



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ**  
**SONUÇ RAPORU**

**PROJE ADI**

**MİKROKAPSÜLENMİŞ YENİ FAZ DEĞİŞİM MALZEMESİ  
ÜRETİMİ VE ISIL ENERJİ DEPOLAMA ÖZELLİKLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**PROJE NO:2019-02.BŞEÜ.01-07**

**PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ: Prof.Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ (Danışman)**

**ARAŞTIRMACILAR:**

Dr. Öğr. Üyesi Şenay BALBAY (İkinci Danışman)

İsmail DAL (Yüksek Lisans Öğrencisi)

**BAŞLAMA TARİHİ:13.01.2020**

**BİTİŞ TARİHİ :29.08.2020**

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**BİLECİK, 2020**

## ÖZET

Faz Değiştiren Maddeler (FDM, PCM, Phase Change Material) termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. Bu alışmada; 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), Grafenoksit ve Grafit kullanılarak kompozite Organik Faz Değişim Malzemesi (OFDM) üretildi. OFDM 'lerinin hazırlanması için basit karıştırma ve vakum emprenye yöntemi kullanıldı. Vakum sistemi yardımıyla GKK, grafitoksit ve grafenin; 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 fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerini belirlemek amacıyla; sızdırmazlık, FT-IR, ve DSC analizleri gerçekleştirildi. En yüksek enerji depolama kapasitesine GKK malzemesinin kullanıldığı numunelerde **40.16-85,64j/g** değerleri arasında değişirken, grafen oksit ve grafit kullanılarak elde edilen OFDM numunelerinin ısıl enerji depolama değerleri sırasıyla; **22.21J/g ve 17,98J/g** olarak belirlenmiştir.

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

## 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), grafenoxide and grafit 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 sealing, FT-IR, and DSC analyzes were performed. While the highest energy storage capacity varies between **40.16- 85.64 j / g** in samples using GKK material, the thermal energy storage values of OFDM samples obtained by using graphene oxide and graphite were respectively; **22.21J / g** and **17.98J / g**.

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

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2- LİTERATÜR TARAMASI</b> .....	<b>5</b>
<b>3. MATERYAL VE METOD</b> .....	<b>14</b>
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Kullanılan malzemeler.....	14
3.1.2. Kullanılan alet ve düzenekler.....	15
3.2. Metod.....	15
3.3. Karakterizasyon.....	17
3.3.1. Faz değişimi sıcaklık farkı.....	18
3.3.2. Sızdırmazlık testi.....	18
3.3.3. Fourier Dönüşümlü Kıızıl Ötesi Spektrometresi (FT-IR).....	18
3.3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi.....	19
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>20</b>
4.1. Faz değişimi sıcaklık farkı.....	20
4.2. Sızdırmazlık testi.....	22
4.3. Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FT-IR).....	23
4.5. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi.....	30
4.6. Grafenoksit ve Grafit kullanılarak elde edilen OFDM numunelerinin sızdırmazlık testi ve DSC analizleri.....	32
<b>5. TARTIŞMA</b> .....	<b>35</b>
5.1. Faz değişim sıcaklığının belirlenmesi.....	35
5.2. Sızdırmazlık testi değerlendirilmesi.....	35
5.3. Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FT-IR) değerlendirilmesi.....	35
5.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz değerlendirilmesi.....	37
5.5. GKK ile elde edilen numunelerin Grafenoksit ve Grafit kullanılarak elde edilen numunelerin ısıl enerji depolama kapasiteleri ile karşılaştırılması.....	38
<b>6. SONUÇLAR</b> .....	<b>39</b>

**KAYNAKLAR ..... 40**

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

<b>Şekil 3.1.</b> FDM karıştırma düzeneği.....	15
<b>Şekil 3.2.</b> Vakumlama işlemi.....	16
<b>Şekil 3.3.</b> FT-IR (Cary 630) cihazı .....	19
<b>Şekil 3.4.</b> Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC).....	19
<b>Şekil 4.1.</b> Mer-İZ kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı .....	20
<b>Şekil 4.2.</b> Labsa kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı.....	21
<b>Şekil 4.3.</b> Dehyquart ACA (KB) kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı.....	21
<b>Şekil 4.4.</b> Dehyton PK 45 kullanılarak üretilen FDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı.....	22
<b>Şekil 4.5.</b> GKK FT-IR spektrum grafiği.....	24
<b>Şekil 4.6.</b> PEG-600 FT-IR spektrum grafiği.....	24
<b>Şekil 4.7.</b> Parafin FT-IR spektrum grafiği.....	25
<b>Şekil 4.8.</b> Labsa FT-IR spektrum grafiği.....	25
<b>Şekil 4.9.</b> Mer-İZ FT-IR spektrum grafiği.....	26
<b>Şekil 4.10.</b> CTAC FT-IR spektrum grafiği.....	26
<b>Şekil 4.11.</b> KB FT-IR spektrum grafiği.....	27
<b>Şekil 4.12.</b> GKK, PEG600, Mer-İZ, Parafin, FM-7 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği.....	27
<b>Şekil 4.13.</b> GKK, PEG600, Labsa, Parafin, FM-13 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği.....	28

<b>Şekil 4.14.</b> GKK, PEG600, KB, Parafin, FM-20 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği.....	29
<b>Şekil 4.15.</b> GKK, PEG600, CTAC, Parafin, FM-26 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği.....	29
<b>Şekil 4.16.</b> FM-7 Kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği.....	30
<b>Şekil 4.17.</b> FM-13 kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği.....	30
<b>Şekil 4.18.</b> FM-20 kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği.....	31
<b>Şekil 4.19.</b> FM-26 kodlu numunenin DSC analizi spektrum grafiği.....	31
<b>Şekil 4.20 .</b> Grafen oksit kullanılarak üretilen OFDM'nin sızdırmazlık testi görünümü.....	32
<b>Şekil 4.21</b> Grafen oksit kullanılarak üretilen OFDM'nin DSC spektrumu.....	33
<b>Şekil 4.22.</b> Grafit kullanılarak üretilen OFDM'nin sızdırmazlık testi görünümü.....	33
<b>Şekil 4.23</b> Grafit kullanılarak üretilen OFDM'nin DSC spektrumu.....	34

**ÇİZELGE DİZİNİ****Sayfa No**

<b>Çizelge 3.1.</b> Süpfaktanların özellikleri.....	14
<b>Çizelge 3.2.</b> MER-İZ kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi.....	16
<b>Çizelge 3.3.</b> LABSA kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi.....	16
<b>Çizelge 3.4.</b> Dehyquart ACA (Kokoamidopropil Betain (KB)) kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi.....	17
<b>Çizelge 3.5.</b> Dehyton PK 45 (Setil Trimetil Amonyum Klorür (CTAC)) kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi.....	17
<b>Çizelge 4.1.</b> Elde edilen OFDM'numunelerinin sızdırmazlık test sonuçları.....	23
<b>Çizelge 5. 1.</b> DSC analiz verilerine göre hesaplanan ısı depolama miktarı.....	38

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$\mu$	: Mikron
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
$\Delta H_F$	: Erime sırasında gizli füzyon ısısı
%	: Yüzde değer
ark.,	: Arkadaşları
$\eta$	: Sızıntı yüzdesi
$A_L$	: Sızıntı alanı
$A_R$	: Referans alanı
kg	: Kilogram
kJ	: Kilokalori
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat sıcaklık
$^{\circ}\text{K}$	: Kelvin sıcaklık
$C_p$	: Özgül ısı
Q	: Depolanan ısı
dT	: Sıcaklık değişimi (K)
DC	: Doğru akım
m	: Depolama malzemesinin kütlesi
mm	: Milimetre
$\rho C_p$	: Isı kapasitesi

### Kısaltmalar

CNT	: Karbon nanotüp hibritleri
CTAC	: Setil trimetil amonyum bromid - Dehyquart ACA
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
GO	: Grafen oksit
HIDM	: Hassas ısı depolama malzemeleri
KNF	: Karbon nanofiber
KNT	: Karbon nanotüp
OFDM	: Organik faz değişim malzemesi
PAR	: Parafin
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

## 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 güvenilirliğini 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 (ısı) Enerji Depolama yöntemleri ısı yöntem ve kimyasal yöntem olmak üzere ikiye ayrılır. Isı yöntem duyulur ısı ve gizli ısıdan oluşurken, kimyasal yöntem tepkime ısı, 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 enerjii 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 yararlanır. 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 enerjii katı faza geçişleri sırasında buldukları ortama serbest bırakır ve sıvı faza geçişleri sırasında ise ortamdan serbest bıraktığı miktar kadar enerjii geri alır. FDM'ler kullanılan malzemelerin özelliklerine göre büyük miktardaki enerjii depolayabilmektedir. FDM'lerin bazı kullanım alanları inşaat, tekstil, 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 korozyon 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) olarak bilinen polietilen glikolün (PEG) sonuna da hidroksil grubu olan dimetil eter zincirlerini içermektedir ( $\text{HO-CH}_2\text{-(CH}_2\text{-O-CH}_2\text{)-}_n\text{-CH}_2\text{-OH}$ ). 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), rafenoksit ve grafit 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 kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

## 2- LİTERATÜR TARAMASI

Biçer ve ark. (2017) tarafından ısı enerjisini depolamak için yapıcı 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 ısı iletkenliğinin artırılması için farklı oranlarda karbon nanotüp ilave edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Cui ve ark. (2017) tarafından termal ısı iletkenliğinin artırılması amacıyla karbon nano tüp katkı ve kabuklu faz değişim malzemelerinin mikro kapsüllenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Faz değişim malzemesi olarak karbon nano tüp takviyeli melamin formaldehit 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 heksahidrat, 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 ısı 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 ısı 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 ısı 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 ısı 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 sıcaklığınının FDM erime süresi üzerindeki etkisini araştırmaktır. FDM olarak parafin RT42 kullanılmıştır. Termal enerji depolama sistemlerinde kullanılan i içe geçen borulu ısı değiştiren mekanizmada, FDM'nin erime sürecindeki ısı 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 arttıça 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 i 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 özölmüştür. 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.  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 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 alışma 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 iinfaz 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 mikrokapsllemelerinin 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 kapsllemede kullanılan FDM zelliklerine 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 heksahidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ve sodyum karbonat dekahidrat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) kullanılmıştır. Transfer sıvısı bakır boru içerisinden geçirilerek enerji depolanması amaçlanmıştır. Çalışmanın

sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde sodyum karbonat dekahidratın diğer FDM olan kalsiyum klorür heksahidrattan %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 ısı enerji depolama verimliliğini arttırmak amacıyla çalışmada tuz hidratlar, hidrokarbonlar, kalsiyum klorür heksahidrat 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 ısı, 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 karıştırıldığında 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 ısı gibi bir FDM olarak kullanım için birçok uygun özelliğe sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Shchukina ve ark. (2018) tarafından geliştirilmiş termal enerji depolama sistemleri için faz değişim malzemelerinin nano kapsülasyonu incelenmiştir. Çalışmanın amacı, nano kapsüllemeye dikkat ederek hem organik hem de inorganik FDM'lerin kapsüllemesine 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

kapsüllemesi 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 ısı 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 çalışmada karbon nanotüp geliştirilmiş termal iletkenlik ısı yayılımı için faz değiştirme malzemeleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, karbon nanotüplerin ve matrislerin birlikte kullanılabilmesiyle 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 levhaya 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 sonucunda, 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 çalışmada faz değişim malzemelerinin ısı enerjisi depolama amacıyla yapı elemanı üretiminde kullanımı incelenmiştir. Çalışmanın amacı, yapıların ısı 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 ısı davranışı deneysel olarak ölçülmüştür. FDM katı haldeyken başlayan deney FDM malzemesi eriyip enerji dengesi sağlayınca devam etmiştir. Bir sonraki adımda ısı performans Fluent sayısal yöntemle hesaplanmış ve yapı elemanının başarısının görülmesi için simülasyon yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, 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 ısı 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 ısı 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 ısı 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 kovani 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 temelinde 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 kullanılabilmesi 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.

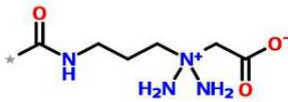

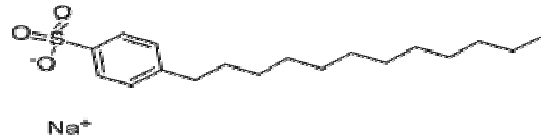
### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan malzemeler

Deneyleerde 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 3.1). 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 3.1.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.

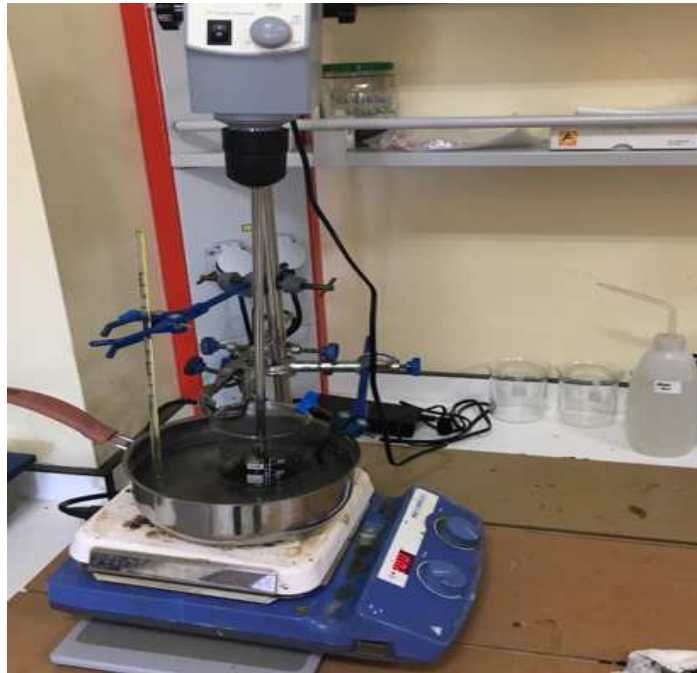
### 3.1.2. Kullanılan alet ve dzenekler

Deneysel çalışmalarda Sartorius CPA 10003S marka hassas terazi ( $\pm 0,001$  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 630 Agilent Technologies marka FT-IR cihazı ve TA Instruments SDT 650 Simultane marka DSC analiz cihazı kullanılmıştır.

### 3.2. Metod

OFDM 'lerinin hazırlanması için basit karıştırma ve vakum empenye 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 3.1.). Vakum sistemi yardımıyla GKK'nın sürfaktan, PEG600 ve PAR'ı absorplaması sağlandı (Şekil 3.2.). Üretilen OFDM'ler kilitli numune poşetlerine konarak saklandı.

OFDM üretiminde her bir sürfaktan için farklı reçeteler kullanıldı (Çizelge 3.2., Çizelge 3.3., Çizelge 3.4., Çizelge 3.5.).



Şekil 3.1. FDM karıştırma düzeneği



Şekil 3.2. Vakumlama işlemi

Çizelge 3.2. 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 3.3. 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 3.4.** Dehyquart ACA (Kokoamidopropil Betain (KB)) kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi

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

**Çizelge 3.5.**Dehyton PK 45 (Setil Trimetil Amonyum Klorür (CTAC)) kullanılarak hazırlanan OFDM reçetesi

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

### 3.3. 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.

### 3.3.1. Faz değişimi sıcaklık farkı

İlk olarak ortam şartlarında OFDM'nin sıcaklığı ( $T_1$ ) termometre yardımıyla belirlendi. Daha sonra kapalı bir sistemde bulunan sıcak ( $90\text{ }^\circ\text{C} >$ ) suyun içerisinde OFDM'nin erime sıcaklığı ( $T_2$ ) ölçüldü. Denklem 3.1. kullanılarak OFDM'nin depoladığı ısı belirlendi. (İsıker and Yesilata, 2017)

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (3.1.)$$

### 3.3.2. Sızdırmazlık testi

OFDM'lersüzgeç kağıdı üzerine çizilen 25 mm daire içine 1 gram OFDM numunesi konularak etüv içinde  $65\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık ve 2 saat bekletildi. OFDM'nin sızdırmazlık yüzdesi ( $\eta$ ) Denklem 3.2. kullanılarak belirlendi (Kee et al., 2017).

$$\eta = (A_L / A_R) \times \%100 \quad (3.2.)$$

$\eta$ : sızıntı yüzdesi,

$A_L$ : sızıntı alanı,

$A_R$ : referans alanı.

### 3.3.3. 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 3.3.). Analizler Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Spectrum 100 model fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FT-IR) ile yapıldı ve  $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$  dalga boyu tarama aralığında gerçekleştirildi.



Şekil 3.3.FT-IR (Cary 630) cihazı (URL-3, 2020)

### 3.3.4. 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 3.4.). (URL-4, 2020)



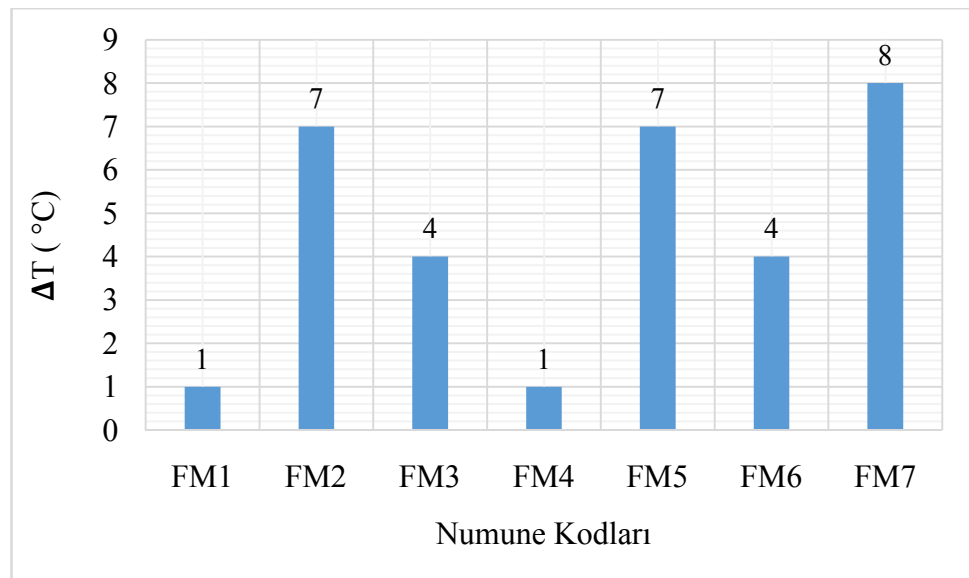
Şekil 3.4.Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) (URL-5, 2020)

## 4. 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. En yüksek ısı depolama kapasitesine sahip numune reçetelerinde karbon kaynağı olarak GKK yerine grafen oksit ve grafit kullanılarak elde edilen OFDM 'lerinin sızdırmazlık testi ve ısıl depolama kapasitelerini belirlemek için DSC analizleri yapılmıştır.

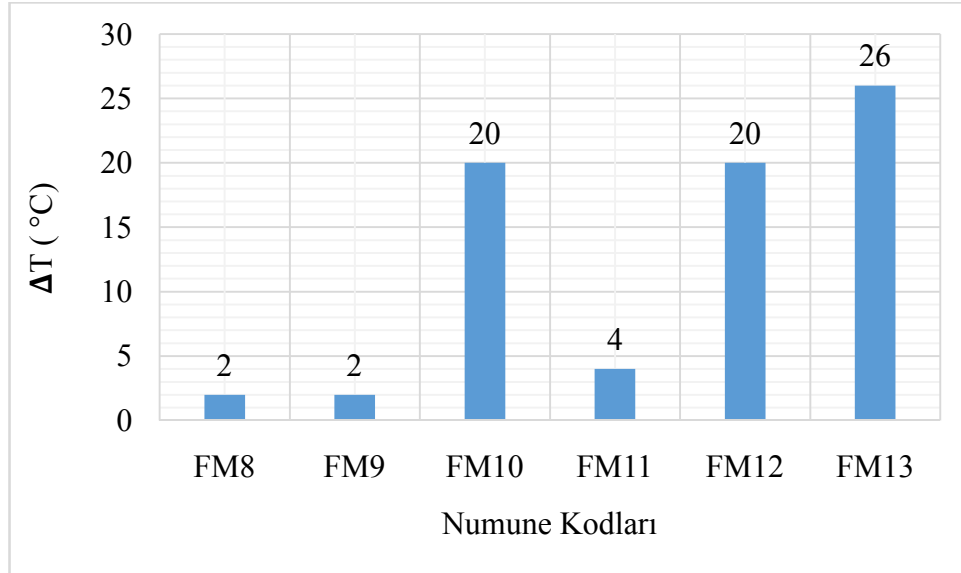
### 4.1. Faz değişimi sıcaklık farkı

Deneysel çalışmada elde edilen OFDM numunelerin kompozisyon içeriğinde bulunan sürfaktan türüne bağlı olarak faz değişim sıcaklıklarının grafiksel gösterimi Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil4.1' de kompozisyonda sürfaktan olarak Mer-İZ katyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklıkları grafiği verilmiştir.



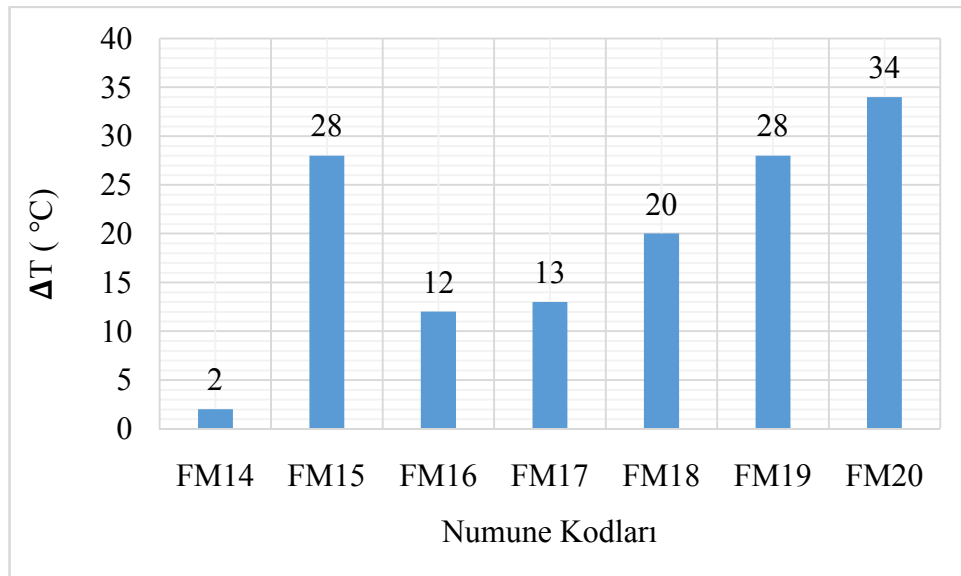
Şekil 4.1. Mer-İZ kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı

Şekil4.2' de kompozisyonda sürfaktan olarak Labsaanyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.



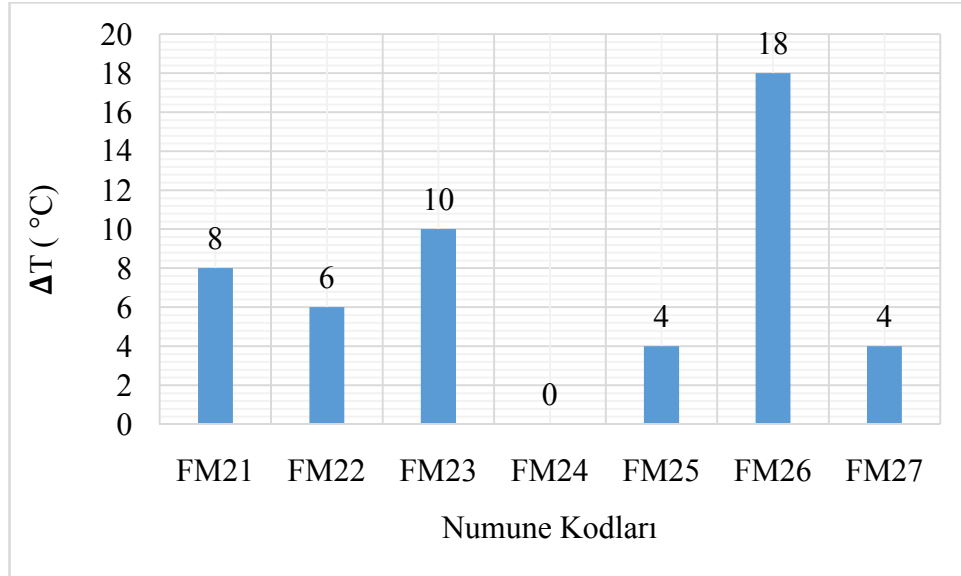
Şekil 4.2.Labsa kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı

Şekil4.3' de kompozisyonda sürfaktan olarak Dehyquart ACA (KB)katyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.



Şekil 4.3.Dehyquart ACA (KB) kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı

Şekil4.4' de kompozisyonda sürfaktan olarak amfoterik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.


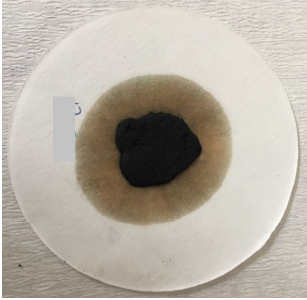




**Şekil 4.4.**Dehyton PK 45 kullanılarak üretilen FDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı

#### 4.2. Sızdırmazlık testi

Farklı türdeki sürfaktanların kullanıldığı farklı kompozisyonlarda elde edilen numunelerin faz değişim sıcaklık farkı sonuçlarına göre en yüksek sıcaklık farkı değerine sahip numuneler sırasıyla; FM-7, FM-13, FM-20 ve FM-26 kodlu numuneler olarak belirlendi. Numunelere ait sızdırmazlık görüntüleri Çizelge 4.1.'de verildi.

**Çizelge 4.1.**Elde edilen OFDM'numunelerinin sızdırmazlık test sonuçları

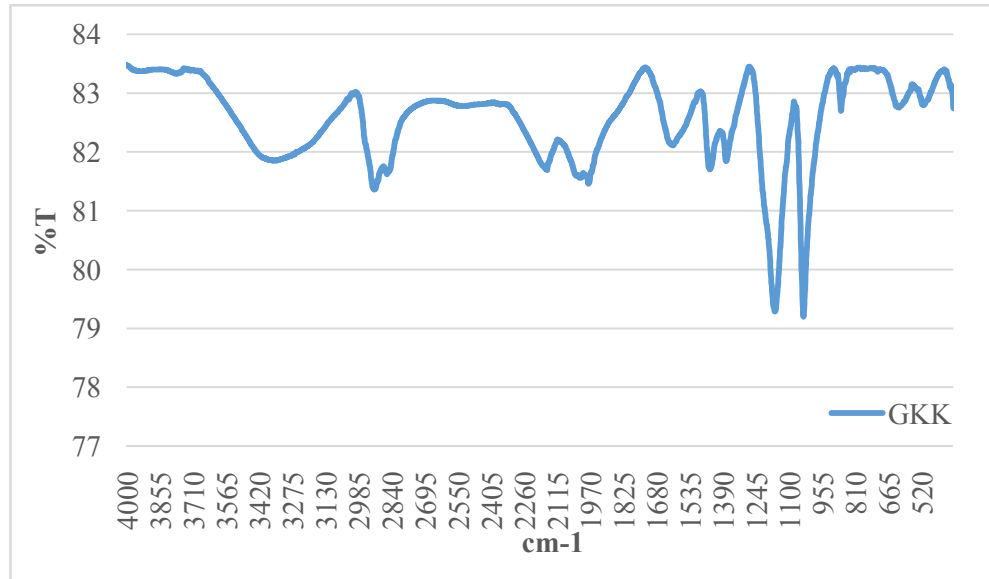
Numune Kodu	Sızdırmazlık Testi Görseli	Sızdırmazlık Verileri
FM-7 Kodlu Numune		$A_L$ : 90 mm $A_R$ : 25 mm $\eta$ : 360
FM-13 Kodlu Numune		$A_L$ : 45mm $A_R$ : 25 mm $\eta$ : 180
FM-26 Kodlu Numune		$A_L$ : 45mm $A_R$ : 25 mm $\eta$ : 180
FM-20 Kodlu Numune		$A_L$ : 75mm $A_R$ : 25 mm $\eta$ : 300

#### 4.3. Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FT-IR)

OFDM numunelerinin kompozisyonunda yer alan kimyasal maddelerin FT-IR spektrumları Perkin Elmer Spectrum 100 model fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FT-IR)  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  dalga boyu tarama aralığında gerçekleştirildi. OFDM numunelerinin hazırlanmasında kullanılan Parafin, PEG600, MER-İZ,

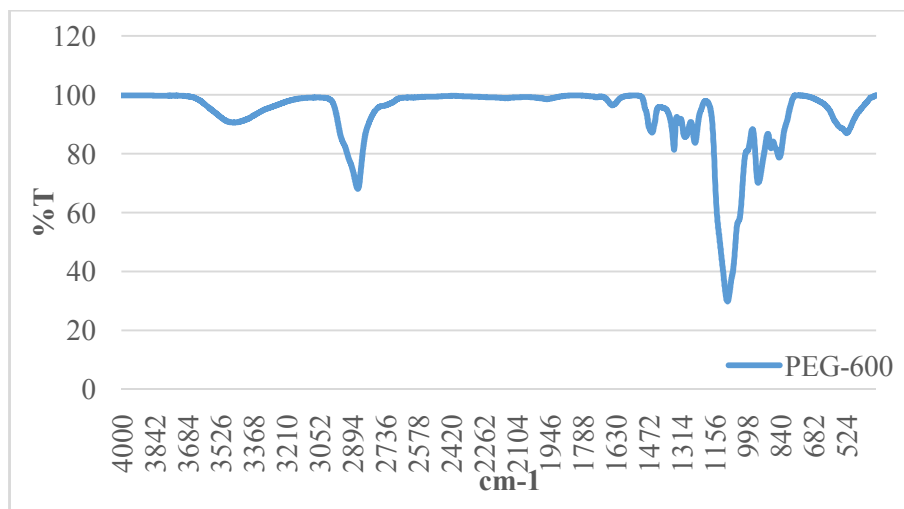
LABSA, Dehyton PK 45, Dehyquart ACA ve GKK hammaddelerinin FT-IR spektrumları Şekil 4.5-11'de verildi. Faz değişim sıcaklık farkı yüksek olan numunelerden FM-7 (Şekil 4.12.), FM-13 (Şekil 4.13.), FM-20 (Şekil 4.14) ve FM-26 (Şekil 4.15.) kodlu malzemelerinin FT-IR spektrumları aşağıdaki grafiklerde gösterildi.

GKK hammadesinin FT-IR analiz spektrumu Şekil 4.5.'te gösterilmektedir.



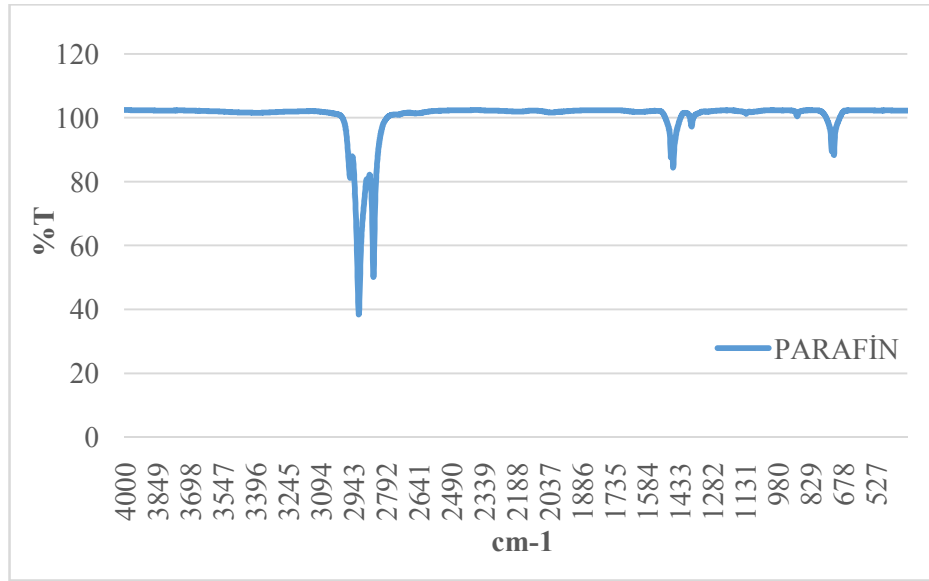
Şekil 4.5.GKK FT-IR spektrum grafiği

PEG600 hammadesinin FT-IR analiz spektrumu Şekil 4.6.'te gösterilmektedir.



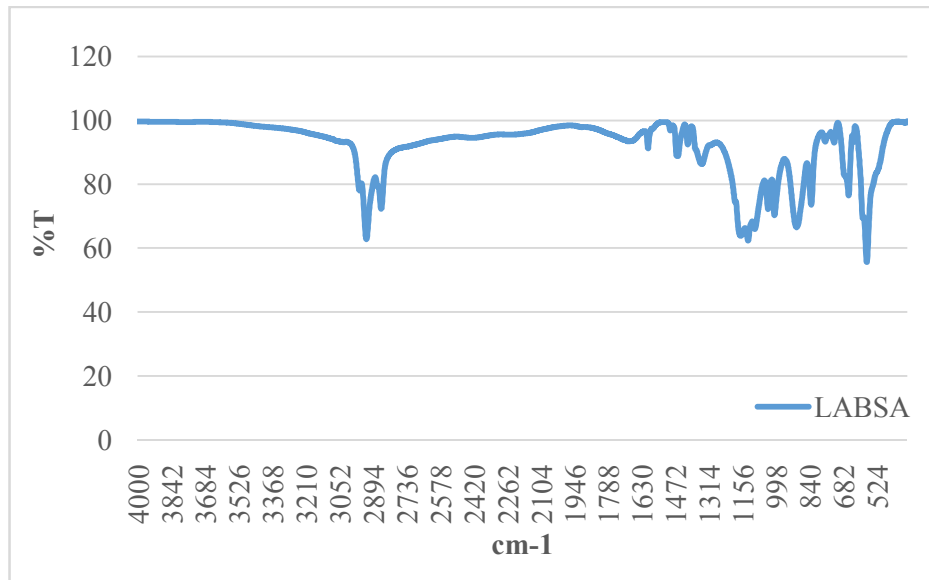
Şekil 4.6.PEG-600 FT-IR spektrum grafiği

Parafin hammadesinin FT-IR analiz spektromu Şekil 4.7.'te gösterilmektedir.



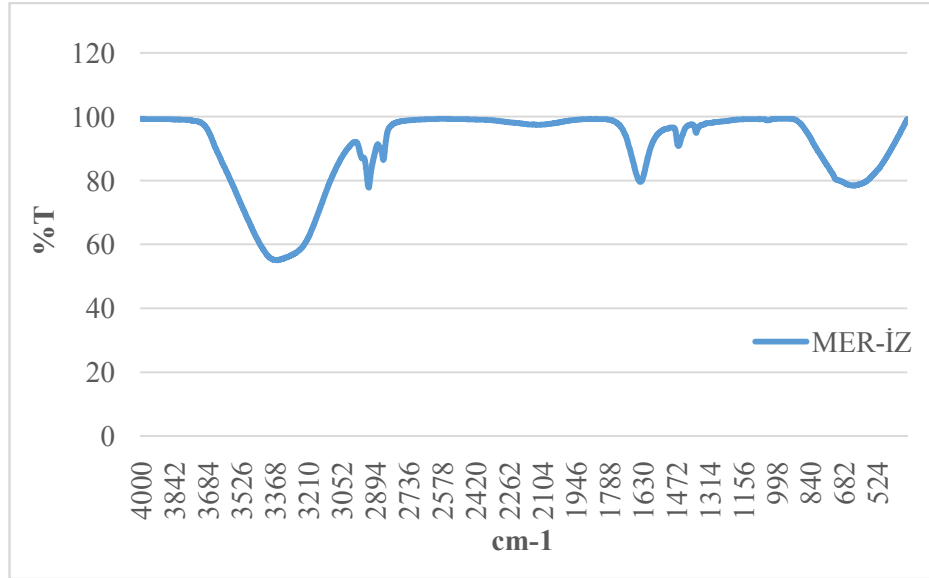
Şekil 4.7.Parafin FT-IR spektrum grafiği

Labsa hammadesinin FT-IR analiz spektromu Şekil 4.8.'te gösterilmektedir.



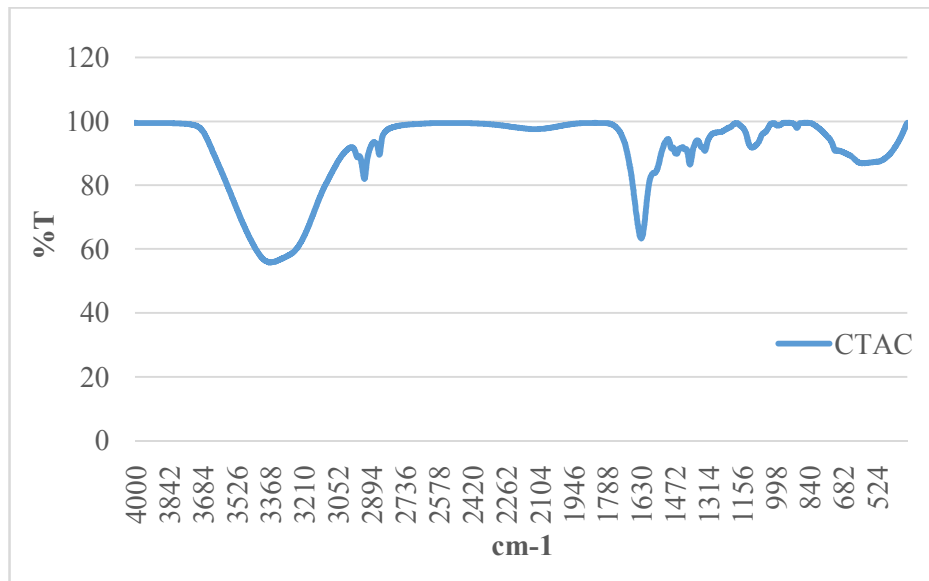
Şekil 4.8.Labsa FT-IR spektrum grafiği

Mer-İZ hammadesinin FT-IR analiz spektromu Şekil 4.9.'te gösterilmektedir.



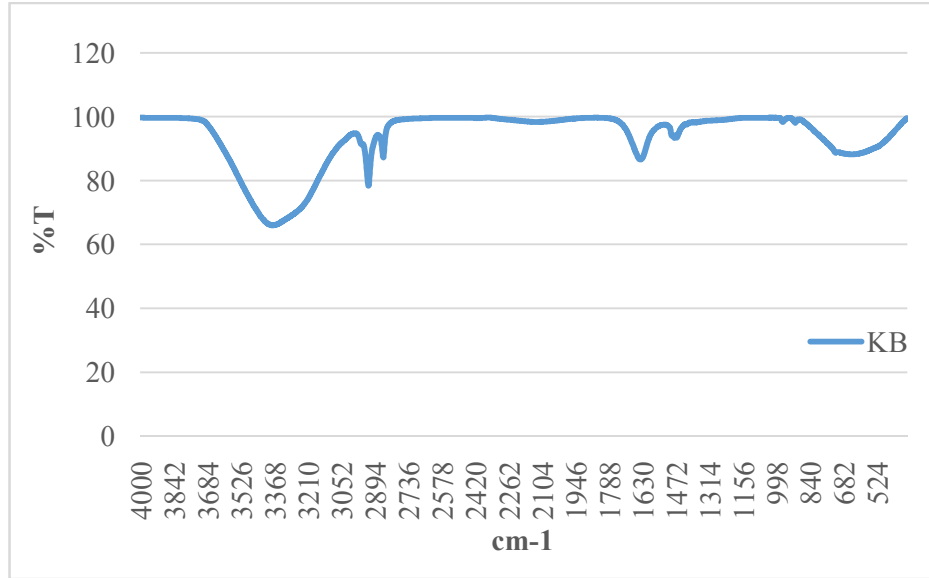
**Şekil 4.9.**Mer-İZ FT-IR spektrum grafiği

CTAC hammadesinin FT-IR analiz spektrumu Şekil 4.10.'te gösterilmektedir.



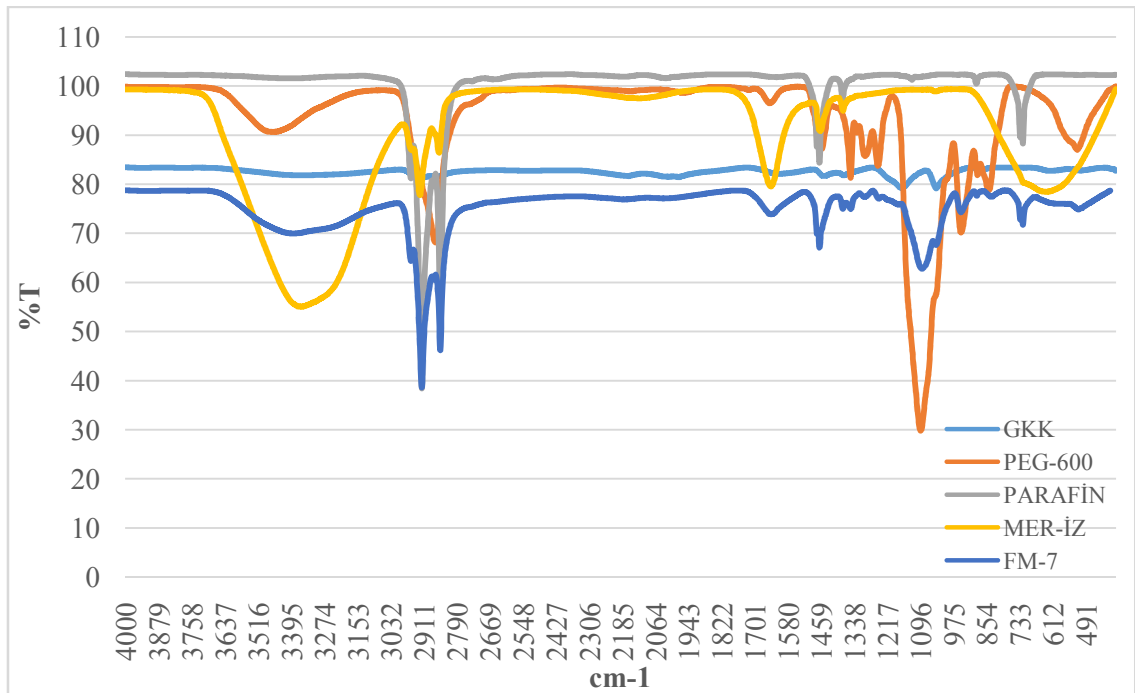
**Şekil 4.10.**CTAC FT-IR spektrum grafiği

KB hammadesinin FT-IR analiz spektrumu Şekil 4.11.'te gösterilmektedir.



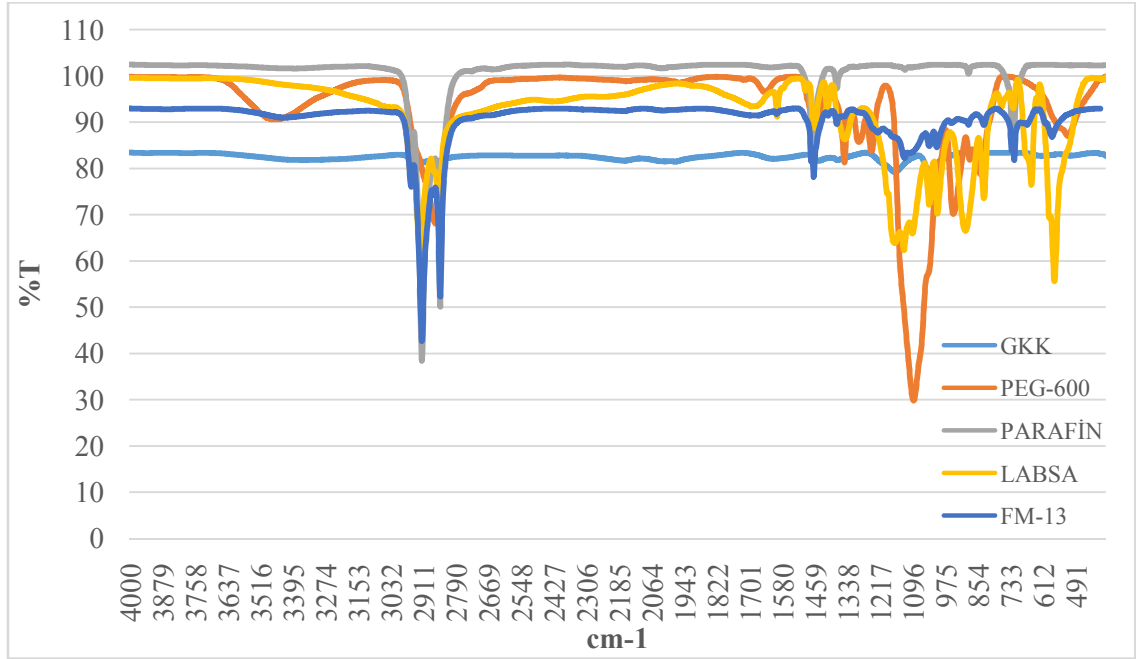
Şekil 4.11.KB FT-IR spektrum grafiği

FM-7 kodlu numuneninve numuneyi oluşturan bileşenlerinFT-IR analiz spektrumları Şekil 4.12.'te gösterilmektedir.



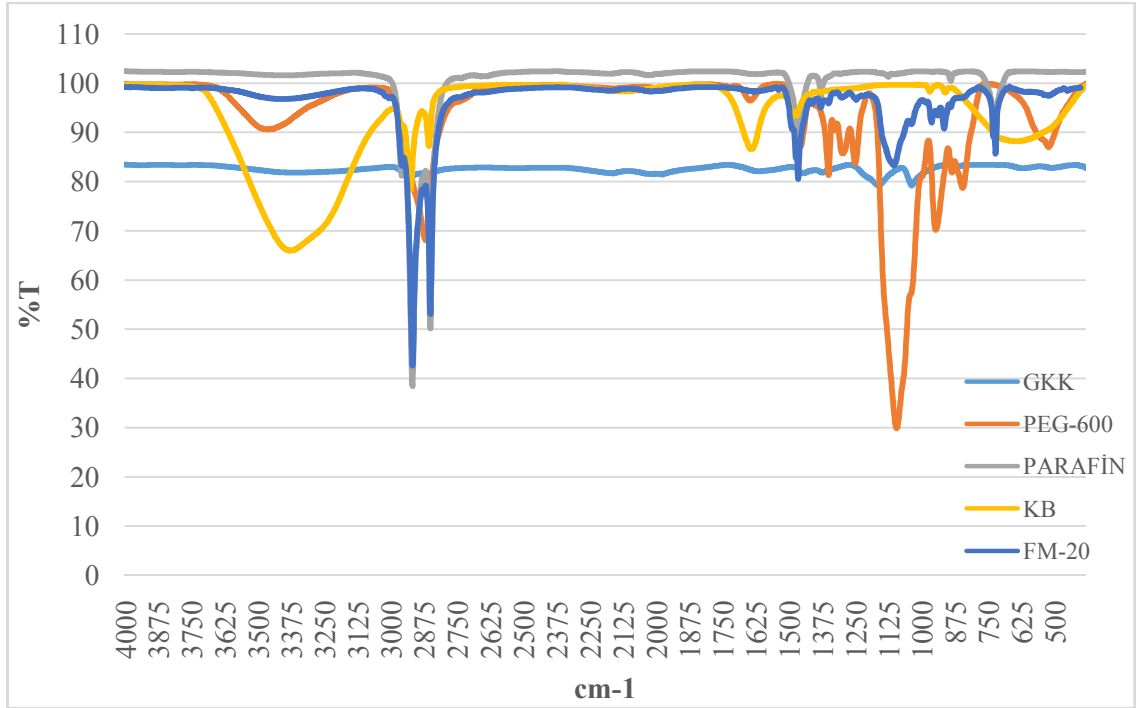
Şekil 4.12.GKK, PEG600, Mer-İZ, Parafin, FM-7 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

FM-13 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 4.13.'te gösterilmektedir.



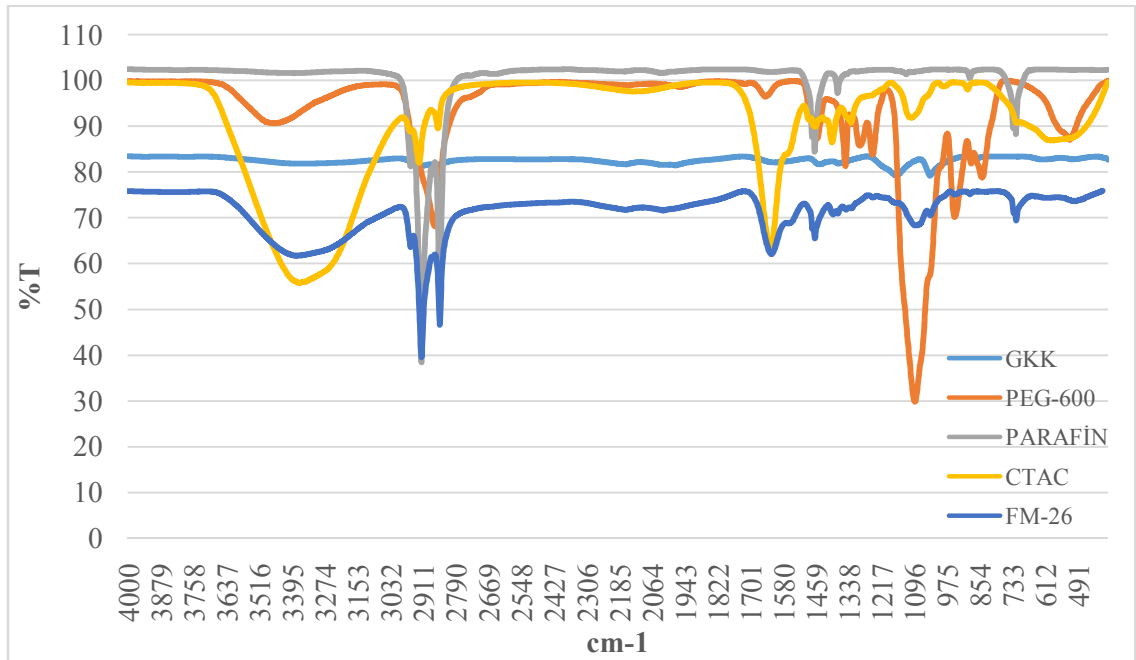
**Şekil 4.13.**GKK, PEG600, Labsa, Parafin, FM-13 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

FM-20 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 4.14.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.14.GKK, PEG600, KB, Parafin, FM-20 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

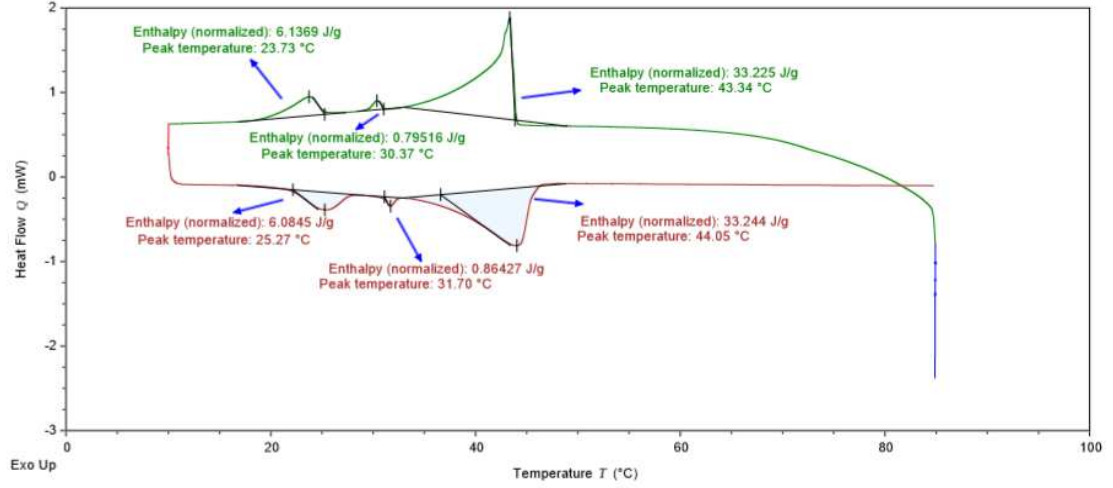
FM-26 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 4.15.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.15.GKK, PEG600, CTAC, Parafin, FM-26 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

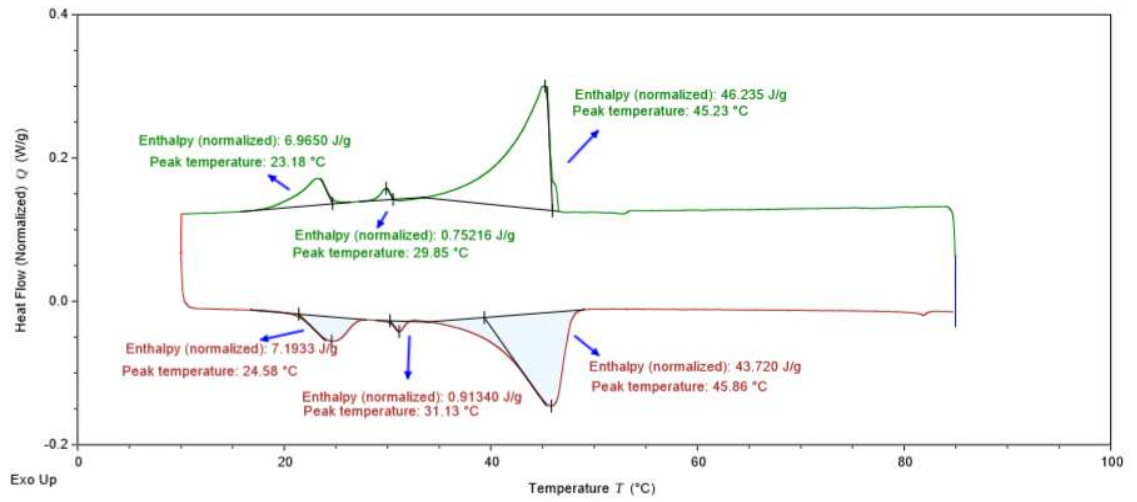
#### 4.5. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi

FM-7 kodlu numunenin DSC analiz spektrumu Şekil 4.16.'da verildi.



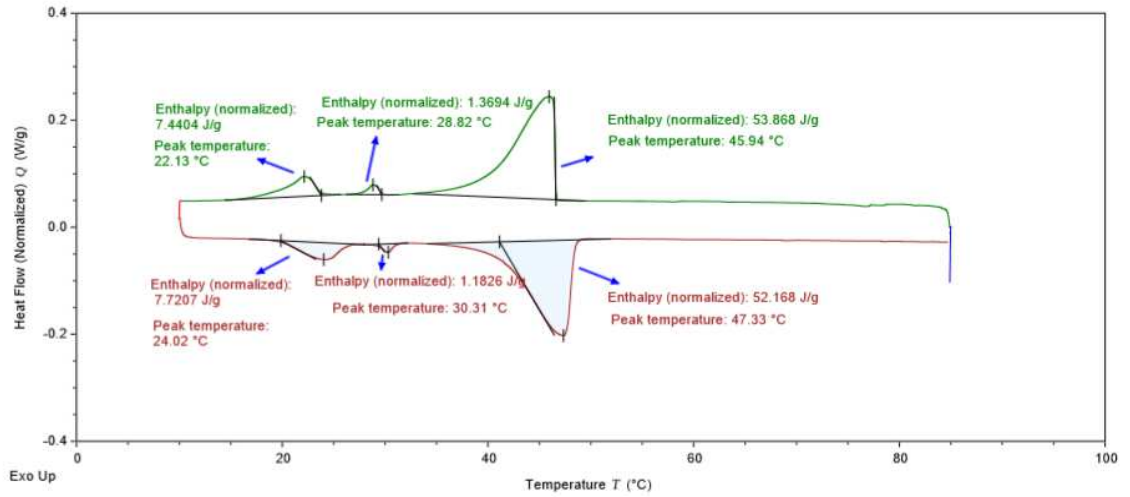
Şekil 4.16.FM-7 Kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği

FM-13 kodlu numunenin DSC analiz spektrumu Şekil 4.17.'de verildi.



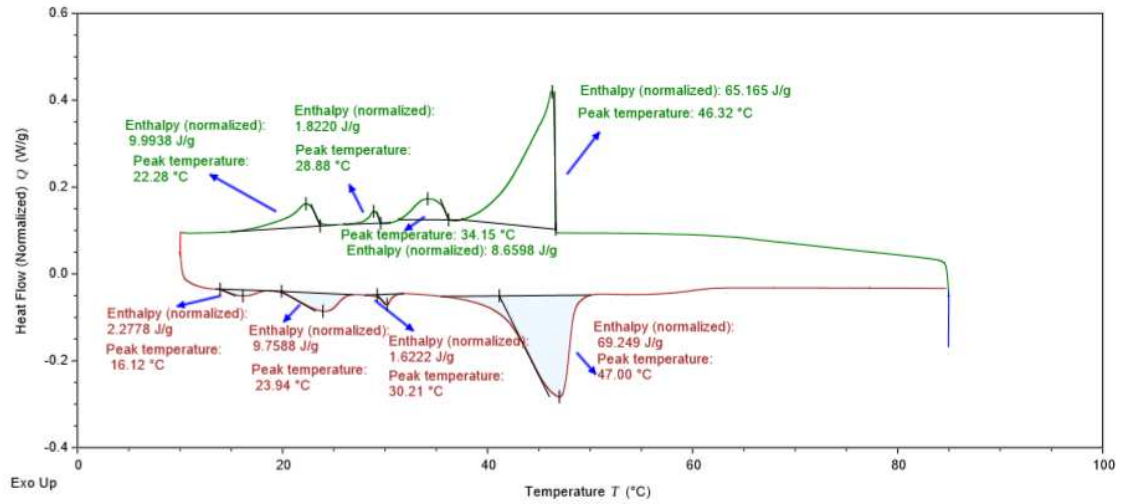
Şekil 4.17.FM-13 kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği

FM-20 DSC analiz spektrumu Şekil4.18.'de verildi.



Şekil 4.18.FM-20 kodlu numunenin DSC analiz spektrum grafiği

FM-26 kodlu numunenin DSC analiz spektrumu Şekil 4.19.'de verildi.

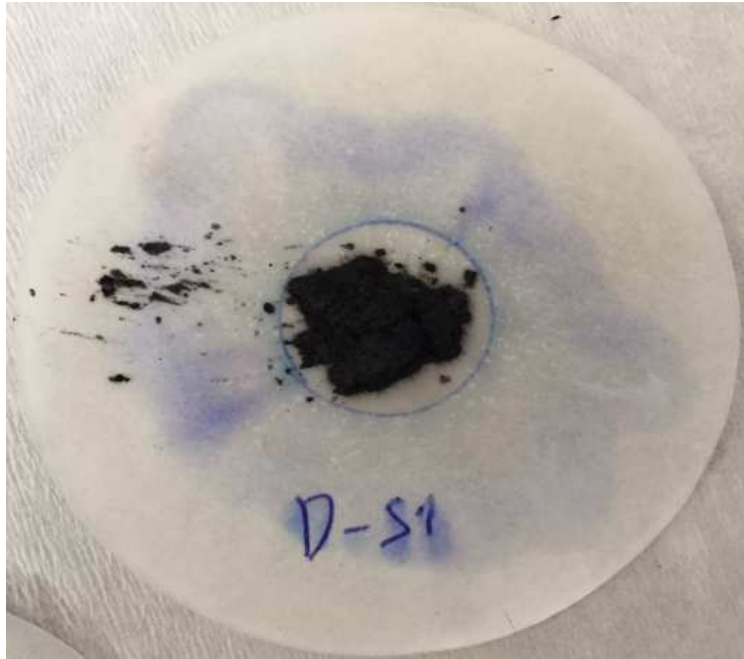


Şekil 4.19.FM-26kodlu numunenin DSC analizi spektrum grafiği

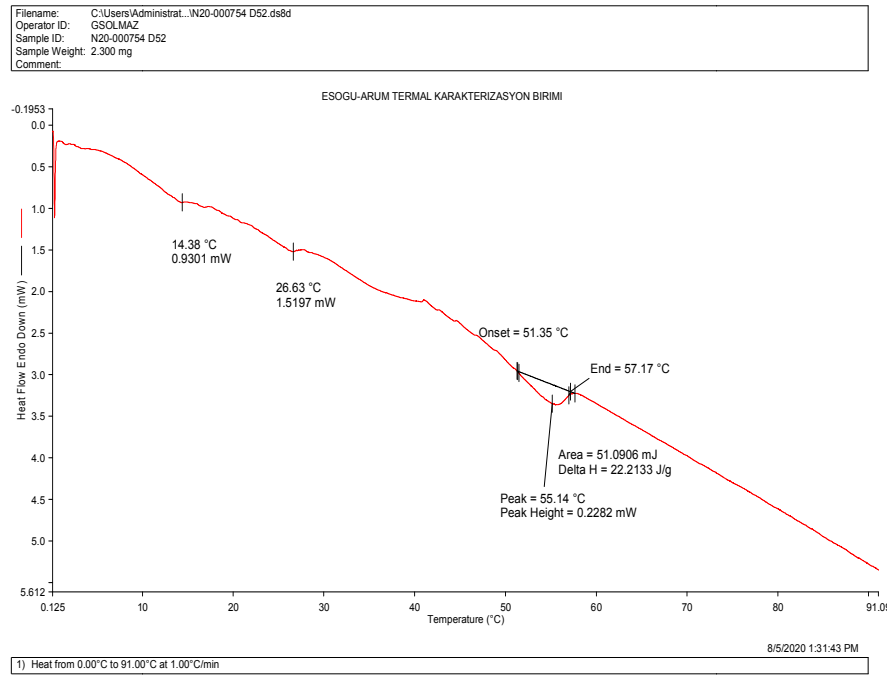
#### 4.6. Grafenoksit ve Grafit kullanılarak elde edilen OFDM numunelerinin sızdırmazlık testi ve DSC analizleri

Projenin amacı farklı karbon esaslı malzemeler ve farklı sürfaktanlar kullanılarak yeni Mikrokapsüllenmiş Organik Faz Değişim Malzemesi (OFDM) üretilmesidir. En yüksek ısı depolama kapasitesine sahip numune reçetelerinde karbon kaynağı olarak GKK yerine grafen oksit ve grafit kullanılarak elde edilen OFDM'lerinin sızdırmazlık testi ve ısı depolama kapasitelerini belirlenmek için DSC analizleri yapılmıştır. Yapılan test ve analiz sonuçları aşağıda Şekil 4.20-23'te verilmiştir.

Diğer numunelerde olduğu gibi grafenoksit kullanılarak elde edilen numunelerinde sızdırdığı Şekil 4.20'de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.20. Grafen oksit kullanılarak üretilen OFDM'nin sızdırmazlık testi görünümü



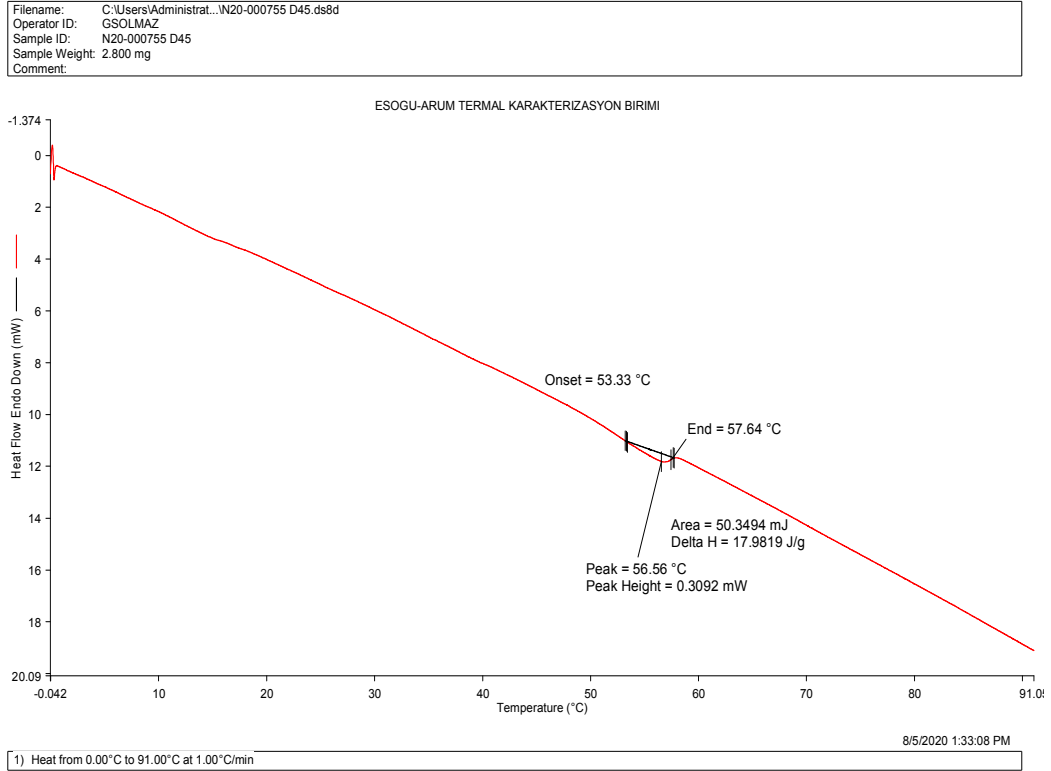
**Şekil 4.21** Grafen oksit kullanılarak üretilen OFDM'nin DSC spektrumu

Şekil 4.21'de görüldüğü üzere, Grafenoksit kullanılarak elde edilen OFDM numunesinin ısı depolama değeri 22.21 J/g olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.22'de verilen grafit kullanılarak üretilen OFDM'nin sızdırmazlık testi görünümünden de anlaşıldığı üzere sızdırmazlık özelliğinin olmadığı görülmektedir.



**Şekil 4.22.** Grafit kullanılarak üretilen OFDM'nin sızdırmazlık testi görünümü



**Şekil 4.23** Grafit kullanılarak üretilen OFDM'nin DSC spektrumu

Şekil4.23 incelendiğinde, grafit kullanılarak elde edilen OFDM numunesinin ısı depolama değeri 17.98 J/g olarak belirlenmiştir.

## 5. TARTIŞMA

Isı enerjisi depolamak amacıyla farklı sürfaktanlar ve karbonlu malzemeler ( GKK, Grafen Oksit ve Grafit) 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 numunelersızdırmazlık, FT-IR, DSC analizleri yapıldı.

### 5.1. Faz değişim sıcaklığının belirlenmesi

Mer-İZ kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı FM-7 kodlu numunede 8 °C olarak belirlendi (Şekil 4.1).

Labsa kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-13 kodlu numune de 26°C olarak belirlendi (Şekil 4.2).

Dehyquart ACA kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-20 kodlu numune de 34 °C olarak belirlendi (Şekil 4.3).

Dehyton PK-45 kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-26 kodlu numune de 18 °C olarak belirlendi (Şekil 4.4).

### 5.2. Sızdırmazlık testi değerlendirilmesi

FM-7, FM-13, FM-20, FM-26' kodlu numunelere uygulanan sızdırmazlık test sonuçları incelendiğinde hepsinin sızdırdığı gözlemlendi. FM-7, FM-13, FM-20, FM-26 FDM'lerinin Denklem 3.2.'ye göre hesaplanan sızıntı yüzdeleri sırasıyla 360, 180, 300 ve 180 olarak hesaplandı (Çizelge 3.1.).

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

Şekil 4.5' 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 4.6' te gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göre PEG 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<sub>2</sub> gruplarına ait gerilme titreşimleri vardır. 1090' da ise O-H fonksiyonel gruplarına ait titreşimler görülmektedir.

Şekil 4.7' de gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göre Parafine ait karakteristik pikler görülmektedir. 2947 ile 2830 dalga boyu arasında C-H fonksiyonel gruba ait titreşimler görülmektedir. 1463 ile 818 dalga boylarında -CH<sub>2</sub> fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmektedir.

Şekil 4.8' de gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göre Labsa'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 4.9' da gösterilen grafikte FT-IR analizi spektroskopisinin grafiğine göre Mer-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 4.10' 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 fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmektedir. 590 dalga boyunda C-H fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmektedir.

Şekil 4.11' 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 4.12'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 sonucunda ortak dalga boyu titreşimleri görülmektedir.

LABSA kullanılarak üretilen FM-13 kodlu FDM'sinin FT-IR spektrumuna göre Şekil 4.13' 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 4.14' 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 4.15' 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.

#### **5.4. 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 ısı, faz değişimi sıcaklığı, öz ısı ve tepkime ısı 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 4.16 incelendiğinde FM-7 kodlu numune ortamdan 40,15706 j/g' lık enerji depolayabilmekte ve ortama 40,19277 j/g' lık bir enerji vermektedir.

Şekil 4.17 incelendiğinde FM-13 kodlu numune ortamdan 53,95216 j/g' lık enerji depolayabilmekte ve ortama 51,8267 j/g' lık bir enerji vermektedir.

Şekil 4.18 incelendiğinde FM-20 kodlu numune ortamdan 62,6778 j/g' lık enerji depolayabilmekte ve ortama 61,0713 j/g' lık bir enerji vermektedir.

Şekil 4.19 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 5.1'de toplu şekilde verilmiştir.

**Çizelge 5. 1.DSC analiz verilerine göre hesaplanan ısı depolama miktarı**

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

### **5.5. GKK ile elde edilen numunelerin Grafenoksit ve Grafit kullanılarak elde edilen numunelerin ısı enerji depolama kapasiteleri ile karşılaştırılması**

GKK ile elde edilen OFDM numunelerinin ısı enerji depolama değerleri **40,16 - 85,64j/g** değerleri arasında değişirken, grafen oksit ve grafit kullanılarak elde edilen OFDM numunelerinin ısı enerji depolama değerleri sırasıyla; **22.21J/g ve 17,98J/g** olarak belirlenmiştir. Grafit ve grafen oksit kullanılarak üretilen OFDM'neGKK'den daha az ısı enerjisi depolanabildiği için yalıtım amacıyla izolasyon alanında kullanılabilir.

## 6. SONUÇLAR

Projenin amacı farklı karbon esaslı malzemeler ve farklı sürfaktanlar kullanılarak yeni Mikrokapsüllenmiş Organik Faz Değişim Malzemesi (OFDM) üretilmesidir.

GKK'nin ısı depolama etkisinin grafit ve grafen oksitten daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Farklı özelliklere sahip sürfaktanlar kullanılarak üretilen OFDM'lerden amfoteriksürfaktan kullanılarak üretilen OFDM'nin ısı depolama etkisi daha yüksektir.

Sızdırmazlık analizi sonucunda elde edilen numunelerin sızdırdığı gözlenmiştir. Sızdırmazlık özelliği istenmeyen bir özellik olduğu için geliştirilmesi gereken bir konudur.

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 katılaşması esnasında 82,9 j/g'lık enerjiyi dışarıya vermektedir.

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 kullanılabilirliği görülmüştür.

Sonuç olarak GKK ve amfoteriksürfaktan kullanılarak üretilen OFDM'ne diğer sürfaktanlardan daha fazla ısı enerjisi depolanabildiği için ısı depolama amacıyla kullanılabilir. Grafit ve grafen oksit kullanılarak üretilen OFDM'ne GKKO'den daha az ısı enerjisi depolanabildiği için yalıtım amacıyla izolasyon alanında kullanılabilir

## 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, Frankfurt, 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 yapıcı kararlı yeni bir faz değişim malzemesi olarak silika/füme /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. & Barreneche, C. & Ibarra, M. & Platzera, W. (2018). *Latent thermal energy 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 truncatus**. 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 I-Concepts, materials 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 ısı iletkenliğinin zenginleştirilmesi*. Yüksek lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Osman Paşa Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı.
- 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*. SOBIAD, 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 Sciencs, 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. & Valverde, 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. & Rumpelcker, A. (2005). *Polymerization of w/o microemulsions for the preparation of transparent SiO<sub>2</sub>/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 storage in low and hightemperature 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). *Solvent thermal method as a green chemistry solution for micro-encapsulation of change materials for high temperature thermal energy storage*. EDP Sciences Journals, Rev, 5;4.
- Utlü, Z. & Aydın, D. & Kıncay, O. (2013). *Yeşil bina uygulamalarında gizli ısı depolama sistemlerinin kullanılabilirliğinin araştırılması*. 11. Ulusal teişat 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](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](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](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 temperature 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*. Institution of mechanical engineers, 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 değıştiren 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.