





FARKLI ERİME SICAKLIKLARINA SAHİP GRAFEN NANOPARÇACIK KATKILI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KOMPOZİTLERİNİN ISIL CEVAPLARININ ARAŞTIRILMASI

Ümit Nazlı TEMEL^{1,*} , Eyüp ERDİŞ² 

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 58040, Sivas, Türkiye

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Bölümü, 58040, Sivas, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, farklı erime sıcaklıklarına sahip parafin esaslı faz değıştiren maddeler (FDMs) içerisine katılan aynı tip Grafen nanoparçacıkların (GNP) termal özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda öncelikle 42°C, 62 °C ve 82°C erime sıcaklıklarına sahip FDM'ler içerisine kütlece %1, %3 ve %5 GNP katılarak elde edilen GNP/FDM kompozitleri, kimyasal ve termal olarak karakterize edilmiştir. Kimyasal karakterizasyon FT-IR spektrumlarının, termal karakterizasyon ise ısı iletkenlik, erime/katılma sıcaklıkları ve enerji depolama kapasiteleri gibi özelliklerin ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada termal özellikleri belirlenen GNP/FDM kompozitlerinin bir enerji depolama birimindeki termal cevapları ve görselleştirmesi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar GNP kütle bölüntülerinin tüm FDM'lerde yaklaşık olarak aynı büyüklükte ısı iletkenlik artışlarına, fakat farklı yüzdelik iyileştirmelere neden olduğunu göstermiştir. Buna karşın GNP katısının erime/katılma enerji kapasitelerinde %13'e varan azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. %5 GNP katısının A42, A62 ve A82 FDM'lerin etkin kullanım süre performanslarını sırasıyla %54.5, %80.5 ve %63.3 iyileştirdiği belirlenmiştir. Aynı kompozitler için maksimum sıcaklık kısıtlama performanslarının ise sırasıyla 18.4, %10.9 ve %8.1 iyileştiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Faz değışken malzeme, Erime sıcaklığı, Grafen nanoparçacık, Isıl iletkenlik

THERMAL RESPONSE INVESTIGATION OF THE GRAPHENE NANOPARTICLES INCORPORATED PHASE CHANGE MATERIALS HAVING DIFFERENT MELTING TEMPERATURES

ABSTRACT

In this study, the effects of the same type of Graphene nanoparticles (GNP) added to paraffin based phase change material (PCM) having different melting temperatures on thermal properties were investigated. In this respect firstly, GNP/PCM composites were obtained by adding GNP mass fraction of 1%, 3% and 5% into PCMs having melting temperatures of 42 °C, 62 °C, 82 °C and then obtained composites were chemically and thermally characterized. The chemical characterizations were conducted by measuring the FT-IR spectrums and thermal characterizations were made by measuring the properties such as thermal conductivities, melting/solidification temperatures and energy storage capacities. Then thermal responses and visualization of thermally characterized GNP/PCM composites were examined. The results indicate that the GNP mass fractions cause an increase in thermal conductivity of approximately the same magnitude in all PCMs, but a different percentage improvement. However, it was determined that the GNP contribution caused a reduction in melting/solidification energy capacities of up to 13%. It was determined that 5% GNP contribution enhanced the effective using period performances of the A42, A62 and A82 FDMs by 54.5%, 80.5% and 63.3% respectively. Maximum temperature restriction performances for the same composites were improved by 18.4, 10.9% and 8.1%, respectively.

Keywords: Phase change material, Melting temperature, Graphene nanoparticle, Thermal conductivity

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili karakteri ve bunlardan dönüştürülen termal enerjinin üretim ve kullanım zamanı

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: untemel@cumhuriyet.edu.tr

Geliş / Recieved: 12.08.2019 Kabul / Accepted: 06.12.2019 doi: 10.28948/ngumuh.605135

arasındaki farklılık, etkin enerji depolama yöntemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Son yıllarda enerji verimliliğini arttırmak için gizli enerji depolama yöntemlerinin kullanılması, üzerine önem verilen bir konu haline gelmiştir[1]. Katıdan sıvıya faz değiştiren maddeler (FDM) yüksek enerji depolama kabiliyetleri yüzünden bu alanda umut vaadedici malzemeler olarak görülmektedir[2]. FDM'ler; termal enerji depolama [3][4][5] aktif ve pasif soğutma[6][7], batarya paketlerinin termal korunması[8][9][10] gibi birçok mühendislik uygulamasında yaygın olarak kullanılabilirlerdir.

Genel olarak FDM'ler organik (parafinler), inorganik (hidrat tuzlar) ve ötektik olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. İnorganik FDM'ler aşındırıcı etkileri, ötektik FDM'ler ise elde edilme zorlukları gibi dezavantajlara sahiptir. Organik FDM'ler sınıfına giren yağ asitleri çevreci özellikleri açısından yaygın olarak tercih edilmektedirler[11]. Bununla birlikte parafin esaslı organik FDM'ler kimyasal ve termal kararlılık, kolay ve ekonomik elde edilebilirlik gibi avantajlarından dolayı uygulamada daha çok tercih edilmektedirler[12][7]. Buna karşın organik FDM'lerin bilinen en büyük dezavantajları ısı iletkenliklerinin düşük olmasıdır. Düşük ısı iletkenlik organik FDM'lerin uygulamada kullanımı sırasında enerji depolama ve geri salıverme hızını önemli ölçüde yavaşlatmaktadır. Bu nedenle organik FDM'lerin uygulamada daha etkin kullanımı açısından ısı iletkenliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Son yıllarda nanoteknoloji alanında meydana gelen gelişmeler çeşitli tip ve boyutta nanoparçacık sentezine olanak sağlamıştır. Bu durum, araştırmacıların FDM'lerin ısı iletkenliklerini iyileştirmek için içerisine yüksek ısı iletkenliğe sahip nanoparçacık katkılama yöntemini benimsemelerine öncülük etmiştir. Wang ve ark. [13] 52°C-54°C erime sıcaklık aralığına sahip parafin içerisine %1-%5 Al₂O₃ nanoparçacık katkılayarak ısı iletkenlikte %26'ya varan iyileşme sağlamışlardır. Buna karşılık Ho ve ark.[14] 26.5°C erime sıcaklığına sahip Octadecane içerisine %5-%10 Al₂O₃ nanoparçacık katkıladıkları çalışmalarında ısı iletkenlikteki iyileşmenin %17 olduğunu belirlemişlerdir. Isıl iletkenlikte elde edilen farklı iyileşmelerin, kullanılan FDM ve/veya nanoparçacık boyutunun farklılığı ile ilişkili olduğu düşünülebilir. Ayrıca Al₂O₃ nanoparçacık katkı FDM kompozitlerinin ısı iletkenliklerinde elde edilen iyileşmelerin uygulamada kullanım açısından yeterli olmadığı da söylenebilir. Benzer durumlar Cu[15] ve TiO₂[16] nanoparçacık katkılanan FDM'ler için de geçerlidir. Buna ilave olarak metal/metaloksit nanoparçacıkların FDM içerisine homojen olarak dağıtılamaması ve erime/soğutma çevrimlerinde çökmesi önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır.

Devam eden süreçte düşük yoğunluğa ve yüksek ısı iletkenliğe sahip karbon tabanlı nanoparçacıkların FDM ısı iletkenliğinin iyileştirilmesinde daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Temel ve Çiftçi[17], farklı tip nanoparçacıkların FDM ısı iletkenliği üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, karbon tabanlı nanoparçacıkların, metal/metaloksit nanoparçacıklara göre çok daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Buna ilave olarak karbon tabanlı nanoparçacık şeklinin (tüp, iplik, levha vb.) bile FDM ısı iletkenliğinin iyileştirilmesi üzerinde etkisinin olduğu belirlenmiştir. Fan ve ark. [18], 59°C erime sıcaklığına sahip parafin içerisine %1-%5 aralığında değişen kütle bölüntülerinde ve farklı şekillere sahip karbon tabanlı nanoparçacık (Çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNTs), Karbon nanofiber (CNF), Grafen nanoyaprak (GNP)) ekleyerek ısı iletkenlik değişimini incelemişlerdir. Fan ve ark., ısı iletkenlikte elde edilen iyileştirmenin nanoparçacık şeklinin güçlü bir fonksiyonu olduğunu bildirmişlerdir. Düzlemsel levha şekline sahip GNP nanoparçacıklarının diğer şekillerdeki karbon tabanlı nanoparçacıklara göre önemli derecede iyileştirme sağladığını belirlemişlerdir. Öyleki %5 GNP katkılanan parafinin ısı iletkenliğinde %170 iyileştirme elde edilmiştir. Benzer bulgular literatürdeki diğer çalışmalarda da gözlemlenmiştir. Örneğin çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNTs) ile katkılanan FDM'lerin[19][20] ısı iletkenliklerinde %24-%51.6 aralığında iyileşme sağlanırken, levha biçimindeki Grafen nanoparçacıklarla (GNP) ile katkılanan FDM'lerin[21][22] ısı iletkenliklerinde %200-%400 aralığında iyileşmeler sağlanmıştır. Aynı yığın ısı iletkenliğe sahip olmasına rağmen farklı şekle sahip karbon tabanlı nanoparçacıkların FDM içerisindedir farklı ısı iletkenlik iyileştirmesine neden olması aşağıdaki biçimde açıklanmıştır. GNP nanoparçacıkların levha şeklinde olması, GNP/FDM ara yüzünde daha düşük termal dirence neden olmakta ve fonon saçılımı için daha uygun bir ağ yapısı oluşturmaktadır[23].

Literatürde gerçekleştirilen çalışmalardan görüleceği üzere karbon tabanlı nanoparçacık katkılanarak FDM'lerin termal olarak iyileştirilmesine yönelik çalışmalar esasen nanoparçacık şekli ve yöntem farklılığı üzerine odaklanmış durumdadır. Bununla birlikte aynı kütle bölüntüsünde ve aynı türde nanoparçacık katkılanmasının farklı ısı iletkenlik iyileştirmelerine neden olduğu görülmektedir. Buna neden olabilecek etkenlerden birisi olarak gerçekleştirilen çalışmaların her birinde farklı FDM'lerin kullanılması gösterilebilir. Bu durumda nanoparçacık katkılanarak termal olarak iyileştirilen FDM kompozitlerinde, ısı iletkenlik ve diğer termal özelliklerin değişimi üzerinde FDM erime sıcaklığının herhangi bir etkisinin olup olmadığı merak konusudur. Literatürde nanoparçacık katkılanarak termal olarak iyileştirilen kompozitler için FDM erime sıcaklığı etkisinin incelenmesine yönelik çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, içerisine aynı tipte nanoparçacık (GNP) katkılanan farklı erime sıcaklıklarına sahip FDM'lerin termal özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışmada ayrıca GNP/FDM kompozitlerinin bir enerji depolama birimindeki termal cevapları ve termal görselleştirilmesi de elde edilmiştir.

FARKLI ERİME SICAKLIKLARINA SAHİP GRAFEN NANOPARÇACIK KATKILI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KOMPOZİTLERİNİN ISIL CEVAPLARININ ARAŞTIRILMASI

2. MATERYAL VE METOT

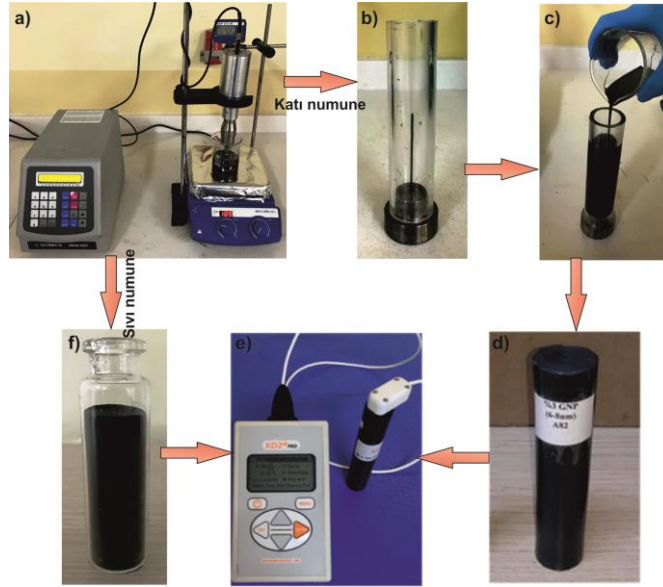
Çalışmada, PCM Product şirketinden (United Kingdom) ticari olarak temin edilen ve teknik özellikleri Tablo 1’de verilen farklı erime sıcaklıklarına sahip A42, A62 ve A82 parafin esaslı organik faz değişken malzemeleri kullanılmıştır. Termal iletkenliği iyileştirmek için nano dolgu malzemesi olarak Skyspring Nanomaterials şirketinden (USA) temin edilen Grafen nanoparçacık (GNP) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan GNP nano dolgu malzemenin fiziksel özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan FDM özellikleri

FDM	Erime Sıcaklığı (°C)	Enerji depolama kapasitesi (kJ/kg)	Özgül ısı (kJ/kgK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)
A42	42	134.8	2.22	905	0.219
A62	62	161.2	2.20	910	0.242
A82	82	190.2	2.21	850	0.314

Tablo 2. GNO fiziksel özellikleri

Nano dolgu malzemesi	Şekil	Kalınlık (nm)	Yüzey Alanı (m ² /g)	Saflık (%)
GNP	Levha	6-8	120-150	99.5



Şekil 1 Katı/sıvı ısıl iletkenlik numunelerinin hazırlanması ve ısıl iletkenlik ölçümü

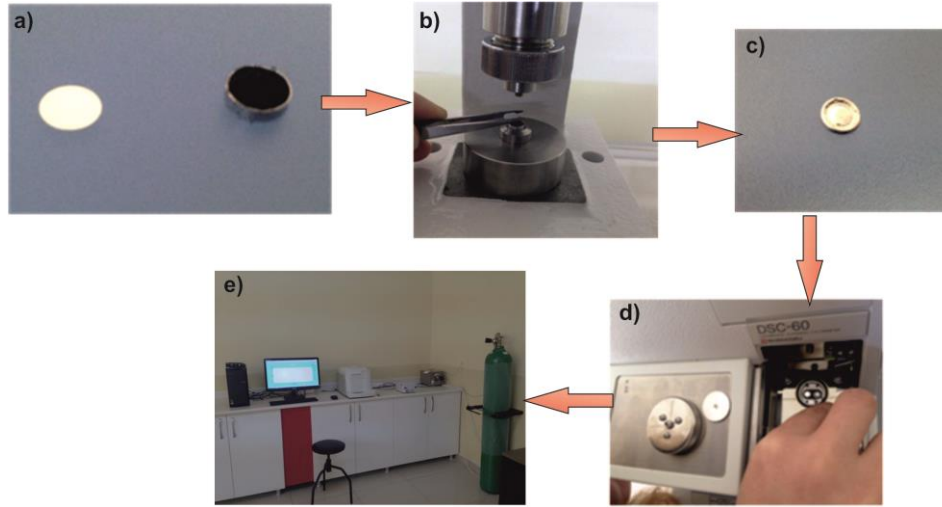
GNP/FDM kompozitleri, erime ve karıştırma işlemlerinden oluşan bir yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Öncelikle bir cam kap içerisine belirli miktarda konulan katı FDM, ısıtıcı plaka üzerinde tamamen sıvı hale gelinceye kadar ısıtılmıştır. Eriyik hale gelen FDM içerisine kütlece %1, %3 ve %5 bölüntülerini sağlayacak miktarda GNP eklenmiştir. Eriyik FDM içerisindeki GNP nanoparçacıkların homojen olarak dağılımlarını sağlamak için karışım Şekil 1a’da gösterildiği gibi 30 dakika boyunca 750 W (Sonics & Materials INC, ABD) gücünde bir ultrasonik karıştırma cihazıyla karıştırılmıştır.

Elde edilen kompozit malzemelerin kimyasal karakterizasyonu Fourier Transform Infrared (FT-IR) spektrofotometresi (Bruker Optics- Alpha) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FTIR spektrum elmas kristalli tek sekmeli ATR kullanılarak 600-4000 cm⁻¹ dalga boyu aralığında ölçülmüştür. Örneklerin FTIR spektrumu 128 taramanın ortalamasıdır ve ölçümlerde kullanılan spektrum çözünürlüğü ise 4 cm⁻¹’dir.

Isıl iletkenlikler, geçici doğrusal ısı kaynağı prensibine çalışan KD2 Pro cihazı (Decagon Devices Inc, USA) ile ölçülmüştür. KD2 Pro cihazı bir mikro kontrol birimi ve iğneden oluşmaktadır. İğne hem ısıtıcı olarak hem de sıcaklık sensörü

olarak çalışmakta olup, bir zaman periyodunda ısıtıcı boyunca geçen akım sırasındaki sıcaklık değişimini belirlemektedir. Ölçülen sıcaklıkların zaman periyodu için analiz edilmesi sonucunda ısıl iletkenlik katsayısı belirlenmektedir. FDM ve GNP/FDM kompozitlerinin katı/sıvı haldeki ısıl iletkenliklerinin ölçülebilmesi için KD2 Pro cihazına uygun katı ve sıvı ölçüm numunelerinin ayrı ayrı hazırlanması gerekmektedir. Katı faz ısıl iletkenlik ölçüm numuneleri, elde edilen eriyik haldeki karışımların özel olarak tasarlanmış bir kalıba dökülmesi (Şekil 1c) ve oda sıcaklığında katılaştırılmasıyla hazırlanmıştır (Şekil 1d). Katı faz numune kalıbı Şekil 1b'de gösterildiği gibi, ortasında 2.4 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda bir mil bulunan, 30 mm çapında ve 120 mm uzunluğundaki akrilik bir silindirden oluşmaktadır. Böylelikle katı faz numuneleri, eksenlerinde sensör girişine izin verecek biçimde elde edilmiştir. Sıvı faz ölçüm numuneleri eriyik karışımların 22 mm çapında 75 mm yüksekliğindeki bir şişe içerisine konulması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Her iki fazdaki numuneler için ısıl iletkenlik ölçümleri uygun sensör kullanımıyla Şekil 1e'de gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Katı faz ölçümleri için TR1 sensörü (D=2.4mm, L=100mm), sıvı faz ölçümleri için ise KS1 sensörü (D=1.3mm, L=60mm) kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklardaki ısıl iletkenlik ölçümleri bir iklimlendirme kabini içerisinde gerçekleştirilmiş olup her bir numune en az beş kez ölçülmüş ve ortalama değerler sonuç olarak verilmiştir. Cihazın ölçüm hassasiyeti katı fazın 0.2-4 W/mK aralığı için $\pm 10\%$, 0.1-0.2 W/mK aralığı için ise ± 0.02 W/mK, sıvı fazın 0.2-2 W/mK aralığı için $\pm 5\%$, 0.02-0.2 W/mK aralığı için ise ± 0.01 W/mK'dir.

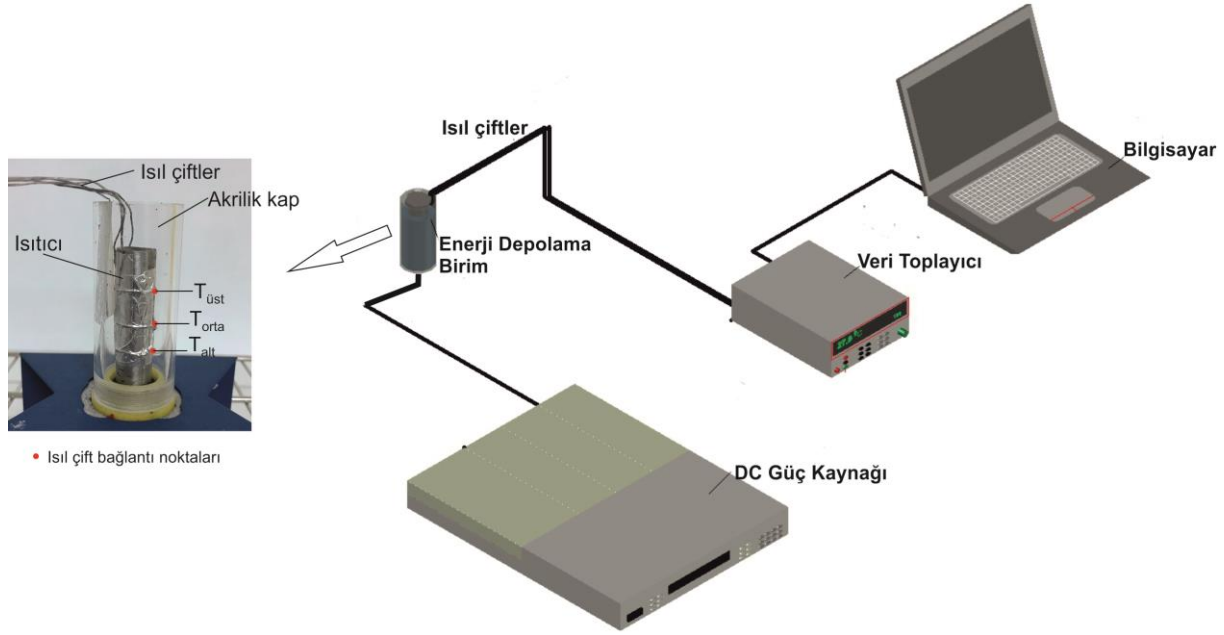
FDM veya GNP/FDM kompozitlerinin erime/katılaşma sıcaklıkları ve enerji depolama kapasiteleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC-60 Shimadzu Corporation, Japonya) (DSC) cihazı aracılığıyla ölçülmüştür. DSC ölçüm numunelerini hazırlamak için kompozitlerden çıkarılan toz parçacıklar 0.01 mg hassasiyete sahip elektronik terazi (Shimadzu Corporation, Japan) kullanılarak yaklaşık 4 mg civarında tartılmıştır. Tartılan kompozit parçacıkların cihaza uygun bir alüminyum kap içerisine konulup, kapağı ile birlikte preslenmesi sonucunda DSC numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 2a-2c). Elde edilen DSC numuneleri referans numune ile birlikte cihaz içerisindeki ölçüm hücreğine yerleştirilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2d-2e). DSC ölçümleri 30 °C ve faz değişiminin tamamlanmasına imkan sağlayacak sıcaklık aralığında, 2 °C/dk ısıtma/soğutma hızında gerçekleştirilmiştir. Her bir kompozit için ölçümler en az üç kez gerçekleştirilmiş olup ortalama değerler sonuç olarak verilmiştir. DSC cihazının kalorimetrik hassasiyet ve sıcaklık doğruluğu $\pm 1\%$ ve $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 'dir.



Şekil 2 DSC numunelerinin hazırlanması ve ölçümü

FDM ve GNP/FDM kompozitlerin termal cevapları Şekil 3'te gösterilen deneysel düzenek aracılığıyla ölçülmüştür. Bu deneysel düzenek; DC güç kaynağı, veri toplayıcı, bilgisayar, iklimlendirme ünitesi, ısıl çiftler ve enerji depolama biriminden oluşmaktadır. Enerji depolama birimi, termal görselleştirmeye imkân verecek şekilde 30 mm çapında ve 75 mm yüksekliğinde akrilik bir silindirin eş eksenine dikey olarak yerleştirilmiş 18 mm çapında ve 65 mm yüksekliğindeki elektrikli ısıtıcıdan oluşmaktadır. FDM ve GNP/FDM kompozitleri sıvı hale getirildikten sonra enerji depolama birimine dökülüp oda sıcaklığında katılaşmaya bırakılarak termal cevapları ölçülecek hazır hale getirilmişlerdir. Elektrikli ısıtıcının 5.5 W gücünde ısı yayması durumunda FDM ve GNP/FDM kompozitlerinin 60 dakikalık termal cevapları, Şekil 3'te gösterildiği gibi ısıtıcı üzerine bağlanan J tipi ısıl çiftler aracılığıyla sıcaklıkların ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık verileri bir veri toplama cihazı aracılığıyla 30 saniye aralıklarla toplanmış ve bilgisayara aktarılmıştır. Termal cevap ölçümlerinin aynı sıcaklık aralığında yapılmasını sağlamak için enerji depolama birimi, bir iklimlendirme cihazı içerisine yerleştirilmiş ve ortam sıcaklıkları A42, A62 ve A82 FDM'leri için sırasıyla 0 °C, 20 °C ve 40 °C olarak ayarlanmıştır. Tüm termal cevap ölçümleri enerji depolama biriminin ilgili ortam sıcaklığıyla dengeye gelmesinden itibaren gerçekleştirilmiştir.

FARKLI ERİME SICAKLIKLARINA SAHİP GRAFEN NANOPARÇACIK KATKILI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KOMPOZİTLERİNİN ISIL CEVAPLARININ ARAŞTIRILMASI



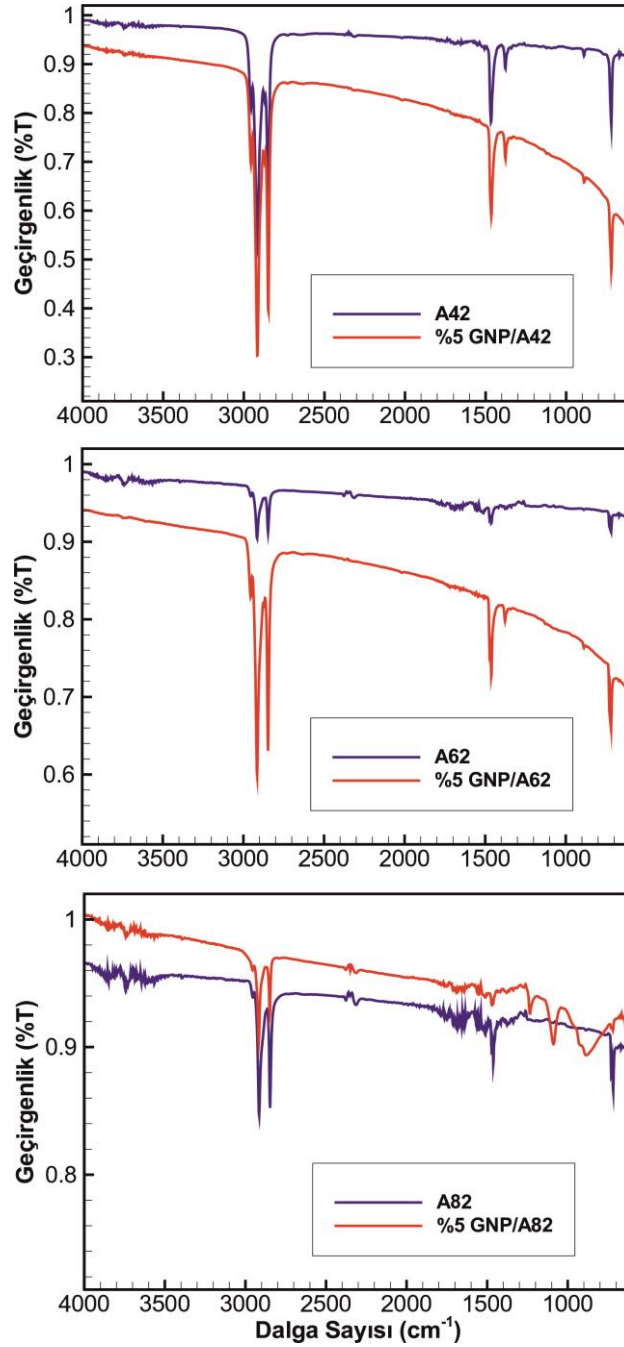
Şekil 3 Termal cevap ölçüm düzeneği

Termal görselleştirme işlemi termal kamera (ThermaCam S65, FLIR Systems, Sweden) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Termal kamera, sahip olduğu 36 mm mercekli kızıl ötesi kamera sayesinde nesnelere yayılan kızılötesi ışınımı ölçme ve görüntüleme esasına göre çalışmaktadır. Gerçekte bir nesnenin yaydığı kızılötesi ışınım nesnenin sıcaklığının bir fonksiyonudur. Termal kamera ışınımın ölçülmesi suretiyle nesnelerin sıcaklık haritalarını vermektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Kimyasal Karakterizasyon

Farklı erime sıcaklıklarına sahip FDM ve bunlarla %5 kütle bölüntüsünde GNP katkılanan kompozitlerin kimyasal karakterizasyonuna ait spektrumlar Şekil 4'te verilmiştir. 2917 cm⁻¹ ve 2847 cm⁻¹ dalga sayısında görülen pikler, parafin esaslı FDM'ler için gerilme titreşimlerini göstermektedir. 720cm⁻¹ ve 1466cm⁻¹ dalga sayısındaki pikler parafin bükülme titreşimlerini göstermektedir. Bununla birlikte parafin erime noktasındaki değişimin pik maksimumunu etkilediği söylenebilir. %5 GNP/FDM kompozitlerinin FT-IR spektrumlarının parafin ile aynı olduğu ve temel piklerde herhangi bir kayma olmadığı görülmektedir. Bu durum, parafinin GNP tabaka boşluklarına girdiğini ve GNP ile herhangi bir kimyasal etkileşime girmediğinin göstergesidir.



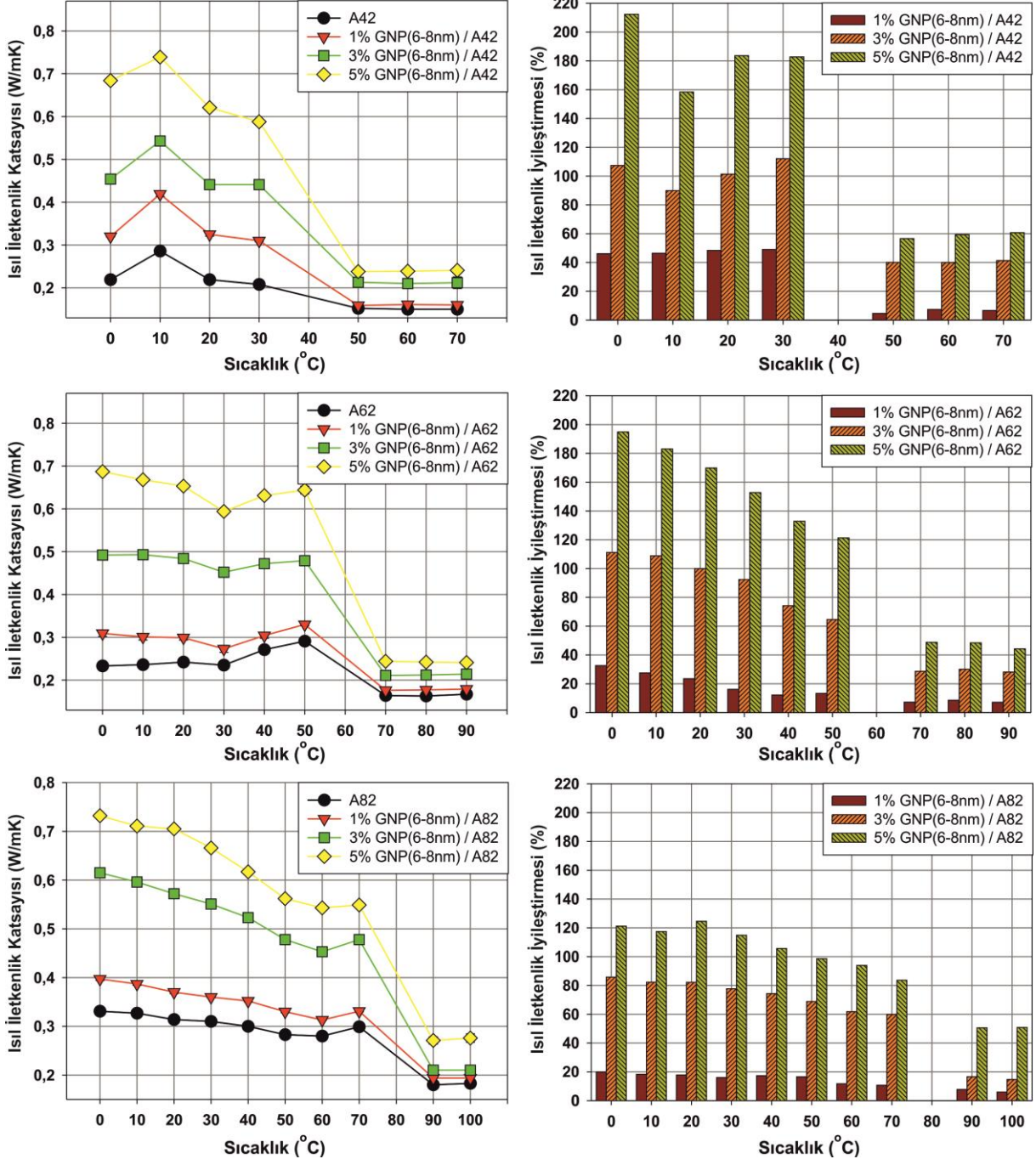
Şekil 4 FDM ve GNP/FDM kompozitlerinin FT-IR spektrumları

3.2. Isıl İletkenlik Ölçümleri

FDM erime sıcaklığının; termal olarak iyileştirilen GNP/FDM kompozitlerinin ısı iletkenlik iyileştirmeleri üzerindeki etkisini incelemek için GNP (6-8nm), sırasıyla A42, A62 ve A82 içerisine %1, %3 ve %5 kütle bölüntülerinde katılanmıştır. Burada 42, 62 ve 82 değerleri FDM'lerin üretici şirket tarafından bildirilen erime sıcaklıklarını göstermektedir. Elde edilen kompozitlerin farklı sıcaklıklardaki ısı iletkenlikleri ve ısı iletkenlikte sağlanan yüzdeler Şekil 5'te verilmiştir. Katıdan sıvıya geçişe denk gelen sıcaklıklarda (40°C A42 için, 60°C A62 için ve 80°C A82 için) ölçüm yapılamamıştır. A42, A62 ve A82 FDM'lerin ısı iletkenlik katsayılarının incelenmesinden genel olarak erime sıcaklığının azalmasına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayılarının azaldığı söylenebilir. Örneğin normal koşullarda (20 °C) A82'nin ısı iletkenliği 0.314 W/mK iken A62 ve A42'nin ısı iletkenlikleri sırasıyla 0.242 W/mK ve 0.219 W/mK olarak ölçülmüştür. Benzer durumlar diğer

FARKLI ERİME SICAKLIKLARINA SAHİP GRAFEN NANOPARÇACIK KATKILI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KOMPOZİTLERİNİN ISIL CEVAPLARININ ARAŞTIRILMASI

sıcaklıklardaki ısı iletkenlik katsayıları için de geçerlidir. GNP katkılanan bütün FDM'ler için ısı iletkenlik katsayılarının katkılanan kütle bölüntüsü ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Katı malzemelerde ısı iletimi malzeme kafes boyutuna ve titreşim frekansına bağlı fonon saçılımı yoluyla gerçekleşmektedir. Başlangıçta organik FDM'lerin ısı iletkenlikleri düşük titreşim frekansı nedeniyle düşüktür. Bu durumda organik FDM içerisine yüksek titreşim frekansına sahip GNP nanoparçacıkların katkılanmasının fonon saçılımını iyileştirerek ısı iletkenliği arttırdığı söylenebilir.



Şekil 5 Isıl iletkenlik katsayıları ve yüzdelik iyileşme oranlarının sıcaklığa bağlı değişimleri

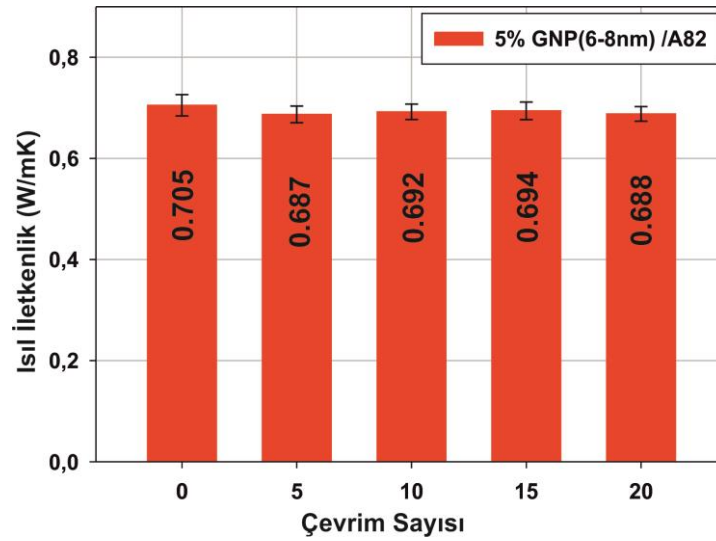
A82 ve GNP/A82 kompozitleri için katı fazdaki ısı iletkenlik katsayılarının sıcaklığa bağlı olarak azalış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte GNP kütle bölüntüsünün atmasına bağlı olarak ısı iletkenlikteki azalış eğiliminin daha belirgin hale geldiği söylenebilir. Katı fazdaki A82 ve GNP/A82 kompozitlerinin sıcaklığa bağlı azalış gösteren ısı iletkenlikleri ilginç

Ü.N. Temel, E. Erdiş

bir biçimde erime sıcaklığına yakın noktada (70°C) hafifçe artarak kararsız bir davranış sergilemektedir. Benzer sonuçlar farklı bir organik FDM içerisinde katılan MWCNTs kompozitlerinde de gözlemlenmiştir[24][19]. Isıl iletkenlik katsayıları, 80°C'nin üzerinde sıvı faza geçilmesiyle belirgin bir azalışın ardından sabit kalmaktadır. Bu durum daha düzenli katı yapının düzensiz sıvı yapıya dönüşmesiyle ilişkilidir.

Isıl iletkenlik katsayılarının sıcaklığa bağlı değişimleri GNP/A62 ve GNP/A42 kompozitleri için benzer davranışlar göstermekle birlikte birkaç farklılık içermektedir. Örneğin FDM erime sıcaklığının azalmasına bağlı olarak katı fazdaki ısıl iletkenlikler, daha kararsız bir davranış sergilemektedir. Bu durum; A42 organik FDM için ısıl iletkenliğin 0°C-10°C civarında ki ani artışından, A62 için ise ısıl iletkenliğin 30°C'den başlayan artışından anlaşılmaktadır. Isıl iletkenlik davranışlarında görülen kararsızlıkların, bazı gereksinimleri sağlamak için FDM içerisine katılan katkı maddeleriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bir diğer farklılık ise A42 için erime noktası yakınındaki katı fazda, ısıl iletkenlikte diğerlerinin aksine hafif artışın görülmemesidir. Düşük erime sıcaklığına sahip A42 için bu değişimin 10°C'lik tarama aralığı ile yakalanamamış olabileceği düşünülebilir.

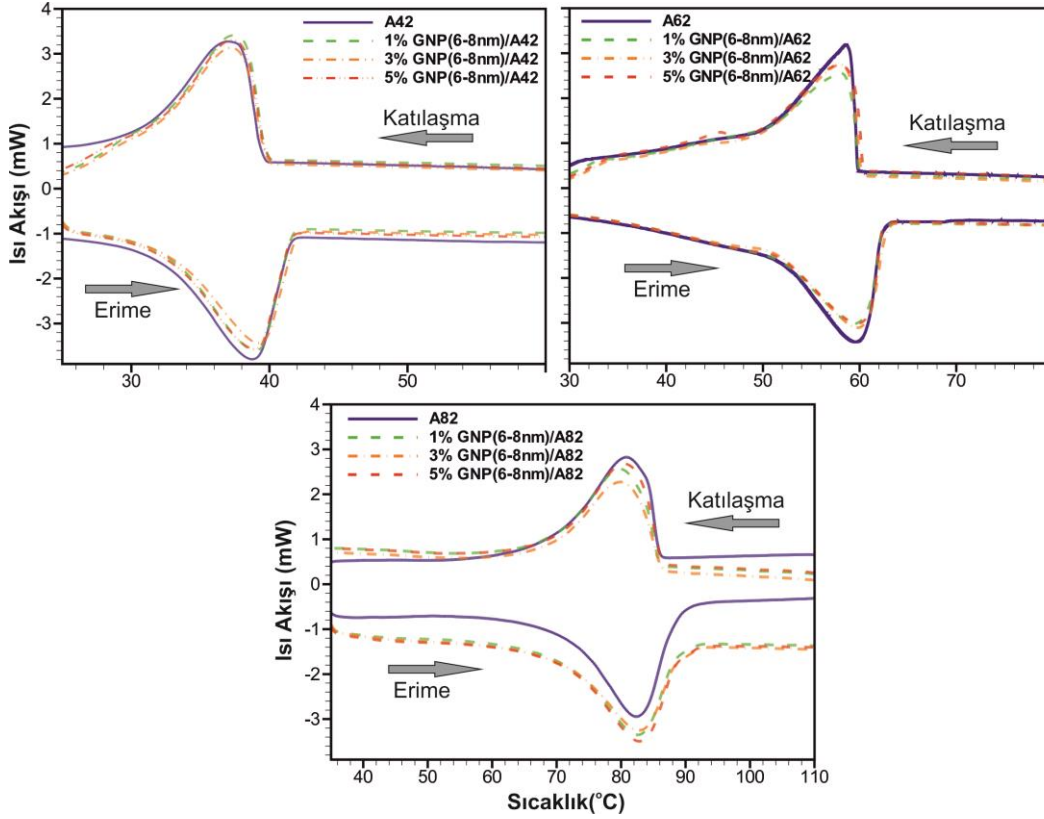
GNP nanoparçacıklarla katılan farklı erime sıcaklığına sahip FDM'ler için ısıl iletkenlikte sağlanan yüzdelik iyileşmeler göz önüne alındığında, en iyi performansın A42, A62 ve A82 biçiminde sıralandığı belirlenmiştir. Esasen FDM içerisine belirli bir kütle bölüntüsünde katılan GNP'nin, üç farklı FDM için de ısıl iletkenlikte yaklaşık olarak eşdeğer büyüklükte artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte A42'nin daha düşük ısıl iletkenliğe sahip olması bahsi geçen eşdeğer ısıl iletkenlik artışının daha fazla iyileştirmeye karşılık gelmesine neden olmuştur. Öyle ki %5 GNP/A42 kompozitinin ısıl iletkenlik iyileştirmesi katı faz için %182- %212 aralığında iken aynı kütle bölüntüsünde GNP katılan A62 ve A82 faz değişken malzemeleri için ısıl iletkenlik iyileştirmeleri ise sırasıyla %121-%195 ve %84-%121 aralığındadır. Isıl iletkenlik iyileştirmelerindeki belirgin düşüşe ilave olarak benzer sonuçların sıvı faz için de geçerli olduğu söylenebilir. Öyle ki sıvı fazdaki %5 GNP/A42 kompozitinin ısıl iletkenlik iyileşmesi %60 civarında iken %5 GNP/A62 ve %5 GNP/A82 için %50 civarındadır.



Şekil 6 GNP/FDM kompozitinin termal çevrim testi

GNP katılan FDM kompozitlerin uzun dönem boyunca kararlılıklarını koruyabilmesi onların güvenilir kullanımı açısından önemlidir. Başka bir deyişle GNP nanoparçacıklarının kompozit içerisinde çöküp çökmediğinin araştırılması gerekmektedir. Termal kararlılık testleri; %5GNP/A82 kompozitinin ardı ardına eritme ve katılaşma çevrimlerine tabi tutulması ve belirli termal çevrim sonlarındaki ısıl iletkenlik katsayılarının (20°C'de) ölçülmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 6, termal çevrime tabi tutulan %5GNP/A82 kompozitinin; başlangıç, 5, 10, 15 ve 20 eritme/soğutma çevrimi sonundaki ısıl iletkenlik değerlerini göstermektedir. Şekil 6'dan görüleceği üzere, 20 erime/katılaşma çevrimi boyunca termal iletkenlikteki maksimum değişim % 2,5'ten daha azdır. Bu sonuç, GNP/A82 kompozitinin termal olarak kararlı olduğunu veya başka bir deyişle A82 içerisindeki GNP nanoparçacıklarının homojen dağılımlarını yeterince koruyabildiklerinin bir göstergesidir.

FARKLI ERİME SICAKLIKLARINA SAHİP GRAFEN NANOPARÇACIK KATKILI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KOMPOZİTLERİNİN ISIL CEVAPLARININ ARAŞTIRILMASI



Şekil 7 Farklı erime sıcaklıklarına sahip GNP/FDM kompozitlerinin DSC termogram eğrileri

3.3. DSC Ölçümleri

%1, %3 ve %5 kütle bölüntülerinde farklı erime sıcaklıklarına sahip FDM'ler içerisine katılan GNP nanoparçacıklarının erime/katılaşma sıcaklıkları ve enerji depolama kapasiteleri üzerindeki etkileri Şekil 7'de verilmiştir. Her bir FDM için erime ve katılaşma faz değişimleri ile ilgili termogram eğrilerinin katılan GNP kütle bölüntüsünden bağımsız olduğu açıktır. Bu durum erime ve katılaşma sırasında oluşan ve Şekil 7'de gösterilen endoterm ve ekzoterm eğrilerinin büküm noktalarının aynı olmasından anlaşılmaktadır. Endoterm ve ekzoterm eğrilerinin analiz edilmesiyle sırasıyla erime ve katılaşma hal değişimine ait niceliksel DSC verileri elde edilerek Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. A82 için erime sıcaklığı üretici firma tarafından belirtilen sıcaklık değerine yakın iken A62 ve A42 için erime sıcaklıklarının belirtilen değerlerden hafifçe daha az olduğu belirlenmiştir. Öyle ki A82 için erime tepe sıcaklığı (T_{ep}), 82.4 °C, katılaşma tepe sıcaklığı (T_{kp}), 80.5 °C olarak ölçülmüştür. Benzer biçimde A62 için erime tepe sıcaklığı (T_{ep}) 59.6 °C, katılaşma tepe sıcaklığı (T_{kp}) 58.6 °C olarak ölçülürken, en düşük erime sıcaklığına sahip A42 için erime ve katılaşma tepe sıcaklıkları sırasıyla 38.8 °C ve 37 °C olarak ölçülmüştür. T_{ep} ve T_{kp} sıcaklıkları arasındaki fark parafin tipi organik FDM'ler için aşırı soğutma etkisi olarak bilinen karakteristik bir özelliktir. Elde edilen niceliksel veriler, farklı erime sıcaklığına sahip FDM'ler için aşırı soğutma etkisinin 2 °C'den daha az olduğunu ortaya koymaktadır. Farklı kütle bölüntülerinde GNP nanoparçacık ile katılan GNP/A82, GNP/A62 ve GNP/A42 kompozitlerinin, erime ve katılaşma sıcaklıklarındaki değişimin 1°C'den az olduğu görülmektedir. Bu durum, GNP kütle bölüntüsünün erime/katılaşma sıcaklıkları üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Tablo 3. A42 ve GNP/A42 kompozitlerinin DSC verileri

	T_{eb}	T_{ep}	T_{es}	H_e	T_{kb}	T_{kp}	T_{ks}	H_k
A42	32.8	38.8	42.0	134.8	39.1	37.0	32.1	128.2
%1 GNP/A42	33.4	38.9	42.1	122.9	39.8	37.4	32.7	118.2
%3 GNP/A42	33.8	39.2	41.9	116.5	39.7	37.2	32.2	116.8
%5 GNP/A42	32.9	38.9	41.5	117.9	39.8	37.3	33.1	115.2

Tablo 4. A62 ve GNP/A62 kompozitlerinin DSC verileri

	T _{eb}	T _{ep}	T _{es}	H _e	T _{kb}	T _{kp}	T _{ks}	H _k
A62	52.1	59.6	62.9	161.2	59.8	58.6	52.0	150.2
%1 GNP/A62	52.7	59.2	62.3	141.3	60.0	57.9	52.8	140.4
%3 GNP/A62	52.4	59.8	62.7	145.3	60.1	58.0	52.9	140.7
%5 GNP/A62	52.4	59.9	62.3	142.7	60.4	57.9	52.3	139.2

Tablo 5. A82 ve GNP/A82 kompozitlerinin DSC verileri

	T _{eb}	T _{ep}	T _{es}	H _e	T _{kb}	T _{kp}	T _{ks}	H _k
A82	71.1	82.4	88.4	190.2	85.9	80.5	68.8	168.1
%1 GNP/A82	70.8	82.4	88.8	172.7	85.9	79.8	68.6	159.5
%3 GNP/A82	71.3	82.6	89.0	166.2	86.3	80.2	69.4	154.4
%5 GNP/A82	71.3	82.7	89.1	166.9	86.3	80.5	70.1	155.9

GNP/A82, GNP/A62 ve GNP/A42 kompozitlerinin erime/katılma sıcaklıklarının aksine enerji depolama kapasiteleri için durum farklıdır. Esasen GNP katılanan FDM'ler için enerji depolama kapasitesi; duyulur ısı kapasitesi ve gizli ısı kapasitesi olarak ikiye ayrılmaktadır. Endoterm ve ekzoterm tepelerinin altında kalan alanlar sırasıyla erime ve katılma gizli ısı kapasiteleriyle ilişkilidir. Bunun haricindeki ana çizgiden sapmalar ise duyulur ısı kapasitesi ile ilişkilendirilebilir. İçerisine GNP katılan A82, A62 ve A42 kompozitlerin endoterm ve ekzoterm tepelerinin küçülme eğiliminde olması erime/katılma enerji kapasitelerinin azaldığının bir göstergesidir. Teorik olarak FDM içerisine enerji depolama yeteneği olmayan GNP nanoparçacıkların katılanması için bu beklenen bir durumdur. Esasen kompozit enerji depolama kapasitelerinin azalması, aktif FDM miktarının azalması ve FDM'nin GNP tarafından sarılmasıyla ilişkilidir.

Erime ve katılma enerji kapasitelerinin niceliksel verileri Tablo 3-5'te verilmiştir. A82 için erime ve katılma enerji kapasiteleri sırasıyla 190.2 J/g ve 168.1 J/g olarak ölçülmüştür. Katılma enerji kapasitesinin, erime enerji kapasitesine göre daha düşük olmasının katılma sırasındaki eksik kristalleşme yüzünden olduğu söylenebilir[25]. A82 içerisine %1 kütle bölüntüsünde GNP katılanması durumunda erime ve katılma enerji kapasitelerinin keskin bir azalış göstererek 172.7 J/g ve 159.5 J/g değerlerine azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte GNP kütle bölüntüsünün daha da artmasının enerji kapasitelerindeki bozulmayı çok fazla etkilemediği tespit edilmiştir. Öyle ki saf A82 ile karşılaştırıldığında, GNP/A82 kompozitlerinin erime ve katılma enerji kapasitelerinde gözlemlenen maksimum bozulmalar sırasıyla %12.6 ve %8.2 olarak ölçülmüştür. A62 için erime ve katılma enerji kapasiteleri sırasıyla 161.2 J/g ve 150.2 J/g olarak ölçülmüştür. GNP katılanması durumunda GNP/A62 kompozitlerinin erime ve katılma enerji kapasitelerindeki maksimum bozulmalar sırasıyla %12.3 ve %7.3 olarak ölçülmüştür. En düşük erime sıcaklığına sahip A42'nin erime ve katılma enerji kapasiteleri ise sırasıyla 134.8 J/g ve 128.2 J/g olarak ölçülmüştür. Bu durumda GNP katılanan GNP/A42 kompozitlerinin erime ve katılma enerji kapasitelerinde sırasıyla %13 ve %10.1'e varan kötüleşme olduğu belirlenmiştir.

Farklı erime sıcaklıklarına sahip FDM'ler için DSC verileri açısından göze çarpan farklılıklar aşağıdaki gibi özetlenebilir. İlk olarak toplam enerji depolama kapasitelerinin erime sıcaklığı ile orantılı olduğu söylenebilir. Buna ilave olarak düşük erime sıcaklıklarına sahip A42 ve A62 FDM'ler için duyulur ısı enerji depolama kapasitesinin toplam enerji kapasitesi içerisindeki katkısının arttığı söylenebilir. Örneğin A82 için toplam erime ısı kapasitesi 190.2 J/g olup bunun 171.02 J/g kısmı gizli ısı depolama kapasitesi ile ilişkilidir. Bu durumda A82 için erime gizli ısısının toplam kapasite içerisindeki katkısı %89.9 civarındadır. A42 için erime gizli ısısı 112.63 J/g olup toplam ısı kapasitesinin (134.8 J/g) %83.5'ini kapsamaktadır. A62 için ise erime gizli ısısı 95.26 J/g olup toplam ısı kapasitesinin (161.2 J/g) %59.8'una tekabül etmektedir.

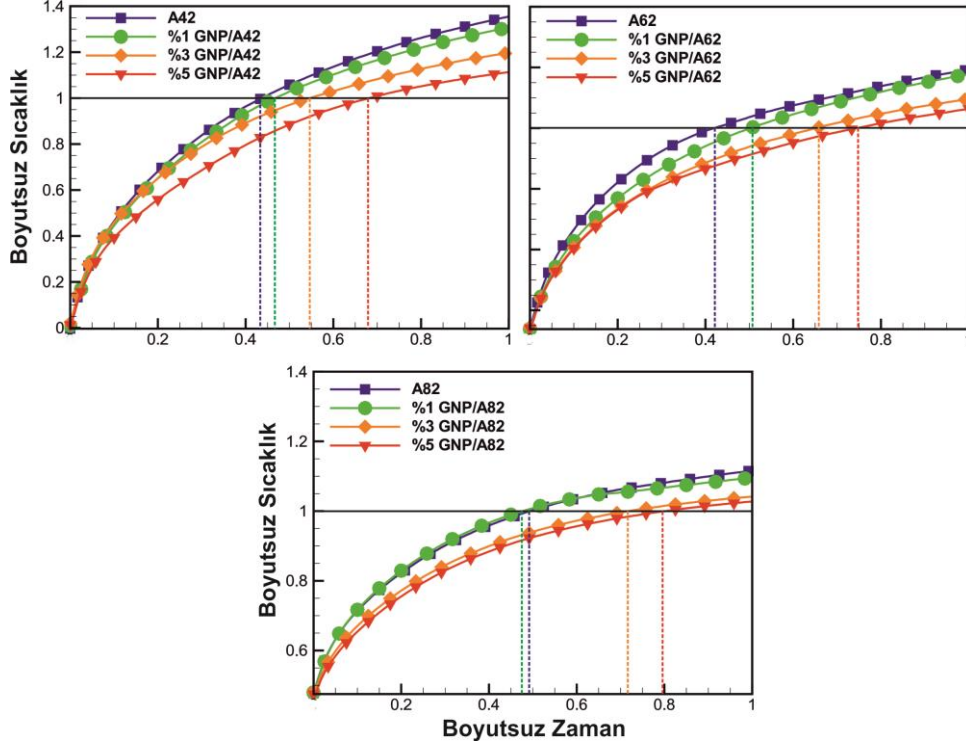
3.4. Termal Cevap Ölçümleri ve Görselleştirme

Üç farklı erime sıcaklığına sahip FDM (A42, A62, A82) ve bunlarla %1, %3, %5 kütle bölüntülerinde GNP katılanan GNP/FDM kompozitlerinin termal cevaplarının (sıcaklıklarının) zamana göre değişimleri boyutsuz olarak elde edilmiştir. Sıcaklık verileri, ilgili FDM ve GNP/FDM kompozitinin erime tepe sıcaklıklarına bölünerek, zaman ise toplam ölçüm süresi olan 60 dakikaya bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir.

A42 ve GNP/A42 kompozitlerinin kullanılması durumunda, ısıtıcı üzerinden ısıl çift T_{orta} aracılığıyla ölçülen boyutsuz termal cevaplar Şekil 8'de verilmiştir. A42 için erime tepe sıcaklığına ulaşma süresi boyutsuz olarak 0.44 olarak ölçülmüştür. Katılanan GNP kütle bölüntüsüne bağlı olarak ısıl iletkenlikte meydana gelen artış, ısıtıcı tarafından açığa çıkarılan ısının daha efektif biçimde GNP/FDM kompoziti tarafından emilmesine neden olmaktadır. Bu durum ısıtıcı üzerindeki sıcaklık artışının yavaşlamasına dolayısıyla da erime tepe sıcaklığına ulaşma sürelerinin daha da uzamasına öncülük etmektedir. Erime tepe sıcaklığına ulaşma süreleri %1 GNP/A42, %3 GNP/A42 ve %5 GNP/A42 kompozitleri için sırasıyla 0.47, 0.55 ve 0.68

FARKLI ERİME SICAKLIKLARINA SAHİP GRAFEN NANOPARÇACIK KATKILI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KOMPOZİTLERİNİN ISIL CEVAPLARININ ARAŞTIRILMASI

olarak ölçülmüştür. Performans karşılaştırması açısından %5 GNP/A42 kompozitinin, A42'ye göre etkin kullanım süresini %54.5 daha uzattığı söylenebilir. Maksimum sıcaklık kısıtlaması açısından yapılan değerlendirmeye göre A42 kullanılması durumunda ısıtıcı üzerinden (T_{orta}) ölçülen boyutsuz sıcaklık 1.36 olarak belirlenmiştir. Buna karşılık elde edilen maksimum boyutsuz sıcaklık değerleri; %1 GNP/A42, %3 GNP/A42 ve %5 GNP/A42 kompozitleri için sırasıyla 1.30, 1.19 ve 1.11 olarak ölçülmüştür. Maksimum sıcaklığın kısıtlanması açısından %5 GNP/A42 kompozitin A42'ye göre %18.4 daha iyi performans sergilediği belirlenmiştir.



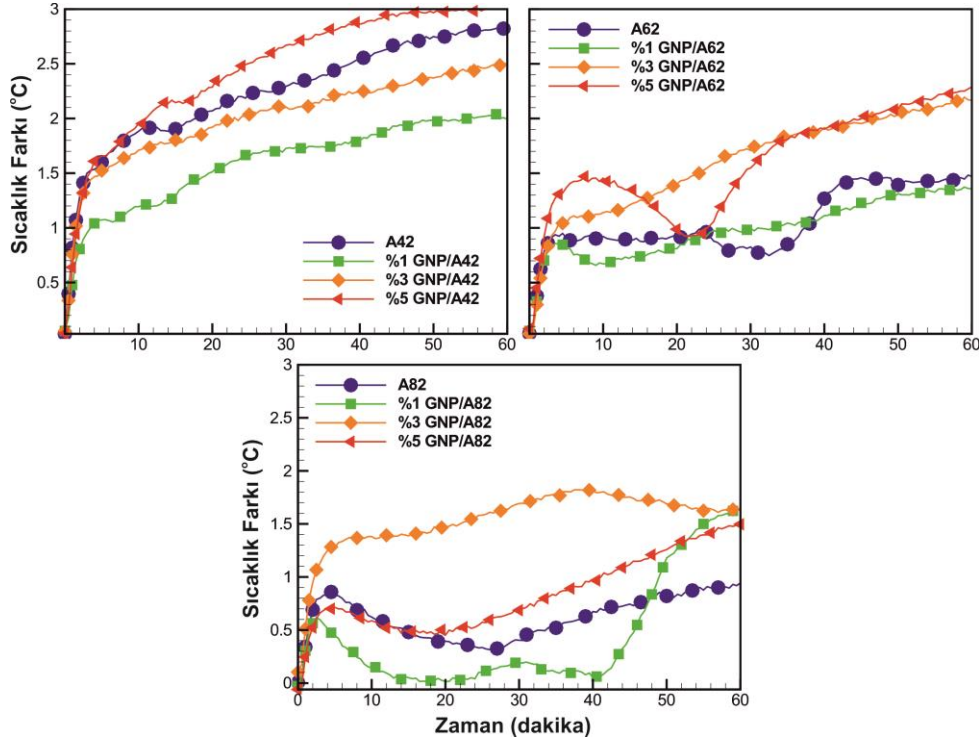
Şekil 8 Boyutsuz termal cevapların boyutsuz zamana göre değişimleri

A62 ve GNP/A62 kompozitleri için ısıtıcı üzerinden ölçülen sıcaklıkların (ısı çift T_{orta}) zamana göre değişimi boyutsuz olarak Şekil 8'in sağ tarafında gösterilmiştir. A62 için erime tepe sıcaklığına ulaşma süresi boyutsuz olarak 0.41 olarak ölçülmüştür. A42'ye göre bu sürenin kısalmasının nedeni, A62'nin gizli ısı depolama kapasitesinin mevcut üç farklı erime sıcaklığına sahip FDM içerisinde en düşük olmasıdır. Bununla birlikte A62'nin duyulur ısı kapasitesinin yüksek olması, özellikle GNP katkısı sonucunda ısıl iletkenliğin artırılmasından sonra işlevsel hale gelmektedir. Öyle ki artan ısıl iletkenlik, ısıtıcıdan uzaklaştırılan ve kompozit bünyesine yayılan ısının uzak bölgede duyulur olarak depolanmasına öncülük etmektedir. Bu durum GNP katkısına göre erime tepe sıcaklığına ulaşma sürelerinin uzatılmasından anlaşılmaktadır. Bahsedilen süreler %1 GNP/A62, %3 GNP/A62 ve %5 GNP/A62 kompozitleri için sırasıyla 0.50, 0.65 ve 0.74 olarak ölçülmüştür. Bu durumda %5 GNP/A62 kompozitinin, sadece A62'ye göre etkin kullanım süresini %80.5 daha uzattığı söylenebilir. A62 kullanılması durumunda ısıtıcı üzerinden ölçülen boyutsuz maksimum sıcaklık değeri 1.19'dur. Maksimum sıcaklık değerlerinin %1 GNP/A62, %3 GNP/A62 ve %5 GNP/A62 kompozitleri için sırasıyla 1.17, 1.09 ve 1.06 olduğu tespit edilmiştir. Maksimum sıcaklığın kısıtlanması açısından %5 GNP/A62 kompozitin A62'ye göre %10.9 daha iyi performans sergilediği belirlenmiştir.

A82 ve GNP/A82 kompozitleri için ısıtıcı üzerinden ölçülen (ısı çift T_{orta}) boyutsuz sıcaklık-zaman verileri Şekil 8'in alt tarafında verilmiştir. Erime tepe sıcaklığına ulaşma süresinin boyutsuz değerinin A82 kullanılması durumunda 0.49 olduğu belirlenmiştir. %1, %3 ve %5 GNP katkılanan A82 kompozitleri için bu sürelerin sırasıyla 0.48, 0.72 ve 0.80 olduğu belirlenmiştir. Performans karşılaştırması açısından %5 GNP/A82 kompozitinin, A82'ye göre etkin kullanım süresini %63.3 daha uzattığı belirlenmiştir. Maksimum sıcaklık açısından A82 kullanılması durumunda ısıtıcı üzerinden (T_{orta}) ölçülen boyutsuz sıcaklık değerinin 1.11 olduğu belirlenmiştir. %1 GNP/A82, %3 GNP/A82 ve %5 GNP/A82 kompozitleri için bahsedilen veriler sırasıyla 1.09, 1.04 ve 1.02 olarak ölçülmüştür. Maksimum sıcaklık kısıtlanması açısından %5 GNP/A82 kompozitinin A82'ye göre sağladığı iyileşme %8.1 olarak hesaplanmıştır.

Özetle; maksimum sıcaklığın sınırlanması ve etkin kullanım süresi açısından A82 ve GNP/A82 kompozitlerinin daha başarılı olduğu bunun da daha yüksek enerji depolama kapasitesine sahip olması nedeniyle gerçekleştiği söylenebilir. GNP nanoparçacık katkısının maksimum sıcaklığın kısıtlanması açısından en iyi iyileşmeyi %5 GNP/A42 kompozitinde sağladığı

görülmüştür. Etkin kullanım süresinin uzatılması açısından en iyi iyileşme ise %5 GNP/A62 kompozitinde görülmüştür. Bununla birlikte birçok uygulama alanında kullanım amacına göre farklı sıcaklıklarda eriyen, termal olarak iyileştirilmiş FDM kompozitlerine ihtiyaç duyulabileceğini söylemek gerekir. Örneğin lityum-iyon pil hücrelerinin ve güneş pillerinin pasif termal korumasında maksimum sıcaklığın 50°C'nin altına tutulması istenmektedir. Bu tip uygulamalarda termal olarak iyileştirilmiş GNP/A42 kompozitleri etkin kullanım sağlayabilir. Göreceli olarak daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilen bilgisayar işlemcileri gibi diğer elektronik devrelerin termal korumasında GNP/A62 kompozitleri tercih edilebilir. Yüksek erime sıcaklığına sahip GNP/A82 kompozitleri ise atık ısı geri kazanımı proseslerinde enerji verimliliğini arttırmak amacıyla kullanılabilir. Benzer biçimde GNP/A82 kompozitleri, enerji dönüşümünün gündüz saatlerinde gerçekleştiği güneş kolektörlerinde elde edilen enerjinin geçici olarak depolanıp gece saatlerinde kullanılmasında etkin rol üstlenebilir.

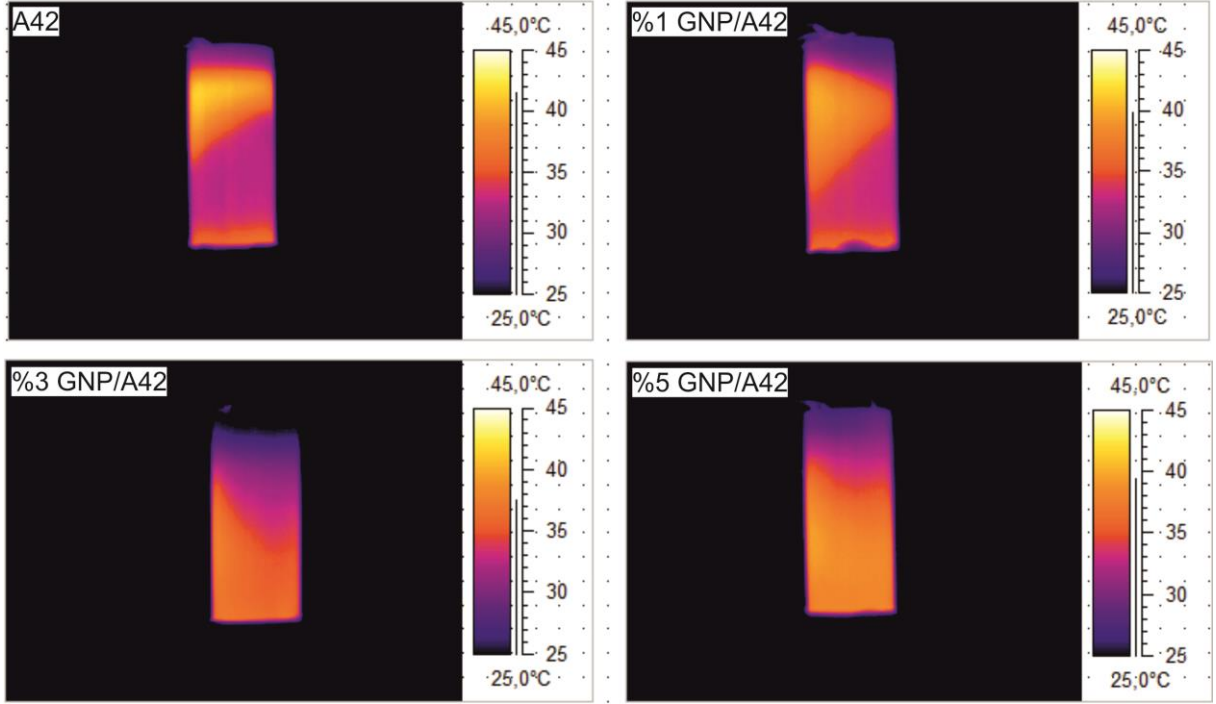


şekil 9 Isıtıcı boyunca sıcaklık farkının zamana göre değişimi

şekil 9, ısıtıcı yüzeyi boyunca sıcaklık farkının ($T_{alt}-T_{üst}$) zamana göre değişimi göstermektedir. Tüm FDM kompozitleri için sıcaklık farkının 3°C'den düşük olduğu görülmektedir. FDM erime sıcaklığının artmasının sıcaklık farkını azaltacak yönde bir etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte yüksek kütle bölüntülerinde GNP katkısının (%3 ve %5) katkılanmamış FDM'ye göre sıcaklık farkını hafifçe arttırdığı görülmektedir.

A42 ve GNP/A42 kompozitleri için faz değişiminin başlamış olduğu 40. dakika anındaki enerji depolama birimine ait termal kamera görüntüleri şekil 10'da verilmiştir. A42 ve %1 GNP/A42 kompozitleri için enerji depolama biriminin üst tarafında yüksek sıcaklık bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Bu durumun, sıvı FDM ve %1 GNP/A42 içerisinde meydana gelen konvektif akımlar etkisiyle oluştuğu söylenebilir. Buna karşılık GNP kütle bölüntüsünün daha da arttırılması (%3 ve %5) durumunda enerji depolama birimi içerisindeki ısı transferi mekanizmasının değiştiği görülmektedir. %3 ve %5 GNP katkılanan A42 kompozitlerinde yüksek sıcaklık bölgesinin enerji depolama biriminin alt tarafında oluştuğu görülmektedir. Enerji depolama biriminin üst tarafının açık olması nedeniyle bu durum olağandır. Ancak bu durum aynı zamanda yüksek GNP kütle bölüntülerinde (%3 ve %5), A42 ve %1 GNP/A42 kompozitinde görülen konvektif akımların oluşmadığının da bir göstergesidir. Sıvı GNP/A42 kompozitleri içerisindeki konvektif akımların, GNP kütle bölüntüsünün yüksek olması durumunda (%3 ve %5) artan viskozite nedeniyle engellendiği söylenebilir.

FARKLI ERİME SICAKLIKLARINA SAHİP GRAFEN NANOPARÇACIK KATKILI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KOMPOZİTLERİNİN ISIL CEVAPLARININ ARAŞTIRILMASI



Şekil 10 Termal kamera görüntüleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, farklı faz değişim sıcaklıklarına sahip FDM'lerin, GNP katkılı kompozitlerinin termal karakterizasyon sonuçlarını vermektedir. Termal olarak iyileştirilmiş kompozitlerin bir enerji depolama birimindeki termal cevap ve görselleştirmeleri ayrıca gerçekleştirilmiş olup çıkarılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

FDM ısı iletkenlikleri, faz değiştirme sıcaklığıyla orantılı bir biçimde değişmektedir. Yüksek erime sıcaklığına sahip A82, en yüksek ısı iletkenliğe sahip iken düşük erime sıcaklığına sahip A42, en düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Farklı faz değişim sıcaklıklarına sahip FDM'ler içerisinde katılan GNP kütle bölüntülerinin yaklaşık olarak aynı büyüklükte ısı iletkenlik artışlarına, ancak farklı yüzdelik iyileştirmelere neden oldukları belirlenmiştir. Enerji depolama kapasitelerinin, FDM erime sıcaklığı ile orantılı olduğu ve yüksek erime sıcaklığına sahip FDM'nin daha yüksek enerji depolama kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. FDM içerisine katılan GNP kütle bölüntülerinin erime/katılma sıcaklıkları üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Buna karşın GNP katkısının erime/katılma enerji kapasitelerinde %13'e varan azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Maksimum sıcaklık sınırlama ve etkin kullanım süresi açısından yüksek faz değiştirme sıcaklığına sahip A82 daha başarılıdır. Bununla birlikte GNP nanoparçacık katkısı en iyi iyileştirmeyi; maksimum sıcaklık kısıtlama performansı açısından %5 GNP/A42 kompozitinde, etkin kullanım süresinin uzatılması performansı açısından ise %5 GNP/A62 kompozitinde göstermiştir. Yüksek GNP kütle bölüntülerinde artan viskozite artışı sıvı faza geçiş esnasında meydana gelen konvektif akımları engelleyerek ısı transfer mekanizmasını değiştirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Mert, M. S., Sert, M., Mert, H.H. (2018). Isıl Enerji Depolama Sistemleri için Organik Faz Değiştiren Maddelerin Mevcut Durumu Üzerine Bir İnceleme. *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg.*, 6, 161–174.
- [2] Sarier, N., & Onder, E. (2012) Organic phase change materials and their textile applications: An overview. *Thermochim. Acta*, 540, 7–60.
- [3] Liu, L., Su, D., Tang, Y., Fang, G. (2016). Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermal energy storage: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 62, 305–317.
- [4] Hadiya, J. P., & Shukla, A.K.N. (2016). Experimental thermal behavior response of paraffin wax as storage unit. *J. Therm. Anal. Calorim.* 124,1511–1518.

- [5] Lorwanishpaisarn, N., Kasemsiri, P., Posi, P., Chindapasirt, P. (2017). Characterization of paraffin/ultrasonic-treated diatomite for use as phase change material in thermal energy storage of buildings. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 128, 1293–1303.
- [6] Oró, E., De 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.
- [7] Yuan, Y., Li, T., Zhang, N., Cao, X., & Yang, X. (2016). Investigation on thermal properties of capric–palmitic–stearic acid/activated carbon composite phase change materials for high-temperature cooling application. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 124, 881-888.
- [8] Al Hallaj, S., & Selman, J.R. (2000). A Novel Thermal Management System for Electric Vehicle Batteries Using Phase-Change Material. *J. Electrochem. Soc.*, 147, 3231-3236.
- [9] Khateeb, S.A., Farid, M.M., Selman, J.R., & Al-Hallaj, S. (2004). Design and simulation of a lithium-ion battery with a phase change material thermal management system for an electric scooter. *J. Power Sources*, 128, 292-307.
- [10] Hémery, C.V., Pra, F., Robin, J.F., & Marty, P. (2014). Experimental performances of a battery thermal management system using a phase change material. *J. Power Sources*, 270, 349-358.
- [11] Sari, A., Alkan, C., Karaipekli, A., & Önal, A. (2008). Preparation, characterization and thermal properties of styrene maleic anhydride copolymer (SMA)/fatty acid composites as form stable phase change materials. *Energy Convers. Manag.*, 49(2), 373–380.
- [12] Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., & Buddhi, D., (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 23, 251-283.
- [13] Wang, J.F., Xie, H.Q., Li, Y., & Xin, Z., (2010). PW based phase change nanocomposites containing gamma-Al₂O₃. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 102, 709-713.
- [14] Ho, C.J., & Gao, J.Y. (2009). Preparation and thermophysical properties of nanoparticle-in-paraffin emulsion as phase change material. *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, 36, 467-470.
- [15] Wu, S., Zhu, D., Zhang, X., & Huang, J. (2010). Preparation and melting/freezing characteristics of Cu/paraffin nanofluid as phase-change material (PCM). *Energy and Fuels*. 24,1894–1898.
- [16] Liu, Y.D., Zhou, Y.G., Tong, M.W., & Zhou, X.S. (2009). Experimental study of thermal conductivity and phase change performance of nanofluids PCMs. *Microfluid. Nanofluidics*. 7, 579–584.
- [17] Temel, U.N & Ciftci, B.Y. (2018). Determination of Thermal Properties of A82 Organic Phase Change Material Embedded with Different Type Nanoparticles. *Isi Bilimi ve Teknigi Dergisi*. LS, 38, 75–85.
- [18] Fan, L.W., Fang, X., Wang, X., *et al.*, (2013). Effects of various carbon nanofillers on the thermal conductivity and energy storage properties of paraffin-based nanocomposite phase change materials. *Appl. Energy*, 110, 163-172.
- [19] Wang, J., Xie, H., Xin, Z., & Li, Y. (2010). Increasing the thermal conductivity of palmitic acid by the addition of carbon nanotubes,” *Carbon*, 48, 3979-3986.
- [20] Yu, Z.T., Fang, X., Wu, Li., *et al.* (2013). Increased thermal conductivity of liquid paraffin-based suspensions in the presence of carbon nano-additives of various sizes and shapes. *Carbon*, 53, 277-285.
- [21] Yavari F., Fard, H.R., Pashayi, K., *et al.* (2011). Enhanced thermal conductivity in a nanostructured phase change composite due to low concentration graphene additives. *J. Phys. Chem.* 115,8753-8758.
- [22] Cui, Y., Liu, C., Hu, S., & Yu, X. (2011). The experimental exploration of carbon nanofiber and carbon nanotube additives on thermal behavior of phase change materials. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 95, 1208-1212.
- [23] Shi J.N., Ger, M.D., Liu, Y.M., *et al.* (2013). Improving the thermal conductivity and shape-stabilization of phase change materials using nanographite additives. *Carbon*, 51, 365-372.
- [24] Wang, J., Xie, H., & Xin, Z. (2009). Thermal properties of paraffin based composites containing multi-walled carbon nanotubes. *Thermochim. Acta*, 485, 39-42.
- [25] Wang, J., Xie, H., Xin, Z., Li, Y., & Chen, L. (2010). Enhancing thermal conductivity of palmitic acid based phase change materials with carbon nanotubes as fillers. *Sol. Energy*, 84, 339-344.

