

Faz Değiştiren Madde Olarak Nano Katkılı Stearik Asit ve Palmitik Asidin Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Taylan Gazi ÜREGEN^{1*}, Gamzepelin AKSOY², Ahmet KOCA³

¹Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

²Yazılım Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹tguregen@gmail.com, ²gamzepelina@gmail.com, ³dr.koca.ahmet@gmail.com

(Geliş/Received: 20/02/2019;

Kabul/Accepted: 29/04/2019)

Öz: Günümüzde faz değiştiren maddeler ısı depolama sistemlerindeki mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu maddeler, ısı sistemlerinde, ısı enerjisi depolama elemanı olarak tercih edilirler. Isı depolama sistemlerinin geliştirilebilmesi için, faz değiştiren maddelerin seçimi ısı transfer mekanizmasına ek olarak önemli bir rol oynamaktadır. Faz değiştiren maddelerde nano parçacık katkısının termofiziksel özelliklerin iyileştirilmesinde önemli bir etkisi vardır. Bu çalışmada, faz değiştiren maddelerden olan Stearik asit ve Palmitik asit kimyasallarına ağırlıkça %1, %3, %5, %10 oranlarında Grafit nano parçacığı eklenmiştir. Hazırlanan karışımların termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Hazırlanan homojen karışımların, saf Stearik asit ve Palmitik aside göre ısı iletkenlik değerlerinde artma, gizli ısı değerlerinde azalma görülmüştür. En yüksek ısı iletkenlik artışı Stearik asit-%5 Grafit karışımında %89, Palmitik asit-%10 Grafit karışımında ise %64 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Stearik Asit, Palmitik Asit, Grafit Nano Parçacık, Nano Parçacık, Faz Değiştiren Maddeler.

Determination of the Thermal Properties of Nano Doped Stearic Acid and Palmitic Acid as Phase Change Material

Abstract: Phase Change Materials (PCM) are widely used in engineering applications on heat storage system nowadays. In order to improvement heat storage systems, the choice of Phase Change Materials plays an important role in addition to the heat transfer mechanism. The nanoparticle addition in Phase Change Materials has a significant effect on the improvement of the thermophysical properties. In this study, 1%, 3%, 5%, 10% by weight Graphite nano particles were added to the Stearic Acid and Palmitic Acid chemicals which are of Phase Change Materials. The thermophysical properties of the prepared mixtures were determined. The homogeneous mixtures, the increase in thermal conductivity values of pure stearic acid and palmitic acid, and a decrease in latent heat were observed. The highest thermal conductivity increase is determined as 89% in the stearic acid-5% graphite mixture and 64% in the Palmitic acid-10% graphite mixture.

Key words: Stearic Acid, Palmitic Acid, Graphite Nano Particles, Nano Particle, Phase Change Material.

1. Giriş

Günümüzde artan enerji talebi yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama tekniklerinin önemini arttırmaktadır. Enerji üretimi, genel olarak fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ gazı küresel ısınmanın gerekçesi olarak görülmektedir [1]. Bu amaçla, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile etkin ve ucuz ısı depolama sistemlerinin geliştirilmesine yönelik yoğun tetkikler devam ettirilmektedir.

Uygun enerji depolama tekniklerinden biri olan Faz Değiştiren Maddeler (FDM), yıllardan beri çeşitli ısı sistemlerinde, depolama materyali olarak kullanılmaktadır. Bu maddeler, faz değişimi sırasında çevresinden aldığı veya verdiği ısıyı, gizli ısı olarak depolamaktadırlar [2,3]. Ayrıca FDM yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en etkili olanlardan biridir. Bunun nedeni, FDM'in geniş bir uygulama alanına sahip olmasıdır. Bir enerji depolama sisteminin verimli kullanımını sağlamanın en temel gereksinimlerinden biri; belirli bir sürede mümkün olan en fazla enerjiyi depolamaktır. Diğer bir deyişle, enerjinin fazla olduğu bir zamanda enerjiyi depolayarak ihtiyaç duyulduğu zaman kullanıma sunabilmektir [4]. FDM düşük erime/katılma sıcaklığına ve yüksek enerji depolama özelliklerine sahiptir. Faz değişim işlemi tersinir olarak gerçekleşir. Endotermik (ısı alan) ve ekzotermik

* Sorumlu yazar: tguregen@gmail.com Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1121-3039, ² 0000-0002-5328-2983, ³ 0000-0002-0137-6988

(ısı veren) FDM'ler bu süreçlerde faz değişimine uğrar. Bir madde faz değişim sıcaklığına ulaştığı zaman erimeye başlar ve bu işlem sırasında sıcaklık sabit kalır. Madde erime esnasında enerjiyi gizli ısı olarak depolar [5].

Son yıllarda araştırmacılar, FDM'lerin termofiziksel özelliklerini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Konu ile ilgili yapılan çeşitli sayısal çalışmalar mevcuttur [6,7]. Ayrıca deneysel çalışmalarda iki ya da daha fazla FDM'yi belirli oranlarda karıştırarak, termofiziksel özellikleri daha iyi olan FDM'ler elde etmişlerdir [8]. FDM'lere ısı iletkenlikleri yüksek olan Bakır Oksit, Alüminyum Oksit, Grafit, Karbon nanotüp vb. nano parçacıklar katılarak, FDM'lerin ısı iletkenliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda FDM'ler farklı alanlara uygulanmıştır. Sarı Palmitik asit, Miristik asit, Stearik asit, Laurik asit gibi farklı FDM'leri kullanarak bu asitlerin gizli ısı ve erime sıcaklıklarını Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ile belirlemiştir [9]. Feldman vd., farklı yağ asidi karışımları hazırlayarak, bunların ısı depolama özelliklerini incelemiş ve yağ asitlerinin alan ısıtma için FDM olarak kullanılabilceğini belirtmiştir [10]. Nazir vd., gizli ısı depolama sistemleri için Stearik asit, Palmitik asit, Laurik asit ve Mistik asit kullanarak ötektik karışımlar hazırlamışlardır. Hazırlanan kompozitlerin termofiziksel özellikleri DSC ile belirlemişlerdir [11]. Cedeno vd., DSC cihazı ile saf yağ asitleri Oleik asit, Stearik asit, Palmitik asit ve bunların ikili üçlü karışımlarını hazırlamışlardır. Erime sıcaklıkları ve gizli ısı gibi ısı özellikleri ile ilgili çalışma yapmışlardır [12]. Gürtürk, Elazığ ilinde ve güneş ışınımının düşük olduğu Kasım ayında, sıcak su tankının, sıcak su ve yalıtım malzemesi arasına FDM'nin bırakılacağı bir depo yaparak, bu depoya, iki farklı saf FDM'nin karışımı ile elde edilen ötektik FDM eklenmiştir. Sistemin FDM'li ve FDM' siz olarak enerji analizlerini yapmıştır [13]. Koca vd, düz plakalı güneş kollektöründe gizli ısı depolama sistemi için FDM kullanarak, enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Ekim ayında yapmış oldukları analizlerin ortalama net enerjisinin ve ekserjisinin verimlerinin sırasıyla %45 ve %2,2 olduğunu belirtmişlerdir [14]. Literatürde, FDM'nin ısı özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların yanı sıra, FDM'nin ısı özelliklerini iyileştirmek için yapılan çalışmalarda mevcuttur.

Khodadadi ve Hosseinizadeh, nano parçacık katkılı FDM'nin incelendiği bir araştırma sunmuşlardır. Elde edilen Nano Katkılı Faz Değiştiren Maddelerin (NKFDMD), temel malzemelerle kıyaslandığında gelişmiş ısı iletkenlik özelliği sergilediğini göstermişlerdir [15]. Ma vd., Stearik asit ve Benzamid'in ikili karışımlarını hazırlamışlardır. Düşük ısı iletkenliğe sahip ikili karışıma ağırlıkça %12 genişletilmiş Grafit (EG) ekleyerek ısı iletkenliğinin artırıldığı gözlemlenmiştir [16]. Xia vd., %0 ile %10 arasında değişen EG kütle oranı ile parafin maddesinin farklı oranlarda hazırlanması ve bu kompozitlerin ısı karakteristikliği üzerine çalışma yapmışlardır [17]. Şahan ve Paksoy, ısı enerji depolamada kullanılan FDM'lere ısı özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla nano Magnetit (Fe₃O₄) ve Karbon nanotüp eklentisi yapmışlardır. FDM olarak tercih edilen parafinin nano kompozitleri hazırlanarak karakterizasyonu yapmış ve ısı özelliklerini araştırmışlardır [18]. Taşkıran, ısı iletkenlikleri yüksek olan nano parçacıkları, ısı iletkenlikleri düşük olan ötektik FDM içerisine ekleyerek, NKFDMD hazırlayarak silindirik bir depo içinde erime katılma süreçlerini incelemiştir. Erime ve katılma zamanının NKFDMD'nin ötektik FDM'ye göre azaldığını belirtmiştir [5]. Lin vd., Palmitik asit ve Polivinil butiral kompozitlerine %3, %5 ve %7 oranlarında genişletilmiş Grafit eklemişlerdir. Bu kompozitlerin ısı iletkenliklerini, entalpi değerlerini, kimyasal ve kristal yapılarını incelemişlerdir [19].

Bu çalışmada Stearik asit ve Palmitik asit FDM'lerine belirli oranlarda (%1, %3, %5, %10) grafit nano parçacığı eklenerek gizli ısı, erime noktası ve ısı iletkenlik gibi termofiziksel özellikleri belirlenmiştir.

2. Materyal Metod

Çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bunlar;

- ✓ Nano parçacık katkılı homojen karışımların hazırlanması,
- ✓ Hazırlanan karışımların bazı termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi şeklindedir.

Deneysel çalışmada, %99 saflıkta Stearik Asit (C₁₇H₃₅COOH) ve Palmitik Asit (C₁₆H₃₂O₂) organik FDM'ler MERCK firmasından temin edilmiştir. Kullanılan malzemelerin bilinen fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Malzemelerin fiziksel özellikleri [20].

Malzemeler	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Yoğunluk (g/cm ³)	Erime Noktası (°C)
Stearik Asit	284,48	0,845	67-72
Palmitik Asit	256,42	0,852	61-63
Grafit	348,48	2,2	-

Deneilerin doğru şekilde yapılabilmesi için ısı kararlılığına sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, karışımlar hazırlanırken malzemeleri homojen hale getirmek için manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Manyetik karıştırıcının sıcaklık parametresi, karıştırılacak malzemenin erime noktası ve parlama noktası dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu kimyasal malzemelerin erime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklık değeri belirlenerek, hazırlanan karışımların faz değiştirerek homojen olarak karıştırılması amaçlanmıştır. Saf malzemelere belirli ağırlık oranlarında Grafit nano parçacık eklenerek hazırlanan NKFDMD'ler, manyetik karıştırıcı ile malzeme homojen olana kadar dokuz saat 85 °C'de karıştırılmıştır. Şekil 1'de karışımların hazırlanması gösterilmektedir.



Şekil 1. Karışımların manyetik karıştırıcıda hazırlanması.

Hazırlanan numunelerin erime noktası ve gizli ısı değerlerinin belirlenebilmesi için HITACHI 7010 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) kullanılmıştır. DSC, numune ısıtılırken, soğutulurken ya da sabit bir sıcaklıkta tutulurken soğurulan ya da salıverilen enerji miktarını ölçer. Bu teknik ile referans ve numuneden gelen ya da uzaklaşan ısı farkı, sıcaklığa veya zamana bağlı olarak gösterilmektedir [21]. Numunelerin, azot atmosferinde 10 °C/dak ısıtma hızıyla 15 °C'den başlayarak 90 °C'ye kadar ısıtılarak, DSC eğrileri alınmıştır. DSC eğrileri sonucunda TA7000 standart analiz programı yardımıyla erime sıcaklığı ve gizli ısı değeri belirlenmiştir. NKFDMD'lerin ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesinde KD2-Pro ısı özellik analiz cihazı kullanılmıştır. Homojen karışımlar steril plastik tüpler içine konularak cihazın SH-1 iğnesi ile ölçümler alınmıştır.

3. Bulgular

72°C'de katı-sıvı faz geçişine sahip Stearik asit ve 61-62,5°C'de katı-sıvı faz geçişine sahip Palmitik asit ile deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, asitlerin ısı özelliklerini geliştirmek için ağırlıkça %1, %3, %5 ve %10 kütle oranında grafit nano parçacıkları eklenmiştir. Palmitik asit, Stearik asit ve Grafit nano parçacığının çalışma için kullanılan miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Karışımlardaki maddelerin kütlece değerleri

Kütlece Grafit Oranları (%)	Palmitik Asit (gr)	Stearik Asit (gr)	Grafit (gr)
1	1,2	1,2	0,024
3	1,2	1,2	0,072
5	1,2	1,2	0,12
10	1,2	1,2	0,24

Kullanılan Palmitik asit, Stearik asit ve Grafit nano parçacığının ısı iletkenlik değerleri Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 3. Maddelerin ısı iletkenlik değerleri.

Malzemeler	Ölçüm	Isıl İletkenlik (W/mK)	Sıcaklık (°C)
Stearik asit	1. Ölçüm	0,148	26,75
	2. Ölçüm	0,150	27,12
	3. Ölçüm	0,153	32,66
	Ortalama	0,150	
Palmitik asit	1. Ölçüm	0,172	30,91
	2. Ölçüm	0,157	33,73
	3. Ölçüm	0,165	34,90
	Ortalama	0,164	
Grafit	1. Ölçüm	0,143	25,45
	2. Ölçüm	0,147	24,96
	3. Ölçüm	0,149	25,26
	Ortalama	0,146	

Bu kimyasal malzemelerinin saf hallerinin ısı iletkenlik değerleri ölçülmüş olup, sırasıyla 0,150, 0,164, 0,146 W/mK olarak bulunmuştur. Stearik Asit ve nano parçacık katkısı ile hazırlanan NKFDMD'lerin KD2 Pro ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. NKFDMD (Stearik asit – Grafit) ısı iletkenlik değerleri.

NKFDMD	Ölçüm	Isıl İletkenlik (W/mK)	Sıcaklık (°C)
Stearik Asit- %1 Grafit	1. Ölçüm	0,191	28,29
	2. Ölçüm	0,190	32,10
	3. Ölçüm	0,189	35,50
Ortalama	0,190		
Stearik Asit- %3 Grafit	1. Ölçüm	0,202	27,13
	2. Ölçüm	0,189	32,34
	3. Ölçüm	0,188	34,60
Ortalama	0,193		
Stearik Asit- %5 Grafit	1. Ölçüm	0,298	26,00
	2. Ölçüm	0,285	29,86
	3. Ölçüm	0,271	28,41
Ortalama	0,284		
Stearik Asit- %10 Grafit	1. Ölçüm	0,255	27,95
	2. Ölçüm	0,255	29,42
	3. Ölçüm	0,259	29,35
Ortalama	0,256		

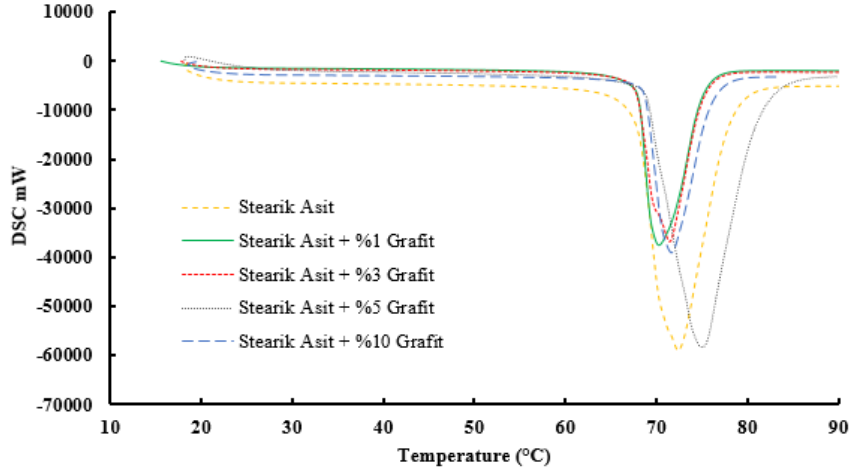
Tablo 4'de verilen sonuçlar göz önüne alındığında Stearik aside %5 Grafit nano parçacığı eklentisi yapıldığında ısı iletkenlik değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmaya göre nano parçacık katkısının FDM'nin saf haline göre ısı iletkenlik değerini arttırdığı gözlemlenmektedir.

Tablo 5'de Palmitik asit ve Grafit nano parçacık katkısı ile hazırlanan NKFDMD'lerin KD2 Pro ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri verilmektedir. Tablo 5'de ki sonuçlara göre Palmitik asit %10 Grafit nano parçacığı eklentisi yapıldığında ısı iletkenlik değerinin diğer numune sonuçları incelendiğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da Stearik asit ile hazırlanan NKFDMD'lerde olduğu gibi, nano parçacık katkısının FDM'nin saf haline göre ısı iletkenlik değerini arttırdığı gözlemlenmektedir.

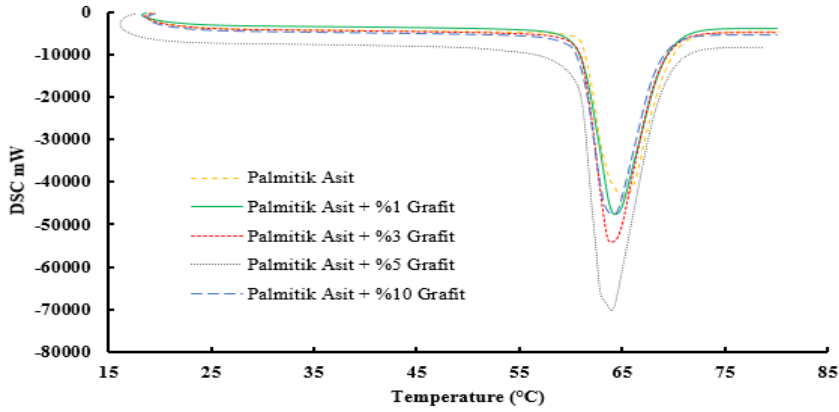
Tablo 5. NKFDMD (Palmitik asit – Grafit) ısı iletkenlik değerleri.

NKFDMD	Ölçüm	Isıl İletkenlik (W/mK)	Sıcaklık (°C)
Palmitik	1. Ölçüm	0,185	29,91
Asit- %1	2. Ölçüm	0,186	31,69
Grafit	3. Ölçüm	0,183	33,02
	Ortalama	0,184	
Palmitik	1. Ölçüm	0,221	30,75
Asit- %3	2. Ölçüm	0,202	32,26
Grafit	3. Ölçüm	0,208	33,55
	Ortalama	0,210	
Palmitik	1. Ölçüm	0,200	32,94
Asit- %5	2. Ölçüm	0,197	33,23
Grafit	3. Ölçüm	0,198	33,74
	Ortalama	0,198	
Palmitik	1. Ölçüm	0,282	31,84
Asit- %10	2. Ölçüm	0,271	32,47
Grafit	3. Ölçüm	0,259	32,70
	Ortalama	0,270	

Şekil 2’de Stearik asit-Grafit karışımlarının, Şekil 3’ te ise Palmitik asit-Grafit karışımlarının DSC analizleri yer almaktadır.



Şekil 2. Stearik asit- Grafit karışımlarının DSC grafikleri.



Şekil 3. Palmitik asit- Grafit karışımlarının DSC grafikleri.

Saf Stearik asit, nano katkı karışımlara göre daha fazla oranda enerjiyi absorbe etmiştir. Ayrıca erime başlangıç-bitiş sıcaklığı arasında farklılıklar görülmemiştir. Ancak %5 nano Grafit katkı Stearik asitte bu durumun farklı olduğu görülmektedir. Palmitik asitte ise nano katkının erime başlangıç bitiş sıcaklığı arasında etkili olmadığı bulunmuştur. Palmitik asite yapılan %5'lik nano katkının daha fazla enerjiyi absorbe ettiği görülmüştür. %5'lik nano katkının asit bazlı FDM grubunda enerji absorbe oranını değiştirdiği belirlenmiştir. DSC sonuçları incelendiğinde NKFDMD'lerden elde edilen veriler Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. NKFDMD'lerin DSC ile elde edilen termofiziksel değerleri.

NKFDMD	Gizli Isı (J/g)	Erime Sıcaklığı (°C)
Stearik asit	226	72,4
Stearik asit - %1 Grafit	226	70,21
Stearik asit - %3 Grafit	211	71,6
Stearik asit - %5 Grafit	202	74,9
Stearik asit - %10 Grafit	192	71,74
Palmitik asit	222	65,07
Palmitik asit - %1 Grafit	204	64,37
Palmitik asit - %3 Grafit	210	63,95
Palmitik asit - %5 Grafit	220	63,88
Palmitik asit - %10 Grafit	197	64,17

NKFDMD'lerin gizli ısı ve erime sıcaklığı değerlerine göre Stearik asit için %1 Grafit katkı, Palmitik asit için ise %5 Grafit katkı hallerinin gizli ısı depolama kapasitesinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Tablo 7'de ısıl iletkenlik değerlerinin oransal olarak karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 7. Isıl iletkenliklerin oransal olarak karşılaştırılması.

Nano oranları	Stearik Asit	Palmitik Asit
%0	0,150	0,164
%1	0,190 (+%26)	0,184 (+%12)
%3	0,193 (+%28)	0,210 (+%28)
%5	0,284 (+%89)	0,198 (+%20)
%10	0,256 (+%70)	0,270 (+%64)

Nano katkı eklendiğe ısıl iletkenliğin arttığı gözlemlenmiştir. Optimum değer için nano katkı oranının oransal değeri önemlidir.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada öncelikle saf Stearik asit ve Palmitik asit FDM'lerinin erime sıcaklığı gizli ısı depolama kapasitesi, ısıl iletkenlik gibi termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu FDM'lere farklı kütle oranlarında (%1, %3, %5, %10) Grafit nano parçacık eklenerek, termofiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

Deneysel bulgular neticesinde nano parçacık eklentisinin FDM'lerin ısıl iletkenlik değerlerinin saf hallerine göre arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan nano parçacık katkısı ile birlikte erime sıcaklığı değerlerinin Stearik asit için 70,21 ile 74,9 °C, Palmitik asit için ise 63,88 ile 64,37 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunlara ek olarak gizli ısı depolama kapasitesinin Stearik asitte, nano parçacık katkısının kütle olarak artan oranlarda yapılması durumunda azaldığı, Palmitik asitte, kütlece %1, %3, %10 oranında yapılan nano parçacık eklentisinde azaldığı, %5'te ise saf halindeki gizli ısı depolama kapasitesine yakın olduğu sonucu elde edilmiştir.

Elde edilen Nano Katkılı Faz Değiştiren Maddelerin, saf halleriyle kıyaslandığında gelişmiş ısıl iletkenlik özelliği sergilediği görülmektedir. Stearik asit için %5, Palmitik asit için %10 Grafit nano parçacığı eklendiğinde ısıl iletkenlik değerlerinin, diğer nano katkı oranlarına göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Erime sıcaklığını başlama ve bitiş değerleri açısından Stearik asitin nano katkısıyla daha dar bir aralıkta gerçekteştiği görülmüştür. Bu parametrelere göre değerlendirildiğinde uygulama yerine uygun NKFDMD'nin seçilmesinde elde edilen bu bulguların faydalı olacağı düşünölmektedir.

Kaynaklar

- [1] Yılmazoğlu, M.Z. Isı depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması, *Politeknik Dergisi*, 2010; 13: 33-42.
- [2] Konuklu, Y., Ersoy, O., Paksoy, H.Ö., Evcimen, S., Çelik, S. ve Toraman, Ö.Y. Termal enerji depolama materyali olarak diatomit/faz değıştiren madde kompozitlerinin üretilmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017; 6(1): 238-243.
- [3] Sharma, S.D. and Sagara, K. Latent heat storage materials and system: A review, *International Journal of Green Energy*, 2005; 2: 1-56.
- [4] Dincer, İ. and Rosen, M.A. *Thermal energy storage systems and applications*. Canada: Wiley Publication, 2011.
- [5] Taşkıran, A. Nano boyutlu parçacık katkılı yeni nesil faz değıştiren maddelerin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2013.
- [6] Koca, A., Yamaç, H.İ. and Üregen, T.G. Computational Fluid Dynamic Analysis of Phase Change Material Heat Storage Tank Have Spiral Coil Pipe. 1st International Engineering and Technology Symposium; 3-5 May 2018 , Batman: pp. 34-37.
- [7] Yamaç, H.İ. and Koca, A. Numerical Analysis on Phase Change Materials Used in Thermal Energy Storage Tank. International Conference on Innovative Engineering Applications, 20-22 September 2018, Sivas: pp. 841-847.
- [8] El-Bassuoni, A-M.A., Tayep, A.M., Helwa, N.H., and Fatyh, A.M. Modification of urea-sodium acetate trihydrate mixture for solar energy storage, *Renewable Energy*, 2003; 28: pp. 1629-1643.
- [9] Sarı, A. (2003). Thermal reliability test of some fatty acids as PCMs used for solar thermal latent heat storage applications, *Energy Conversion & Management*, 44(14): 2277-2287.
- [10] Feldman, D., Shapiro M.M., and Banu D. Organic phase change materials for thermal energy storage, *Solar Energy Materials*, 1986; 13(1): pp. 1-10.
- [11] Nazir, H., Batoöl, M., Ali, M. and Kannan, A.M. Fatty acids based eutectic phase change system for thermal energy storage applications, *Applied Thermal Engineering*, 2018; 142: pp. 466-475.
- [12] Cedeno, F.O., Prieto, M.M, Espina, A. and Gracia, J.R. Measurements of temperature and melting heat of some pure fatty acids and their binary and ternary mixtures by DSC, *Thermochimica Acta*, 2001; 369(1-2): pp. 39-50.
- [13] Gürtürk, M., Koca, A., Öztöp, H.F., Varol, Y. and Şekerci, M. Energy and exergy analysis of a heat storage tank with a novel eutectic phase change material layer of a solar heater system, *International Journal of Green Energy*, 2017; 14(12): pp. 1073-1080.
- [14] Koca, A., Öztöp, H.F., Koyun, T. and Varol, Y. Energy and exergy analysis of a latent heat storage system with phase change material for a solar collector, *Renewable Energy*, 2008; 33, pp. 567-574.
- [15] Khodadadi, J.M. and Hosseinzadeh, S.F. Nanoparticle-enhanced phase change materials (NEPCM) with great potential for improved thermal energy storage, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2007; 34(5): pp. 534-543.
- [16] Ma, G., Sun, J., Zhang, Y., Jing, Y. and Jia, Y. Preparation and thermal properties of stearic acid-benzamide eutectic mixture/expanded graphite composites as phase change materials for thermal energy storage, *Powder Technology*, 2019; 342: pp. 131-140.
- [17] Xia, L., Zhang, P. and Wang, R.Z. Preparation and thermal characterization of expanded graphite/paraffin composite phase change material, *Carbon*, 2010; 48(9): pp. 38-48.
- [18] Şahan, N. ve Paksoy, H.Ö. Faz değıştiren maddelerin nano malzemelerle kullanımının araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2013; 29(4): 24-30.
- [19] Lin, Y., Zhu, C., Alva, G. and Fang, G. Palmitic acid/polyvinyl butyral/expanded graphite composites as formstable phase change materials for solar thermal energy storage, *Applied Energy*, 2018; 228: pp. 1801-1809.
- [20] <http://www.merckmillipore.com>, 12 Kasım 2018.
- [21] Beşergil, B., *Enstrümantal Analiz Temel İlkeler*. Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi: 2015.