



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Parafine Eklenen Farklı Nanopartiküllerin Isıl Performans Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation of The Effect of Different Nanoparticles Addition on The Thermal Performance of Paraffin

Yazar(lar) (Author(s)): Nergiz ÜLKER¹, Hüsamettin BULUT², Yunus DEMİRTAŞ³, Gökhan DEMİRCAN⁴

¹ ORCID ID: 0000-0002-6079-4792

² ORCID ID: 0000-0001-7123-1648

³ ORCID ID: 0000-0003-2200-0370

⁴ ORCID ID: 0000-0002-9579-6878

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ülker N., Bulut H., Demirtaş Y., Demircan G., "Parafine Eklenen Farklı Nanopartiküllerin Isıl Performans Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(2): 134-145, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Parafine Eklenen Farklı Nanopartiküllerin Isıl Performans Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Nergiz ÜLKER¹, Hüsamettin BULUT^{1,*}, Yunus DEMİRTAŞ¹, Gökhan DEMİRCAN¹

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

Öz

Isı depolama, enerjinin tasarruflu ve verimli kullanılabilmesi için günümüzde araştırmaların üzerine yoğunlaştığı bir konudur. Isı depolamanın bir çeşidi olarak gizli ısıyı depolamada faz değişim maddeleri (FDM) kullanılmaktadır. Ancak, enerji depolamada yaygın olarak kullanılan maddelerden parafinin düşük ısı iletkenliğe sahip olması önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problemi çözmeye yöntemlerinden biri parafinde nanopartiküllerin kullanılmasıdır. Yapılan deneysel çalışmada parafine %1, %2.5 ve %5 oranlarında MgO, ZnO ve SiO₂ nanopartikülleri ekleyerek parafinin şarj ve deşarj işlemleri incelenmiştir. Sonuç olarak, %1 nanopartikül katkısının parafinin ısıl performansına etki etmediği ve ZnO nanopartikülün parafinde şarj ve deşarj işlemlerinde daha iyi performans gösterdiği ve %2.5 kütle oranının daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nanopartikül katkısının parafinde şarj işleminde erime ve sonrasında veya deşarj işleminde donma ve sonrasında farklı etki ettiği gözlemlenmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 18/05/2020
Düzelme: 15/06/2020
Kabul: 11/07/2020

Anahtar Kelimeler

Gizli Enerji Depolama
Parafin
Nanopartikül
MgO
ZnO
SiO₂

Keywords

Latent Heat Storage
Paraffin
Nanoparticle
MgO
Zn
SiO₂

Experimental Investigation of The Effect of Different Nanoparticles Addition on The Thermal Performance of Paraffin

Abstract

Heat storage is an issue that research focuses on in order to use energy economically and efficiently. As one of heat storage types, phase change material (PCM) are used in latent heat storage. However, the low thermal conductivity of paraffin, which is one of the materials commonly used in energy storage, appears to be an important problem. One of the methods of solving this problem is the use of nanoparticles in paraffin. In this experimental study, the charge and discharge processes of paraffin were investigated by adding 1%, 2.5% and 5% MgO, ZnO and SiO₂ nanoparticles to paraffin. As a result, it has been determined that 1% nanoparticle additive does not affect the thermal performance of paraffin, and ZnO nanoparticle performs better in charge and discharge processes and the mass ratio is 2.5% better. In addition, it was observed that the nanoparticle additive had a different effect on during melting after in the charging process, and during freezing and after in the discharge process.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya genelinde artan nüfus ve ekonomiye bağlı olarak ihtiyaç duyulan enerji talebinin de artmasıyla birlikte fosil yakıtların hızla yakılması sonucunda hem enerji kaynakları hızla tükenmekte hem de yüksek oranlardaki CO₂ ve diğer sera gazlarının salınımı sonucunda küresel ısınma problemi artmaktadır. Fosil yakıtların yenilenebilir oluşu ve çevreye olan zararlarından dolayı rüzgâr, güneş enerjisi gibi daha temiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak umut vaat eden bir çözüm yolu olmuştur. Bu doğrultuda enerji kaynaklarında tasarrufu, sistem verimliliğinde ise artışı sağlayan enerji depolama gündeme gelmiştir. Böylece enerji depolama ile, tükenme tehlikesi olan fosil kaynakların korunması, CO₂ ve diğer sera gazlarının salınımının azaltılması ve yenilenebilir, temiz ancak sürekli olmayan güneş, rüzgâr gibi enerji kaynaklarının da sürdürülebilir hale gelmesi sağlanmaktadır [1-5].

*İletişim yazarı, e-mail: hbulut@harran.edu.tr

Mevcut olan enerji kaynakları arasında termal enerji, doğada bulunabilirlik açısından en fazla kaynağa sahip enerji türü olduğundan dolayı tasarruflu ve verimli enerjinin sağlanmasında termal enerji depolama uygulamaları daha fazladır. Termal enerji depolama yöntemleri yenilenebilir enerji kaynaklarının var olduğu zamanlarda depo edilerek kaynakların kesintiye uğradığı zamanlarda kullanılmasını sağlayarak enerjinin üretilmesi ve tüketilmesi arasındaki süre uyumsuzluğunu ortadan kaldırmaktadır [4-9].

Termal enerji depolama yöntemleri, birim hacimde depolayabildikleri enerji bakımından duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama ve termokimyasal ısı depolama olarak ayrılmaktadır [10]. Duyulur ısı depolamada materyalin sıcaklığında meydana gelen değişim sonucu oluşan ısıdan faydalanılır. Duyulur ısı ile depolanan enerji;

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada, Q, depo edilen ısı miktarı, m, depolama malzeme kütlesi (kg), C_p , depolama malzemesinin özgül ısısı (kJ/kgK) ve ΔT ise şarj işlemi sırasında meydana gelen sıcaklık (K) değişimidir. Buradan depo edilebilecek olan ısı miktarının sıcaklıktaki değişim oranına, ortamın sahip olduğu ısı kapasitesine ve depolamada kullanılacak olan materyalin miktarına bağlı olduğu sonucuna varılmaktadır [1]. Duyulur ısı depolamada ihtiyaç duyulan ısı deposu hacminin büyük olması bu yöntemin dezavantajıdır [10].

Gerçekleşen kimyasal bir tepkime sırasında alınan ya da verilen ısının ihtiyaç duyulan zamanda kullanılmak üzere depo edildiği yöntem termokimyasal ısı depolama yöntemi denir. Termokimyasal ısı depolama yönteminin ana prensibi, ekzotermik olarak tepkimeye giren iki ya da daha fazla kimyasal bileşikte gerçekleşen kimyasal tersinir tepkimeler boyunca kimyasal bağlarda ısının depo edilmesidir [10].

Isı depolamada kullanılacak olan materyallerin faz değişimi esnasında materyallerin aldığı veya verdiği ısıya gizli ısı denir. Bu faz değişimi sırasında erime-kaynama gibi düzensizliğin arttığı durumlarda sistemden enerji alınırken donma-yoğunlaşma gibi düzensizliğin azaldığı durumlarda ısı verilir. Gerçekleşen bu faz değişimleri sırasında ısı, gizli ısı olarak depolanmaktadır. Depo edilen gizli ısı miktarı;

$$Q = m \cdot \Delta h \quad (2)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada Q, depolanan gizli ısı miktarı (kJ), m, depolama malzemesinin kütlesi (kg) ve Δh ise faz değişim entalpisidir (kJ/kg) [5]. Gizli ısıyı depolayan maddelere faz değiştiren maddeler (FDM) denir. Organik FDM grubuna giren parafinler, geniş bir sıcaklık aralığına sahip olup yüksek gizli ısı değerlerine sahip olmaları, ucuz olup bol miktarda bulunmaları, kimyasal açıdan kararlı davranmaları, uzun ömürlü olup sabit sıcaklıkta yüksek enerji depo edebilme yoğunluğuna sahip olmaları sebebiyle ısı depolamada yaygın bir şekilde kullanılırlar. Ancak parafinlerin termal enerji depolama sistemlerinde FDM olarak kullanılmasındaki en büyük sorun düşük ısı iletkenliğe sahip olmalarıdır. Bu problemin önüne geçmek adına bazı metotlar geliştirilmiştir. Bunlardan nanopartiküllerin FDM'ye ilave edilmesi yaygın olan yöntemlerdendir. Burada nanopartiküllerin yüksek ısı iletkenliğe sahip olmalarıyla ilave edilen FDM'nin ısı iletkenliklerinde artışa yol açarken, düşük yoğunluğa sahip olmalarının yanında boyutlarının küçük olmasına bağlı olarak artan yüzey/hacim oranıyla birlikte ısı transfer hızını arttırmaktadırlar [1,11-15].

Gizli ısı depolama yönteminin diğer depolama yöntemlerine göre avantajları şöyledir:

- Gizli ısı depolama, duyulur ısı depolamaya nazaran termal enerji depolama kapasitesi daha yüksektir ve en önemlisi gerekli olan depo hacmi daha küçüktür.
- FDM olarak kullanılan materyallerin termal enerji depolama kapasiteleri birim kütle için daha yüksektir. Faz dönüşüm sıcaklıkları sabit sıcaklıkta depo etme ve geri kazanım için elverişlidir.
- Bu yöntemin kullanımı sabit sıcaklıkta ısı gereksinimi duyan maddeler için elverişlidir [10].

Gizli ısı depolama yönteminin dezavantajları şöyle sıralanabilir:

- Isı depolama esnasında yoğunluk değişimi oluşabilir.
- FDM'ler düşük ısı iletkenliğe sahiptirler.

- Uzun vadeli kullanımın söz konusu olduğu durumlarda materyallerin yapısında kararsızlıklar meydana gelir.
- FDM’lerde faz ayrışması veya aşırı soğuma olabilir [10].

Gizli ısı depolamanın uygulandığı durumlar şunlardır:

- Kısa vadeli depolamada
- Yüksek enerji kapasitesi ya da yüksek enerji yoğunluğu ihtiyacı olduğunda
- Depo hacminin küçük olması gerektiği yerlerde
- Sabit veya küçük bir sıcaklık aralığında enerji depolamaya gereksinim duyulduğunda [12].

Gizli enerji depolamada en çok kullanılan madde parafindir. Ancak parafinin ısı iletiminin düşük olması önemli bir problemdir. Parafinin ısı iletimini artırmak için parafine değişik nanoparçacıklar katılarak değerli araştırmalar yapılmıştır. Aşağıda bazı değerli çalışmalar özetlenmiştir.

Taşkıran [10] yaptığı çalışmada, 17 adet farklı türde FDM seçmiş ve bunlara eklenmesi için bakır oksit (CuO), alüminyum oksit (Al₂O₃) ve grafit nanofiber (GNF) olmak üzere 3 tane nanopartikül kullanmıştır. Seçilen FDM’nin içerisine ağırlıkça %1, %1.5, %2, %5 ve %10 oranlarında nanopartiküller ilave edilerek, bu karışımların termal özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, FDM’ye nanopartikül ilavesinin FDM’nin hem termal özelliklerini hem de erime/katılma sürelerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. *Elbahjoui ve Qarni* [16] yaptıkları çalışmada düz plakalı güneş kolektörüyle birleştirilmiş olan dikdörtgen plakalardan oluşan ısı depolama ünitesini kullanarak RT50 FDM’ye Al₂O₃ nanopartiküllerinin ilave edilmesinin termal etkiye davranışı ve depolamaya etkisini incelemişlerdir. Su kolektörde dolaşarak güneş enerjisini alarak emici alan oluşturmuş ve nanopartikül katkılı FDM içeren levhalar arasında ısıyı iletmek için dolaşmıştır. Sonuçta nanopartikül katkılı FDM lerin depolama verimliliğini arttırdığı sonucuna varılmıştır. *Wu ve ark.* [17] parafinin ısıl performansını arttırmak amacıyla parafin içerisine ağırlıkça %0.5 ve %1 oranlarında Bakır (Cu), Alüminyum (Al) ve Karbon/Bakır (C/Cu) nanoparçacıklarını ilave ederek yeni bir nanoakışkan FDM hazırlamışlardır. Hazırlanmış olan nanokompozitlerden Cu nanopartikül ilaveli FDM’nin en iyi ısıl performansı gösterdiği gözlemlenmiş ve bu kompozit ile saf parafinin şarj/deşarj döngüsü incelenmiştir. %1 Cu-parafin nanokompozitinin erime ve katılma süresinin sırasıyla %30.3 ve %28.2 azaldığı tespit edilmiştir. *Ho ve Gao* [18] FDM olarak n-oktadekan(parafin) ve kütlece %0, %5 ve %10 nanopartikül (Al₂O₃) kullandıkları çalışmalarında deneyleri 25 x 25 mm boyutlarında 60 mm uzunluğunda yalıtımlı bir depo kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yoğunluk, dinamik viskozite ve termal iletkenlik gibi termodinamik özellikleri deneysel olarak inceledikleri benzer bir çalışmada nanoparçacık eklenen parafin emülsiyonları için ölçülen ısıl iletkenlik ve dinamik viskozite değerlerinin, sıcaklığa bağlı olarak, saf parafin ile karşılaştırıldığında nanopartiküllerin kütle fraksiyonu ile doğrusal olmayan bir artış gösterdiği belirlenmiştir. *Jesumathy ve ark.* [19] deneysel olarak yapmış oldukları çalışmalarında, FDM olarak parafini kullanmış ve içerisine termal iletkenliği artırmak için farklı kütle oranlarına sahip bakır oksit nanoparçacıklar kullanılarak dikey bir silindir içerisinde saf parafin ile bakır oksit eklenmiş olan parafinin termal iletkenlikleri ve termal karakteristikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneysel sonuçlar, bakır oksit eklenmiş olan parafinin saf parafine oranla erime/katılma sürelerinde azalmalar ve termal iletkenliklerde yükselmeler olduğu tespit etmişlerdir. *Fan ve ark.* [20] parafin içerisine ağırlıkça %1-5 arasındaki oranlarda değişen karbon nanotüpleri, karbon nano elyafları ve grafen nanoplateletleri (GNP) ilave edip nanokompozit numuneler hazırlamışlardır. Nanokompozit FDM’lerin ısıl iletkenliklerinin yüklenme oranının artırılmasıyla arttığı görülmüş ve bu artış miktarının nanodolgu maddelerinin boyut ve şekline bağlı olduğu belirlenmiştir.

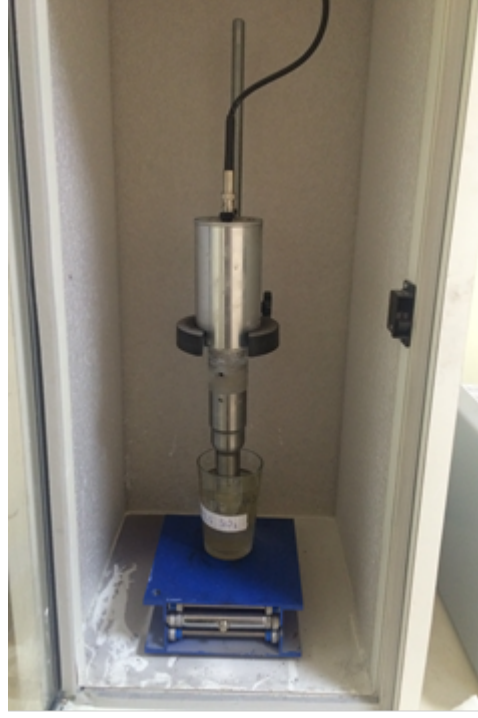
Wang ve ark. [21] parafin içerisine ağırlıkça %1, %2 ve %5 oranlarında Al₂O₃ nanopartiküllerini ilave ederek nanokompozitler hazırlamış ve bu numunelerin termal analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak ise ilave edilen nanoparçacık miktarının artırılmasıyla parafinin erime noktalarında düşüş, gizli ısı ve ısıl iletkenlik değerlerinde ise artış gözlemlenmiştir. *Parlak ve ark.* [22] FDM olarak seçilen parafine ağırlıkça %1, %3, %5, %7 ve %10 oranlarında grafen nanoplateletin ilave edilmesiyle elde edilen kompozitin ısıl performansını ve enerji depolama özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda ise parafine grafen nanoplateletin ilavesinin ısıl iletkenlik değerlerinde artışa yol açtığı tespit edilmiştir. *Amin ve ark.* [23] parafin içerisine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında Fe₃O₄, CuO, TiO₂ ve ZnO nanopartiküller ilave edilmesiyle hazırlanan nanokompozitlerin termal özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak ise

parafine nanopartikül ilavesinin gizli ısı değerinde artışlara sebep olduğu belirlenmiştir. %5 oranında CuO nanopartikül içeren nanokompozitte en büyük artış gözlemlenirken en düşük artışın ise %15 oranında TiO₂ nanopartikül içeren nanokompozitte olduğu görülmüştür. *Tan ve ark.* [24] FDM olarak RT27 maddesine Cu nanopartiküllerini ilave ederek elde ettikleri nanokompozitlerin küresel bir kap içerisindeki erime davranışını sayısal olarak incelemiştir. Sonuç olarak ise ısı iletkenlikte artış görülmüştür. Bu sayede erime hızının arttığı ve böylece erime sürelerinde azalmaların olduğu tespit edilmiştir. *Nourani ve ark.* [25] FDM'lerden parafine ağırlıkça %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında Al₂O₃ nanopartiküllerini ilave ederek hazırlanan numunelerin ısı performansını incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda hazırlanan kompozitlerin ısı iletkenliklerinde artış sağlanmış ve dolayısıyla da erime/donma sürelerinin azaldığı gözlemlenmiştir. *Mandal ve ark.* [26] parafinin içerisine ağırlıkça % 0.25, %0.5, %0.75 ve %1 oranlarında CuO nanopartiküllerini ilave ederek nanokompozitler hazırlanmış ve termal analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak ise CuO nanopartiküllerinin ilave edilmesiyle parafinin ısı iletkenliğinin ve dolayısıyla ısı transfer hızının arttığı tespit edilmiştir. *Kim ve Drzal* [27] sıvı parafin içerisine ağırlıkça %1, %2, %3, %5 ve %7 oranında grafit nanoplateleti (xGNP) ilave ederek nanokompozitler hazırlamış ve bu numunelerin ısı performansını incelemiştir. Sonuç olarak ise ilave edilen xGNP oranındaki artışa bağlı olarak hem ısı hem de elektriksel iletkenlikte artışların olduğu tespit edilmiştir. *Ebrahimi ve Dadvand* [28] parafine ağırlıkça %2 ve %5 oranlarında Al₂O₃ nanopartiküllerinin ilave edilmesiyle nanokompozitler hazırlamış ve bunların termal analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak ise nanopartikül ilavesiyle parafinin ısı iletkenliğinde artışlar gözlemlenmiş ve ağırlıkça %2 oranında nanopartikül içeren kompozitin en yüksek erime hızını gösterdiği belirlenirken ağırlıkça %5 oranında nanopartikül içeren kompozitin erime hızının saf parafinkine yakın olduğu tespit edilmiştir. *Li* [29] parafine ağırlıkça %0, %1, %4, %7 ve %10 oranlarında nano grafit (NG) ilave ederek nanokompozitler hazırlamıştır. İlave edilen NG miktarının artmasına bağlı olarak ısı iletkenlik değerlerinin arttığı ve parafinin verimlilik açısından enerji depolama performansının iyileştiği gözlemlenmiştir.

Literatür araştırmasından parafine %1 ile %10 arasında değişik oranlarda nanopartikül katıldığı ve nanopartikülün genelde ısı iletkenliğini artırdığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, %1, %2.5 ve %5 oranlarında MgO, SiO₂ ve ZnO nanopartikül katkılı parafinde ısı enerjisinin, gizli ısı olarak depolanması araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL and METHOD)

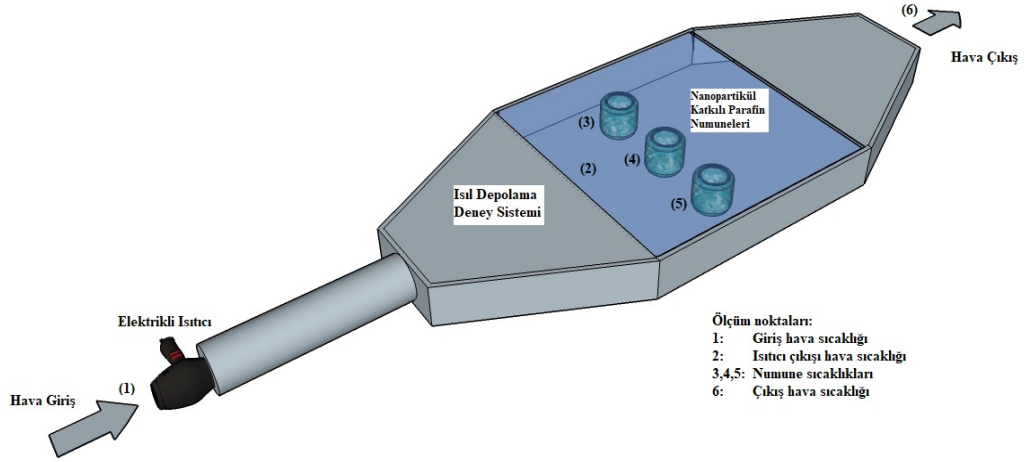
FDM olarak seçilmiş olan parafinin ısı özelliklerini iyileştirmek amacıyla ağırlıkça %1, %2.5 ve %5 oranlarında MgO, SiO₂ ve ZnO nanopartikülleri parafine ilave edilerek nanokatlı parafin numuneleri hazırlanmıştır. Önce seçilmiş olan nanopartiküller hassas terazi yardımıyla numune kabı içerisine %1, %2.5 ve %5 oranlarında konulmuştur. Daha sonra numune kabındaki nanopartiküllerin ilave edilecek olan parafin içerisinde homojen dağılımını sağlamak amacıyla, ses dalgaları oluşturarak nanopartiküller arasındaki fiziksel bağı kırıp partiküllerin sıvı içerisinde homojen dağılımlarını sağlayan ultrasonik karıştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan ultrasonik karıştırıcı Şekil 1'de gösterilmiştir. Karıştırıcı herhangi bir sıcaklık ayarı yapılmadan %70 genlik değerine ayarlanmış ve numuneler 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Karıştırıcıdan 100 °C ve üzeri bir sıcaklıkta alınan numuneler öncelikle teker teker deney setine konularak 1 saat boyunca ortam havası ile deşarj işlemine tabi tutulmuşlardır. Daha sonra ise nanoparçacık katkılı parafinler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış ve üçlü gruplar halinde 1 saat boyunca şarj/deşarj işlemleri incelenmiştir. Şarj işlemi fanlı ısıtıcıdan çıkan hava hızı 3.5 m/s; deşarj işlemi ise 3 m/s olarak ölçülmüştür. Şarj/deşarj işlemleri gerçekleştirildiği deney seti Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Test odasında numuneler üzerinde homojen bir hava dağılımı olması için hava borusu uzun yapılmıştır. Sıcaklık ölçümleri için T tipi ısı çiftleri kullanılmış ve ölçümler datalogger'da kaydedilmiştir. Test bölgesine hava giriş ve test bölgesinden hava çıkış sıcaklıkları, dış ortam sıcaklığı ve her bir numunenin ortasından nano katkılı parafinin sıcaklığı ölçülmüştür. Hazırlanan nanoparçacık katkılı parafinler Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekillerden numunelerde herhangi bir renk farkının olmadığı görülmektedir.



Şekil 1. Ultrasonik karıştırıcı



Şekil 2. Şarj ve desarj döngülerinde kullanılan deney seti



Şekil 3. Şarj ve deşarj döngülerinde kullanılan denev setinin şematik görünümü



Şekil 4. SiO₂ nanopartikül katkılı parafin



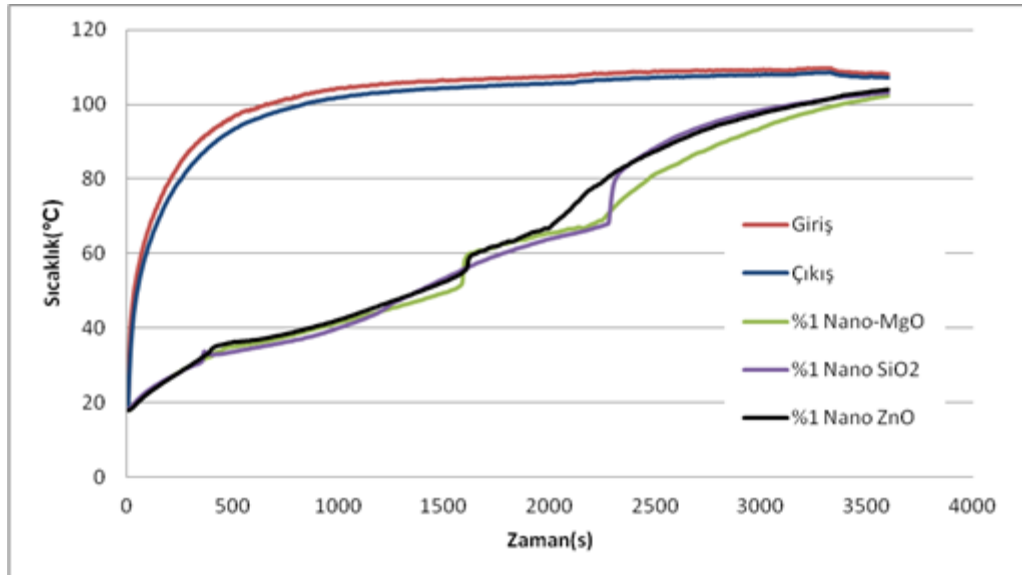
Şekil 5. ZnO nanopartikül katkılı parafin



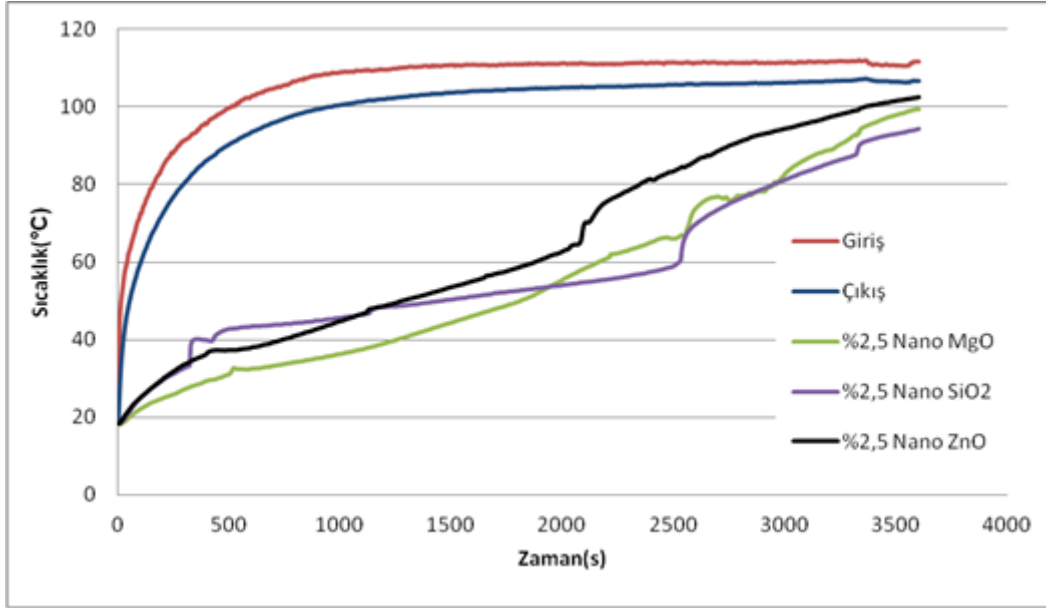
Şekil 6. MgO nanopartikül katkılı parafin

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS and DISCUSSION)

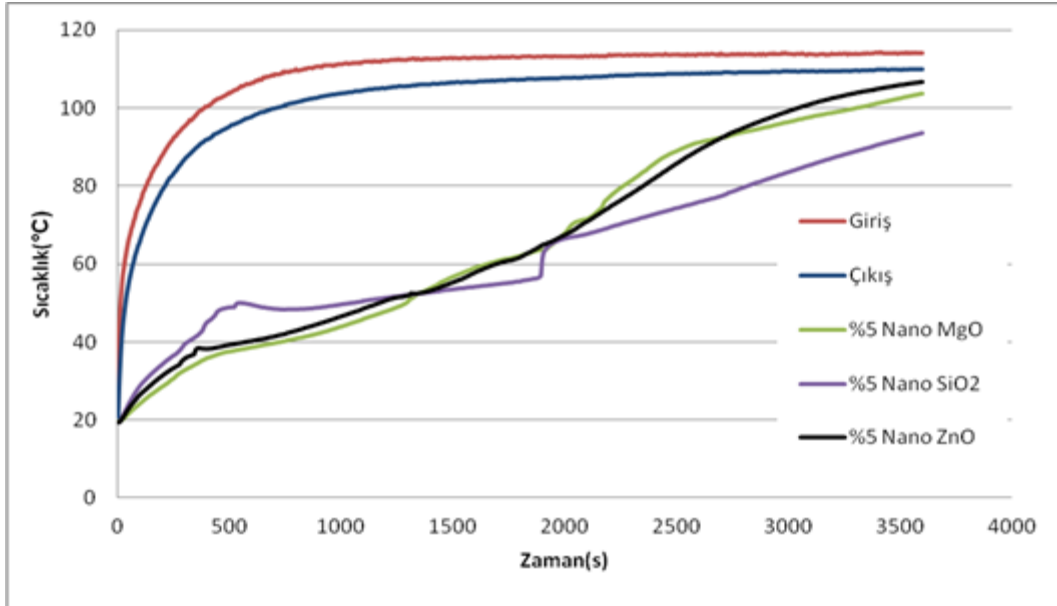
Yapılan deneylerde öncelikle karıştırıcıdan alınan nanopartikül katkılı parafinler deney setine konularak donma işlemine tabi tutulmuş ve oda sıcaklığına getirilmiştir. Oda sıcaklığına getirilmiş olan ağırlıkça %1, %2.5 ve %5 oranında MgO, SiO₂ ve ZnO nanopartiküllerini içeren parafinlerin şarj işlemleri Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 7'den %1 nano partikül katkısının parafinde önemli bir fark ortaya çıkarmadığı görülmüştür. ZnO ve SiO₂ nano partikülün MgO nanopartikülüne göre erime sonrasında daha fazla sıcaklık artışına neden olduğu gözlemlenmiştir. Nano ZnO katkılı parafin, 1540 saniyede 53.45 °C'de erime başlamış ve erimeden sonra 2350 saniyeden 83.6 °C'ye çıkmıştır. Nano MgO katkılı parafin ise 1540 saniyede 50.3 °C'de erime başlamış ama sıcaklık artışı SiO₂ ve ZnO katkılı parafine yetişememiştir. Şekil 8'den %2.5 nanopartikül katkısının parafinin erime noktasını aşağıya çektiği ve SiO₂ nanopartikül katkılı parafinin erimede daha yüksek sıcaklıklara çıkarken erimeden sonra diğer nanopartiküllere göre daha düşük sıcaklıklarda kaldığı gözlemlenmiştir. ZnO nanopartikülünün erime ile birlikte diğerlerinden ayrıştığı görülmüştür. Şekil 9'dan %5 nanopartikül katkılı parafinin şarj işleminde MgO ve ZnO nanopartiküllerin aynı etkiyi yaptığı, erimede SiO₂ nanopartikülden daha düşük sıcaklığa fakat erimeden sonra daha yüksek sıcaklıklara çıktıkları görülmüştür. SiO₂ nanopartikül katkılı parafinin erimede diğer nanopartikül katkılılara göre daha yüksek sıcaklıklara çıkarken erimeden sonra daha düşük sıcaklıklarda kaldığı tespit edilmiştir. ZnO nanopartikül katkılı parafinin erime ile birlikte diğerlerinden ayrıştığı görülmüştür.



Şekil 7. %1 nano ZnO, MgO ve SiO₂ katkı parafinlerin şarj işlemi



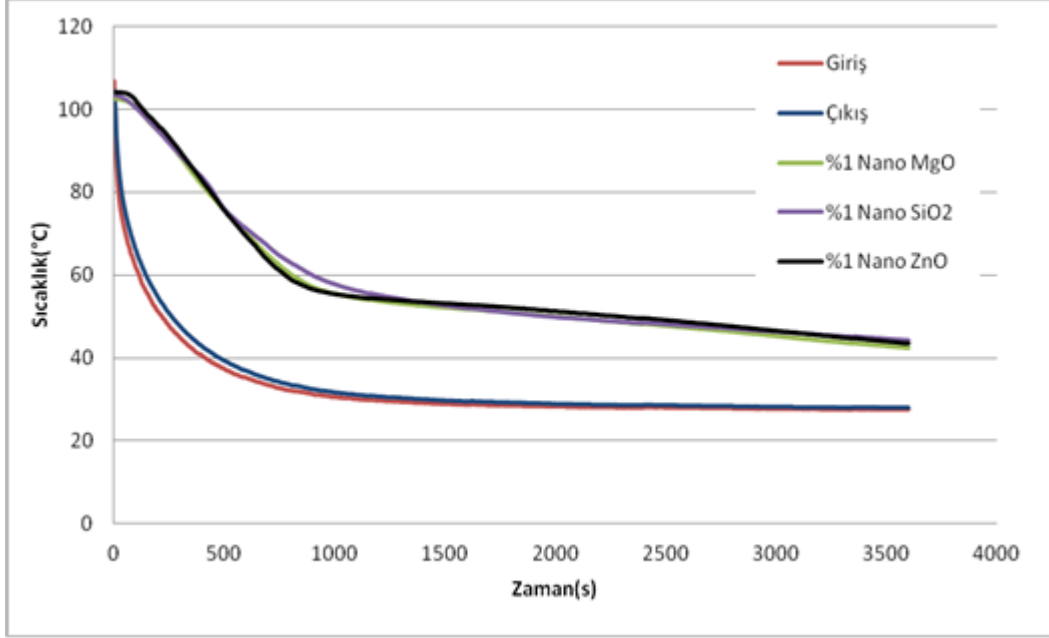
Şekil 8. %2.5 nano ZnO, MgO ve SiO₂ katkı parafinlerin şarj işlemi



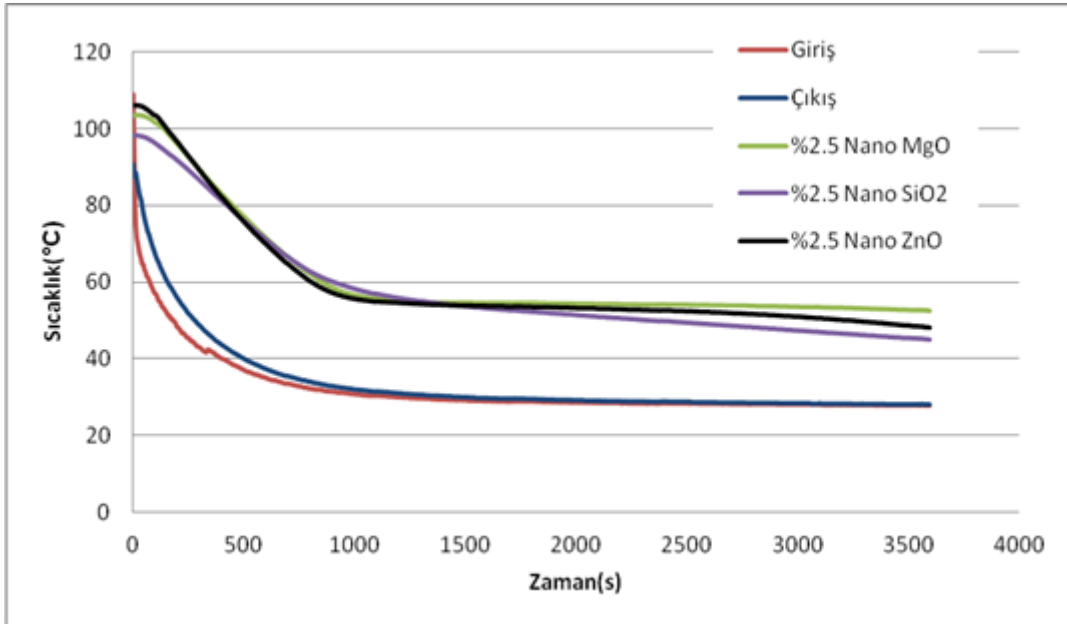
Şekil 9. %5 nano ZnO, MgO ve SiO₂ katkı parafinlerin şarj işlemi

Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de ise ağırlıkça %1, %2.5 ve %5 oranında MgO, SiO₂ ve ZnO nanopartikülleri içeren parafinlerin deşarj işlemleri gösterilmiştir. Şekil 10'dan %1 nanopartikül katkısının parafinin deşarj işleminde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Şekil 11'den SiO₂ katkı parafinin daha önce donduğu ve donmadan sonra SiO₂ nanopartikül katkı parafinde sıcaklığın daha fazla düştüğü belirlenmiştir.

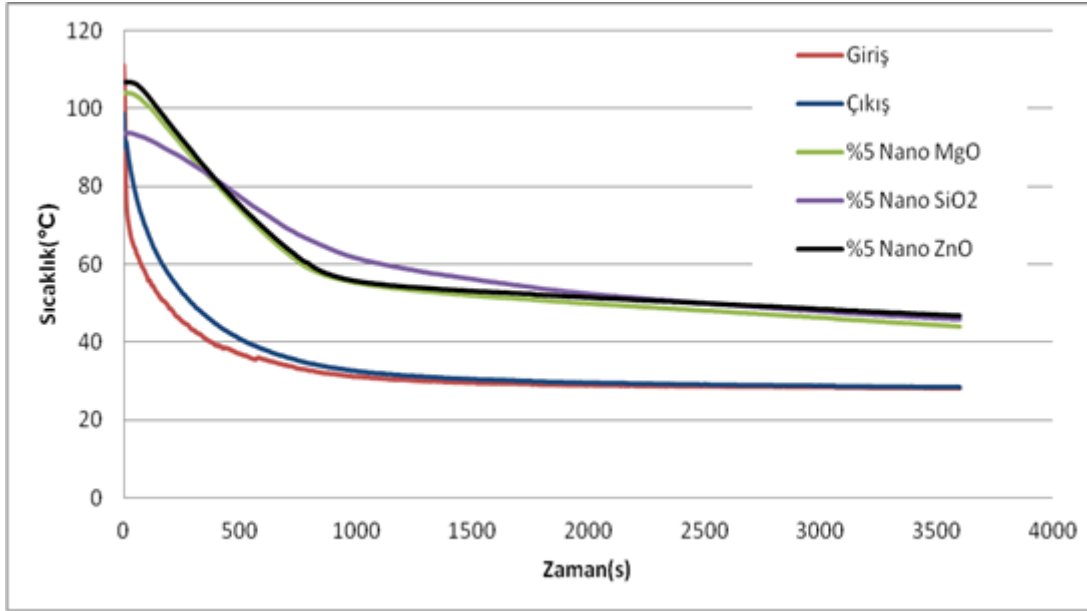
Grafikler incelendiğinde ZnO ilaveli parafinin her üç oranda da diğer iki numuneden daha önce donmaya başladığı görülmektedir. MgO katkılı parafinin ise sıcaklıklarındaki düşme hızının diğer iki numuneye göre daha fazla olduğu fakat ZnO katkılı parafine göre daha geç donmaya başladığı görülmektedir. SiO₂ katkılı numunelerin ise şarj durumunda daha geç erimeye başladığı gibi deşarj durumunda da daha geç donmaya başladığı görülmektedir. Ayrıca nanopartikül ilavesinin artışına bağlı olarak her üç numunede de donma süresinin biraz daha kısaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 10. %1 nano ZnO, MgO ve SiO₂ katkılı parafinin deşarj işlemi



Şekil 11. %2.5 nano ZnO, MgO ve SiO₂ katkılı parafinin deşarj işlemi



Şekil 12. %5 nano ZnO, MgO ve SiO₂ katkılı parafinin deşarj işlemi

4. SONUÇ

Gizli ısıyı depolayabilen maddeler olan FDM'lerden parafinin ısıyı depolama sürecindeki en temel sorunu düşük ısı iletkenliğine sahip olmasıdır. FDM'lere nanopartiküllerin eklenmesi son yıllarda geliştirilip üzerine yoğun araştırmaların yapıldığı bir çözüm yöntemidir. Bu çalışmada farklı türdeki nanopartiküllerin farklı kütle oranlarında kullanılmasının parafinin ısı iletkenliğine ve dolayısıyla da erime/donma sürelerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. %1, %2.5 ve %5 kütle oranlarında MgO, SiO₂ ve ZnO nanopartikülleri parafine ilave edilip şarj/deşarj işlemleri incelenmiştir. %1 nanopartikül katkısının parafinin şarj ve deşarjında önemli etki yapmadığı tespit edilmiştir. %2.5 nanopartikül katkılı şarj işlemi; ZnO katkılı parafinde sıcaklık artışının genel olarak daha iyi olduğu belirlenmiştir. Ancak %2.5 nanopartikül katkılı parafinin deşarj işlemi donma ve donma sonrası için SiO₂ nanopartikül katkılı parafinin ayrıştığı görülmüştür. %5 katkılı şarj işlemi ise erime SiO₂ nanopartikülünün, erime ve erime sonrasında ise MgO ve ZnO nanopartiküllerinin benzer davranış göstererek SiO₂ nanopartikülünden daha iyi performans gösterdikleri tespit edilmiştir. %5 katkılı deşarj işlemi ise donma öncesi MgO ve ZnO nanopartikülünün benzer davranış gösterdikleri ve SiO₂ göre daha iyi performans gösterdikleri gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ise ZnO nanopartikülün parafinde şarj/deşarj işlemlerinde daha iyi performans gösterdiği ve %2.5 kütle oranının daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Nanopartikül katkısının tam olarak belirlenmesi için şarj ve deşarj işlemlerinin bir döngü ile daha fazla yapılması ve belirli döngü sayısı sonrası nanopartikülün çökme, topaklaşma ve homojen dağılışı da incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Alva, G., Lin, Y. & Fang, G. "An Overview of Thermal Energy Storage Systems". Energy, 144:341-378, 2018.
- [2] Chen, M., He, Y., Ye, Q., Zhang, Z. & Hu, Y. "Solar Thermal Conversion and Thermal Energy Storage of CuO/Paraffin Phase Change Composites". International Journal of Heat and Mass Transfer, 130:1133-1140, 2019.

- [3] Saydam, V. “Thermal Energy Storage Using Paraffin Wax and Stability Study of The Phase Change Material Containing Nanoparticles”. Memorial University of Newfoundland, Faculty of Engineering & Applied Science, Master of Engineering, St. Johns’s Newfoundland and Labrador, 2018.
- [4] Beyhan, B., Cellat, C., Karahan, O., Konuklu, Y., DüNDAR, C., Güngör, C. & Paksoy, H. “Bina Yapı Malzemeleri İçin Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Madde Geliřtirilmesi”. Teskon 2015 Bildiriler Kitabı, 1469-1480, 2015.
- [5] şahan, N. “Faz Değiştiren Maddelerin Nano Malzemelerle Kullanımının Araştırılması”. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [6] Ceylan, İ., Zuhur, S. & Gürel, A. “Isı Depolama Yöntemleri ve Uygulamaları”. Kasım-Aralık TTMD Dergisi, 2017.
- [7] Fan, L. & Khodadadi, J.M. “Thermal Conductivity Enhancement of Ohase Change Materials for Thermal Energy Storage:A Review”. Renewable and sustainable Energy Reviews, 15:24-46, 2011.
- [8] Kuru, A. & Aksoy, S. “Faz Değiştiren Maddeler ve Tekstil Uygulamaları”. Tekstil ve Mühendis Dergisi, 19:86, 41-48, 2012.
- [9] Konuklu, Y. “Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama İle Binalarda Enerji Tasarrufu”. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Doktora Tezi, 2009.
- [10] Taşkıran, A. “Nanoboyutlu Parçacık Katkılı Yeni Nesil Faz Değiştiren Maddelerin Deneysel Olarak İncelenmesi”. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Elazığ. Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [11] Kořan, M. & Aktař, M. “Faz Değiştiren Malzemelerle Termal Enerji Depolayan Bir Isı Değiştiricisinin Sayısal Analizi”. Politeknik Dergisi, 21(2): 403-409, 2018.
- [12] Yılmaz, S. “Soğutma Uygulamaları İçin Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama”. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [13] Fan, L., Khodadadi, J.M. & Babaei, H. “Thermal conductivity enhancement of nanostructure-based colloidal suspensions utilized as phase change materials for thermal energy storage: A review”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24:418–444, 2013
- [14] Dhaidan, N.S. “Nanostructures assisted melting of phase change material in various cavities”. Applied Thermal Engineering 111:193–212, 2017.
- [15] Sebtı, S.S., Mastiani, M., Mirzaei, M., Dadvand, A., Kashani,S. & Hosseini, S.A. “Numerical study of the melting of nano-enhanced phase change material in a square cavity”. Journal of Zhejiang University - Science A: Applied Physics & Engineering, 14(5):307-316, 2013.
- [16] Elbahjoui, R. & Quarnia, H., “Performance Evaluation of a Solar Thermal Energy Storage System Using Nanoparticle-Enhanced Phase Change Material”. International Journal of Hydrogen Energy, 44:2013-2028, 2018.
- [17] Wu, S., Zhu, D. & Huang, J. “Preparation and melting/freezing characteristics of Cu/Paraffin nanofluid as phase change material (PCM)”. Energy Fuels, 24, 1894-98, 2010.
- [18] Ho, C.J. & Gao, J.Y. “Preparation and thermophysical properties of nanoparticle-in-paraffin emulsion as phase change material”. International Communications in Heat and Mass Transfer, 36, 467-70, 2009.
- [19] Jesumathy, S., Udayakumar, M. & Suresh, S. “Experimental Study of Enhanced Heat Transfer By Addition of CuO Nanoparticles”. Heat Mass Transfer, 48:965-978, 2012.

- [20] Fan, L.W., Fang, X., Wang, X., Zeng, Y., Xiao, Y.Q., Yu, Z.T., Xu, X., Hu, Y.C. & Cen, K.F. “Effects of Various Carbon Nanofillers on The Thermal Conductivity and Energy Storage Properties of Paraffin-Based on Nanocomposite Phase Change Materials”. *Applied Energy*, 110:163-172, 2013.
- [21] Wang, J., Xie, H., Li, Y. & Xin, Z. “PW based phase change nanocomposites containing γ -Al₂O₃”. *J Therm Anal Calorim*, 102:709–713, 2010.
- [22] Parlak, M., Temel, Ü.N., Sömek, K. & Yapıcı, K. “Experimental Investigation of Transient Thermal Response of Phase Change Material Embedded by Graphene Nanoparticles in Energy Storage Module”. 15th IEEE ITherm Conference, 978-1-4673-8121-5, 2016.
- [23] Amin, M., Afriyanti, F. & Putra, N. “Thermal Properties of Paraffin Based Nano-Phase Change Material as Thermal Energy Storage”. 2nd International Tropical Renewable Energy Conference, 2018.
- [24] Tan, F.L., Rabienataj Darzi, A.A. & Hosseinizadeh, S.F. “Numerical Investigations of Unconstrained Melting of Nano-Enhanced Phase Change Material (NEPCM) Inside a Spherical Container”. *International Journal of thermal Sciences*, 51:77-83, 2012.
- [25] Nourani, M., Hamdami, N., Keramat, J., Moheb, A. & Shahedi, M. “Thermal Behavior of Paraffin-Nano-Al₂O₃ Stabilized by Sodium Stearoyl Lactylate As a Stable Phase Change Material With High Thermal Conductivity”. *Renewable Energy* 88: 474-482, 2016.
- [26] Mandal, K.S., Kumar, S., Singh, P.K., Mishra, K.S., Bishwakarma, H., Choudhry, N.P., Nayak, R.K. & Das, A.K. “Performance Investigation of CuO-Paraffin Wax Nanocomposite in Solar Water Heater During Night”. *Thermochimica Acta* 671: 36–42, 2019.
- [27] Kim, S. & Drzal, L.T. “High latent heat storage and high thermal conductive phase change materials using exfoliated graphite nanoplatelets”. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 93: 136–142, 2009.
- [28] Ebrahimi, A. & Dadvand, A. “Simulation of Melting of A Nano-Enhanced Phase Change Material (NePCM) in A Square Cavity With Two Heat Source-Sink Pairs”. *Alexandria Engineering Journal*, 54:1003-1017, 2015.
- [29] Li, M. “A Nano-Graphite/Paraffin Phase Change Material With High Thermal Conductivity”. *Applied Energy* 106:25–30, 2013.