

Araştırma Makalesi - Research Article

Isı Enerjisi Depolayan Faz Değişim Malzemelerinin Üretimi

Production of Phase Change Materials Storing Heat Energy

Çağlayan Açıkgöz^{1*}, Şenay Balbay², İsmail Dal³

Geliş / Received: 15/01/2021

Revize / Revised: 31/01/2021

Kabul / Accepted: 31/01/2021

ÖZ

Bu çalışmada, Parafin, Polietilen glikol 600, üç farklı yüzey aktif madde (Lineer Alkil Benzen Sülfonik Asit, Setil Trimetil Amonyum Klorür ve Kokoamidopropil Betain) ve atık lastiğin kimyasal bozundurulması sonucu elde edilen Geri Kazanılmış Karbon kullanılarak Organik Faz Değişim Malzemesi üretilmiştir. Organik Faz Değişim Malzemeleri basit bir karıştırma ve vakum emdirme yöntemiyle üretilmiştir. Farklı türdeki yüzey aktif maddelerin kullanıldığı farklı kompozisyonlarda elde edilen numunelere; faz değişim sıcaklık farkı testleri yapılarak en yüksek faz değişim sıcaklık farkına sahip numuneler belirlenmiştir. Belirlenen bu numunelerin (FM13; FM20 ve FM26 Kodlu) kimyasal ve termal özellikleri, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrotometresi ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri cihazı kullanılarak belirlenmiştir. En yüksek enerji depolama kapasitesine (85,64 j/g) sahip numunenin; Setil Trimetil Amonyum Klorür yüzey aktif maddesi içeren FM-26 kodlu numune olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Faz Değişim Malzemesi, Isı Enerjisi Depolama, Yüzey Aktif Madde, PEG600, Karbon*

ABSTRACT

In this study, Organic Phase Change Material was produced using Paraffin, Polyethylene glycol 600, three different surfactants (Linear Alkyl Benzene Sulfonic Acid, Cetyl Trimethyl Ammonium Chloride and Cocoamidopropyl Betaine), and Recycled Carbon obtained as a result of chemical decomposition of waste tire. Organic Phase Change Materials are produced by a simple mixing and vacuum impregnation method. Samples were obtained in different compositions using different types of surfactants. Samples with the highest phase change temperature difference were determined by performing phase change temperature difference tests. The chemical and thermal properties of these samples (FM13; FM20 and FM26 Coded) were determined using Fourier Transform Infrared Spectrophotometer and Differential Scanning Calorimetry device. It was determined that the sample with the highest energy storage capacity (85.64 j/g) was FM-26 coded sample containing Cetyl Trimethyl Ammonium Chloride as surfactant.

Keywords- *Phase Change Material, Heat Energy Storage, Surfactant, PEG600, Carbon*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: caglayan.acikgoz@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2195-6231>)

Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye

²İletişim: senay.balbay@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-0016-7973>)

Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Atık Yönetimi Programı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, MYO, Bilecik, Türkiye

³İletişim: ismaildal7010@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-4346-912X>)

Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik, Türkiye

I. GİRİŞ

Enerji, her çağda uygarlıkların ilerleyebilmesi ve insanların daha ferah bir yaşam sürdürebilmesi için önemli parametrelerden bir tanesini oluşturmaktadır. 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 yöntemleri de geliştirilmeye başlanmıştır. Enerji depolama sadece arz ve talep arasındaki uyumsuzluğu azaltmakla kalmaz, aynı zaman da enerji sistemlerinin performansını ve güvenilirliğini arttırmada önemli bir rol oynar. 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 [1,2].

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 (Isıl) Enerji Depolama yöntemleri ısı 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. Gizli ısı maddenin faz değişimi sırasında çevreden aldığı veya verdiği ısıdır. Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi duyulur ısıya göre daha küçüktür [3,4]. Faz Değiştiren Maddeler (FDM) 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. FDM'ler depoladıkları enerjiyi katı faza geçişleri sırasında buldukları 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, tekstil, otomotiv ve elektronik sektörleridir [5-7]. 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 [8-10]. 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

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. Polietilen oksit (PEO) veya polioksietilen (POE) olarak bilinen polietilen glikolün (PEG) sonun da hidroksil grubu olan dimetil eter zincirlerini içermektedir ($\text{HO}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2)_n-\text{CH}_2-\text{OH}$). 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 [11]. 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 nano yapıların FDM'lere eklenmesidir. Karbon kaynağının FDM'lere etkilerini incelemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri; sıvı FDM'ye karbon nanotüp, karbon nanoför, grafen nano trombosit ve genişletilmiş grafit ilave edilerek karıştırma ve çalkalama işlemlerinin uygulanmasıyla farklı yükleri içeren karbon nano yapıların dağıtılması sonucunda nano kompozit karışımlar hazırlanmaktadır. Bu işlem ile karbonun FDM üzerindeki termal iletkenliği artmaktadır [12-16].

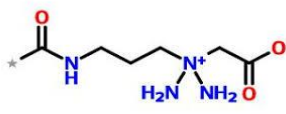
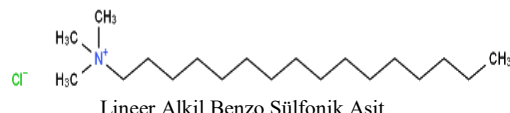
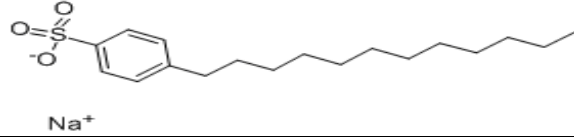
Yapılan bu çalışmada uygun maliyetli yüksek performanslı kararlı faz değişim malzemesinin basit bir yöntemle üretilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda; Parafin (PAR), Polietilen glikol 600 (PEG600), yüzey aktif maddeler (Lineer Alkil Benzen Sülfonik Asit (LABSA), Setil Trimetil Amonyum Klorür (Dehyquart ACA) ve Kokoamidopropil Betain (Dehyton PK 45) ve atık lastiğin kimyasal bozundurulması yöntemiyle elde edilmiş olan Geri Kazanılmış Karbon (GKK) kullanılarak farklı reçetelere bağlı kompozit OFDM numuneleri üretilmiştir. Çalışmada elde edilen numunelere sızıntı testi, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrotometresi (FTIR) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, GKK diğer birçok karbon malzemesinde olduğu gibi gözenekli yapısından dolayı; PAR, PEG ve yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonu ve ısının depolanması için güvenilir bir adsorban materyali olarak kullanılabilceği ve (Dehyquart ACA) yüzey aktif maddesinin enerji depolama kapasitesinde daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. Materyal

1) *Kullanılan Malzemeler:* Deneylerde kullanılan (PAR); Mercan Kimya A.Ş., PEG 600; MERCK' den temin edilmiştir. Kullanılan yüzey aktif maddelerden Dehyquart ACA ve Dehyton PK 45; Veser Kimyevi Maddeler A.Ş. ve LABSA; AS Kimya A.Ş.'den numune olarak tedarik edilmiştir (Tablo 1). (GKK) Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünde tamamlanan doktora tez çalışması kapsamında atık lastiğin kimyasal olarak bozundurulması yöntemiyle elde edilen karbonlu malzemedir [17].

Tablo1. Yüzey Aktif Maddelerin özellikleri

| Sürfaktan Adı | Kimyasal Yapısı | Sürfaktan Türü |
|---------------|--|----------------|
| | Kokoamidopropil Betain (KB) | |
| Dehyton PK 45 |  | Amfoterik |
| | Setil Trimetil Amonyum Klorür (CTAC) | |
| Dehyquart ACA |  | Katyonik |
| | Lineer Alkil Benzo Sülfonik Asit | |
| LABSA |  | Anyonik |

2) *Kullanılan Alet ve Düzenekler:* 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 ısıtıcı 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 cihazı kullanılmıştır.

B. Metot

OFDM 'lerinin hazırlanması için basit karıştırma ve vakum emdirme yöntemi kullanılmıştır. Sıcaklığı 80 °C'ye ayarlanmış sıcak su banyosunda ilk olarak PAR eritilmiş ve daha sonra PEG600 eklenmiştir. Homojen karışım elde edildikten sonra sırasıyla yüzey aktif madde ve GKK eklenmiştir. Homojen karışım elde edilene kadar yaklaşık 4 saat boyunca malzemeler karıştırılmıştır. Vakum sistemi yardımıyla GKK'nın yüzey aktif madde, PEG600 ve PAR'ı absorplaması sağlanmıştır.

OFDM üretiminde farklı kompozisyona sahip 21 adet reçete kullanılmıştır. Numunelere ait reçetelerin kompozisyonları Tablo2'de verilmiştir. Üretilen OFDM numunelerine farklı kodlar verilmiş ve kilitli numune poşetlerinde saklanmıştır.

1) *Karakterizasyon*: OFDM numuneleri arasında en fazla ısı depolayan numuneleri belirlemek amacıyla faz değişim sıcaklık farkı testleri yapılmıştır. En iyi sonuçların görüldüğü OFDM numunelerine sızdırmazlık, FT-IR, DSC analizleri yapılmıştır.

2) *Faz değişimi sıcaklık farkı*: İlk olarak oda sıcaklığında OFDM numunelerinin sıcaklığı (T_1) termometre yardımıyla belirlenmiştir. Daha sonra kapalı bir sistemde bulunan sıcak ($90\text{ }^\circ\text{C}$) suyun içerisinde OFDM' nin erime sıcaklığı (T_2) ölçülmüştür. Denklem 1. kullanılarak OFDM' nin depoladığı ısı belirlenmiştir.[18]

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (1)$$

3) *Sızdırmazlık testi*: 1 gram OFDM numuneleri tartılarak süzgeç kağıdı üzerine çizilen 25 mm daire içine yerleştirilerek; etüv içinde $65\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve 2 saat bekletilmiştir. OFDM numunelerinin sızdırmazlık yüzdesi (η) Denklem 2. kullanılarak belirlenmiştir.[18]

$$\eta = (A_L / A_R) \times \%100 \quad (2)$$

η : sızıntı yüzdesi,

A_L : sızıntı alanı,

A_R : referans alanı.

4) *FT-IR Analizi*: OFDM numuneleri ve kompoziti oluşturan bileşenlerinin kimyasal yapısı FT-IR spektroskopisi yardımıyla belirlenmiştir. Analizler Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Spectrum 100 model Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR) ile yapılmıştır ve $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu tarama aralığında gerçekleştirilmiştir.

5) *Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi*: Diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC), OFDM'lerin termal özelliklerini analiz etmek için kullanılmıştır. DSC analizleri $5\text{ }^\circ\text{C/dakika}$ ısıtma-soğutma hızıyla ve azot atmosferi altında yapılmıştır.

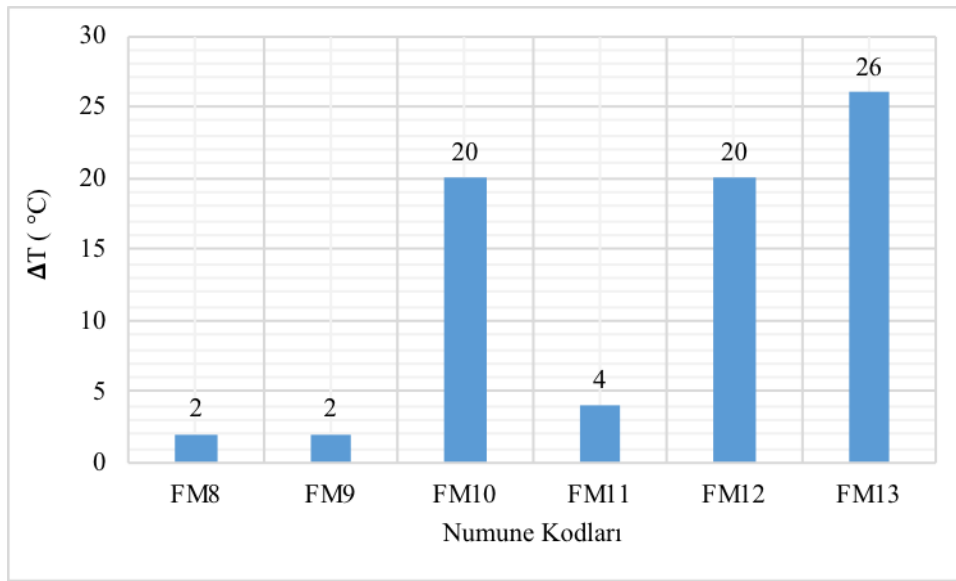
Tablo 2. Elde edilen numunelere ait reçetelerin kompozisyonları.

| DENEY NO (Numune kodu) | KOMPOZİSYON %w/w | | | |
|---------------------------|------------------|-----|-------|-----|
| | PEG 600 | PAR | LABSA | GKK |
| 1(FM-8) | 30 | 30 | 35 | 5 |
| | 30 | 30 | 35 | 5 |
| 2(FM-9) | 25 | 25 | 35 | 15 |
| | 25 | 25 | 35 | 15 |
| 3(FM-10) | 20 | 20 | 35 | 25 |
| | 20 | 20 | 35 | 25 |
| 4(FM-11) | 30 | 10 | 35 | 25 |
| | 30 | 10 | 35 | 25 |
| 5(FM-12) | 20 | 20 | 35 | 25 |
| | 20 | 20 | 35 | 25 |
| 6(FM-13) | 10 | 30 | 35 | 25 |
| | 10 | 30 | 35 | 25 |
| 7(FM-14) | 30 | 30 | 35 | 5 |
| | 30 | 30 | 35 | 5 |
| 8(FM-15) | 25 | 25 | 35 | 15 |
| | 25 | 25 | 35 | 15 |
| 9(FM-16) | 20 | 20 | 35 | 25 |
| | 20 | 20 | 35 | 25 |
| 10(FM-17) | 40 | 10 | 35 | 15 |
| | 40 | 10 | 35 | 15 |
| 11(FM-18) | 20 | 30 | 35 | 15 |
| | 20 | 30 | 35 | 15 |
| 12(FM-19) | 20 | 30 | 35 | 15 |
| | 20 | 30 | 35 | 15 |
| 13(FM-20) | 10 | 40 | 35 | 15 |
| | 10 | 40 | 35 | 15 |
| 14(FM-20) | 10 | 40 | 35 | 15 |
| | 10 | 40 | 35 | 15 |
| 15(FM-21) | 30 | 30 | 35 | 5 |
| | 30 | 30 | 35 | 5 |
| 16(FM-22) | 25 | 25 | 35 | 15 |
| | 25 | 25 | 35 | 15 |
| 17(FM-23) | 20 | 20 | 35 | 25 |
| | 20 | 20 | 35 | 25 |
| 18(FM-24) | 40 | 10 | 35 | 15 |
| | 40 | 10 | 35 | 15 |
| 19(FM-25) | 30 | 20 | 35 | 15 |
| | 30 | 20 | 35 | 15 |
| 20(FM-26) | 20 | 30 | 35 | 15 |
| | 20 | 30 | 35 | 15 |
| 21(FM-27) | 10 | 40 | 35 | 15 |
| | 10 | 40 | 35 | 15 |

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Isı enerjisi depolamak amacıyla Parafin, PEG 600, yüzey aktif maddeler (LABSA, Dehyton PK 45 ve Dehyquart ACA) ve GKK kullanılarak OFDM numuneleri üretilmiştir. Farklı türdeki yüzey aktif maddelerin 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.

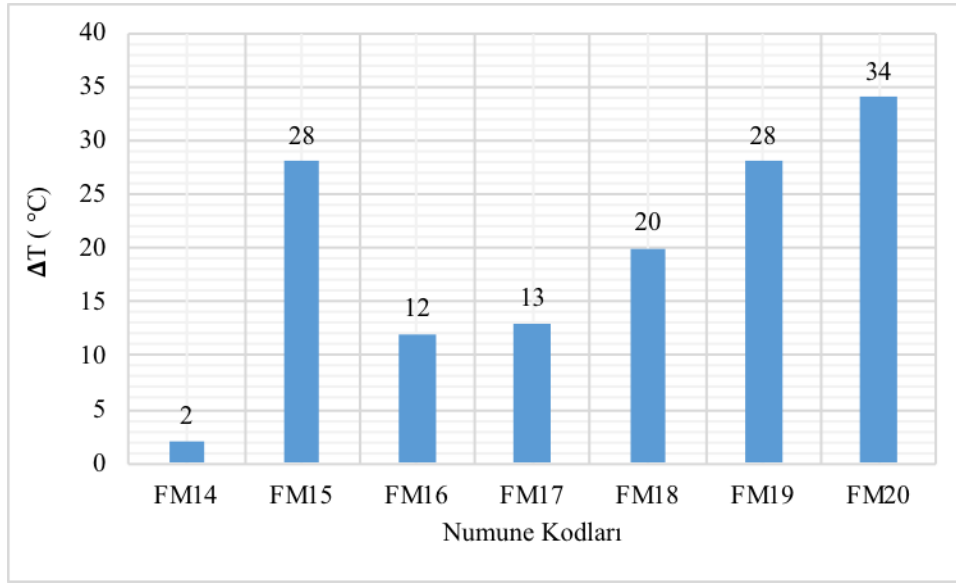
DeneySEL çalışmada elde edilen OFDM numunelerin kompozisyon içeriğinde bulunan yüzey aktif madde türüne bağlı olarak faz değişim sıcaklıklarının grafiksel gösterimi Şekil 1-3'te verilmiştir. Şekil 1' de numune kompozisyonunda yüzey aktif madde olarak LABSA anyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farklarını gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 1. Labsa kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları

Labsa kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-13 kodlu numune de 26°C olarak belirlenmiştir (Şekil 1).

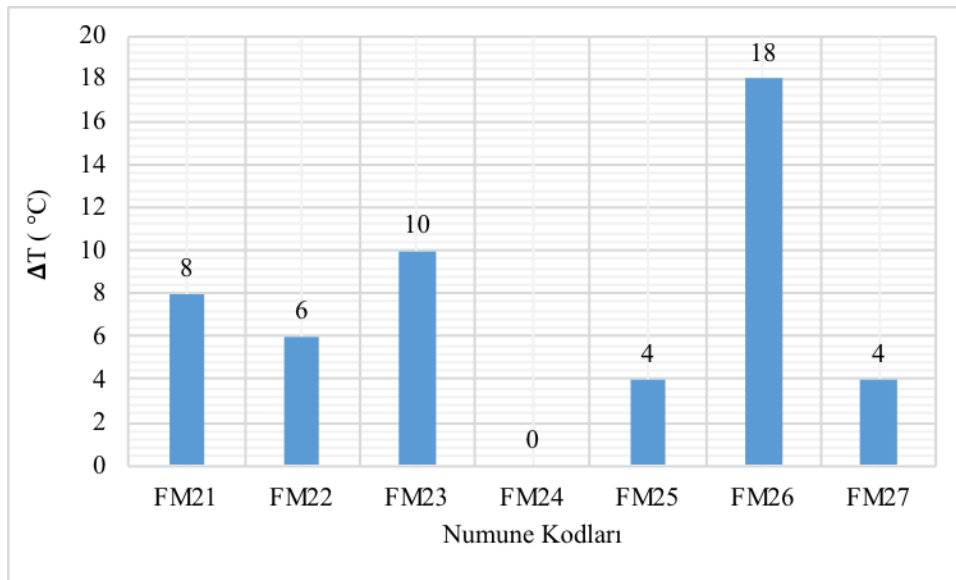
Şekil 2'de kompozisyonunda yüzey aktif madde olarak Dehyquart ACA (KB) katyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.



Şekil 2. Dehyquart ACA (KB) kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları

Dehyquart ACA (KB) kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-20 kodlu numune de 34 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

Şekil 3'te kompozisyonda yüzey aktif madde olarak Dehyton PK 45 amfoterik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.





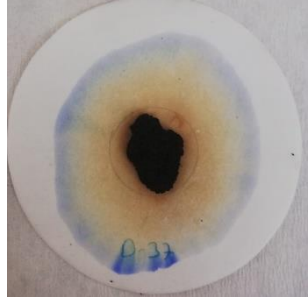
Şekil 3. Dehyton PK 45 kullanılarak üretilen FDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı

Dehyton PK-45 kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-26 kodlu numune de 18 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 3).

Farklı türdeki yüzey aktif maddelerin kullanıldığı farklı kompozisyonlarda elde edilen numunelerin faz değişim sıcaklık farkı sonuçlarına göre en yüksek sıcaklık farkı değerine sahip numuneler sırasıyla; FM-13, FM-

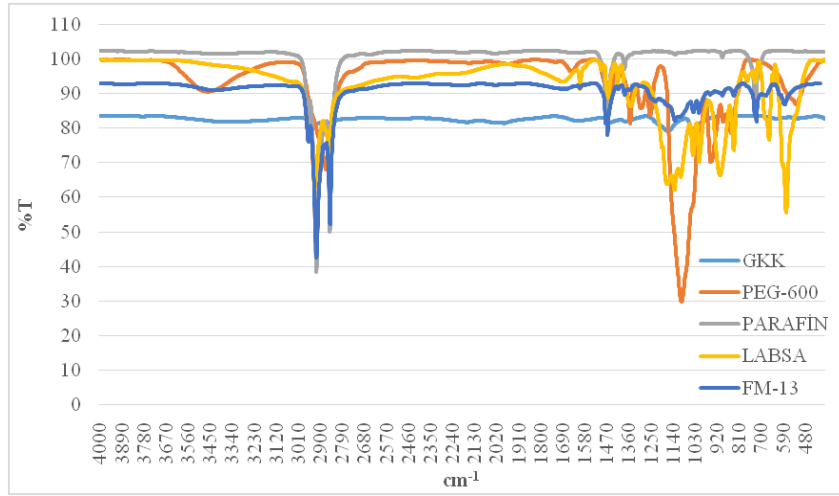
20 ve FM-26 kodlu numuneler olarak belirlenmiştir. Numunelere ait sızdırmazlık görünüşleri Tablo3'te verilmiştir.

Tablo 3. En yüksek sıcaklık farkı değerine sahip numunelerin sızdırmazlık test sonuçları

| Numune Kodu | Sızdırmazlık Testi Görşeli | Sızdırmazlık Verileri |
|-------------|---|---|
| FM-13 |  | A _L : 45mm A _R : 25 mm η: 180 |
| FM-26 |  | A _L : 45mm A _R : 25 mm η: 180 |
| FM-20 |  | A _L : 75mm A _R : 25 mm η: 300 |

FM-13, FM-20, FM-26' kodlu numunelere uygulanan sızdırmazlık test sonuçları incelendiğinde hepsinin sızdırdığı gözlenmiştir. FM-13, FM-20, FM-26 kodlu numunelerin Denklem 2'ye göre hesaplanan sızıntı yüzdeleri sırasıyla 360, 180, 300 ve 180 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3).

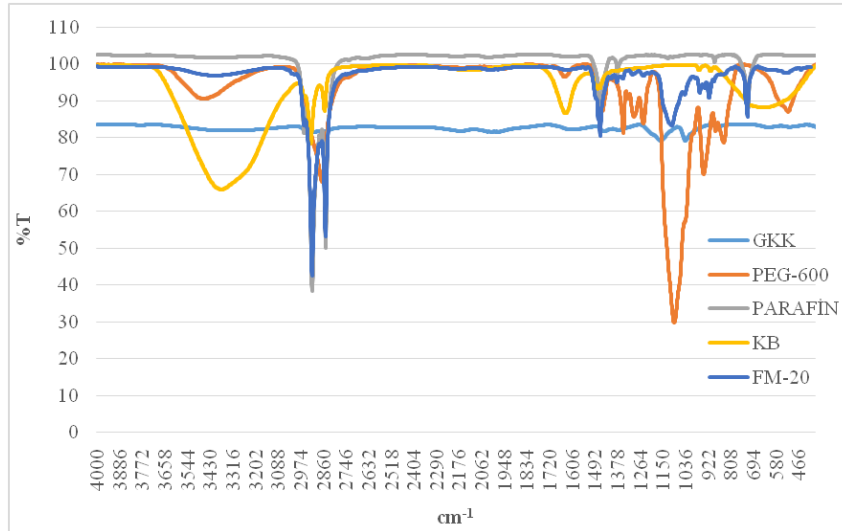
FM-13 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 4'te gösterilmiştir. Dalga boyu 1000 ile 1250 cm⁻¹ arasında görülen pikler GKK malzemesinin karakteristik C-C fonksiyonel grubu piklerine aittir. 3500 cm⁻¹ dalga boyunda O-H fonksiyonel grubuna ait gerilme titreşimleri görülmektedir. 2867 cm⁻¹ ve 941 cm⁻¹'de PEG 600'ün CH₂ gruplarına ait gerilme titreşimleri vardır. 1090 cm⁻¹ dalga boyunda ise O-H fonksiyonel gruplarına ait titreşimler görülmektedir. Parafine ait spektrum incelendiğinde; karakteristik pikler 2947 cm⁻¹ ile 2830 cm⁻¹ dalga boyu arası da C-H fonksiyonel gruba ait titreşimler ve 1463 cm⁻¹ ile 818 cm⁻¹ dalga boylarında -CH₂ fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmüştür.



Şekil 4. GKK, PEG600, Labsa, Parafin, FM-13 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

LABSA'ya ait karakteristik pikler; 3000 cm^{-1} ile 2700 cm^{-1} arasında C=C fonksiyonel grubuna ait titreşimler, 572 cm^{-1} dalga boyunda C-H fonksiyonel grubuna ait titreşimler ve 975 cm^{-1} ile 850 cm^{-1} arasında ise C-H fonksiyonel gruba ait titreşimler şeklinde görülmüştür.

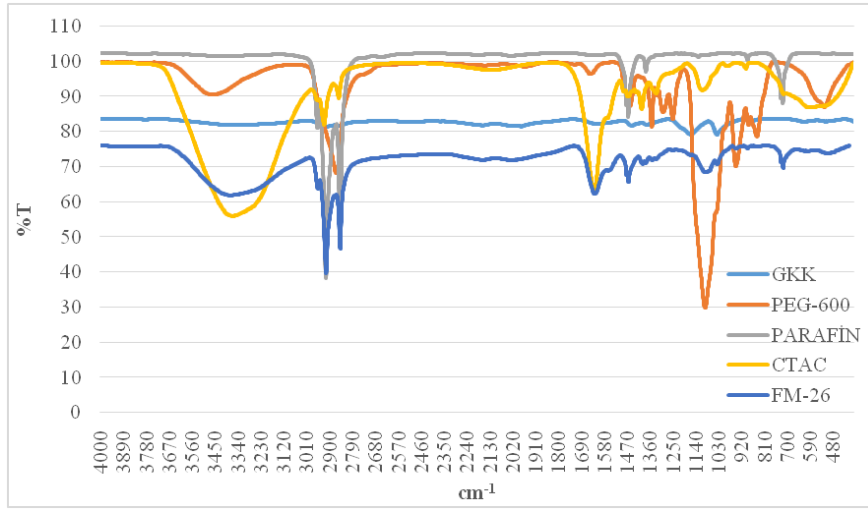
FM-20 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. GKK, PEG600, KB, Parafin, FM-20 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

Dehyquart ACA ait karakteristik pikler incelendiğinde; 3600 – 3100 dalga boyları arasında H-O fonksiyonel grubuna, 1623 dalga boyunda C-C fonksiyonel grubuna ve 590 dalga boyunda C-H fonksiyonel grubuna ait titreşimlere rastlanmıştır.

FM-26 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 6'da gösterilmektedir.

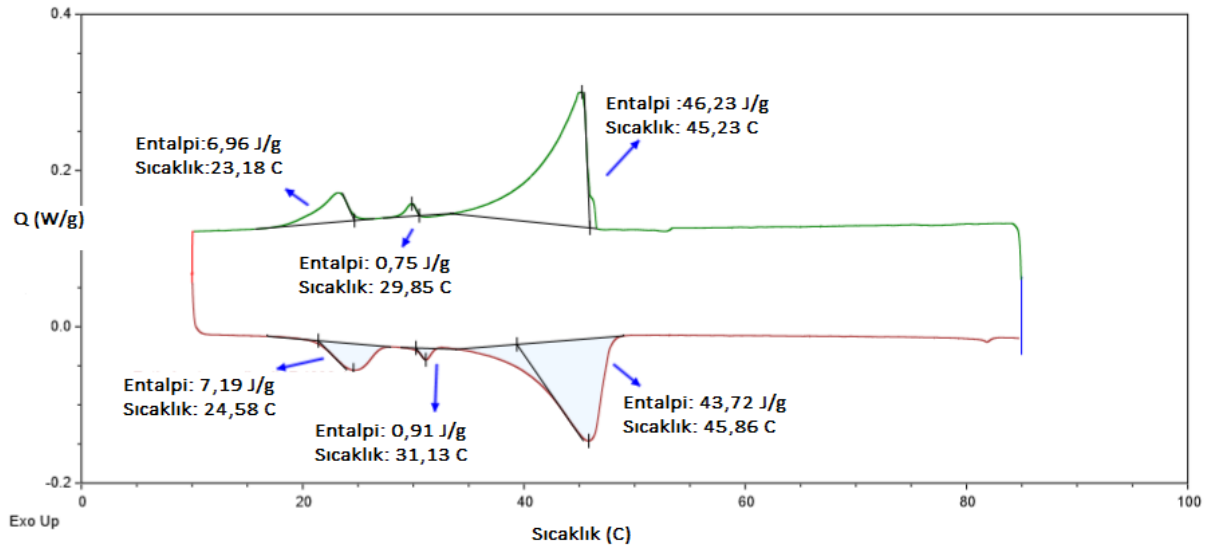


Şekil 6. GKK, PEG600, CTAC, Parafin, FM-26 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

Dehyton PK45(CTAC) ait karakteristik piklerine bakıldığında; 3600 – 3100 dalga boyları arasında O-H fonksiyonel grubuna ait titreşimler ve 3000 cm^{-1} ile 2700 cm^{-1} arasında C=C fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmüştür.

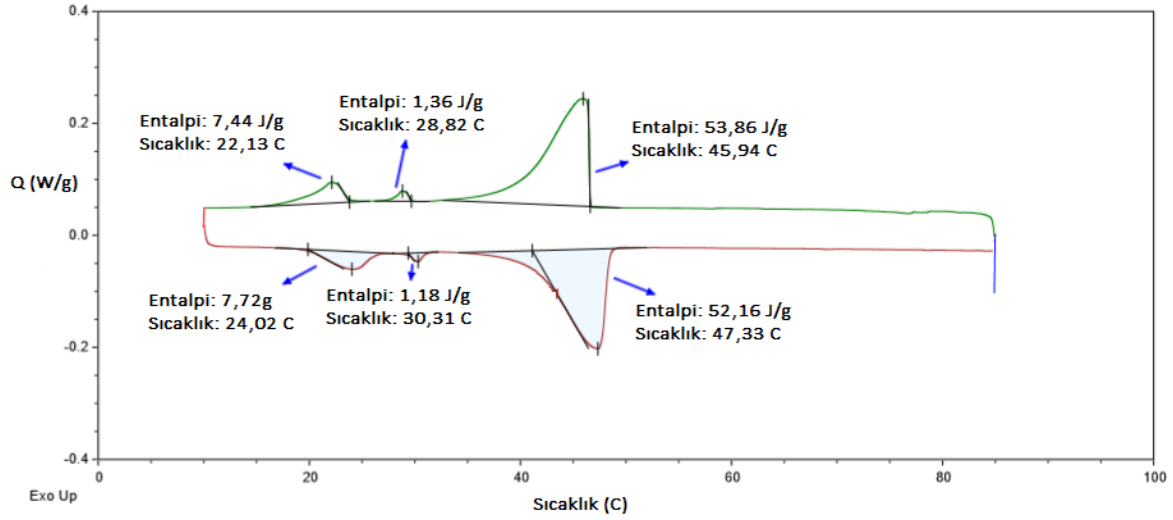
Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizinin temel uygulama alanları ekzotermik ve endotermik ayrışma gibi faz değişimleri üzerindeki çalışmalardır ve faz ve hal değişimi ısı, faz değişimi sıcaklığı, öz ısı ve tepkime ısı gibi termal değişikliklerin ölçümünde kullanılır. Bu teknik, incelenen numuneye ait bir fiziksel özelliğin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldüğü veya bir tepkimede soğurulan ya da açığa çıkan ısının izlendiği yöntemleri içeren bir analiz tekniğidir [19, 20].

FM-13, FM-20 ve FM-26 kodlu numunelerin DSC analiz spektrumları sırasıyla Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.



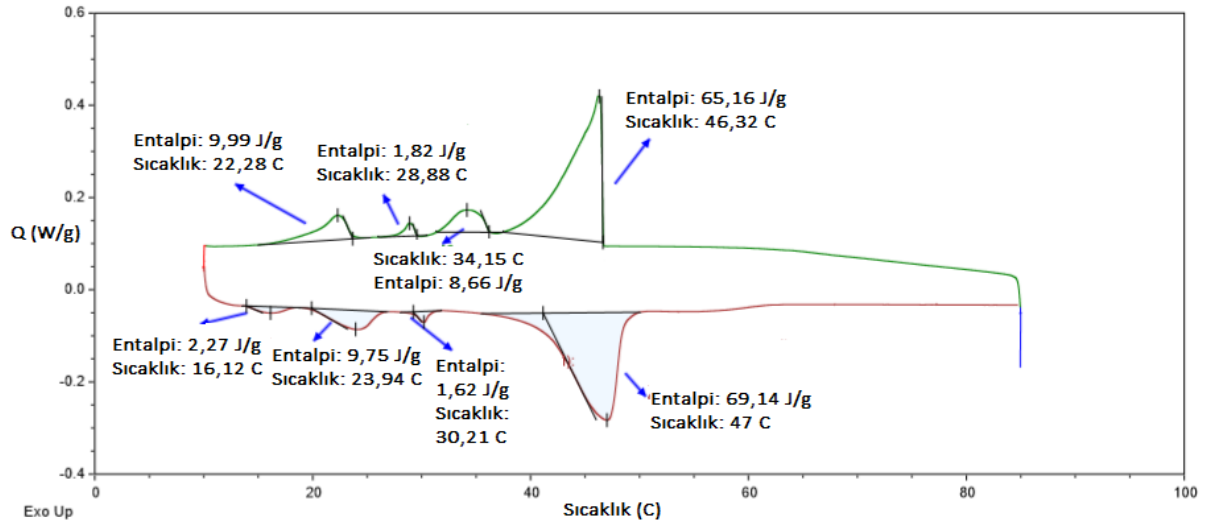
Şekil 7. FM-13 kodlu numunenin DSC analiz sonucu

Şekil 7 incelendiğinde FM-13 kodlu numune ortamdan 53,95 j/g 'lık enerji depolayabilmekte ve ortama 51,83 j/g 'lık bir enerji vermektedir.



Şekil 8. FM-20 kodlu numunenin DSC analiz sonucu

Şekil 8 incelendiğinde FM-20 kodlu numune ortamdan 62,68 j/g' lik enerji depolayabilmekte ve ortama 61,07 j/g' lik bir enerji vermektedir.



Şekil 9. FM-26 kodlu numunenin DSC analizi sonucu

Şekil 9 incelendiğinde FM-26 kodlu numune ortamdan 85,64 j/g' lik enerji depolayabilmekte ve ortama 82,91 j/g' lik bir enerji vermektedir.

Literatürde yapmış olan bir çalışmada; silikafume/ polietilen glikol (PEG) kompozit faz malzemesi elde edilmiştir. Kompozit FDM'lerin ısı iletkenliği farklı oranlarda karbon nano tüp (CNTs) ilave edilerek artırılmıştır. Ayrıca CNTs ilavesinin kompozit FDM'nin ısı enerji depolama ve salıverme süreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. FDM yapılan DSC analiz sonuçlarına göre kompozit FDM'nin erime entalpisinin 87,09 J/g olduğu ve yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir [21].

Bu sonuçlar dikkate alındığında; hazırlanan kompozit FDM'lerin yeterli düzeyde ısı enerji depolama/salıverme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen OFDM'lerin ısı enerji depolama özellikleri ve yüksek ısı/kimyasal performansından dolayı farklı tip bina yapı malzemeleri için katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

IV. SONUÇLAR

Çalışmada ısı enerjisi depolamak amacıyla anyonik, katyonik ve amfoterik özelliklere sahip farklı yüzey aktif maddeler kullanılarak OFDM numuneleri üretilmiş ve elde edilen numunelerin ısı depolama kapasiteleri incelenmiştir.

En yüksek enerji depolama kapasitesine sahip numunenin FM-26 kodlu numune olduğu görülmüştür. FM-26 kodlu numune erimesi esnasında 85,64 j/g enerji absorblarken ve katılması esnasında 82,91 j/g' lik enerjiyi dışarıya vermektedir.

GKK diğer birçok karbon malzemesinde (aktif karbon, karbon siyahı vb.) olduğu gibi gözenekli yapısından dolayı PAR, PEG ve yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonu ve ısı depolanması için güvenilir bir adsorban materyali olarak kullanılabilceği görülmüştür.

Elde edilen OFDM numunelerinin bina yalıtım malzemesi olarak kullanılabilceği düşünülmektedir. Numunelere sızdırmazlık özelliğinin gelecekte yapılacak olan mikro kapsülleme çalışmaları ile iyileştirilebileceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından Lisansüstü Tez projesi kapsamında desteklenmiştir. (Proje No: 2019-02.BŞEÜ.01-07)

KAYNAKLAR

- [1] Sharma, A., Tyagi V., Chen, C. & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 318–345.
- [2] Wagner, L. (2007). Overview of energy storage methods. Mora Associates. <https://www.moraassociates.com/>.
- [3] Bauer, T., Steinmann W., Laing D. & Tamme, R. (2012). Thermal energy storage materials and systems. *Pfaffen waldring*, 38-40, 70569.
- [4] Cunha, J.P. & Eames, P. (2016). Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials – a review. *Applied Energy*, 177, 227-238.
- [5] Geete, P. & Somani, S. (2017). Thermal energy storage: A review. *International Journal of Engineering Science Invention*, 6(8), 1-10.
- [6] 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*, 4(11), 1833-1838.
- [7] Kanimozhi, B., Harish, K., Tarun, B.S., Reddy, P. & Sujeth, P.S. (2017). Charging and discharging processes of thermal energy storage system using phase change materials. *IOP Publishing*, 197, 012040.
- [8] Hale, D., Hoover M. & O'Neill, M. (1971). *Phase change materials handbook*. Marshal space fight center, Alabama, 232.
- [9] 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. *Applied Energy*, 99, 513-533.
- [10] Peng, G., Dou, G., Hu, Y., Sun, Y. & Chen, Z. (2020). Review article phase change material microcapsules for thermal energy storage. *HindawiAdvances in Polymer Technology*, 9490873, 20.
- [11] 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.
- [12] Amaral, C., Vicente, R., Marques, P. A. A. P. & Barros-Timmons, A., (2017). Phase change materials and carbon nanostructures for thermal energystorage: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1212-1228.
- [13] Anusha, A. S. (2016). Phase change materials. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4(2), 332-338.
- [14] Arshad, A., Jabbal, M., Yan, Y. & Darkwa, J. (2019). Themicro/nano FDM for thermal energy storage systems: a state of art review. *International Journal of Energy Research*, 43(11), 5572-5620.
- [15] Shchukina, E., Graham, M., Zheng, Z., & Shchukin, D. (2018). Nanoencapsulation of phase change materials for advanced thermal energy storage systems. *Royalsociety of Chemistry*, 47, 4156.

- [16] Socaciu, L.G. (2012). Thermal energy storage with phase change material. *Leonardo electronic journal of practices and technologies*, 20, 75-98.
- [17] Balbay, S. (2017). *Atık lastiklerin kimyasal yöntemle bozundurulması ve elde edilen ürünlerin değerlendirilmesi*. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bilecik.
- [18] Kee, S.Y., Munusamy, Y., Ong, K.S., Metselaar, H.S.C., Chee, S.Y., & Lai, K.C. (2017). Thermal Performance Study of Composite Phase Change Material with Polyacrylic and Conformal Coating, *Materials*, 10, 873.
- [19] İbiş, H. (2014). *Ti-Ni ötektik alaşımlarının termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Bozok Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat.
- [20] 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, Kayseri.
- [21] Bıçer, A. & Sarı, A. (2017). Isıl enerji depolama amaçlı yapıcı kararlı yeni bir faz değişim malzemesi olarak Silikafume /Polietilen Glikol (PEG) kompoziti. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 683-690.