

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ İÇİN NANO KATKILI
ÖTEKTİK BİR FAZ DEĞİŞTİREN MADDENİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Taylan Gazi ÜREGEN

Yüksek Lisans Tezi

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mekanik Sistemler Bilim Dalı

ŞUBAT 2021

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ İÇİN NANO KATKILI ÖTEKTİK
BİR FAZ DEĞİŞTİREN MADDENİN GELİŞTİRİLMESİ**

Tez Yazarı
Taylan Gazi ÜREGEN

Danışman
Prof. Dr. Ahmet KOCA

ŞUBAT 2021
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Enerji Depolama Sistemleri İçin Nano Katkılı Ötektik Bir Faz Değiştiren
Maddenin Geliştirilmesi

Yazarı: Taylan Gazi ÜREGEN

İlk Teslim Tarihi: 18.01.2021

Savunma Tarihi: 03.02.2021

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Ahmet KOCA Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Zühal KARAGÖZ Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Mediha KÖK Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Enerji Depolama Sistemleri İçin Nano Katkılı Ötektik Bir Faz Değiştiren Maddenin Geliştirilmesi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir Şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

03.02.2021

Taylan Gazi ÜREGEN



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; enerji depolama sistemleri için nano katkılı ötektik faz değıştiren madde hazırlanmış, termofiziksel özellikleri, maddelerin kimyasal, atomik ve moleküler yapısı incelenmiştir.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet KOCA ya yaptıkları katkılardan dolayı sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen Makine Mühendisliği Laboratuvarı ailesinden Arş. Gör. Halil İbrahim YAMAÇ hocama, Arş. Gör. Gamzepelin AKSOY hocama ve arkadaşlarım Ömer BAYKARA, Rıdvan ÖZGÜL, Serkan KARAÇÖL ve Perihan KARAKÖSE ye teşekkür ediyorum.

Maddi manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan her koşulda yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca BİDEB 2210-C Yurt İçi Öncelikli Alanlar Yüksek Lisans Burs Programı ile bana destek olan TÜBİTAK kurumuna çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından **TEKF.18.27** protokol numaralı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAP birimine teşekkür ederim.

Taylan Gazi ÜREGEN
ELAZIĞ, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. Giriş	1
1.1. Isıl Enerji ve Isıl Enerji Depolama Yöntemleri	4
1.1.1. Termokimyasal Isı Depolama Yöntemi.....	4
1.1.2. Duyulur Isı Depolama Yöntemi	5
1.1.3. Gizli Isı Depolama Yöntemi.....	5
2. ISIL ENERJİ DEPOLAMA MATERYALİ.....	7
2.1. Faz Değiştiren Maddeler	7
2.1.1. Parafinler	9
2.1.2. Yağ Asitleri	10
2.1.3. Tuz Hidratları	11
2.1.4. Ötektik Karışımlar	12
3. MATERYAL VE METOT	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. FDM ve Nanoparçacıkların Belirlenmesi ve Termofiziksel Özelliklerinin Tespit Edilmesi	13
3.1.2. Kullanılan Araç ve Gereçler.....	14
3.2. Metot	14
3.2.1. Faz Değiştiren Maddeler ve Karışımların Hazırlanması	14
3.2.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre.....	15
3.2.3. KD2 Pro	16
3.2.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometre Analizi.....	17
3.2.5. X-Ray Difraktometre Analizi.....	17
3.2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu	18
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	19
4.1. Saf Faz Değiştiren Maddelerin Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	19
4.2. Ötektik Faz Değiştiren Maddelerin Hazırlanması ve DSC ile Özelliklerinin Belirlenmesi.....	21
4.3. Nano Katkılı Ötektik Faz Değiştiren Maddelerin Hazırlanması ve Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	22
4.4. FT-IR Sonuçları.....	35
4.5. XRD Sonuçları	36
4.6. SEM Analizleri.....	37
5. SONUÇLAR	39
ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Enerji Depolama Sistemleri İçin Nano Katkılı Ötektik Bir Faz Değiştiren Maddenin Geliştirilmesi

Taylan Gazi ÜREGEN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2021, Sayfa: x + 44

Günümüzde artan nüfus ve sanayileşme ile birlikte enerji ihtiyacı artmakta ve bu enerji ihtiyacı fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar küresel ısınmanın gerekçesi olarak görünmekte ve nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve enerji depolama tekniklerine olan ilgi artmaktadır. Isıl enerji depolama sistemlerinin, enerji güvenliği ve verimliliğinin devamlılığı için faz değiştiren maddeler (FDM) kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, FDM'lerin ısıl enerji depolama sistemlerinde kullanılmak üzere nano katkılı ötektik faz değiştiren madde (NKÖFDM) geliştirilmiştir. Öncelikle saf FDM'lerin termofiziksel özellikleri belirlenmiş ve bu doğrultuda ikili üçlü ötektik karışımlar hazırlanmıştır. Elde edilen karışımların termofiziksel özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı ile belirlenmiştir. DSC cihazından elde edilen verilere göre Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışımı çalışma için uygun bulunmuştur. Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışımına %1, 3 ve 5 hacimsel oranlarda alüminyum oksit (Al₂O₃), demir oksit (Fe₂O₃), bakır oksit (CuO), silisyum oksit (SiO₂) ve çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) eklenmiş ve termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ÇDKNT katkılı karışımların uygun erime sıcaklığı, mümkün olduğu kadar yüksek gizli ısı değeri ve gelişmiş ısıl özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Tetracosane, Octadecane, Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışımı ve ÇDKNT katkılı ötektik karışımların yapısındaki değişimleri incelemek için fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), X ışını kristalografisi (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Faz Değiştiren Maddeler, Nanoparçacık, Isıl Enerji Depolama

ABSTRACT

Development of A Nano-Enhanced Eutectic Phase Change Material for Energy Storage Systems

Taylan Gazi ÜREGEN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering

February 2021, Pages: x + 44

Today, with increasing population and industrialization, the energy need is increasing and these energy needs are met with fossil fuels. Fossil fuels are seen as the cause of global warming and therefore, interest in renewable energy sources and energy storage techniques is increasing. Phase change materials (PCM) are used for continuity energy safety and efficiency of thermal energy storage systems. In this thesis, a nano-enhanced eutectic phase change material (NEEPCM) has been developed to be used in thermal energy storage systems of PCM. First of all, the thermophysical properties of pure PCMs were determined and accordingly, double triple eutectic mixture were prepared. Thermophysical properties of the obtained mixtures were determined by differential scanning calorimeter (DSC) device. According to the data obtained from the DSC device, Tetracosane-Octadecane (50% -50%) mixture was found suitable for the study. % 1, 3, and 5 volumetric proportions of aluminium oxide (Al_2O_3), iron oxide (Fe_2O_3), copper oxide (CuO), silicon oxide (SiO_2) and multi-walled carbon nanotube (MWCNT) were added to the Tetracosane-Octadecane (50% -50%) mixture and their thermophysical properties were determined. As a result of the study, it was determined that mixtures with MWCNT have suitable melting temperature, as high latent heat value as possible and improved thermal properties. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray crystallography (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) were used to analyze the changes in the structure of Tetracosane, Octadecane, Tetracosane-Octadecane (50% -50%) and MWCNT enhanced eutectic mixtures.

Keywords: Phase Change Materials, Nanoparticle, Thermal Energy Storage

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin ömürleri	1
Şekil 1.2.	Isı depolamada kullanılan yöntemler	4
Şekil 1.3.	Gizli ısı depolama malzemelerinin sınıflandırılması	6
Şekil 3.1.	Karışımların hazırlanma aşamaları	15
Şekil 3.2.	Hitachi 7010 DSC cihazı	15
Şekil 3.3.	KD2 Pro ölçüm cihazı.....	16
Şekil 3.4.	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre cihazı.....	17
Şekil 3.5.	X-ray difraktometre cihazı	18
Şekil 3.6.	Zeiss EVOMA 10 SEM cihazı.....	18
Şekil 4.1.	Saf FDM'lerin termofiziksel özelliklerini belirleme aşamaları	20
Şekil 4.2.	Isıl iletkenlik değerlerinin nanoparçacık katkısına göre değişimi	23
Şekil 4.3.	Tetracosane-Octadecane (%50-%50).....	24
Şekil 4.4.	%1 Alüminyum Oksit	25
Şekil 4.5.	%3 Alüminyum Oksit	26
Şekil 4.6.	%5 Alüminyum Oksit	26
Şekil 4.7.	%1 Demir Oksit	27
Şekil 4.8.	%3 Demir Oksit	28
Şekil 4.9.	%5 Demir Oksit	28
Şekil 4.10.	%1 Bakır Oksit	29
Şekil 4.11.	%3 Bakır Oksit	30
Şekil 4.12.	%5 Bakır Oksit	30
Şekil 4.13.	%1 Silisyum Oksit	31
Şekil 4.14.	%3 Silisyum Oksit	32
Şekil 4.15.	%5 Silisyum Oksit	32
Şekil 4.16.	%1 Çok duvarlı karbon nanotüp	33
Şekil 4.17.	%3 Çok duvarlı karbon nanotüp	34
Şekil 4.18.	%5 Çok duvarlı karbon nanotüp	34
Şekil 4.19.	Saf FDM, ötektik FDM ve NKÖFDM'lerin FT-IR sonuçları	35
Şekil 4.20.	Tetracosane, Octadecane ve ötektik FDM XRD sonuçları	36
Şekil 4.21.	ÇDKNT katkılı FDM'lerin XRD sonuçları	37
Şekil 4.22.	SEM görüntüleri	38

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. FDM'lerin ısı depolama sistemlerinde kullanılmaları için kriterler ve gereksinimler	8
Tablo 2.2. Parafinlerin avantajları ve dezavantajları	9
Tablo 2.3. Parafinlerin erime sıcaklığı ve gizli ısı değerleri	10
Tablo 2.4. Bazı yağ asitlerinin erime sıcaklığı ve gizli ısı değerleri	11
Tablo 2.5. Tuz hidratlarının avantajları ve dezavantajları.....	11
Tablo 2.6. Tuz hidratlarının erime sıcaklığı ve gizli ısı değerleri	12
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan FDM'ler	13
Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan nanoparçacıklar	14
Tablo 3.3. DSC cihazının özellikleri	16
Tablo 4.1. Saf FDM'lerin belirlenen ısıl özellikleri.....	19
Tablo 4.2. Saf FDM'lerin DSC ile elde edilen sonuçları	20
Tablo 4.3. Hazırlanan karışımların DSC sonuçları	21
Tablo 4.4. Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışımı ve %1 nanoparçacık katkıli ötektik FDM'lerin ısıl özellikleri	22
Tablo 4.5. %3 nano katkıli ötektik FDM'lerin ısıl özellikleri	22
Tablo 4.6. %5 nano katkıli ötektik FDM'lerin ısıl özellikleri	23
Tablo 4.7. Nano katkıli ötektik FDM'lerin DSC sonuçları	24

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

\dot{Q}	: Depolanan ısı (W)
\dot{m}	: Kütleli debi (kg/s)
ΔT	: Sıcaklık farkı (K)
c_k	: Katı fazın sabit basınçtaki özgül ısı (kJ/kgK)
c_p	: Sabit basınçtaki özgül ısı (kJ/kgK)
c_s	: Sıvı fazın sabit basınçtaki özgül ısı (kJ/kgK)
H_e	: Erime gizli ısısı (kJ/kg)
T_e	: Erime sıcaklığı (K)
T_o	: Başlangıç sıcaklığı (K)
T_s	: Son sıcaklık (K)
V	: Hacimsel debi (m ³ /s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)

Kısaltmalar

Ag	: Gümüş
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
CO ₂	: Karbon dioksit
CuO	: Bakır oksit
ÇDKNT	: Çok duvarlı karbon nanotüp
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
FDM	: Faz değıştiren madde
Fe ₂ O ₃	: Demir oksit
FT-IR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GDG	: Genişletilmiş doğal grafit
GG	: Genişletilmiş grafit
LA	: Laurik asit
MA	: Miristik asit
NKFDM	: Nano katkılı faz değıştiren madde
NKÖFDM	: Nano katkılı ötektik faz değıştiren madde
OA	: Oktanoik asit
SA	: Stearik asit
SEM	: Taramalı elektron mikroskopu
SiO ₂	: Silikon dioksit
TD	: 1-tetradekanol
TiO ₂	: Titanyum dioksit
XRD	: X ışını kristalografisi

1. Giriş

Günümüzde, ülkelerin ekonomik kalkınma için önemli gereksinimlerinden olan enerjinin, ucuz, temiz ve güvenilir olması talep edilmektedir. Enerji üretimi genel olarak fosil yakıtlarla karşılanmaktadır ve fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan karbon dioksit (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 araştırmalar devam ettirilmektedir. Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin ömürleri Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin ömürleri [2]

Enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama tekniklerinin önemi artmıştır. Uygun enerji depolama tekniklerinden biri seçilerek enerji verimliliğini arttırmak mümkündür. Faz değiştiren maddeler (FDM), yıllardan beri ısı sistemlerinde, depolama materyali olarak kullanılmaktadır ve bu maddeler, faz değişimi sırasında çevresinden aldığı veya verdiği ısıyı, gizli ısı olarak depolamaktadırlar. Diğer bir deyişle, enerjinin çok olduğu bir zamanda depolayarak ihtiyaç duyulan bir zamanda kullanıma sunabilmektir [3].

Gizli ısı depolama sistemleriyle ilgili yapılan ilk çalışmalarda FDM olarak bal mumu ve parafinler kullanılmış, daha sonra tuz hidratları ve yağ asitleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [4-8]. Son yıllarda saf olarak kullanılan FDM’lerin birçoğunun gizli ısı depolama kapasiteleri düşük veya erime sıcaklıkları depolamaya uygun olmadığından birden fazla FDM’nin karışımından oluşan yeni ötektik FDM’lerin kullanıldığı çalışmalara günümüzde rastlanılmaktadır. Bu çalışmalarda erime sıcaklığı ve depolama kapasiteleri daha iyi olan yeni FDM’ler elde edilmeye çalışılmış ve iki veya üç farklı kimyasal maddenin farklı oranlardaki karışımları denenerek yeni FDM’ler elde edilmiştir [9-11].

Sharma vd. [12], stearik asit, parafin, asetamit gibi FDM’lerin termofiziksel özelliklerini araştırmışlardır. Isıl kararlılığını ölçmek için DSC de 0, 20, 50, 70, 100, 200, 250 ve 300 ısı çevrim

kullanılarak ölçümler alınmıştır. 300 ısı çevriminden sonra parafin ve asetamit daha kararlı yapıda olduğunu tespit etmişlerdir.

Sarı ve Kaygusuz [13], stearik asidin gizli ısı depolama malzemesi olarak ısı performansı ve faz değişim kararlılığını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, katı-sıvı ara yüzeyinin geçiş süreleri, sıcaklık aralığı ve yayılması gibi parametrelerin yanı sıra, ısı akış hızının bir faz değişim malzemesi olarak stearik asidin faz değişim kararlılığı üzerindeki etkisini de araştırmışlardır.

Codeno vd. [14], diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı ile saf yağ asitleri ve bunların ikili üçlü karışımlarını hazırlamışlardır. Erime sıcaklıkları ve gizli ısı gibi termofiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Wang ve Lu [15] çalışmalarında, farklı kütle oranlarında sodyum sülfat, parafin, n-oktadekan ve parafin/n-oktadekan maddelerini DSC ile ısı özelliklerini incelemişlerdir. Parafin/n-oktadekan kompozitleri için ölçülen faz değişim sıcaklıklarının, parafininkine göre düşük olduğunu gözlemlemişleridir. En düşük ötektik sıcaklığı, n-oktadekanın %40 kütle fonksiyonunda elde etmişlerdir.

Baran ve Sarı [16], palmitik ve stearik asitleri karıştırarak elde ettiği FDM'nin ısı özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuçlara göre, elde edilen karışımın ısı depolama sistemleri için uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Literatürde, saf ve ötektik FDM'nin termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar olduğu gibi, FDM'nin termofiziksel özelliklerini geliştirmek için yapılan çalışmalarda bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, FDM'nin içerisine belli oranlarda nanoparçacık ekleyerek, bunların termofiziksel özellikleri deneysel olarak incelenmiştir.

Zeng vd. [17], 1-tetradekanol (TD)/Gümüş (Ag) kompozitlerinin hazırlanması ve ısı karakterizasyonu üzerine, Ag nanoparçacığın etkisini araştırmışlardır. Kompozit malzemenin ısı iletkenliğinin, TD ısı iletkenliğine göre arttığı gözlemlemişlerdir.

Khodadadi ve Hosseinizadeh [18], nanoparçacıkların dağılımı sayesinde FDM'nin geliştirilmiş işlevselliğinin incelendiği bir araştırma sunmuşlardır. Elde edilen nano katkı faz değiştiren maddelerin (NKFDM), temel malzemelerle kıyaslandığında gelişmiş ısı iletkenlik özelliği sergilediğini göstermişlerdir.

Konuklu vd. [19], çalışmalarında ısı enerji depolama sistemlerinde kullanılan FDM ile diyatomit/FDM kompozitleri hazırlamışlardır. Kompozitler, (DSC) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz etmişlerdir. DSC analizleri sonucunda kompozitlerin erime ve donma noktası, gizli ısı depolama kapasitesini ölçülmüşlerdir. Yapılan analizler sonucunda, kompozit üretiminin başarı ile gerçekleştiğini ve ısı enerji depolama uygulamalarında kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Li ve Wu [20], n-dekosaan içerisine ktlce %4, %10 ve %16 oranlarında grafit ekleyerek yeni bir NKFDMD elde etmişlerdir. N-dekosaan'ın içerisine eklenmiş olan %16 oranında grafitin ısı depolama ve ısı yayılım oranı sırasıyla %763 ve %276,9 oranında, ısıl iletkenliğinin ise %264,4 oranında arttığını gözlemlemişlerdir. Grafit eklenmiş NKFDMD'lerin ısıl özelliklerin saf n-dekosaan özelliklerine kıyasla daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Zhong vd. [21], parafinin ısıl özelliklerini geliştirmek için farklı oranlarda genişletilmiş doğal grafit (GDG) parçacıkları kullanarak, Parafin-GDG kompozitlerinin ısıl enerji depolamasını, ısıl iletkenliğini ve gizli ısısını belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır.

Mayilvelnathan ve Arasu [22], saf eritritole üç farklı ktle fraksiyonunda (% 0,1, % 0,5 ve %1) grafen eklemişler ve oluşan karışımın ısıl özelliklerini incelemişlerdir. Fourier dnşmş kızılltesi spektroskopisi (FT-IR) ile grafen nanoparçacıkların kimyasal özelliklerinin etkilenmeden eritritole entegre olduğunu göstermiştir. DSC sonuçları NKFDMD'nin gizli ısı ve faz değişim sıcaklığındaki değişikliğin 100 eritme ve katılaşma döngüsünden önce ve sonra daha az olduğunu ortaya koymuştur. %1 grafen etkisinin gizli ısı değerinde % 6,1 azalma ile ısıl iletkenlikte % 53,1 artışa yol açmıştır. Ayrıca saf eritritole göre erime sıcaklığında % 5,8 azalma ve katılaşma sıcaklığında % 18,76 artış olduğu belirlenmiştir.

regen vd. [23], çalışmalarında stearik asit ve Palmitik aside ağırlıkça %1, %3, %5 ve %10 oranlarında grafit nanoparçacığı ekleyerek termofiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Hazırlanan karışımların ısıl iletkenlik değerlerinde artma, gizli ısı değerlerinde azalma gzlenenmiştir.

Liu vd. [24], laurik, miristik ve stearik asidi (LA-MA-SA) farklı oranlarda karıştırarak l ötektik karışım hazırlamışlardır. Bu tektik karışımlara genişletilmiş grafit (GG) ekleyerek nano katkılı ötektik faz değiştiren madde (NKFDMD) elde etmişlerdir. Elde edilen karışımlar SEM, FT-IR ve DSC ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar LA-MA-SA / GG in ısıl iletkenliği LA-MA-SA'ninkinden çok daha yüksek olduğunu göstermiştir.

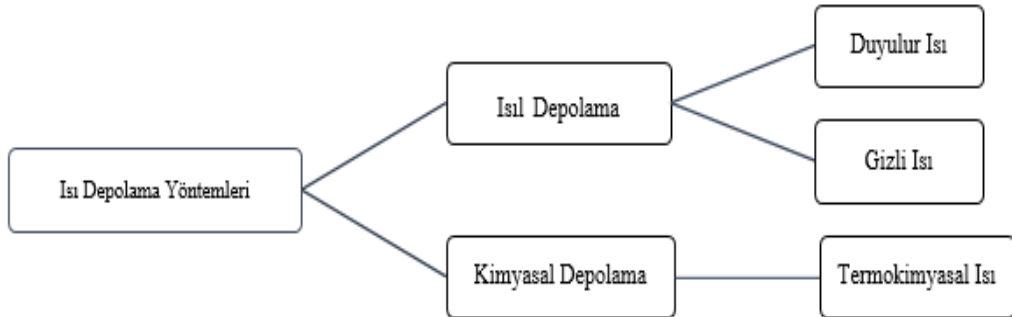
Wang vd. [25], FDM'lerin düşük ısıl iletkenliğini göz önünde bulundurarak, oktanoik asit (OA) ve miristik asit (MA) ikili karışımının 87:13 ktle oranına sahip bir modifikasyonu incelenmiştir. OA-MA karışımına Genişletilmiş Grafit (GG) eklenerek ısıl iletkenlik üzerine etkisi analiz edilmiştir. OA-MA ısıl iletkenliğini değiştirmek için nano parçacık ağırlıkça %7 GG seçilmiştir. OA-MA / GG'in ısıl iletkenliği, OA-MA'nın ısıl iletkenliğine kıyasla %235,75 oranında arttığı ve ölçülen sonucun 0,9975 W/mK olduğu belirtilmiştir.

Liu vd. [26], ötektik hidrat tuzu kompozitlerine, 25 ve 100 nm'lik iki farklı boyutta Titanyum dioksit (TiO₂) nanoparçacık farklı hacimsel oranlarda (%0,1, %0,3 ve %0,5) eklenerek, NKFDMD hazırlamışlardır. ısıl özelliklerini araştırmak için DSC kullanılmıştır. Çalışma sonunda 25 nm çapındaki TiO₂ nanoparçacık ile birleştirilen kompozitlerin optimal bir gizli ısı kazandığını göstermiştir ve bu sonuçlar SEM ve FT-IR analizleri sonucu onaylanmıştır.

Bu tez çalışmasında temel amaç, FDM'lerin ısı depolama sistemlerinde kullanılmak üzere yeni NKÖFDM'lerin tespiti için numuneleri hazırlamak ve hazırlanan numunelerin termofiziksel özelliklerini belirlemektir. Bu amaçla, literatürden gerek organik gerekse inorganik saf FDM'ler tespit edilmiştir. Uygun erime sıcaklığı ve yüksek gizli ısı depolama kapasitesine sahip FDM'lerin, ikili üçlü ötektik karışımları hazırlamıştır. Belirlenen ötektik karışımlara belirli hacimsel oranlarda (%1, %3, %5) nano parçacık eklenmiştir. Karışımların hazırlanmasında ultrasonik ve manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Hazırlanan NKÖFDM'ler DSC ve KD2Pro ile termofiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Numunelerin kimyasal yapı özellikleri Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR), atomik ve moleküler yapısı X Işını Kristalografisi (XRD), yüzey morfolojisi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir.

1.1. Isıl Enerji ve Isıl Enerji Depolama Yöntemleri

Isıl enerji, bir maddeyi meydana getiren atom veya moleküllerin potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamıdır ve bu enerji, atomik veya moleküler dönme, öteleme ve titreşimler sonucu oluşur. Isıl enerjinin transferi ısı akışıyla olur [27]. Isıl enerjinin depolanması için kullanılan yöntemler Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Isı depolamasında kullanılan yöntemler [28]

Isı depolama yöntemleri duyulur ısı, gizli ısı ve termokimyasal ısı olmak üzere üç ana başlık altında incelenmektedir. Bu depolama yöntemleri, birim hacimde depolayabilecekleri enerji miktarı bakımından birbirinden ayrılmaktadırlar.

1.1.1. Termokimyasal Isı Depolama Yöntemi

Termokimyasal ısı depolama yöntemi, tersinir kimyasal tepkimelerden ısı enerji depolamak için yararlanılması ilkesine dayanmaktadır. Kimyasal ısı, kimyasal maddedeki bağları koparmak

için gerekli olan ısı olup, bu ısının neredeyse tamamı sentez reaksiyonu gerçekleştiğinde geri alınabilmektedir [29].

Termokimyasal ısı depolamada etkin maddenin; ısı depolama yoğunluğu, sıcaklık aralığı, geri kazanabilirlik ve reaksiyon stabilitesi gibi birçok özelliği önemlidir [30]. Yapılan literatür çalışmasına göre termokimyasal ısı depolama maddelerinin en önemli özellikleri, ısı depolama yoğunluğu ve çalışma aralığıdır [31].

1.1.2. Duyulur Isı Depolama Yöntemi

Duyulur ısı depolama yönteminde, su, hava, yağ, tuğla, kum veya toprak gibi materyallerin sıcaklıklarında meydana gelen değişimler sonucu ortaya çıkan ısıdan yararlanılmaktadır. Duyulur ısı materyallerinin birçoğu bol miktardadır ve ucuzdur. Depolanabilecek ısının miktarı; ortamın ısı kapasitesine, sıcaklıktaki değişim miktarına ve depolama materyalinin miktarına bağlıdır [32]. Çok sayıda depolama ve geri kazanma çevriminin gerçekleşebilmesi bu sistemin avantajı, ihtiyaç duyulan depo hacminin büyük olması ise dezavantajdır. Depolanacak ısı miktarı Denklem 1.1'e göre hesaplanmaktadır;

$$Q = m c_p \Delta T = \rho c_p V \Delta T \quad (1.1)$$

Denklem 1.1'de ρ (kg/m^3) materyalin yoğunluğu, c_p (kJ/kgK) materyalin sabit basınçtaki özgül ısı ve V (m^3) materyalin hacimsel debisidir. Denklem, belirli bir hacimde ΔT (K) sıcaklık farkından depolanacak ısının miktarı materyalin hacimsel özgül ısı değeri ile orantılıdır [33].

1.1.3. Gizli Isı Depolama Yöntemi

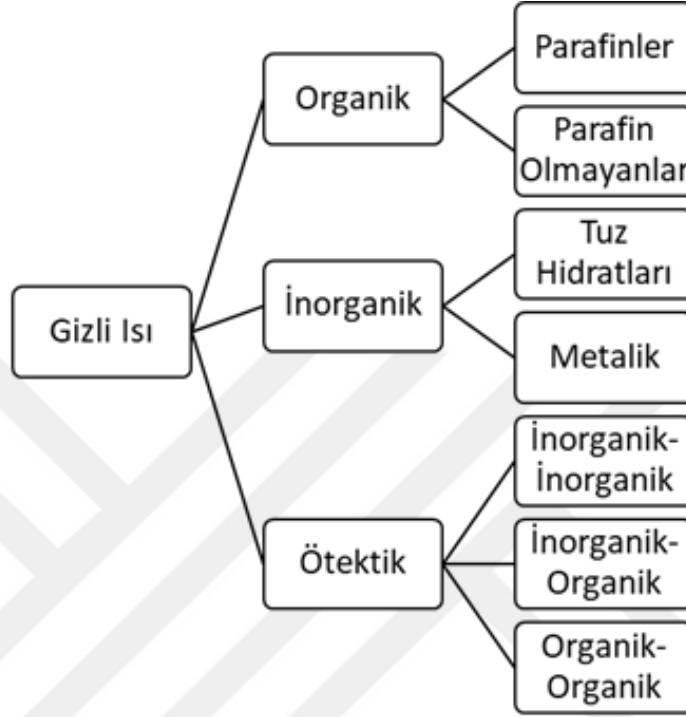
Gizli ısı, maddenin faz değişimi sırasında aldığı veya saldıdığı ısıdır. Depolama işlemi katıdan sıvıya ya da sıvıdan gaz haline ve tersi durumdaki dönüşümler kullanılarak gerçekleştirilebilir [34]. Gizli ısı depolamanın iki avantajı bulunmaktadır;

- Sadece küçük sıcaklık değişiklikleriyle büyük miktarlarda ısı depolamak mümkündür,
- Sabit bir sıcaklıkta faz değişiminin tamamlanması biraz zaman aldığından, sıcaklık değişimlerinin düzeltilmesine olanak sağlar [35].

Gizli ısı depolama yönteminde ihtiyaç duyulan depo hacmi, duyulur ısıya göre daha azdır. En iyi bilinen ve daha fazla kullanılan faz değişim maddesi sudur ve 0°C 'nin altındaki sıcaklıklarda tuzlu su sıklıkla kullanılmaktadır [36]. $0-130^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında parafinler, tuz hidratları, yağ asitleri ve alkoller bulunmaktadır. 150°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise tuzlar ve organik malzemeler kullanılmaktadır [37].

Faz değiştiren maddeler (FDM) ile ilgili birçok çalışma yapılmış olup, bunların çok azı ticarileşmiştir. Genellikle ulaşılabilirlik ve fiyat, FDM'nin önündeki en büyük sorun olmuştur.

Bunlar dışında günümüzde bazı maddeler için faz ayrışması, aşırı soğuma, korozyon, kararsızlık ve düşük ısıl iletkenlik gibi sorunlar hala çözülememiştir, bu alanlarda çalışmalar devam etmektedir [38]. Şekil 1.3'te gizli ısı depolama malzemelerinin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Gizli ısı depolama malzemelerinin sınıflandırılması [39]

Maddenin gizli ısısı Denklem 1.2'ye göre hesaplanmaktadır;

$$\dot{Q} = \int_{T_o}^{T_e} \dot{m} c_p dT + \dot{m} H_e + \int_{T_e}^{T_s} \dot{m} c_p dT = \dot{m} [H_e + c_k (T_e - T_o) + c_s (T_s - T_e)] \quad (1.2)$$

Denklem 1.2'de c_k ve c_s (kJ/kgK) sırasıyla katı ve sıvı fazın sabit basınçtaki özgül ısıları; T_o (K) başlangıç sıcaklığı, T_e (K) erime sıcaklığı ve T_s (K) son sıcaklık ve H_e (kJ/kg) erime gizli ısısıdır [40].

Gizli ısı depolama; kısa süreli depolama ve yüksek enerji yoğunluğu gerektiren uygulamalarda, depo hacminin az olması gereken alanlarda ayrıca sabit veya küçük bir sıcaklık aralığında enerji depolamaya gereksinim duyulduğu zamanlarda uygulanmaktadır [41].

2. ISIL ENERJİ DEPOLAMA MATERYALİ

Isıl enerji depolama materyali olarak FDM'ler kullanılmaktadır. FDM'ler gizli ısı depolama sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bölümde FDM'lerin gruplandırılması ve seçim kriterleri hakkında bilgi verilecektir.

2.1. Faz Değiştiren Maddeler

FDM düşük erime/katılaşma sıcaklığına ve yüksek enerji depolama özelliklerine sahiptir ve faz değişim yöntemi tersinir olarak gerçekleşmektedir. Endotermik (ısı alan) ve ekzotermik (ısı veren) süreçlerde FDM'ler, faz değişimine uğramaktadırlar. Bir madde faz değişim sıcaklığına ulaştığı zaman erimeye başlar ve bu durum bitinceye kadar sıcaklık sabit kalır. Madde erime esnasında enerjiyi gizli ısı olarak depolanmaktadır [3].

FDM'lerin kullanım alanları;

- Binaların ısıtma ve soğutma yükünün azaltılmasına yönelik yalıtım malzemelerinde,
- Elektronik cihazların soğutulmasında,
- Tekstil sektöründe,
- Gıdaların ısı korunma aşamasında,
- Isı depolama sistemlerinde,
- Medikal alanlarda,
- Araçlarda ısı konforda kullanılmaktadır.

FDM'lerin ısı depolama sistemlerinde kullanılmaları için bazı termodinamik, kimyasal, kinetik, teknik ve ekonomik kriterlere sahip olması gerekmektedir [42-45]. Bu kriterler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. FDM'lerin ısı depolama sistemlerinde kullanılmaları için kriterler ve gereksinimler

Kriterler	Gereksinimler
Termodinamik Kriterler	<ul style="list-style-type: none">• İstenilen çalışma sıcaklığı aralığı• Yüksek yoğunluk• Yüksek özgül ısı değeri• Yüksek ısıl iletkenlik• Düşük hacim değişikliği
Kimyasal Kriterler	<ul style="list-style-type: none">• Kararlılık• Korozif olmama• Toksik olmama• Yanıcı olmama
Kinetik Kriterler	<ul style="list-style-type: none">• Gerekli kristalleşme hızı• Düşük aşırı soğuma
Teknik Kriterler	<ul style="list-style-type: none">• Uygulanabilirlik• Güvencibilirlik
Ekonomik Kriterler	<ul style="list-style-type: none">• Ticari kullanılabilirliği• Madde kolay ve bol bulunabilirliği

FDM'ler temel olarak organik ve inorganik olmak üzere ikiye ayrılırlar ve bu maddeler;

- Parafinler,
- Yağ asitleri,
- Tuz hidratlar,
- Metalikler,
- Ötektik karışımlar şeklinde sınıflandırılmıştır [41].

2.1.1. Parafinler

Parafinler, mumsu yapıya sahip organik FDM sınıfına aittirler. Çoğunlukla C_nH_{2n+2} alkan yapısında bulunmaktadır. Genellikle düz zincirli alkan karışımlarından oluşan parafinler kristalleşme esnasında büyük miktarda gizli ısı yaymaktadır ve parafinlerin zincir uzunluğu arttıkça erime ve donma sıcaklıkları da artmaktadır [46]. Parafinlerin avantajları ve dezavantajları Tablo 2.2’de, bazı parafinlerin termofiziksel özellikleri Tablo 2.3’te belirtilmiştir.

Tablo 2.2. Parafinlerin avantajları ve dezavantajları [47]

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none">• Toksik ve korozif malzemeler değildirler.• Kolay ayrılma eğilimi göstermezler.• Tüm metal kaplarla uyumludur ve kolayca ısı depolama sistemlerine dahil edilmiştir.• Ucuzdurlar.• Yüksek yoğunluğa sahip oldukları için kolay depolanabilirler.	<ul style="list-style-type: none">• Kimyasal yapıları iyonik olmadığı için düşük ısı iletkenliğe sahiptirler. Bu sebeple, donma döngüsü sırasında yüksek ısı transfer hızları gerektiği durumlarda sorun teşkil edebilirler.• Parafinler, katı ve sıvı aşamalar arasında yüksek hacimde bir değişime sahiptirler.

Tablo 2.3. Parafinlerin erime sıcaklığı ve gizli ısı değerleri [39]

Karbon Atom Numarası	Erime Sıcaklığı (°C)	Gizli Isı (kJ/kg)
14	5,5	228
15	10,0	205
16	16,7	237
17	21,7	213
18	28,0	244
19	32,0	222
20	36,7	246
21	40,2	200
22	44,0	249
23	47,5	232
24	50,6	255
25	49,4	238
26	56,3	256
27	58,8	236
28	61,6	253
29	63,4	240
30	65,4	251
31	68,0	242
32	69,5	170
33	73,9	26
34	75,9	269

2.1.2. Yağ Asitleri

Yağ asitleri $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ genel formülüne sahip bitkisel ve hayvansal kökenli maddelerdir. Gizli ısıları parafinlerle karşılaştırılabilecek düzeyde organik bileşiklerdir. Düşük sıcaklıkta gizli ısı depolama uygulamaları için uygun özelliktedirler [41]. Yağ asitleri, diğer organik ve inorganik FDM'lere alternatif olarak kullanılabilirler [48]. Yağ asitlerinin termofiziksel özellikleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Bazı yağ asitlerinin erime sıcaklığı ve gizli ısı değerleri [39, 49]

Madde	Erime Sıcaklığı (°C)	Gizli Isı (kJ/kg)
Asetik Asit	16,7	184
Kaprik Asit	26,0	152
Laurik Asit	49,0	178
Miristik Asit	58,0	199
Palmitik Asit	55,0	163
Stearik Asit	69,4	205

2.1.3. Tuz Hidratları

Tuz hidratları, depolama kapasiteleri yüksek maddelerdir ve kimyasal yapıları iyonik olduğundan ısıl iletkenlikleri oldukça iyidir fakat korozif maddelerdir [50]. Tuz hidratlarının avantajları ve dezavantajları Tablo 2.5'te, termofiziksel özellikleri Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.5. Tuz hidratlarının avantajları ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none">Tuz hidratlarının düşük maliyetli ve kolay erişilebilir olması, onları depolama uygulamaları için çekici hale getirir.Tuz hidratları, diğer FDM'lere kıyasla keskin bir erime noktasına ve yüksek ısı iletkenliğine sahiptir.	<ul style="list-style-type: none">Isıl depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılan metal kaplarda korozyona neden olma eğilimindedirler.

Tablo 2.6. Tuz hidratlarının erime sıcaklığı ve gizli ısı değerleri [50, 51]

Madde	Erime Sıcaklığı (°C)	Gizli Isı (kJ/kg)
CaCl ₂ ·6H ₂ O	29,0	190,8
CaCl ₂ ·12H ₂ O	29,8	174,0
LiNO ₃ ·3H ₂ O	30,0	296,0
LiNO ₃ ·2H ₂ O	30,0	296,0
Na ₂ SO ₄ ·3H ₂ O	32,0	251,0
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32,0	251,1
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	33,0	247,0
LiBr ₂ ·2H ₂ O	34,0	124,0
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	35,0	281,0
FeCl ₃ ·6H ₂ O	37,0	223,0
NaCl·Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	18,0	286,0
KF·4H ₂ O	18,0	330,0
LiBO ₂ ·8H ₂ O	25,7	289,0
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	35,0	256,0
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	48,0	209,0
CH ₃ COONa·3H ₂ O	58,0	270,0
LiC ₂ H ₃ O ₂ ·2H ₂ O	58,0	251,0
Na ₂ P ₂ O ₇ ·10H ₂ O	70,0	186,0
Ba(OH) ₂ ·8H ₂ O	78,0	280,0
Sr(OH) ₂ ·8H ₂ O	89,0	370,0
(NH ₄)Al(SO ₄) ₂ ·12(6)H ₂ O	95,0	269,0
LiCl·H ₂ O	99,0	212,0

2.1.4. Ötektik Karışımlar

Ötektik karışımlar hem organik hem de inorganik maddelerle hazırlanabilirler. Oluşturulan karışımlar saf maddeler gibi belirli erime ve donma sıcaklığı noktasına sahiptirler. Enerji depolama sistemlerinin amacına uygun olarak iki veya daha fazla FDM karıştırılarak ötektik karışımlar elde edilebilmektedir. Ötektik karışımlar, saf bir FDM'nin sahip olduğu ısıl özellikler göstermektedirler. Bu özelliklerinden dolayı ötektik karışımlar, ısıl enerji depolama uygulamaları için uygun bulunmuşlardır [28].

Son yıllarda araştırmacılar, FDM'lerin termofiziksel özelliklerini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalarda iki ya da daha fazla FDM'yi belirli oranlarda karıştırarak, termofiziksel özellikleri daha iyi olan FDM'ler elde etmişlerdir [3]. Ayrıca FDM'lere ısıl iletkenlikleri yüksek olan nanoparçacıklar katılarak, FDM'lerin ısıl özelliklerinin artırılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, çalışmada kullanılacak FDM ve nanoparçacıkların belirlenmesi, ısı özelliklerinin tespit edilmesi, kullanılacak cihazlar ve yöntemler hakkında bilgi verilecektir.

3.1. Materyal

3.1.1. FDM ve Nanoparçacıkların Belirlenmesi ve Termofiziksel Özelliklerinin Tespit Edilmesi

Literatür taraması sonucunda, hem ötektik karışımların yapılabilmesi hem de termofiziksel özelliklerin tespiti için 18 adet FDM ve bu karışımlara eklemek amacıyla bakır oksit (CuO), demir oksit (Fe₂O₃), alüminyum oksit (Al₂O₃), çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) ve silisyum dioksit (SiO₂) olmak üzere beş adet nanoparçacık belirlenmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere belirlenen FDM'ler Tablo 3.1'te özetlenmiştir. Ayrıca ötektik FDM'lere eklenecek nanoparçacıklar Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan FDM'ler

No	Faz Değiştiren Maddeler
1	Hexadecane
2	Pentadecane
3	Tetradecane
4	Octadecane
5	Nonadecane
6	Docosane
7	Tetracosane
8	Acetamide
9	Xylitol
10	Myristic Acid
11	Lauric Acid
12	Palmitic Acid
13	Stearic Acid
14	Sodium Sulphate Decahydrate
15	Sodium Phosphate Dibasic Dodecahydrate
16	Lithium Acetate Dihydrate
17	Strontium Hydroxide Octahydrate
18	N-Allythieora

Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan nanoparçacıklar [52, 53]

Nanoparçacık	Dış çap (nm)	Yoğunluk (g/cm³)	Safılık (%)
Bakır oksit	38	6,5	99,99
Demir oksit	18-38	5,24	99,55
Alüminyum oksit	20-40	3,95	99,95
Çok duvarlı karbon nanotüp	50-80	2,2	90
Silisyum dioksit	10-20	2,2-2,6	99,5

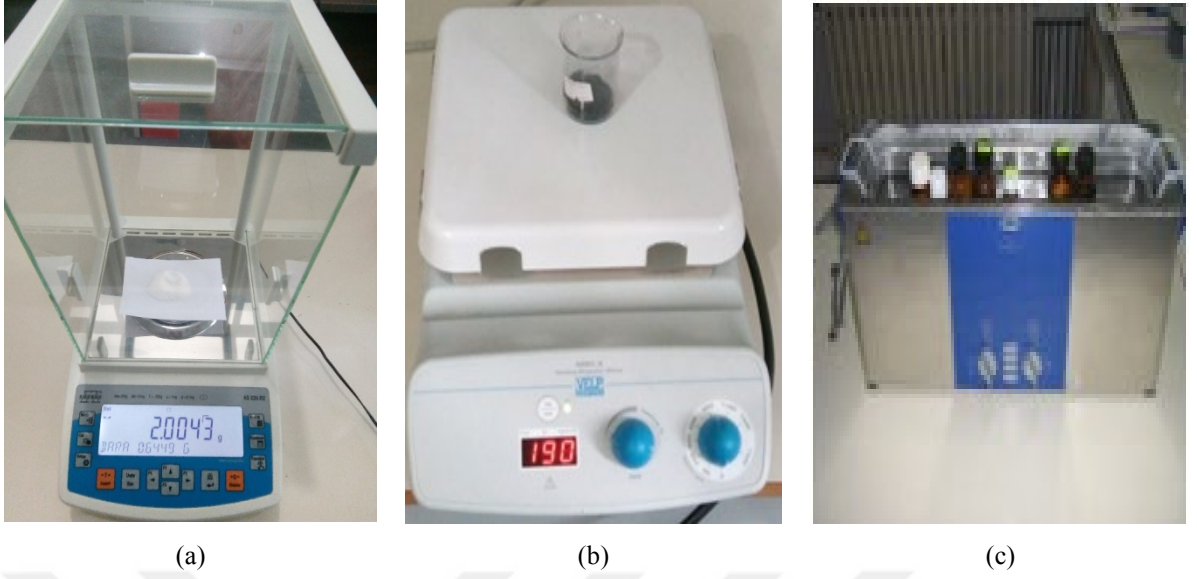
3.1.2. Kullanılan Araç ve Gereçler

Çalışmada kullanılacak FDM'ler ve nanoparçacıklar, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile erime sıcaklıkları, gizli ısıları gibi ısı özelliklerinin tespitinin yanı sıra ötektik karışımların homojen karışıp karışmadıklarının belirlenmesinde yardımcı olmuştur. Ayrıca saf, ötektik ve nano katkılı FDM'lerin parametreleri DSC analizi ile sınırlı olmadığından farklı cihazlar kullanılarak da sonuçlar alınmıştır. Isıl iletkenlik, ısı yayılım katsayısı ve hacimsel ısı kapasitesi değerleri KD2 Pro kullanılarak ölçülmüştür. Karışımların, kimyasal yapısı Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre (FT-IR), kristal yapısı X ışın kırınımı (XRD) ve yüzey yapısı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazıyla analiz edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Faz Değiştiren Maddeler ve Karışımların Hazırlanması

Karışımları hazırlamak için, özellikleri belirlenen ve istenilen şartlardaki saf FDM'ler toplam ağırlığı 2 gr olacak şekilde hassas terazi ile tartıldıktan sonra kaplara aktarılmıştır. Hazırlanan ötektik karışımlara %1, %3 ve %5 hacimsel oranlarda nanoparçacık eklenmiştir. Bu karışımlar 50 °C de ve yaklaşık bir saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra karışımlar, uygun erime sıcaklığı aralığında 24 saat ultrasonik karıştırıcıda homojen karışmasına izin verilmiştir. Son olarak karıştırıcının ısıtma durdurulmuş ve karışımların homojenliğini korumak için ani soğutma ile katılaştırılması sağlanmıştır. Aşamalar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Karışımların hazırlanma aşamaları a) Hassas terazide tartılması, b) Manyetik karıştırıcı karıştırılması, c) Ultrasonik karıştırıcıda karıştırılması

3.2.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), malzemelerin erime sıcaklığı, erime gizli ısısı gibi ısıl özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Analizler azot atmosferinde ve 10 °C/dk'lık sıcaklık artışı şeklinde program ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. DSC cihazı üniversitemizin Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Enerji Laboratuvarında bulunan, HITACHI 7010 model cihaz ile ölçülmüştür (Şekil 3.2). Ayrıca DSC cihazının özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Hitachi 7010 DSC cihazı

Tablo 3.3. DSC cihazının özellikleri [54]

Özellikler	
Model	DSC-7010
Ölçüm prensibi	Isı akı tipi
Sıcaklık aralığı	-170 °C ~ +725 °C
Ölçüm aralığı	± 350mW
Sıcaklık Keskinliği	+/- 0.2 °C
Gürültü	0.2-0.4 µW
Tarama Oranı	0.01 ile 100 °C/dk
Atmosfer	Oksidatif veya inert gaz

3.2.3. KD2 Pro

KD2 PRO ısı özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan bir cihaz olmakla birlikte sensörlerden ve bir denetleyiciden oluşmaktadır. Saf, ötektik ve nano katkılı ötektik FDM'lerin, ısı iletkenlik, ısı yayılım katsayısı ve hacimsel ısı kapasitesinin ölçümleri KD2 PRO marka ısı iletkenlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ölçümlerde kullanılan cihaz Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. KD2 Pro ölçüm cihazı

3.2.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometre Analizi

Karışımların kimyasal yapı analizleri, Nicolet iS5 spektrofotometresi ile 550-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında geçirgenlik modunda yapılmıştır. Kullanılan fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre (FT-IR) Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre cihazı

3.2.5. X-Ray Difraktometre Analizi

Karışımların kristal yapı analizleri, Bruker D8 Advance X-ray difraktometre (XRD) cihazı ile 5 $^{\circ}$ /dk tarama hızında 40 mA ve 40 kV de 10-70 $^{\circ}$ arasında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cihaz Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. X-ray difraktometre cihazı

3.2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu

FDM lerin yüzey morfolojisi hakkında bilgi edinmek için Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) görüntüleri elde edilmiştir. Görüntüler Zeiss EVOMA10 SEM cihazı ile 5 kV altında alınmıştır. Kullanılan cihaz Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Zeiss EVOMA 10 SEM cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde saf FDM'ler, ötektik FDM'ler ve NKÖFDM'lerin termofiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik çalışma sonuçları verilmiştir.

4.1. Saf Faz Değiştiren Maddelerin Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Saf FDM'lerin termofiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Isıl iletkenlik, hacimsel ısı kapasitesi ve ısı yayılım katsayısının belirlenmesinde KD2 Pro cihazı kullanılmıştır. Erime sıcaklıkları ve gizli ısı değerleri DSC cihazı ile tespit edilmiştir. Ölçümler dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Aşamalar şu şekildedir:

- Saf FDM'ler manyetik karıştırıcı yardımıyla eritilmiştir. Eritilen saf FDM'ler epondorflara katılarak, içinde hava boşluğu kalmamasına dikkat edilmiştir.
- Epondorfa eklenen saf FDM'lerin ısı özellikleri, KD2 Pro cihazının SH-1 probu kullanılarak tespit edilmiştir. Saf FDM'leri belirlenen ısı özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Ayrıca bu aşamalar Şekil 4.1'de gösterilmiştir.
- Saf FDM'lerin, endotermik ya da ekzotermik değişimi içeren fiziksel ve kimyasal olaylar hakkında nicel ve nitel bilgilerin verildiği ölçümler DSC cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.2'de saf FDM'lerin DSC cihazı ile elde edilen sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 4.1. Saf FDM'lerin belirlenen ısı özellikleri

Malzemeler	Isıl İletkenlik (W/mK)	Hacimsel Isı Kapasitesi (MJ/m ³ K)	Isıl Yayılım Katsayısı (mm ² /s)
Hexadecane	0,206	0,41	0,32
Pentadecane	0,131	0,38	0,306
Tetradecane	0,108	0,489	0,34
Octadecane	0,387	1,390	0,270
Nonadecane	0,709	1,296	0,157
Docosane	0,231	0,739	0,531
Tetracosane	0,359	1,352	0,279
Acetamide	0,547	1,668	0,257
Xylitol	-	-	-
Myristic Acid	0,172	2,026	0,136
Lauric Acid	0,204	1,65	0,118
Palmitic Acid	0,164	1,562	0,113
Stearic Acid	0,151	1,676	0,106
Sodium Sulphate Decahydrate	0,282	1,493	0,125
Sodium Phosphate Dibasic Dodecahydrate	0,381	1,615	0,341
Lithium Acetate Dihydrate	0,22	1,145	0,201
Strontium Hydroxide Octahydrate	-	-	-
N-Allythiora	0,126	0,535	0,238



Şekil 4.1. Saf FDM'lerin termofiziksel özelliklerini belirleme aşamaları

Tablo 4.2. Saf FDM'lerin DSC ile elde edilen sonuçları

No	Malzemeler	Erimeye başladığı sıcaklık (°C)	Erimeyi sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Erime sıcaklığı (°C)	Gizli Isısı (J/g)
1	Hexadecane	16,95	24,18	20,43	235
2	Pentadecane	8,64	16,92	13,81	193
3	Tetradecane	4,96	9,82	7,59	212
4	Octadecane	25,68	36,90	31,71	219
5	Nonadecane	30,60	37,66	32,82	163
6	Docosane	42,74	51,67	46,12	266
7	Tetracosane	47,37	55,78	51,14	276
8	Acetamide	79,2	89,3	82,8	260
9	Xylitol	92,3	104,1	97,2	243
10	Myristic Acid	45,57	58,46	51,67	179
11	Lauric Acid	39,47	49,38	43,59	205
12	Palmitic Acid	61,38	70,42	65,07	222
13	Stearic Acid	67,9	77,8	72,9	226
14	Sodium Sulphate Decahydrate	33,03	44,53	38,13	252
15	Sodium Phosphate Dibasic Dodecahydrate	35,56	49,84	43,85	282
16	Lithium Acetate Dihydrate	52,56	69,81	61,42	255
17	Strontium Hydroxide Octahydrate	85,5	100,7	89,5	197
18	N-Allylthieora	69,78	80,53	74,74	165

4.2. Ötektik Faz Değişiren Maddelerin Hazırlanması ve DSC ile Özelliklerinin Belirlenmesi

Termofiziksel özellikleri belirlenen saf FDM'ler kullanılarak farklı oranlarda ötektik karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar, oranları ve DSC sonuçları Tablo 4.3'te belirtilmiştir.

Tablo 4.3. Hazırlanan karışımların DSC sonuçları

Ötektik FDM ler	Oranlar (%)	Erimeye başladığı sıcaklık (°C)	Erimeyi sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Erime sıcaklığı (°C)	Gizli Isısı (J/g)
Nonadecane-Octadecane	50-50	26,10	36,98	32,03	155
Nonadecane-Octadecane	60-40	28,38	39,22	33,30	152
Nonadecane-Octadecane	40-60	26,12	37,58	32,50	149
Nonadecane-Docosane	50-50	34,94	46,12	41,21	140
Nonadecane-Docosane	40-60	37,49	48,27	42,41	132
Docosane-Octadecane	50-50	30,17	42,06	36,65	134
Nonadecane-Tetracosane	50-50	37,91	51,56	45,87	145
Nonadecane-Tetracosane	25-75	36,32	54,01	49,16	201
Nonadecane-Tetracosane	75-25	30,81	43,25	38,19	134
Tetracosane-Docosane	50-50	46,39	57,04	50,32	229
Tetracosane-Octadecane	50-50	24,26	51,55	45,97	239
Tetracosane-Tetradecane	50-50	36,20	50,92	44,88	81
Hexadecane-Nonadecane	50-50	15,20	31,27	25,72	148
Lauric Acid-Myristic Acid	50-50	35,41	46,27	40,50	150
Lithium Acetate Dihydrate-Sodium Sulphate Decahydrate	50-50	26,55	54,41	46,72	30
Nonadecane-Tetracosane-Steatic Acid	30-30-40	57,44	66,44	62,35	181
Nonadecane-Octadecane-Steatic Acid	30-30-40	59,54	68,60	64,22	169

4.3. Nano Katkılı Ötektik Faz Değiştiren Maddelerin Hazırlanması ve Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

DSC ölçümleri sonucunda, Tetracosane-Octadecane (50-50) karşımı, istenilen erime sıcaklığı aralığında ve gizli ısı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu karışıma %1, %3, %5 oranlarında alüminyum oksit (Al_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3), bakır oksit (CuO), silisyum dioksit (SiO_2) ve çok duvarlı karbon nanotüp nanoparçacıkları (ÇDKNT) eklenmiştir. Nano katkılı ötektik faz değiştiren maddelerin (NKÖFDM) ısı iletkenlik, hacimsel ısı kapasitesi ve ısı yayılım katsayısı değerleri Tablo 4.4 – 4.6’da, sıcaklık ve gizli ısı değerleri Tablo 4.7’de verilmiştir. Ayrıca DSC ölçümleri şekil 4.3 – 4.18’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışıma ve %1 nanoparçacık katkılı ötektik FDM’lerin ısı özellikleri

Karışımlar	Isıl İletkenlik (W/mK)	Sabit Hacimli Isı Kapasitesi (MJ/m ³ K)	Isıl Yayılım Katsayısı (mm ² /s)
Tetracosane-Octadecane (50-50)	0,396	2,255	0,219
%1 Alüminyum Oksit	0,460	2,642	0,264
%1 Demir Oksit	0,503	2,230	0,276
%1 Bakır Oksit	0,444	3,764	0,281
%1 Silisyum Oksit	0,458	2,195	0,18
%1 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	0,444	2,191	0,261

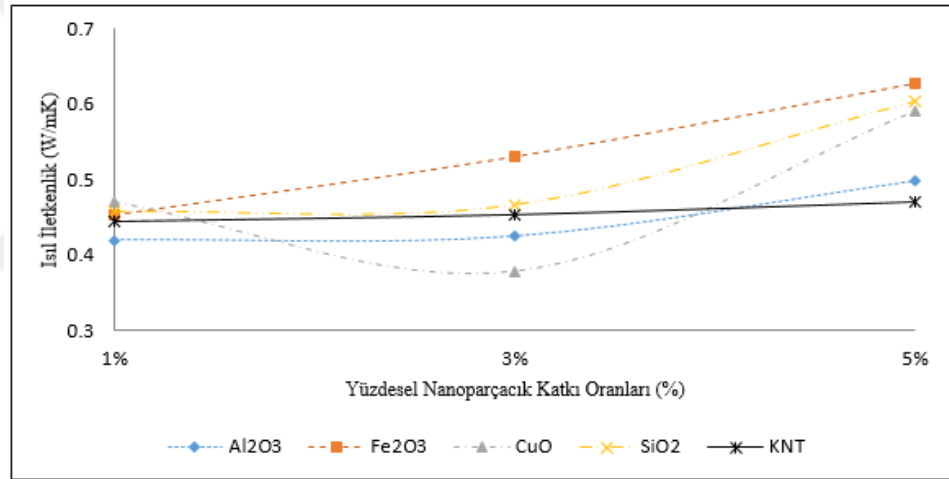
Tablo 4.5. %3 nano katkılı ötektik FDM’lerin ısı özellikleri

Karışımlar	Isıl İletkenlik (W/mK)	Sabit Hacimli Isı Kapasitesi (MJ/m ³ K)	Isıl Yayılım Katsayısı (mm ² /s)
%3 Alüminyum Oksit	0,577	3,157	0,216
%3 Demir Oksit	0,531	2,270	0,177
%3 Bakır Oksit	0,464	3,715	0,263
%3 Silisyum Oksit	0,467	2,114	0,188
%3 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	0,453	2,015	0,365

Tablo 4.6. %5 nano katkıli ötektik FDM'lerin ısı özellikleri

Karışımlar	Isıl İletkenlik (W/mK)	Sabit Hacimli Isı Kapasitesi (MJ/m ³ K)	Isıl Yayınım Katsayısı (mm ² /s)
%5 Alüminyum Oksit	0,569	2,783	0,382
%5 Demir Oksit	0,551	3,424	0,286
%5 Bakır Oksit	0,526	2,684	0,301
%5 Silisyum Oksit	0,604	3,284	0,204
%5 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	0,470	2,4	0,215

KD2 Pro cihazı kullanılarak ötektik karışım ve NKÖFDM'lerin ısı özellikleri belirlenmiştir. NKÖFDM'ler Tetracosane-Octadecane (%50-%50) ötektik karışımı ile kıyaslandığında ısı özelliklerinin geliştirildiği görülmüştür. NKÖFDM'lerin ısı iletkenliklerinin nanoparçacık katkısına göre değişimi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



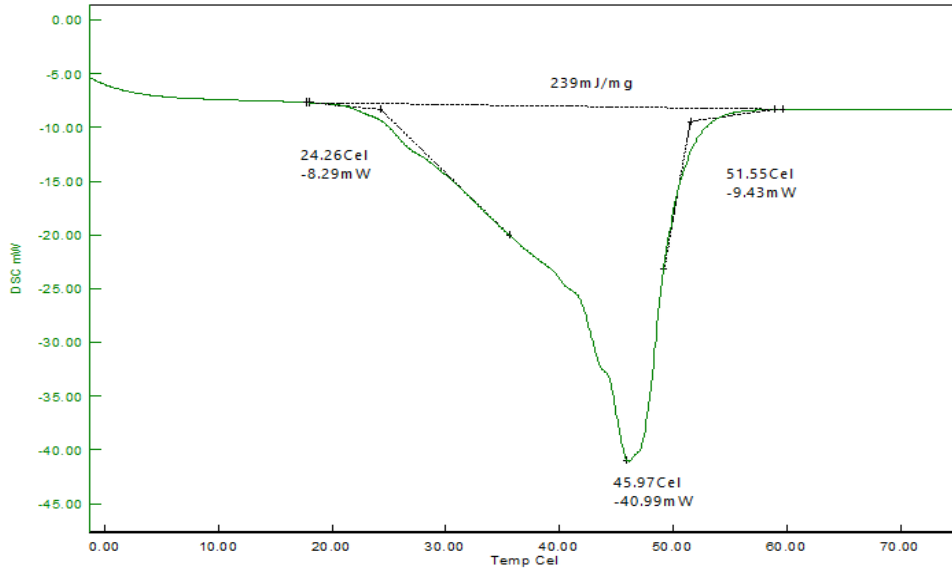
Şekil 4.2. Isıl iletkenlik değerlerinin nanoparçacık katkısına göre değişimi

Şekil 4.2'de görüldüğü üzere %3 CuO katkıli ötektik karışım hariç, diğer karışımların ısı iletkenlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek ısı iletkenlik artışı, %52,52'lik artışla %5 SiO₂ katkıli ötektik karışımında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.7. Nano katkıli ötektik FDM'lerin DSC sonuçları

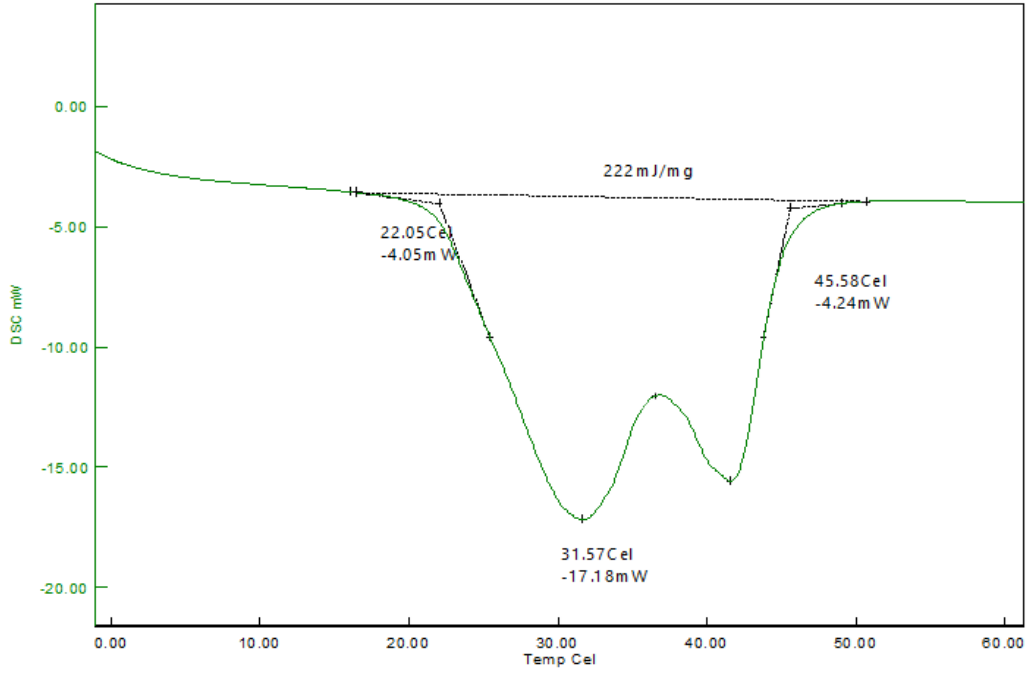
Karışımlar	Erimeye başladığı sıcaklık (°C)	Erimeyi sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Erime sıcaklığı (°C)	Gizli Isısı (J/g)
Tetracosane-Octadecane (50-50)	24,26	51,55	45,97	239
%1 Alüminyum Oksit	21,85	45,08	31,66	223
%3 Alüminyum Oksit	25,75	53,88	45,56	181
%5 Alüminyum Oksit	23,13	52,55	43,32	196
%1 Demir Oksit	20,80	44,76	28,73	242
%3 Demir Oksit	25,76	51,44	46,22	198
%5 Demir Oksit	22,75	52,72	44,73	162
%1 Bakır Oksit	21,13	44,53	30,13	240
%3 Bakır Oksit	22,62	45,99	41,96	103
%5 Bakır Oksit	22,41	48,75	43,04	192
%1 Silisyum Oksit	21,56	44,93	36,60	236
%3 Silisyum Oksit	27,14	54,47	45,33	209
%5 Silisyum Oksit	22,93	52,18	41,44	186
%1 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	21,47	44,82	30,45	241
%3 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	24,69	54,74	47,83	206
%5 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	22,91	51,30	39,45	213

Hazırlanan Octadecane-Tetracosane (%50-%50) ikili ötektik karışımının DSC analizi Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Yapılan ısıl analiz sonucunda Octadecane/Tetracosane (%50-%50) ötektik karışımın gizli ısısı 239 J/g ve erime sıcaklığı 45,97 °C olarak belirlenmiştir.

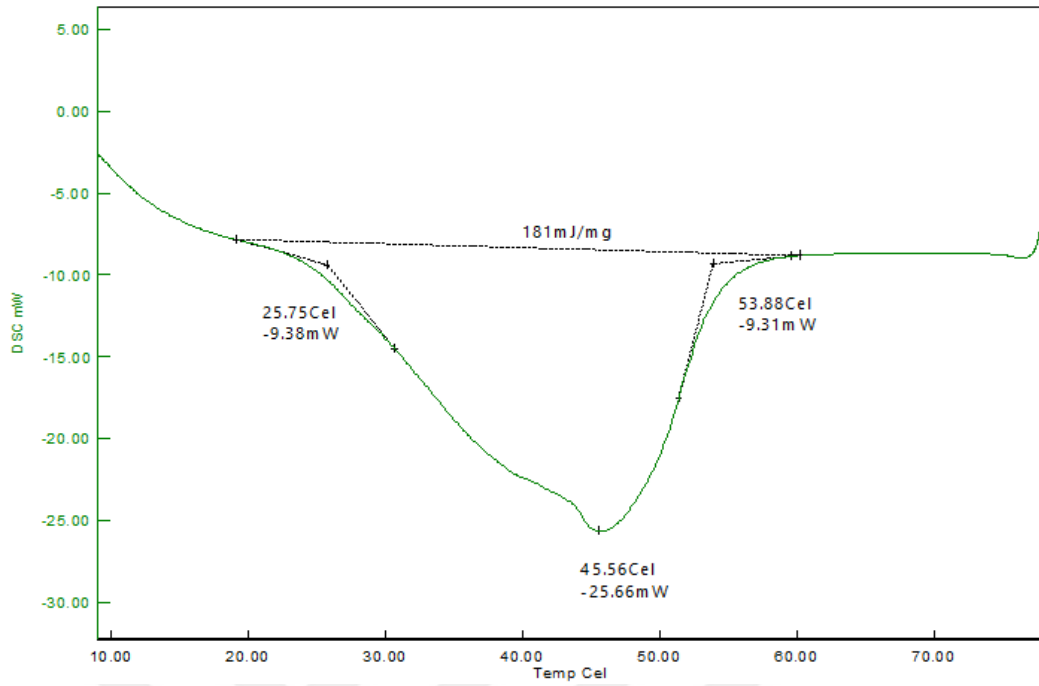


Şekil 4.3. Tetracosane-Octadecane (%50-%50)

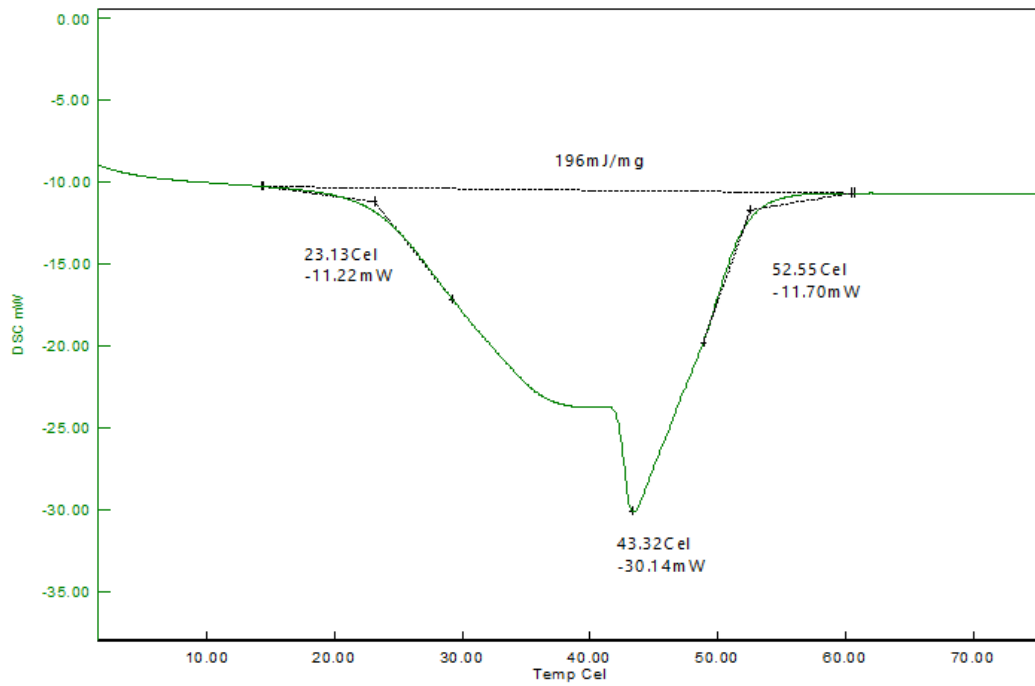
Hazırlanan Octadecane-Tetracosane (%50-%50) ikili ötektik karışımına %1, %3, %5 oranlarında Al_2O_3 eklenmiştir. NKÖFDM'lerin DSC analizi Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Yapılan ısıl analiz sonucunda %1'lik Al_2O_3 nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısısı 222 J/g ve erime sıcaklığı 31,57 °C, %3'lük Al_2O_3 nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısısı 181 J/g ve erime sıcaklığı 45,56 °C, %5'lik Al_2O_3 nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısısı 196 J/g ve erime sıcaklığı 43,32 °C olarak belirlenmiştir. Nano katkılı karışımlar ötektik karışım ile karşılaştırıldığında, gizli ısı değerlerinde azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4. %1 Alüminyum Oksit

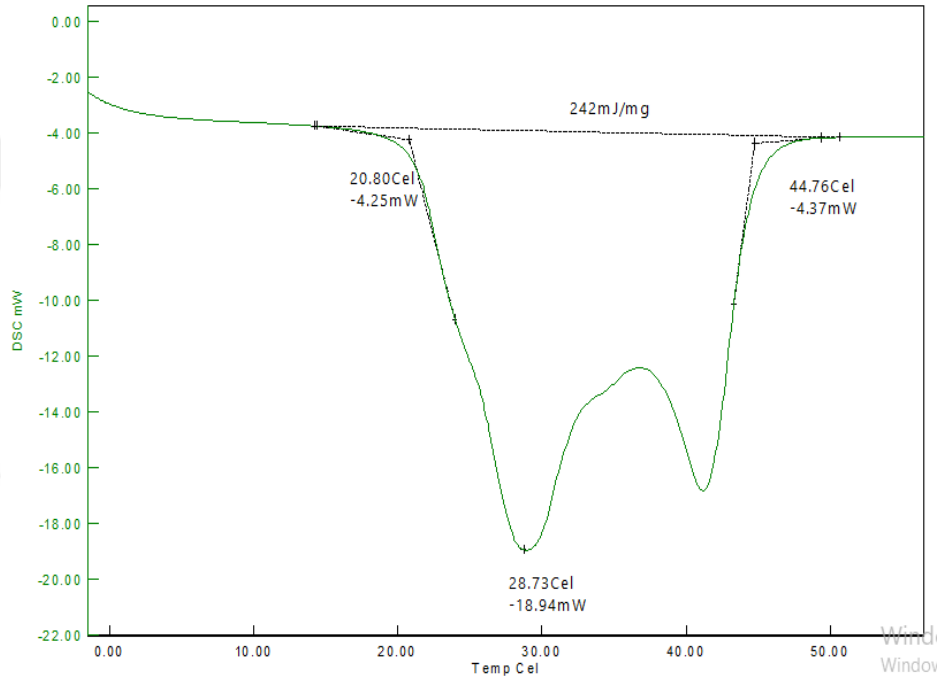


Şekil 4.5. %3 Alüminyum Oksit

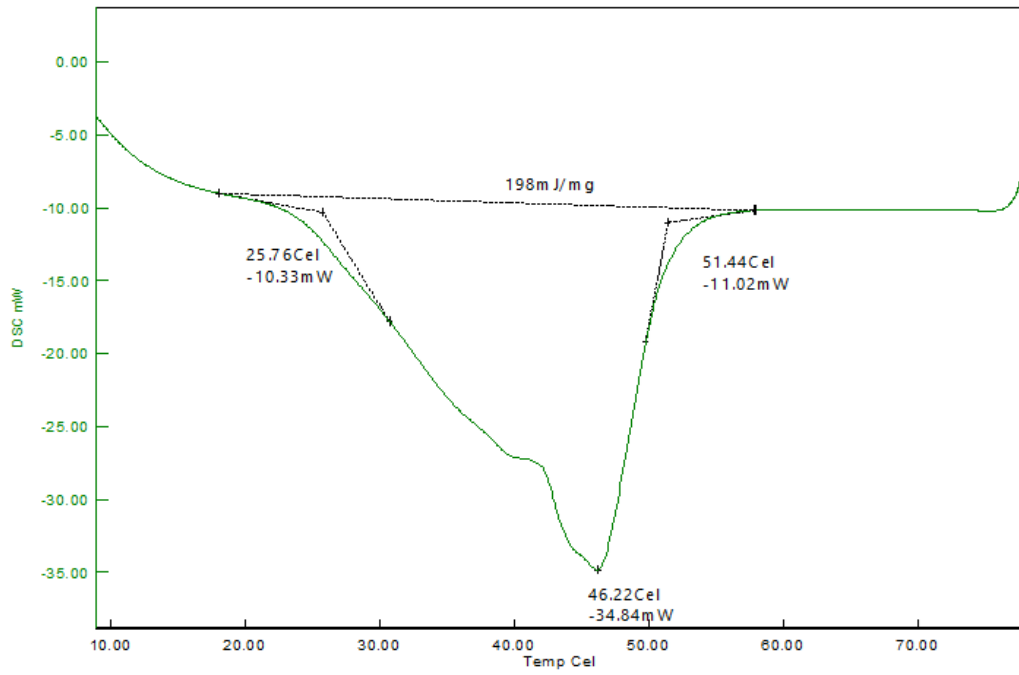


Şekil 4.6. %5 Alüminyum Oksit

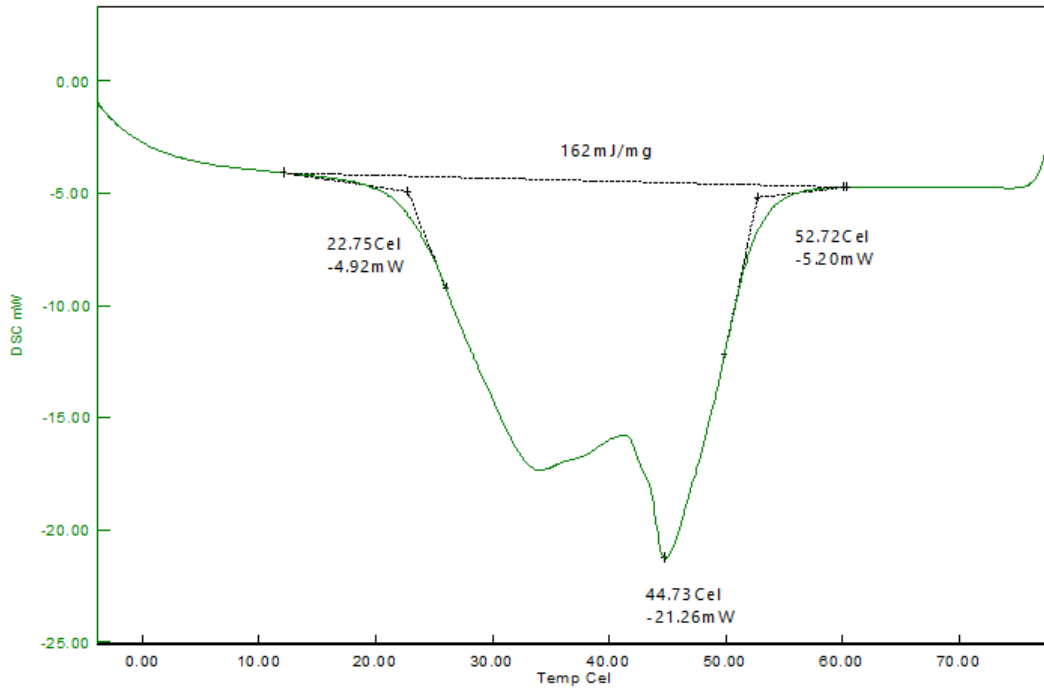
Hazırlanan Octadecane-Tetracosane (%50-%50) ikili ötektik karışımına %1, %3, %5 oranlarında Fe₂O₃ eklenmiştir. NKÖFDM'lerin DSC analizi Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir. Yapılan ısıl analiz sonucunda %1'lik Fe₂O₃ nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısısı 242 J/g ve erime sıcaklığı 28,73 °C, %3'lük Fe₂O₃ nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısısı 198 J/g ve erime sıcaklığı 46,22 °C, %5'lik Fe₂O₃ nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısısı 162 J/g ve erime sıcaklığı 44,73 °C olarak belirlenmiştir. Nano katkılı karışımlar ötektik karışım ile karşılaştırıldığında, %1'lik nano katkılı karışımın gizli ısı değerinde artma, %3 ve %5'lik nano katkılı karışımların gizli ısı değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.7. %1 Demir Oksit

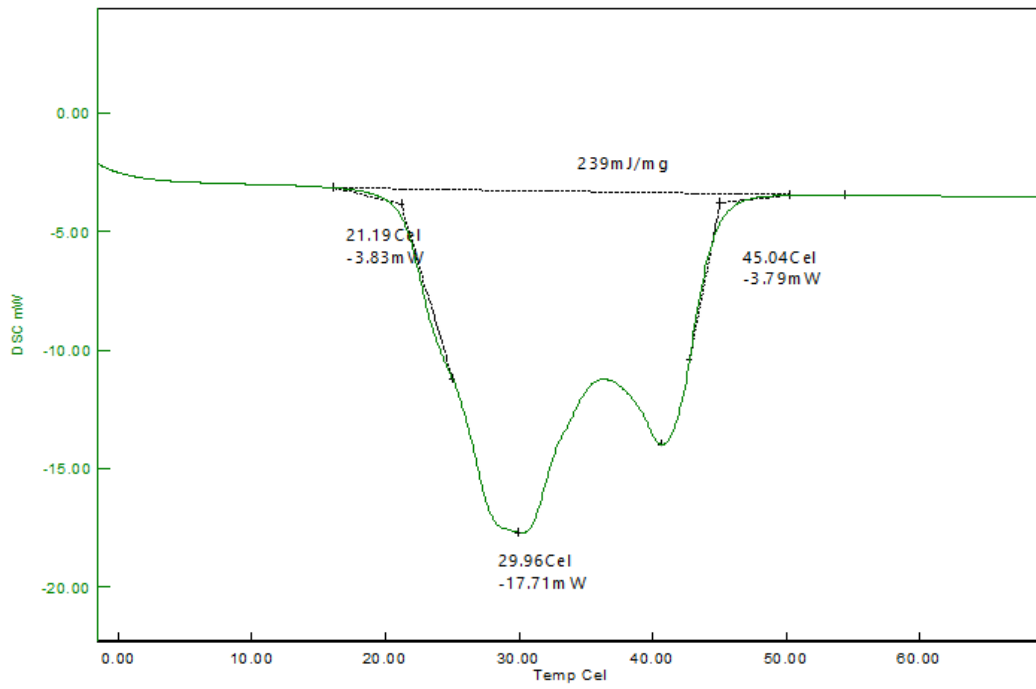


Şekil 4.8. %3 Demir Oksit

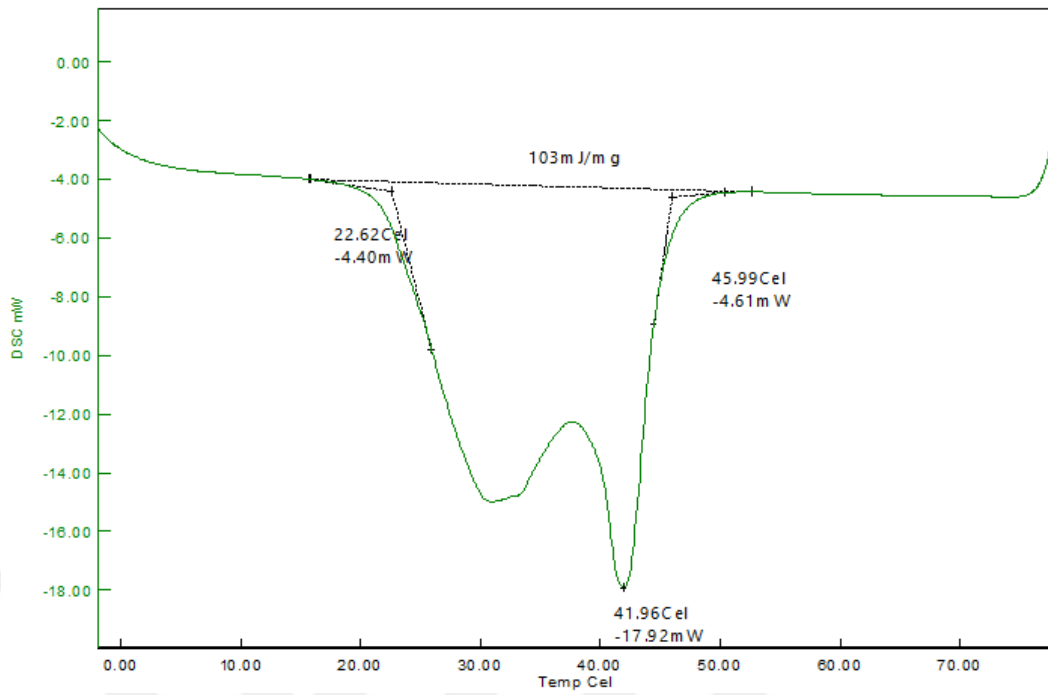


Şekil 4.9. %5 Demir Oksit

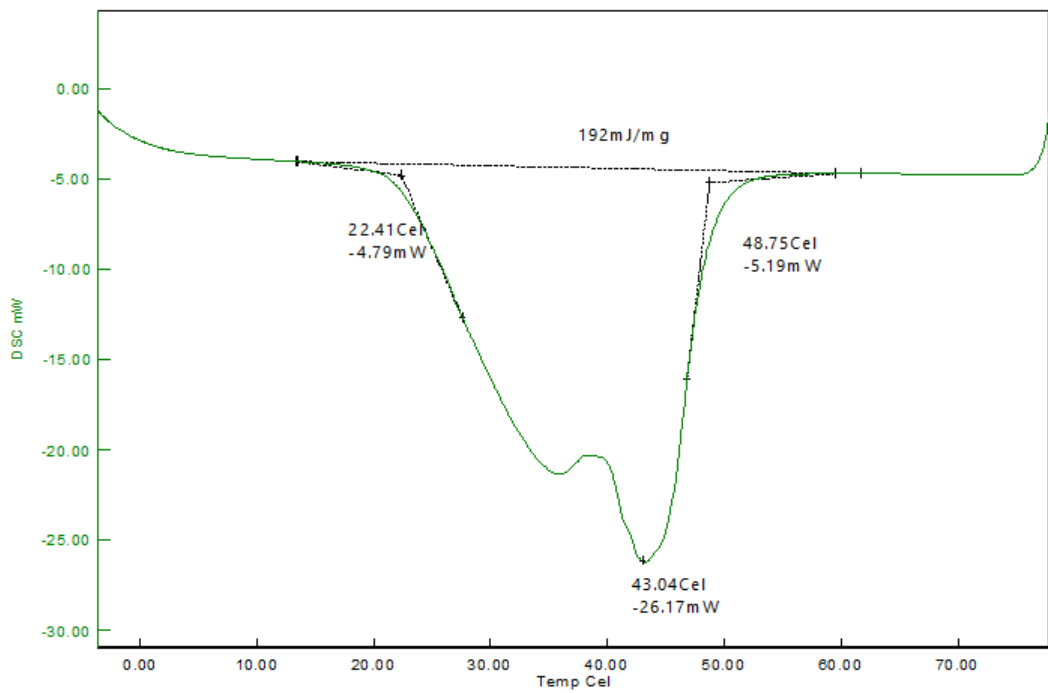
Hazırlanan Octadecane-Tetracosane (%50-%50) ikili ötektik karışımına %1, %3, %5 oranlarında CuO eklenmiştir. NKÖFDM'lerin DSC analizi Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilmiştir. Yapılan ısıl analiz sonucunda %1'lik CuO nanoparçacık katkıli karışımın gizli ısısı 239 J/g ve erime sıcaklığı 29,96 °C, %3'lük CuO nanoparçacık katkıli karışımın gizli ısısı 103 J/g ve erime sıcaklığı 41,96 °C, %5'lik CuO nanoparçacık katkıli karışımın gizli ısısı 192 J/g ve erime sıcaklığı 43,04 °C olarak belirlenmiştir. Nano katkıli karışımlar ötektik karışım ile karşılaştırıldığında, %3 ve %5 nano katkıli karışımların gizli ısı değerlerinde azalma, %1 nano katkıli karışımın gizli ısı değerinde değişim olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. %1 Bakır Oksit

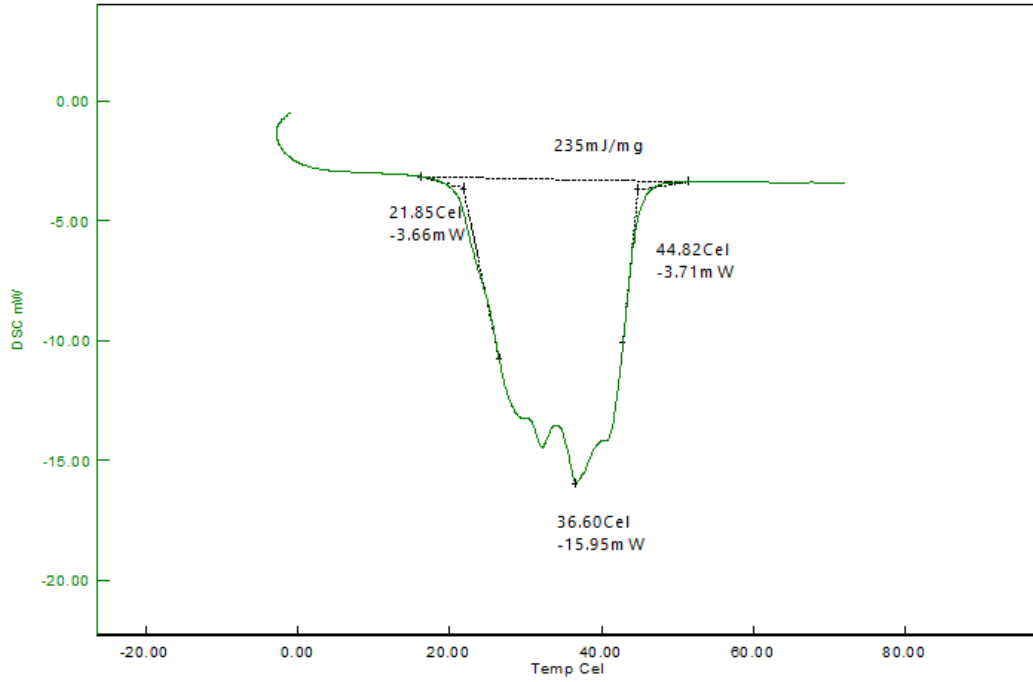


Şekil 4.11. %3 Bakır Oksit

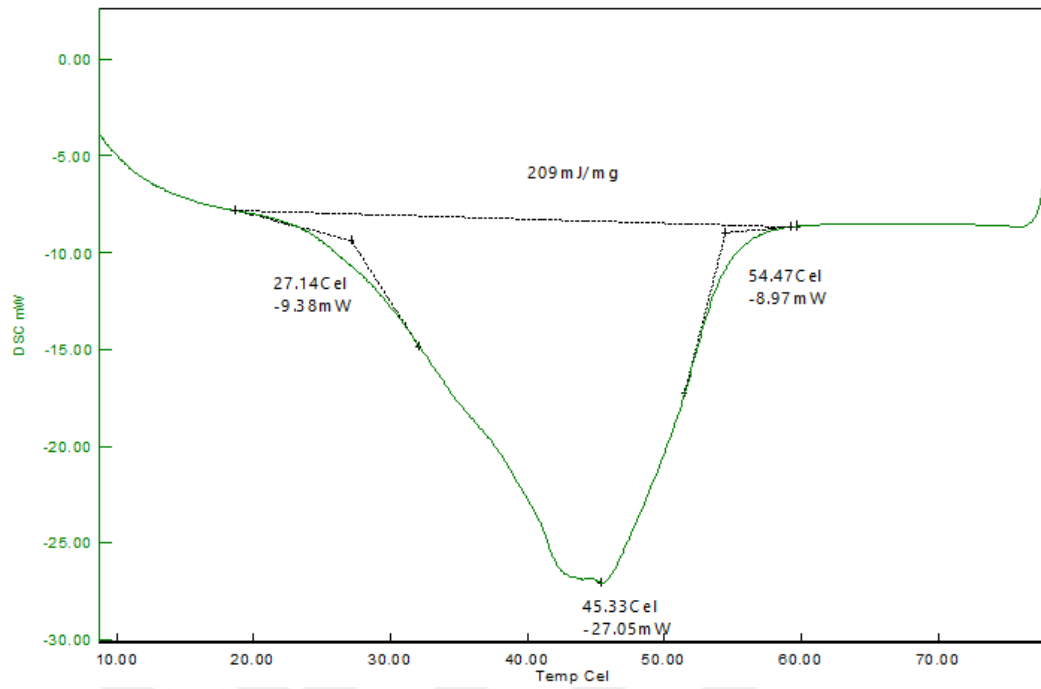


Şekil 4.12. %5 Bakır Oksit

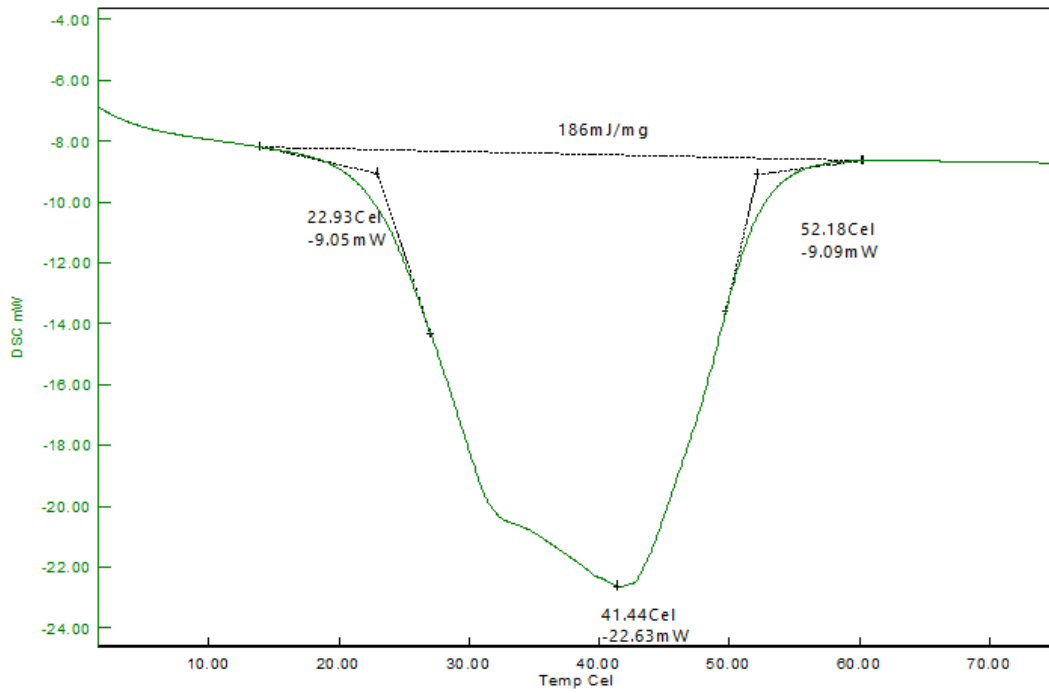
Hazırlanan Octadecane-Tetracosane (%50-%50) ikili ötektik karışımına %1, %3, %5 oranlarında SiO₂ eklenmiştir. NKÖFDM'lerin DSC analizi Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'te verilmiştir. Yapılan ısıl analiz sonucunda %1'lik SiO₂ nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısısı 235 J/g ve erime sıcaklığı 36,60 °C, %3'lük SiO₂ nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısısı 209 J/g ve erime sıcaklığı 45,33 °C, %5'lik SiO₂ nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısısı 186 J/g ve erime sıcaklığı 41,44 °C olarak belirlenmiştir. Nano katkılı karışımlar ötektik karışım ile karşılaştırıldığında, gizli ısı değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.13. %1 Silisyum Oksit

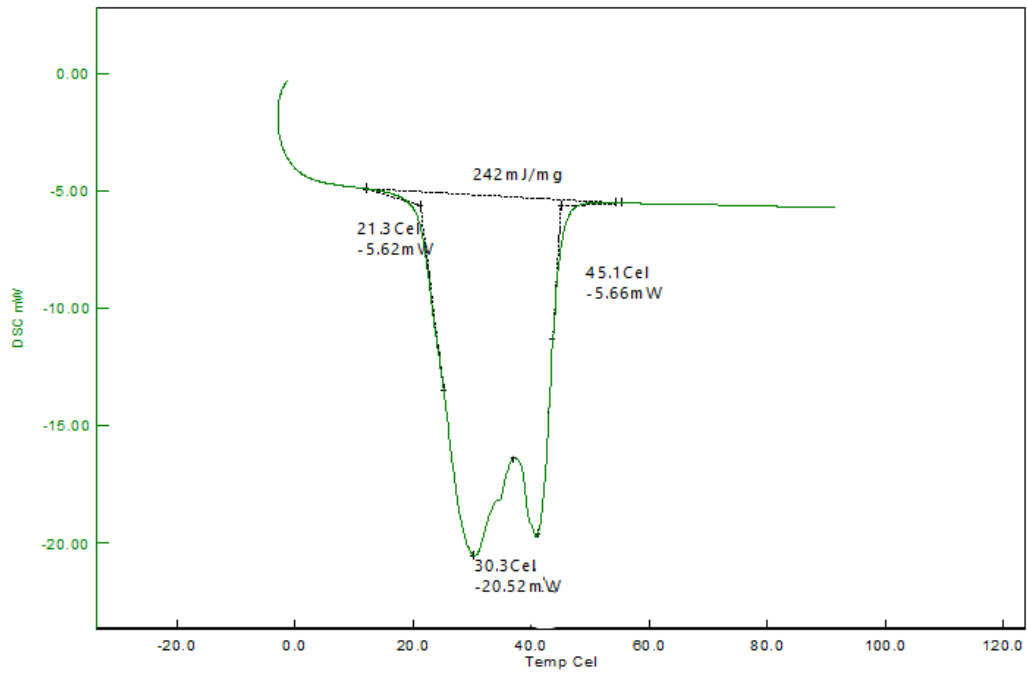


Şekil 4.14. %3 Silisyum Oksit

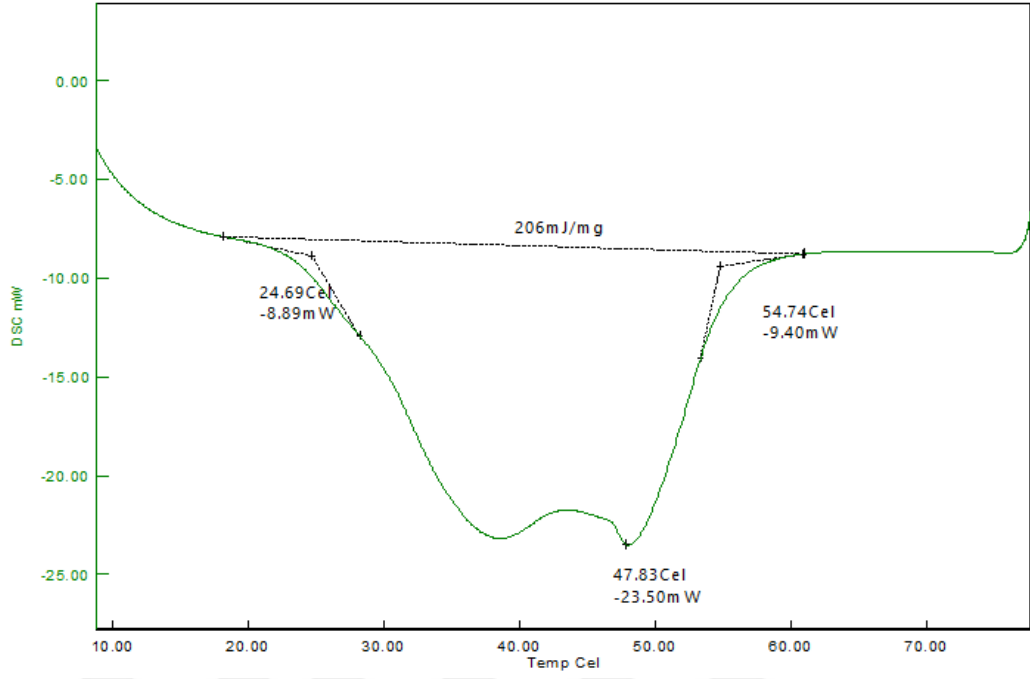


Şekil 4.15. %5 Silisyum Oksit

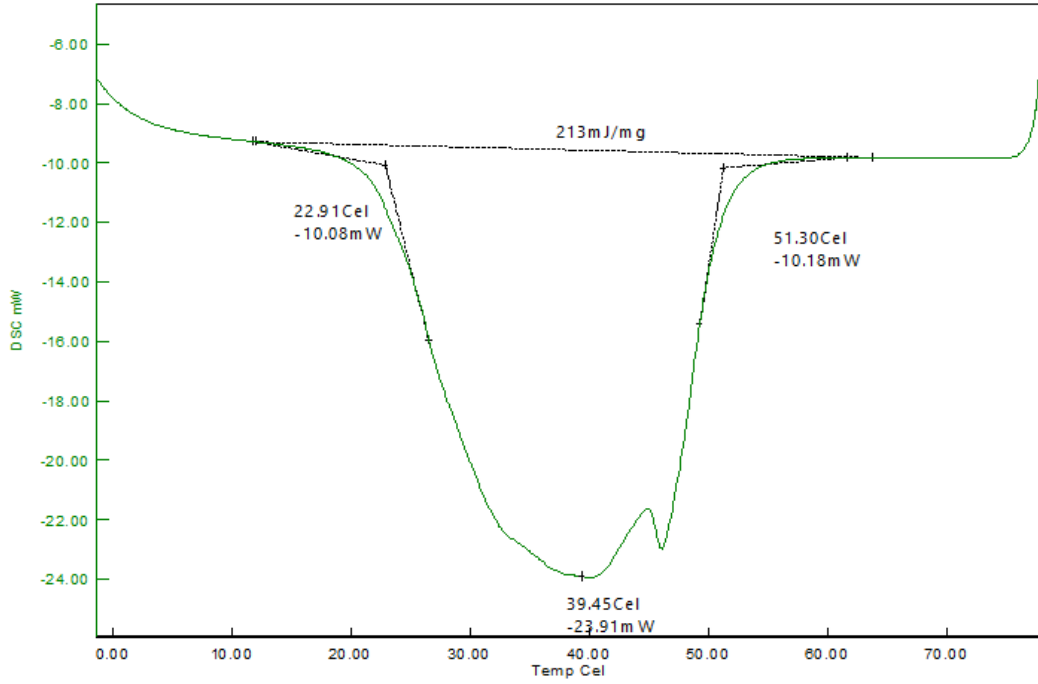
Hazırlanan Octadecane-Tetracosane (%50-%50) ikili ötektik karışımına %1, %3, %5 oranlarında ÇDKNT eklenmiştir. NKÖFDM'lerin DSC analizi Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de verilmiştir. Yapılan ısıl analiz sonucunda %1'lik ÇDKNT nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısı 242 J/g ve erime sıcaklığı 30,3 °C, %3'lük ÇDKNT nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısı 206 J/g ve erime sıcaklığı 47,83 °C, %5'lik ÇDKNT nanoparçacık katkılı karışımın gizli ısı 213 J/g ve erime sıcaklığı 39,45 °C olarak belirlenmiştir. Nano katkılı karışımlar ötektik karışım ile karşılaştırıldığında, %1 nano katkılı karışımın gizli ısı değerlerinde artma, %3 ve %5 nano katkılı karışımların gizli ısı değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. %1 Çok duvarlı karbon nanotüp



Şekil 4.17. %3 Çok duvarlı karbon nanotüp

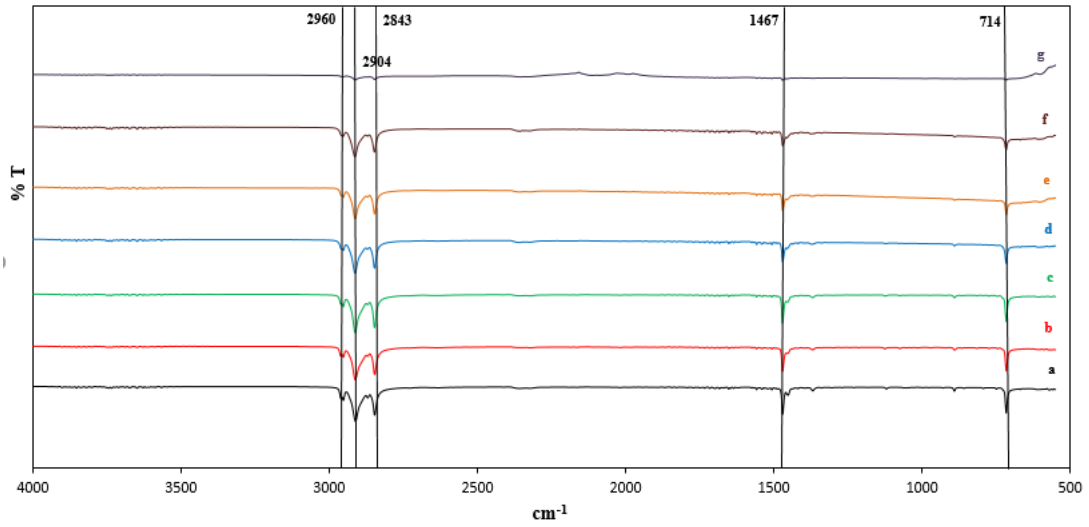


Şekil 4.18. %5 Çok duvarlı karbon nanotüp

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Tetracosane-Octadecane (%50-%50) ötektik karışımına %1, %3, %5 oranlarında nanoparçacık eklenerek termofiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Deneysel bulgular neticesinde nanoparçacık katkılı karışımlar, ötektik karışıma göre gelişmiş ısı özellikler sergilediği görülmüştür. Yapılan nanoparçacık katkısı ile birlikte erime sıcaklığı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak gizli ısı değerinin, ÇDKNT nanoparçacık katkılı karışımlar hariç diğer nanoparçacık katkılı karışımlarda düzensiz dağılım olduğu belirlenmiştir. Bu parametreler göre ÇDKNT katkılı karışımlar istenilen uygun erime sıcaklığında ve mümkün olduğu kadar yüksek gizli ısı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. ÇDKNT katkılı karışımların kimyasal yapısı FT-IR, atomik ve moleküler yapısı XRD ve yüzey morfolojisi hakkında bilgi edinmek için SEM analizler gerçekleştirilmiştir.

4.4. FT-IR Sonuçları

Tetracosane, Octadecane, Tetracosane-Octadecane (%50-%50), bu ötektik karışıma %1, %3 ve %5 oranlarında eklenmiş nanoparçacık katkılı durumları ve ÇDKNT ün FT-IR spektrumları, sırasıyla a, b, c, d, e, f ve g ye karşılık gelen Şekil 4.19'da sergilenmektedir.

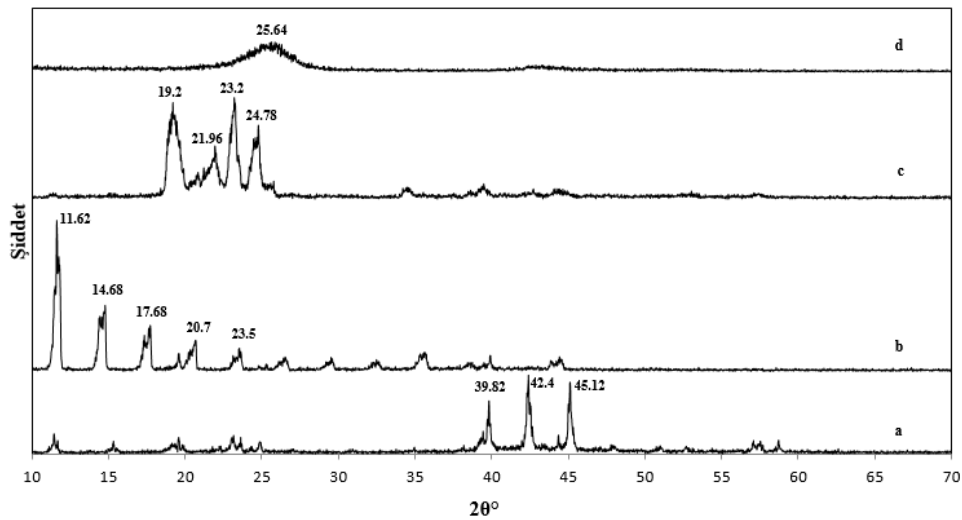


Şekil 4.19. Saf FDM, ötektik FDM ve NKÖFDM'lerin FT-IR sonuçları, a) Tetracosane, b) Octadecane, c) Tetracosane-Octadecane (%50-%50), d) %1 ÇDKNT katkılı ötektik karışım, e) %3 ÇDKNT katkılı ötektik karışım, f) %5 ÇDKNT katkılı ötektik karışım, g) ÇDKNT

Şekil 4.19 a ve b’de Tetracosane ve Octadecane’nın spektrumları gösterilmektedir. 2960 cm^{-1} , 2904 cm^{-1} ve 2843 cm^{-1} civarındaki pikler, Tetracosane ve Octadecane’nın yapısında bulunan C-H’nin asimetrik ve simetrik gerilme titreşimlerini göstermektedir. 1467 cm^{-1} ’de bulunan pikler CH_2 ve CH_3 ’ün deformasyon titreşiminden kaynaklanmaktadır. 714 cm^{-1} ’de gözlemlenen pikler CH_2 düzlem içi sallanma titreşimlerinden oluşmaktadır. Karışımların spektrumları incelendiğinde; Tetracosane, Octadecane ve ÇDKNT den kaynaklı belirgin 2960, 2904, 2843, 1467 ve 714 cm^{-1} civarında gözlemlenen pikler karışımların yapısında da bulunmaktadır. FT-IR analizlerinden açıkça görüldüğü üzere karışımların üretimi sırasında ÇDKNT ve FDM’ler arasında kimyasal bir reaksiyon gerçekleşmemiştir ve karışımların hem ÇDKNT hem de FDM’lerin özgül piklerini taşıdığı tespit edilmiştir. FT-IR analizleri, karışım oluşumunu doğrulamaktadır.

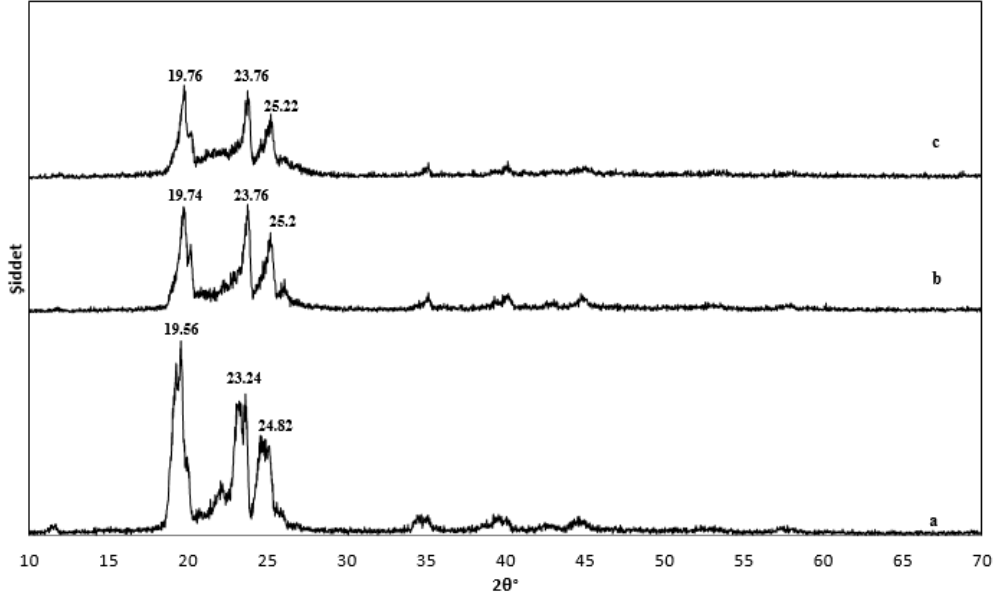
4.5. XRD Sonuçları

Numunelerin kristal yapısı, Şekil 4.20 ve 4.21’de gösterilen XRD ile analiz edilmiştir. Şekil 4.20 a-d, Tetracosane, Octadecane, Tetracosane-Octadecane (%50-%50) ve ÇDKNT modellerini, Şekil 4.21 a-c, Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışımına %1, %3, %5 oranlarında ÇDKNT eklenen karışımların modellerini temsil etmektedir. Şekil 4.20a, Tetracosane’nın düzenli kristalleşmesinin neden olduğu 39.82 °, 42.4 ° ve 45.12 °’de üç keskin XRD tepe noktasına sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.20b, Octadecane’nın düzenli kristalleşmesinin neden olduğu 11.62 °, 14.68°, 17.68° ve 20.7° de dört keskin XRD zirvesine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.20c’de Tetracosane-Octadecane (%50-%50)’nın kırınım tepe pozisyonlarının saf Octadecane ile tutarlı olduğu tespit edilmiştir. ÇDKNT ün XRD modeli, Şekil 4.20d de 25,64 °’de keskin olmayan bir zirveye sahiptir ve buda ÇDKNT ün yapısının amorf olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.20. Tetracosane, Octadecane ve ötektik FDM XRD sonuçları

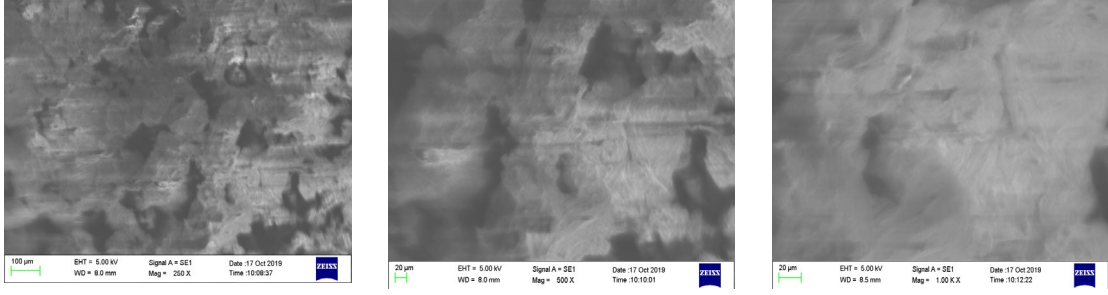
Şekil 4.21’de gösterilen nano katkıli ötektik FDM’lerin kırınım zirveleri, Octadecane ve ÇDKNT’den kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Karışımların kırınım modelleri bileşenler ile kıyaslandığında, tüm karışımların yeni bir tepe ve tepe konumu hareketi göstermediği ve bu karışımların Tetracosane, Octadecane ve ÇDKNT’ün fiziksel kombinasyonları olduğunu, kristal yapılarını koruduğu ve yeni madde olmadığını belirlenmiştir. Ancak karışımlardaki ÇDKNT oranı arttıkça, piklerin genişlik ve yoğunluğunun ÇDKNT den etkilendiği görülmektedir.



Şekil 4.21. ÇDKNT katkıli FDM’lerin XRD sonuçları, a) %1 ÇDKNT, b) %3 ÇDKNT, c) %5 ÇDKNT

4.6. SEM Analizleri

SEM görüntüleri Fırat Üniversitesi Merkezi Laboratuvar tarafından sağlanmış ve SEM görüntüleri Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Analizler sonucu malzemelerin hızlı nem tutma özelliğinden dolayı SEM görüntülerinde tahribata uğradığı için çubuk, plaka veya tanecik gibi yapılar belirlenememiştir. SEM görüntüleri hakkında yorum yapılamamaktadır.



Şekil 4.22. SEM görüntüleri



5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında temel amaç, FDM'lerin ısı depolama sistemlerinde kullanılmak üzere yeni NKÖFDM belirlemek için karışımlar hazırlamak ve hazırlanan karışımların termofiziksel özellikleri tespit etmektir. Çalışmada ötektik FDM olarak Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışımı kullanılmıştır. Nanoparçacık olarak ise Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CuO , SiO_2 ve ÇDKNT %1, %3 ve %5 hacimsel oranlarında ötektik FDM içerisine eklenerek NKÖFDM hazırlanmıştır. Hazırlanan NKÖFDM'lerin termofiziksel özellikleri DSC ve KD2 Pro ile belirlenmiştir. NKÖFDM'lerin kimyasal yapısı FT-IR, atomik ve moleküler yapısı XRD ve yüzey morfolojisi SEM ile tespit edilmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Saf FDM'lerin termofiziksel özellikleri DSC ve KD2 Pro kullanılarak belirlenmiştir.
- Termofiziksel özellikleri belirlenen saf FDM'ler kullanılarak farklı oranlarda ötektik karışımlar hazırlanmıştır. Elde edilen karışımların termofiziksel özellikleri DSC cihazıyla belirlenmiştir. DSC cihazından elde edilen verilere göre Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışımı deneysel çalışma için uygun bulunmuştur.
- Tetracosane-Octadecane (%50-%50) ötektik karışımına %1, %3, %5 hacimsel oranlarda Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CuO , SiO_2 ve ÇDKNT eklenerek termofiziksel özellikleri incelenmiştir.
- Deneysel çalışma sonucunda nanoparçacık katkılı karışımların, Tetracosane-Octadecane(%50-%50) karışımına göre gelişmiş ısı özellikler sergilediği belirlenmiştir. Nanoparçacık katkısı ile birlikte erime sıcaklığı değerlerinin birbirine yakın olduğu fakat gizli ısı değerlerinin, ÇDKNT nanoparçacık katkılı karışımlar hariç diğer nanoparçacık katkılı karışımlarda düşük olduğu görülmüştür.
- Belirlenen termofiziksel özelliklere göre ÇDKNT katkılı karışımların uygun erime sıcaklığı ve yüksek gizli ısı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Tetracosane, Octadecane, Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışımı ve ÇDKNT katkılı ötektik karışımların yapısındaki değişimleri incelemek için FT-IR, XRD ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.
- Tetracosane, Octadecane, Tetracosane-Octadecane (%50-%50) karışımı ve ÇDKNT katkılı ötektik karışımların kimyasal yapısındaki değişimler FT-IR cihazı ile belirlenmiştir. ÇDKNT katkılı karışımların spektrumları incelendiğinde; Tetracosane, Octadecane ve ÇDKNT'den kaynaklı piklerin, ÇDKNT katkılı karışımların yapısında da olduğu görülmüştür. FT-IR analizlerinde görüldüğü üzere ÇDKNT katkılı karışımların, ÇDKNT ve FDM'ler arasında kimyasal reaksiyon gerçekleşmemiştir ve ÇDKNT katkılı karışımların hem FDM'lerin hem de ÇDKNT'ün özgül piklerini taşıdığı tespit edilmiştir.

- ÇDKNT katkılı karışımların kırınım modelleri Tetracosane, Octadecane ve ÇDKNT ile kıyaslandığında, ÇDKNT katkılı karışımların kristal yapılarını koruduğunu ve yeni madde olmadığı belirlenmiştir. Ancak Tetracosane-Octadecane(%50-%50) ötektik karışımdaki ÇDKNT oranı arttıkça, piklerin genişlik ve yoğunluğunun ÇDKNT'den etkilendiğı görülmüştür.
- Karışımların hızlı nem tutma özelliğinden dolayı SEM görüntüleri tahribata uğradığı tespit edilmiştir. Bu nedenle SEM görüntüleri hakkında yorum yapılamamaktadır.



ÖNERİLER

Hem ötektik FDM'lerin hem de NKÖFDM'lerin, ısı sistemlerinde kullanılması uygun bulunmuştur. Yapılan çalışmanın yeni bir enerji depolama sistemi geliştirilerek, ötektik FDM'yi veya NKÖFDM'yi mühendislik uygulamalarında kullanılmasına yönelik yeni çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Ötektik FDM'ye farklı nanoparçacıklar farklı hacimsel oranlarda eklenerek ölçümler yapılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Yılmazoğlu, M.Z. (2010). Isı depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması, *Politeknik Dergisi*, cilt 13, 33-42.
- [2] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü. (2017).
- [3] Taşkıran, A. (2013). *Nano boyutlu parçacık katkılı yeni nesil faz değiştiren maddelerin deneysel olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [4] Farid, M. ve Khalaf, A.N. (1994). Performance of direct contact latent heat storage units with two hydrated salts, *Solar Energy*, 36, 179-189.
- [5] Ryu, H.W., Woo, S.W., Shin, B.C. ve Kim, S.D. (1992). Prevention of supercooling and stabilization of inorganic salt hydrates as latent heat storage materials, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 27(2), 161-72.
- [6] Varol, Y. ve Koca, A. (1992). Isı Depolamada Glauber Tuzunun Etkinliğinin Deneysel ve Sayısal Olarak Araştırılması, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 275-281.
- [7] Sari, A. ve Kaygusuz, K. 2001. Thermal Energy Storage System Using Some Fatty Acids as Latent Heat Energy Storage Materials, *Energy Sources*, 23, 275-285.
- [8] Rozanna, D., Chuah, T.G., Salmiah, A., Thomas, S.Y.C. ve Saari, M. (2004). Fatty Acids as Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Energy Storage: A review", *Int. Journal of Green Energy*, 1(4), 495-513.
- [9] El-Bassuoni, A.-M.A., Tayep, A.M., Helwa, N.H., ve Fatyh, A.M. (2003). Modification of urea-sodium acetate trihydrate mixture for solar energy storage, *Renewable Energy*, 28, 1629-1643.
- [10] Sarı, A. (2006). Eutectic mixtures of some fatty acids for latent heat storage: Thermal properties and thermal reliability with respect to thermal cycling, *Energy Conversion and Management*, 47, 1207-1221.
- [11] Zhang, N., Yuan, Y., Yuan, Y., Li, T. ve Cao, X. (2014). Lauric-palmitic-stearic acid/expanded perlite composite as form-stable phase change material: preparation and thermal properties. *Energy and buildings*, 82, 505-511.
- [12] Sharma, S.D., Buddhi, D. ve Sawhney, R.L. (1999). Accelerated thermal cycle test of latent heat-storage materials, *Solar Energy*, 66, 483-90.
- [13] Sarı, A. ve Kaygusuz, Kamil. (2001). Thermal energy storage system using stearic acid as a phase change material. *Solar Energy*, 71.6: 365-376.
- [14] Codeno, F.O., Prieto, M.M, Espina, A. ve Gracia, J.R. (2001). Measurement of temperature and melting heat of some pure fatty acids and their binary and ternary mixtures by DSC, *Thermochemical Acta*, 369, 39-50.
- [15] Wang, H. ve Lu, S. (2013). Study on thermal properties of phase change material by an optical DSC system, *Applied Thermal Energy*, 60, 132-136.
- [16] Baran, G. ve Sari, A. (2003). Phase change and heat transfer characteristics of a eutectic mixture of palmitic and stearic acids as PCM in a latent heat storage system. *Energy Conversion and Management*, 44(20), 3227-3246.
- [17] Zeng, J.L., Cao, Z., Yang, D.W., Sun, L.X. and Zhang, L. (2010). Thermal conductivity enhancement of Ag nanowires on an organic phase change material, *J Therm Anal Calorim*, 101, 385-89.
- [18] Khodadadi, J.M. and Hosseinzadeh, S.F. (2007). Nanoparticle-enhanced phase change materials with great potential for improved thermal energy storage, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 34, 534-543.
- [19] Konuklu, Y., Ersoy, O., Paksoy, H. Ö., Evcimen, S., Çelik, S. ve Toraman, Ö. Y. (2017). Termal enerji depolama materyali olarak diatomit/faz değiştiren madde kompozitlerinin üretilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 238-243.

- [20] Li, M. and Wu, Z, (2013). Thermal properties of the graphite/n-docosane composite PCM, *J. Term. Analysis and Calorimetry*, 111, 77-83.
- [21] Zhong, Y., Li, S., Wei, X., Liu, Z., Guo, Q., Shi, J. ve Liu, L. (2010). Heat transfer enhancement of paraffin wax using compressed expanded natural graphite for thermal energy storage, *Carbon*, 48, 300-04.
- [22] Vivekananthan, M., & Amirtham, V. A. (2019). Characterisation and thermophysical properties of graphene nanoparticles dispersed erythritol PCM for medium temperature thermal energy storage applications. *Thermochimica Acta*, 676, 94-103.
- [23] ÜREGEN, T. G., AKSOY, G. ve KOCA, A. (2019). Faz Değiştiren Madde Olarak Nano Katkılı Stearik Asit ve Palmitik Asidin Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 407-413.
- [24] Liu, C., Yuan, Y., Zhang, N., Cao, X. ve Yang, X. (2014). A novel PCM of lauric–myristic–stearic acid/expanded graphite composite for thermal energy storage. *Materials Letters*, 120, 43-46.
- [25] Wang, Y., Zhang, X., Ji, J., Li, Y., Munyalo, J. M., Liu, B. ve Liu, S. (2019). Thermal conductivity modification of n-octanoic acid-myristic acid composite phase change material. *Journal of Molecular Liquids*, 288, 111092.
- [26] Liu, Y., Yu, K., Yang, Y., Jia, M. ve Sun, F. (2020). Size effects of nano-rutile TiO₂ on latent heat recovered of binary eutectic hydrate salt phase change material. *Thermochimica Acta*, 684, 178492.
- [27] Yılmaz, M.Ö. (2005). Yeraltı termal enerji depolamada kullanılan farklı dolgu maddelerinin termal özelliklerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [28] Jouhara, H., Zabnienska-Góra, A., Khordehghah, N., Ahmad, D., Lipinski, T. (2020). Latent thermal energy storage technologies and applications: A review. *International Journal of Thermofluids*, 5, 100039.
- [29] Pardo, P., Deydier, A., Anxionnaz-Minvielle, Z., Rouge, S., Cabassud, M. and Cognet, P. (2014). A review on high temperature thermochemical heat energy storage, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 591-610.
- [30] Esgel, H. (2014). *Kordiyerit esaslı seramik malzemeden yapılmış termal enerji depolama sisteminin analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [31] Zondag, H., Kikkerti B., Smeding, S., Boer, R. ve Bakker, M. (2013). Prototype thermochemical heat storage with open reactor system, *Applied Energy*, 109, 360-365.
- [32] Paksoy, H.Ö. (1992). *Thermal nalysis of heat storage materials and integrated heat pump and thermal energy storage*, PhD Thesis, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [33] Dincer İ. ve Rosen, M.A. (2011). *Thermal Energy Storage*, A John Wiley and Sons LTD., USA.
- [34] Özonur, Y. (2004). *Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değıştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [35] Hasnain, S.M. (1998). Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: Heat storage materials and Techniques, *Energy Convers*, 39, 1127-1138.
- [36] Cabeza, L., Gutierrez, A., Barreneche, C., Ushak, S., Fernandez, A.G., Fernandez, A.I. ve Grageda, M. (2015). Lithium in thermal energy storage: A state of the art review, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 42, 1106-1112.
- [37] Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R. ve Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy*, 13, 318-345.
- [38] Oro, E., Gracia, A., Castell, A., Farid, M.M. ve Cabeza, L.F. (2012). Review on phase change materials for cold thermal energy storage applications, *Applied Energy*, 99, 513-533.
- [39] Sharma, S.D. ve Kazunobu, S. (2005). Latent heat storage materials and system: a review, *International Journal of Green Energy*, 2, 1-56.

- [40] Kuravi, S., Trahan, T., Goswami, D.Y., Rahman, M.M. ve Stefanakos, K.E. (2013). Thermal nergy storage Technologies and system for concentrating solar power plants, *Progress in Energy and Combustion Science*, 39, 285-319.
- [41] Konuklu, Y., Sahan, N. ve Paksoy, H. (2018). Latent heat storage system, *Comprehensive Energy Systems*, 2, 397-423.
- [42] Dincer, İ. (1997). Thermal energy storage for commerical application, Springer-Verlog, Berlin.
- [43] Garg, H.P., Mullick, S.C. ve Bhargava, A.K. (1985). Solar Thermal Energy Storage. Dorsrecth, Holland: D. Reidel Publishing Co.
- [44] Hale, D.V., Hoover, M.J. ve O'neill, M.J. (1971). Phase Change Materials Hand Book. NASA. Marshal Space Flight Center, Alabama.
- [45] Acar, S.Ş. (2014). *Faz değıştirici maddeler ve uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [46] Rathod, M. K. ve Banerjee, J. (2013). Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 18, 246-258.
- [47] Abhat, A. (1983). Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Solar energy*, 30(4), 313-332.
- [48] Suppes, G.J., Goff, M.J. ve Lopes, S. (2003). Latent heat characteristic of fatty acid derivatives pursuant phase change material applications, *Chemical Engineering Science*, 58, 1751-1763.
- [50] Tatsidjodoung, P., Pierres, N.L. ve Luo, L. (2013). Areview of potential materials for thermal energy storage in building applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 327-349.
- [51] Zalba, B., Marin, S.M., Cabeza, L.F. ve Mehling, H. (2003). Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications.
- [49] Baylan, Y.S. (2018). *Faz değıştiren maddelerde termal enerji depolamasının kullanımıyla buzdolaplarında enerji verimliliğinin artırılması*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [52] <https://www.sigmaaldrich.com/technical-service-home/product-catalog.html>, Erişim: 10 Ekim 2019.
- [53] <https://www.nanografi.com.tr/>, Erişim: 10 Kasım 2020.
- [54] Hitachi 7010 DSC Kataloğu

ÖZGEÇMİŞ

Taylan Gazi ÜREGEN

KİŞİSEL BİLGİLER

ARAŞTIRMACI BİLGİLERİ

Öğrenci Orcid ID : 0000-0003-1121-3039

Danışman Orcid ID : 0000-0002-0137-6988

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 2017

Lise : Çağrıbey Lisesi, Adana, 2012

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler:

- Üregen, T.G., Aksoy, G., Koca, A. Faz Değitiren Madde Olarak Nano Katkılı Stearik Aist ve Palmitik Asidin Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 31(2), 407-413.

Bildiriler:

- Koca, A., Yamaç, H.İ., Üregen, T.G. Computational Fluid Dynamic Analysis Of Phase Change Material Heat Storage Tank Have Spiral Coil Pipe. *1st International Engineering And Technology Symposium*. 03 May 2018, 05 May 2018. 34-37.