

# IMSMATEC

The International Conference on Materials Science,  
Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in **Cappadocia/NEVŞEHİR**  
21st-23rd JUN 2019

## Proceedings

## June 21-23, 2019

[www.imsmatec.org](http://www.imsmatec.org)



Editors

Prof. Dr. Bülent KURT

Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA

Doç. Dr. Zahide BAYER ÖZTÜRK

Dr. Nilüfer KÜÇÜKDEVECİ

## **BİLDİRİLER KİTABI**

Bu kitapta yayınlanan bildirilerin aynen yayınlanması, yazarından ve editörden yazılı izin almak koşuluyla mümkündür. Alıntı için kaynak göstermek yeterlidir.

## **PROCEEDINGS**

Publication of the communiques issued in this book is possible provided that written approval of the author and editor are taken. Given reference is sufficient for extraction.

Bu bildiri kitabı aşağıdaki adresten edinilebilir.  
This notification book can be requested from address below.

---

### **CONFERENCE SECRETARY / KONFERANS SEKRETERİ**

**Res. Asst.Serkan DAL**

**Eng. Yusuf KARACA**

Nevşehir Hacı Bektas Veli University  
Engineering-Architecture Faculty  
Metalurgy and Material Engineering  
2000 Evler Mah. Zübeyde Hanım Cad. 50300/Nevşehir/TÜRKİYE  
Phone: +90 384 228 10 00 (15051)  
Fax: +90 384 228 10 37  
**Email:** imsmatec@gmail.com

## **PREFACE**

The conference, organized by Nevsehir Hacı Bektaş Veli University, was successfully and efficiently realized with our valuable participants in Nevsehir, Cappadocia between 21 - 23 June 2019. First of all I would like to thank you for showing interest. IMSMATEC 2019 aims to present up-to-date research conducted in the field of Materials Engineering, Mechanical Engineering and Automotive Engineering for scientists, academics, engineers and students from universities, technology experts, entrepreneurs and policy makers all over the world. Thus, IMSMATEC 2019 provides opportunities for delegates to face-to-face sharing of new ideas and application experiences, to establish business or research associations and to find global partners for future collaboration. We would like to express our sincere thanks to those who spend great effort to make this event take place. We would also like to thank to İSABET MEDIA and other sponsors of IMSMATEC'19 as their names and company logos stated. We also express our gratitude to the members of Honorary Committee, Scientific Committee, Organizing Committee, Secretarial Assistance, and Students for their great effort to make the event successful. Lastly, we would like to thank to academicians, practitioners, and the experts who were joined to IMSMATEC'19 in order to share their knowledge. With the wishes to see you all at the next International Symposium...

**CHAIRMAN OF IMSMATEC'19**

Prof.Dr. Bülent KURT

Assoc. Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA



## HONORABLE CHAIRS

Prof.Dr.Mazhar BAĞLI-Rector

Prof.Dr.Serdar SALMAN-Rector

## CHAIRMEN of IMSMATEC

Prof.Dr.Bülent KURT

Assoc.Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA

## ORGANIZING COMMITTEE

Prof.Dr.Bülent BOSTAN

Prof. Dr. Can HAŞİMOĞLU

Prof.Dr. Can HAŞİMOĞLU

Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN

Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

Prof. Dr. Sermin OZAN

Prof. Dr. Sezen AKSÖZ

Prof. Dr. Yavuz SUN

Assoc.Prof. Dr.Bilal DEMİREL

Assoc. Prof. Dr. Bülent AKTAŞ

Assoc. Prof. Dr. Mustafa TÜRKMEN

Assoc. Prof.Dr. Mücahit SÜTÇÜ

Assist. Prof. Dr. Nilüfer KÜÇÜKDEVECİ

Dr. Mehmet PARLAK

## INVITED SPEAKERS



**Dr. Babachenko Oleksandr I.**

Z. I. Nekrasov Iron & Steel Institute

**UKRAINE**



**Prof. Dr. Burhanettin İNEM**

Gazi University

**TURKEY**



**Prof. Dr. Levan Chkhartishvili**

Georgian Technical University

**GEORGIA**

## Scientific Committee

Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU - Yildiz Technical University  
 Prof. Dr. Adem KURT - Gazi University  
 Prof. Dr. Adnan ÇALIK - Süleyman Demirel University  
 Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU - Gazi University  
 Prof. Dr. Alexander SYTSHEV - ISMAN, Chernogolovka, Russia  
 Prof. Dr. Ali KALKANLI - Middle East Technical University  
 Prof. Dr. Ali Ramazani - University of Michigan-Ann Arbor  
 Prof. Dr. Alpagut KARA - Eskisehir Technical University  
 Prof. Dr. Anthony D. ROLLETT - Carnegie Mellon University  
 Prof. Dr. Ashhan KARATEPE - Nevşehir Hacı Bektaş Veli University  
 Prof. Dr. A. Kneissl-Montanuniversitat Leoben  
 Prof. Dr. Barbara ALBERT - Technische Universität Darmstadt  
 Prof. Dr. Bahri ERSOY - Afyon Kocatepe University  
 Prof. Dr. Behçet GÜLENÇ - Gazi University  
 Prof. Dr. B. Wielage-TU Chemnitz  
 Prof. Dr. Bilge DEMİR - Karabük University  
 Prof. Dr. Burhanettin İNEM - Gazi University  
 Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA - Harran University  
 Prof. Dr. C.-K. Kim - KUT Cheonan  
 Prof. Dr. Carl D. Lundin - The University of Tennessee Knoxville  
 Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA - Gazi University  
 Prof. Dr. Cuma BİNDAL - Sakarya University

Prof. Dr. David K. Matlock - Colorado School of Mines  
 Prof. Dr. Dragana ZIVKOVIC - University of Belgrade  
 Prof. Dr. Duc Truong PHAM - University of Birmingham  
 Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK - Karabük University  
 Prof. Dr. E. Pernicka - Eberhard - Karls - University  
 Prof. Dr. E. Hornbogen - Ruhr - Universität Bochum  
 Prof. Dr. Emil Mihailow - University of Chemical and Technology  
 Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI - Istanbul Technical University  
 Prof. Dr. Ferhat Gül - Gazi University  
 Prof. Dr. G. Liu - Peking University  
 Prof. Dr. G. Schneider - Hochschule Aalen  
 Prof. Dr. H. H. Uchida - Tokai University  
 Prof. Dr. Hakan ATEŞ - Gazi University  
 Prof. Dr. H. Park-KUT, Cheonan  
 Prof. Dr. Peter DEARNLEY - Director at Borides Services Ltd, United Kingdom  
 Prof. Dr. H.-H. Uchida - Tokai University, Hiratsuka  
 Prof. Dr. Halil ARIK - Gazi University  
 Prof. Dr. Halis ÇELİK - Fırat University  
 Prof. Dr. Hani HENEIN - University of Alberta  
 Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI - Karabük University  
 Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU - Istanbul Technical University  
 Prof. Dr. Hüseyin TURHAN - Bitlis Eren University  
 Prof. Dr.-Ing. Holger Seidlitz-Brandenburg University of Technology (BTU)  
 Prof. Dr. Iván Enrique Campos Silva-Instituto Politécnico Nacional



# Scientific Committee

Prof. Dr. İbrahim SEVİM - Karamanoğlu Mehmetbey University  
 Prof. Dr. İhsan Efeoğlu - Atatürk University  
 Prof. Dr. Irinei RADOMIR - Transilvania University of Brasov  
 Prof. Dr. İskender IŞIK - Dumlupınar Üniversitesi  
 Prof. Dr. J. Mayer - RWTH Aachen  
 Prof. Dr. Semra Kurama - Eskisehir Technical University  
 Prof. Dr. Jahan Rasty - Texas Tech University  
 Prof. Dr. Joao MASCARENHAS - Ulusal Enerji ve Jeoloji Laboratuvarı  
 Prof. Dr. Jay Khodadadi - Auburn University  
 Prof. Dr. Jingkun XU, Technology Normal University  
 Prof. Dr. Juan Carlos Martinez-ANTON, Complutense University  
 Prof. Dr. Juan Mario GARCIA de MARIA, University of Madrid  
 Prof. Dr. Julian ANTONIAC - University Politehnica of Bucharest  
 Prof. Dr. Karl Ulrich KAINER - Helmholtz-Zentrum Geesthacht  
 Prof. Dr. Kamal Bin YUSOH - Universiti Malaysia Pahang, Malaysia  
 Prof. Dr. Kemal ALDAŞ - Aksaray University  
 Prof. Dr. K. W. Chau, Hong Kong Polytechnic University  
 Prof. Dr. Khasan S. Karimov, GIK Institute  
 Prof. Dr. Kiyotaka Matsuura - Hokkaido University  
 Prof. Dr. Kristiina Oksman - Luleå University of Technology  
 Prof. Dr. Leszek Wojnar - Cracow University of Technology  
 Prof. Dr. M. Goken - Friedrich - Alexander University  
 Prof. Dr. M. Hasnaoui, University Cadi Ayyad  
 Prof. Dr. M. Pohl, Ruhr-Universität Bochum  
 Prof. Dr. Mahdi Mahfouf-Sheffield University  
 Prof. Dr. Majid Pouranvari - Sharif University of Technology  
 Prof. Dr. Majumdar J. Datta, Indian Institute of Tehcnology Kharagpur  
 Prof. Dr. Marco Antonio Schiavon, Universidade Federal de São João Del Rei  
 Prof. Dr. Mariam Ali S A Al - Maadeed, Qatar University  
 Prof. Dr. Mehmet EROĞLU - Fırat University  
 Prof. Dr. Mehmet Gavralı - Atatürk University  
 Prof. Dr. Mehmet HANÇER - Muğla Sıtkı Koçman University  
 Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR - Cumhuriyet University  
 Prof. Dr. Messaoud Saidani, Conventry University  
 Prof. Dr. Mihai Alin POP - Transilvania University of Brasov  
 Prof. Dr. Mihai CERNAT - Transilvania University of Brasov  
 Prof. Dr. Moghtada Mobedi, İzmir High Technology Institute  
 Prof. Dr. Mohamed Bououdina, Univeristy of Bahrain.  
 Prof. Dr. Muhammad Hassan Sayyad, Ghulam Ishaq Khan Institute  
 Prof. Dr. Mustafa ANIK - Eskişehir Osmangazi University  
 Prof. Dr. Mustafa BOZ - Karabük University  
 Prof. Dr. Muzaffer ZEREN - Kocaeli University  
 Prof. Dr. Najib Laraqı, University Paris Ouest LTIE-GTE  
 Prof. Dr. Nic BARCZA - MINTEK  
 Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN - Karabük University  
 Prof. Dr. Nourah AL Senany, King Abdulaziz University  
 Prof. Dr. Nuran AY - Eskişehir Technical University  
 Prof. Dr. Onuralp YÜCEL - İstanbul Teknik University  
 Prof. Dr. Paer JÖNSSON - KTH, Sweden  
 Prof. Dr. P.D. Portella - BAM, Berlin  
 Prof. Dr. P. A. Dearnley - University of Leeds  
 Prof. Dr. Ramazan ÇITAK - Gazi University  
 Prof. Dr. Ramin Yousef, Islamic Azad University  
 Prof. Dr. Richard HOOD - University of Birmingham  
 Prof. Dr. Ridha Ben Yedder, Université de Quabec,  
 Prof. Dr. R.Vasant KUMAR University of Cambridge  
 Prof. Dr. R.H.Al Orainy, King Abdulaziz University  
 Prof. Dr. Ramazan KAÇAR - Karabük University  
 Prof. Dr. Ramazan YILMAZ - Sakarya University  
 Prof. Dr. Recep ÇALIN - Kırıkkale Üniversitesi  
 Prof. Dr. Saad Hamad BINOMRAN, King Saud Univeristy  
 Prof. Dr. Sakin ZEYİN - Sakarya University  
 Prof. Dr. Salem Seifeddine - Jönköping University  
 Prof. Dr. Sein Leung SOO - University of Birmingham  
 Prof. Dr. Serdar SALMAN - Marmara University  
 Prof. Dr. Servet TURAN - Eskişehir Technical University  
 Prof. Dr. Simona CAVALU - University of Oradea  
 Prof. Dr. Süleyman GÜNDÜZ - Karabük University  
 Prof. Dr. Şerafettin DEMİÇ - İzmir Katip Çelebi University  
 Prof. Dr. Şaduman SEN - Sakarya University  
 Prof. Dr. Tahir I. Khan, University of Bradford  
 Prof. Dr. Tanmay Basak, Indian Institute of Technology  
 Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN - Karadeniz Technical University

Prof. Dr. Tilak Dias - Nottingham Trent University  
 Prof. Dr. Uğur SEN - Sakarya University  
 Prof. Dr. Virgil GEAMAN - Transilvania University of Brasov  
 Prof. Dr. Vítor António Ferreira da Costa, Universidade de Aveiro  
 Prof. Dr. Wazirzada Aslam Farooq, King Saud University.  
 Prof. Dr. Weite Wu, National Chung Hsing University,  
 Prof. Dr. Yannis F.Missirlis - University of Patras  
 Prof. Dr. Young Sik Pyun - Sunmoon University  
 Prof. Dr. Yu Bo, China University of Petroleum  
 Prof. Dr. Yusuf Al-Turki, King Abdulaziz University  
 Prof. Dr. Yusuf Öztürk, San Diego State University  
 Prof. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ - Gazi University  
 Prof. Dr. Zaitsev, D. D., Moscow State University  
 Prof. Dr. Zaki Mohamed, Taif University.  
 Prof. Dr. Zeyad A. Alahmed, King Saud University  
 Prof. Dr. Zoubir Zouaoui, Glyndwr University,  
 Assoc. Prof. Dr. Ali Kaya GUR - Fırat University  
 Assoc. Prof. Dr. Alpay ÖZER - Gazi University  
 Assoc. Prof. Dr. Arif Uzun - Kastamonu University  
 Assoc. Prof. Dr. Ayhan ORHAN - Fırat University  
 Assoc. Prof. Dr. Cengiz BAĞCI - Hitit University  
 Assoc. Prof. Dr. Çetin ÖZAY - Fırat University  
 Assoc. Prof. Dr. Emre YALAMAÇ - Celal Bayar University  
 Assoc. Prof. Dr. Elif Eren GÜLTEKİN - Selçuk University  
 Assoc. Prof. Dr. Etimad EYVAZOV - Bartın University  
 Assoc. Prof. Dr. Fethi DAĞDELEN - Fırat University  
 Assoc. Prof. Dr. Hakan Gaşan - Eskişehir Osmangazi University  
 Assoc. Prof. Dr. Hakan GÖKMEŞE - Necmettin Erbakan University  
 Assoc. Prof. Dr. Havva KAZDAL ZEYİN - TUBİTAK MAM  
 Assoc. Prof. Dr. Igor BELIC - Institute of Metals and Technology, Slovenia  
 Assoc. Prof. Dr. İlyas SOMUNKIRAN - Fırat University  
 Assoc. Prof. Dr. Khangardas ASGAROV - Bartın University.  
 Assoc. Prof. Dr. Mehmet KAYA - Bandırma University  
 Assoc. Prof. Dr. Mehmet Özgür SEYDİBEYOĞLU - İzmir Katip Çelebi University  
 Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÜNAL - Karabük University  
 Assoc. Prof. Dr. Murat ESKİL - Aksaray Univesity  
 Assoc. Prof. Dr. M.Sabri GÖK - Bartın Univesity  
 Assoc. Prof. Dr. Osman GÖKDOĞAN - Nevşehir Hacı Bektaş Veli University  
 Assoc. Prof. Dr. Serdar ÖNSES - Erciyes Univesity  
 Assoc. Prof. Dr. Serkan ISLAK - Kastamonu University  
 Assoc. Prof. Dr. Tülay YILDIZ - Fırat University  
 Assoc. Prof. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ - Fırat University  
 Assoc. Prof. Dr. Uğur Gökmen - Gazi University  
 Assist. Prof. Dr. A.Cahit KARAOĞLANLI - Bartın University  
 Assist. Prof. Dr. Ali GÜNEN - İskenderun Technical University  
 Assist. Prof. Dr. Doğan DEMİREL - Aksaray University  
 Assist. Prof. Dr. Halil KARAKOÇ - Hacettepe University  
 Assist. Prof. Dr. Hanifi ÇİNİCİ - Gazi University  
 Assist. Prof. Dr. Kubilay KARACİF - Hitit University  
 Assist. Prof. Dr. Melika ÖZER - Gazi University  
 Assist. Prof. Dr. Mustafa ULUTAN - Eskişehir Osmangazi University  
 Assist. Prof. Dr. Nermin DEMİRKOL - Kocaeli University  
 Assist. Prof. Dr. Nurşen KOÇ - Eskişehir Osmangazi University  
 Assist. Prof. Dr. Soner BUYTOZ - Fırat University  
 Assist. Prof. Dr. Süleyman ÜSTÜN - Celal Bayar University  
 Assist. Prof. Dr. Tayfun FINDIK - Gazi University  
 Assist. Prof. Dr. Vahdettin KOÇ - Adıyaman University  
 Assist. Prof. Dr. Volkan KILIÇLI - Gazi University  
 Assist. Prof. Dr. Volkan KIRMACI - Bartın University  
 Dr. Amir A Shirzadi - Open University  
 Dr. Carl D. LUNDIN - The University of Tenessee Knoxville  
 Dr. D.Danalev - University of Chemical Technology and Metallurgy.  
 Dr. Fevzi KAFEXHIU - Institute of Metals and Technology, Slovenia  
 Dr. Sedat SÜRDEM - National Boron Research Institute  
 Dr. G.Cholakov - University of Chemical Technology and Metallurgy.  
 Dr. H Ersen BALCIOĞLU - Usak University  
 Dr. Ivan Enrique Campos SILVA - Instituto Politecnico Nacional  
 Dr. J. Carda - University Jaime I.  
 Dr. M.Bojinov - University of Chemical Technology and Metallurgy  
 Dr. Mertol GOKELMA - Norwegian University of Science and Technology, Norway

# Scientific Committee

Dr. M. Jitaru - University "Babeş-Bolyai", Cluj-Napoca  
Dr. N.Dishovsky - University of Chemical Technology and Metallurgy  
Dr. N.Yu.Bashkirceva - National Research Technological University  
Dr. Peter DEARNLEY - Birmingham University  
Dr. S.J.Allen - Queens University of Belfast, UK  
Dr. S.J.C.Feyo de Azevedo - Universidade do Porto, Portugal  
Dr. S.Kalcheva - University of Chemical Technology and Metallurgy  
Dr. V. Dimitrov - Bulgarian Academy of Sciences  
Dr. Farida Djerada - Larfi- Bejaia University

# EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CuO NANOPARTICLE ADDITIVE ON PARAFFIN HEAT STORAGE

## PARAFİNDE CuO NANOPARTİKÜL KATKISININ ISI DEPOLAMADAKİ ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Yunus DEMİRTAŞ<sup>a\*</sup>, Hüsamettin BULUT<sup>b</sup>, Gökhan DEMİRCAN<sup>c</sup>

<sup>a\*</sup> Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye, yunusdemirtas@harran.edu.tr

<sup>b</sup> Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye, hbulut@harran.edu.tr

<sup>c</sup> Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye, gdemircan@harran.edu.tr

### Özet

Isı depolama uygulamalarında kullanılan faz değiştiren malzemeler (FDM) arasında parafin ilk sırayı almaktadır. Ancak parafinin ısı iletkenlik özelliğinin düşük olması yapılan çalışmalarda ısı depolama kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Özellikle şarj-deşarj yani erime-donma işlemleri esnasında ısı iletkenliğinin düşük olması nedeniyle ısı transfer hızı da düşük olmaktadır. Parafinin ısı iletkenliğini arttırmak ve böylece ısı transfer hızını da yükseltmek için uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada parafinde CuO nanopartikül katkısının ısı depolamadaki etkisi araştırılmıştır. Kütlece %1, %2.5 ve %5 oranlarında CuO nanopartikülün eklendiği parafinin ısı özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan numunelerin şarj-deşarj sürelerinin karşılaştırıldığı çalışma sonucunda parafinin ısı transfer hızını en çok arttıran oranın 5% CuO nanopartikül oranı olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Isı depolama, CuO nanopartikül, parafin

### Abstract

Paraffin takes first place among phase-changing materials (PCM) used in heat storage applications. However, the low thermal conductivity of paraffin has a negative effect on heat storage capacity. The heat transfer rate is also low due to the low thermal conductivity during charge-discharge, melt-freezing processes. There are many ways to increase the thermal conductivity of paraffin and to increase the heat transfer rate. In this study, the effect of CuO nanoparticle additive on heat storage in paraffin was investigated. The thermal properties of the paraffin in which 1%, 2.5% and 5% CuO nanoparticles added was examined. It was determined that the use of % 5 CuO nanoparticles increased the heat transfer rate of paraffin better than the other prepared samples in terms of the charge-discharge process.

**Keywords:** Heat storage, CuO nanoparticle, paraffin

### 1. Giriş

Isı depolama; bir malzemenin, eritilmesi, katılaştırılması, soğutulması, ısıtılması veya buharlaştırılması ile enerjinin depolanması; işlem tersine çevrildiğinde de depolanan bu enerjinin

kullanılması şeklinde tanımlanabilir. Isı depolamanın yaygın kullanım alanları arasında iklimlendirme, bina ısıtma, sıcak su, sera ısıtma ve kurutma sayılabilir. Isı depolama sistemlerinin tasarımında; kullanılacak malzemenin yüksek depolama kapasitesine sahip olması, mekanik ve kimyasal kararlılığı ve depolama süresince ısı kayıplarının önlenmesi dikkat edilmesi gereken en önemli başlıklardandır [1-3]. Isı depolamanın birçok farklı uygulama alanı olmakla birlikte genel olarak aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir [4]:

\*Elektronik sistemlerin ısı uygulamaları,

\*Yapı malzemeleri ve bina uygulamaları,

\*Güneş enerjisi sistemleri,

\*Çakıl taşı yatağı dizaynı,

\*Isı değiştirici sistemleri,

\*Tekstil uygulamaları,

\*Uzay sistemleri ve yüksek teknoloji uygulamaları.

Alva ve ark. (2018) tarafından güneş enerjisi üretimi, bina termal konforu ve diğer uygulamalarda ısı depolamanın incelendiği çalışmada aktif ve pasif ısı depolama sistemlerinin tasarım parametreleri, işletme sorunları ve maliyet modeli analizleri yapılmıştır [5]. Isı depolamanın bina enerji tüketimini azaltmak üzere kullanımının incelendiği diğer bir çalışmada ısı depolama yöntemleri hakkında bilgi verilmiş ve bina uygulamalarında bu yöntemlerin seçiminde dikkat edilmesi gereken unsurlar incelenmiştir [6]. Isı depolamanın binalarda kullanımının araştırıldığı bir başka çalışmada duyulur ve gizli ısı depolama ve termokimyasal enerji depolama sistemlerinin uygulandığı binalar incelenmiş ve çalışma sonucunda ısı depolamanın iklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliğini arttırdığı gözlemlenmiştir [7].

Isı depolama; duyulur ısı ve gizli ısı depolama olarak yapılmaktadır.

Duyulur ısı depolamada, depolanan ısı miktarı Denklem 1.'de gösterildiği şekilde ifade edilir;

$$Q = mC_p\Delta T \quad (1)$$

Q, malzemede depolanan ısı miktarı (kJ), m, depolama malzemesinin kütlesi (kg),  $C_p$ , depolama malzemesinin özgül ısısı (kJ/kgK) ve  $\Delta T$ , sıcaklık değişimidir (K).

Gizli ısı depolamada ise genel olarak faz değiştiren maddelerin (FDM) özelliklerinden faydalanılır. Faz geçişi esnasında ısı, gizli ısı olarak depolanır. Faz değiştirme işlemi katı-sıvı, katı-katı ve sıvı-gaz şeklinde



depolanabilir. Depolanan ısı miktarı Denklem 2.'de gösterildiği şekilde hesaplanabilir:

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

Q, depolanan ısı miktarı (kJ), m, depolama malzemesinin kütlesi (kg) ve  $\Delta h$ , faz değişim entalpisidir (kJ/kg).

Faz değiştiren malzemeler (FDM), katı maddelere göre daha fazla enerji depolamaları ve dolayısıyla daha küçük depolama hacmine ihtiyaç duyduklarından dolayı gizli ısı depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Isıl enerji depolamada en çok incelenen FDM'lerin başında parafin gelir. Organik FDM'ler arasında parafin kolay ulaşılabilir olması sebebiyle ısıtma-soğutma sistemlerinde ısı depolama uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Parafin FDM'lerin yüksek ısı depolama kapasitelerine rağmen düşük ısı iletkenlikleri sistemlerin ısı şarj-deşarj hızını belirgin olarak sınırlamaktadır. Yüksek ısı iletkenliğe sahip nano parçacıkların ilavesi organik FDM'lerin ısı transferini önemli ölçüde arttırmaktadır [8]. FDM olarak parafin kullanılan başka bir çalışmada  $Fe_3O_4$ , CuO,  $TiO_2$  ve ZnO nanopartikülleri farklı oranlarda parafine eklenerek karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda nanopartikül eklenen parafin örneklerinin ısı depolama özelliğinin arttığı ve en iyi sonucun ağırlıkça %10 CuO katkılanan parafinde görüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca nanopartiküllerin eklenmesinin erime noktası üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı da ifade edilmiştir [9]. Parafinin ısı iletkenliğini iyileştirme amaçlı kanatçık ve parafin-grafit yapıların karşılaştırıldıkları bir çalışmada yapıların zamana bağlı sıcaklık dağılımları, şarj-deşarj ettikleri toplam ısı miktarı ve faz değiştirme hızları belirleyici faktörler olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, parafin-kanatçık yapıların ısı performanslarının, ısıdeşarj hızı ve ısı depolama kapasiteleri birlikte düşünüldüğünde, parafin-grafit ve saf parafin yapılarına göre daha gelişmiş olduğunu göstermektedir [10]. Isı pompaları, güneş enerjisi sistemleri ve uzay aracı ısı kontrol sistemleri için gizli ısı depolamanın kullanımının araştırıldığı bir diğer çalışmada, özellikle binaların ısıtma ve soğutma uygulamaları için FDM'lerin kullanımının son yıllarda arttığı, FDM'lerin yüksek enerji depolama yoğunluğu ve depolama işleminin izotermal yapısının bu sistemlerin en önemli avantajları olduğu belirtilmiştir [11].

FDM'lerde en önemli problemlerden biri ısı iletkenlerinin düşük olmasıdır. FDM'lerin ısı iletkenliğini arttırmak amacıyla başvuru yöntemlerinden biri nanopartikül eklenmesidir. Belli oranlarda nanopartikül eklenerek oluşturulan yeni nanokompozit FDM'ler üzerine son yıllarda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Organik bir FDM içerisine nanopartiküller katılarak ısı iletkenliğinin iyileştirilmesinin araştırıldığı bir çalışmada kullanılan nanopartiküllerin tip, boyut ve şeklinin, termal özellikler (ısı iletkenlik, gizli ısılar, erime/katılaşma sıcaklıkları) üzerindeki etkisi sistematik olarak incelenmiştir. Karbon tabanlı nanopartikül katkılanan organik FDM'lerin ısı iletkenliklerinde görülen iyileşmenin metal tabanlı nanopartikül katkılanan FDM'lere göre önemli derecede daha yüksek olduğu belirlenmiştir [12].

Güneş enerjisi ısı sistemleri, ısı depolama ve termoelektrik uygulamalarında kullanılmak üzere parafine CuO nanopartikül eklenerek bir nanoakışkan

FDM'nin hazırlandığı çalışmada FDM'lerin ışı ışığı absorbe edebilme özelliğini artırarak güneş enerjisi ısı uygulama kapasitesini büyük ölçüde geliştirebileceği belirlenmiştir. CuO katkılı parafinin saf parafine göre hem ısı depolama hem de termoelektrik deneylerinde çok daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Ayrıca CuO katkılı parafin kompozit FDM'nin bir diğer özelliği ise güneş simülatörü kapatıldığında voltaj çıkışının devam etmesini sağlamasıdır. Çalışmanın sonucunda çok düşük bir kütle CuO nanopartikül konsantrasyonunun eklenmesi ile, nanokompozit FDM'lerin güçlü güneş enerjisi absorbe edebilme kabiliyetine sahip olabileceği ve verimli güneş enerjisi ve güneş enerjisi termoelektrik enerji dönüşümü ve depolanmasının gerçekleştirilmesine katkıda bulunabileceği belirlenmiştir [13]. Grafit nanolif eklenen parafinin termal enerji depolama (TED) özelliklerinin deneysel olarak incelendiği çalışmada, en boy oranının ve güç yoğunluğunun, FDM'nin ısı depolaması ve katılaşma süresi üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda FDM'lere grafit nanolif eklemenin TED kapasitesini arttırdığı ve parafin bazı FDM'lerin katılaşması için etkili bir yöntem olduğu görülmüştür [14]. FDM olarak n-oktadekan(parafin) ve kütlece %0, %5 ve %10 nanopartikül ( $Al_2O_3$ ) kullanılan başka bir çalışmada, 25x25 mm boyutlarında 60 mm uzunluğunda yalıtımlı bir depo deneysel amaçlı kullanılmıştır [15]. Yoğunluk, dinamik viskozite ve termal iletkenlik gibi termofiziksel özellikleri deneysel olarak incelenen benzer bir çalışmada nanopartikül eklenen parafin emülsiyonları için ölçülen ısı iletkenlik ve dinamik viskozite değerlerinin, sıcaklığa bağlı olarak, saf parafin ile karşılaştırıldığında nanopartiküllerin kütle fraksiyonu ile doğrusal olmayan bir artış gösterdiği belirlenmiştir [16]. CuO katkılı parafin nanokompozitin güneş enerjili su ısıtıcıda gece boyunca performansının araştırıldığı bir diğer çalışmada %0.25, %0.50, %0.75 ve % 1.00 oranlarında nanopartikül CuO kullanılmıştır. Çalışma sonucunda CuO katkılı parafinin suyun çıkış sıcaklığının düşmesine neden olduğu ve ısı emme kapasitesini daha uzun süre azalttığı gözlemlendiğinden gece kullanımında uygun olmadığı ifade edilmiştir [17]. Bu sonuçlar parafin bazı nano-PCM'nin mükemmel bir termal enerji deposu olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı gizli ısı depolamada kullanılan FDM'lerin ısı özelliklerinin geliştirilmesi için nanopartikül kullanımının araştırılmasıdır. FDM olarak parafinin kullanıldığı çalışmada nanopartikül olarak CuO kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

FDM'lerin ısı iletkenliğini arttırmak amacıyla için kullanılan birçok nanopartikül vardır. Bu çalışmada CuO nanopartikülü parafinde %1, %2.5 ve %5 oranlarında ultrasonik karıştırıcı ile eklenerek ısı özellikler incelenmiştir. Nanopartiküllerin FDM'ler ile homojen bir karışım oluşturması için literatürde yaygın olan ultrasonik karıştırma yöntemi kullanılmıştır [18,19].

Nanopartikül olarak kullanılan CuO, 38 nm boyutunda olup %99.99 saflık değerine sahiptir. Nanopartikülü karışım işleminde kullanmadan önce oda sıcaklığında katı halde olan parafin, erime sıcaklığının üzerinde olan bir ısı ile ısıtılmış ve sıvı hale gelmesi sağlanmıştır. Sıvı hale gelen parafine sırası ile ağırlıkça %1, %2.5 ve %5

oranlarında CuO nanopartikül eklenmiş ve 750 watt ve 20 kHz çalışma aralığına sahip ultrasonik karıştırıcıda %50 genlik değerinde 40 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma süresi boyunca parafinin katı hale geçmemesi için sıcaklığının erime noktasının altına düşmemesi gerekmektedir. Bunun için Şekil 1.'de gösterilen ultrasonik karıştırıcıda herhangi bir aç-kapa ayarı yapılmamış ve probun kendi yaydığı ısı ile sıcaklık 80-90 °C aralığında sabit tutulmuştur. Ultrasonik karıştırma işleminden sonra homojen olarak hazırlanan karışım uygun kaplara alınarak oda sıcaklığında bekletilmiş ve karışımın katı hale gelmesi sağlanmıştır.



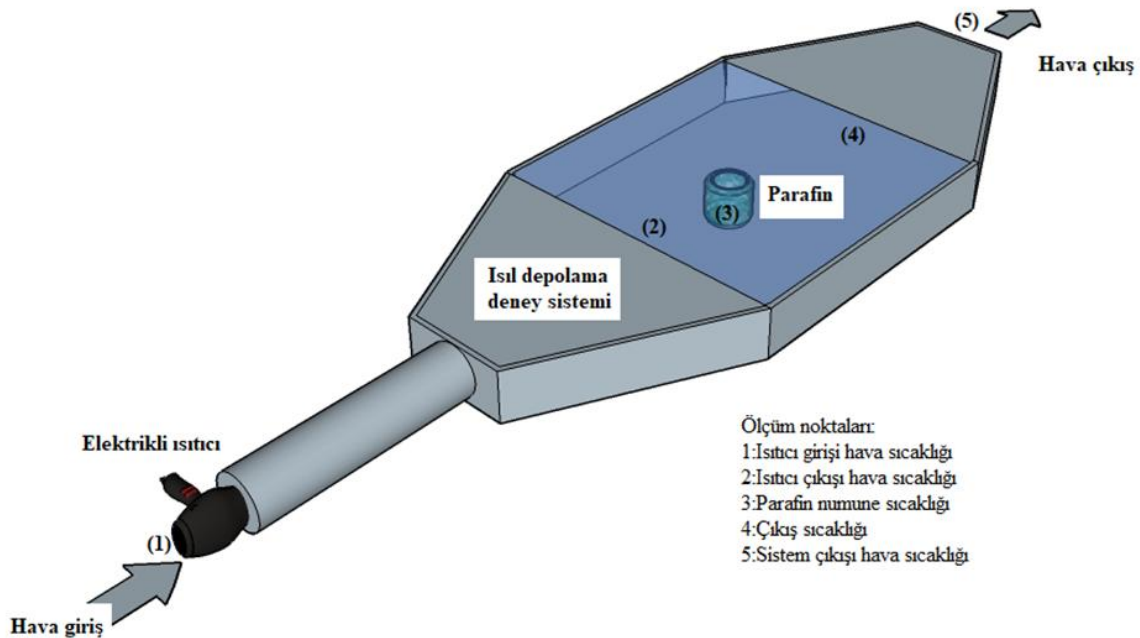
Şekil 1. Ultrasonik karıştırıcı

Ultrasonik karıştırıcı kullanılarak hazırlanan %1, %2.5 ve %5 oranlarında CuO nanopartikül katkılı parafin numuneleri Şekil 2.'de gösterilmektedir. Deneysel



Şekil 2. %1, %2.5 ve %5 oranlarında CuO nanopartikül katkılı parafin numuneleri

CuO nanopartikül katkılı parafin numunelerinin; şarj ve deşarj durumlarını incelemek için bir deney düzeneği kurulmuştur. Şekil 3.'te deneysel sistemin şematik resmi ve sıcaklık ölçüm noktaları verilmiştir. %0, %1, %2.5 ve %5 oranlarında CuO nanopartikül katkılı parafin numuneleri için sabit hızda deneyler tekrarlanmıştır.



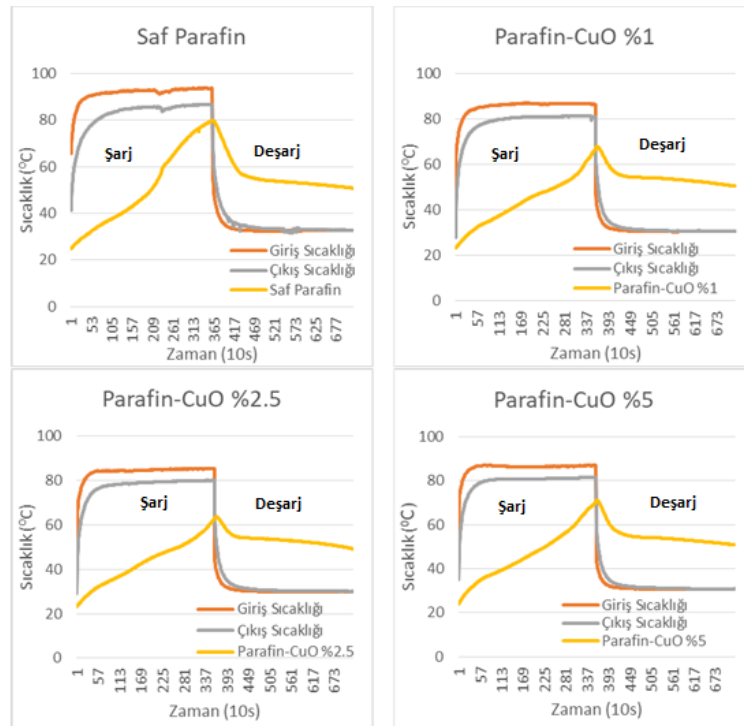
Şekil 3. Deneysel çalışmada kullanılan sistemin şematik resmi ve sıcaklık ölçüm noktaları

### 3. Araştırma Sonuçları

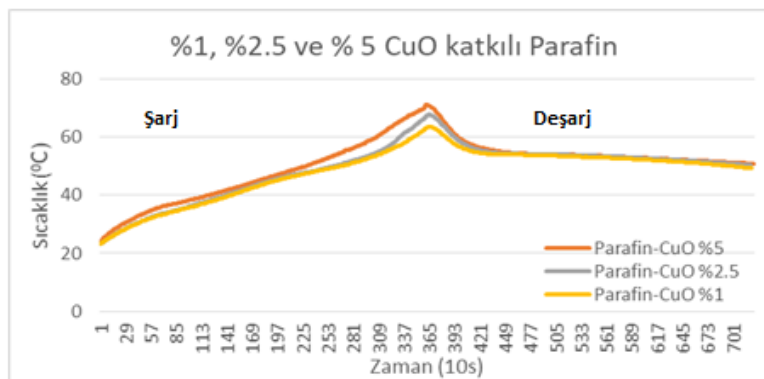
Şekil 4'te saf parafin ve %1, %2.5 ve %5 oranlarında CuO nanopartikül katkılı parafin numunelerinin şarj ve deşarj durumları gösterilmiştir. Şekilden çıkış

sıcaklığının sabit olması verilen ısının depolandığını göstermektedir. Üç farklı numunenin karşılaştırılması Şekil 5'te verilmiştir. Şekilden katkı oranı arttıkça şarj durumunda zamanla sıcaklığında arttığı ve en yüksek

sıcaklık artışının %5 CuO katkılı parafinde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4. Saf parafin ve %1, %2.5, %5 CuO katkılı parafin şarj ve deşarj durumları



Şekil 5. %1, %2.5 ve %5 CuO katkılı parafinin karşılaştırılması

#### 4. Sonuç

FDM'ler arasında kullanımı en yaygın olan maddelerden biri parafindir. Ancak parafinin ısı iletkenliğinin düşük olması nedeniyle erime-donma (şarj-deşarj) işlemleri esnasında ısı transfer hızı da düşük olmaktadır. Bu çalışmada ısı iletimi artırma yöntemlerinden biri olan parafine nanopartikül ekleme araştırılmıştır. Bu amaçla %1, %2.5 ve %5 oranlarında CuO nanopartikülün ultrasonik karıştırıcı kullanılarak eklendiği parafinin ısı depolaması incelenmiştir. Çalışma sonucunda CuO nanopartikül katkısının, parafin iletkenliğini artırarak ısı transfer hızını yükselttiği gözlemlenmiştir. Bununla beraber numunelerin erime sıcaklıkları arasında belirgin bir değişiklik görülmemiştir. Erime süreleri karşılaştırıldığında ise %5 CuO katkılı parafinin diğer numunelerden daha kısa sürede eridiği

görülmektedir. %5 CuO katkılı parafinin şarj ve deşarj durumunda diğer numunelerden daha yüksek bir performans gösterdiği belirlenmiştir. Depolama hacminin yapısı, kullanılan kapsülleme elemanı ve geometrisi ısı depolama sisteminin performansında etkili olduğu için ayrı incelenmesi gerekir.

#### Kaynaklar

- [1] Cabeza, L. F., & Oró, E. (2016). Thermal energy storage for renewable heating and cooling systems. In Renewable Heating and Cooling (pp. 139-179). Woodhead Publishing.
- [2] Cabeza, L. F., Martorell, I., Miró, L., Fernández, A. I., & Barreneche, C. (2015). Introduction to thermal energy storage (TES) systems. In Advances in Thermal

- Energy Storage Systems (pp. 1-28). Woodhead Publishing
- [3] Dincer, I., & Rosen, M. (2002). Thermal energy storage: systems and applications. John Wiley & Sons.
- [4] Fleischer, A. S. (2015). Thermal energy storage using phase change materials: fundamentals and applications. Springer.
- [5] Alva, G., Lin, Y., & Fang, G. (2018). An overview of thermal energy storage systems. *Energy*, 144, 341-378.
- [6] Yılmazoğlu, M. Z. (2010). Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması. *Politeknik Dergisi*, 13(1), 33-42.
- [7] de Gracia, A., & Cabeza, L. F. (2015). Phase change materials and thermal energy storage for buildings. *Energy and Buildings*, 103, 414-419.
- [8] Mert, M. S., Sert, M., & Mert, H. H. (2018). Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değiştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 161-174.
- [9] Amin, M., Afriyanti, F., & Putra, N. (2018, January). Thermal properties of paraffin based nano-phase change material as thermal energy storage. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 105, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
- [10] Azarifar, M., Sömek, S. K., & Dönmezer, N. (2017). Faz Değiştirme ile Isı Depolamada Kullanılan Parafin-Grafit, Parafin-Kanatçık ve Saf Parafinli Yapıların Performans Analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 155-164.
- [11] 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*, 13(2), 318-345.
- [12] Temel, Ü. N., & Çiftçi, B. Y. (2018). Determination of thermal properties of a82 organic phase change material embedded with different type nanoparticles. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi/Journal of Thermal Science & Technology*, 38(2).
- [13] Chen, M., He, Y., Ye, Q., Zhang, Z., & Hu, Y. (2019). Solar thermal conversion and thermal energy storage of CuO/Paraffin phase change composites. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130, 1133-1140.
- [14] Sanusi, O., Warzoha, R., & Fleischer, A. S. (2011). Energy storage and solidification of paraffin phase change material embedded with graphite nanofibers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(19-20), 4429-4436.
- [15] Ho, C. J., & Gao, J. Y. (2013). An experimental study on melting heat transfer of paraffin dispersed with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles in a vertical enclosure. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 62, 2-8.
- [16] Ho, C. J., & Gao, J. Y. (2009). Preparation and thermophysical properties of nanoparticle-in-paraffin emulsion as phase change material. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(5), 467-470.
- [17] Mandal, S. K., Kumar, S., Singh, P. K., Mishra, S. K., Bishwakarma, H., Choudhry, N. P., & Das, A. K. (2019). Performance investigation of CuO-paraffin wax nanocomposite in solar water heater during night. *Thermochimica Acta*, 671, 36-42.
- [18] Nourani, M., Hamdami, N., Keramat, J., Moheb, A., & Shahedi, M. (2016). Thermal behavior of paraffin-nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> stabilized by sodium stearyl lactylate as a stable phase change material with high thermal conductivity. *Renewable energy*, 88, 474-482.
- [19] Jiang, X., Luo, R., Peng, F., Fang, Y., Akiyama, T., & Wang, S. (2015). Synthesis, characterization and thermal properties of paraffin microcapsules modified with nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Applied energy*, 137, 731-737.