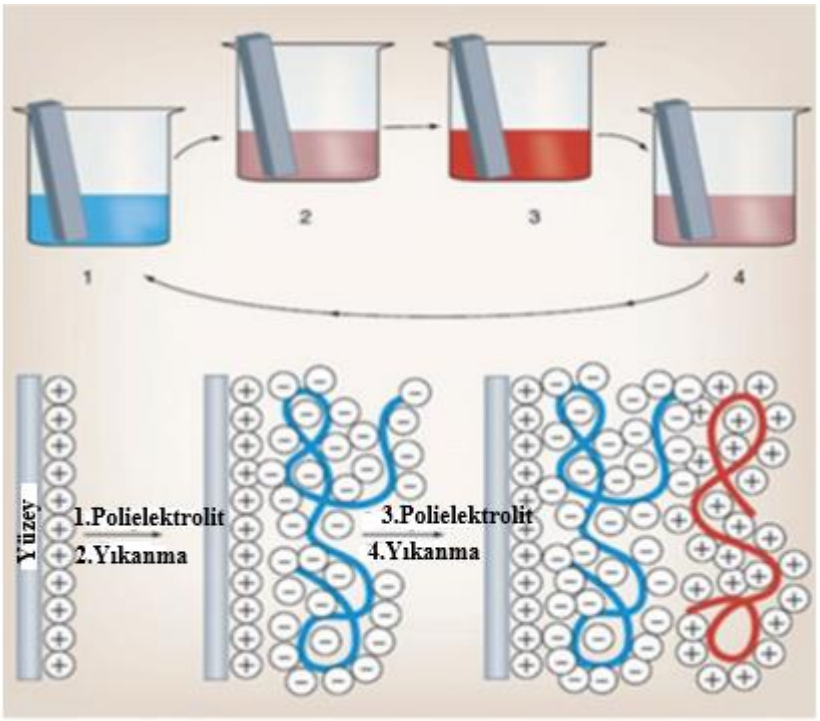
- Oluşturulan çözelti de monomerlerin yoğuşma polimerizasyonu yoluyla üç boyutlu ağ yapısına sahip jel oluşturulur.
- Oluşturulan jel sonrasında kurutma yöntemiyle sinterleme ve sertleştirme işlemleri yapılır. (Arshad vd., 2019)

Sol-jel yöntemleri genellikle SiO_2 ve TiO_2 gibi inorganik kabukları elde etmek için kullanılmaktadır. (Arshad vd., 2019)

2.1.5.4. Kararlı kapsül kabuğunun oluşumu

Kapsüller gıda teknolojisi, boya, kataliz, korozyon ve ilaç gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Kapsüllerin esas amaçları çekirdek ve kontrol malzemesi için koruma sağlamak, çekirdek ve dış çevre arasında enerji alış verişini gerçekleştirmektir. Bu özelliklerinden dolayı kapsüller, reaksiyon ortamı olarak kullanılabilmektedir. (Shchukina vd. 2018; Cohen vd.,2000)

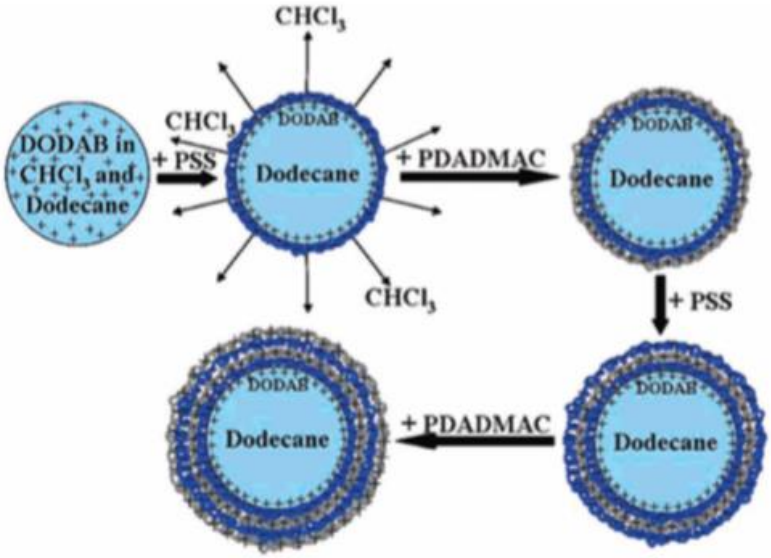
Mikro ve nanokapsül oluşturmak için birden çok yöntem bulunmaktadır. Püskürtmeyle kurutma, miniemülsiyon polimerizasyonu, önceden oluşturulmuş polimerlerin çökeltilmesi, katmanlar halinde kabuk oluşumu gibi buna benzer birden fazla yöntem bulunmaktadır. Basit tekniklerden biri zıt yüklü moleküllerin veya nanopartiküllerin düz yüzey veya şablon parçacığı üzerinde tekrarlı adsorpsiyonuna dayanmaktadır. Yüklü bir yüzey, zıt yüklü bir polielektrolitin çözeltisine daldırılır ve fazla bulunan polielektrolitin giderimi için yıkanarak partikül yüzey yükü değiştirilmektedir (Şekil 2.4.). Polielektrolit yüzey yükünü tersine çeviren birinci tabaka üzerinde absorbe olmaktadır. Bu işlem istenildiği kadar tekrarlanabilmekte ve işlem sonucunda çok katmanlı filmler elde edilmektedir. Bu teknikte, ters yüklü polimerler ve yüzeyler arasında elektrostatik kuvvetler kullanılmaktadır. (Shchukina vd. 2018; Gupta vd., 2005)



Şekil 2.6. Polielektrolitlerin elektrostatik kaynaklı katmanlar halinde çökelmesinin şematik gösterimi.(Shchukina vd. 2018)

Kapsül kabuklarını hazırlamak için katmanlar halinde kabuk oluşumu teknolojisi kullanılması kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntem, kapsül boyutunun mikrodan nanometreye indirgenmesi ve deformasyon kuvvetleri altında daha yüksek kararlılık sağlamaktadır. Katmanlar halinde kabuk oluşumu teknolojisi kullanılmış emülsiyon taşıyıcıları için kapsül hazırlama yöntemi bir kaç adımdan oluşmaktadır (Şekil 2.7.). İlk emülsiyonun dağılmış yağ fazını stabilize etmek için az miktarda katyonik yüzey aktif madde olan dioktadesil dimetil amonyum bromür (DODAB) katılmaktadır. Emülsiyon koloidal stabilitesi her damlacık yüzeyinde pozitif yüklü DODAB elde edilmekte, daha sonra katmanlar halinde kabuk oluşumu teknolojisi ile polielekrolitlerin konsantre sulu tuzsuz çözeltilerinden polistiren sülfonat (PSS), polidialilimetil amonyum klorit (PDADMAC) oluşturulmaktadır.

Katmanlar halinde kabuk oluşumu teknolojisi çok katmanlı kabuğun bir veya birkaç katmanı olarak inorganik nanoparçacıkların eklenmesine izin vermektedir. Az miktarda parçacık, ısı iletkenliğinde muazzam bir artışa neden olabilmektedir. (Shchukina vd. 2018; Shchukina vd., 2011)



Şekil 2.7. Katman katman polielektrolit emülsiyon kapsülleme sırasında çeşitli adımların şematik gösterimi. (Shchukina vd. 2018)

Nanoparçacıklardan oluşan kapsül kabuğu oluşum seviyesine pickering emülsiyonu veya koloidosomlar denilmektedir. Kolloidosomlar, yağ-su arayüzüyle sınırlı nanopartiküllerin kabuğuna sahip kapsüllerdir. Parçacık olarak stabilize edilmiş kapsüllerin üretim maliyetleri düşüktür. Sadece bileşenlerin (parçacık, yağ ve su) karıştırılmasıyla yüksek kesme kuvvetlerinin uygulanması sonucunda kapsüller üretilmektedir. Kapsül üretiminde proses parametreleri için tüm katılar mevcut yağ-su arayüzünde kendiliğinden birleşmesine bağlı uygun şartlar oluşturulduktan sonra saflaştırmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. (Haase, vd., 2011; Shchukina vd. 2018)

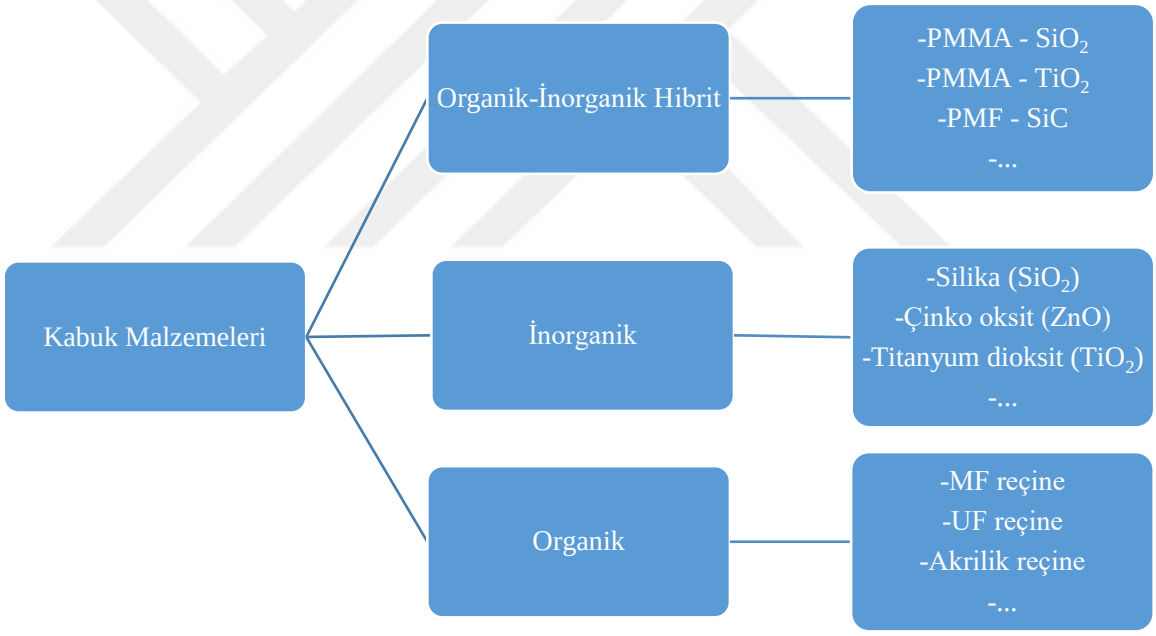
Yağ-su arayüzünde zayıf polielektrolit kaplı oksit parçacıklarının bulunması, ayrılma dereceleri ve zayıf polielektrolit tabakasının kalınlığı ile kontrol edilebilmektedir. Zayıf poliektrolitin ayrılma derecesi %80'nin altında olmasına bağlı olarak kararlı emülsiyonlar elde edilebilmektedir. (Shchukina vd. 2018;Asua, 2002)

2.1.5.5. Kapsül kabuk malzemeleri

Katı-Sıvı faz geçiş işlemleri boyunca FDM'lerin sızıntısını etkili bir şekilde azaltmak ve FDM'lerin çevre ile reaksiyonunu engellemek için FDM'lerde mikrokapsülasyon yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca mikrokapsülasyon yöntemi FDM tabanlı ısı depolama işlemleri içinde termal döngünün kararlılığını ve büyük bir ısı transfer alanı sağlayabilmektedir. (Shchukina vd. 2018; Yang, 2008)

Kabuk malzemelerinin seçimi ve kompozit FDM kapsüllerinin yapısı FDM stabilitesi ve performansı için çok önemlidir. Gün içerisinde FDM malzemelerinde erime ve donma döngüsünün olduğu varsayılırsa, malzemenin 7300 döngü boyunca kararlı olması gerekmektedir. Malzeme kararlılığını arttırmak için kendi kendini iyileştiren kapsüller kullanılmalıdır. Literatürde çekirdekteki kabuk monomerlerini içeren kendi kendini iyileştiren kapsüller üzerinde birçok çalışma mevcuttur. FDM'ler ve kendi kendini iyileştiren malzemelerin kombinasyonu üzerine araştırmalar devam etmektedir (Shchukina vd. 2018; Yang, 2008)

Kabuk malzemeleri, üretilen mikrokapsüllerin morfolojisi, mekanik özellikleri ve termal özelliklerinde önemli rol oynamaktadır. Kimyasal yapısına göre organik, inorganik ve organik-inorganik hibrit malzeme olarak üç katagoride incelenmektedir (Şekil 2.8). (Agyenimvd.,2010;Guangjianvd.,2020)



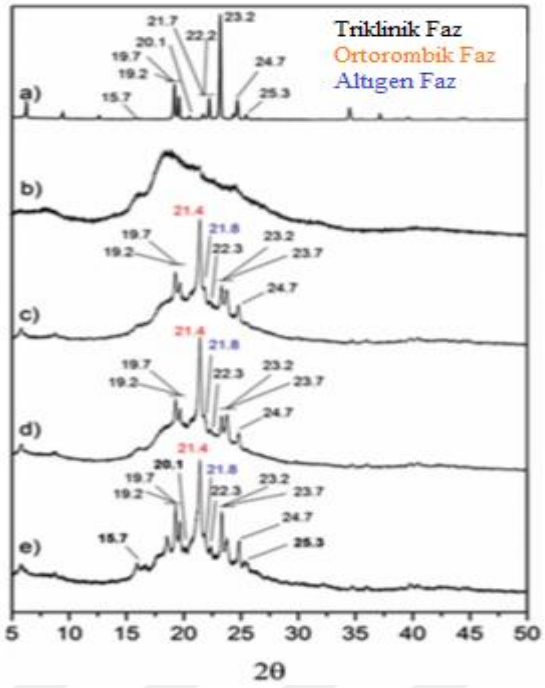
Şekil 2.8..Mikrokapsül malzemelerinin sınıflandırılması. (Guangjian vd. 2020)

a. Organik kabuklar

Organik kabuklu malzemeler genellikle FDM'lerin tekrarlanan faz dönüşümleri ile bağlantılı olarak iyi sızdırmazlık özelliklerine, iyi yapısal esnekliğe ve hacim değişikliğine sahip olan doğal ve sentetik polimerik malzemelerden oluşmaktadır. Organik FDM'lerin kapsüllenmesi için tek işlevli polimer kabuklar polistiren, polimetil

metakrilat (PMMA), üre formaldehit ve poliüretandan oluşmaktadır. (Guangjian vd. 2020; Shchukina vd. 2018;Mohaddes vd., 2014)

Yapılan bir çalışmada poliüretan kabuklu malzeme kullanılarak n-dokosan ($C_{22}H_{46}$) yüklü kapsüller üretilmiş ve homojenleştirme hızları kontrol edilerek kaydedilmiştir. Kapsüller 100 kez ısı termal döngüleri sürecinde kararlı kaldıkları görülmüştür. Küçük kapsüllerin daha büyük kapsüllerle karşılaştırıldığında daha yüksek gizli ısı ölçülmüştür. Çekirdek malzemesi için ısı transferinin arttırılması, artan gizli ısıya neden olmuştur. Azalan kapsül boyutunun diğer etkisi, katılaşma faz değişimi boyunca çoklu kristal fazlarını belirginleştirmiştir (Şekil 2.9.). FDM'nin kullanıldığı ortam davranışında kristal fazların belirgin olması etkilidir. Poliüretan kabuğunun diyagramı (Şekil 2.9.1-b) kendisinden düşük kristalliği ölçülmüş iki geniş tepe noktalarını göstermektedir. Kapsüllenmiş n-dokosanın kapsül boyutu değiştirildiğinde farklı kristalik yapı gözlenmiştir. Poliüretan kabukta 15-16°C ve 16-25°C aralıklarında önceden görülen iki amorf tepe oluşmuştur. n-dokosan'nın kristal kafes ile ilişkili karakteristik 19,29°C, 19,70°C, 22,31°C, 23,28°C, 23,79°C ve 24,79°C pikleri ortaya çıkmaktadır. Merkezli ortorombik kristal yapılar 21,42°C tepe noktası olarak görülmekte, altıgen dolu faz 21,80°C'da küçük bir pik olarak görülmektedir. 2mm'lik kapsüllerin pik noktaları görülebilmektedir (Şekil 2.9.1-e). Kapsüllenmiş dokosan, 20,07°C, 25,37°C ve15,95°C'daki kristal kafes fazıyla bağlantılı fakat yığın n-dokasanlarda gözlemlenen 10 mm (Şekil 2.9.1-c) ve 4mm'lik büyük kapsüllerin oluşturamadığı pikleri oluşturmuştur. (Shchukina vd. 2018; Barlak vd., 2016)



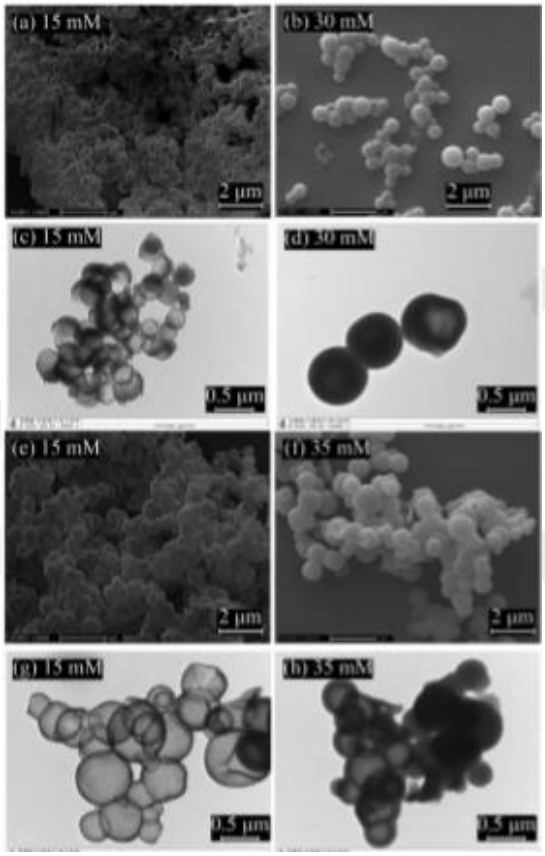
Şekil 2.9. X-ışını difraktogramları, (a) toplu n-dokosan, (b) poliüretan kabuk (içi boş mikrokapsüller), (c) 10 mm mikrokapsüllere yüklenen n-dokosan, (d) 4 mm mikrokapsüller ve (e) 2 mm mikrokapsüller. (Shchukina vd. 2018)

b. İnorganik kabuklar

Kabuk malzemelerinde yayıcılık, düşük ısı iletkenliği ve zayıf mekanik özellikleri nedeniyle mikrokapsüllerin organik kabuklarda kullanımlarında bazı sınırlamalar ortaya çıkmaktadır. Bu sınırlamalar nedeniyle organik malzemeler yerine inorganik malzeme kullanımı ve araştırmaları ön plana çıkmaktadır. Organik kabuklarla karşılaştırıldıklarında inorganik kabuklar yüksek sertliğe, yüksek mekanik mukavemete ve daha iyi termal iletkenliğe sahiptir. Silika (SiO_2), çinko oksit (ZnO), titanium dioksit (TiO_2) ve kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) genellikle inorganik kabuk malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Yüksek termal iletkenlik, yangın direnci ve kolay hazırlanabilir olmaları silislerin en yaygın kullanılan kabuk malzemesi olarak seçilmesine sebep olmaktadır. Silika genellikle organik parazit mumları, inorganik hidrat tuzları ve yağ asitlerini mikrokapsüle etmek için kullanılmaktadır. (Guangjian vd. 2020; Wu vd., 2016)

Silika ile yapılan çalışmalarda silikanın içeriği ve hidroliz hızının değiştirilmesi FDM malzemelerinin geometrik yapılarını değiştirebilmektedir (Şekil 2.10.). Setil trimetil amonyum bromidin (CTAC) düşük konsantrasyonlarında (15mM) iyi bir

çekirdek ve kabuk yapısına sahip farklı geometrilerde nanokapsüller yapılabilmektedir. Bu sonuçlar ışığında CTAC konsantrasyonunda (30–35 mM), daha kalın kabuklu küresel nanokapsüller üretilebilmektedir. Gözenekli yapıya sahip silika nanokapsüllerdeki FDM içeriği, içi boş nanokapsüllere göre ağırlık olarak %30 daha düşüktür. (Shchukina vd., 2018)



Şekil 2.10. Farklı CTAC konsantrasyonlarında hazırlanan n-oktadekan yüklenmiş silika nanokapsüllerin SEM ve TEM görüntüleri. (Shchukina vd. 2018)

c. Organik-İnorganik Hibrit kabuklar

İnorganik kabukların termal iletkenlik değerlerinde artış görülmesine rağmen erime sırasında FDM hacim değişikliklerinin neden olduğu gerilimden dolayı kırılabilir ve kararlı yapılarında bozulmalar görülebilmektedir. Bu ve benzeri sorunlar nedeniyle organik ve inorganik malzemelerin dezavantajlarının ortadan kaldırılarak avantajlarından yararlanmak amacıyla FDM'lerin mikrokapsüle edilmesinde organik-inorganik hibrid kabuk kullanılmaktadır. Organik-inorganik hibrit kabuklarda inorganik malzemeler mekanik sertlik, termal kararlılık ve termal iletkenlik değerlerini arttırken,

organik malzemeler ise yapısal bir esneklik sunmaktadır. (Palkovits vd., 2005; Guangjian vd. 2020; Shchukina vd. 2018)

2.1.6. FDM seçiminde önemli parametreler

FDM seçiminde en önemli parametrelerden biri FDM'nin yüksek ısı depolama özelliğine sahip olmasıdır. Termal enerji depolama (TED) sistemlerinin çalıştığı sıcaklık aralıklarında FDM'nin faz değiştirebilmesi için katı-sıvı faz özellikleri, yüksek faz değişim ısısı ve yüksek termal iletkenlik gibi özelliklere sahip olmalıdır. FDM'lerin TED sistemleri içersindeki kullanım ömürleri ve çevreye olan etkileri önemli bir parametredir. FDM'ler, kimyasal içerikleri ve her bir çalışma adımı referans alınarak termal, kinetik, kimyasal, ekonomik ve çevresel özelliklerine göre gruplandırılmıştır (Çizelge 2.11.). (Socacıu, 2012; Soares, 2015; Utlu vd.,2013)

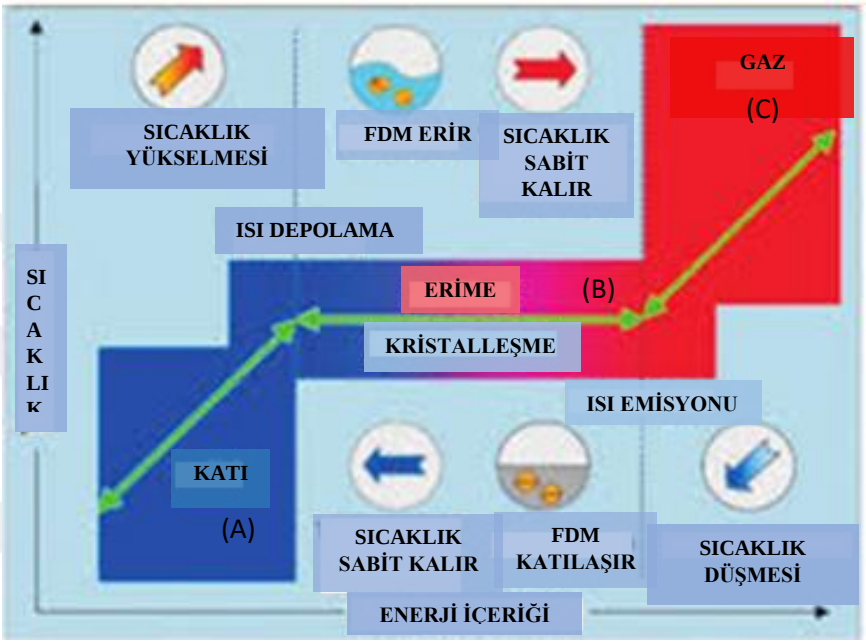
Çizelge 2.11.FDM seçim kriterleri. (Anusha, 2016; Khot vd., 2016; Socacıu, 2012; Soares, 2015; Utlu vd.,2013)

Termal Özellik	Çalışması planlanan sistemlerin ortam sıcaklığında faz değiştirebilir olmalı,
	Depolama biriminin hacmine göre yüksek geçiş entalpisine sahip olmalı,
	Birim kütle başına yüksek gizli faz değişim ısısına sahip olmalı (böylece az miktarda malzeme olmasına rağmen yüksek miktarda enerji enerji depolanmasına imkan sağlayacaktır),
	Faz değişimi boyunca faz değişim malzemeleri arasında faz ayrışmasını önlemek amacıyla aynı faz değişim özelliklerine sahip olmalı,
	Seçilen FDM'ler yüksek yoğunluklara sahip olmalı (bu sayede küçük hacimler sistem için yeterli olacaktır.)
	Enerji depolama problemlerinin önlenmesi için faz değişimi sırasında düşük hacimsel değişim ve buhar basıncına uyumlu olmalıdır.
Kinetik Özellik	FDM katılaşma işlemleri sırasında kısa sürede sıvı fazdan katı faza geçebilmelidir,
	Yüksek kristalleşme oranına sahip olmalı,
	Çalışma yapılan depolama sisteminin ısı geri kazanım taleplerini karşılayabilmesi için FDM malzemesinin kristalleşme hızının yüksek olması gerekir,
Kimyasal Özellik	Kimyasal olarak ayrışma olmamalı,
	Uzun süre faz değişim işlemlerinde kullanılabilir olmalı,
	Kullanıldığı sistemde aşındırıcı özellik göstermemeli,
	Seçilen malzeme kimyasal olarak kararlı yapıya sahip olmalı,
	Yanıcı, zehirli ve patlayıcı olmamalıdır.
Ekonomik Özellik	FDM olarak seçilen malzemelerin fiyatları uygun olmalı,
	Kullanılacak malzemenin tedarik edilmesi kolay olmalıdır.
Çevresel Özellik	Kullanılacak malzemelerin geri dönüşümü olmalı,
	Çevreye etkileri az olmalı ve kirletici olmamalıdır.

2.1.7. FDM'nin çalışma prensibi

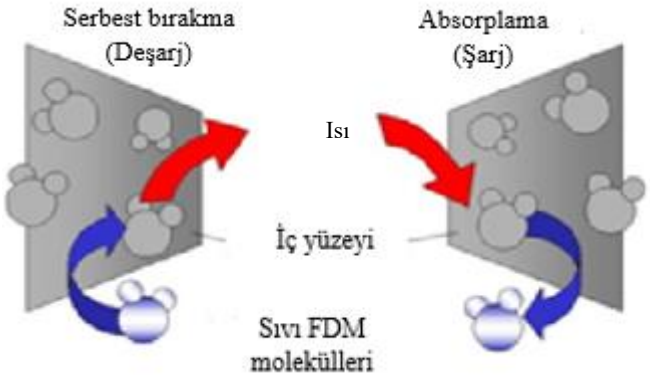
FDM'ler gizli ısı depolama malzemeleridir. FDM'lerin sistem içerisinde kullanımları Eşitlik 2.3.'e göre açıklandığında A kimyasalının diğer iki kimyasal olan B+C'ye dönüştüğü üç aşamalı tersinir sistemlerdir (Şekil 2.11.).

$$A + Q(ısı) \leftrightharpoons B + C \qquad (2.3.)$$

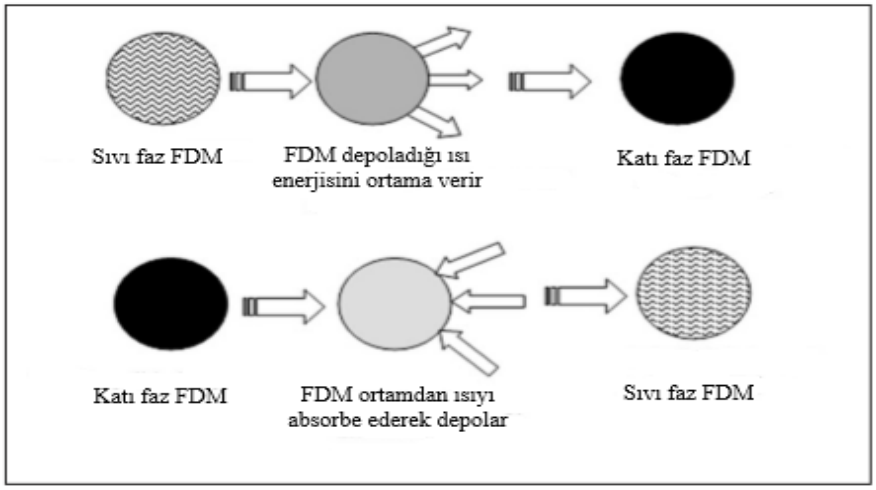


Şekil 2.11.FDM'nin enerji ile sıcaklık değişimi. (Mishra vd.,2015)

Reaksiyonu başlatmak ve kimyasal A'yı B ve C'ye dönüştürmek için ısı emilir. Sistem içerisinde ortam sıcaklığı arttıkça katı faz da bulunan FDM'nin bağları kopar ve malzeme katı fazdan sıvı faza geçerek erime işlemi tamamlanana kadar sıcaklık sabit kalır. FDM sıvı faza dönüşene kadar ısıyı absorbe etmeye devam eder. Isının gerekli olduğu durumda ve uygun ortam koşullarında (basınç, sıcaklık, bağıl nem), B ve C kimyasalları tekrar A'yı oluşturmak üzere reaksiyona girerek önceki aşamalarda absorplanan ve depolanan tüm ısıyı serbest bırakırve sonuç olarak FDM katılaşır.(Şekil 2.12.; Şekil 2.13.). (Kanimozhi vd.,2017; Socacıu, 2012; Waqas vd., 2018; Muñoz, 2016)



Şekil 2.12.TED sisteminin çalışma prosesi. (URL-2, 2020)



Şekil 2.13.FDM çalışma prensibi. (Waqas vd., 2018)

2.1.8. FDM'nin kullanım alanları

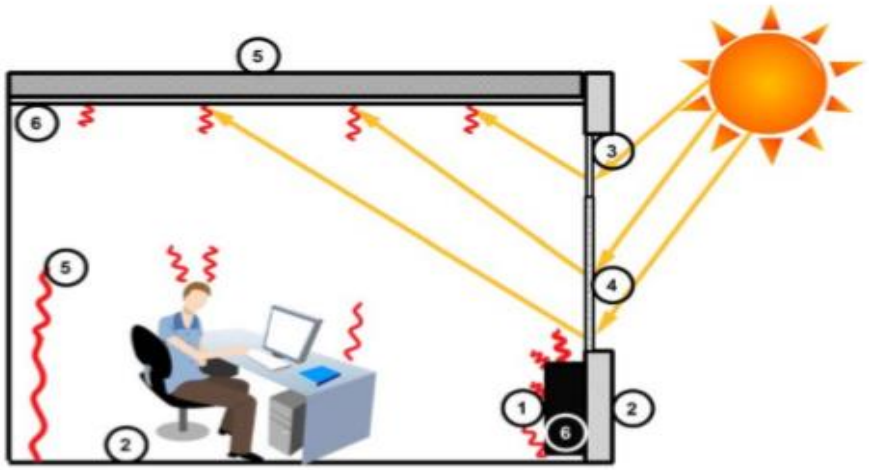
2.1.8.1. FDM'lerin bina uygulamaları

FDM'ler binalarda, binanın soğutulması, ısıtılması, klima, havalandırma, beton karışımlarında, duvar panolarında, çimentonun içerisinde, alçı ve sıvada, sandviç panellerde ve aydınlatma sistemlerinde kullanılmaktadır. (Peng vd., 2020)

Enerji taleplerini karşılayabilmek için FDM'lerin ısı veya soğuk depolama özelliklerinden yararlanılmaktadır. En fazla enerjiye ihtiyaç duyulan alan olarak gösterilen binaların ısıtılması ve soğutulması için FDM'lerin kullanılabileceği üç alan vardır. Binalarda bulunan dış yapıdaki bileşen, tavan ve zemin uygulamalarında kullanılabilmektedir. Binalardaki dış yapı ve tavanda kullanılan FDM'ler, erime noktasının üzerine çıkması veya düşmesi sonucunda kendiliğinden enerjiyi depoladığı

veya serbest bıraktığı görülmektedir. Bina zemininde kullanıldığında ise depolanan enerji ihtiyaç anında kullanılabilmektedir. Bina uygulamalarında insanların konforuna önem verildiği için kullanılan FDM'lerin faz değiştirme sıcaklıkları 20 – 28°C arasındadır. (Socaciu, 2012)

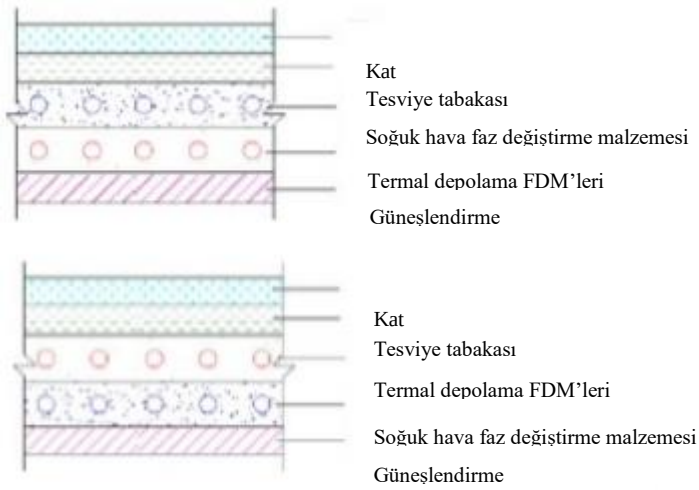
Binalarda FDM'ler, kapsülleme teknolojisi veya FDM'lerin gömülme yöntemiyle kullanılmaktadır. FDM'ler ısı enerjisini konveksiyon yoluyla veya termal enerji yöntemi ile absorblayabilmektedir. Binalarda FDM uygulamaları Şekil 2.14.'de gösterilmektedir. Şekil 2.11. incelendiğinde (1) ortamın ısıtılabilmesi için ısı depolama bölümü gösterilmekte, (2) FDM'ler kullanılarak ısı depolamasını artırmak için alçı ve bileşimler kullanılmaktadır, (3) gündüz aydınlatması ve şeffaf yalıtım malzemesi, (4) FDM'lerden oluşan sistem, (5) FDM'nin alçı ve boyalarda kullanımı, (6) FDM mevsimsel değişmeler olmasına rağmen sistem sıcaklığını sabit tutmaktadır. (Socaciu, 2012)



Şekil 2.14.Binalarda FDM uygulama alanları. (Socaciu, 2012)

FDM destekli tavan sistemlerinin binalarda uygulanabilirliği kolay olduğu için rahatlıkla kullanılabilmektedir. FDM destekli üç tip tavan sistemi bulunmaktadır. Bu FDM çamur destekli tavan sistemi, FDM entegre tavan sistemi ve FDM depolama birimi destekli tavan sistemi veya klimalı sistem yöntemleridir. Aynı şekilde bina zeminlerinde ısıtma ve soğutma sistemlerinde FDM'ler kullanılmakta ve zeminden ısı sağlamak için kullanılmaktadır. (Socaciu, 2012)

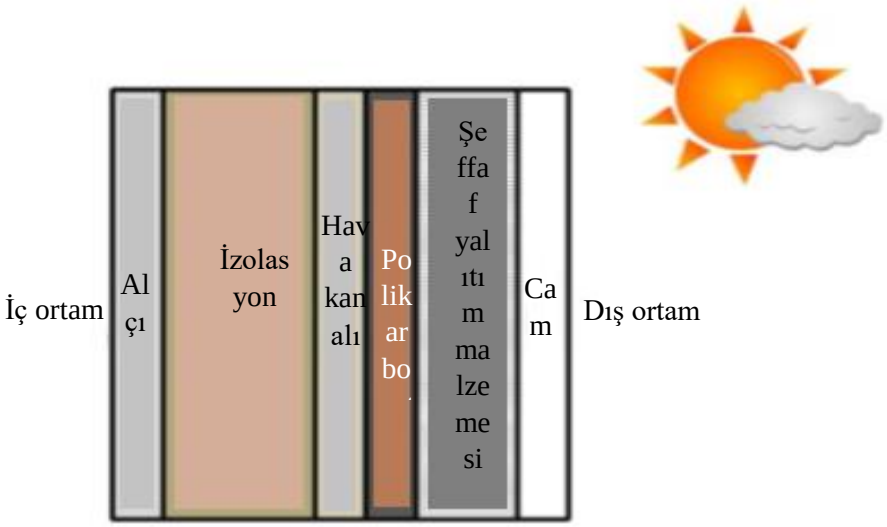
FDM'lerin bina katları uygulanmasında organik faz değişim malzemesi (OFDM) çift katmanlı zemin yönteminde kullanılmaktadır. Çift katmanlı boru tipli ısıtıcılı (radyant) zemin sistemi yaz ve kış aylarında soğutma ve ısıtma işlemlerinde kullanılabilmektedir. Yazları binaların içerisinde oluşan sıcak havayı serinletmek veya kış aylarında soğuk olan ortamı ısıtmak için kullanılmaktadır (Şekil 2.15.). (Kuta vd.,2016)



Şekil 2.15.FDM'nin farklı iki zemin uygulaması (Kuta vd.,2016)

a. FDM güneş duvarı sistemleri

FDM'ler kullanılarak binaların duvarlarında veya çatılarında güneş ışınları yakalanabilmektedir. Bu sistem sayesinde ortam sıcaklığındaki büyük dalgalanmaların etkisini en aza indirebilmekte veya yok edebilmektedir. Duvar, cam, şeffaf yalıtım malzemesi, polikarbonat, havalandırmalı hava kanalı, yalıtım ve alçı malzemelerinden oluşmaktadır. Güneşten gelen konvektif ve termal radyasyon, ısı transferini engelleyen şeffaf yalıtım malzemesinden oluşan camdan içeriye giriş yaparak polikarbonattan yapılmış şeffaf plastik bir muhafazanın içerisinde bulunan FDM sayesinde absorbe olarak depolanmaktadır (Şekil 2.16.). Binanın havalandırılması için iç ortama verilen hava, hava kanalında ısıtılarak odaya yönlendirilmektedir. (Sunliang, 2010; Socaciu, 2012)



Şekil 2.16. Bina sistemlerinde kullanılan FDM sistemi. (Socaciu, 2012)

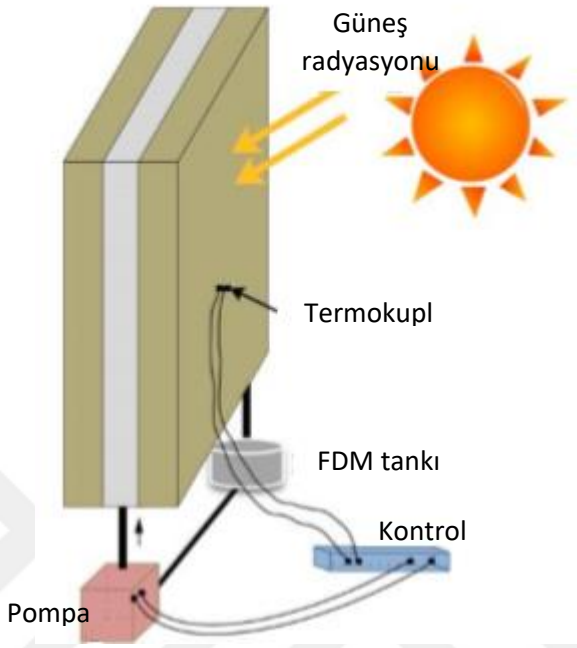
b. FDM'lerin entegre edildiği ahşap hafif beton sistemleri

İç ve dış duvar inşaatı için hazırlanan ahşap hafif betonlar su, çimento, talaş veya testere tozu karışımından oluşmaktadır. Ahşap hafif betonla FDM'nin birleştirilmesinin nedenleri akustik yalıtım sağlamak, termal depolama kapasitesini artırmak, daha iyi termal performans elde etmek ve daha ince duvar elemanları oluşturmaktır. FDM'lerin ahşap hafif betonla birleştirilebildiği sistemlerde betonun mekanik özelliklerinin önemli ölçüde değişmediği veya mekanik direnci ve beton hassasiyetinin arttığı yapılan testler sonucunda gözlenmiştir.(Socaciu, 2012; Peng vd., 2020)

c. FDM dolgulu cam pencere sistemleri

Bina uygulamalarında duvar,tavan ve zemin uygulamaları gibi bina kılıflarında da ışık geçirmez kısımlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Binaların pencereleri, binanın diğer kısımlarından daha düşük termal dirence sahiptir. FDM'lerin kullanıldığı termal olarak etkili pencere için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Pencere, levhalar ve üst köşede bulunan hava deliği arasında boşluklu çift tabakadan oluşmaktadır (Şekil 2.17.). FDM tankının bir tarafı pompaya diğer tarafı ise cam panellere bağlıdır. Pompa önce sıvı fazdaki FDM'ye bağlanmaktadır. Sıcaklık farkı önceden ayarlanmış bir değere ulaştığındapompa çalışmaktadır. Sıvı FDM, cam panellerde boşlukları doldurmak için tanktan dışarıya pompalanmaktadır. Dış yüzeydeki düşük sıcaklıktan dolayı FDM

katılaşmaya başlar ve zamanla kalınlığı artarak kalın bir tabaka oluşturmaktadır. Bu sayede iç ortam sıcaklığının düşmesi önlenmektedir. (Ismail vd., 2001; Socaciu, 2012)

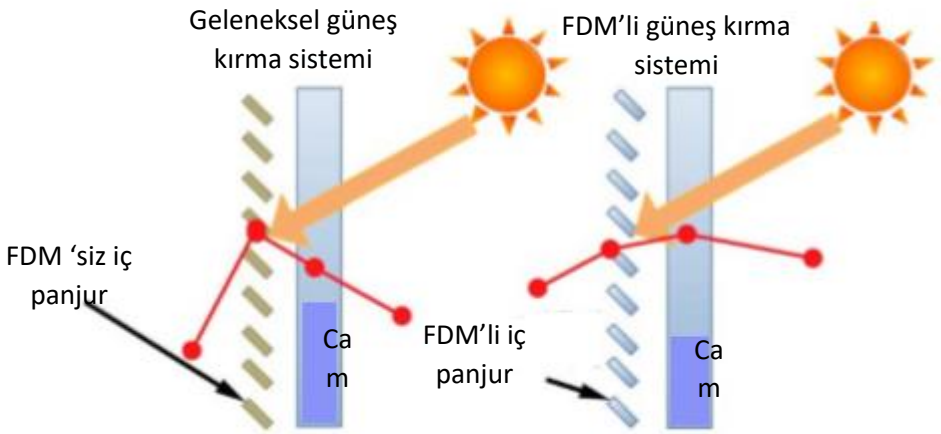


Şekil 2.17.FDM dolgulu cam pencere sistemi. (Socaciu, 2012)

FDM dolgulu pencere sistemleri uygulanabilir ve termal olarak etkili sistemlerdir. FDM dolguları termal radyasyonun filtrelemesini sağlar ve ısı kazanımını veya kayıplarını azaltmaktadır. Standart çift camlı sistemlere göre FDM dolgulu camlar termal olarak çok etkili bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. (Ismail vd., 2001; Socaciu, 2012)

d. FDM destekli güneş kırıcı sistemler

FDM destekli güneş kırma sistemlerinde kullanılan FDM'ler hidratlanmış tuz ($CaCl_2$ $6H_2O$)'dur. Bu sistemler sıcak yaz iklimlerinde özellikle gündüz ve gece sıcaklık dalgalanmalarının olduğu bölgelerde kullanılmaktadır (Şekil 2.18.). (Socaciu, 2012)

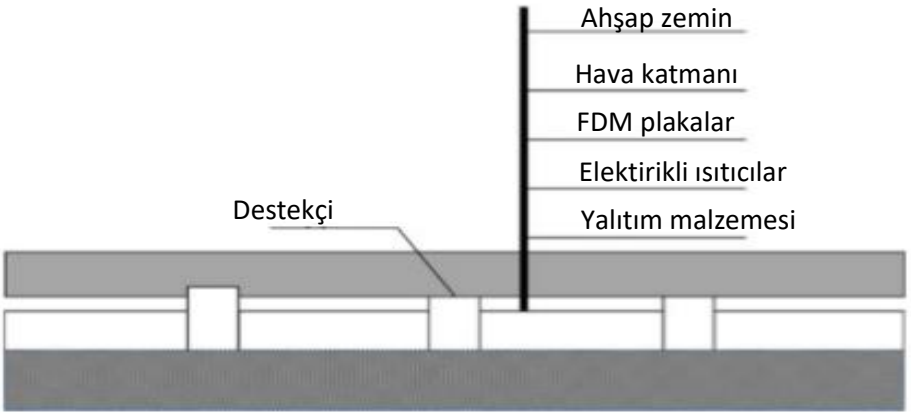


Şekil 2.18.FDM'li ve FDM'siz güneş kırma sistemleri. (Socaciu, 2012)

Sıcaklığın fazla olduğu gün içerisinde FDM ile entegre edilmiş gizli iç kısımlardaki yerler güneş radyasyonlarına maruz kalacak şekilde döndürülmektedir. Güneş enerjisi FDM'de depolanmakta ve odanın içerisindeki sıcaklık dalgalanmaları azalmaktadır. Geceleri de depolanan ısı enerjisi ortama verilerek ortam sıcaklığının sabit kalması sağlanmaktadır. (Socaciu, 2012)

e. FDM destekli yer altı elektrik ısıtma sistemi

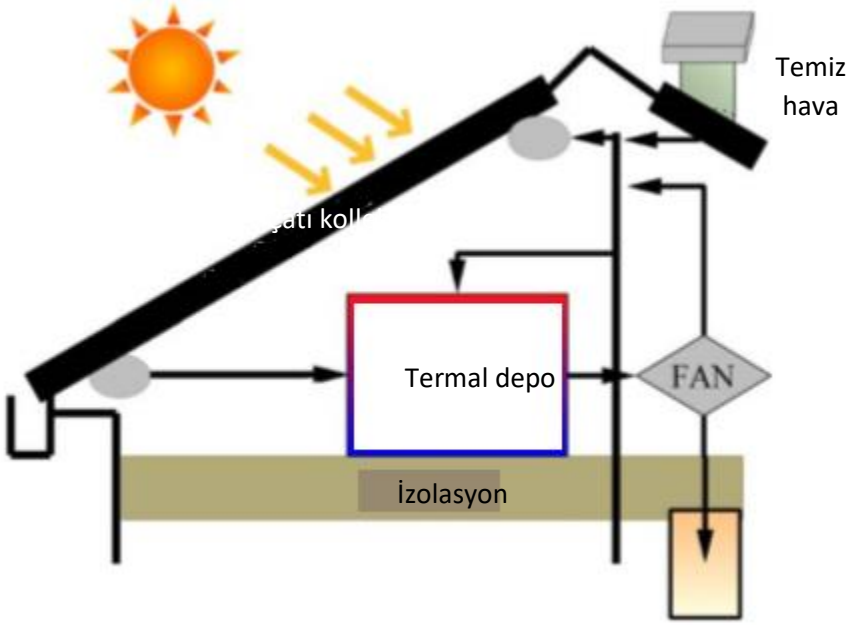
Yerden elektrikli ısıtma sistemleri üzerine çalışmalar devam etmektedir. Zemin, FDM plakaları içeren elektrikli ısıtma sistemi ile donatılmaktadır. Güneye bakan tarafta siyah perdeli çift camdan oluşan pencere bulunmaktadır. Çatı ve duvarlar metal levhalar ile sarılmış polistirenden oluşmaktadır. Bina zemini ise FDM'den yapılmış ahşap ve hava tabakalarından oluşmaktadır (Şekil 2.16.). Yapılan sistemde ucuz gece elektriği kullanılarak ısı şarj edebilmekte ve gün içerisinde depolanan ısı enerjisi boşaltılmaktadır. (Lin vd., 2005; Socaciu, 2012)



Şekil 2.19.Elektrikli yerden ısıtma sistemleri. (Socaciu, 2012)

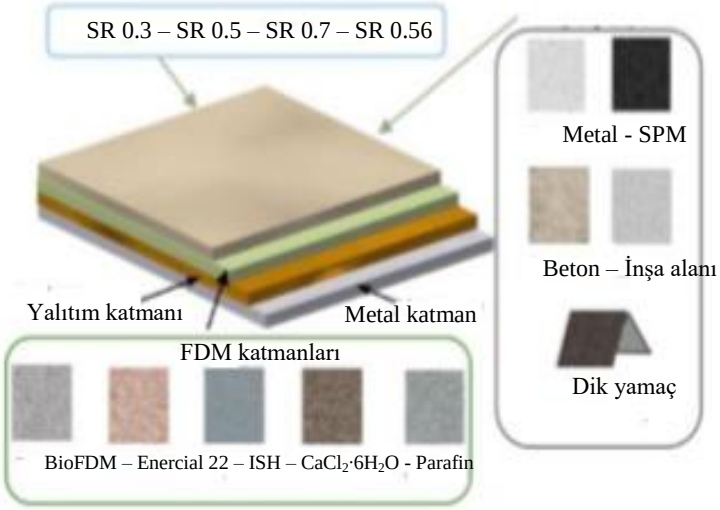
f. FDM entegreli çatı sistemleri

Bina çatısına entegre edilmiş güneş enerjili hava ısıtma/depolama sisteminde havayı ısıtmak için güneş kollektörü olarak oluklu demir çatı saclar kullanılmaktadır. FDM termal depolama birimi gün içerisinde ısıyı depolamak için kullanmaktadır. Depolanan ısı, gece veya güneş ışığının olmadığı zamanlarda ortama verilmektedir. Sistem üç şekilde çalışmaktadır. Bu sistemler ilk olarak güneş ışığında ve ortamın ısıya ihtiyaç duyduğu zamanlardahava toplayıcı sistemden geçtikten sonra eve gönderilmektedir. İkinci olarak ısıtma gerektiğinde termal depolama sistemine hava pompalanmakta ve FDM sıvı faza geçerek kullanım için şarj edilmektedir. Son olarak güneş ışığının olmadığı zamanlarda ortam da bulunan hava depolama tesisinden geçirilerek ısıtılmakta ve tekrar kullanılmaktadır (Şekil 2.20.). (Sunliang, 2010; Socaciu, 2012)



Şekil 2.20.Güneş ısıtma sistemi. (Socaciu, 2012)

Çatı uygulamalarında FDM'nin tercih edildiği diğer bir uygulama alanı ise FDM'ler ile poliüretan esaslı membranlar kullanılarak sistem için soğutma, termal depolama ve bina termal enerji verimliliğinin artışı sağlanmaktadır (Şekil 2.21.). (Kuta vd.,2016)

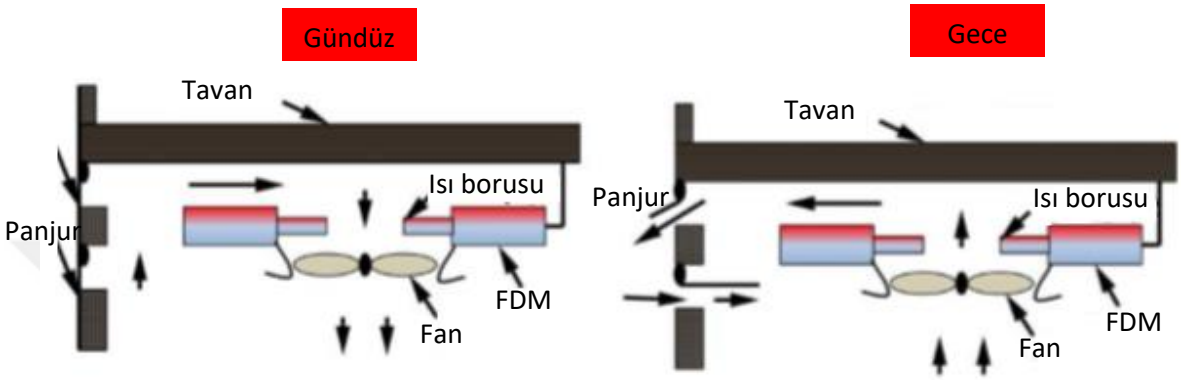


Şekil 2.21.Çatı malzemesi olarak kullanılan malzemeler (Kuta vd.,2016)

g. FDM destekli tavan sistemleri

Bu sistem tamamen klima sistemi kullanımının yerine geçen ve yeni bir sistem olan gece soğutma sistemidir. Sistem de açıkta kalan boru uçlarına hava tutmak için fan

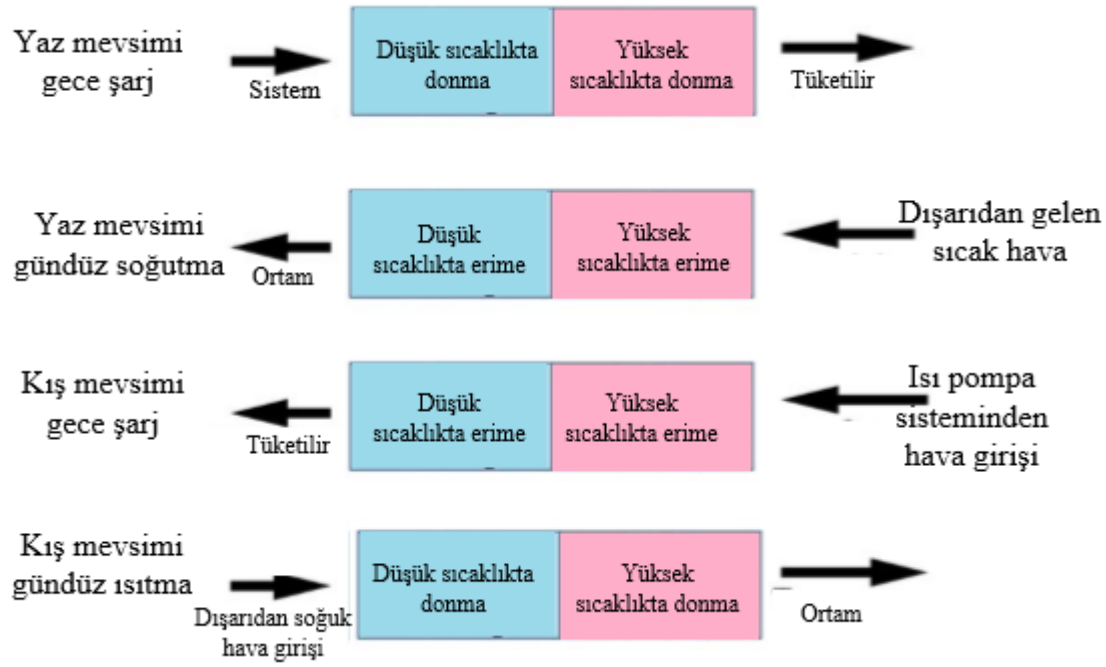
tavana monte edilmiştir. Isı boruların diğer ucunda FDM depolama modulü bulunmaktadır. Gün içerisinde bu sayede ortamda oluşan ılık havayı FDM modülleri depolamaktadır. Ortamda üretilen ılık hava FDM tarafından soğutulmaktadır yani FDM ortamda bulunan ısıyı absorbe etmektedir (Şekil 2.22.). Gece boyunca fan ters çevirilir ve panjurlar dışarıdan gelen soğuk havanın ısı borularından geçeceği ve FDM'den ısı çekeceği şekilde tasarlanmıştır. (Socaciu, 2012)



Şekil 2.22.FDM destekli tavan sistemleri. (Socaciu, 2012)

h. FDM entegreli ısıtma ve soğutma sistemleri

Bina zemininde ısıtma ve soğutma sağlamak için FDM'li depolama sistemleri geliştirilmektedir. Isıtma ve soğutma işlemlerinde mevsimlere göre gece şarj olabilecek gün içerisinde de gece depoladığı enerjiyi bulunduğu ortama verebilecek sistemler geliştirilmektedir. Bu sistemler de iki farklı FDM'den yararlanılmaktadır. FDM'ler ve soğutma pompasının bulunduğu sistemler koordineli bir şekilde çalışmaktadır. Hava, sistem içerisine iki kademeli olarak ısıtma veya soğutma işlemlerinden geçmektedir. Hava önce birinci FDM'den geçmekte sonra ikinci FDM'den geçerek mevsime göre soğutma veya ısıtma işlemlerini gerçekleştirmektedir. Kış aylarında sistem gece ısı depolar, gündüz ise ısıyı serbest bırakarak ortamı ısıtır. Yaz aylarında ise sistem geceleri soğuk enerjiyi depolar, gündüzleri de ortam havasını soğutmaktadır (Şekil 2.23.). (Sunliang, 2010; Socaciu, 2012)



Şekil 2.23. Isıtma ve soğutma sisteminin mevsimlere göre şarj ve deşarj süreçleri. (Socaciu, 2012)

2.1.8.2. FDM'lerin tekstil sektöründe kullanımı

Tekstil sektöründe FDM'ler mikrokapsülleme teknolojisi ile aşırı soğuklardan korunma için kar tulumları, pantolonlar, kulak ısıtıcıları, botlar ve eldivenler gibi malzemelerde kullanılmaktadır. FDM mikrokapsülleri, termal depolama kapasitesini arttırmak için kumaş yüzeyine kaplama yapılabilir veya elyafın içerisine emdirilebilmektedir. FDM mikrokapsüllerinin TED kapasitelerinin yüksek olduğu malzemelerde kullanıldıklarında dayanıklılık arttırdığı ve yüksek termal iletkenlik sağladığı görülmektedir. FDM mikrokapsülleme teknolojisi otomotiv tekstilleri, tarım tekstilleri, spor giyim/koruyucu giysiler ve tıbbi tekstil gibi birçok endüstriyel alanda kullanılabilmektedir. (Peng vd., 2020)

2.1.8.3. FDM'li güneş enerjili su ısıtma sistemi

Güneş enerjili su ısıtıcı sistemlerinde yerleşik bir depo kullanılmakta ve deponun alt kısmı FDM'lerden oluşmaktadır. Güneşin olduğu zamanlarda su ısıtılmakta ve bu süre zarfında FDM katı fazdan sıvı faza geçiş yaparak enerji depolamaktadır. Güneşin olmadığı saatlerde suyun sıcaklığını koruyabilmesi için FDM sıvı fazdan katı faza geçerek depoladığı ısı enerjisini suya vermektedir. (Mishra vd.,2015)

2.1.8.4. FDM'li güneş ocaklı sistemler

Yemek pişirmek için kullanılan ocaklarda FDM kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu sistemde gün içerisinde güneşin sıcaklığından yararlanılarak hem yemek pişirilmesini hemde FDM'lerin katı fazdan sıvı faza geçmesi sağlanmaktadır.Güneşin olmadığı zamanlarda ise sıvı fazda bulunan FDM, sisteme depoladığı enerjiyi vermesi sonucu katı faza geçerek gece boyunca yemek pişirme imkanı sağlamaktadır. (Mishra vd.,2015)

2.1.8.5. FDM'li soğutma kaskları

FDM'den üretilen kaskların üretimleri ve çalışma prensipleri kolaydır. Konforlu bir sürüş için sürücülerin ve sporcuların vücut ısısını emebilen kasklar yapılmaktadır. Kullanıcıların gövdelerinden gelen ısı FDM'ye iletilmekte ve kullanıcının vücut sıcaklığını içerisine absorbe ederek serinlemesini sağlamaktadır. Kullanıcının bu sayede vücut sıcaklığını belli seviyede tutabilmektedir. Bu sistem kullanıcılar için 2 saatlik konfor sağlamaktadır. Sistemin tekrar kullanılabilmesi için 15 dk soğuk suda bekletilmesi yeterli olmaktadır. Soğuk suda bekletilmeleri sırasında sıvı fazda bulunan FDM tekrar katı faza geçmektedir. (Mishra vd.,2015)

2.1.8.6. FDM'lerin tıbbi uygulamalarda kullanımı

FDM'lerin kan nakli, aşılar, sıcak – soğuk terapiler gibi birden fazla tıbbi uygulama alanı bulunmaktadır. FDM'ler soğuk veya sıcak ortamların stabil bir sıcaklıkta kalmalarını sağladıklarından dolayı tıbbi açıdan kullanılan aşıların saklanmasında ve taşınmasında önemli bir yer tutmaktadır. Aşılar 2 – 8°C arasında tutulmaları gerekmektedir,aksi taktirde daha sıcak veya daha soğuk ortamlarda özelliklerini kaybedebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı elektrik kesintilerinde veya iklimsel değişmelerin etkilerinden korunmak amacıyla saklama alanları ve taşındıkları kutular FDM'li sistemlerden yapılmaktadır. FDM'ler sayesinde aşıların ömrü 10 yıla kadar uzatılabilmektedir. Benzer sorunlardan dolayı kan ve doku saklama ve nakil işlemlerinde de FDM sistemleri tercih edilmektedir (Şekil 2.24.) Soğuk-sıcak uygulamalar da ise FDM'ler yaralı eklemlerin veya uzuvların tedavilerindekullanılmaktadır. (Mishra vd.,2015; Oro vd., 2012)



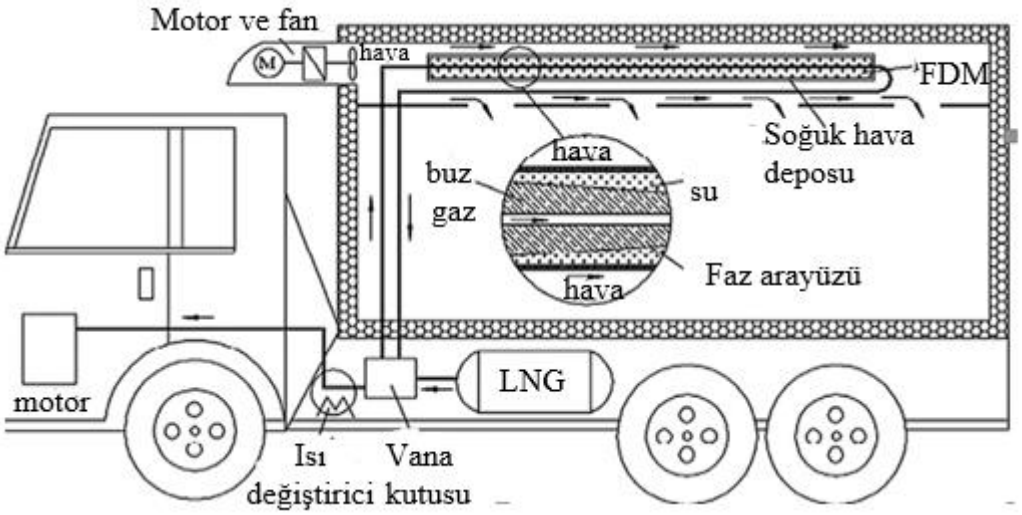
Şekil 2.24. Kan ve organ nakli için FDM içeren kaplar. (Oro vd., 2012)

2.1.8.7. FDM'nin tarımsal alanlarda uygulamaları

Bitkilerin kalitesi ve verimliliğinin artırılması için güneşin sıcaklığını depolayabilen seralar hazırlanmaktadır. Seraların ortam sıcaklığının istenilen seviyede tutulabilmesi için FDM'ler kullanılmaktadır. FDM'ler hassas olan bitkilerin yetişebileceği ortamların sıcaklığını mevsimsel veya iklimsel değişmelerden etkilenmeyecek şekilde stabil kalmasını sağlamaktadır. Sistem güneşin bulunduğu zamanlarda katı fazda bulunan FDM'nin ısı enerjisini depolayarak sıvı faza geçmesi prensibine dayanarak çalışmaktadır. Gece veya güneşin olmadığı dönemlerde ise sıvı fazda bulunan FDM depoladığı ısıyı ortama vererek katı faza geçmekte ve ortam sıcaklığını korumaktadır. (Mishra vd.,2015)

2.1.8.8. FDM'nin soğuk hava depolarındaki uygulamaları

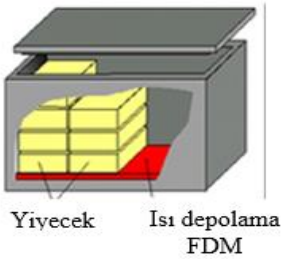
FDM yüksek termal stabilitesi nedeniyle termal koruma sağlamaktadır. Katı gıdalar, kan ve benzeri malzemeler, elektronik devreler, biyomedikal ürünler gibi sıcak ve soğuktan korunmasına ihtiyaç duyulan sistemlerde FDM'ler kullanılmaktadır. Gıdalar (süt, çikolata, dondurma, balık ve dondurulmuş gıdalar gibi), tıbbi ihtiyaçlar (biyomedikal ürünler, kan ve organ, ilaçlar gibi), bazı elektronik devreler ve kimyasal maddelerin taşımacılığında bulundukları ortam sıcaklıklarının istenilen sıcaklıkta sabit tutulması için taşıma makine, ekipman ve malzemelerinde FDM'ler tercih edilmektedir. (Şekil 2.25.). (Oro vd., 2012)



Şekil 2.25.Sıcaklığa duyarlı gıdaların taşınması. (Oro vd., 2012)

2.1.8.9. Faz değişim malzemelerinin ticari uygulamalarda kullanımı

FDM'nin en çok kullanıldığı uygulamalarından biri sıcaklığa duyarlı yiyeceklerin uygun taşıma kaplarında taşınmasıdır. Bu kaplar, yiyeceklerin taşınmasından önce FDM'nin katı fazda olması için dondurucuda tutulması gerekmektedir. Bu gibi benzer uygulamalar da alkol, meşrubat gibi taze içecekler için FDM'ler termal koruma sağlamaktadır. Yemek firmaları sıcak yemek taşımak amacıyla da bu sistemleri kullanılmakta ve yemeklerin sıcak kalmasını sağlamaktadırlar. (Şekil 2.26.) (Oro vd., 2012)



Şekil 2.26.Yemek firmalarının kullandığı sistem (Oro vd., 2012)

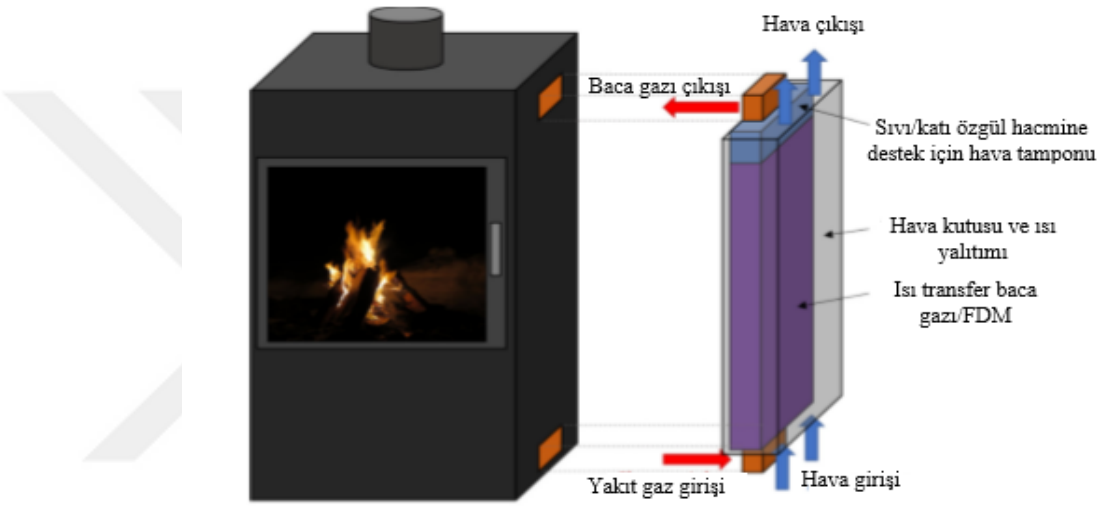
2.1.8.10. FDM'nin klima uygulamaları

Çeşitli hava koşullarında kullanılan klimalarda enerjiden tasarrufusağlanması ve daha iyi performans alınabilmesi için FDM'ler kullanılmaktadır. Yapılan bazı

çalışmalarda FDM'den oluşturulan küresel kapsüllerin klima sistemleriyle birleştirilmesi sonucunda klima sistemlerinin çalışmasında daha iyi performans elde edilmektedir. (Oro vd., 2012)

2.1.8.11. FDM'nin kullanıldığı diğer uygulama alanları

Odun sobalarında TED sistemleri kullanılarak sobaların etrafına ve bacalara FDM yardımı ile kaplama yapılarak geceleri soğuk havalarda fazla yakıt kullanımının önüne geçilmektedir. (Şekil 2.27.) (Sevault vd., 2017)



Şekil 2.27. Odun sobalarında TED sistemlerinin kullanım prosesi. (Sevault vd., 2017)

Telekom sığınaklarında sistemlerin çalışır durumda kalabilmesi için elektroniğin 45°C'lik sıcaklıkta tutulması gerekmektedir. FDM tabanlı soğutma sistemi gece katı faza geçer ve donar, gündüz havanın sıcak olduğu zaman iç ve dış ısı yüklerini emer ve sıvı faza geçer. Bu şekilde sistemin sıcaklığı kontrol altına alınmaktadır. (URL-1, 2020)

Elektronik soğutma sistemlerinde amortisör rolünü yerine getiren FDM'ler, elektronik cihazların kritik sıcaklık seviyesini aşmalarını önlemektedir. Bu sistemler ATM'ler de sıcak mevsimlerde soğutma amacıyla kullanılmaktadır. (URL-1, 2020)

FDM'ler ısı kalkanı, jet motor testi, fırın ve sıcak ortamlar gibi ısıya karşı verinin koruması gerektiği ortamlarda termal bariyerler olarak uygulanmaktadır. (URL-1, 2020)

Uzay araçlarında FDM sistemleri elektroniğin korunması ve sistemlerin performanslı çalışabilmeleri için ısı bloklarında kullanılmaktadır. FDM'lerden uzayda

örnek numune toplamak için yapılan kapsül ve araçlarda sıcaklığın stabil kalması için yararlanılmaktadır. (URL-1, 2020)

Pil soğutma sistemlerinde FDM'ler pillerin ömrünü uzatır ve pillerde daha iyi performans sağlamaktadır. (URL-1, 2020)

Elektronik yedek soğutma sistemlerinde merkez bilgisayarlar için jeneratör veya UPS (kesintisiz güç kaynağı) tarafından güç kesilir kesilmez sıcaklık yükselmektedir. FDM bu sistemler de ısıyı ortamdan uzaklaştırmak için kendi içerisine absorplayarak yedek soğutma görevi görmektedir. (URL-1, 2020)

Otomotiv sektöründe dünyanın bazı sıcak bölgelerinde klimaya ihtiyaç duyulmadan +32 °C'de gece donabilen FDM'ler kullanılarak, araçların kullanıldığı zamanlarda sürücüyü serin tutarak konforlu bir sürüş sağlanmaktadır. Ayrıca FDM'ler yakıt depolarında, elektrikli arabalarda ısıtma ve soğutma sistemlerinde çalışmalar devam etmektedir. (URL-1, 2020)

Araçlarda FDM teknolojisi kullanılarak araç içi soğutma sistemi kurulabilmekte ve araç içerisinde yiyecekleriniz bozulmadan saklanabilmektedir. (URL-1, 2020)

Mobilya sektörü ve veri güvenliği sektörlerinde de FDM sistemleri kullanılmaktadır. Mobilya sektöründe, mikrokapsülleme yöntemiyle kumaşlara ve çarşaflara FDM'ler işlenmiştir. Bu sayede daha çok konfor sağlanmaktadır. Veri güvenliği sektöründe olası bir yangında verilerin korunabilmesi için FDM'ler 4-6 saat boyunca sistemi üst sıcaklık sınırının altında tutarak korumaktadır. Sistemde oluşan yangının bu süre zarfında söndürülebileceği düşünülmektedir. (URL-1, 2020)

Vücut soğutma ve insanların konforları düşünülerek FDM'lerden buz ceketleri üretilmiştir. İtfaiyeciler ve operatörlerin sıcak veya rahatsız ortamlarda çalıştıkları sırada soğutma amacıyla FDM'ler kullanılarak vücutta oluşabilecek sorunlar ortadan kaldırılmaktadır. FDM'lerin insan sağlığı açısından kullanıldıkları diğer yerler ise tekerlekli sandalyelerdir. Tekerlekli sandalye minderlerinde kullanıcılarının sıcak noktalarını korumak amacıyla kullanılmaktadır. (URL-1, 2020)

Formula-1 yarışlarında Malezya Grand R-Prix yarışı sırasında sürücülerin su içtikleri bölmelerin fazla sıcaktan dolayı kullanılamaz bir hal alması üzerine FDM'ler kullanılmış ve su içtikleri bölmeler kaplanmıştır. Bu sayede sürücülerin susuz kalması engellenmiş ve sürüş konforu iyileştirilmiş, kazalarında önüne geçilmiştir. Bu sistemler

yakıt depolarında da yüksek sıcaklıkların önüne geçilebilmesi için tercih edilmektedir. (URL-1, 2020)

Biyotıp alanında yüksek oranda antibakteriyel aktivite keşfedilmiş ve FDM mikrokapsüllerinin 2 saatlik etkileşimleri sonrasında enzim etkileşim seviyelerinde %64,6, %99,1, ve %95,9'a kadar yavaşlama sağlanmıştır. (Peng vd., 2020)

3. FAZ DEĞİŞİM MALZEMELERİ ÜRETİMİNDE KARBON KAYNAĞININ ETKİSİ

Sistemlerde kullanılan FDM'lerin düşük termal iletkenliği sebebiyle FDM'nin tüm potansiyelinin kullanımını engellemekte ve şarj – deşarj işlemleriyle ısı transferini yavaşlatmaktadır. Bu nedenlerden dolayı FDM'lerde kabuk oluşumu için inorganik kabuk malzemeleri kullanılmaktadır. Ancak FDM termal iletkenlik artışı göstermesine rağmen sıvı faza geçişleri sırasında belirli bir oranda gerilime maruz kalır ve bu gerilim sonucunda kırılma ihtimalleri bulunmaktadır. Bu sebepten FDM sistem içerisinde uzun süre kullanılamamaktadır. Bu sorunlar göz önüne alındığında FDM'lerin kapsüllenmesinde organik ve inorganik malzemelerin beraber kullanılabileceği sistemler geliştirilmektedir. Bu sayede FDM'ler yüksek termal iletkenlik ve polimer kabuk esnekliğine sahip olmaktadır. Üretilen organik ve inorganik malzemelerin esas kabuk bileşeni olarak nano yapılı karbon bazlı malzemeler kullanılmaktadır. Uygulamada kullanılan nano yapılar, birkaç nanometre (genel olarak yapıları <100 nm) uzunluk ölçülerine sahip düşük boyutlu malzemelerdir. (Shchukina vd., 2018; Amaral vd., 2017)

FDM'lere karbon esaslı nano yapılar ilave edilerek yüksek ısı iletkenliği, termal özellik, gizli ısı kapasitesi, faz değişim sırasında enerjinin kısa sürede depolanması ve dağıtılması yeteneklerini arttırmaktadır. TED uygulamalarının yanı sıra elektronik cihazların aktif ve pasif uygulama sistemlerinde, enerji tasarruflarında, elektrikli motorlarda, atık ısının geri kazanımında, tekstil sektöründe ve ısı transfer ortamları gibi daha birçok alanda kullanılmaktadır. (Amaral vd., 2017)

3.1. Organik faz değişim malzemesi (OFDM) nedir ve nasıl üretilir?

OFDM'ler genel anlamda uyumlu bir şekilde faz değiştirebilen (sıvı-katı ve katı-sıvı faz geçişleri) ve bu işlemleri belirli bir döngü içerisinde yapabilen malzemelerdir. Parafin ve parafin olmayan malzemelerden oluşmaktadır. FDM'ler enerji depolama malzemesi olarak kullanımlarında performansı artırmak için düşük yoğunluklu karbon nanofiber (KNF) malzemelerle beraber kullanılmaktadır. (Sharma vd., 2017; Yang vd., 2019)

KNF'ler parafin ve balmumu bazlı enerji depolama malzemelerinin performanslarında artış sağlamaktadır. Genel olarak nanokompozitler, karbon

nanoyapılarının FDM'ler ile karıştırılması veya karbon nanoyapıların malzemeler içerisine dağıtılması sonucunda üretilmektedir. (Yang vd., 2019; Amaral vd., 2017)

Çizelge 3.1. Karbon malzemeler kullanılarak yapılan bazı OFDM'ler ve termal özellikleri. (Yang vd., 2019)

FDM	Erime Noktası Sıcaklığı (°C)	Termal İletkenlik (W/m.K)	Termal İletkenlik Artışı (%)
Parafin Wax/KNF	50	0,45	40,62
Parafin/KNF	58,4	0,33	25,47
Parafin/Carbon Aerojel	53,5	NA	NA
Oktadekanik Asit/Grafen Aerojel	57	2,635	1332,06
Parafin/3D Grafen Aerojel Köpük	58	0,617	99,67
Laurik Asit/Aktif Karbon	44,07	0,18	12,5
Palmitik Asit/Kömürleşmiş Alkillenmiş Silika Aerojel	61	NA	NA
Oktadekanol/Kömürleşmiş Alkinleşmiş Silika Aerojel	59	NA	NA
PEG 1500/Aktif Karbon	48	NA	NA
PEG 10000 – N-dihidroksietil Anilin/Karbon Siyahı	29,3	0,280	4,86

3.2. OFDM içinde karbon kaynağı etkisi

FDM'lerin termal özelliklerini, gizli ısı kapasitelerini ve termal iletkenliklerini iyileştirme yöntemlerinden bir tanesi karbon nanoyapıların FDM'lere eklenmesidir. Karbon kaynağının FDM'lere etkilerini incelemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. (Amaral vd., 2017)

Bu yöntemlerden biri; sıvı FDM'ye karbon nanotüp, karbon nanofer, grafen nanotrombosit ve genişletilmiş grafit ilave edilerek karıştırma ve çalkalama işlemlerinin uygulanmasıyla farklı yükleri içeren karbon nanoyapıların dağıtılması sonucunda nanokompozit karışımlar hazırlanmaktadır. Bu işlem ile karbonun FDM üzerindeki

termal iletkenliği artmaktadır. Termal iletkenliğin artması karbon türlerine bağlıdır. Karbon nanoyapılar içerisinde grafen nanotrombosit ve genişletilmiş grafit en fazla termal iletkenlik özelliğini arttıran malzemelerdir. Grafen nanotrombositlerin (GNT) FDM'ler üzerindeki termal iletkenliğini arttırmasının sebebi matris termal arayüzey direncinin 2D şeklinde düzlemsel yapıda olmasıdır ve genişletilmiş grafitin ise solucan benzeri yapıda olmasından dolayı daha fazla ısı iletimi bağlantısı oluşturabilmektedir. Ayrıca termal iletkenliğin artması karbon nanoyapıların şekline, boyutuna ve taşıdığı yük özelliklerine bağlıdır. (Çizelge 3.2) (Amaral vd., 2017)

Çizelge 3.2. Karbon yapıların özellikleri. (Amaral vd., 2017)

Özellik	Birim	Grafit	Grafen	Grafen Oksit	Karbon Nanotüp
Yoğunluk	$g.cm^{-3}$	1,9-2,3	-	-	0,8 (Tek katmanlı nanotüp)
Elastik modulü	TPa	1 (düzlem içinde)	1	0,2	1,8 (Çok katmanlı nanotüp)
Akma direnci	GPa	130	130	120	~1 (Tek katmanlı nanotüp) ~0,3 – 1 (Çok katmanlı nanotüp)
Termal direnci	$W.m.K^{-1}$	300 (düzlem içinde)	5000	2000	50-500 (Tek katmanlı nanotüp) – 10-60 (Çok katmanlı nanotüp)
Elektiriksel iletkenlik	$S.cm^{-1}$	400 (düzlem içi) – 3,3 (z ekseni)	10^4	10^{-1}	10^2-10^6 (Tek katmanlı nanotüp) – 10^3-10^5 (Çok katmanlı nanotüp)

FDM/karbon nanoyapılar nanokompozitlerde termal iletkenlik ve gizli ısı kapasitesinin artışı ile ilgili çalışmalar ve sonuçlar Çizelge 3.3.'te gösterilmektedir. Kompozit malzemelerin gizli ısı kapasiteleri (%) ve değerler üzerindeki değişmeler FDM'lere bağlıdır. (Amaral vd., 2017)

Çizelge 3.3.FDM'lere yüklenen karbon nanotüplerin termal özellikleri. (Amaral vd., 2017)

FDM	Karbon Nanotüp	Yüklenen İçerik (%)	Gizli Isı Kapasite Varyansı (%)	Termal İletkenlik Artışı(%)
Parafin mumu	ÇKKNT	%0,6 hacim	Erime: -2,0;	40-45
			Donma:5,0	
Parafin mumu	TKKNT	%0,1 hacim	13	-
	ÇKKNT		10	
	KNF		6,8	
Parafin mumu	xGNP	%7,0 kütlece	Değişiklik yok	200
Parafin mumu	R (karışık) GN	%5,0 kütlece	-16,4	390
	O (yönlü) GN		-	1210
Parafin mumu	ÇKKNT	%5,0 kütlece	Erime: -15;	30
	ÇKKNT		Donma: -14	15
	KNF		Erime: -15;	15
	GNT		Donma: -12	164
			Erime: -10;	
			Donma: -9	
			Erime: -10;	
			Donma: -9	
Parafin mumu	ÇKKNT	%4,0 kütlece	-	20
	ÇKKNT			7
	KNF			20
	GNT			93
	KNT			Parafin mumu/ CNFs: 40
Parafin mumu-soya mumu	KNT	%10,0 kütlece	-	Soya mumu/ CNFs: 45
				Soya mumu/ CNTs: 24
	ÇKKNT			35-45
Parafin mumu	KNF	%2,0 kütlece	-1	45
Parafin mumu	GG	%4,0 kütlece	-	2150-5350
Parafin mumu		%25,0 kütlece	-26	2800-7000
	Grafen	%35,0 kütlece	-33	140
1-octadekanol	ÇKKNT	%4,0 kütlece	-15	31
1-Hexadekanol ($C_{16}H_{34}O$)	GNT	%3,0 kütlece	-	170
	Grafen			52-87

N- octadekan	KNF	%4,0 kütlece (katı)	-	48-66
	GNT	%5,0 hacim (sıvı)		400
İkozan	İşlenmiş ÇKKNT	%10,0 kütlece	-16	24-50 (işleme bağlı)
Palmitik asit	ÇKKNT	%1,0 kütlece	-	9 (dağıtıcı etken ile)
Stearik asit	GNT	%1,0 kütlece	-2	336
Biyobazlı FDM	KNF	%5,0 ağırlıkça	Erime: -2,2;	248
			Donma: -6,6	
			Erime: -11,3;	
	GNT		Donma: -9,1	373
Palmitik-Stearik asit	GG	%8,0 ağırlıkça	Erime: -20,9;	1684
			Donma: -23,9	
			Erime: -25,2;	
			Donma: -27,0	

Termal iletkenlik ve gizli ısı kapasitesinin arttırılması için kritik etkilerin belirlenmesi konuları incelenmektedir. Literatürde bu konular hakkında yapılan bazı çalışmalarda;

- Çok katmanlı karbon nanotüpler herhangi bir dispersiyon ajanı kullanmadan hacimce %0,15, %0,3, %0,45 ve %0,6 hacim fonksiyonları ile sıvı parafin içerisinde dağıtarak FDM'den bir nano sıvı hazırlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde karbon nanoyapıların içeriği hacimce yaklaşık %0,6 olduğunda, hem sıvı hemde katı hallerde nanokompozitlerin %30-45'inin termal iletkenliğinde artış olduğu görülmüştür. Çok katmanlı karbon nanotüplerin konsantrasyonunun arttırılması ile gizli ısı kapasitesinde fark edilebilir bir değişiklik olmadığı fakat termal iletkenliğin de sürekli bir artış olduğu görülmüştür. Bunun sebebi çok katmanlı karbon nanotüplerin FDM içerisinde daha yüksek kararlılığa sahip olmaları ve aralarında yüksek moleküler çekim olduğu sonucuna varılmıştır.(Kumaresan vd., 2012)
- Yüksek termal ve elektrik iletkenliğine sahip gizli ısı malzemesi hazırlamak için grafen nanotrombosit ile parafin kullanılmıştır. Parafin/grafen nanotrombositlerin nanokompozitlerinin termal iletkenliği, grafen nanotrombositlerin yüklenmesiyle FDM içeriği artmış ve grafen nanotrombositlerin ağırlıkça %7 ilave edilmesiyle %200'den fazla termal

iletkenlikte artış elde edilmiştir. Devamında grafen nanotrombositlerin içeriği azaltılmış fakat gizli ısı kapasitelerinde düşüş görülmemiştir. (Kim vd., 2009)

- Erime sıcaklıkları 28,13°C ve gizli ısı kapasiteleri 149,2 J/g olan biyo bazlı FDM'lere kütle oranları %0,%1, %3, ve %5 olarak belirlenmiş grafen nanotrombositler ile karbon nanotüp ilave edilmiştir. Karbon nanotüp ilavesi arttıkça ısıl iletkenlik önemli ölçüde artmıştır. Biyo bazlı FDM/grafen nanotrombositler ağırlıkça %5 ilave edilmesi ısı iletkenliğinde %336 artışa karşılık gelmiştir. Biyo bazlı FDM/karbon nanotüp kompozilerinde ise ağırlıkça %5 içerik ilavesi iletkenlikte %248'lik bir artışa karşılık gelmiştir. FDM/karbon nanotüplere tekrar karbon nanotüp ilave edilmesiyle gizli ısı kapasitesinde azalma görülmüştür. Bu azalma 3D ağ yapısının, FDM kompozitlerinde ısı akışı içermesinden dolayı olduğu sonucuna varılmıştır. (Yu vd., 2014)
- Parafin mumu ve çok katmanlı karbon nanotüplerden ağırlıkça %0,2, %0,5, %1 ve %2'den oluşan dört adet ısı depolama nanokompozit örneği hazırlanmış ve termal özellikleri incelenmiştir. Çok katmanlı karbon nanotüplerin ilavelerinin artmasıyla nanokompozitlerin ısıl iletkenliği artmıştır. Ağırlıkça %2'lik kompozit için ısı iletkenlik artışı katı ve sıvı halde sırasıyla %35 ve %40 değerlerine ulaşmıştır. Gizli ısı kapasiteleri parafin balmumu molekülleri ile çok katmanlı karbonlar arasındaki etkileşime bağlı olarak kütle franksiyonlarındaki artışla artmıştır. (Wang vd., 2009)

Bir diğer yöntem olarak, faz değiştirme işlemleri sırasında malzemenin kendi formunu koruyabilmesi özelliğinden dolayı şeklini koruyan faz değişim malzemelerine (ŞKFDM) karbon nano yapı matrisi, gelişmiş grafit (GG), sıkıştırılmış genişletilmiş doğal grafit (SGDG), pulpul dökülmüş grafit nanotrombosit (xGNP) ilave edilmesidir. ŞKFDM'lere karbon ilave edilmesi ile FDM'nin termal özellikleri Çizelge 3.4.'te gösterilmektedir. (Amaral vd., 2017)

Çizelge 3.4.Karbon ilaveli ŞKFDM'lerin termal özellikleri. (Amaral vd., 2017)

FDM	Karbon Nano (materyal matriks)	Yüklenen İçerik (kg %)	Gizli ısı kapasite varyansı (%)	Termal iletkenlik artışı (%)
Parafin	GG	25	15,6	8200
Parafin	GG	10	-8,3	172
Parafin	GG	14,4	-14,4	-
Parafin	GG	10	-10	1155
Parafin	GG	25	Erime: -10; Donma: -24	576
	ÇKKNT	25		41
Parafin	SGDG	8	-15,5	2250
Parafin	NG	10	-13,1	741
Parafin	xGNP	10	-	980
	Grafen			100
Parafin	xGNP-1	2	1,5	-
	xGNP-15			
Parafin	GO	51,7	-51	223
Parafin	GO	3	Erime: -3,5; Donma: 0	32
PGG	GO	4	Erime: -9,5; Donma: -10	-
PA	OKG	3	-3,3	250
PA	GO	50	-50	386
Asetamit	GG	10	-16	507
Stearik asit	GO	1	-40	-
Kaprik ve Laurik asit	PA6/GG	10	Erime: -19,2;	-
Kaprik ve Palmitik asit			Donma: -18,4	
			Erime: -5,0;	
			Donma: -3,0	
Kaprik ve Stearik asit			Erime: -11,6;	
			Donma: -8,7	
Kaprik ve Laurik asit	GG	6,3	Erime: -5,8;	1400
			Donma: -1,5	

ŞKFDM'lerin termal iletkenlikleri hakkında birçok çalışma yapılmaktadır. Literatür incelendiğinde yapılan bazı çalışmalarda;

- Sıvı FDM ve genişletilmiş grafit arasında bulunan kılcal kuvvetler yardımıyla genişletilmiş grafitlerle (GG) ŞKFDM kompozitleri hazırlanmıştır. Kompozitin 16,6 W/m.K termal iletkenliği ile RT-24 parafinin 0,2 W/m.K termal iletkenliğinden kabaca hesaplamak

gerekirse %8200 daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna karşılık, kompozitin gizli ısı kapasitesinde %15,6 artış görülmüştür (parafin için 160 J/g ve kompozit ŞKFDM/GG için 185 J/g'dır). (Mills vd., 2006)

- Termal enerji depolama özelliklerine sahip ŞKFDM'ler (parafin/GG kompozit) hazırlanmıştır. Parafin, GG ağına emilir ve GG'lere gizli ısı depolama özellikleri yüklenir, erimiş parafinler yüzey gerilim kuvvetleri nedeniyle gözenekli yapıdan sızmalarını önleyerek destek malzeme görevini üstlenir. Parafinin toplam gizli ısı enerjisi 188,69 J/g ve kompozit FDM'nin ise toplam gizli ısı enerjisi 161,45 J/g olarak ölçülmüştür ve gizli ısı enerjisinde %85,6 artış sağlanmıştır. (Zhang vd., 2006)
- Nanografit (NG) ve FDM içeren kompozitlerin hazırlanması üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Nanografitin nano tabakaları ağırlıkça %1,10 kullanılmış ve parafin içerisinde heterojen şekilde dağıtılmıştır. Termal iletkenlik üzerine ağırlıkça %10 nanografitin ilavesiyle sağlanan iyileşme yaklaşık olarak %165 değerlerini bulmuştur. Nanografitin içeriği arttırıldıkça NG/parafin kompozitlerin termal iletkenliği artarken, gizli ısı kapasitesi parafin içeriği azaldığı için yavaş yavaş azalmıştır. (Li, 2013)
- Grafen oksit tabakaları içinde parafinin vakumla emdirilmesiyle hazırlanmış kararlı formda bulunan FDM incelenmiştir. Kompozit FDM erimiş FDM sızıntısı olmadan ağırlıkça %43,3 parafin içermekte ve bu kompozitin %230 termal iletkenlik artışı sağladığı bulunmuştur. (Mehrali vd., 2013)

FDM uygulamalarında birden çok karbon türü kullanılmaktadır. Kullanılan bazı karbon türleri Çizelge 3.5.'te gösterilmektedir.

Çizelge 3. 5.Çalışmalarda kullanılan bazı karbon türleri

Karbonlar	**Referans**
Aktif karbon	Amaral vd., 2017
Genişletilmiş grafit	Zhang vd., 2006
Grafen	Amaral vd., 2017
Grafen nanotrombosit	Amaral vd., 2017
Grafen oksit	Mehrali vd., 2013
Karbon nanotüp	Yu vd., 2014
Karbon siyahı	Shchukina vd
Nanografit	Li, 2013

4- LİTERATÜR TARAMASI

Biçer ve ark. (2017) tarafından ısı enerjisini depolamak için yapıca kararlı bir faz değişim malzemesi kullanılması ile uygun kompozit malzeme yapılması üzerine çalışmalar yapılmıştır.Faz değişim malzemesi olarak silikafume ve polietilen glikol (PEG) kullanılmıştır. Kompozit malzeme, PEG'in silikafume içine vakum altında emdirme yöntemi ile elde edilmiştir. Elde edilen kompozitler SEM ve FT-IR teknikleriyle analiz edilmiştir. DSC analizi sonunda kompozit malzemenin erime noktası sıcaklık değerleri belirlenmiştir.Kompozit malzemenin kimyasal olarak kararlı yapıda olduğu, enerjiyi depolama özelliğini koruduğu ve ısıl iletkenliğinin artırılması için farklı oranlarda karbon nanotüp ilave edilebileceği sonucunaulaşılmıştır.

Cui ve ark. (2017) tarafından termal ısı iletkenliğinin artırılması amacıyla karbon nano tüp katkılıve kabuklu faz değişim malzemelerinin mikro kapsüllenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Faz değişim malzemesi olarak karbon nano tüp takviyeli melaminformaldehit reçinesi ve karbon nanotüp takviyeli n-oktadekan kullanılmıştır. Kabuk malzeme olarak formaldehit sulu çözeltisi ve melamin kullanılarak yerinde polimerizasyon yöntemi uygulanmıştır.Karbon nanotüp içeren mikrokapsüllenmiş faz değişim malzemesinin DSC analizine göre termal iletkenliği %25 artmıştır. Karbon nano tüp takviyeli faz değişim malzemelerinin, ortam sıcaklığına hızlı bir termal tepki oluşturan termal iletkenliğin gelişmesi ve mükemmel faz değişim davranışı sağlayan kristalizasyon yapıya sahip oldukları gözlenmiştir.

Esen ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmada; FDM'ler kullanılarak enerji depolama tanklarının modellenmesi üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışmada FDM olarak kalsiyum klorür hekzahidrat, parafin, parafin mumu ve sodyum sülfat dekahidrat kullanılması tercih edilmiştir. Sistemde kullanılan tank silindirik bir tank olarak modellenmiş ve ev ısıtma sistemlerinde kullanımı hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda gizli ısı depolama işlemi için modellemesi yapılan tankın sadece termal ve geometrik parametrelere bağlı olmadığı bunların yanı sıra FDM'lerin termofiziksel özelliklerine de bağlı olduğu görülmüştür.

Irwin (2014) tarafından yapılan çalışmada termal enerji depolama için faz değiştirme malzemeli karbon köpüğü incelenmiştir. Çalışmanın amacı, termal enerji depolama cihazlarında kullanılması planlanan termal iletken grafit köpüklerinin içine

FDM katılarak erime davranışlarını ve malzeme olarak kullanılan oktadekanın toplam erime süresinin belirlenmesidir. Köpükler bir ısı eşanjörü kullanılarak ayrı plakalarda tutulmuştur. Bu plakaların kullanım amacı FDM'yi ısıtma ve soğutma sıvısının temasından korumaktır. Ayırma plakasını takmak için kullanılan bağlama malzemesinin ısı transferini arttırdığı ve FDM ile köpüğün ısıtılmasında gecikme yaşandığı görülmüştür. Ayrıca sistemde kullanılan plakaların mekanik ve termal özellikleri, bağlama malzemesi ve ayırma plakalarının köpüğe bağlanma yöntemleri FDM'nin enerji transferi, sıvılaşma ve katılaşma hızı üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur. Araştırmanın diğer amacı ayırma plakası olarak kullanılan alüminyum ve paslanmaz çelik plakaların karşılaştırılmasıdır. Karbon köpük malzemesi ayırma levhalarına lehim veya epoksi kimyasalı ile bağlanması planlanmıştır. Çalışmanın sonucunda kullanılan malzemelerin termal enerji depolama ünitelerinde ve ısı eşanjörü cihazlarında kullanılabilirliği sonucuna varılmış ve grafit köpük üretiminde kullanılabilir bir yöntem olduğu görülmüştür. Ayırıcı malzeme olarak alüminyum ve paslanmaz çeliğin kullanılabilir malzeme olduğu sonucu çıkartılmış fakat paslanmaz çeliğin daha hızlı enerji transferi sağladığı sonucuna varılmıştır. Ayırıcılarda epoksi kimyasal kullanımı sırasında köpük gözeneklerini doldurma sorunu, ısıtma ve soğutma işlemleri sırasında termal iletimi azalttığı görülmüştür.

Karaipekli (2006) tarafından ısıl iletkenliği arttırıcı genişletilmiş grafit ile karbon fiber kullanarak faz değişim malzemeleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışma amacı, güneş enerjisi ile bina ve seraların ısıtılması, elektronik cihazların soğutulması, konutlarda su ısıtma veya soğutma gibi alanlarda termal ısı depolanması için yüksek ısı iletkenliğine sahip ısıl iletkenlik arttırıcı malzeme ve FDM ile en uygun karışım elde etmektir. Faz değişim malzemesi olarak parafin ve stearik asit kullanılmıştır. Hazırlanan dört farklı alternatifte, parafin ile genişletilmiş grafit karışımı, parafin ile karbon fiber karışımı,stearik asit ile genişletilmiş grafit karışımı, stearik asit ile karbon fiber karışımı üzerinde ısıl iletkenlikleri sıcak tel metodu ile ölçülmüştür. İletkenlik arttırıcı malzemelerin parafin ve stearik aside eklenmesiyle FDM'nin erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları DSC analizi kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda genişletilmiş grafit ve karbon fiber eklenen sonucunda kompozit FDM elde edilen karışımların erime gizli ısılarında önemli bir azalma olmadan ısıl iletkenliklerinin gayet yüksek derecede artmasına ve katılaşma sürelerinin azaldığı belirlenmiştir.

Koşan ve ark (2018) tarafından FDM ile termal enerji depolamaya yarayan bir ısı değiştiricisinin sayısal analizi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın amacı, ısı transfer akışkan sıcaklığınınım FDM erime süresi üzerindeki etkisini araştırmaktır. FDM olarak parafin RT42 kullanılmıştır. Termal enerji depolama sistemlerinde kullanılan iç içe geçen borulu ısı değiştiren mekanizmada, FDM'nin erime sürecindeki ısıl davranışı, kanatlı ve kanatçıksız olmak üzere iki model ile sayısal analiz yapılarak incelenmiştir. ANSYS Fluent ticari programı ile iki boyutlu ve kanatçıksız model ile sayısal analizler belirlenmiştir. Çalışmada, ısı transfer akışkanının sıcaklığı ve kanat sayısı arttıkça FDM'nin erime süresinin azaldığı gözlemlenmiş ve FDM'nin ısı transfer akışkanından ısıyı daha hızlı şekilde depoladığının sonucuna varılmıştır.

Mekaddem ve ark. (2016) tarafından faz değişim malzemesi olarak karbon levhada gizli termal enerji depolama üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın amacı, binalarda enerji bağımlılığını azaltmak, enerji tasarrufu sağlamak için malzemeler geliştirmek ve bir iç panelde termal davranışın etkisini ölçmektir. Faz değişim malzemesi olarak parafin RT27 kullanılmıştır. Destekleyici madde olarak karbon kullanılmıştır. Parafin RT27 bir karbon matrisine dahil edilerek alüminyum levha ile kaplanıp, Ansys Fluent programı kullanılarak entalpi yöntemi ile çözülmüştür. Farklı levha kalınlıkları ile yapılan çalışmalarda, radyasyon ve konveksiyon etkilerini de baz alarak günlük olarak ısı akışına maruz bırakılarak sıcaklık koşullandırma üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Çalışma sonucunda, ısı akış yoğunluğu farklı levha kalınlıkları için aynı değildir ve ince bir panelde daha hızlı ısınma hızı gerçekleşir. Sıcaklık düştüğünde ise ısı geri kazanımının yavaş gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu geri kazanım süresinin uzun sürmesi termal direnci artırır. Aynı zamanda enerji tüketimini azaltmaya ve iç mekan sıcaklığını kontrol altında tutabilme sonucuna varılmıştır.

Mishra ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada faz değiştirme malzemeleri ile gizli ısı depolama incelenmiştir. Çalışmanın amacı, birçok alanda kullanılan FDM'lerin özellikleri ve faydalarını ortaya koymaktır. İncelenen sistemler içerisinde, bina yalıtımları, ısı motorlarının ve gıdaların soğutulması, içecekler, seralar, kan ve sıcak-soğuk malzemelerin taşınması, atık ısı geri kazanım sistemleri, suyun ısıtıldığı ve soğutulduğu sistemler, güneş enerjisi santralleri, uzay araçları ve termal sistemler bulunmaktadır. $CaCl_2.6H_2O$, asetamit, N-oktadekan, sodyum asetat trihidrat, N-Eicosane, stearik miristik asit (%80-%20), tuz hidrat malzemelerinin erime, özgül ısı ve

iletkenlik değerleri verilerek binalarda, mobil soğutmalarda, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, soğutma depolarında kullanımları üzerinde durulmuştur. Çalışmanın sonucunda geleneksel enerji kaynaklarının azalan arzıyla, yenilenebilir kaynakların kullanımına duyulan ihtiyaç ve talebin arttığı görülmüştür.

Mey (2016) tarafından karbonun güneş enerjisi uygulamalarında faz değişim malzemesi ile birlikte kullanımının üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın amacı, güneş enerjisi uygulamalarında güneş emilimini artırıp arttırmayacağını test etmek ve doğrudan güneşin kullanıldığı ısı transfer sıvısı olarak kullanılan entegre sistemde kullanılıp kullanılamayacağını keşfetmektir. Bu çalışma için güneş simülatörü yapılarak karbon karası ile FDM kompoziti oluşturulup, en hızlı sıcaklık artışını gösterip göstermemesi test edilmiştir. FDM olarak ötektik palmitik asit ve stearik asit kullanılmıştır. Çalışma sonucunda , karbon kompozitli FDM'nin sıcaklığı artırma süresinin saf FDM' ye göre iki kat daha fazla sürede 75°C'ye ulaşmasının sonucuna varılmıştır. Termal ve optik özellikleri ile doğrudan güneş emici olması ile çalışma sıvısı ve enerji depolama sıvısı olarak kullanılabilirliğinin maliyeti düşürdüğü ve verimliliği arttırdığı kanısına varılmıştır.

Peng ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada faz içinfaz değiştirme malzemesi, mikro kapsüllere enerji depolaması incelenmiştir. Çalışmanın amacı, termal enerji depolaması için FDM mikro kapsülleri üzerinde kapsamlı bir inceleme yapmaktır. Çalışmada FDM'lerin sınıflandırılması, kapsülleme kabuk malzemeleri, mikro kapsülleme teknikleri, FDM mikrokapsüllemelerinin karakterizasyonu ve termal uygulama konularını ele alınmıştır. Çalışma sonucu, mikrokapsülleme tekniklerinde dikkate alınması gereken çekirdek ve kabuk malzemesi, mikro kapsül boyutu, kabuk kalınlığı, mekanik davranışlar ve termal özellikler dahil olmak üzere mikro kapsüllemede kullanılan FDM özelliklerine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Rathod ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada faz değişimine dayalı termal enerjide deneysel çalışma ve depolama sistemi üzerinde durulmuştur. FDM'lerden yararlanarak termal enerji depolama üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada iki FDM malzemesi kıyaslanmıştır. Sistemde bakır boru ve sıcak su ile enerji depolayabilen faz değişim malzemesi olarakta kalsiyum klorür hekzahidrat ($CaCl_2.6H_2O$) ve sodyum karbonat dekahidrat ($Na_2CO_3.10H_2O$) kullanılmıştır. Transfer sıvısı bakır boru içerisinden geçirilerek enerji depolanması amaçlanmıştır. Çalışmanın

sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde sodyum karbonat dekahidratın diğer FDM olan kalsiyum klorür hekzahidrattan %57 daha verimli olduğu bulunmuştur.

Sharma ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada faz değişim malzemeleri ve uygulamaları ile termik enerji depolarının gözden geçirilmesi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, FDM'lerin çeşitli termal özelliklerini incelemektir. FDM'ler, alçı duvar paneli ve beton bloklarda termal enerji depolama kapasitesini arttırmak için kullanılmıştır. Termal iletkenliği ve ısıl enerji depolama verimliliğini arttırmak amacıyla çalışmada tuz hidratlar, hidrokarbonlar, kalsiyum klorür hekzahidrat ve parafin mumu kullanılmıştır. FDM'lerin %79 oranında ısıyı absorbe ettiği ve FDM'ler sayesinde evin içerisindeki sıcaklığın ortam sıcaklığına göre bir kaç derece üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Shrestha'nın (2013) yaptığı çalışmada paketleme ısısı, faz değiştirme malzemeleri kullanarak enerji depolama ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, suyun enerji tutma kapasitesini arttırmaktır. Çalışmada gerekli deney yöntemleri kullanılmış olup yapılan deneylerin temel amacı, basit bir suyun enerji tutma kapasitesindeki artışı ölçmek, FDM'nin termal özelliklerini yani iletkenliğini, kapasitesini ve farklı konsantrasyonlarda suda karıştırıldığındaki tepkilerini ortaya koymaktır. Çalışmada FDM olarak miristik asit kullanılmıştır. Hem teorik hem deneysel sonuçların ve hataların geçerliliğini test etmek için COMSOL modeli ile simülasyon yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda istenen sıcaklıkta (50-60 °C) miristik asitin aşırı soğutma ve toksik olmadan uygun faz geçiş sıcaklığı aralığı 49-51 °C, 199 kJ / kg'lık yüksek gizli füzyon ısısı gibi bir FDM olarak kullanım için birçok uygun özelliğe sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Shchukina ve ark. (2018) tarafından gelişmiş termal enerji depolama sistemleri için faz değişim malzemelerinin nano kapsülasyonu incelenmiştir. Çalışmanın amacı, nano kapsüllemeye dikkat ederek hem organik hem de inorganik FDM'lerin kapsüllenmesine yönelik teknikler üzerinde bilgi verilmiştir. Ayrıca kullanım ömrünü, termal özellikleri geliştirmek için çok işlevli kabuk malzemelerinin geliştirilmesi, FDM kapsüllerinin ekonomik olarak uygulanabilir üretimi için ileri seri üretim teknikleri ve atıkların kullanılmasını mümkün kılan gelecekteki araştırmalar hakkında fikir vermek hedeflenmiştir. FDM olarak parafin ve tuz hidrat ile çalışmalar yapılmıştır. Nano kapsülleme de FDM seçimi, emülsiyonlar ve sistem için uygun emülsiyon seçimi, kararlı kapsül kabuğunun oluşumu incelenmiştir. Organik ve inorganik FDM

kapsüllenmesi olarak iki başlık altında açıklanmıştır. Çalışmada analiz yöntemi olarak DSC kullanılmıştır. Çalışmanın sonucu, termal enerjinin depolanmasında yüksek verimliliğin sağlanması için en uygun yöntemin kapsülleme işlemi olduğunu öne sürmüştür. FDM yüklü mikrokapsüllemelerin %100 kapsülleme veriminin olmadığı ve yüksek stabiliteye rağmen ısı kapasitesi genellikle saf FDM'lerden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Soytürk (2018) tarafından yapılan çalışmada FDM ile güneşten alınan enerjinin depolanmasının ve ısıtma sistemlerinde kullanımının incelenmiştir. Çalışmanın amacı, evin FDM'ler yardımıyla enerji depolanmasını ve ısıtma ihtiyacının karşılanmasını incelemektir. Bu nedenle düzlemsel güneş kolektör ve parabolik kolektör şeklinde iki farklı depolama sistemi tasarlanmıştır. Sistemler de kullanılması planlanan kolektörler ocak ayı baz alınarak tasarlanmıştır. Sistemde sodyum asetat trihidrat erime ısısı ve sıcaklık, kolay temin edilebilirliği, maliyetlerinin olmasından dolayı FDM malzemesi olarak seçilmiştir. Çalışmada meteoroloji den alınan aylık veriler kullanılarak enerjetik ve ekserjetik analizler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda ocak ayında ısıtma ihtiyacının kolektörden gelen enerji ile karşılanabilmesi için güneş alma süresi de ele alınarak hesaplama yapılmış ve 64 adet kolektöre, 1171 kg sodyum asetat trihidrat kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Tang ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmadakarbon nanotüp geliştirilmiş termal iletkenlik ısı yayılımı için faz değiştirme malzemeleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, karbon nanotüplerin ve matrislerin birlikte kullanılabileceği bileşenleri bularak, nanofiller ve matrisler arasında minimum ısı engellerini oluşturmak, maksimum termal iletkenliği gerçekleştirmek ve bu araştırma sonucunda istenen bileşenler bulunarak nano gelişmiş faz değişim malzemesi geliştirmektir. Çalışmada karbon nanotüp ve FDM geliştirilmesinde, FDM matrisleri ve dolgu malzemelerinin seçimi, karbon nanotüp ön işlemi, dispersiyon parametrelerinin optimizasyonu, karbon nanotüplerin yükleme derecesinin optimizasyonu, FDM'de karbon nanotüp dağılımının değerlendirilmesi, FDM'nin termal direncinin ölçülmesi ve matris üzerindeki artışın karşılaştırılması adımları takip edilmiştir. Çalışmada ısıtıcı, soğutucu ve 2 adet bakır levha kullanılmış ve üst levhaya ısıtıcı lehimlenmiş, alt lavhaya da ısıyı uzaklaştırabilmesi için soğutma suyu bağlanmıştır. Karbon nanotüp ve organik FDM'si iyi cilalanmış bakır gövde üzerine yerleştirilmiş ve 400 N basınç uygulanmıştır. Organik FDM olarak farklı

molekül ağırlıklarına sahip polietilen glikol (PEG), laurik asit, 1-dodekanol, tetradodekanol ve undesilenik -10 asit kullanılmıştır. Malzeme seçimi sırasında düşük termal direnç, karbon nanotüplere uyumluluk ve yüksek gizli füzyon ısısı özellikleri göz önüne alınarak seçilmiştir. Çalışmada SEM analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçunda, çok katmanlı karbon nanotüplerin organik FDM'lere dahil edilmesiyle termal direncin büyük ölçüde azaltılabileceği tespit edilmiştir. Karbon nanotüplerle güçlendirilmiş termal olarak iletken faz değişim malzemeleri geliştirilmiştir.

Tokuç (2013) tarafından yapılan çalışmadafaz değişim malzemelerinin ısıl enerji depolama amacıyla yapı elemanı üretiminde kullanımı incelenmiştir. Çalışmanın amacı, yapıların ısıl verimliliğini yükselteceği düşünülen FDM'li yapı malzemelerinin binalarda kullanımı ile, mimari tasarım sürecinde kullanılabilecek bir değerlendirme modelinin ortaya konulmasıdır. Çalışmada FDM eklenerek meydana getirilen yapı bileşenlerinin mimari kullanımı ve iklimlendirme enerjisi açısından sağladığı faydanın ölçülmesi bakımından önerilen modelde deneysel çalışmaya, sayısal modellemeye ve simülasyona dayalı yöntemler bir arada kullanılmıştır. İlk olarak yapı elemanı tasarımı yapı cinsi, ısıtma/soğutma, iklim ve faz değişim sıcaklığı göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Sonrasında seçilen yapı elemanının hem hissedilebilir, hem de gizli ısı olarak depoladığı enerji ve FDM'nin ısıl davranışı deneysel olarak ölçülmüştür. FDM katı haldeyken başlayan deney FDM malzemesi eriyip enerji dengesi sağlayıncaya dek devam etmiştir. Bir sonraki adımda ısıl performans Fluent sayısal yöntemle hesaplanmış ve yapı elemanının başarısının görülmesi için simülasyon yapılmıştır. Çalışmanın sonuçunda, RT27 parafinine benzer kimyasal özelliği olan diğer FDM'lerin de yakın sonuçlar verdiği fakat FDM seçiminden önce yapının yer aldığı iklimsel özelliklerinin seçim öncesinde çok iyi incelenmesi gerektiği görülmüştür.

Tözüm ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada ısı depolayan mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı düzenleme özelliklerinin araştırılması yapılmıştır. Çalışmada ısı depolama özelliklerinden dolayı mikro kapsüllerin çekirdek materyallerinde FDM kullanılmıştır. Tekstil sektöründe giysilerde ısıl konforu geliştirme ve ısı düzenlemesi yapılması amacıyla çalışma yapılmıştır. Çalışmanın amacı, mikro kapsüllenmiş FDM uygulanması yapılmış kumaşlarda ısı düzenleme özelliklerinin belirlenmesidir. Çalışmada kullanılacak olan kumaşların ısı depolama özelliklerine DSC analiz yöntemiyle, kumaşların içerisinde mikro kapsüllerin olup olmadığına da optik

mikroskop analiz yöntemi ile bakılmıştır. Kumaşların ısıl depolama miktarlarını inceleme için termal kamera kullanılmıştır. Mikro kapsüller de FDM olarak parafin bazlı n-oktadekan kullanılmıştır. Çalışmada mikro kapsüller kumaşlara emdirme yöntemiyle işlenmiştir. Çalışma sonucu, DSC analiz sonuçları incelendiğinde miktarları değiştirilen mikro kapsül işlenmiş kumaşların depolama kapasitelerinin ham kumaşa göre 1-2,5 j/g aralığında değiştiği tespit edilmiş ve çalışmada yapılan ölçüm değerlerine göre ısıtma ve soğutma özelliklerinin ham kumaşa göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Utlu ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada yeşil bina uygulamalarında gizli ısı depolama sistemlerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, klasik binaların enerji tüketiminin en fazla %15-20'lik kısmı yenilenebilir enerji tarafından karşılanırken yeşil bina teknolojisinde binaların ısıl ve elektriksel enerji gereksiniminin %75-80 seviyesinde yenilenebilir enerjiden karşılanmasıdır. Çalışma 6 aylık bir periyodu kapsayacak şekilde yapılmış olup FDM'lerin gizli ısı depolamasından faydalanılarak verimlilikleri incelenmiştir. Güneş panelleri, toprak kaynaklı ısı pompası ve faz değiştiren madde olarak çalışan bir sistemin termodinamik analizleri yapılmıştır. Bina duvarlarına serpantin döşenmiş ve sistem de FDM olarak parafin kullanılmıştır. Isı transfer akışkanının dolaşımı parafin kovanı ile dış gövde arasında yer alan boşlukta gerçekleşmiştir. Çalışmada güneşten alınan enerjinin katkı sağlayacağı sonucuna varılmış olmakla birlikte Aralık ve Şubat ayları arasında FDM'lerden yararlanılamayacağı tespit edilmiştir.

Chen ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada tarımsal artıklardan üretilen uygun maliyetli biyokömür ve yüksek performanslı form kararlı faz değişim malzemesinin basit yöntemle hazırlama ve uygulama yapılmıştır. Çalışmanın amacı, badem kabuklarından biochar ve polietilen glikolden oluşan yeni formda stabil kompozit faz değişim malzemesi üretmektir. Biochar piroliz yöntemi ile badem kabuklarından üretilmiş ve PEG matrisi olarak kullanılmıştır. Bu bilgiler ışığında sistemde kullanılacak olan biochar ile peg arasındaki etkileşim mekanizması incelenmiştir. Çalışmada termal döngü testleri, sızıntı testi, TGA, DSC ve SEM analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, biochar diğer birçok karbon malzemesinde olduğu gibi gözenekli yapısından dolayı PEG'in adsorpsiyonu ve depolanması için güvenilir bir adsorban materyali olarak kullanılabileceği sonucuna

varılmıştır. Biochar pirolizi, ısıtma hızı, piroliz sıcaklığı ve piroliz malzemesinin sıcak ortamda kalma süresi gibi bazı faktörlerden etkilendiği tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan parametreler uygun görülmüştür.

Yang ve ark. (2017) tarafından enerji kazıkları için karbon esaslı kompozit faz değişim malzemesi tasarlanması ve hazırlanmasıyla ilgili çalışma yapılmıştır. Çalışmanın amacı, binalarda ısıtma ve soğutma sistemlerinin sağlanması için binanın temeline ısı eşanjörü kullanılması ve FDM'lerin bina içerisindeki sütunlara uygulanmasıyla bina sıcaklığını sabit hale getirilmesidir. Çalışmada parafinin yanı sıra, iki tür karbon bazlı kompozit (genişletilmiş grafit ve grafit nanoplatelet bazlı FDM) FDM kullanılmıştır. FDM'ler sistemde kullanılabilmeleri için vakum emdirme sistemi ile hazırlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, FT-IR analizi incelendiğinde FDM bileşenlerinin aralarındaki etkileşimlerin uyumlu olduğu görülmüştür. DSC analizi incelendiğinde karbon bazlı FDM'lerin önemli miktarda gizli ısıya sahip olduğunu, geliştirilen kompozit FDM 100 °C'nin altında herhangi bir bozulma belirtisi göstermemiş ve bu sebepten dolayı termal olarak kararlı, termal depolama için uygun malzeme üretilmiştir. Üretilen malzeme yapılan beton testlerinden geçmiştir.

Yılmaz (2008) tarafından soğutma sistemlerinde faz değişim malzemeleri kullanılarak termal enerji depolama üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın amacı, çeşitli soğutma uygulaması yapılan buzdolabı, dondurucu, taşıma kutuları gibi araçlar için faz değişim malzemelerinden yararlanarak gıdaların saklama koşullarını iyileştirmek gibi amaçlar için karışımlar hazırlamaktır. Faz değişim malzemesi olarak Dodekan, tridekan, tetradekan ve pentadekan kullanılmıştır ve bu malzemeler ile ikili alkan karışımlar oluşturulmuştur. Bu karışımların homojen hale gelebilmesi için vortex karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışımların kimyasal davranışlarının belirlenmesinde DSC analizi ile ve ısınma, soğuma eğrileri Data logger cihazı ile belirlenmiştir. Çalışma da elde edilen 5 farklı karışımın farklı oranlarda birleştirilmesi ile (tridekan-dodekan, tridekan tetradekan, tridekan-pentadekan, tetradekan-dodekan, tetradekan-pentadekan) aşırı soğuma olmadan faz değişimini gerçekleştirdikleri sonucuna varılmıştır. Tüm karışımların düzenli olarak faz ayrışması olmadan donma yaşadıkları elde edilir.

Analiz sonucunda erime ve donma sıcaklıklarının -12°C ve 10°C aralığında olduğu ve entalpi değerleri 94 J/g ile 220 J/g arasında değiştiği sonucuna varılmıştır.

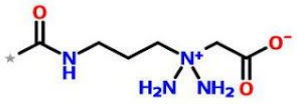
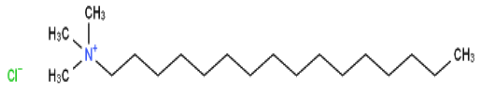
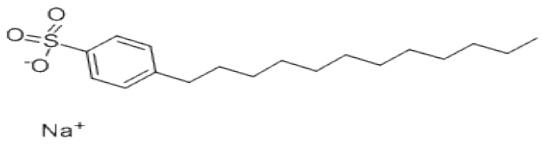
5. MATERYAL VE METOD

5.1. Materyal

5.1.1. Kullanılan malzemeler

Deneylerde kullanılan Parafin(PAR) Mercan Kimya A.Ş., PEG 600 (Polietilen glikol) MERCK'den temin edilmiştir. Kullanılan sürfaktanlar; MER-İZ (Mercan Kimya A.Ş. firmasının kullandığı ticari ürün) Mercan Kimya A.Ş., Dehyquart ACA (Kokoamidopropil Betain) ve Dehyton PK 45 (Setil Trimetil Amonyum Klorür (CTAC)) Veser Kimyevi Maddeler A.Ş., LABSA (Lineer Alkil Benzo Sülfonik Asit) AS Kimya A.Ş.'den numune olarak tedarik edilmiştir (Çizelge 5.1). Geri Kazanılmış Karbonlu (GKK) malzeme, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünde tamamlanan doktora tez çalışması(Balbay, 2017) kapsamında atık lastiğin kimyasal olarak bozundurulması yöntemiyle elde edilen karbonlu malzemedir.

Çizelge 5.1.Sürfaktanların özellikleri

Sürfaktan Adı	Kimyasal Yapısı	Sürfaktan Türü	Tedarik edilen firma
Dehyton PK 45	Kokoamidopropil Betain (KB) 	Amfoterik	Veser Kimya
Dehyquart ACA	Setil Trimetil Amonyum Klorür (CTAC) 	Katyonik	Veser Kimya
MER-İZ		Katyonik	Mercan Kimya A.Ş.
LABSA	Lineer Alkil Benzo Sülfonik Asit 	Anyonik	AS Kimya A.Ş.

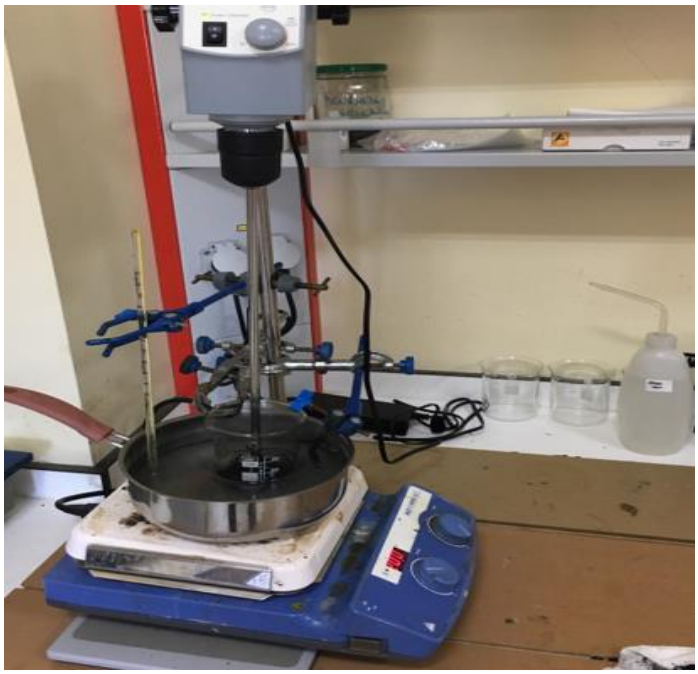
5.1.2. Kullanılan alet ve düzenekler

Deneysel çalışmalarda Sartorius CPA 10003S marka hassas terazi (±0,001 g), MEMMERT marka etüv, FALC AT-MD marka mekanik karıştırıcı, C-MAG HS-7 marka ısıtıcılı manyetik karıştırıcı, KNF Neuberger N026.1.2AN.18 marka vakum pompası, Cary 630Agilent Technologies marka FT-IR cihazı ve TA Instruments SDT 650 Simultane marka DSC analiz cihazıkullanılmıştır.

5.2. Metod

OFDM 'lerinin hazırlanması için basit karıştırma ve vakum emprenye yöntemi kullanıldı.Sıcaklığı 80 °C'ye ayarlanmış sıcak su banyosunda ilk olarak parafin eritilmiş ve daha sonra PEG600 eklendi. Homojen karışım elde edildikten sonra sırasıyla sürfaktan ve GKK eklendi. Homojen karışım elde edilene kadar yaklaşık 4 saat boyunca malzemeler karıştırıldı(Şekil 5.1.). Vakum sistemi yardımıyla GKK'nın sürfaktan, PEG600 ve PAR'ı absorplaması sağlandı(Şekil 5.2.). Üretilen OFDM'ler kilitli numune poşetlerine konarak saklandı.

OFDM üretiminde her bir sürfaktan için farklı reçeteler kullanıldı (Çizelge 5.2., Çizelge 5.3., Çizelge 5.4., Çizelge 5.5.).



Şekil 5.1.FDM karıştırma düzeneği



Şekil 5.2.Vakumlama işlemi

Çizelge 5.2.MER-İZ kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi

DENEY KODU	KOMPOZİSYON % MALZEMELER			
	PEG 600	**PAR**	**MER-İZ**	**GKK**
FM-1	30	30	35	**5**
FM-2	25	25	35	**15**
FM-3	20	20	35	**25**
FM-4	**40**	**10**	35	15
FM-5	**30**	**20**	35	15
FM-6	**20**	**30**	35	15
FM-7	**10**	**40**	35	15

Çizelge 5.3.LABSA kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi

DENEY KODU	KOMPOZİSYON % MALZEMELER			
	PEG 600	**PAR**	**LABSA**	**GKK**
FM-8	30	30	35	**5**
FM-9	25	25	35	**15**
FM-10	20	20	35	**25**
FM-11	**30**	**10**	35	25
FM-12	**20**	**20**	35	25
FM-13	**10**	**30**	35	25

Çizelge 5.4. Dehyquart ACA (Kokoamidopropil Betain (KB)) kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi

DENEY KODU	KOMPOZİSYON % MALZEMELER			
	PEG 600	**PAR**	**Dehyquart ACA**	**GKK**
FM-14	30	30	35	**5**
FM-15	25	25	35	**15**
FM-16	20	20	35	**25**
FM-17	**40**	**10**	35	15
FM-18	**20**	**30**	35	15
FM-19	**20**	**30**	35	15
FM-20	**10**	**40**	35	15

Çizelge 5.5.Dehyton PK 45 (Setil Trimetil Amonyum Klorür (CTAC)) kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi

DENEY KODU	KOMPOZİSYON % MALZEMELER			
	PEG 600	**PAR**	**Dehyton PK 45**	**GKK**
FM-21	30	30	35	**5**
FM-22	25	25	35	**15**
FM-23	20	20	35	**25**
FM-24	**40**	**10**	35	15
FM-25	**30**	**20**	35	15
FM-26	**20**	**30**	35	15
FM-27	**10**	**40**	35	15

5.3. Karakterizasyon

En fazla ısı depolayan OFDM'yi belirlemek amacıyla faz değişim sıcaklık farkı testleri yapılmıştır. En iyi sonuçların gözlendiği OFDM'lere sızdırmazlık, FT-IR, DSC analizleri yapıldı.

5.3.1. Faz değişimi sıcaklık farkı

İlk olarak ortam şartlarında OFDM'nin sıcaklığı (T_1) termometre yardımıyla belirlendi. Daha sonra kapalı bir sistemde bulunan sıcak (90 °C >) suyun içerisinde FDM'nin erime sıcaklığı (T_2) ölçüldü. Denklem 5.1. kullanılarak OFDM'nin depoladığı ısı belirlendi. (İsıker and Yesilata, 2017)

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (5.1.)$$

5.3.2. Sızdırmazlık testi

OFDM'lersüzgeç kağıdı üzerine çizilen 25 mm daire içine 1 gram OFDM numunesi konularak etüv içinde 65 °C sıcaklık ve 2 saat bekletildi. OFDM'nin sızdırmazlık yüzdesi (η) Denklem 5.2. kullanılarak belirlendi (Kee et al., 2017).

$$\eta = (A_L / A_R) \times \%100 \quad (5.2.)$$

η: sızıntı yüzdesi,

A_L: sızıntı alanı,

A_R: referans alanı.

5.3.3. Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (FT-IR)

OFDM numuneleri ve kompoziti oluşturan bileşenlerinin kimyasal yapısı FT-IR spektroskopisi yardımıyla belirlendi. Kızılötesi spektrum, bileşik moleküller titreştiğinde kızılötesi ışığın belirli bir dalga boyuyla emilmesiyle elde edilen absorpsiyon spektrumudur (Peng vd., 2020) (Şekil 5.3.). Analizler Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Spectrum 100 model fourıer dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FT-IR) ile yapıldı ve 4000-400 cm^{-1} dalga boyu tarama aralığında gerçekleştirildi.

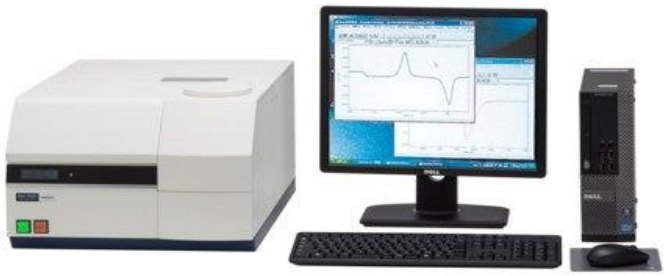


Şekil 5.3.FT-IR (Cary 630) cihazı (URL-3, 2020)

5.3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi

Diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC), OFDM'lerin termal özelliklerini analiz etmek için kullanıldı. Bir DSC termogramı, erime ve kristalizasyon işleminin başlangıç ve tepe sıcaklığı veya DSC soğutma ve ısıtma işlemlerinde entalpi gibi termal özellikler için kritik bilgileri içeren endotermik ve ekzotermik eğrilerden oluşur.(Peng vd., 2020)

DSC analizinde referans ile numuneden gelen veya uzaklaşan ısı farkı sıcaklığa veya zamana bağlı olarak belirlenmektedir. Numune sıcaklığı ilereferans sıcaklığı aynı tutulmaktadır. FDM numunesi ve referans arasında herhangi bir sıcaklık farkı saptandığında, sıcaklığı aynı tutmak için numuneye verilen enerji (güç) miktarı değiştirilmektedir. Bu yolla numunedeki faz değişimi sırasındaki ısı transferi miktarı ölçülmektedir(Şekil 5.4.). (URL-4, 2020)



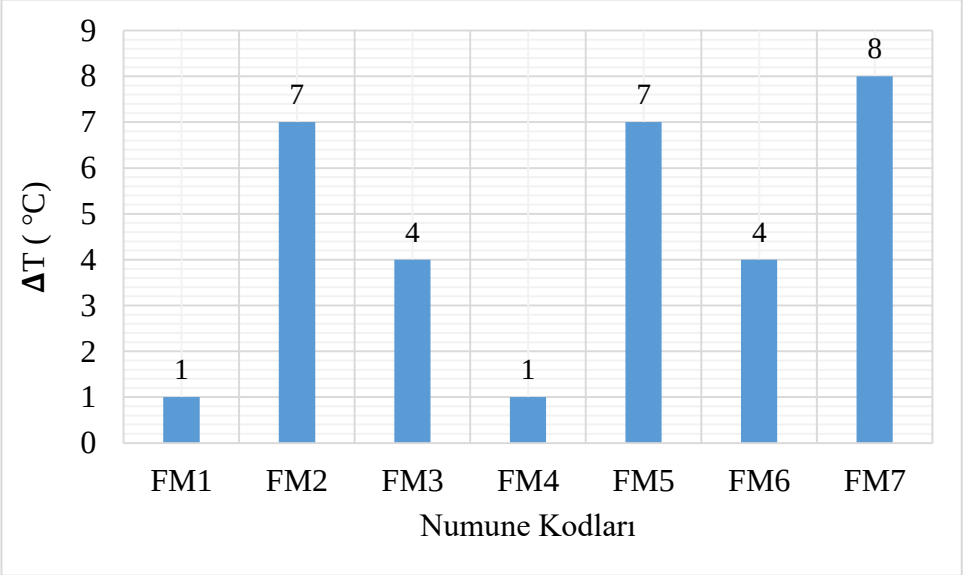
Şekil 5.4.Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) (URL-5, 2020)

6. BULGULAR

Isı enerjisi depolamak amacıyla Parafin, PEG 600, Sürfaktan (MER-İZ, LABSA, Dehyton PK 45 ve Dehyquart ACA) ve GKK kullanılarak Organik Faz Değişim Malzemesi (OFDM) numuneleri üretilmiştir. Farklı türdeki sürfaktanların kullanıldığı farklı kompozisyonlarda elde edilen numunelerin faz değişim sıcaklık farkı testleri yapılarak en yüksek sıcaklık farkına sahip numuneler belirlenmiştir. Her bir reçete içinde yer alan en yüksek sıcaklık farkına sahip numunelere sızdırmazlık, FT-IR, DSC analizleri yapılmıştır.

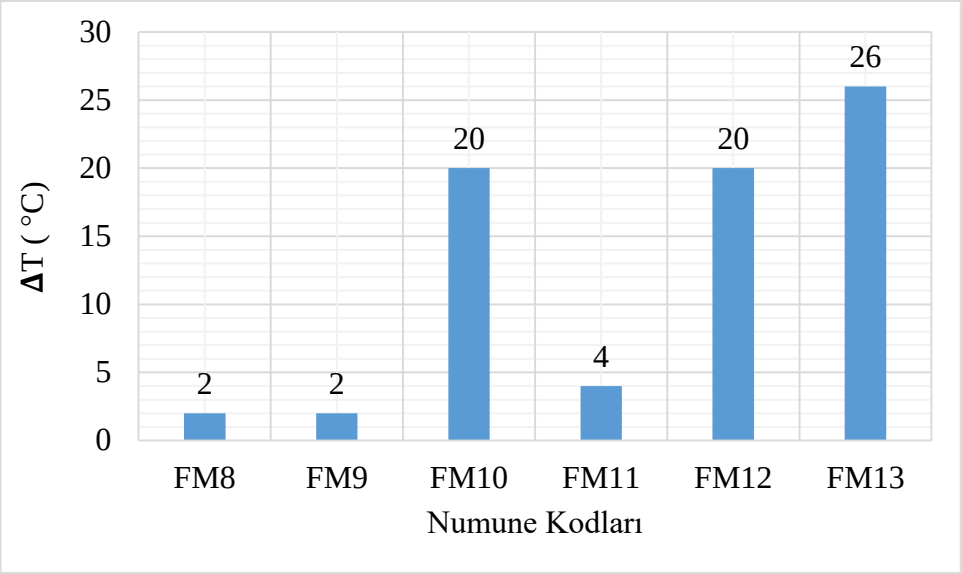
6.1. Faz değişimi sıcaklık farkı

Deneysel çalışmada elde edilen OFDM numunelerin kompozisyon içeriğinde bulunan sürfaktan türüne bağlı olarak faz değişim sıcaklıklarının grafiksel gösterimi Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te verilmiştir. Şekil6.1' de kompozisyonda sürfaktan olarak Mer-İZ katyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklıkları grafiği verilmiştir.



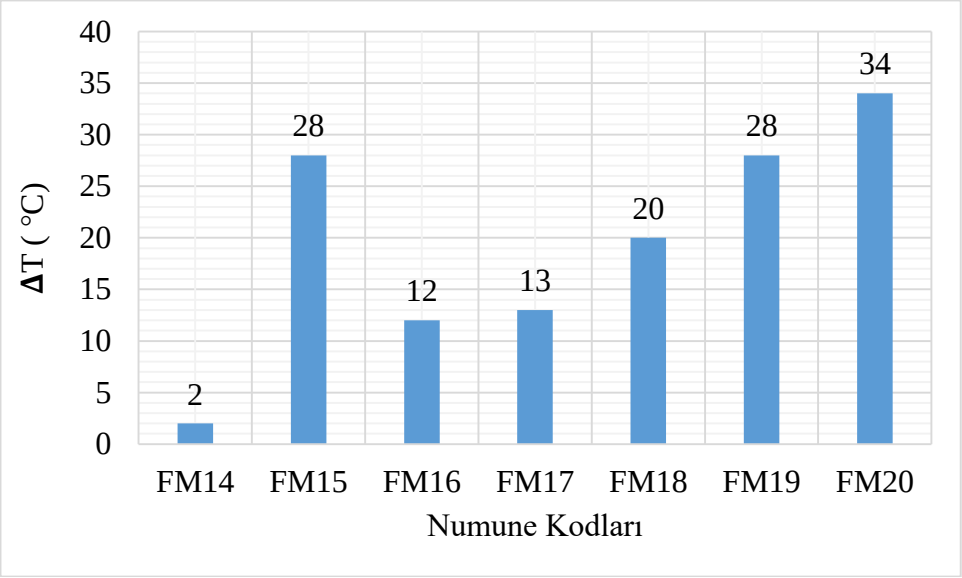
Şekil 6.1. Mer-İZ kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı

Şekil6.2' de kompozisyonda sürfaktan olarak Labsaanyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.



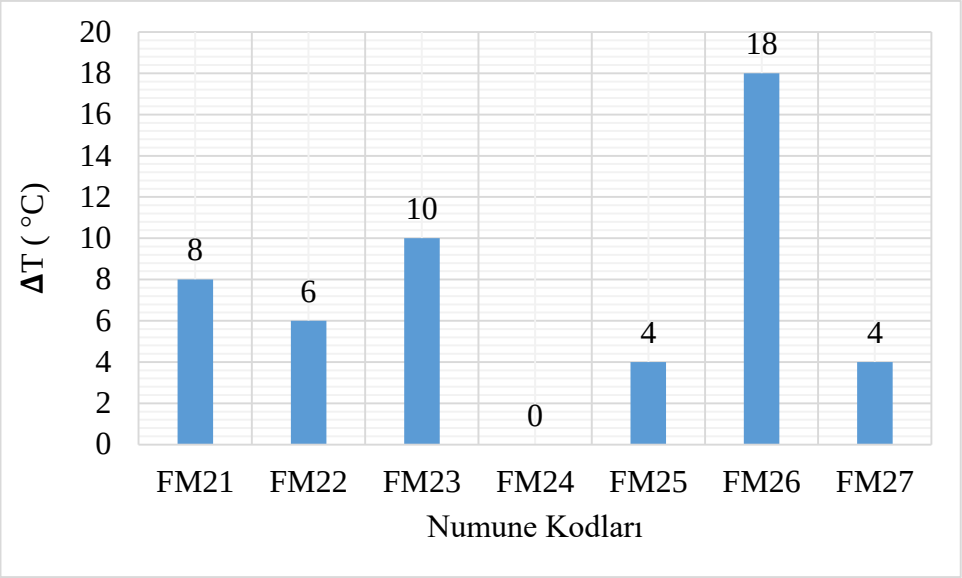
Şekil 6.2.Labsa kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı

Şekil6.3' de kompozisyonda sürfaktan olarak Dehyquart ACA (KB)katyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.



Şekil 6.3.Dehyquart ACA (KB) kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı

Şekil6.4' de kompozisyonda sürfaktan olarak amfoterik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.

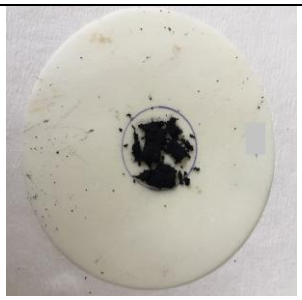
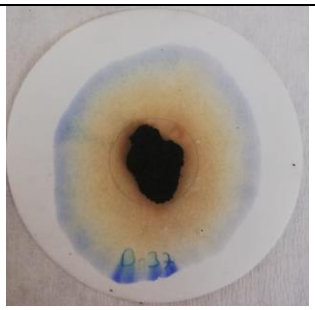


Şekil 6.4.Dehyton PK 45 kullanılarak üretilen FDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı

6.2. Sızdırmazlık testi

Farklı türdekisürfaktanların kullanıldığı farklı kompozisyonlardaeldeedilen numunelerin faz değişim sıcaklık farkı sonuçlarına göre en yüksek sıcaklık farkı değerine sahip numuneler sırasıyla;FM-7,FM-13, FM-20 ve FM-26kodlu numuneler olarak belirlendi. Numunelere ait sızdırmazlık görünümleri Çizelge 6.1.'de verildi.

Çizelge 6.1.Elde edilen OFDM'numunelerinin sızdırmazlık test sonuçları

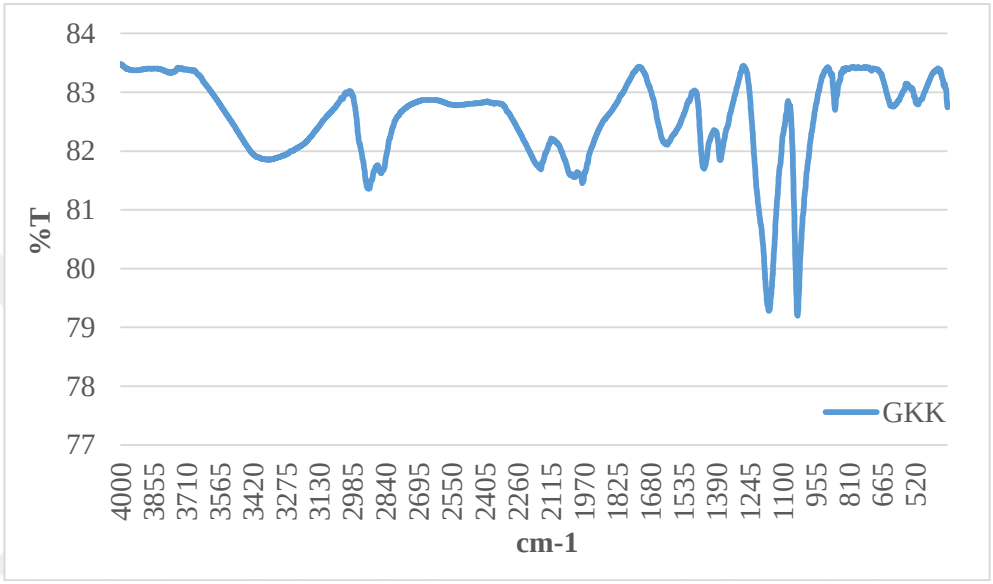
Numune Kodu	**Sızdırmazlık Testi Görseli**	**Sızdırmazlık Verileri**
FM-7 Kodlu Numune		A_L: 90 mm A_R: 25 mm Ŋ: 360
FM-13 Kodlu Numune		A_L: 45mm A_R: 25 mm Ŋ: 180
FM-26 Kodlu Numune		A_L: 45mm A_R: 25 mm Ŋ: 180
FM-20 Kodlu Numune		A_L: 75mm A_R: 25 mm Ŋ: 300

6.3. Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FT-IR)

OFDM numunelerinin kompozisyonunda yer alan kimyasal maddelerinFT-IR spekturumlarıPerkin ElmerSpectrum 100 model fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FT-IR) 4000-400 cm^{-1} dalga boyu tarama aralığında gerçekleştirildi. OFDM numunelerinin hazırlanmasında kullanılanParafin, PEG600, MER-İZ,

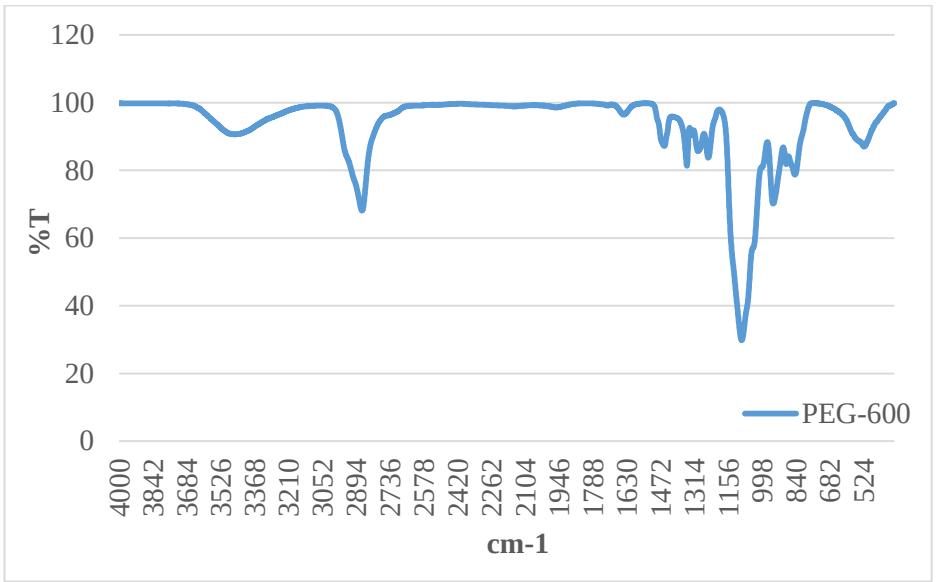
LABSA,Dehyton PK 45, Dehyquart ACAve GKKhammaddelerinin FT-IR spektrumları Şekil 6.5-11'deverildi. Faz değişim sıcaklık farkı yüksek olan numunelerden FM-7 (Şekil 6.12.), FM-13 (Şekil 6.13.), FM-20 (Şekil 6.14)ve FM-26 (Şekil6.15.)kodlu malzemelerinin FT-IR spektrumları aşağıdaki grafiklerde gösterildi.

GKK hammadesinin FT-IR analiz spektrumu Şekil 6.5.'te gösterilmektedir.



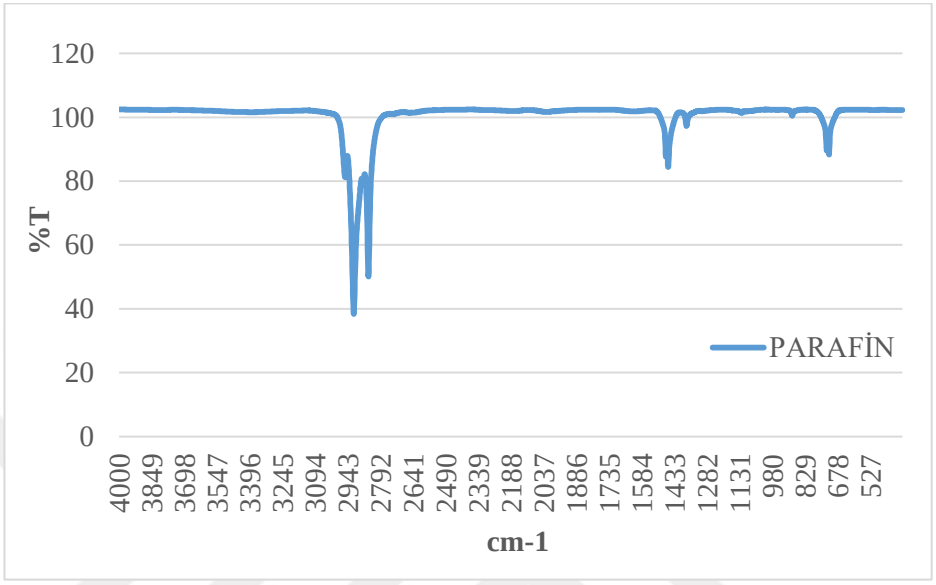
Şekil 6.5.GKK FT-IR spektrum grafiği

PEG600 hammadesinin FT-IR analiz spektromu Şekil 6.6.'te gösterilmektedir.



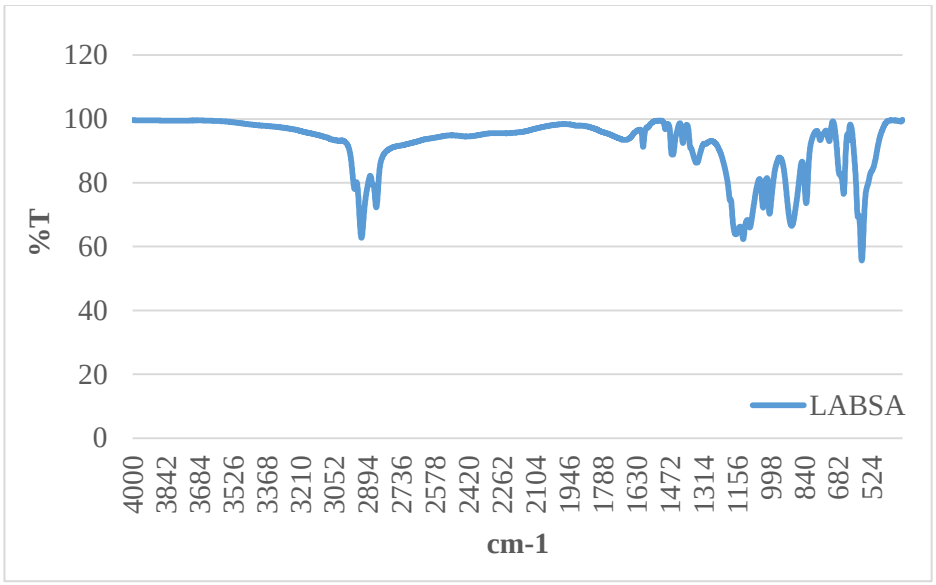
Şekil 6.6.PEG-600 FT-IR spektrum grafiği

Parafin hammadesinin FT-IR analiz spektromu Şekil 6.7.'te gösterilmektedir.



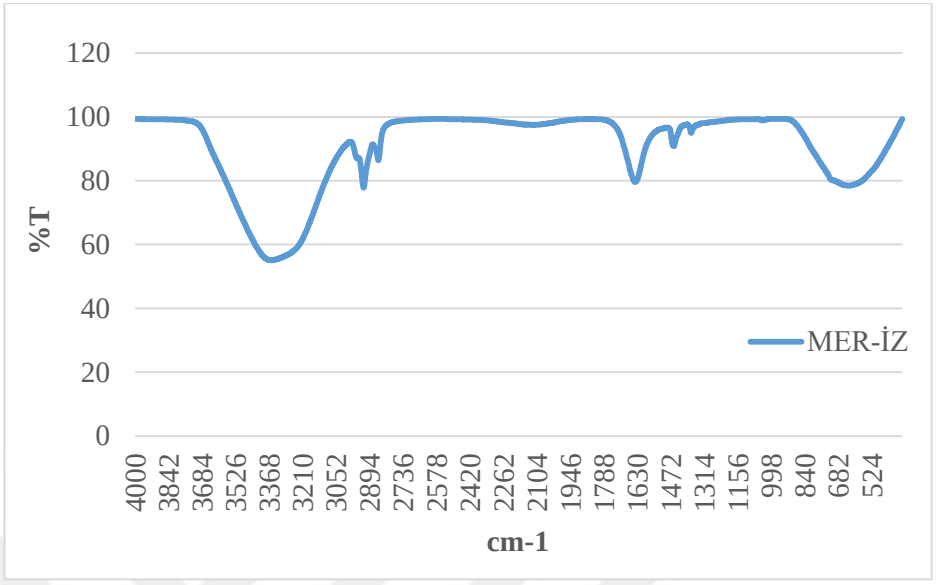
Şekil 6.7.Parafin FT-IR spektrum grafiği

Labsa hammadesinin FT-IR analiz spektrumu Şekil 6.8.'te gösterilmektedir.



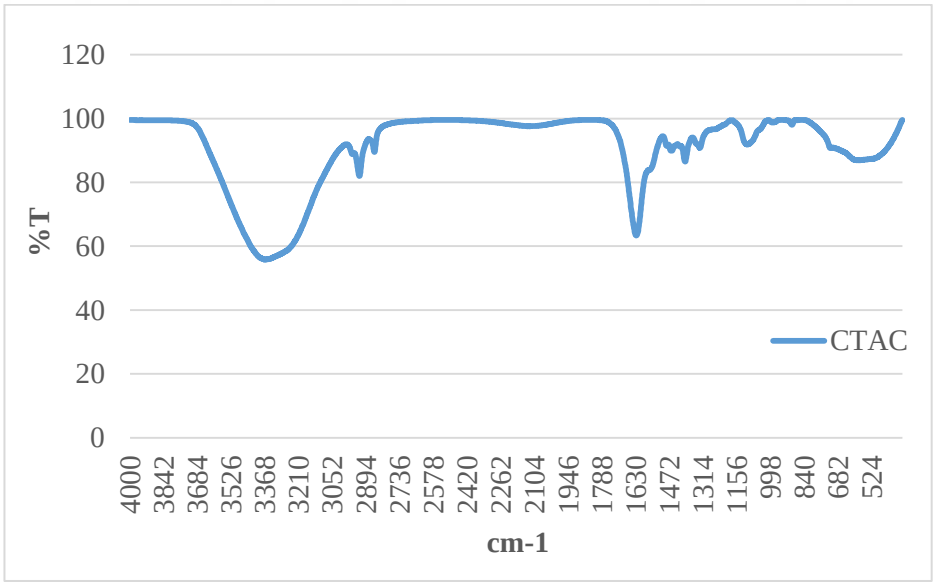
Şekil 6.8.Labsa FT-IR spektrum grafiği

Mer-İZ hammadesinin FT-IR analiz spektrumu Şekil 6.9.'te gösterilmektedir.



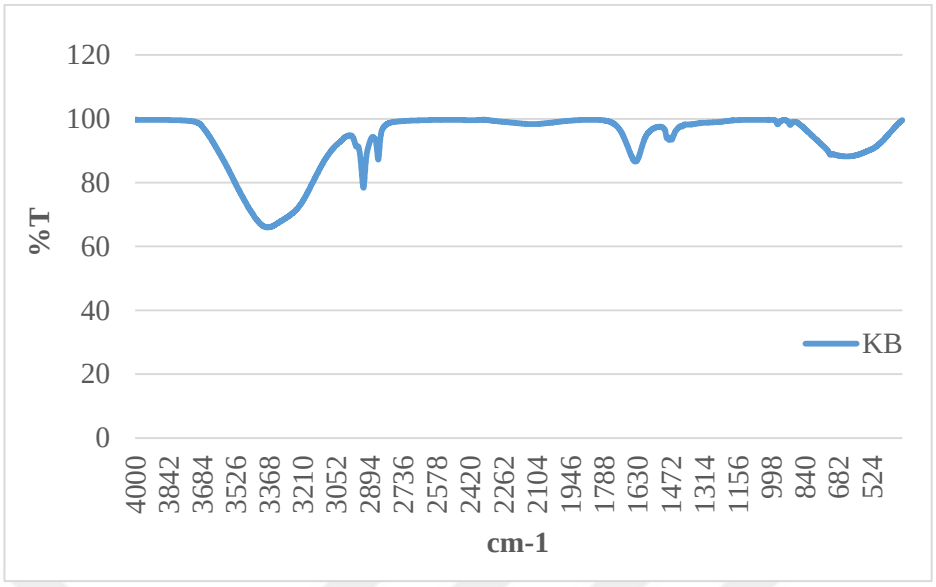
Şekil 6.9. Mer-İZ FT-IR spektrum grafiği

CTAC hammadesinin FT-IR analiz spektrumu Şekil 6.10.'te gösterilmektedir.



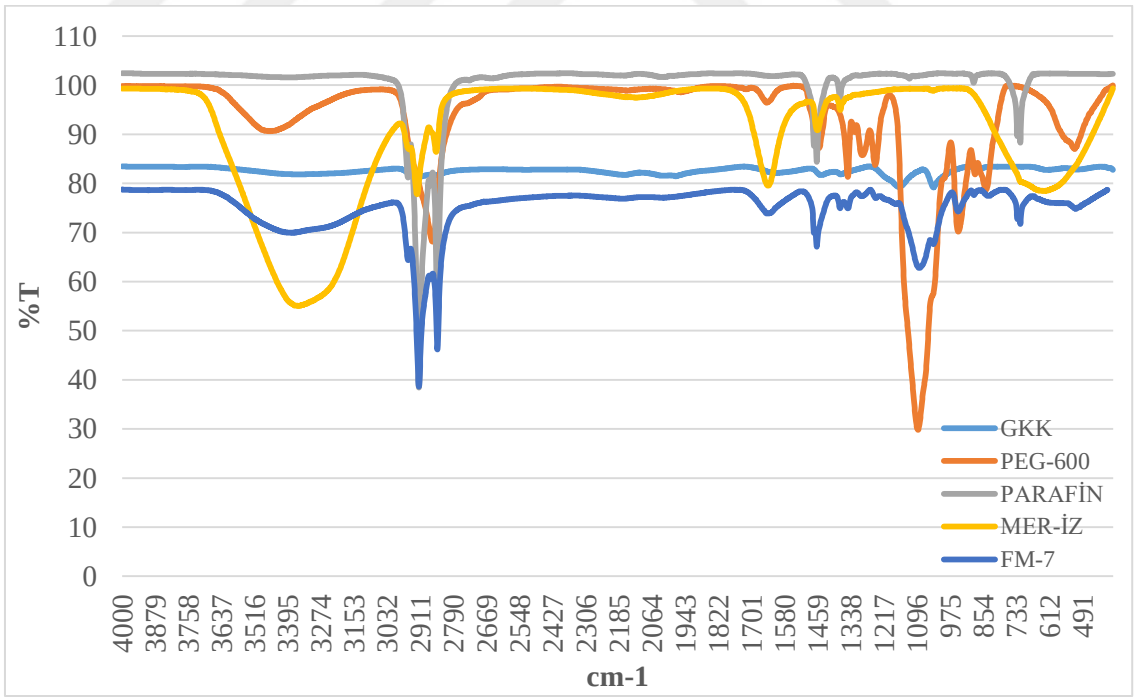
Şekil 6.10.CTAC FT-IR spektrum grafiği

KB hammadesinin FT-IR analiz spektrumu Şekil 6.11.'te gösterilmektedir.



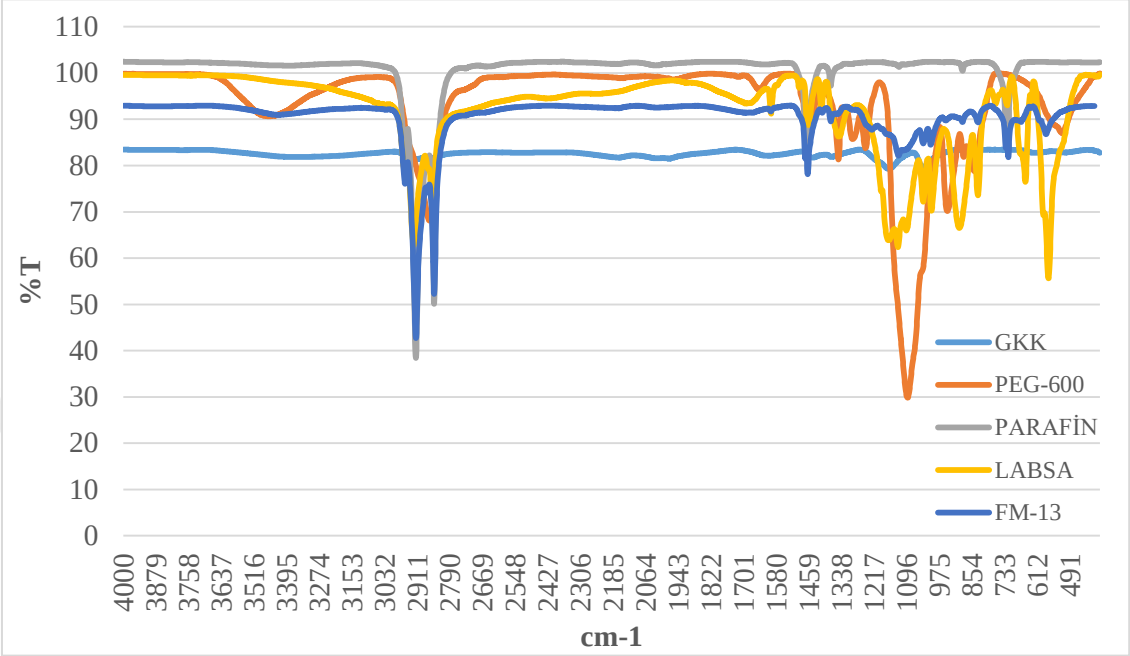
Şekil 6.11.KB FT-IR spektrum grafiği

FM-7 kodlu numuneninve numuneyi oluşturan bileşenlerinFT-IR analiz spektrumları Şekil 6.12.'te gösterilmektedir.



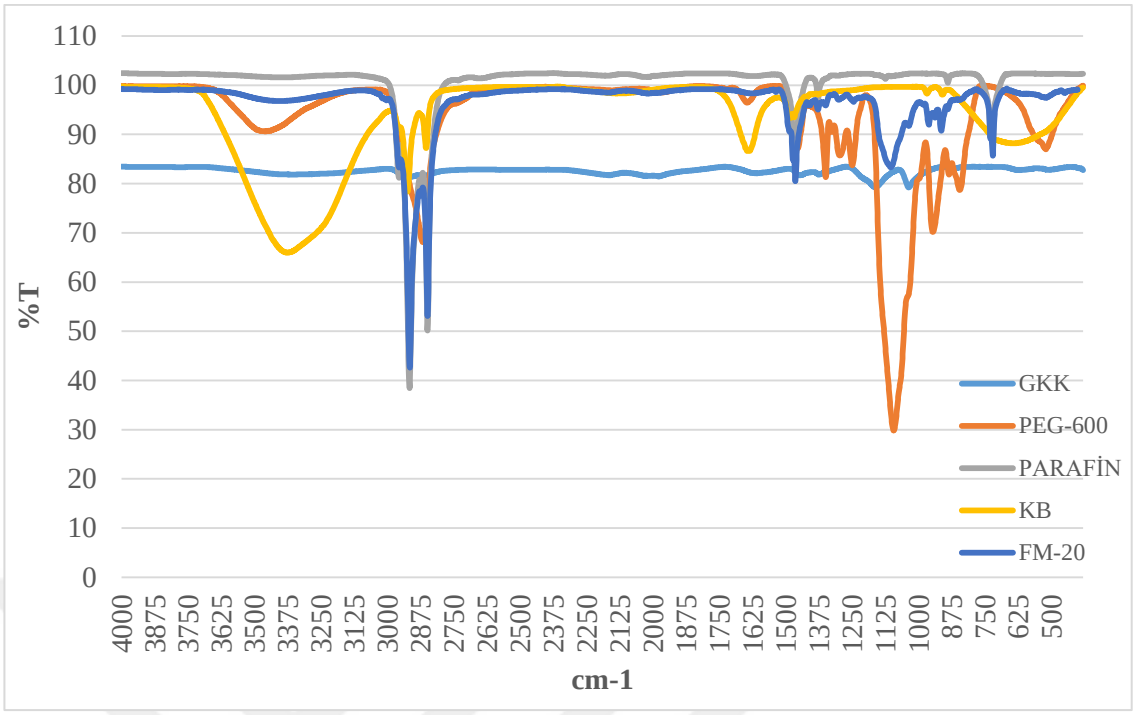
Şekil 6.12.GKK, PEG600, Mer-İZ, Parafin, FM-7 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

FM-13kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 6.13.'te gösterilmektedir.



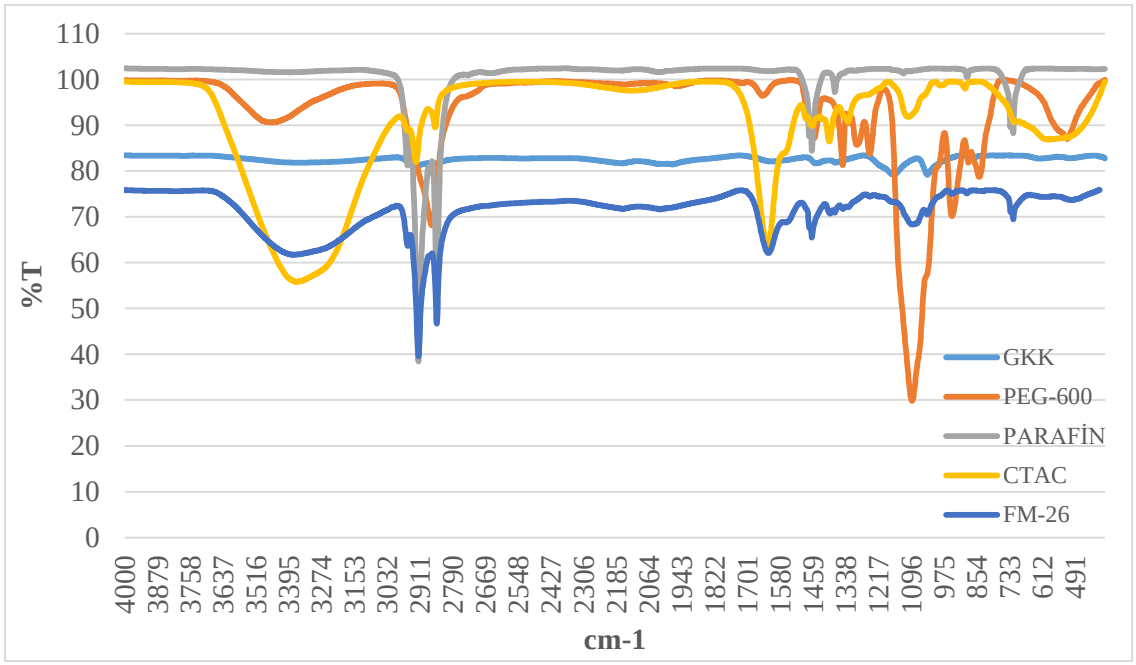
Şekil 6.13.GKK, PEG600, Labsa, Parafin, FM-13 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

FM-20 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 6.14.'te gösterilmektedir.



Şekil 6.14.GKK, PEG600, KB, Parafin, FM-20 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

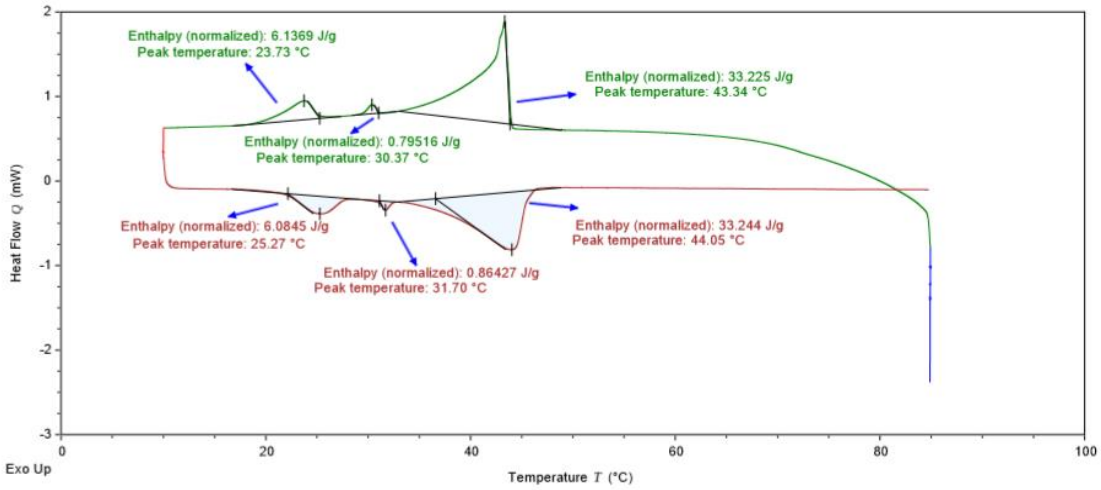
FM-26 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerinFT-IR analiz spektrumu Şekil 6.15.'te gösterilmektedir.



Şekil 6.15.GKK, PEG600, CTAC, Parafin, FM-26 kodlu numune FT-IR spektrumgrafiği

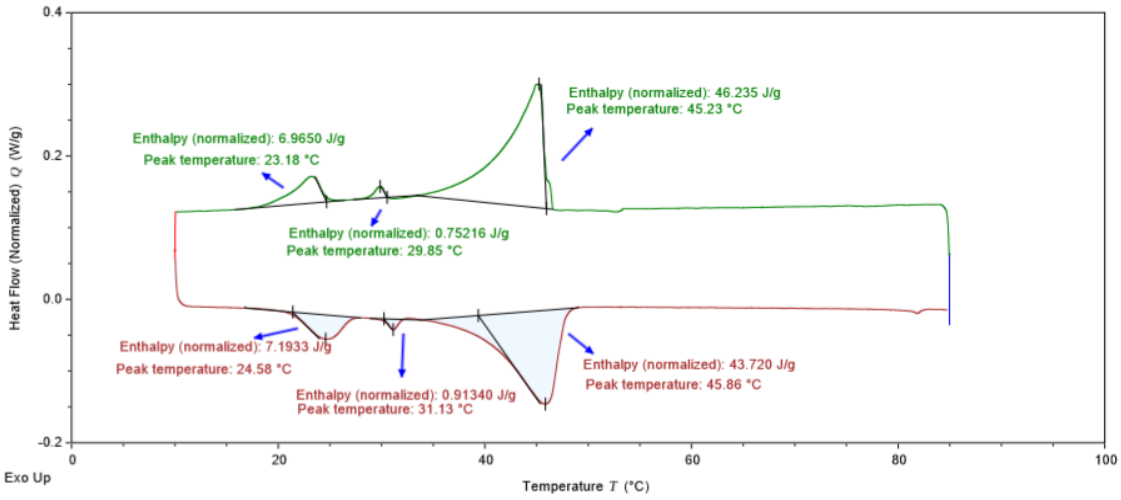
6.5. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi

FM-7 kodlu numunenin DSC analiz spektrumu Şekil 6.16.'da verildi.



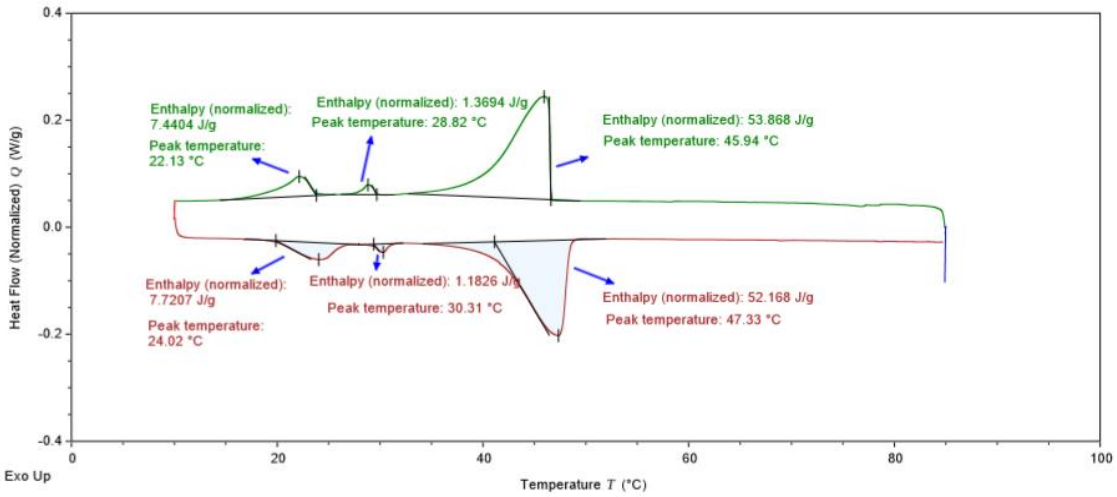
Şekil 6.16.FM-7 Kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği

FM-13 kodlu numunenin DSC analiz spektrumu Şekil 6.17.'de verildi.



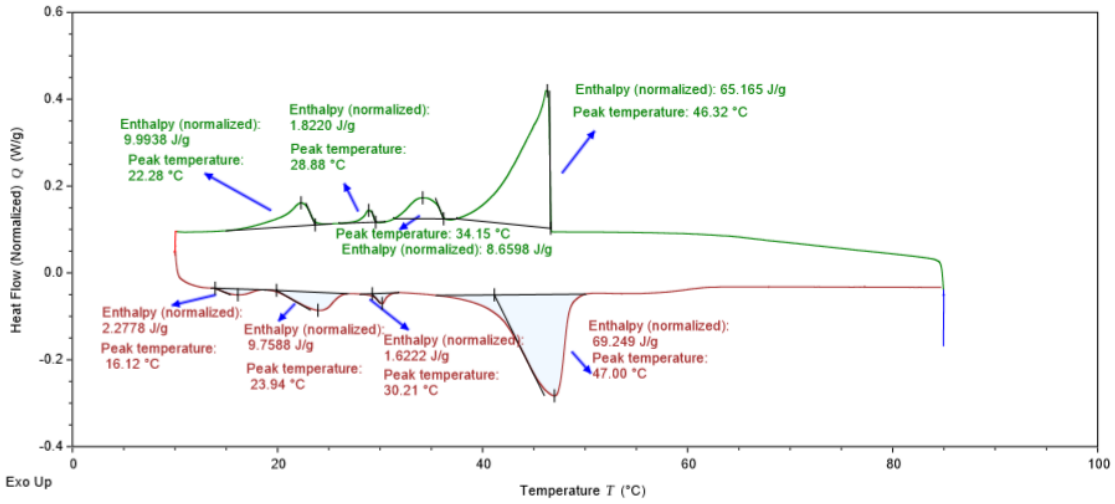
Şekil 6.17.FM-13 kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği

FM-20 DSC analiz spektrumu Şekil 6.18.'de verildi.



Şekil 6.18.FM-20 kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği

FM-26 kodlu numunenin DSC analiz spektrumu Şekil 6.19.'de verildi.



Şekil 6.19.FM-26kodlu numunenin DSC analizi spektrum grafiği

7. TARTIŞMA

Isı enerjisi depolamak amacıyla farklı sürfaktanlar kullanılarak Organik Faz Değişim Malzemeleri (OFDM) üretilmiştir. Her bir sürfaktan için en yüksek ısı depolayan OFDM, faz değişim sıcaklık farkı testleri yapılarak belirlenmiştir. Her bir sürfaktan için en yüksek faz değişim sıcaklık farkının belirlendiği numuneleresızdırmazlık, FT-IR, DSC analizleri yapıldı.

7.1. Faz değişim sıcaklığının belirlenmesi

Mer-İZ kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkıFM-7 kodlu numunede 8 °C olarak belirlendi (Şekil 6.1).

Labsa kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-13 kodlu numune de26°C olarak belirlendi (Şekil 6.2).

Dehyquart ACA kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-20 kodlu numune de 34 °C olarak belirlendi (Şekil 6.3).

Dehyton PK-45 kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-26 kodlu numune de 18 °C olarak belirlendi (Şekil 6.4).

7.2. Sızdırmazlık testi değerlendirilmesi

FM-7, FM-13,FM-20, FM-26’ kodlu numunelere uygulanan sızdırmazlık test sonuçları incelendiğinde hepsinin sızdırdırdığı gözlendi. FM-7, FM-13, FM-20, FM-26 FDM’lerinin Denklem 5.2.’ye göre hesaplanan sızıntı yüzdeleri sırasıyla 360, 180, 300 ve 180 olarak hesaplandı (Çizelge 6.1.).

7.3. Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FT-IR) değerlendirilmesi

Şekil 6.5’ te gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göre GKK’ya ait karakteristik pikler görülmektedir.1000 ile 1250 arasında C-C fonksiyonel grubu görülmektedir.

Şekil 6.6’ te gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine görePEG 600’e ait karakteristik pikler görülmektedir. 3500 dalga boyunda O-H fonksiyonel grubuna ait gerilme titreşimleri görülmektedir.2867 ve 941‘de PEG 600’ ün CH_2gruplarına ait gerilme titreşimleri vardır.1090’ da ise O-H fonksiyonel gruplarına ait titreşimler görülmektedir.

Şekil 6.7’ de gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göre Parafine ait karakteristik pikler görülmektedir.2947 ile 2830 dalga boyu arasın da C-H fonksiyonel gruba ait titreşimler görülmektedir.1463 ile 818 dalga boylarında -CH_2 fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmektedir.

Şekil 6.8’ de gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göreLabsa’ya ait karakteristik pikler görülmektedir.3000 ile 2700 arasında C=C fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmektedir.572 dalga boyunda C-H fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmektedir.975 ile 850 arasında ise C-H fonksiyonel gruba ait titreşimler görülmektedir.

Şekil 6.9’ da gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göreMer-İZ’e ait karakteristik pikler görülmektedir. 3600 – 3100 dalga boyları arasında O-H fonksiyonel gruba titreşimleri görülmektedir. 590 dalga boyunda C-H fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmektedir.

Şekil 6.10’ da gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göre Dehyquart ACA ait karakteristik pikler görülmektedir.3600 – 3100 dalga boyları arasında H-O fonksiyonel gruba titreşimleri görülmektedir.1623 dalga boyunda C-C fonsiyonel grubuna ait titreşimler görülmektedir.590 dalga boyunda C-H fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmektedir.

Şekil 6.11’ da gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göre Dehyton PK45 ait karakteristik pikler görülmektedir.3600 – 3100 dalga boyları arasında H-O fonksiyonel gruba titreşimleri görülmektedir.

MER-İZ kullanılarak üretilen FM-7 kodlu FDM’sinin FT-IR spektrumuna göre FDM üretiminde kullanılan tüm malzemelerin pikleri Şekil 6.12’de gösterilmektedir. 3310 dalga boyunda Mer-İZ ile FM-7 arasında fiziksel temas sonucunda ortak dalga boyu titreşimleri görülmektedir.2916 ile 2850 dalga boyları arasında Parafin, PEG, Mer-İZ arasında fiziksel temas sonucunda ortak dalga boyu titreşimleri görülmektedir.1090 dalga boyunda PEG ile FM-7 numune arasında fiziksel temas sonuçunda ortak dalga boyu titreşimleri görülmektedir.

LABSA kullanılarak üretilen FM-13 kodlu FDM’sinin FT-IR spektrumuna göre Şekil 6.13’ te FDM’ lerinin fiziksel temasları sonucunda 2916 ile 2848 dalga boyları arasında Parafin, Labsa, PEG, FM-13 ile arasında ortak dalga boyu titreşimleri

görülmektedir. 1110 ile 912 dalga boyları arasında ise Labsa ile PEG arasında ortak dalga boyu titreşimleri görülmektedir.

KB kullanılarak üretilen FM-20 kodlu FDM'sinin FT-IR spektrumuna göre PEG-600'ün Şekil 6.14' te FDM' lerinin fiziksel temasları sonucunda 2916 ile 2848 dalga boyları arasında Parafin, Dhyton PK45 , PEG, FM-20 ile arasında ortak dalga boyu titreşimleri görülmektedir.

CTAC kullanılarak üretilen FM-26 kodlu FDM'sinin FT-IR spektrumuna göre CTAC'nın Şekil 6.15' te 3330 dalga boyunda Dhyquart ACA ile FM-26 arasında fiziksel temastan dolayı ortak dalga boyu titreşimleri görülmektedir.2916 ile 2848 dalga boyları arasında Parafin, Dhyquart ACA, PEG, FM-26 ile arasında ortak dalga boyu titreşimleri görülmektedir.1615 dalga boyunda Dhyquart ACA, FM-26 arasında ortak dalga boyu titreşimleri görülmektedir.

7.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz değerlendirilmesi

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizinin temel uygulama alanları ekzotermik ve endotermik ayrışma gibi faz değişimleri üzerindeki çalışmalardır ve faz ve hal değişimi ısısı, faz değişimi sıcaklığı, öz ısı ve tepkime ısısı gibi termal değişikliklerin ölçümünde kullanılır.Bu teknik, incelenen numuneye ait bir fiziksel özelliğin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldüğü veya bir tepkimede soğurulan ya da açığa çıkan ısının izlendiği yöntemleri içeren bir analiz tekniğidir(İbiş, 2014; Aker, 2015).

Şekil 6.16 incelendiğinde FM-7 kodlu numune ortamdan 40,15706 j/g' lık enerji depolayabilmekte ve ortama 40,19277 j/g' lık bir enerji vermektedir.

Şekil 6.17 incelendiğinde FM-13 kodlu numune ortamdan 53,95216 j/g' lık enerji depolayabilmekte ve ortama 51,8267 j/g' lık bir enerji vermektedir.

Şekil 6.18 incelendiğinde FM-20 kodlu numune ortamdan 62,6778 j/g' lık enerji depolayabilmekte ve ortama 61,0713 j/g' lık bir enerji vermektedir.

Şekil 6.19 incelendiğinde FM-26 kodlu numune ortamdan 85,6406 j/g' lık enerji depolayabilmekte ve ortama 82,9078 j/g' lık bir enerji vermektedir.

Elde edilen faz değişim malzemelerine ait DSC analiz verilerine göre hesaplanan ısı depolama miktarı Çizelge 7.1'de toplu şekilde verilmiştir.

Çizelge 7. 1.DSC analiz verilerine göre hesaplanan ısı depolama miktarı

DENEY KODU	Toplam Entalpi (j/g)
FM-7/ısıtma	40,15706
FM-7/soğutma	40,19277
FM-13/ısıtma	53,95216
FM-13/soğutma	51,8267
FM-20/ısıtma	62,6778
FM-20/soğutma	61,0713
FM-26/ısıtma	85,6406
FM-26/soğutma	82,9078

8. SONUÇLAR

Çalışmada ısı enerjisi depolamak amacıyla anyonik, katyonik ve amfoterik özelliklere sahip farklı sürfaktanlar kullanılarak Organik Faz Değişim Malzemeleri (OFDM) üretilmiş ve elde edilen numunelerin ısı depolama kapasiteleri incelenmiştir.

Çalışması yapılan FM-7, FM-13, FM-20 ve FM-26 kodlu kompozit OFDM' ler içerisinde en düşük faz değişim sıcaklık farkına sahip OFDM'si FM-7 kodlu numunedir. En yüksek faz değişim sıcaklık farkına sahip OFDM'si FM-20 kodlu numunedir.

FT-IR analiz spektrum grafikleri incelendiğinde fiziksel etkileşimin en fazla olduğu OFDM'sinin FM-26 kodlu numune olduğu görülmektedir. FM-26 kodlu numunenin FT-IR analiz spektrumları incelendiğinde; FM-26 kodlu numune ile birden fazla dalga boyunda etkileşim halinde olduğu görülmüştür.

Sızdırmazlık analizi sonuçunda elde edilen numunelerin sızdırdığı gözlenmiştir. Sızdırmazlık özelliği istenmeyen bir özellik olduğu için geliştirilmesi gereken bir konudur. Literatürler incelendiğinde sızdırmayı engellemek için mikro kapsülleme yöntemleri kullanılmaktadır.

En yüksek enerji depolama kapasitesine sahip numunenin FM-26 kodlu numune olduğu görülmüştür. FM-26 kodlu numune erimesi esnasında 85.6 j/g enerji absorblarken ve katılaşmasısı esnasında 82,9 j/g' lık enerjiyi dışarıya vermektedir.

Yapılan çalışmada FDM' ler incelendiğinde faz değişim sıcaklık farkı, sızdırmazlık testi, FT-IR analizi ve DSC analizi incelendiğinde enerji depolama kapasiteleri bakımından FM-26>FM-20>FM-13>FM-7 olarak sıralanabileceği ifade edilebilir.

Geri Kazanılmış Karbon (GKK) diğer birçok karbon malzemesinde (aktif karbon, karbon siyahı vb.) olduğu gibi gözenekli yapısından dolayı PAR, PEG ve Sürfaktanların adsorpsiyonu ve depolanması için güvenilir bir adsorban materyali olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Elde edilen OFDM'lerinin bina yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Numunelere sızdırmazlık özelliğinin gelecekte yapılacak olan mikrokapsülleme çalışmaları ile kazandırılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Aker, A. (2015). *Al-Si ötektik alaşımına yapılan katkı elementlerinin (Cu, Co, Ni, Sb ve Bi) mikroyapı ve fiziksel özelliklerine etkisinin araştırılması.*Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.

Agyenim, F. & Hewitt, N. & Eames, P. & Smyth, M. (2010). *A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage system (LHTESS).* Science Direct, Vol: 14, No: 2, pp:615-628.

Amaral, C. & Vicente, R. & Marques, P. A. A. P. & Barros-Timmons, A., (2017). *Phase change materials and carbon nanostructures for thermal energy storage: A literature review.* Science Direct, 79, 1212-1228.

Anusha, A.S. (2016). *Phase change materials.* International journal of engineering research and general science volume 4, Issue 2, Issn: 2091-2730.

Arshad, A. & Jabbal, M. & Yan, Y. & Darkwa, J. (2019). *The micro/nano FDM for thermal energy storage systems: a state of art review.* International Journal of Energy Research, Vol: 43, No: 11, pp: 5572-5620.

Asua, J.M. (2002). *Miniemulsion polymerization. Prog. Polym. Sci., 27,1283.* Research Gate, 27(7), 1283-1346.

Ausfelder, F. (2016). *Energy storage systems the contribution of chemistry*. Koordinierungskreis chemische energieforschung, Frankurt, Almanya, 19.

Bauer, T. & Steinmann W. & Laing D. & Tamme R. (2012). *Thermal energy storage materials and systems.* Pfaffenwaldring, 38-40, 70569.

Barlak, S. & Sara, O.N. & Karaipekli, A. & Yapıcı, S. (2016). *Thermal conductivity and viscosity of nanofluids having nanoencapsulated phase change material.* Research Gate, 20 (2), ISSN:1556-7265.

Biçer, A. & Sarı, A. (2017). *Isıl enerji depolama amaçlı yapıca kararlı yeni bir faz değişim malzemesi olarak silikafume /polietilen glikol (peg) kompoziti.*AKÜ FEMÜBİD 17 025703(683-690).

Chen, Y. & Ciu, Z. & Ding, H. & Wan, Y. & Tang, Z. & Gao, J., (2018). *Cost-effective biochar produced from agricultural residues and its application for preparation of high-performance form-stable phase change material via simple method.* Research Gate, 19(10);3055.

Cohen, H. & Levy, R.J. & Gao, J. & Fishbein, I. & Kousaev, V. & Sosnowski, S. & Golomb, G. (2000). *Sustained delivery and expression of dna encapsulated in polymeric nanoparticles.* Gene Ther, 7,1896-1905(2000).

Crespoa, A. & Barrenechec, C. & Ibarraa, M. & Platzera, W. (2018). *Latent thermalenergy storage for solar process heat applications at medium high temperatures – A review.* Science Direct, 4860.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

Cunha, J.P. & Eames, P. (2019). *Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials – a review.* Science Direct, L11,3TU.

Cui, W. & Xia, Y. & Zhang, H. & Xul, F. & Zou, Y. & Xiang, C. & Chul, H. & Qiul, S. & Sun, L. (2016). *Microencapsulation of phase change materials with carbon nanotubes reinforced shell for enhancement of thermal conductivity*. Research Gate, 182;012015.

Dunkin, R. C. & McLellan, W. A. & Blum, J. E. & Pabst, D. A., (2005). *The ontogenetic changes in the thermal properties of blubber from Atlantic bottlenose dolphin Tursiops truncates.* Thejournal of experimental biology 208, 1469-1480.

Esen, M. & Durmus, A. & Durmus, A. (1998). *Geometric design of solar-aided latent heat store depending on various parameters and phase change materials.* Science Direct, Vol.62, No.1, pp. 19-28.

Geete, P. & Somani, S. (2017). *Thermal energy storage: A review*. International Journal of Engineering Science Invention. ISSN (Online):2319-6734, ISSN (Print):2319-6729, Vol:6, Issue:8, pp. 01-10.

Gil, A. & Medrano, M. & Martorell, I. & Lazaro, A. & Dolado, P. & Zalba, B. & Cabeza, L.F. (2010). *State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1-Concepts, metarials and modellization, Renewable and sustainable energy reviews*. Science Direct, Vol:14, 31-55.

Graham, M. (2017). *Encapsulated salt hydrate phase change materials for thermal energy storage.* Doktora tezi, Liverpool Üniversitesi, İngiltere/Liverpool.

Gupta, A.K. & Gupta, M. (2005). *Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications.* Science Direct, 26 (18),3995-4021.

Gustavsson, J. (2016). *Energy Storage Technology Comparison – A knowledge guide to simplify selection of energy storage technology*. Stockholm, İsveç, 36. http://www.greenenergystorage.eu/.

Haase, M.F. & Grigoriev, D. & Mo, H. & Tiersch, B. & Shchukin, D.G. (2011). *Nanoparticle modification by weak polyelectrolytes for ph-sensitive pickering emulsions.* Langmuir Journal, 27, 1, 74-82.

Haibin, Y. & Shazim, A.M. & Xiaohua, B. & Hongzhi, C. & Dongxu, L. (2017). *Design and preparation of carbon based composite phase change material for energy piles.* NIH - National Library of Medicine, 7:10(4):391.

Hale, D. & Hoover M. & O'Neill, M. (1971). *Phase change materials hand book*. Marshal space fight center, Alabama, 232.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

Heller, L. (2013). *Literature review on heat transfer fluids and thermal energy storage systems in CSP plants.* Semantic scholar, Corpus ID:27211984.

Irwin, M. (2014). *Testing of carbon foam with a phase change material for thermal energy storage.* Yüksek lisans, Russ Ohio Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Koleji.

Ismail K.A.R. & Henriquez J. R. (2001). *Thermally effective windows with moving phase change material curtains.* Science Direct, Vol:21, p. 1909-1923.

İbiş, H. (2014). *Ti-Ni ötektik alaşımlarının termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi.*Bozok Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Karaipekli, A. (2006). *Faz değişimli enerji depolama maddelerinde ısıl iletkenliğin zenginleştirilmesi.* Yüksek lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Osman Paşa Üniveristesi Kimya Anabilimdalı.

Kanimozhi, B. & Harish, K. & Tarun, B.S. & Reddy, P. & Sujeeth, P.S. (2017). *Charging and discharging processes of thermal energy storage system using phase change materials.* IOP Publishing, 197,012040.

Kenar, J. (2014). *Feature the use of lipids phase change materials for thermal energy storage.* Journal of Experimental Biology, 208, 1469–1480, Vol:26, No:7.

Khot, G.S. & Khanwalkar P.M. (2016). *Research article thermal energy storage system using phase change material: A review.* International Journal of Current Research, Vol:8, Issue, 09, pp. 37884-37889.

Kim, S. & Drzal, L.T., (2009). *High latent heat storage and high thermal conductive phase change materials using exfoliated graphite nanoplatelets.* Science Direct, Vol:93:136–42.

Knothe, G. & Dunn, R., (2009). *A comprehensive evaluation of the points of fatty acids and esters determined by differential scanning calorimetry.* Semantic Scholar, 86,843-856.

Konuklu, Y. & Unal, M. & Paksoy, H.O. (2014). *Microencapsulation of caprylic acid with different wall materials as phase change material for thermal energy storage.* Science Direct, Vol:120, pp. 536–542.

Kumaresan, V. & Velraj, R. & Das, S., (2012). *The effect of carbon nanotubes in enhancing the thermal transport properties of PCM during solidification.* Astrophysics data system, Vol:48, 1345-55.

Koşan, M. & Aktaş, M. (2018). *Faz değiştiren malzemelerle termal enerji depolayan bir ısı değiştiricisinin sayısal analizi.*SOBİAD, ISSN:1302-0900; 2147-9429.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

Kuta, M. & Matuszewska, D. & Wojcik, T.M. (2016). *The role of phase change materials for the sustainable energy.* E3 Seciences, DIO: 10, 1051.

Li, M., (2013). *A nano-graphite/paraffin phase change material with high thermal conductivity*. Science Direct, Vol:106, 25–30.

Li, Y. & Samad, Y. A. & Polychronopoulou, K. & Alhassan, S. M. & Liao, K., (2014). *From biomass to high performance solar-thermal and electric-thermal energy conversion and storage materials.* Research Gate, 2, 7759-7765.

Li, W. & Hou, R. & Wan, H. & Liu, P. & He, G. & Qin, F., (2017). *A new strategy for enhanced latent heat energy storage with microencapsulated phase change material saturated in metal foam.* Science Direct, Vol. 171, pp. 197–204.

Lin K. & Zhang Y. & Xu X. & Di H. & Yang R. & Qin P., (2005). *Experimental study of under-floor electric heating system with shape-stabilized PCM plates.* Science Direct, 37, p. 215-220.

Lizana, J. & Chacartegui, R. & Padura, A. & Valvarde, J. (2017). *Advances in thermal energy storage materials and their applications towards zero energy buldings; A critical review*. Science Direct, Vol:203, 219,239.

Marcha, J & Osorio T & Pereira MC, (2014). *Development and test results of a calorimetric technique for solar thermal testing loops, enabling mass flow and cp measurements independent from fluid properties of the htf used.* Science Direct, Vol:49: 2125–2134.

Mazzucco, A. & Rothuizen, E. & Jorgensen, J. & Rokni, M. (2016). *Integration of phase change materials in compressed hydrogen gas systems: Modelling and parametric analysis.* Uluslararası hidrojen enerjisi dergisi, Vol:41, Issue: 12, pp:1060-1073.

Mehrali, M. & Latibari, S.T. & Mehrali, M. & Metselaar, H.S.C & Silakhori, M., (2013). *Shape-stabilized phase change materials with high thermal conductivity based on paraffin/graphene oxide composite.* Research Gate, 67:275–82.

Mekaddem, N. & Ali, S.B. & Mazioud, A. & Hannachi, A. (2016). *A numerical study of latent thermal energy storage in a phase change material /carbon panel.* Research Gate, 1758, 020013.

Mey, H. (2016). *Carbon black: Enhancing phase change materials for direct solar application*. Kimya Mühendisliği Bölümü, University of Pretoria.

Mills, A. & Farid, M. & Selman, J.R. & Al-Hallaj, S., (2006). *Thermal conductivity enhancement of phase change materials using a graphite matrix.* Science Direct, Vol:26:1652–61.

Mishra, A. & Shukla, A. & Sharm A. (2015). *Latent heat storage through phase change materials.* Doktora tezi, Devi Ahilya Üniversitesi, Hindistan/İndore.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

Mohaddes, F. & Islam, S. & Shanks, R. & Fergusson, M. & Wang, L. & Padhye, R. (2014). *Modification and evaluation of thermal properties of melamine-formaldehyde/n-eicosane microcapsules for thermo-regulation applications.* Science Direct, Vol. 71, No. 1, pp:11–15.

Muñoz, G.F. (2016). *Characterization, equation formulation and enhancement of phase change materials (PCM) for thermal energy storage (TES).* Doktora Tezi, Lleida Üniversitesi, Bilgisayar Bilimi, Endüstri Mühendisliği.

Narayanan, S. S. & Kardam, A. & Kumar, V. & Bhardwaj, N. & Madhwal, D. & Shukla, P. & Kumar, A. & Verma, A. & Jain, VK., (2017). *Development of sunlight-driven eutectic phase change material nanocomposite for applications in solar water heating.* Science Direct, Vol:3, Issue:3, pp:272-279.

Nath, R. (2012). *Encapsulation of high temperature phase change materials for thermal energy storage.* Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Fakültesi, Florida, USA, 65.

Oro, E. & Gracia, A. & Castell, A. & Farid, M.M. & Cabeza, L.F. (2012). *Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications.* Science Direct, 99,513,533.

Ostrý, M. & Dostálová, D. & Klubal, T. & Pøikryl, R. & Charvát, P. (2015). *Micro-encapsulated phase-change materials for latent-heat storage: thermal characteristics.* Research Gate, MTAEC 9, 49(5)813-816, ISSN 1580-2949.

Palkovits, R. & Althues, H. & Rumplecker, A. (2005). *Polymerization of w/o microemulsions for the preparation of transparent SiO2/PMMA nanocomposites.* Langmuir Journal, Vol. 21, No. 13, pp. 6048–6053.

Peng, G. & Dou, G. & Hu, Y. & Sun, Y. & Chen, Z. (2020). *Review article phase change material microcapsules for thermal energy storage.* Hindawi Advances in Polymer Technology, 9490873, 20.

Prasad, D. & Senthilkumar, R. & Lakshmanarao, G. & Krishnan, S. & Prasad, N. (2019). *A critical review on thermal energy storage materials and systems for solar applications.* Aims energy, 7(4):507-526.

Rathod, A. & Bandela, C. & Rehman, A. (2017). *Experimental study on phase change material based thermal energy storage system.* International research journal of engineering and technology, ISSN: 2395-0056-0072.

Sevault, A. & Kauko, H. & Bugge, M. & Banasiak, K. & Haugen, N. E. & Skreiberg, Ø. (2017). *Phase change materials for thermal energy stroge in low and hightemprature applications: a state of the art.* Research Gate, 978-82-594-3684-9.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

Sharma, A. & Tyagi, V. & Chen, C. & Buddhi, D. (2007). *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications.* Science Direct, 13, 318–345.

Shchukina, E. & Graham, M. & Zheng, Z. Shchukin, D. (2018). *Nanoencapsulation of phase change materials for advanced thermal energy storage systems.* Royal society of chemistry, 47;4156.

Shchukina, E.M. & Shchukin, D.G. (2011). *Lbl coated microcapsules for delivering lipid based drugs.* Science Direct, 63 (9), 837-846.

Shrestha, P. (2013). *Packing heat: Energy storage using phase change materials.* Research Gate, Vol: 4, No: 1.

Soares, N. (2015). *Thermal energy storage with phase materials (PCMs) for the improvement performance of buildings.* Doktora tezi, Colombia Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.

Socaciu, L.G. (2012). *Thermal energy storage with phase change material.* Leonardo electronic journal of practices and technologies, ISSN 1583-1078, 75-98.

Soytürk, G. (2018). *Faz değiştiren madde ile güneş enerjisinin depolanmasının ve ısıtma uygulamalarında kullanımının incelenmesi.* Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Su, J.F. & Wang, S.B. & Zhou, J.W. (2011). *Fabrication and interfacial morphologies of methanol-melamine-formaldehyde (MMF) shell microPCMs/epoxy composites.* Research Gate, Vol. 289, No. 2, pp. 169–177.

Sunliang C. (2010). *State of the art thermal energy storage solutions for high performance buildings.* Yüksek Lisans Tezi, Fizik bölümü, Jyväskylä Üniversitesi, Finlandiya.

Tang, X. & Hammel, E. & Reiter, W. (2009). *Carbon nanotube enhanced thermally conductive phase change material for heat dissipation.* IEEE Xplore, ISBN: 978-1-4244-5881-3.

Tokoç, A. (2013). *Faz değişim malzemelerinin ısı enerji depolama amacıyla yapı elemanlarında kullanılması.* Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü/Türkiye, İzmir.

Tözüm, M.S. & Demirbağ, S. & Alay Aksoy, S. (2011). *Isı depolayan mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı düzenleme özelliklerinin araştırılması.* TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası UCTEA- The journal of textiles, 84.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

Tudor, A. I. & Motoc, A. M. & Ciobota, C. F. & Ciobota, D. N. & Piticescu, R.R. & Romero-Sanches, M. D. (2018). *Solventhermal method as a green chemistry solution for micro-encapsulation of change materials for high temperature thermal energy storage.* EDP Sciences Journals, Rev, 5;4.

Utlu, Z. & Aydın, D. & Kıncay, O. (2013). *Yeşil bina uygulamalarında gizli ısı depolama sistemlerinin kullanılabilirliğinin araştırılması.* 11. Ulusal teisat mühendisliği kongresi. 17/20 Nisan, İzmir, 1247-1259.

URL-1 http://www.pcmproducts.net/files/PCM%20Products%20General.pdf .(Erişim tarihi: 20.04.2020).

URL-2 https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20ThEnergy%20Stor_AH_Jan2013_final_GSOK.pdf. (Erişim tarihi: 20.04.2020).

URL-3 https://www.agilent.com/en/products/ftir/ftir-benchtop-systems/cary-630-ftir-spectrometer. (Erişim tarihi: 20.04.2020)

URL-4 https://merlab.metu.edu.tr/tr/diferansiyel-taramali-kalorimetre-dsc#:~:text=Diferansiyel%20Taramal%C4%B1%20Kalorimetre%20Cihaz%C4%B1%20(DSC,veya%20sal%C4%B1verilen%20enerji%20miktar%C4%B1n%C4%B1%20%C3%B6l%C3%A7er.&text=E%C4%9Fer%20numune%20ile%20referans%20aras%C4%B1nda,enerji%20(g%C3%BC%C3%A7)%20miktar%C4%B1%20de%C4%9Fi%C5%9Ftirilir. (Erişim tarihi: 20.04.2020)

URL-5 https://aybu.edu.tr/merlab/custom_page-345-diferansiyel-taramali-kalorimetre-(dsc)-cihazi.html. (Erişim tarihi:20.04.2020)

Wagner L. (2007). *Overview of energy storage methods.* Mora Associates. https://www.moraassociates.com/.

Wang, J. & Xie, H. & Xin, Z., (2009). *Thermal properties of paraffin based composites containing multi-walled carbon nanotubes.* Science Direct, Vol:488, Issue: 1-2, 39-42.

Wang, S. & Qin, P. & Fang, X. & Zhang, Z. & Wang, S. & Liu, X., (2014). *A novel sebacic acid/expanded graphite composite phase change material for solar thermal medium tempature applications.* Science Direct, 99,283-290.

Wang Z & Yang W & Qiu F, (2015). *Solar water heating: From theory, application, marketing and research.* Science Direct, Vol:41: 68–84.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

Waqas, A. & Ji, J. & Ali, M. & Alvi, Z. (2018). *Effectiveness of the phase change material-based thermal energy storage integrated with the conventional cooling systems of the buldings – A review.* Insttitution of mechanical enginers, 0(0),1-32.

Wu, S. & Yuan, L. & Gu, A. & Zhang, Y. & Liang, G. (2016). *Synthesis and characterization of novel epoxy resins-filled microcapsules with organic/inorganic hybrid shell for the self-healing of high performance resins.* Wiley Online Library, Vol. 27, No:12, pp. 1544–1556.

Yang, G. & Yim, Y. & Lee, J. W. & Heo, Y. J. & Park, S. J. (2019). *Carbon-filled organik phase-change materials for thermal energy storage: a review.* MDPI Journals, 24(11), 2055.

Yang, J. & Keller, M.W. & Moore, J.S. & White, S.R. & Sottos, N.R. (2008). *Microencapsulation of Isocyanates for Self-Healing Polymers.* Research Gate, 41 (24), 9650–9655.

Yılmaz, S. (2008). *Soğutma uygulamalari için faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama.* Yüksek lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi.

Yu, S. & Jeong, S.G. & Chung, O. & Kim, S., (2014). *Bio-based PCM/carbon nanomaterials composites with enhanced thermal conductivity.* Science Direct, Vol:120, 549-54.

Zhang, Z. & Fang, X. (2006). *Study on paraffin/expanded graphite composite phase change thermal energy storage material.* Research Gate, 47(3):303–310.

ÖZ GEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler
Adı Soyadı : İsmail DAL
Doğum Yeri ve Tarihi : Pazaryeri / 30.03.1992

Eğitim Durumu
Lisans Öğrenimi :. Kimya Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi
Stajlar : Akgün Seramik A.Ş., Sançim Çimento A.Ş.
Projeler : Biyo dizel üretimi, Akrilonitril üretim tesisinin tasarlanması
Çalıştığı Kurumlar : Doğuş Suni Deri A.Ş., Billas Lastik A.Ş., Anlas Lastik A.Ş.

İletişim
Adres : Merkez / DÜZCE
E-Posta Adresi : ismaildal7010@gmail.com

Akademik Çalışmaları
-Yüksek performanslı stabil faz değişim malzemesinin geliştirilmesi

Yabancı Dil Bilgisi

Tarih:29/07/2020

İngilizce - Orta