

AKÜ FEMÜBİD 17 (2017) 025703(683-690)
DOI: 10.5578/fmbd.57516

AKU J. Sci. Eng. 17 (2017) 025703(683-690)

Araştırma Makalesi / Research Article

Isıl Enerji Depolama Amaçlı Yapıca Kararlı Yeni Bir Faz Değişim Malzemesi Olarak Silikafume /Polietilen Glikol (PEG) Kompoziti

Alper BİÇER¹, Ahmet SARI²

¹ Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Tokat.

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

e-posta: alper.bicer@gop.edu.tr

Geliş Tarihi: 21.06.2016 ; Kabul Tarihi: 08.08.2017

Özet

Bu çalışma yapıca kararlı yeni bir faz değişim materyali olarak silikafume / polietilen glikol(PEG) kompozitinin hazırlanması, karakterize edilmesi ve ısı enerjisi depolama özelliklerinin belirlenmesi üzerine amaçlanmıştır. Kompozitler PEG'insilikafume içine vakum altında emdirme yöntemiyle hazırlanmıştır. Erimiş PEG silikafume içerisinde akma davranışı göstermeden %30 oranında hapsedilebilmiştir. Üretilen kompozit faz değişim malzemesi (FDM); SEM ve FT-IR analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Kompozit FDM'nin ısı enerjisi depolama özellikleri DSC analizleri ile belirlenmiştir. DSC analiz sonuçları kompozit FDM'nin erime noktasının ve erime entalpisinin sırasıyla 27.70 °C ve 87.09 J/g olduğunu göstermiştir. Çok sayıda gerçekleştirilen ısıtma-soğutma döngüleri sonucunda kompozit FDM'lerinin kimyasal olarak kararlı ve enerji depolama özelliklerini önemli düzeyde koruduğunu göstermiştir. TG analiz sonuçları silikafumeye emdirilen PEG'in termal kararlılığının yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Kompozit FDM'lerin ısı iletkenliği farklı oranlarda karbon nano tüp (CNTs) ilave edilerek artırılmıştır. Ayrıca CNTs ilavesinin kompozit FDM'nin ısı enerjisi depolama ve salıverme süreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler

PEG; Silikafume;
Kompozit FDM; ısı
özellikleri; ısı enerjisi
depolama.

Silicafume/Polyethylene glycol (PEG) composite as a novel form-stable phase change material for thermal energy storage

Abstract

This paper is aimed to prepare, characterize, and determine thermal energy storage properties of silicafume/polyethyleneglycol(PEG) composite as a novel form-stable composite phase change material(PCM). The composite PCM was prepared by incorporating PEG in the silicafume by using vacuum impregnation method. The PEG could be retained by 30 wt% into the silicafume without the leakage of melted PEG from the composite. The composite PCM was characterized by using SEM and FT-IR analysis techniques. Thermal energy storage properties of the composite PCMs were determined by DSC analysis. DSC results showed that the melting temperature and latent heat of the composite PCMs are 27.70 °C and 87.09 J/g, respectively. Thermal cycling test was conducted to determine the thermal reliability of the composite PCM and the results showed that the composite PCM had good thermal energy storage reliability and chemical stability. TG analysis revealed that the impregnated PEG into the silicafume had good thermal stability. Thermal conductivity of the composite PCM was improved by adding carbon nanotubes (CNTs) in different mass fractions. The effect of CNTs addition on the thermal energy storage/release times of the produced composite PCM was also tested.

Keywords

PEG; Silicafume;
Composite PCM;
Thermal properties;
Thermal energy
storage.

1. Giriş

Termal enerji depolama (TED) gelecekte karşılaşılabilecek enerji ihtiyacı için bir anahtar rolü oynamaktadır. Termal enerji depolamanın; Duyulur ısı depolanma, gizli ısı depolama ve geri dönüşümlü kimyasal reaksiyonlarla ısı depolama şeklinde üç çeşidi vardır. Bunlar arasında faz değişim materyali (FDM) kullanarak gizli ısı depolama yöntemi yüksek enerji depolama miktarı ve izotermal özellikler gibi avantajlardan dolayı daha etkili ve verimli bir yöntemdir (Hadjieva et al. 1992), (Rozanna et al. 2005).

Son zamanlarda yapı malzemeleri içerisinde FDM ilave ederek enerji depolama ve bina iklimlendirme amaçlı çalışmalar yapılmaktadır (Haves et al. 1993), (Yamada and Fukai 2005), (Sarı et al. 2008). Yapılan çalışmaların çoğu makro kapsülleme ve yapı malzemeleri içerisinde FDM ilavesi ile ilgilidir (Schossing et al. 2005), (Schossing et al. 2003), (Neeper D.A. 2000), (Khudhair et al. 2003). Ancak FDM'yi kapsülleyip yapı malzemesi içerisinde ilave etmek daha fazla iş gücü ve daha fazla maliyet anlamına gelmektedir. Ayrıca kapsülleme işleminden sonra yapı malzemesinin ısı transfer ve ısı iletkenliği düşmektedir. FDM'nin yapı malzemesine doğrudan ilave edilerek emdirilmesi bütün bu dezavantajların üstesinden gelinerek yapı endüstrisi için elzem bir ısı enerji depolama malzemesi üretilmesi anlamına gelmektedir (Zhou et al. 2009), (Feldman et al. 1991), (Mehling et al. 2002). Son yıllarda, inorganik organik ve bunların karışımı gibi pek çok türde FDM yapı malzemeleri içerisinde ilave edilerek kullanılmaktadır (Nomura et al. 2009), (Feldman et al. 1995), (Hadjieva et al. 2000), (Haves and Feldman 1992). Polietilen glikol (PEG), uygun faz değişim sıcaklığı, yüksek gizli ısı kapasitesi, düzgün erime davranışı, toksik olmama, aşırı soğuma davranışı göstermeme, düşük buhar basıncı, erime katılaşma esnasında hacim değişimi göstermeme, yüksek kimyasal ve termal kararlılık gibi özelliklerinden dolayı oldukça dikkat çekmektedir. Ayrıca PEG doğrudan yapı malzemesinin gözenekleri içerisinde hapsedilebilir. (Pielichowski and Flejtuch 2002), (Alkan et al. 2006). Silikafume, 0,1-0,2 µm partükül çapındadır ve kristal silika ferrosilikon alaşımı üretiminde yan ürün

olarak elektrikli ark fırınlarında üretilmektedir (Soltan et al. 2005). Silikafume yüksek saflaştırma maliyetine sahip çevre ve atmosfer kirliliğine sebep olan endüstriyel bir atıktır. Bu yan ürünü yapı sektöründe kullanarak değerlendirmek çevrenin korunması açısından oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca silikafume yıllarca çimentonun dayanıklılığını arttırdığı için katkı maddesi olarak kullanılmıştır (Bar-Nes et al. 2011).

Bu çalışmanın amacı yeni bir FDM olarak Silikafume/PEG kompozit materyali hazırlamak ve karakterize etmektir. Vakumda emdirme metoduyla hazırlanan kompozitin kimyasal ve morfolojik yapıları FT-IR spektroskopisi ve SEM analiz yöntemleriyle aydınlatılmıştır. Isıl enerji depolama özellikleri ve termal dayanımları sırasıyla Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve Termogravimetrik analiz (TG) ile belirlenmiştir. Ayrıca karbon nanotüp (CNTs) ilave edilerek ısı iletkenlik değerleri iyileştirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise, ilave edilen CNTs ile birlikte kompozit FDM'nin faz değişim sürelerindeki değişim incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyaller

Polietilen glikol (PEG 600, %98, e.n: 8-12°C) ve Karbon nano tüp (CNTs) Merk'ten temin edildi. Silikafume BEG-TUG mineral ve madencilikten (İstanbul, Türkiye) temin edildi. Silikafümenin kimyasal bileşimi tablo 2.1' de verilmiştir.

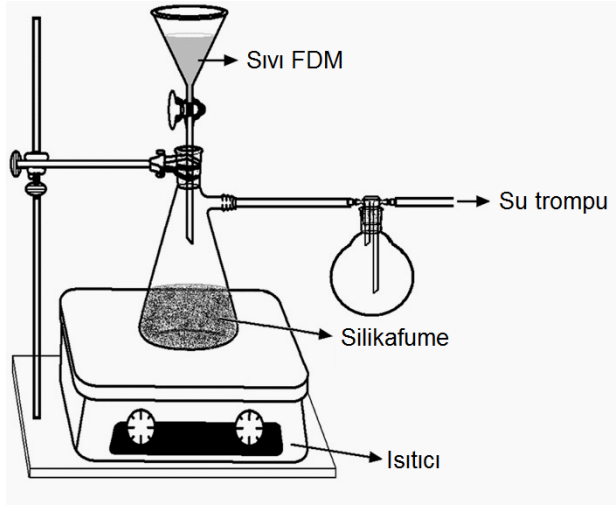
Tablo 2.1 Silikafume'nin kimyasal bileşimi.

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Diğer
Oran (%)	94,0	3,0	1,2	0,5	0,3	1,0

2.2. Yapıca kararlı FDM kompozitlerinin hazırlanması

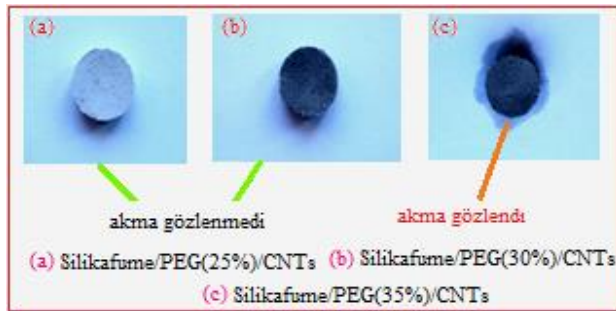
Silikafume /PEG kompozit FDM'ler Şekil 2.1' de gösterilen vakumda emdirme düzeneği kullanılarak hazırlanmıştır (Zhang et al. 2005), (Karaipekli et al. 2009). Silikafume su trompuna bağlı olan bir nüceerleninin içerisinde konmuştur. Daha sonra huni ve nüceerleni arasındaki musluk açılarak erimiş halde bulunan PEG₆₀₀'ün silikafume ile etkileşimi

sağlanmıştır. 90 dakika boyunca yaklaşık 65 kPa şiddetinde vakum uygulanarak eriyik halde bulunan PEG₆₀₀'ün silikafume gözeneklerinin içerisine etkili bir şekilde nüfuz edip hapsolmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.1. Vakumda emdirme sisteminin şeması

Bu işlem farklı kütle oranlarında da (%20, 25, %30, %35) Silikafume /PEG kompozitleri için tekrarlanmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan kompozitler eş zamanlı olarak PEG' in erime sıcaklığının üzerine çıkacak şekilde ısıtılarak akma davranışı gösterip göstermediği incelenmiştir (Şekil 2.2). Maksimum PEG hapsedme oranı toplam ağırlığın %30 olarak bulundu ve bu kompozit yapıca kararlı kompozit olarak değerlendirilmiştir. Yapıca kararlı FDM'nin ısı iletkenliklerini arttırmak için kütlece %1, %3 ve %5 oranında CNTs eklenmiştir. Isıl iletkenlik ölçümleri Dekagon KD2 ısıl özellik analizörü ile yapılmıştır.



Şekil 2.2. Hazırlanan kompozit FDM'lere uygulanan akma testi sonuçları

2.3. Analiz Metotları

Yapıca kararlı kompozit FDM'lerin yüzey özellikleri LEO 440 model SEM kullanılarak incelenmiştir. FT-

IR spektrumları Jasco 430 model FT-IR kullanılarak elde edilmiştir. FT-IR analizleri için FDM'ler 1:100 oranında KBr ile karıştırılarak 13 ton basıç altında peletler oluşturulmuştur. FT-IR spektrumları 4000-400 cm⁻¹ dalga boyu aralığında elde edilmiştir.

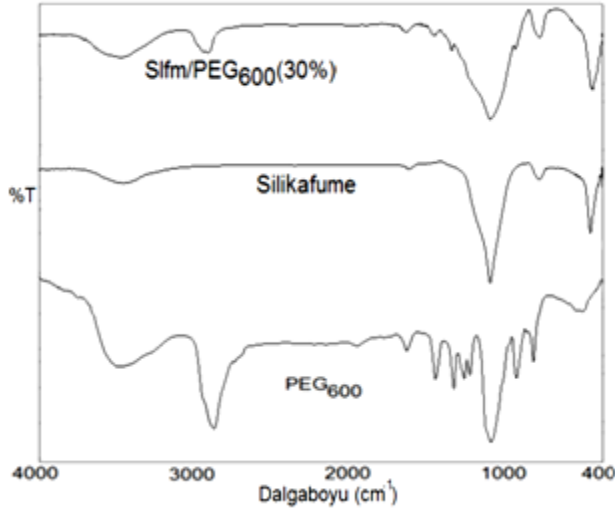
FDM'lerin erime-katılma faz değişim sıcaklıkları ve bu esnada depoladıkları-salıverdikleri gizli ısı değerleri Perkin-Elmer Jade model DSC kullanılarak ölçülmüştür. DSC analizleri 5°C/dakika ısıtma-soğutma hızıyla ve azot atmosferi altında yapılmıştır. FDM'lerin ısıl kararlılıklarının belirlenmesinde Perkin Elmer TGA7 model Termogravimetrik analiz cihazı (TGA) kullanılmıştır. Kompozit FDM'lerin ısıl güvenilirliklerinin belirlenmesi için çok sayıda tekrarlanan ısıtma-soğutma döngüsüne maruz bırakılmıştır. 1000 kez tekrarlanan ısıtma-soğutma periyodu sonrasında FT-IR ve DSC analizleri tekrarlanarak kompozit FDM'nin kimyasal özelliklerinde, erime-katılma sıcaklığı, ısıl enerji depolama gibi ısıl özelliklerinde değişiklik olup olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, yapıca kararlı kompozit FDM'nin erime-katılma süreleri farklı oranlarda karbon nanotüp içeren kompozitler için karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Hazırlanan silikafume/PEG kompozit FDM'nin karakterizasyonu

PEG₆₀₀ ve Silikafume arasındaki absorpsiyonun aydınlatılması için kompozit FDM'lerin FT-IR analizleri yapılmıştır. Şekil 3.1'de 950, 1106, 1249, 1297, 1351, 1455, 2871, ve 3357 cm⁻¹'de PEG₆₀₀' e ait karakteristik pikler görülmektedir. Bunlardan 1106 cm⁻¹'deki C-O fonksiyonel gruplarına ait gerilme titreşimleri, 3357 cm⁻¹'deki ise O-H fonksiyonel gruplarına ait gerilme titreşimleridir. 2871 ve 950 cm⁻¹'de ise PEG₆₀₀'ün -CH₂ gruplarına ait gerilme titreşimleri vardır. Saf silikafumeye ait gerilme pikleri ise 3748, 1652, 1195, 1093, ve 792 cm⁻¹'de bulunmaktadır. Bunlardan 3748 cm⁻¹'deki (Si-O-H) gruplarına, 1093 cm⁻¹'deki siloksan (-Si-O-Si-) gruplarına, 792 cm⁻¹'deki ise SiO-H gruplarına ait titreşim bantlarıdır. PEG/Silikafume kompozit FDM'nin FT-IR spektrumuna baktığımızda 951, 1351, 1454, 1473, 1628 ve 1641 cm⁻¹'de PEG' e ait

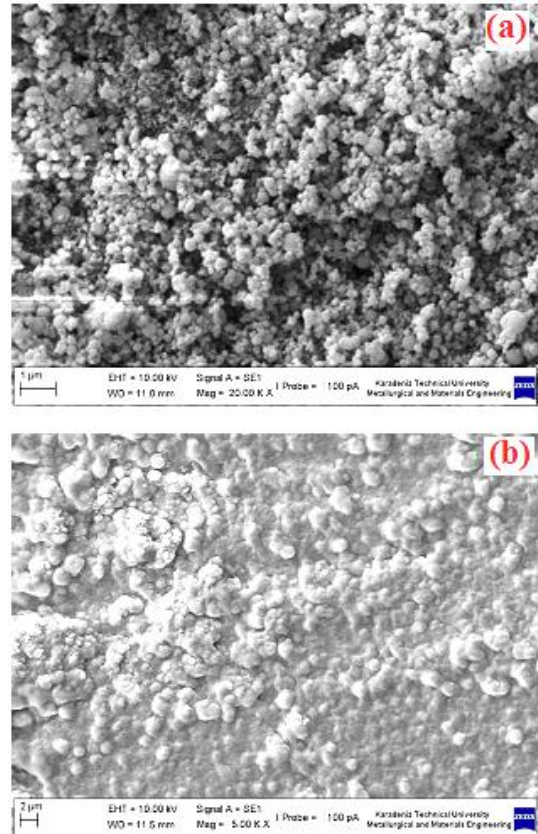
karakteristik piklerin oluştuğu açıkça görülmektedir.



Şekil 3.1. Silikafume, PEG₆₀₀ ve hazırlanan silikafume/PEG₆₀₀(%30) için elde edilen FT-IR spektrumları

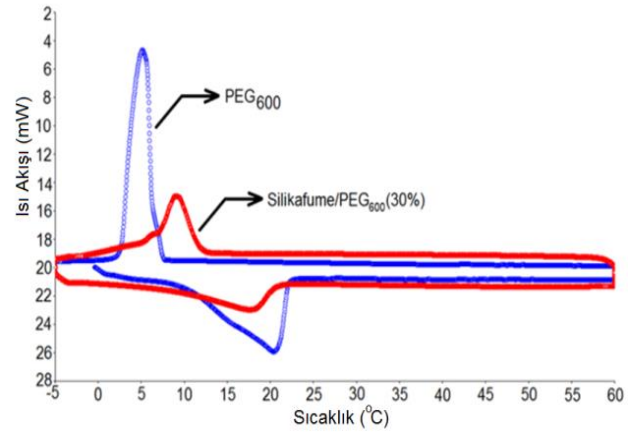
Sonuçlar incelendiğinde yeni tür piklerin oluşmadığı fakat PEG'e ait piklerin dalga boylarında bazı kaymaların olduğu görülmektedir. Bütün bu bulgular PEG ve silikafume arasında kimyasal bir etkileşim değil fiziksel bir etkileşim olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak PEG₆₀₀ başarılı bir şekilde yerleşmiş, yüzey gerilimi ve kapilarite gibi fiziksel kuvvetlerle silikafume içerisinde tutunmuştur (Karaipekliand Sarı 2009), (Fang et al. 2008).

Şekil 3.2(a-b) sırasıyla silikafumeye PEG emdirilmeden önceki ve sonraki SEM fotoğraflarını göstermektedir. Şekil 3.2(a)'da silika fümenin tipik küresel partiküllerden meydana gelmiş morfolojisi görülmektedir. Şekil 3(b)'de ise, PEG'in destek materyali olarak kullanılan bu küresel partiküller arasında tamamen homojen bir biçimde dağılarak hapsoldüğü görülebilmektedir. Ayrıca, küresel silika partiküllerinin PEG içerisinde gömülü halde bulunduğu söylenebilir. Bu yapı kompozit materyale mekanik dayanıklılık sağlamaktadır. Bu sayede PEG'in erime sıcaklığının üzerinde bile kompozit yüzeyinden akma davranışı göstermemektedir.



Şekil 3.2. SEM fotoğrafları (a) saf silikafume (b) yapıca kararlı kompozit FDM

3.2. Saf PEG ve hazırlanan yapıca kararlı FDM'nin ısı enerji depolama özellikleri



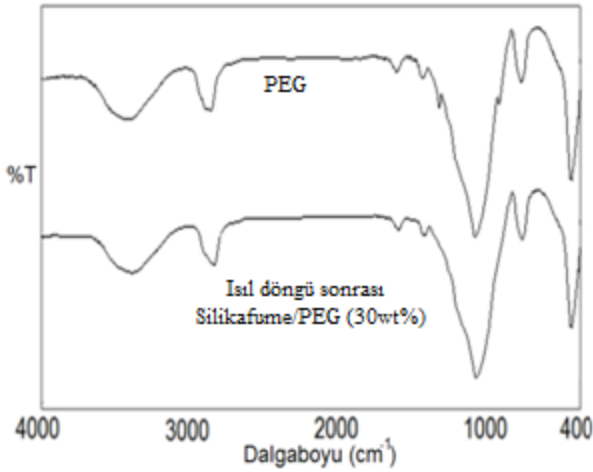
Şekil 3.3. PEG₆₀₀ ve yapıca kararlı silikafume/PEG₆₀₀ kompozitinin DSC spektrumu

Şekil 3.3 PEG₆₀₀ ve silikafume/PEG₆₀₀ kompozitine ait DSC spektrumlarını göstermektedir. Erime ve katılma sıcaklıkları saf PEG için 9.85 ve 6.42°C, kompozit FDM için ise bu değerler; 6.08 ve 12.54°C olarak belirlenmiştir. PEG'in erime sıcaklıklarında meydana gelen küçük değişiklikler FT-IR analizi ile karakterize edilen fiziksel kuvvetlerden

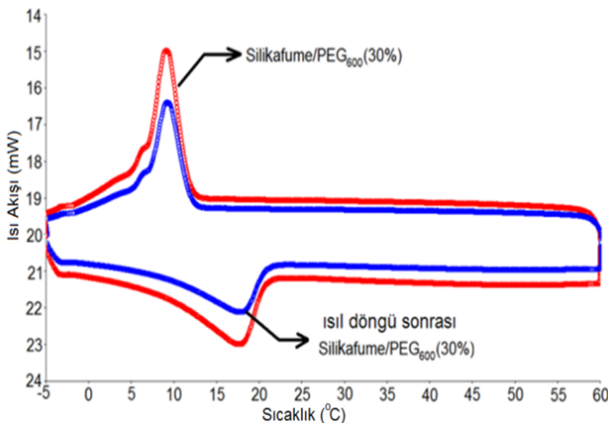
doğmaktadır(Radhakrishnan and Gubbins 1999), (Zhang et al.2004). Diğer yandan erime ve katılma gizli ısıları saf PEG için 126.61 ve -136.85 J/g, kompozit FDM için ise 31.13 ve -42.33 J/g' dir. Bu sonuçlar dikkate alınarak; hazırlanan kompozit FDM'nin bina içi soğutma uygulamaları için oldukça uygun faz değişim sıcaklığına sahip olduğu ve bu amaçla kullanım için yeterli düzeyde ısı enerji depolama/salırma kapasitesine sahip olduğunu ifade etmek mümkündür.

3.3.Yapıca kararlı silikafume/PEG kompozitinin ısı enerji depolama karakteristiklerindeki güvenilirlik

Kompozit FDM'lerin çok sayıda erime-katılma işleminden (uzun vadeli kullanım) sonrasında bile kimyasal yapısını ve ısı özelliklerini koruması beklenir. Hazırlanan kompozit FDM'nin ısı güvenilirliğinin test edilmesi amacıyla 1000 kez tekrarlanan erime-katılma döngüsüne maruz bırakılmıştır.



Şekil 3.4. Isıl döngü işlemi öncesi ve sonrasında silikafume/PEG kompozitininFT-IR spektrumu

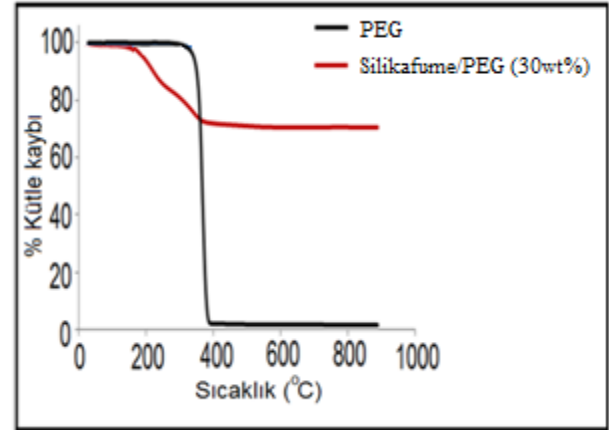


Şekil 3.5. Isıl döngü işlemi öncesi ve sonrasında silikafume/PEG kompozitininDSC spektrumu

Tablo 3.1. Isıl döngü işlemi öncesi ve sonrasında silikafume/PEG kompozitininDSC verileri.

KompozitMateryal	Isıtma periyodu		Soğutma periyodu	
	Erimesi başlangıcı (°C)	Erimesi bittiği (J/g)	Katılma sıcaklığı (°C)	Katılma gizliliği (J/g)
Silikafume/PEG ₆₀₀ (30%)	6.08	31.13	12.54	-42.33
Silikafume/PEG ₆₀₀ (30%) (ısı döngü sonrası)	6.85	26.94	11.65	-37.65

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 kompozit FDM' lerin 1000 kez tekrarlanan ısı döngü işleminden sonraki FT-IR ve DSC spektrumlarını göstermektedir. FT-IR spektrumundan kompozitlerin verdiği titreşim ve gerilme piklerinde herhangi bir değişim olmadığı anlaşılmaktadır. Tablo 3.1' den ise ısı döngü işlemi sonrasında erime sıcaklıklarında ve ısı enerji depolama miktarlarında önemli ölçüde bir değişim olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.6. Saf PEG ve üretilen silikafume/PEG kompozitine ait TG spektrumu.

Şekil 3.6'da saf PEG ve hazırlanan yapıca kararlı silikafume/PEG kompozitine ait TG analiz sonuçları görülmektedir. TG eğrilerinden de görüldüğü gibi, PEG'in bozunması 270°C'de başlayıp 395°C'de biterken Silikafume/PEG kompoziti ise 200°C'de başlayıp 390°C'de bitmiştir. Bu bozunma başlangıcı toplam kütle kütlece %29.2'sine karşılık gelmektedir. Bu oran; PEG' in yaklaşık %30 oranında silikafume içerisinde hapsedildiğini doğrulamaktadır. Diğer taraftan, kompozite ait birinci bozunma başlangıcının alt sınır değeri (270°C) PEG'in faz değişim sıcaklığının (yaklaşık 6°C) oldukça üzerindedir. Bu sonuç hazırlanan kompozit

FDM'nin 270°C'ye kadar olan sıcaklığa kadar ısıl bozunmaya uğramadan rahatlıkla kullanılabileceğini ve bu bağlamda, gayet iyi bir ısıl kararlılığa sahip olduğunu söylemek mümkündür.

3.3. Yapıca kararlı kompozit FDM'nin CNTs ilavesiyle ısıl iletkenliğinin iyileştirilmesi

Faz değişim materyalinin enerji depolama ve geri salma hızı ısıl iletkenliğine büyük ölçüde bağlıdır. Bu kriter dikkate alınarak bu çalışmada hazırlanan kompozit FDM'nin ısıl iletkenliği kütlece farklı oranlarda (%1, %3 ve %5) CNTs ilavesiyle artırılmıştır.

Tablo 3.2' de Saf PEG, saf silikafume ve kütlece %1, %3 ve %5 oranlarında CNTs ilave edilmiş ve kompozitlerin ısıl iletkenlik değerleri verilmiştir.

Tablo 3.2. PEG₆₀₀, silikafume ve hazırlanan FDM'lerin ısıl iletkenlik değerleri.

Isıl iletkenlik	
Kompozit FDM	Isıl iletkenlik değeri (W/m.K)
PEG ₆₀₀	0,20
Silikafume	0,05
Silikafume/PEG ₆₀₀ (30%)/CNTs(1%)	0,11
Silikafume/PEG ₆₀₀ (30%)/CNTs (3%)	0,14
Silikafume/PEG ₆₀₀ (30%)/CNTs (5%)	0,16

Tablo 3.2 incelendiğinde kompozit FDM'lerin ısıl iletkenlik değerlerinin CNTs ilavesiyle önemli düzeyde (özellikle %5 ilavesi sonrasında) arttığı açıkça görülmektedir.

Tablo 3.3 Silikafume/PEG(%30) ve karbonnanotüp eklenen FDM'lerin termal özellikleri.

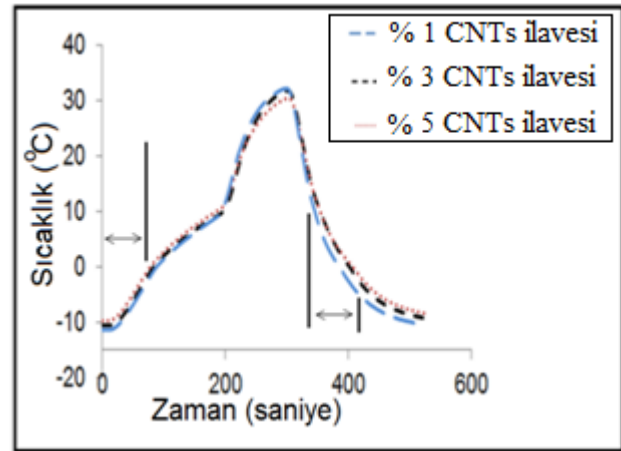
Kompozit FDM	Isıtma periyodu		Soğutma periyodu	
	Erimesic ağırlığı (°C)	Erimeği zilişisi (J/g)	Katılma sıcaklığı (°C)	Katılma gizlilişisi (J/g)
CNTs ilavesi yok	6.08	31.13	12.54	-42.33
(1%)CNTs ilavesi	6.80	31.08	13.03	-42.53
(3%)CNTs ilavesi	6.97	30.64	12.75	-40.15
(5%)CNTs ilavesi	6.90	29.96	11.79	-38.74

Tablo 3.3'te kompozit FDM'lerin CNTs ilave edildikten sonraki ısıl özellikleri verilmektedir. Tablodan da görülebileceği gibi CNTs ilave edildikten sonra erime-katılma sıcaklığı ve ısıl enerji depolama özelliklerinde büyük değişiklikler meydana gelmediği görülmektedir. Sonuç olarak yapıca kararlı kompozit FDM'nin ısıl enerji

depolama özellikleri korunarak ısıl iletkenlik değerleri iyileştirilmiştir.

3.3. CNTs ilave işleminin kompozit FDM'nin faz değişim süresi üzerindeki etkisi

Şekil 3.7' de kütlece farklı oranlarda CNTs ilave edilmiş kompozit FDM'lerin erime-katılma süreleri karşılaştırılmıştır. Kütlece %1, %3 ve %5 CNTs ilave edilmiş silikafume/PEG kompozitlerin erime süreleri sırasıyla; 81 s, 79 s ve 77 s olarak belirlenmiştir. Katılma süreleri ise sırasıyla 94 s, 90 s ve 86 s olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7. CNTs ilave edilmiş kompozit FDM'lerin erime-katılma süreleri.

Elde edilen sonuçlara göre kompozit FDM içerisindeki CNTs'nin kütlece % miktarı arttıkça erime-katılma sürelerinin de o lineer olarak azaldığı açıkça görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada vakumda emdirme yöntemi kullanılarak bir yapıca kararlı yeni bir FDM olan silikafume/PEG kompoziti hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit içerisinde PEG enerji depolayıcı FDM amacıyla kullanılırken, silikafume ise destek matrix görevini üstlenmiştir. TG analiz metoduyla PEG'in silikafume içerisinde maksimum hapsolma oranı %30 olarak belirlenmiştir. PEG ve silikafume arasındaki etkileşimler FT-IR spektrumları ile aydınlatılmış, ısıl enerji depolama ve erime-katılma sıcaklığı gibi ısıl özellikler DSC analiz metoduyla belirlenmiştir. 1000 kez gerçekleştirilen erime-katılma döngüsü sonrasında tekrarlanan

FT-IR ve DSC analizleri; üretilen kompozitin kimyasal yapısında ve ısı enerjisi depolama özelliklerinde kayda değer bir değişimin olmadığını ortaya koymuştur. TG analizleri sonucunda söz konusu kompozitin gayet yüksek ısı dayanıma sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca kompozitin ısı iletkenliği CNTs ilavesiyle iyileştirilmiş ve bu bağlamda erime-katılaşma faz değişim sürelerinde önemli ölçüde azalma tespit edilmiştir. Bütün bu elde edilen sonuçların ışığında; hazırlanan silikafume/PEG kompozitin tatmin edici ısı enerjisi depolama özellikleri ve yüksek ısı/kimyasal performansından dolayı farklı tip bina yapı malzemeleri için katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

TG analizleri için Prof. Dr. Ahmet KARADAĞ'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Alkan C., Sarı A., Uzun O., 2006. Poly (ethylene glycol)/acrylic polymer blends for latent heat thermal energy storage. *American Institute of Chemical Engineers Journal*, **52**, 3310–3314.
- Bar-NesG., Peled Y., Arbel-Haddad M., Zeiri Y., Katz A., 2011. The effect of high salt concentration on the integrity of silica-fume blended cementitious matrices for waste immobilization applications. *Materials and Structure*, **44**, 291–297.
- Fang X., Zhang Z., Chen Z., 2008. Study on preparation of montmorillonite-based composite phase change materials and their applications in thermal storage building materials. *Energy Conversion and Management*, **49**, 718–723.
- Feldman D., Banu D., Hawes D., Ghanbaria E., 1991. Obtaining an energy storing building material by direct incorporation of an organic phase change material in gypsum wallboard. *Solar Energy Materials*, **22**, 231–242.
- Feldman D., Banu D., Hawes D.W., 1995. Development and application of organic phase change mixtures in thermal storage gypsum

wallboard. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **36**, 147–157.

- Hadjieva M., Kanev St., Argirov J., 1992. Thermophysical properties of some paraffins applicable to thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **27**, 181–187.
- Hadjieva M., Stoykov R., Filipova T., 2000. Composite salt-hydrate concrete system for building energy storage. *Renewable Energy*, **19**, 111–115.
- Hamada Y., Fukai J., 2005. Latent heat thermal energy storage tanks for space heating of buildings: comparison between calculations and experiments. *Energy Conversion and Management*, **46**, 3221–3235.
- Hawes D.W., Feldman D., Banu D., 1993. Latent heat storage in building materials. *Energy and Buildings*, **20**, 77–86.
- Hawes D.H., Feldman D., 1992. Absorption of PCMs in concrete. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **27**, 91–101.
- Karaipekli A., Sarı A., 2009. Capric–myristic acid/vermiculite composite as form-stable phase change material for thermal energy storage. *Solar Energy*, **83**, 323–332.
- Karaipekli A., Sarı A., Kaygusuz K., 2009. Thermal characteristics of paraffin/expanded perlite composite for latent heat thermal energy storage. *Energy Sources Part A*, **31**, 814–823.
- Khudhair A., Farid M., Ozkan N., Chen J., 2003. Thermal performance and mechanical testing of gypsum wallboards with latent heat storage, in: Proceedings of Annex 17, Advanced Thermal Energy Storage Through Phase Change Materials and Chemical Reactions Feasibility Studies and Demonstration Projects. Indore, India,.
- Mehling H., Hieber S., Cabeza L.F., 2002. Newson the application of PCMs for heating and cooling of buildings. Advanced thermal energy storage through phase change materials and chemical reactions feasibility studies and demonstration Project. Third workshop, IEA, ECESIA Annex 17, 1–2 October, Tokyo, Japan,.
- Neeper D.A., 2000. Thermal Dynamics of wallboard with latent heat storage. *Solar Energy*, **68**, 393–403.

- Nomura T., Okinaka N., Akiyama T., 2009. Impregnation of porous material with phase change material for thermal energy storage. *Material Chemistry and Physics*, **115**, 846–850.
- Pielichowski K., Flejtuch K., 2002. Differential scanning calorimetric studies on poly(ethylene glycol) with different molecular weights for thermal energy storage materials. *Polymers for Advanced Technologies*, **13**, 690–696.
- Radhakrishnan R., Gubbins K.E., 1999. Free energy studies of freezing in slit pores: an order-parameter approach using Monte Carlo simulation. *Molecular Physics*, **96**, 1249–1267.
- Rozanna D., Salmiah A., Chuah T.G., Medyan R., Thomas Choong S.Y., Sa'ari M., 2005. A study on thermal characteristics of phase change material (PCM) in gypsum board for building application. *Journal of Oil Palm Research*, **17**, 41–46.
- Sarı A., Karaipekli A., Kaygusuz K., 2008. Capric acid and stearic acid mixture impregnated with gypsum wallboard for low-temperature latent heat thermal energy storage. *International Journal of Energy Resources*, **32**, 154–160.
- Schossig P., Henning H.M., Gschwander S., Hausmann T., 2005. Microencapsulated phase change materials integrated into construction materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **89**, 297–306.
- Schossig P., Henning H.M., Hausmann T., Raicu A., 2003. Encapsulated phase change materials integrated into construction materials, in: Proceedings of the Ninth International Conference on Thermal Energy Storage "Futurestock 2003". Warsaw, Poland, September.
- Soltan M.E., Rageh H.E., Rageh N.M.M.E., 2005. Experimental approaches and analytical technique for determining heavy metals in fallen dust at ferrosilicon production factory in Edfu, Aswan, Egypt. *Journal of Zhejiang University of Science*, **6B8**, 708–718.
- Zhang D., Wu K., Li Z., 2004. Tuning effect of porous media's structure on the phase changing behavior of organic phase changing matters. *Journal of Tongji University*, **32**, 1163–1167.
- Zhang D., Zhou J., Wu K., Li Z., 2005. Granular phase changing composites for thermal energy storage. *Solar Energy*, **78**, 471–480.
- Zhou X., Xiao H., Feng J., Zhang C., Jiang Y., 2009. Preparation and thermal properties of paraffin/porous silica ceramic composite. *Composites Science and Technology*, **69**, 1246–1249.