

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PALMITİK ASİT/DEKANOİK ASİT-DEKANOİK ASİT/SETİL
ALKOL ÖTEKTİK KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI VE FAZ
DEĞİŞTİRİCİ MALZEME (FDM) ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Funda BULUT

Yüksek Lisans Tezi
KİMYA ANABİLİM DALI
Anorganik Kimya Bilim Dalı

NİSAN 2020

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kimya Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

PALMITİK ASİT/DEKANOİK ASİT-DEKANOİK ASİT/SETİL ALKOL
ÖTEKTİK KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI VE FAZ
DEĞİŞTİRİCİ MALZEME (FDM) ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tez Yazarı
Funda BULUT

Danışman
Prof. Dr. Memet ŞEKERCİ

İkinci Danışman
Doç. Dr. Zuhale KARAGÖZ GENÇ

NİSAN 2020

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kimya Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Palmitik Asit/Dekanoik Asit-Dekanoik Asit/Setil Alkol Ötektik Karışımlarının Hazırlanması ve Faz Değiştirici Malzeme (FDM) Özelliklerinin İncelenmesi

Yazarı: Funda BULUT

İlk Teslim Tarihi: 31.12.2019

Savunma Tarihi: 03.04.2020

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. Memet ŞEKERCİ
Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi

İmza

Onayladım

Başkan: Prof. Dr. Mustafa KARATEPE
Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi

Onayladım

Üye: Doç. Dr. Ragıp ADIGÜZEL
Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksek Okulu

Onayladım

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

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Palmitik Asit/Dekanoik Asit-Dekanoik Asit/Setil Alkol Ötektik Karışımlarının Hazırlanması ve Faz Değiştirici Malzeme (FDM) Özelliklerinin İncelenmesi” 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.

03/04/2020

Funda BULUT

ÖNSÖZ

Enerji, gittikçe artan nüfusun ve gelişen teknolojinin en büyük ihtiyacıdır. İhtiyaç olan bu enerjinin karşılanması için fosil yakıtların kullanılmasına gereksinim duyulmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması da çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Çevre bilincinin gelişmesi ile de yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi anlaşılmıştır. Bu alanda yapılan çalışmaların esas amacı; enerji ihtiyacını karşılayabilecek en uygun dönüşümün geliştirilmesi ve en verimli şekilde depolanmasıdır. Bu nedenle faz değiştiren malzemelere olan ilgi sürekli artmıştır.

Faz değiştirici malzeme özelliği gösteren bazı saf maddeler dışında istenen çalışma şartlarında faz değiştiren bazı ötektik karışımlarda bu özelliği göstermektedir. Özelliği faz değiştiren malzeme olan ötektik karışımların eldesinde inorganik tuz hidratları ve yağ asitleri yaygın olarak kullanılır. Bu tez çalışmasında FDM özellikli ötektik karışımlar hazırlanmış, katkılandırma işlemi yapılmış ve yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmanın tamamlanmasında özveriyle desteği, anlayışlı yaklaşımı, bilgi ve tecrübesiyle her konuda bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Memet ŞEKERCİ'ye, ikinci danışmanım olan Doç. Dr. Zuhâl KARAGÖZ GENÇ'e, yardımlarından dolayı Doç. Dr. Canan AKSU CANBAY'a, cihaz desteği sağlayan Prof. Dr. Ökkeş YILMAZ'a, kimyasal madde temin edilmesinde bizlere yardımcı olan MEHMET SADAK'a,

Ayrıca bu çalışmamda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Serap KARABULUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında sevgilerini ve desteklerini benden hiç esirgemeyen, beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren bu hayattaki en büyük şansım olan babama, anneme, kardeşlerime ve tez çalışmamı hazırlarken her aşamada bana yardımcı olan sevgili eşime sonsuz teşekkürler.

Yüksek lisans çalışmama FF.17.31 nolu proje ile mali destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ayrıca teşekkür ederim.

Funda BULUT

ELAĞIĞ, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Termal Enerji Depolama Yöntemleri (TED)	2
1.1.1. Termal Yöntem	4
1.1.2. Termokimyasal Isı Depolama	7
1.2. Faz Değiştiren Maddeler (FDM)	8
1.2.1. Parafinler	9
1.2.2. Yağ Asitleri	10
1.2.3. Tuz Hidratları	11
1.2.4. Ötektik Karışımlar	12
1.3. Faz Değiştiren Madde Seçimindeki Önemli Konular	15
1.4. FDM'lerin Uygulama Alanları	16
1.5. Yalıtım	16
1.6. Yalıtımın Amacı	16
1.7. Yalıtımın Faydaları	17
1.8. Türkiye’de Yalıtımın Gelişimi	17
1.9. Türkiye’de Yalıtım Sektörünün Geleceği	19
2. FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELERLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	21
3. MATERYAL VE METOD	36
3.1. Materyal	36
3.1.1. Kullanılan Araç ve Gereçler	36
3.1.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar	36
3.2. Metod	37
3.2.1. FDM ve Kompozit Destekli FDM’lerin Hazırlanması	37

3.2.2. Elde Edilen FDM Karışımlarının Analizi	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	42
4.1. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lere Ait Veriler	42
4.1.1. PA-DA Ötektik Karışımının FT-IR Sonuçları	42
4.1.2. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin DSC Sonuçları	43
4.1.3. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin TGA Sonuçları	45
4.1.4. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin FT-IR Sonuçları	48
4.1.5. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin SEM Sonuçları	49
4.1.6. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin Termal Çevrim Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi	54
4.2. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lere Ait Veriler	57
4.2.1. DA-SA Ötektik Karışımının FT-IR Sonuçları	57
4.2.2. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin DSC Sonuçları	58
4.2.3. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin TGA Sonuçları	60
4.2.4. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin FT-IR Sonuçları	63
4.2.5. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin SEM Sonuçları	64
4.2.6. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin Termal Çevrim Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi	69
5. SONUÇLAR.....	73
ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Palmitik asit/Dekanoik asit-Dekanoik asit/Setil alkol Ötektik Karışımlarının Hazırlanması ve Faz Değiştirici Malzeme (FDM) Özelliklerinin İncelenmesi

Funda BULUT

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı (Anorganik Kimya)

Nisan 2020, Sayfa: xii+80

Bu çalışmada palmitik asit ($C_{16}H_{32}O_2$), dekanoik asit ($C_{10}H_{20}O_2$), setil alkol ($CH_3(CH_2)_{15}OH$) maddeleri kullanılarak palmitik asit-dekanoik asit ve dekanoik asit-setil alkol ötektik karışımları hazırlandı. İlk aşamada hazırlanmış olan faz değiştirici malzeme (FDM) özelliğine sahip bu ötektik karışımlardan termal ve yapısal olarak en iyi olan karışım ana karışım olarak belirlendi. Çalışmanın ikinci aşamasında yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerinden barit, boron nitrit, diatomit ve silis dumanı ile karışımlara katkılandırma işlemi yapıp bir seri hazırlandı. Son aşamada elde edilmiş olan kompozit yapılı FDM'lerin termal ve yapısal özellikleri DSC, TGA, FT-IR ve SEM teknikleri kullanılarak analiz edildi. Bu karışımlara termal çevrim testi de uygulandı. Termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası aynı analizler yapılarak karışımların termal ve yapısal özellikleri karşılaştırıldı. Yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırıldı. Yapısal ve termal özelliklerin karşılaştırmasına göre en uygun malzemelerden biri diatomit ile katkılandırılmış olan palmitik asit/dekanoik asit ötektik karışımıdır. Diğer, silika dumanı ile katkılandırılmış olan dekanoik asit/setil alkol ötektik karışımıdır.

Anahtar Kelimeler: FDM (Faz Değiştirici Malzemeler), palmitik asit, dekanoik asit, setil alkol, ötektik karışım, barit, boron nitrit, diatomit, silis dumanı

ABSTRACT

Preparation of Palmitic Acid/Decanoic Acid-Decanoic Acid/Cetyl Alcohol eutectic Mixtures and Investigation of Phase Changing Materials (PCMs) Properties

Funda BULUT

Master Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Chemistry Department (Inorganic Chemistry)

April 2020, Pages: xii+80

In this study, palmitic acid ($C_{16}H_{32}O_2$), decanoic acid ($C_{10}H_{20}O_2$), cetyl alcohol ($CH_3(CH_2)_{15}OH$) and palmitic acid-decanoic acid and decanoic acid-cetyl alcohol eutectic mixtures were prepared. Of these eutectic mixtures having the property of phase-changing material (PCM) prepared in the first step, the thermally and structurally best mixture was determined as the main mixture. In the second stage of the study, a series of insulating materials, which are commonly used, were added to the mixtures with barite, boron nitrite, diatomite and silica fume. Thermal and structural properties of composite PCMs obtained at the last stage were analyzed using DSC, TGA, FT-IR and SEM techniques. Thermal cycling test was also applied to these mixtures. The thermal and structural properties of the mixtures were compared before and after the thermal cycle. Their usability as an insulating material was investigated. According to the comparison of structural and thermal properties, one of the most suitable materials is palmitic acid/decanoic acid eutectic mixture in which diatomite added. The other one is decanoic acid/cetyl alcohol eutectic mixture in which silica fume added.

Key Words: PCMs (Phase Change Materials), palmitic acid, decanoic acid, cetyl alcohol, eutectic mixture, barite, boron nitrite, diatomite, silica fume

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1.	Kaynaklara göre toplam enerji tüketimi..... 1
Şekil 1.2.	Enerji depolama teknolojileri..... 2
Şekil 1.3.	Termal enerji depolamada kullanılan yöntemler..... 3
Şekil 1.4.	Duyulur ve gizli ısı depolama işleminin sıcaklık-ısı grafiği..... 4
Şekil 1.5.	Faz değiştiren maddelerin sınıflandırılması 9
Şekil 1.6.	Ötektik noktaya sahip olan karışımların faz diyagramı..... 12
Şekil 2.1.	a. SiO ₂ b. Palmitik Asit c. PA+0,5 g melamin d. PA+2 g melamin iç morfolojileri..... 21
Şekil 2.2.	Palmitik asit ve melamin ilavesi yapılan kompozitlerin DSC, TGA ve FT-IR analizleri 22
Şekil 2.3.	(a) MPCM1 (20Kx), (b) MPCM2 (20Kx), (c) MPCM3 (20Kx) ve (d) MPCM1 (5Kx) SEM görüntüleri 23
Şekil 2.4.	(a) PA, (b) TiO ₂ , (c) MPCM1, (d) MPCM2 ve (e) MPCM3 FT-IR spektrumları 23
Şekil 2.5.	(a) PA, (b) TiO ₂ , (c) MPCM1, (d) MPCM2 ve (e) MPCM3 XRD görüntüleri 24
Şekil 2.6.	MPCM1 XPS analizi..... 24
Şekil 2.7.	PA ve MPCM1–MPCM3 DSC erime eğrileri..... 24
Şekil 2.8.	PA ve MPCM1-MPCM3 DSC donma eğrileri..... 25
Şekil 2.9.	PA ve MPCM1-MPCM3 TGA erime eğrileri..... 25
Şekil 2.10.	Stearik asit, grafen oksit ve kompozitlerinin SEM görüntüleri 26
Şekil 2.11.	Stearik asit, grafen oksit ve kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki DSC erime-donma eğrileri 26
Şekil 2.12.	Stearik asit, grafen oksit ve kompozitlerinin TGA eğrileri 27
Şekil 2.13.	Stearik asit, grafen oksit ve kompozitlerinin FT-IR spektrumları..... 27
Şekil 2.14.	LA ve LA/GP (60/40 wt %) FT-IR spektrumları 28
Şekil 2.15.	LA ve LA/GP kompozitinin DSCeğrileri..... 28
Şekil 2.16.	Laurik asit eklenmeden önce..... 29
Şekil 2.17.	Laurik asit eklendikten sonra 29
Şekil 2.18.	LA/GP ve 1000 termal döngüden sonra LA/GP FT-IR spektrumu 29
Şekil 2.19.	LA/GP ve 1000 termal döngüden sonra LA/GP DSC eğrisi 29
Şekil 2.20.	LA/GP 1000 termal döngüden önce SEM fotoğrafı..... 30
Şekil 2.21.	LA/GP 1000 termal döngüden sonra SEM fotoğrafı..... 30
Şekil 2.22.	Kamfen/palmitik asit, kamfen ve palmitik asitin FT-IR spektrumları 31
Şekil 2.23.	CP(kamfen-palmitik asit) FT-IR spektrumları ve hazırlanan kompozit bazlı FDM'ler 31

Şekil 2.24.	(a) kamfen-palmitik asit (CP), (b) piroklastik kompozit bazlı FDM, (c) uçucu kül kompozit bazlı FDM, (d) barit kompozit bazlı FDM, (e) mermer tozu kompozit bazlı FDM'lerin SEM görüntüleri	32
Şekil 2.25.	(a) kamfen-palmitik asit (CP), (b) piroklastik kompozit bazlı FDM, (c) uçucu kül kompozit bazlı FDM, (d) barit kompozit bazlı FDM, (e) mermer tozu kompozit bazlı FDM'lerin DSC eğrileri	33
Şekil 2.26.	CP ve kompozit tabanlı FDM'lerin ısıtılması sırasında gizli ısı kapasiteleri	33
Şekil 2.27.	CP ve kompozit FDM'lerin TGA eğrileri	34
Şekil 2.28.	CP ve termal döngüden sonra hazırlanan bileşik FDM'lerin FT-IR spektrumları	34
Şekil 2.29.	(a) kamfen-palmitik asit (CP), (b) piroklastik kompozit bazlı FDM, (c) uçucu kül kompozit bazlı FDM, (d) barit kompozit bazlı FDM, (e) mermer tozu kompozit bazlı FDM'lerin termal çevrim sonrası DSC eğrileri	35
Şekil 4.1.	Palmitik Asit, Dekanoik Asit ve Palmitik Asit-Dekanoik Asit ötektik karışımının FT-IR spektrumları	42
Şekil 4.2.	PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri	43
Şekil 4.3.	PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri	44
Şekil 4.4.	Palmitik asit-Dekanoik asit ötektik karışımının TGA eğrisi	46
Şekil 4.5.	Ötektiği katkılандırılmış (PA-DA Barit) FDM'nin TGA eğrisi	46
Şekil 4.6.	Ötektiği katkılандırılmış (PA-DA Boron Nitrit) FDM'nin TGA eğrisi	47
Şekil 4.7.	Ötektiği katkılандırılmış (PA-DA Diatomit) FDM'nin TGA eğrisi	47
Şekil 4.8.	Ötektiği katkılандırılmış (PA-DA Silis Dumanı) FDM'nin TGA eğrisi	48
Şekil 4.9.	PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin FT-IR Spektrumları	48
Şekil 4.10.	PA-DA ötektik karışımı SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	49
Şekil 4.11.	PA-DA B numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	50
Şekil 4.12.	PA-DA BN numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	51
Şekil 4.13.	PA-DA DiA numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	52
Şekil 4.14.	PA-DA SD numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	53
Şekil 4.15.	PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası FT-IR spektrumları	54
Şekil 4.16.	PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri	55

Şekil 4.17.	PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri.....	56
Şekil 4.18.	Dekanoik Asit, Setil Alkol ve Dekanoik Asit-Setil Alkol ötektik karışımının FT-IR spektrumları	57
Şekil 4.19.	DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri.....	58
Şekil 4.20.	DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri.....	59
Şekil 4.21.	Dekanoik asit-Setil alkol ötektik karışımının TGA eğrisi	61
Şekil 4.22.	Ötekiği katkılandırılmış (DA-SA Barit) FDM'nin TGA eğrisi.....	61
Şekil 4.23.	Ötekiği katkılandırılmış (DA-SA Boron Nitrit) FDM'nin TGA eğrisi	62
Şekil 4.24.	Ötekiği katkılandırılmış (DA-SA Diatomit) FDM'nin TGA eğrisi.....	62
Şekil 4.25.	Ötekiği katkılandırılmış (DA-SA Silis Dumanı) FDM'nin TGA eğrisi.....	63
Şekil 4.26.	DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin FT-IR Spektrumları.....	63
Şekil 4.27.	DA-SA ötektik karışımı SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	64
Şekil 4.28.	DA-SA B numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	65
Şekil 4.29.	DA-SA BN numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	66
Şekil 4.30.	DA-SA DiA numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	67
Şekil 4.31.	DA-SA SD numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx	68
Şekil 4.32.	DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası FT-IR spektrumları	69
Şekil 4.33.	DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri	70
Şekil 4.34.	DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri.....	71

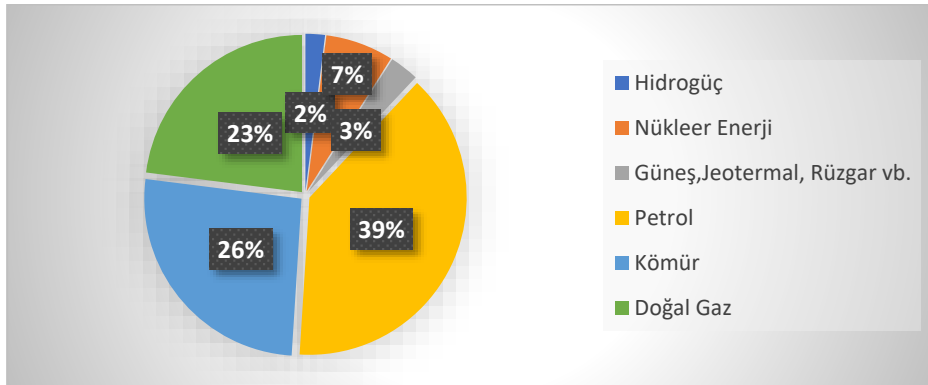
TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Duyulur ve gizli ısı depolama sistemlerinin enerji depolama kapasitesi bakımından karşılaştırılması	6
Tablo 1.2. Hidrat inorganik tuzlar	11
Tablo 1.3. Tuz hidratlarının avantaj ve dezavantajları	12
Tablo 1.4. Isı depolama için inorganik ve organik maddelerin karşılaştırılması	13
Tablo 1.5. Bazı yaygın ötektik inorganik tuz hidrat karışımları	13
Tablo 1.6. Bazı yaygın ötektik yağ asiti karışımları ve özellikleri	14
Tablo 1.7. Ükelere göre kişi başına yalıtım malzemesi tüketimi	19
Tablo 3.1. Ötektik karışımların hazırlanmasında kullanılan yağ asitlerinin termal özellikleri.....	37
Tablo 3.2. Ötektik karışımların hazırlanmasında kullanılan yağ alkolünün termal özellikleri.....	37
Tablo 4.1. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerine ait DSC verileri	45
Tablo 4.2. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası donma hal değişimlerine ait DSC verileri.....	56
Tablo 4.3. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası erime hal değişimlerine ait DSC verileri.....	57
Tablo 4.4. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerine ait DSC verileri	60
Tablo 4.5. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası donma hal değişimlerine ait DSC verileri.....	71
Tablo 4.6. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası erime hal değişimlerine ait DSC verileri.....	72

1. GİRİŞ

Son yıllarda bütün dünya ülkeleri, enerji sorununa çözüm getirebilme çabası içerisinde girmişlerdir. Kullanılmakta olan enerjinin bulunduğu durumu devam ettirmek, sürdürülebilir bir kalkınma ve gelecek için, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin ve var olan enerji kaynaklarını daha verimli şekilde kullanmanın önemi anlaşılmış ve bunlarla ilgili projeler desteklenmiştir. Enerji günlük yaşamımızda farklı çeşitleri ve kullanım alanlarıyla vazgeçilmez bir ihtiyaç haline gelmiştir. Nüfusun artması, sanayileşme ve endüstrileşme enerji ihtiyacının daha da artmasına sebep olmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda geliştirilmek istenen çözümler, mevcut olan enerjiyi depolama ve kullanılan kaynakların tasarrufu noktalarına yoğunlaşmıştır. Dünya enerji ihtiyacı büyük oranda fosil kaynaklı yakıtlardan (petrol, kömür ve doğal gaz) karşılanmaktadır. Gün geçtikçe azalan fosil yakıtlar, dünya enerji ihtiyaçlarının karşılanmasını zorlaştırmaktadır. Atmosferde istenmeyen ve küresel ısınmaya neden olan gazların birikmesinde etkisi olan fosil yakıtlar, hava kirliliğine ve iklim değişikliklerine de yol açarlar. Bu nedenlerden dolayı farklı enerji kaynakları araştırmak, bulmak ve elde edileni kullanabilmek amacıyla çeşitli incelemeler yapılmaya başlanmıştır. Enerji ihtiyaçlarının günden güne arttığı, bu enerji ihtiyacını karşılayacak alternatif enerji kaynakları olmayan ülkeler ekonomik ve çevresel olarak zarara uğramaktadırlar. Bu durum da çoğu ülkenin ekonomik ve siyasi bakımdan güç kaybetmesine neden olmuştur.

Fosil yakıtlar 2000 yılı itibari ile enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılamaktadır. Bu durum Şekil 1.1.'de gösterilmektedir [1].

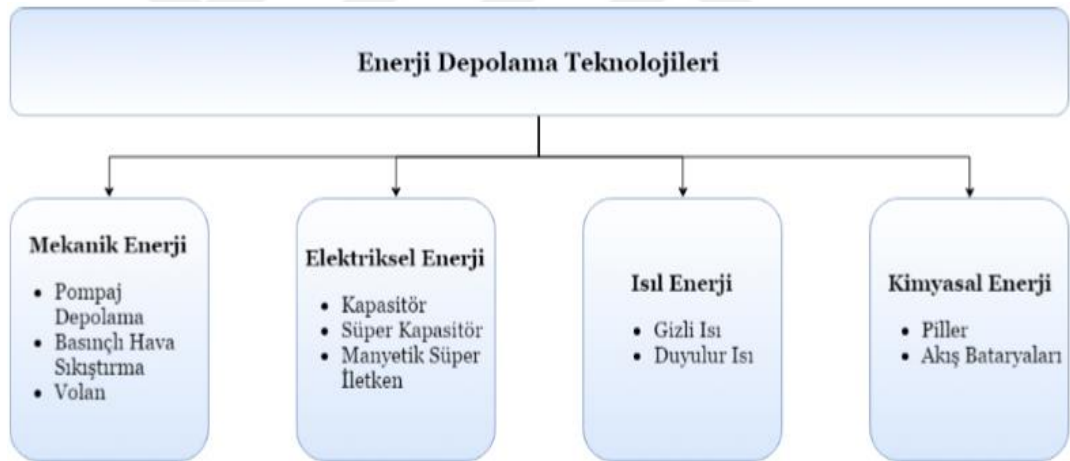


Şekil 1.1. Kaynaklara göre toplam enerji tüketimi [1]

Enerji üretimi ve tüketimindeki bu grafik araştırmacıları temiz, çevreyle dost ve ekonomik olan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını bulmaya yöneltmiştir. Bu kaynaklar doğrudan ve dolaylı olarak kullanılabilirler. Doğrudan kullanılabilenlere güneş enerjisi ile çalışan aletler, rüzgar değirmenleri ve jeotermal ısıtma örnek verilebilir. Dolaylı kullanıma ise elektrik üretiminde

kullanılan rüzgar türbinleri veya fotovoltaik piller örnektir. Genellikle güvenli olup yaygın olarak kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynakları kurulum maliyetleri dışında düşük işletme maliyetine sahiptirler. Kullanıldıkları esnada neredeyse çevre kirliliğine hiç neden olmazlar. Kullanılan enerjinin fazlasının depolanıp yeniden kullanılması da yenilenebilir enerji kaynakları arasında düşünülebilir.

Verimli şekilde enerji depolanması ve depolanan enerjinin etkili şekilde kullanılmasında güvenli, ekonomik ve verimli bir enerji depolama metodu önemli rol oynamaktadır. Enerji; kimyasal, mekanik, elektrik ve termal enerji depolama gibi farklı şekillerde depolanabilir (Şekil 1.2.) [2]. Bu depolama yöntemlerinden ekonomik ve en verimli olan termal enerji depolama (TED) yöntemidir. Termal enerji iki şekilde depolanabilir. Bunlardan biri maddenin kinetik enerjisi artırılarak ısının duyulur biçimde depolanması, diğeri ise faz değişim yolu ile depolamadır. Faz değişim yoluyla depolamada faz değişim sıcaklığının üzerinde ısının fazlası faz değişimi için soğutulurken sıcaklık düştüğünde ortama geri verilmek suretiyle depo edilip salınır. İşlem tersinirdir ve çevreye herhangi bir zararlı etkisi yoktur [3].



Şekil 1.2. Enerji depolama teknolojileri [2]

1.1. Termal Enerji Depolama Yöntemleri (TED)

Bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına termal enerji depolama denir. Moleküler veya atomik titreşim sonucunda oluşur ve bu enerjinin aktarımı ısı akışıyla gerçekleşir. Bu da sıcaklık farkından kaynaklıdır [4].

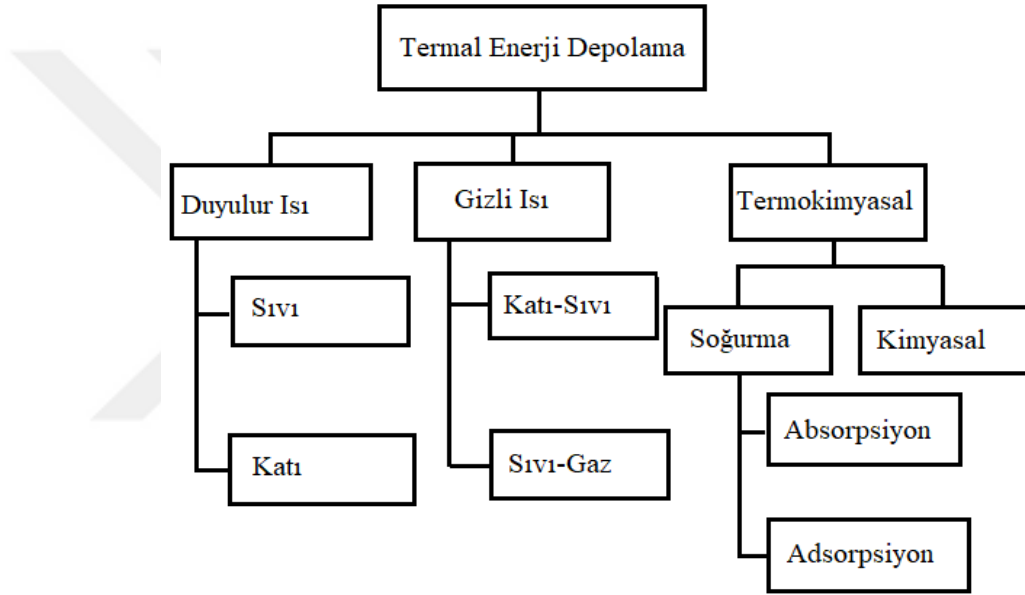
Termal enerji depolama (TED), yenilenebilir enerji kaynaklarının elde edilmesiyle, yer-zaman arasındaki uyumsuzluğu, arz-talep arasındaki farkı giderirken, hem soğutma hem de ısıtma için çözümler sunar. Ulaşım, konut, sanayi, ulaşım ve tarım sektörlerinde uygulama olanağı bulunan TED, elektrik enerjisi ve kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan tasarruf sağlayarak

enerji verimliliğini artırmaktadır [5]. Bu nedenle son yıllarda bu yöntemle ilgili birçok yöntem geliştirilmiştir.

Termal enerjinin depolanmasında üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Duyulur Isı Depolama,
2. Gizli Isı Depolama ve
3. Termokimyasal Isı Depolamadır.

Bu yöntemler birim hacimde depolayabildikleri enerji bakımından birbirinden farklıdır [6]. Termal enerjinin depolanması için genel olarak kullanılan yöntemler Şekil 1.3.'de şematik olarak verilmiştir [5].



Şekil 1.3. Termal enerji depolamada kullanılan yöntemler [5]

Termal enerji depolamanın yararları şu şekilde sıralanabilir: [7]

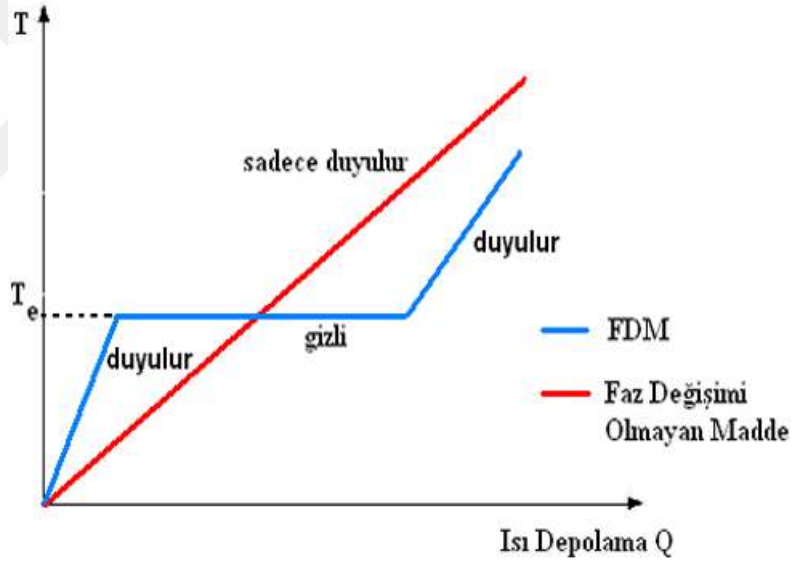
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli olarak kullanılmasını sağlar (Güneş enerjisi vs.).
- Kojenerasyon santrallerinin daha etkili çalışmasını sağlar.
- Enerjinin verimliliğini artırarak, elektrik enerjisinin kullanımını azaltıp şebekeye destek sağlar.
- Sıcaklıkları farklı olan atık ısıdan faydalanılmasını sağlar.
- Elektrik maliyetinin ucuz olduğu zamanlarda depolama yapılabilir.
- Elektronik aygıtların güvenliğini ve uzun ömürlülüğünü sağlar.

1.1.1. Termal Yöntem

Duyulur Isı Depolama

Termal enerji depolama materyalinin sıcaklığındaki değişimden faydalanarak yapılan depolamaya duyulur ısı depolama denir. Depolanabilecek ısı miktarı; sıcaklıktaki değişim miktarına, ortamın ısı kapasitesine ve depolama materyalinin miktarına bağlıdır. Katı veya sıvı materyalde duyulur ısı depolanabilir. Duyulur ısı depolanmasında kullanılabilen sıvılar; ötektik karışımlar, bazı alkoller ve su-etilen glikol (%50-%50) dür [8]. Duyulur ısı depolamada en çok kullanılan sıvı madde sudur. Ucuz, fazla bulunabilen ve kullanıldığı alanlarda da sağlığı tehdit edecek herhangi bir yapıya sahip değildir. Su birim hacimde fazla miktarda ısı depolaması yapabilir [9-10].

Isı depolama ve geri kazanma işlemleri duyulur ısı depolamada tersinir olarak gerçekleşir (Şekil 1.4.). Yani duyulur ısı depolama sisteminin ömrü boyunca maddelerdeki bu özellikler değişmez.



Şekil 1.4. Duyulur ve gizli ısı depolama işleminin sıcaklık-ısı grafiği [11]

Duyulur ısı depolamada oluşabilecek problemler;

- ✓ Depolama sıcaklığı ısı depolama esnasında sürekli yükseldiğinden kaybedilen ısı miktarı fazladır.
- ✓ Duyulur ısı depolamada ısı sistemden geri kazanılırken, depolama sıcaklığı daima azaldığından ısı akış dağılımı gizli ısı depolamaya göre kararsızdır.
- ✓ Sistemde yalıtıma olan ihtiyaç maliyeti artırmaktadır.

Duyulur ısı depolama, depolama ortamına göre 3'e ayrılır; katı ortamda depolama, sıvı ortamda depolama ve hibrid (katı+sıvı) ortamda depolamadır [12].

$$Q = \int_{T_s}^{T_i} mC_p dT = mC_p(T_s - T_i) = v\rho C_p \Delta T$$

$$Q = mC_p (T_s - T_i)$$

Q=Depolanan toplam ısı

T_i=İlk sıcaklık

T_s=Son sıcaklık

m=Kütle

C_p: İlk ve son sıcaklıklar arasındaki ortamın özgül ısısı

v: Depolama maddesinin hacmi

ρ: Depolama maddesinin yoğunluğu

Isı kapasitesi yüksek olan maddeler duyulur ısı depolamada kullanılmalıdır. Bu maddeler seçilirken alevlenme ve yanma özelliklerinin olmamasına, sistem tersinir çalıştığı için maddenin uzun ömürlü olmasına, korozif veya zehirli özellik taşımasına dikkat edilmelidir. Bu özelliklere uygun, ekonomik ve elde edilme kolaylığı sebebiyle bu tür sistemlerde su ve çakıl taşı yaygın olarak kullanılmıştır [13-15].

Gizli Isı Depolama

Faz değişimi esnasında maddenin aldığı veya verdiği ısıya gizli ısı denir. Katı-katı, katı-sıvı, buhar-katı ve sıvı-buhar dönüşümleri kullanılarak depolama gerçekleştirilebilir [16]. Bu dönüşümlerden en çok kullanılanı katı-sıvı dönüşümüdür.

Yüksek gizli ısıya sahip olan sıvı-gaz ve katı-gaz dönüşümlerinde, hacim değişimleri gazlarda çok fazla olduğundan enerji depolama için uygun değildir [17].

Duyulur ısı depolamanın depolama hacmi gizli ısıya oranla daha büyüktür. Suyun gizli ısısının duyulur ısısına olan oranı 80'dir. Yani 1 kg buzun erimesi için gerekli olan enerjinin miktarı 1 kg suyun sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli olan ısı miktarından 80 kat daha fazladır. Bu durumun depo tasarımında önemli bir avantajı vardır. Depolama veya enerji dönüşümü için maliyeti de azaltır. Faz değiştiren maddeler (FDM) sabit bir sıcaklık aralığında depolama imkanı sağlar ve erime sıcaklığına bağlı olarak soğutma ve ısıtma amaçlı kullanılabilirler [10,18].

Gizli ısı depolama yöntemi aşağıdaki durumlarda kullanılmaktadır:

- Gereken depo hacminin küçük olduğu yerlerde,
- Küçük ve sabit bir sıcaklık aralığında enerji depolama ihtiyacı olduğu zamanlarda,
- Depolamanın kısa süreli olduğu durumlarda,
- Yüksek enerji kapasitesi veya yüksek enerji yoğunluğu gerektiğinde [19].

Diğer termal enerji depolama yöntemlerine göre gizli ısı depolama yönteminin üstün yönleri vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

• Sabit sıcaklıktaki depolama ve geri kazanma işlemleri için faz değiştirme sıcaklıkları uygundur.

- Depo hacimleri daha küçüktür.
- Termal enerji depolama kapasitesi duyulur ısı depolamaya göre yüksektir.
- FDM olarak kullanılan maddelerin birim kütlelerindeki termal enerji depolama kapasiteleri daha yüksektir.

Gizli ısı depolama yöntemiyle ısı enerji depolamanın birçok avantajının yanında dezavantajları da vardır [17]. Bunlar:

- Depolama esnasında oluşan yoğunluk değişimi,
- Uzun süreli kullanma sonunda maddenin yapısında meydana gelen kararsızlıklar,
- FDM'lerin düşük ısı iletkenliği,
- Aşırı soğuma ve faz ayrılması şeklinde ifade edilir.

Bazı gizli ve duyulur ısı depolama maddelerinin termofiziksel özelliklerinin Tablo 1.1.'de verilmesi ile 106 J'lük enerji depolamak için hacimsel ve kütleli olarak ne kadar madde gerektiği inorganik FDM referans alınıp oransal olarak gösterilmiştir. Kütleli olarak karşılaştırma yapıldığında 1 kg inorganik FDM'nin depolayabildiği enerjiyi 4 kat daha fazla su veya 15 kat daha fazla kayanın depolayabileceği görülür. Hacimsel olarak karşılaştırma yapıldığında ise 1 m³ inorganik FDM'nin sağladığı enerjiyi 11 m³ kayanın veya 6 m³ suyun sağlayabildiği görülür.

Tablo 1.1. Duyulur ve gizli ısı depolama sistemlerinin enerji depolama kapasitesi bakımından karşılaştırılması [12]

Termofiziksel Özellikler	Kaya	Su	Faz değiştirici maddeler	
			Organik	İnorganik
Yoğunluk (kg/m ³)	2240	1000	800	1600
Özgül Isı (kJ/kgK)	1,0	4,2	2,0	2,0
Gizli Isı (kJ/kg)	-	-	190	230
Gizli Isı (kJ/m ³)	-	-	152	365
10 J enerji depolamak için gerekli kütle (kg)	67	16	5,26	4,35
10 J enerji depolamak için gerekli hacim (m ³)	30	16	6,6	2,7
Bağıl Kütle	15	4	1,25	1,0
Bağıl Hacim	11	6	2,5	1,0

FDM'ler katı-sıvı, sıvı-gaz ve katı-katı olmak üzere üç değişik şekilde bulunurlar. Katıdan katıya faz değişimi gerçekleştiren FDM'lerin bir kısmı ısı depolama uygulamaları için uygundur. Faz değiştirme esnasında sıvı-gaz faz değişimi geçiren FDM'ler büyük hacim değişimlerine maruz kalırlar. Bu yüzden pratik uygulamalarda kullanımları uygun değildir. Katı-sıvı faz değiştiren

FDM'ler yüksek ısı depolama kapasitelerine sahiptirler ve faz değişimi esnasında hacimlerinde büyük değişimler olmaz. Bu tür FDM'ler genellikle gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılır [12].

Kaldırım ve köprülerde gece buzlanmasını azaltıp yüzeyin daha az zarar görmesini sağlamak amacıyla faz değiştiren maddeler kullanılır. Ayrıca fazla efor gerektiren işlerde çalışan insanlara yönelik, vücudun ürettiği fazla ısıyı çeken soğutucu yelek ve kask üretimi gibi uygulamaları da mevcuttur.

1.1.2. Termokimyasal Isı Depolama

Kimyasal enerjiye dönüştürülen ısı enerjisi uzun süreli depolanabilir. Termokimyasal ısı depolama; ekzotermik olarak tepkimeye girebilen iki veya daha fazla kimyasal bileşikte tersinir tepkimeler süresince kimyasal bağlarda ısı depolanmasına dayanır. Depolama sisteminin kullanım süresi sınırsızdır. Kimyasal bağların tersinir olarak ayrışma ve birleşmesi sırasında, ısı değeri yüksek olan kimyasal tepkimeler meydana gelir. Bu nedenle ısı depolama kapasitesi genellikle yüksektir.

Termokimyasal yöntemle ısı depolayan sistemler, gizli ısı depolama sistemlerine göre daha karmaşıktır. Sistemde bulunan bileşenlerin kendi aralarında olan etkileşimleri önemlidir. Seçilen tepkimenin tersinir olması ise bu yöntemin en önemli özelliğidir. Termokimyasal yöntemle ısının depolanması; tersinir kimyasal tepkimeler, kimyasal ısı pompası (absorpsiyonlu ısı pompası) ve termokimyasal ısı borularında yapılabilir. Tersinir kimyasal tepkimelerle ısının depolanmasında, endotermik olarak ısı alan bir tepkime kullanılır ve depolanan ısı, ekzotermik olarak geri kazanılır. Tepkime sıcaklığında oluşan tepkime ürünlerinin ayrı ayrı depolanması yapılır. Isı ürünlerin tekrar karıştırılması ve gerek olduğunda katalizör eklenmesiyle geri kazanılabilir [7,20]. Kimyasal ısı pompası, tersinir tepkimeler yardımıyla aralarında gaz bileşeninin transfer edildiği iki alt sistemden oluşur. Buhar yoğunlaşması ile açığa çıkan yoğunlaşma ısısı, kimyasal ısı pompası sistemlerinde geri kazanılır.

Termokimyasal ısı borularında kullanılan tepkimelerde, kolay şekilde yoğunlaşmayan gaz durumundaki reaktifler bulunur. Tepkime ürünlerinden ısı enerjisinin, ısı borusuyla uzun mesafelere iletilmesi amacıyla yararlanılır. Termokimyasal ısı borusuyla ısı depolama yüksek sıcaklıkta güneş enerjisi veya nükleer enerji uygulamalarında ve endüstriyel kazanlardaki damıtma çevrimlerinde uygulanmaktadır.

Absorpsiyonlu ısı depolama sistemleri alumina-silikat-metal maddelerinden olan zeolitlerin gözenekli yapısından yararlanırlar. Adsorban malzemenin bulunduğu yataktan nemli havanın geçirilmesi ile su buharının adsorplanması sağlanır. Aynı yataktan kuru sıcak hava geçirildiğinde su buharını desorbe edip soğuyarak çıkar. Bu esnada adsorpsiyon ısının geri kazanımını desorpsiyon da ısı depolanmasını sağlar [21].

Isı depolama yöntemi seçimi; işletme koşullarına, ekonomik uygulanabilirliğe ve ısı depolama süresine bağlıdır. Herhangi bir çalışma için ısı depolama yönteminin belirlenmesi, ısı depolamanın etkinlik ve ekonomikliğı sistemin tasarımına bağlıdır. Genel olarak iç enerji değişiminin birim hacimde fazla olduğu ısı depolama materyallerinin kullanılması durumunda, ısı depolama için gereken hacim azalır. Isı depolama sisteminde bulunması gereken özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

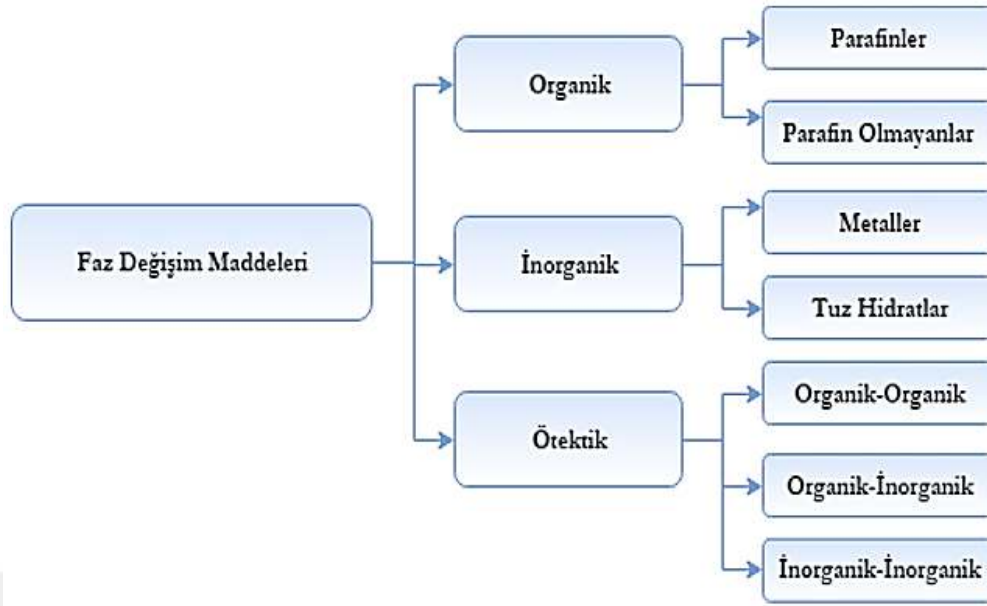
- Sistem tarafından depolanan ısı bütünüyle geri kazanılabilmelidir.
- Isı depolamanın kapasitesi ısı depolama materyalinin birim kütle veya hacmi için yüksek olmalıdır.
- Isı depolama materyalinin toksik etkili, yanıcı ve korozif özellikte olmaması gerekir.
- Sistem kullanım süresi uzun ve ucuz olmalıdır.
- Isı depolama materyali çalışma sıcaklığı aralığında uygun özelliklere sahip olmalıdır.

1.2. Faz Değiştiren Maddeler (FDM)

Faz değiştirici maddeler (FDM) düşük erime-katılaşma sıcaklığına ve yüksek enerji depolama özelliklerine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Ortamın sıcaklığı arttıkça FDM faz değişimine (katı-sıvı) uğrar. Faz değişim olayı endotermiktir ve bu süreçte FDM ısıyı absorbe eder. Faz değişim sıcaklığına ulaşıncaya erimeye başlar, bu işlem bitinceye kadar sıcaklık sabit kalır. Madde faz değişim işlemi (erime) sırasında enerjiyi gizli ısı olarak depolar [22].

FDM belirli bir miktardaki ısıyı alarak faz değişimi gerçekleştirir. Maddedeki faz değişimini meydana getiren ısıya gizli ısı denir. Bu durum tersine çevrilirse, yani gaz fazdan sıvıya veya sıvı fazdan katı faza geçtiğinde, daha önce alınan ısı, madde saf ise izotermal olarak açığa çıkmaktadır. Maddenin hacminde az bir değişim meydana gelmesi ve faz değiştirmedeki sabitlik maddelerin FDM olarak kullanılabilmesi için gerekli koşullar arasında yer alır. Katı-sıvı faz dönüşümüyle ısı depolama uygulamaları için çok sayıda organik ve inorganik FDM' ler vardır [23].

FDM'ler Şekil 1.5'de görüldüğü gibi organik(parafinler, parafin olmayanlar), inorganik(metaller, tuz hidratlar) ve ötektik(organik-organik, organik-inorganik, inorganik-inorganik) olmak üzere üç ana başlık altında toplanır.



Şekil 1.5. Faz değiştiren maddelerin sınıflandırılması [19]

İnorganik tuzların ergime ısıları yüksektir. Organik bileşiklerin ergime sıcaklığı geniş aralıkta yer alır ve ısı depolama kapasiteleri daha düşüktür. Organik bileşiklerin birim hacimlerinin ısı depolama kapasiteleri, inorganik bileşiklerin yaklaşık yarısı kadardır. 150-200 MJ/m³ arasında değişir. Tuz hidratlarının ısı depolama kapasiteleri 250-400 MJ/m³ arasındadır [24].

1.2.1. Parafinler

FDM olarak kullanılan parafinler petrol türevidir ve çok sayıda alkandan oluşan doymuş hidrokarbon karışımlardır. C_nH_{2n+2} formülü ile gösterilirler. Oda sıcaklığında mumsu yapıdadırlar. Bunlar arıtma sürecinden sonra tatsız, toksik olmayan ve kokusuz maddelerdir. Dallanmış zincirli ve düz zincirli şekilde basit yapıdadırlar. Kristallenmeleri esnasında büyük miktarda gizli ısı yayan parafinler genellikle düz zincirli alkan karışımlarından oluşmuşlardır. Parafinlerde erime-donma sıcaklığı ve erime ısıları zincir uzunluğu arttıkça artar. Isı enerjisi depolama kapasiteleri yüksektir. Ucuz ve kolay bulunabilir olmaları, ısı depolama özellikleri ve kimyasal olarak kararlı olmaları nedeniyle tercih edilirler. Bunun yanında sıcaklık aralıkları geniş ve yüksek erime gizli ısılarına sahip olmalarından dolayı gizli ısı depolama için kullanılırlar [25].

Parafinlerin termal iletkenlikleri düşüktür. Bu da FDM olarak kullanılmasında sorun teşkil eder. Isı transferinin iyileştirilmesi için FDM olarak parafinlerin kullanımında bazı yöntemler geliştirilmektedir [10,26-28]. Parafinin yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) gibi bir polimerin ağ yapısı içindeki gözeneklerde grafit ile birlikte tutulması bu yöntemlerden biridir [10,29]. Isıl

özelliklerinin geliştirilmesi ve kullanım esnekliğinin sağlanması için parafine mikrokapsülleme de yapılabilmektedir [30].

1.2.2. Yağ Asitleri

Kimyasal yapı yağ asitlerinde genel olarak $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ şeklindedir. Trigliserit adı verilen yağlardan elde edilirler. Bu yüzden yağ asitleri olarak adlandırılırlar. Yağ asitlerinin hirdolizle ayrıştırılmasında yağ asidi karışımı ve seyreltik gliserin oluşur [31]. Elde edilen yağ asitleri ayrıştırılarak, rafine edilip istenilen saflık derecesine saflaştırılır. Bütün yağ asitlerinin bir ucunda metil grubu diğer ucunda karboksil grubu bulunur. Karbon sayısı düşük olan yağ asitleri parafinler gibi oda sıcaklığında sıvı haldedir. Zincirdeki karbon sayısı arttıkça viskozite değerlerinde artış olur ve daha yüksek karbon sayısına sahip olanlar oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Yağ asitlerinin üretimlerinde önemli bir avantaj gereken ham maddelerin doğal (bitkisel ve hayvansal kaynaklı) olmasıdır.

Hayvansal ve bitkisel yağlar termal enerji depolama (TED) sistemlerine uygun erime aralıklarına sahip organik maddelerdir. Trigliseritler çoğunlukla hayvansal yağlarda ve sebzelerde yenilemez yağ formunda bulunurlar. Ayçiçek, yemeklik soya ve zeytinyağı gibi ürünler büyük oranda stearik, palmitik, oleik ve linoleik asit içerirler [29]. Parafinler ve inorganik tuz hidratlarına alternatif olarak yağ asitleri kullanılır. Yağ asitleri son yıllarda birçok uygulamada FDM olarak kullanılmıştır. Yağ asitlerinin bir kısmı oda sıcaklığında veya oda sıcaklığı altında erime aralığına sahiptir ve birbirleriyle kolay karışırlar. Yağ asitleri ucuz, termal özellikleri iyi ve güvenilirlerdir. Bu konudaki çalışmalar yağ asitlerinin FDM olarak kullanılabilirliği ve bu karışımların ötektik noktalarının belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır [31-34].

Yağ asitleri yenilenebilir erime ve donma özelliklerine sahip olduklarından FDM olarak kullanımları uygundur. Maliyetleri parafinlerden 2-2.5 kat daha yüksektir. Enerji depolama için yağ asitleri gerekli tüm termodinamik, kimyasal, kinetik ve ısı özelliklerine sahiptirler [19].

Yağ asitleri kullanmanın avantajları;

- Faz değişimi esnasında küçük hacim değişimi göstermesi,
- Kimyasal kararlılık,
- Düşük buhar basıncına sahip olması,
- Kendiliğinden çekirdeklenme özelliklerine sahip olmaları gibi özelliklerdir.

Yağ asitleri kullanmanın dezavantajları;

- Yüksek iletkenlik,
- Düşük ısı iletkenliğe sahip olmaları gibi özelliklerdir.

Yağ asitleri zehirli ve aşındırıcı değildir. Aşırı soğuma göstermemeleri ve yüksek erime gizli ısıya da sahip olmaları gizli ısı enerji depolamada kullanımlarını sağlamaktadır. Erime ısıları

parafinlerle karşılaştırılabilecek kadar yüksektir. Parafin ve tuz hidratlarına göre yağ asitlerinin erime sıcaklığı daha uygundur [29,32,33].

1.2.3. Tuz Hidratları

İnorganik FDM sınıfına aittirler. Genel formülleri $M \cdot nH_2O$ şeklinde olan hidrat inorganik tuzlar, "n" su molekülü içeren inorganik tuz kristalleridir [35]. Formülde bulunan "M" inorganik bir bileşiktir. Tuz hidratları katılaştığı zaman, kristalin matris ile birleşen tuz ve sudan oluşur. Ötektik karışım şeklinde veya saf halde kullanımları mümkündür [19]. Hacimsel gizli ısı depolama kapasiteleri yüksektir. Bu yüzden depolama maddesi olarak önemli bir yere sahiptirler. Depolama amacıyla suda çözünebilen tuzları kullanılır. Erime-donma sonucunda hacim değişimlerinin az, erime gizli ısılarının yüksek ve organik FDM'lere göre ısı iletkenliklerinin yüksek olması tuz hidratlarının önemli özellikleri arasındadır [7]. Düşük fiyatları, yüksek ısı iletkenlik ve ısı kapasiteleri bakımından depolama için uygundurlar. Fakat kullanımlarındaki en önemli problem tuz hidratlarının düzensiz şekilde erimesidir. Tuz hidratları eriyerek katı ve sıvı fazları doyururlar. Katı faz yoğunluk farklılığı yüzünden dibine çöker, deponun yüzeyinde toplanır. Buna bozunma denir. Donma esnasında katı faz orijinal tuz hidratını meydana getirmek için doymuş çözeltiyle etkileşime girmez. Bu da özdeş olmayan (incongruent) erimeye sebep olur [7]. Bir diğer önemli problem ise zayıf çekirdeklenme özelliklerinden dolayı sıvı tuz hidratlarının donarken aşırı soğumasıdır [35,36]. Tablo 1.2.'de bazı hidrat inorganik tuzlara örnek verilmiştir.

Tablo 1.2. Hidrat inorganik tuzlar [35]

Hidrat İnorganik Tuzlar	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Isısı (kJ/kg)
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	29	190
$LiNO_3 \cdot 3H_2O$	30	296
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	32	225
$CaBr_2 \cdot 6H_2O$	34	138
$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	35	205
$Zn_2SO_4 \cdot 6H_2O$	36	147

Tuz hidratlarının erimesi 3 farklı şekilde gerçekleşir:

1. Düzenli erime; susuz tuzun erime sıcaklığında hidrat suyunda tam olarak çözünmesiyle meydana gelir.
2. Yarı düzenli erime; faz değişimi boyunca katı ve sıvı fazın dengede olduğu zamanda meydana gelir.
3. Düzensiz erime; susuz tuzun erime sıcaklığında hidrat suyunda tam olarak çözünmediği zaman meydana gelir [25].

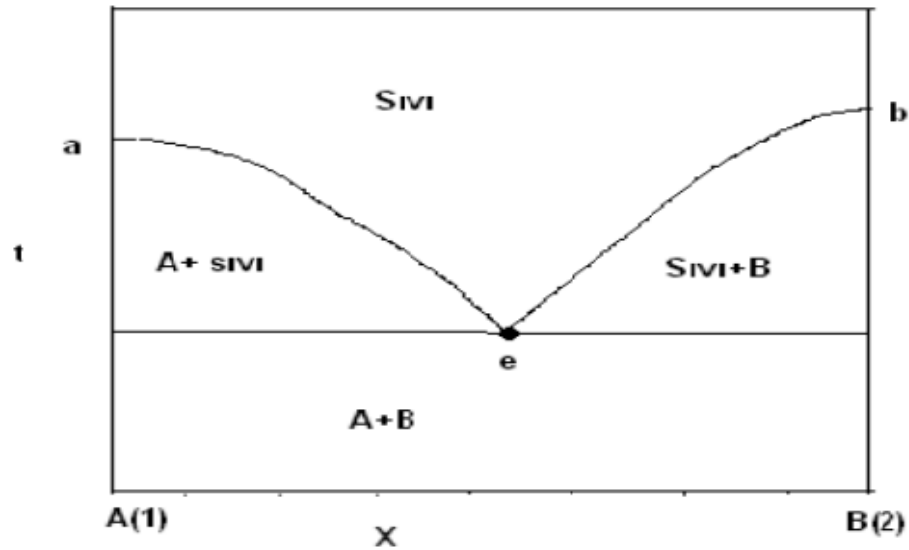
Tablo 1.3.'de tuz hidratlarının FDM olarak kullanımında sahip olduğu avantaj ve dezavantajlar verilmiştir.

Tablo 1.3. Tuz hidratlarının avantaj ve dezavantajları

FDM	Avantajları	Dezavantajları
TUZ HİDRATLARI ($M \cdot nH_2O$)	- Düşük maliyetli ve kolay bulunabilmeleri - Yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaları - Yüksek erime gizli ısısına sahip olmaları - Faz değışimi sırasında küçük hacim değışimi göstermeleri	- Faz ayrımı göstermeleri - Aşırı soğuma davranışı göstermeleri - Korozi olmaları

1.2.4. Ötektik Karışımlar

Ötektik karışımlar inorganik ve organik yapıdaki maddelerle hazırlanabilirler. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi oluşan karışımlar sabit bir erime ve donma noktasına sahiptirler ve e noktası ötektik noktadır. İki veya daha fazla FDM'nin karıştırılmasıyla enerji depolama amacına uygun ötektik bileşime sahip yeni karışımlar hazırlanabilir. İkili karışımlarda her iki bileşen ile de doymun olan ve en düşük donma sıcaklığına sahip olan bu çözeltiye ötektik sıvı denir. Bu sıvının bileşimine ötektik bileşim ve bileşimin sabit kalmasıyla bu sıvının tümünün donmuş olduğu sabit sıcaklığa ise ötektik sıcaklık denir [4,7,10].



Şekil 1.6. Ötektik noktaya sahip olan karışımların faz diyagramı [37]

Ötektik bileşimdeki bir karışım saf bir FDM'nin sahip olduğu ısı iletkenliklere benzer bir davranış gösterir. Ötektik karışımlar bu özelliklerinden dolayı termal enerji depolama uygulamaları için uygundur [22,38]. Tablo 1.4.'te inorganik ve organik FDM'lerin avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Tablo 1.4. Isı depolama için inorganik ve organik maddelerin karşılaştırılması

İnorganikler	Organikler
Avantajlar Daha büyük faz değiştirme entalpisine sahiptirler.	Avantajlar Korozif değildirler. Düşük veya hiç aşırı soğuma göstermezler. Kimyasal ve termal olarak kararlıdır.
Dezavantajlar Aşırı soğuma gösterirler. Koroziftirler. Faz ayrışması meydana getirirler.	Dezavantajlar Faz değiştirme entalpileri daha düşük ve düşük termal iletkenliğe sahiptirler. Yanıcıdır.

İnorganik Tuz Hidratların Ötektik Karışımları

Tuz hidratlarının ötektik karışımları bina yalıtımında kullanım alanının geniş olması nedeniyle literatürde en çok yer alan FDM'lerdir [38, 39]. Bazı tuz hidratlarının ötektik karışımları ve bu karışımların termal özellikleri Zalba ve arkadaşları tarafından incelenip veriler Tablo 1.5.'deki şekilde özetlenmiştir [39].

Tablo 1.5. Bazı yaygın ötektik inorganik tuz hidrat karışımları [39]

Karışım	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Gizli Isısı (kJ/kg)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)
%66.6 CaCl ₂ ·6H ₂ O + %33.4 MgCl ₂ ·6H ₂ O	25	127	-	1590
%48 CaCl ₂ + %4.3 NaCl + %0.4 KCl + %47.3 H ₂ O	26.8	188	-	1640
%47 Ca(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + %53 Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	30	136	-	-
%60 Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O + %40 CO(NH ₂) ₂	31.5	226	-	-
%61.5 Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + %38.5 NH ₄ NO ₃	52	125.5	0.494 (65 °C) 0.515 (88 °C) 0.552 (36 °C)	1515 (65 °C) 1596 (20 °C)
%58.7 Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + %41.3 MgCl ₂ ·6H ₂ O	59	132.2	0.510 (65 °C) 0.565 (85 °C) 0.678 (38 °C)	1550 (50 °C) 1630 (24 °C)
%66 üre + %3.4 NH ₄ Br	76	161	0.331 (79 °C) 0.324 (92 °C) 0.649 (39 °C)	1440 (85 °C) 1548 (24 °C)
%32.5 LiF + %50.5 NaF + %17 MgF ₂	632	-	-	2105 (sıvı) 2810 (25 °C)

Yağ Asitlerinin Ötektik Karışımları

Diğer FDM'lere göre yağ asitleri birçok üstün özelliklere sahiptir. Erimeleri düzenlidir, herhangi bir çekirdeklendiriciye ihtiyaç duymadan kristallenirler. Yağ asitleri yüksek gizli ısı depolama özelliğine sahip olduğundan ve hal değişim esnasında küçük hacimsel değişimlere uğradıklarından termal enerji depolama sistemlerinin tasarımında kolaylık sağlarlar. Termal enerji depolama amacıyla farklı yağ asitlerinin farklı sıcaklıklarda ötektik karışımlarının kullanımı yaygındır. Geniş sıcaklık aralığında hal değişimine uğrayan yağ asidi üyeleri çok olduğundan termal enerji depolama sistemlerinde ısıtma ve soğutma amaçlı olarak yaygın şekilde kullanılırlar. Molekül ağırlığı düşük olan yağ asidi ile molekül ağırlığı yüksek olan yağ asitleri Tablo 1.6'da verildiği gibi belirli kütle ve mol oranlarında karıştırılıp istenilen sıcaklık aralığında termal enerjiyi depolayabilen ötektik karışımlar hazırlanabilir. Karışım oranları belirlendikten sonra hazırlanan bu karışımların erime sıcaklıkları ve erime ısıları diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (DSC) ile yapılır. Elde edilen veriler ile sıcaklık-bileşim oranı diyagramı oluşturulup ötektik karışım oranı ve ötektik nokta belirlenebilir.

Tablo 1.6. Bazı yaygın ötektik yağ asidi karışımları ve özellikleri [37]

Yağ Asitleri Karışımı	Birleşim Oranı (% wt)	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Isısı (J/g)
Palmitik Asit-Stearik Asit	64.9-35.1	50.4	179
Miristik Asit-Palmitik Asit	51.0-49.0	39.8	174
Miristik Asit-Stearik Asit	65.7-34.3	44.2	181
Laurik Asit-Palmitik Asit	64.0-36.0	32.8	165
Laurik Asit-Stearik Asit	75.5-24.5	37.3	171
Laurik Asit-Miristik Asit	62.6-37.4	32.6	156
Kaprik Asit-Laurik Asit	61.5-38.5	19.1	132
Kaprik Asit-Miristik Asit	73.5-26.5	21.4	152
Kaprik Asit-Palmitik Asit	75.2-24.8	22.1	152
Kaprik Asit-Stearik Asit	86.6-13.4	26.8	160

Yağ asitlerinin ötektik karışımları organik ötektik karışımlar içerisinde literatürde en çok karşılaşılan karışımlardır. Dimaano; düşük sıcaklıklarda soğutma amaçlı termal enerji depolama sistemleri için kaprik asit ve laurik asit karışımının uygun olduğunu belirlemiştir. Belirlenen bu karışımın ısıl çevrim boyunca kararlı olup olmadığını anlamak için 120 kez ısıl çevrime tabi tutup termal özelliklerinde değişim olup olmadığını incelemiş ve ısıl çevrim devam ettiği sürece kararlı olduğunu saptamıştır [40].

İnorganik ve Organik FDM'lerin Ötektik Karışımları

İnorganik ve organik FDM'lerin ötektik karışımlarının çoğunda ergime gizli ısı ve erime aralığında düşüş meydana gelir. Kabul edilebilir ergime ısına sahip olan ötektik karışımların kullanımı uygun görülür.

1.3. Faz Değıştiren Madde Seçimindeki Önemli Konular

Faz değıştiren maddelerin depolama işlemlerinde kullanılabilmesi için kimyasal kararlılık, yanıcılık, maliyet, aşırı soğuma, korozyon etkisi, toksik etkiler ve erime noktasına ilişkin özelliklerin uygun olması gerekmektedir.

- **Faz Değışim Sıcaklığı;** Faz değışimi gerçekleştiren maddenin depolama yapacağı sistem sıcaklığı ile maddenin erime sıcaklığı birbirine yakın ya da aynı olmalıdır. Soğutma ve ısıtma uygulamalarının çoğunda ısı depolama yapılabilir. Bu uygulamaların FDM seçiminde önemli olan faz dönüşüm sıcaklığı ile sistem sıcaklığının karşılaştırılmasıdır [6,10].

- **Faz Değışim Isısı;** FDM'lerde aranan en önemli özelliklerden biri de yüksek faz dönüşüm ısılarına sahip olmalarıdır. Tuz hidratları diğer FDM'lere oranla daha fazla faz değışim ısına sahiplerdir. Ancak erime, donma sırasında ortaya çıkabilecek faz ayrımı veya aşırı soğuma gibi dezavantajlarından dolayı düşük erime ısına sahip, düzenli eriyen bir madde de tercih edilebilir [6].

- **Faz Ayrımı ve Aşırı Soğuma;** Faz değıştiren maddenin erime sırasında düzgün erime göstermesi gerekir. Madde düzensiz erimesi halinde, katı ve sıvı faz oluşumu gösterir. Farklı kristal yapıda çökelmeler meydana gelir. Böylece madde farklı bir yapı ve sıcaklıkta donmuş olur. Ancak depolama için bu durum uygun değildir. Ayrıca madde donmaya başlayınca düzensiz kristalleşir ve donma noktasından düşük sıcaklıkta donmaya başlar. Buna aşırı soğuma denir. Böylece depolama yapılacak sıcaklıkta değışiklik olur. Ortaya çıkan aşırı soğuma sorununu gidermek için FDM ile benzer kristal örgüye sahip çekirdeklendiriciler kullanılabilir [7].

- **FDM'nin Kimyasal Özellikleri;** FDM kimyasal yapı olarak kararlı olmalıdır. Tekrarlanarak kullanılabileceğinden kimyasal yapısının bozulmaması gerekir. Termal kararlılık deneyleri sonunda kimyasal yapıda oluşan bozulmalar, FT-IR analizleri ile değıerlendirilir. FDM korozyon etkisi göstermemelidir. Patlayıcı, zehirli veya yanıcı özellikte olmamalıdır. FDM ısı depolama sistemlerinde kullanılacağından ısı iletkenliği yüksek olmalıdır [7,41].

- **FDM'nin Ekonomik Özellikleri**

Geliştirilmesi değışen FDM'ler farklı uygulamalarda kullanılacağından pahalı bir ürün olmamalıdır. Ayrıca bol miktarda bulunmalıdır [13].

1.4. FDM'lerin Uygulama Alanları

- Elektronik parçaların termal korunmasında,
- Gıdaların ısı korunmasında; dondurma, pazarlama, taşıma gibi alanlarda,
- Gıda endüstrisi; seracılık, süt ve şarap üretiminde,
- Temiz su ihtiyacı ve ısıtmada,
- Emniyet; bilgisayar veya diğer elektronik sistemlerin bulunduğu yerlerde sabit sıcaklığın sürdürülmesinde,
- Biyoklimatik binalarda pasif depolamada,
- Güneş enerjisinin termal depolanmasında,
- Araçlarda termal konfor ve motor soğutma,
- Uzay araçları termal sistemlerinde,
- Güneş enerjisi panellerinde,
- Ekzotermik kimyasal reaksiyonlarda meydana gelebilecek ani sıcaklık yükselmesini önlemede,
- Tıp alanında; kan taşınması, ameliyat masası, sıcak soğuk terapide kullanılabilmektedir [42].

1.5. Yalıtım

Yalıtım; bir yapı içerisindeki fiziksel hareketleri denetim altında tutan, bunları düzenleme amacıyla alınması gerekli önlemleri inceleyen sistem bütünüdür. Su, ses, ısı, elektrik, yangın gibi zararlı etkenler karşısında yapıda dayanım, korunum ve geçirimsizliği hedefleyen, malzemeleri, detayları, çözümleri ve uygulamaları içerir.

Yalıtım malzemesinin üretilmesinden uygulanmasına kadar belli bir hassaslık, titizlik, çok yönlü detay çalışması gerektirir. Bu nedenle yalıtımda çevre ilişkisi ve ulusal ekonominin ortaya konulması, rasyonel çözümlere varılabilmesi için fizik, kimya, makine, ekonomi, mimarlık, inşaat vb. bilim dalları bir koordinasyon içerisinde bulunmalıdır.

Yalıtım kısaca “Kullandığımız binaların dış etkilere karşı korunması” olarak tanımlanabilir. Yalıtım genelde ısı, su, ses, elektrik ve yangın yalıtımı olarak çeşitlendirilebilir [43].

1.6. Yalıtımın Amacı

Bir yapının yapılış amacına uygun olarak, değerini yıllarca koruyabilmesi, kullananlara hizmet vermesi, iç ve dış etkenlere karşı iyi şekilde korunmuş olmasına bağlıdır. Yapıların iç ve dış faktörlerden korunabilmesi ise yalıtımın yapılıp yapılmamış olmasıyla ilgili bir durumdur.

Yalıtım; binayı, yapı bileşenleri ile beraber, tüm iç ve dış etkenlerden korumayı, konforlu ve sağlıklı mekanlar oluşturmaya hedefler. Hem kullanıcıyı hem de yapıyı koruma amaçlı önlemleri içerir. Yalıtımın amacı; yapıların ömrünü uzatmak, bakım masraflarını azaltmak, kullanıcı için sağlıklı, huzurlu ve rahat kullanılabileceği mekanlar oluşturmaktır [44].

1.7. Yalıtımın Faydaları

Yalıtım başta da belirtildiği gibi yapıların iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunmasıdır. Yalıtım, dış etkenlerin bina üzerindeki zararlı etkilerini önler, binanın sağlam ve güvenli kalmasını sağlayıp, binanın ömrünü uzatır.

Binaları kullanan insanların can güvenliği açısından binanın sağlamlığı büyük önem taşır. Bunun yanında yalıtım, kullanıcıların konfor ve sağlığı içinde oldukça önemli bir uygulamadır. İnsanları dış etkenlerin zararlarından korumak ise yalıtım ile mümkündür.

Bunların dışında yalıtım, ekonomik avantajlarda sunar. Binaya zarar veren etkenlerin etkisi uzun dönemde görülür. Ancak yalıtımın tasarruf etkisini kısa sürede görmek mümkündür. Isı yalıtımı, yalıtımın tasarruf sağlayan türüdür. Binanın kullanım ömrünün uzatılması, kaynak israfını önleyip ekonomik avantajlar sağlayacaktır [45].

1.8. Türkiye’ de Yalıtımın Gelişimi

1923 yılından sonra, Türkiye’de hızla artan nüfus ve bu nüfusun kentlerde toplanması, inşaat sektörünün hızlı şekilde büyümesine sebep olmuştur. Bu büyümenin belirli bir planlamanın parçası olarak gerçekleşmediği söylenebilir. Bu nedenle kendini sürekli yenileyip, uluslararası standartlarda geliştiren inşaat sektörü içerisinde, kuralsız ve denetimsiz bir alan daima var olmuştur. Bu kuralsızlığın izlerini, çirkin ve sağlıksız yapılaşma olarak bugün hemen hemen bütün kentlerimizde görebiliyoruz. Bunun diğer olumsuz etkisi ise inşaat sektörünün alt sektörü olarak faaliyet gösteren yalıtım sektörünün ve yalıtımın ihmal edilmesidir. Yalıtım, maliyetler ya da bilinçsizlik nedeniyle yapılarda ihmal edilebilir bir unsur olarak görülmüştür.

Türkiye’nin bina yalıtımı bakımından durumunu gösteren kapsamlı araştırmalar yoktur. Ancak Türkiye’nin yalıtım konusunda gerilerde olduğu fikrini destekleyecek veriler vardır. Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre, Türkiye’de 8 milyon bina vardır. Bu binaların %60’ı ise ruhsatsız binalardan oluşmaktadır. Bu yapıların %95’inin güncel standartlara göre yalıtılmadığı tahmin edilmektedir. Standartlarla ısı yalıtımının 2000 yılından sonra yapılan yapılarda zorunlu hale getirilmesine rağmen, yapılan binaların sadece %8’inde kurallara uyulduğu tahmin edilmektedir. Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre konutların yalnızca %9’u çift cam uygulamasına, %10’u çatı ısı yalıtım sistemine, %14’ü ise merkezi sistem ısıtmaya sahiptir.

Sürekli büyümekte olan bu sektörde üretim yapan firmaların sayısı artmakta ve sektördeki potansiyel çok sayıda yabancı yatırımcıyı ülkemize çekmektedir. Türkiye’de yalıtım sanayisi AB’ye uyum çerçevesinde üretim ve uygulama teknolojisi alanında pek çok uluslararası standardı yakalamış ve dünya pazarında sanayi için rekabet olanakları bulundurmaktadır. AB’de “Energiepass” ısı kimlik belgesi 1 Ocak 2006’dan itibaren tüm binalarda zorunlu hale getirilmiştir. Bu uygulamaların kısa zamanda tamamlanması ile sektörde standartlar tamamıyla yakalanacaktır.

Yaşanan petrol krizleri nedeniyle oluşan enerji eksikliğinden dersler çıkaran ve enerjinin verimli kullanılması konusunda tedbir alan ülkelerde yalıtım sektörü oldukça iyi değerlere ulaşmıştır. Ülkelerin yalıtım sektörü verileri incelendiği zaman, gelişmekte olan ülkelerin pazar kapasitelerinin gelişmiş ülkelere göre daha küçük olduğu görülmektedir. Bu farklılığın sebebini gelişmiş ülkelerin gayri safi milli hasıllarının yüksek oluşuna bağlamak yeterli olmamaktadır. Yalıtım sektöründeki gelişmeler son 50 yılda meydana gelmiştir. Başlangıçta hızlı bir gelişme gösteren bu sektör, son 20 yılda gelişmiş ülkelerdeki inşaat yatırımlarının azalmasıyla birlikte yavaş bir yol izlemiştir. Teknolojik gelişmeler de sektördeki büyüme hızının düşmesine paralel olarak yavaşlamıştır.

Gelişmiş ülkelerin inşaat sektörlerinde, bizim konumumuz kapsamına giren yalıtım malzemelerinin kullanımı, enerji üretirken çevrenin kirlenmesi, konfor gereksinimi, artan enerji fiyatları, tüketici ve ülke ekonomisine tasarruf getirmesi nedeniyle ülkemize oranla çok artmıştır. Ülkemizde kişi başına yalıtım malzemesi tüketimi oldukça azdır.

Yalıtım ürünleri pazarı Türkiye’de ortalama 3,5 milyon m³’tür. Türkiye ile benzer iklim ve hava koşullarına sahip olan Fransa’da ise yalıtım sektörünün büyüklüğü 30 milyon m³’e ulaşmaktadır. Kişi başına yalıtım malzemesi tüketimi 1 m³ iken Türkiye’de 0.05 m³’te kalmaktadır. Bu eksiklik de İZODER verilerine göre, Türkiye’de yalıtım yapılmamış binalarda sadece ısı kaybından dolayı yıllık zararın 3 milyar dolar civarında olmasına neden olmaktadır. 1990 yılında ülkemizde bazı büyük kent merkezlerindeki binaların yalıtım durumlarına ilişkin 15.543 binada yapılan araştırmaya göre, yönetmelik yürürlüğe girdikten sonra inşa edilen binaların İzmir, Kocaeli, Bursa’da %84, İstanbul’da %53’ünde, Ankara’da %24’ünde ısı yalıtımı hiç kullanılmamıştır [43].

Ülkemiz bir Avrupa ülkesine göre 6 kat daha fazla yakıtı ısıtmak amacıyla harcamaktadır. Yakıtın fazla tüketilmesi doğal çevreye ve ekonomiye zarar vermektedir. Tablo 1.7’de Türkiye’de kişi başına kullanılan yalıtım malzemesinin AB ülkeleriyle kıyaslanması sonucu, Fransa’nın 6 kat, Almanya’nın yaklaşık 12 kat gerisinde bulunduğu görülmüştür. Bu durumun doğal sonucu olarak da, gelişmiş ülkelere göre, kişi başına tükettiğimiz enerji miktarının 1/3 oranında olmasına karşın, ısınma için sarf ettiğimiz enerji %100 daha fazladır. Isıtmak için ülkemizde harcanan enerji İsveç’ten %23, Fransa’dan yaklaşık %50 daha fazladır. Aşırı yakıt tüketimi, yanlış yapılaşmanın ve ısı yalıtımına gereken önemin verilmemesinin en önemli göstergesidir [46].

Tablo 1.7. Ülkelere göre kişi başına yalıtım malzemesi tüketimi

Ülke	Kişi Başına Yalıtım Malzemesi Tüketimi
Türkiye	0,07
İspanya	0,1
Amerika	1
Fransa	0,4
Avrupa	0,4
İtalya	0,2
Almanya	0,8
Portekiz	0,2

1.9. Türkiye’ de Yalıtım Sektörünün Geleceği

Türkiye’de yalıtım sektörü, önemli sorunları olan, bunlara çözüm bekleyen, bunun yanı sıra büyüme yolunda büyük fırsatlara sahip bir sektör olarak görülmektedir. Yalıtım sektörünün parlak bir geleceğinin olduğunu söylemek sektörün sorunlarının çözülmesi ve fırsatları sağlayacak stratejilerin oluşturulması ile mümkündür.

Türkiye’de yalıtım uygulamasının yetersiz olmasının sebepleri arasında bilinçsizlik ve bireylerin satın alma gücünün düşük olması yer alır. Türkiye nüfusunun büyük bir kısmı yoksulluk sınırında yaşamaktadır. Ülke çapında bir yalıtım atağı için, yaptırımlar ve yasal zorlamaların yanı sıra yoksulluk engelinin de aşılması gerekir. yalıtım uygulamalarına yönelik hazırlanan mali teşvikler büyük önem kazanır. Birçok Avrupa ülkesinde binalarında yalıtım yaptıranlara yönelik mali teşvikler getirilmiştir. Bu teşvikler 4 şekilde gerçekleşmektedir.

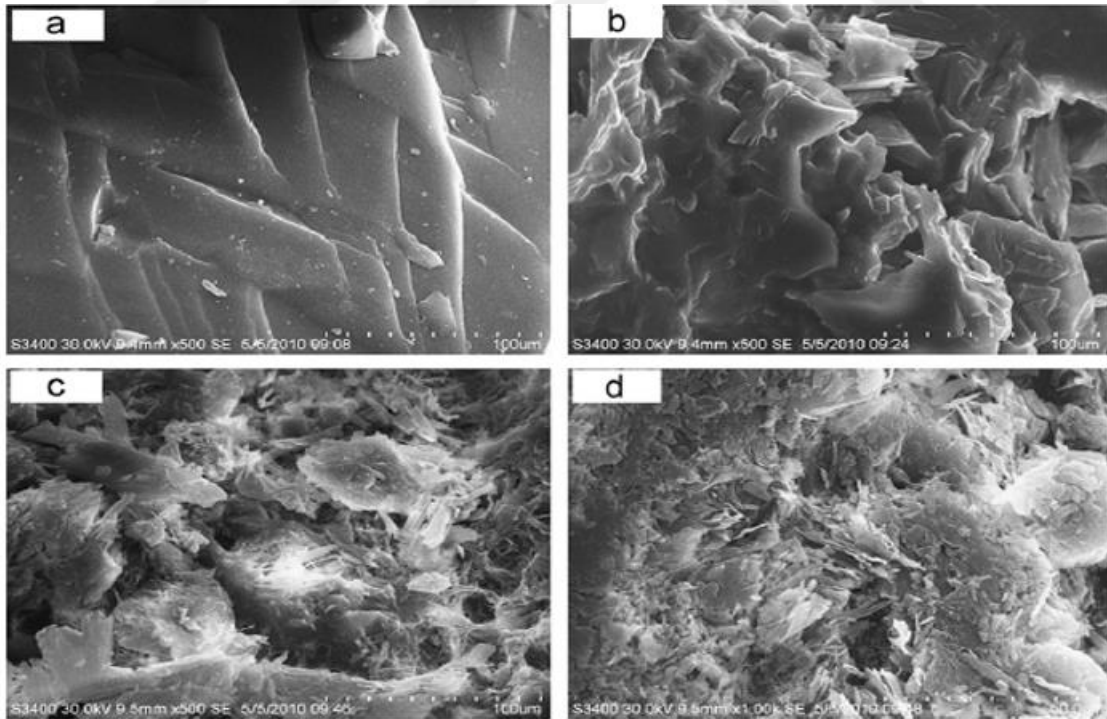
- Krediler; Uzun vadeli ve düşük faizli yalıtım kredileri uygulaması mali destek konusunda en yaygın uygulamalardır. Binalarda yalıtım yaptıracak kişilere banka ya da devlet düşük faizli kredi verebilir.
- Enerji fiyatlarında indirimler; Enerji birim fiyatlarında indirim yapılması, Avrupa’da özellikle ısı yalıtımı konusunda öne çıkan mali teşviklerden biridir. Binalarında yalıtım yaptıranların elektrik bedellerinin belirli oranda düşürülmesi şeklinde bu uygulama gerçekleştirilir. Türkiye’de de benzer bir uygulama yapılabilir. Binasını yalıtımların elektrik ve/veya doğalgaz fiyatlarında indirimden yararlanmaları sağlanabilir.
- Hibeler; Karşılıksız hibeler binalarında yalıtım yaptıranlara yapılacak en etkili mali destek biçimidir. Bu genellikle yalıtım maliyetinin bir kısmının yerel yönetimler veya devlet tarafından oluşturulacak fonlardan karşılanması şeklinde gerçekleşir.
- Vergi indirimleri; Genel olarak vergi indirimleri yalıtım malzemelerinden KDV alınmaması ya da tüketici tarafından ödenen KDV’nin geri iadesi şeklinde yapılmaktadır.

Bunların dışında binasına yalıtım yaptıranlardan belirli bir süre emlak vergisi alınmamaktadır. Toplam inşaat maliyetinin %15'ini yalıtımla ilgili maliyetler oluşturur. Bu sebeple yalıtım, özellikle ucuz konut üretmek isteyen müteahhitler tarafından ihmal edilmektedir. Vergi indirimleri özellikle de KDV indirimi bu açıdan da teşvik edici olacaktır [45].

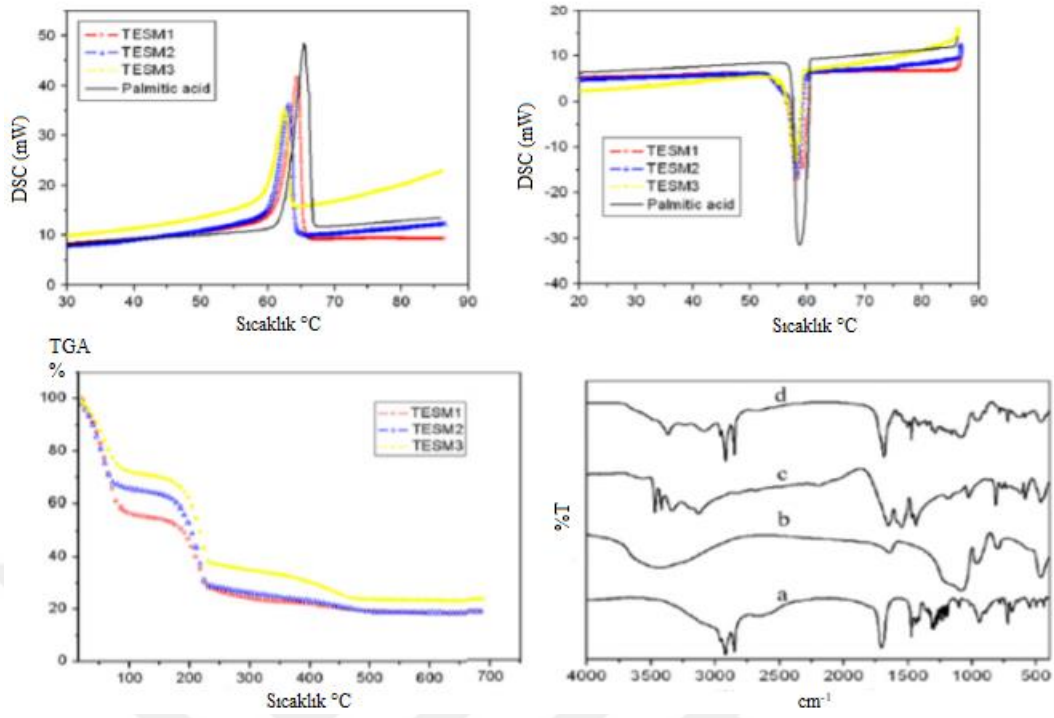


2. FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELERLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Guiyin ve arkadaşları tarafından sol-jel yöntemiyle Palmitik asit/SiO₂ hazırlanmıştır. Burada SiO₂ destek materyali, palmitik asit ise faz değiştirici madde olarak kullanılmıştır. Melamin ilavesiyle kompozite yangın söndürücü özellik kazandırılmıştır. Elde edilen bu kompozitlerin mikro yapıları, kristaloit fazları ve kimyasal yapıları FT-IR, XRD ve SEM analizleri ile belirlenmiştir. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) ile faz değiştirme sıcaklığı ve gizli ısı depolama entalpisi gibi termal özellikleri analiz edilirken, termal kararlılıkları da TGA ile ölçülmüştür. SiO₂'nin palmitik asit gözeneklerine yayıldığı SEM sonuçlarıyla (Şekil 2.1.) anlaşılmıştır. DSC sonuçlarına göre (Şekil 2.2.); Palmitik asit yüzdesi %41,1 olduğunda elde edilen kompozit yapının 59,79 °C'de 85,11 kJ/kg'lık bir ısıyla erimiş olduğu ve 59,20 °C'de 60,55 kJ/kg'lık ısıyla da katılaştığı gözlemlenmiştir. Melamin ilavesinin termal kararlılığı arttırdığı TGA (Şekil 2.2.) sonuçlarıyla belirlenmiştir. FT-IR analizi (Şekil 2.2.) ile yapıda herhangi bir değişim olup olmadığına bakılmıştır. Kompozitin homojenliğinin korunduğu ve yanıcılığının azaldığı melamin katkılандırıldıktan sonra anlaşılmıştır [47].

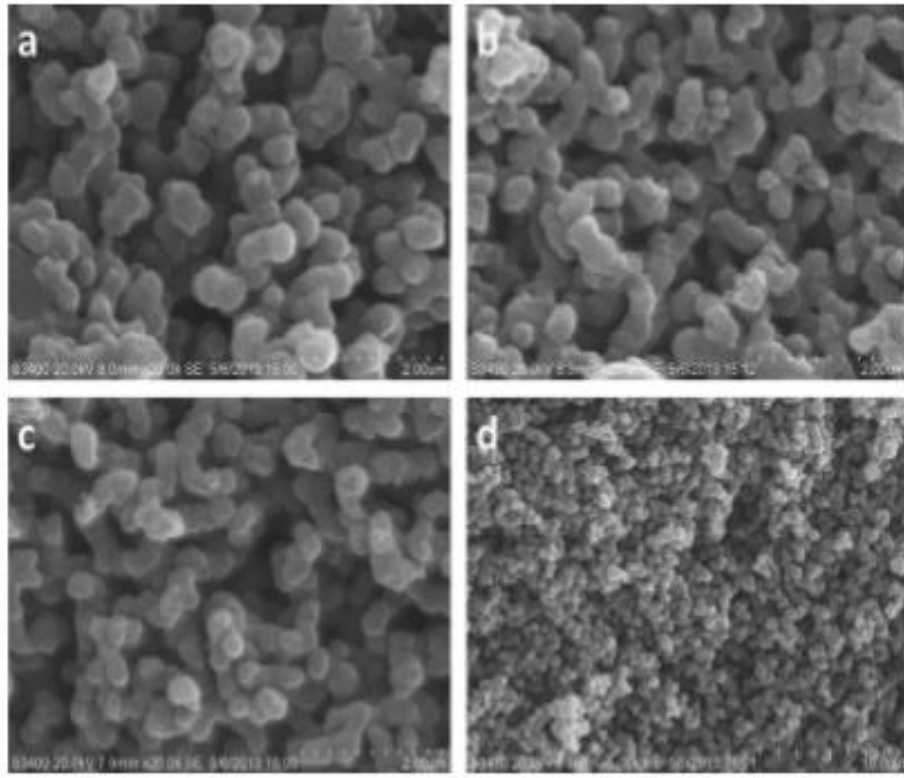


Şekil 2.1. a. SiO₂ b. Palmitik Asit (PA) c. PA+0,5 g melamin d. PA+2 g melamin iç morfolojileri [47]

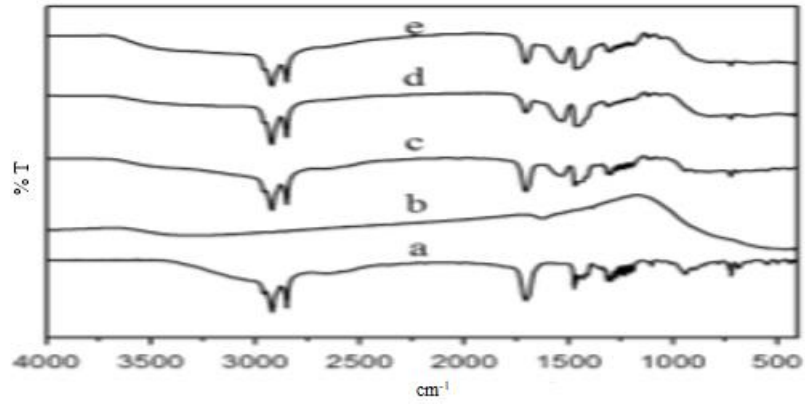


Şekil 2.2. Palmitik asit ve melamin ilavesi yapılan kompozitlerin DSC, TGA ve FT-IR analizleri [47]

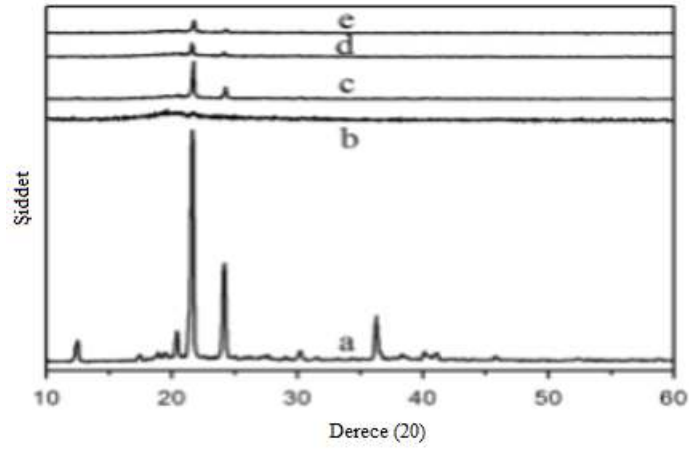
Lei Cao ve arkadaşları (2014) bu çalışmada termal enerji depolama malzemesi olarak TiO_2 kullanarak sol jel yöntemiyle palmitik asit mikrokapsüllemesi yapmışlardır. Kristal faz, kimyasal yapı ve durumlarını belirlemek için Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier transformasyonu kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), X-ışını difraktometresi (XRD) ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanılmıştır. Hazırlanan mikrokapsüllerin termal özellikleri Diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) ve Termogravimetrik analiz cihazı (TGA) kullanılarak belirlenmiştir. Yüzey morfolojisinde meydana gelen değişiklikler SEM (Şekil 2.3.) sonuçlarıyla anlaşılmıştır. FT-IR (Şekil 2.4.), XRD (Şekil 2.5.) ve XPS (Şekil 2.6.) sonuçlarıyla da Palmitik asitin TiO_2 kabuğunda iyi kapsüllemiş olduğunu göstermişlerdir. DSC sonuçları (Şekil 2.7. ve Şekil 2.8.) mikrokapsüllerin, 63.3 kJ / kg'lık bir gizli ısıyla 61.7 °C'de erimesini ve 56.1 °C'de, 47.1 kJ / kg'lık bir gizli ısı ile katılaşmasını göstermiştir. TGA sonuçlarıyla (Şekil 2.9.) da mikrokapsüllerin TiO_2 kabuklarından kaynaklanan iyi bir termal stabiliteye sahip oldukları anlaşılmıştır. Analiz sonuçları da hazırlanan mikrokapsüllerin iyi bir termal stabiliteye sahip olduğunu göstermektedir [48].



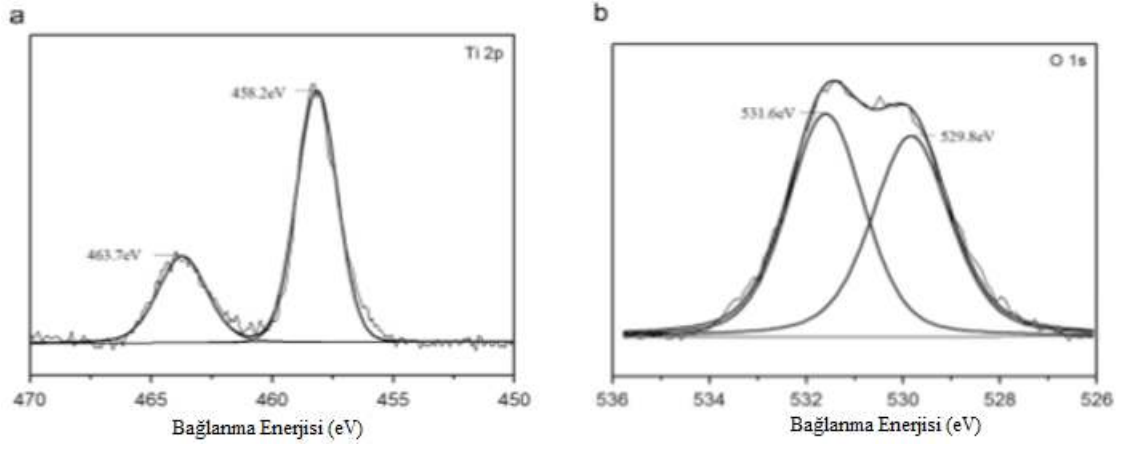
Şekil 2.3. (a) MPCM1 (20Kx), (b) MPCM2 (20Kx), (c) MPCM3 (20Kx) ve (d) MPCM1 (5Kx) SEM görüntüleri [48]



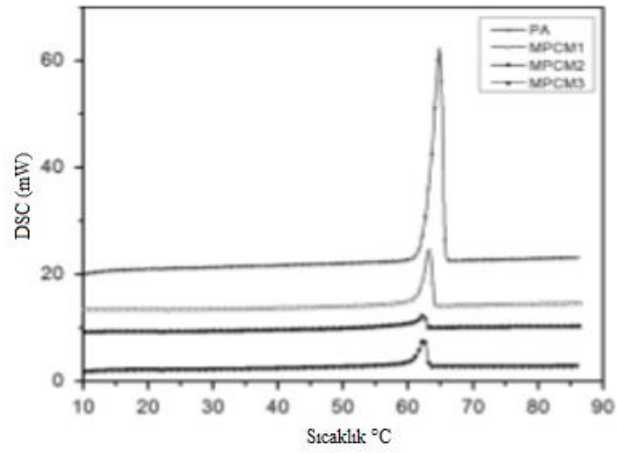
Şekil 2.4. (a) PA, (b) TiO_2 , (c) MPCM1, (d) MPCM2 ve (e) MPCM3 FT-IR spektrumları [48]



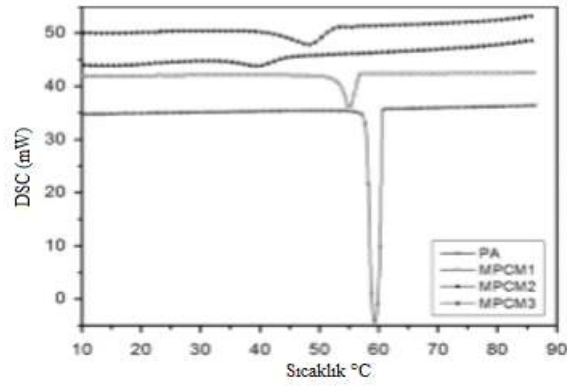
Şekil 2.5. (a) PA, (b) TiO₂, (c) MPCM1, (d) MPCM2 ve (e) MPCM3 XRD görüntüleri [48]



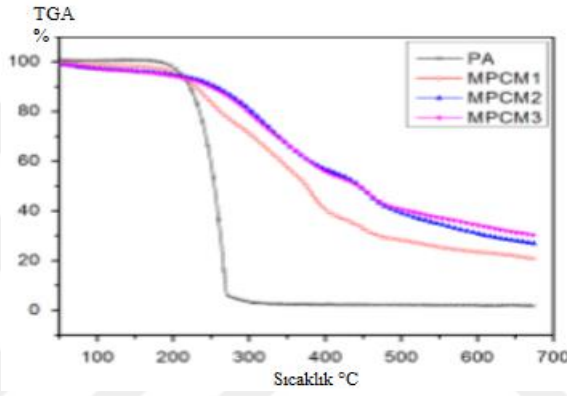
Şekil 2.6. MPCM1 XPS analizi [48]



Şekil 2.7. PA ve MPCM1–MPCM3 DSC erime eğrileri [48]

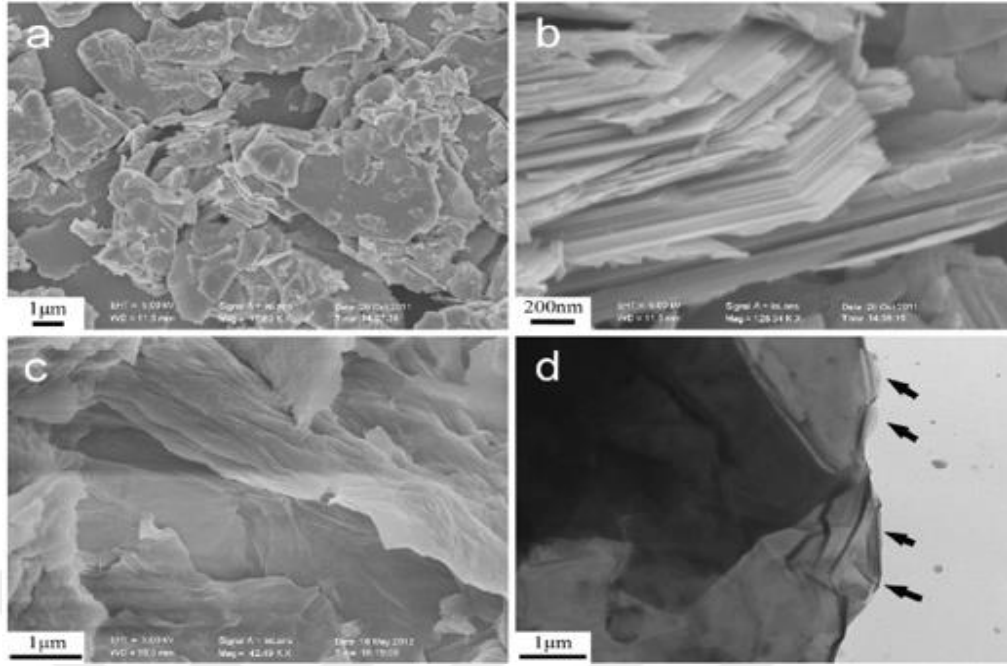


Şekil 2.8. PA ve MPCM1-MPCM3 DSC donma eğrileri [48]

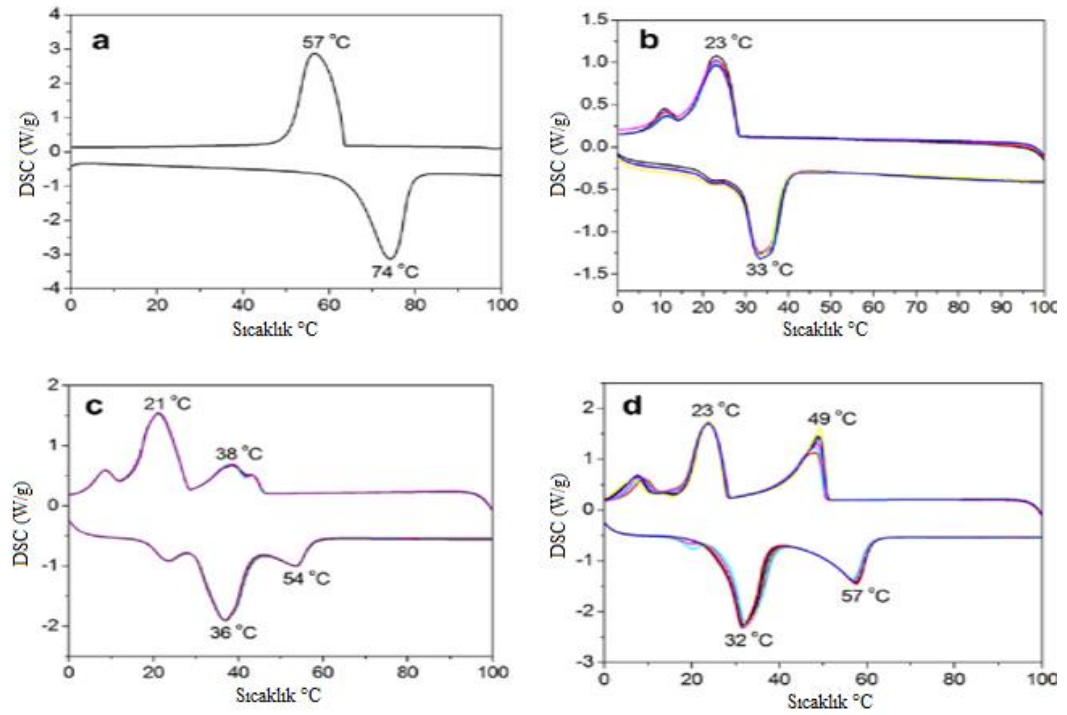


Şekil 2.9. PA ve MPCM1-MPCM3 TGA erime eğrileri [48]

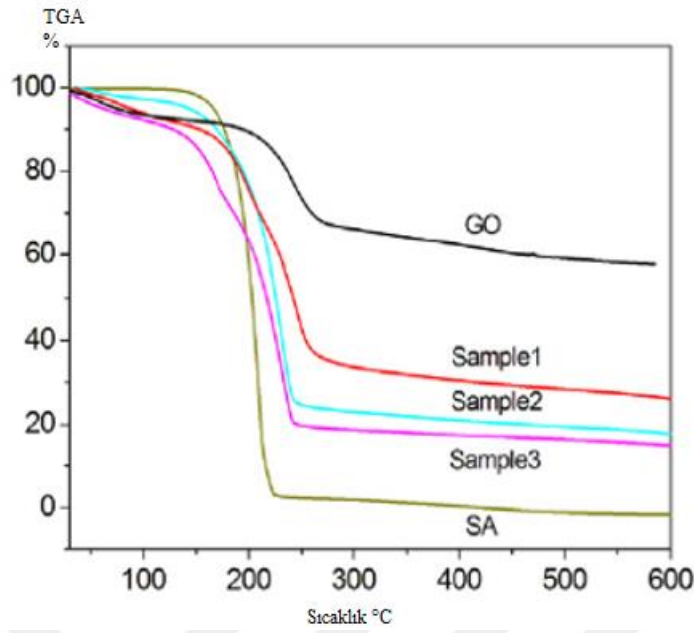
Özellikleri çok iyi bilinen organik faz değiştirici materyallerden stearik asit, termal iletkenliğinin düşük olması, düşük faz değiştirme sıcaklığına sahip olması ve sızıntı gibi özelliklerinden dolayı kullanım olarak kısıtlıdır. Benxia ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada stearik aside grafen oksit katkılarını yapmışlardır. Katkılama işlemi yüzeyler arası etkileşimle gerçekleştirilmiştir. Stearik asidin grafen oksit katmanları arasına yerleşmesiyle katkılama işlemi tamamlanmıştır. Yapılar XRD, SEM ve FT-IR analiz teknikleri ile karakterize edilmiştir. SEM analiz tekniği ile yüzey morfolojisi aydınlatılmıştır (Şekil 2.10.). Kompozitin (stearik asit-grafen oksit) sıcaklığının istenilen düzeyde olması için stearik asit-grafen oksit oranı ayarlanmalıdır. Bu nedenle stearik asit-grafen oksit oranı 1'e ayarlanmıştır. Elde edilmiş olan kompozitin donma ve erime noktalarının arttığı (Şekil 2.11.), termal enerji depolama kapasitelerinin %82.4 artarak 55.7 kJ/kg olarak değiştiği gözlenmiştir. Termal olarak kararlılıkları TGA analizi (Şekil 2.12.) ile belirlenmiş ve FT-IR analizi (Şekil 2.13.) ile yapıda herhangi bir değişim olup olmadığına bakılmıştır. Bu çalışmada stearik asit-grafit ve stearik asit-aktif karbon kompozitleriyle de karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda nano katkılı faz değiştiricilere yeni bir boyut kazandırılmıştır [49].



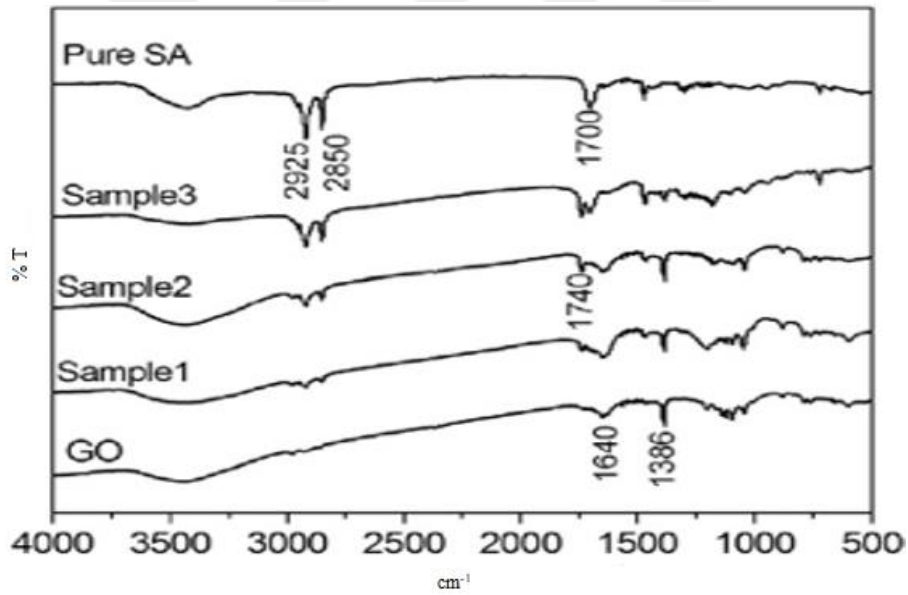
Şekil 2.10. Stearik asit, grafen oksit ve kompozitlerinin SEM görüntüleri [49]



Şekil 2.11. Stearik asit, grafen oksit ve kompozitlerinin farklı sıcaklıklardaki DSC erime-donma eğrileri [49]



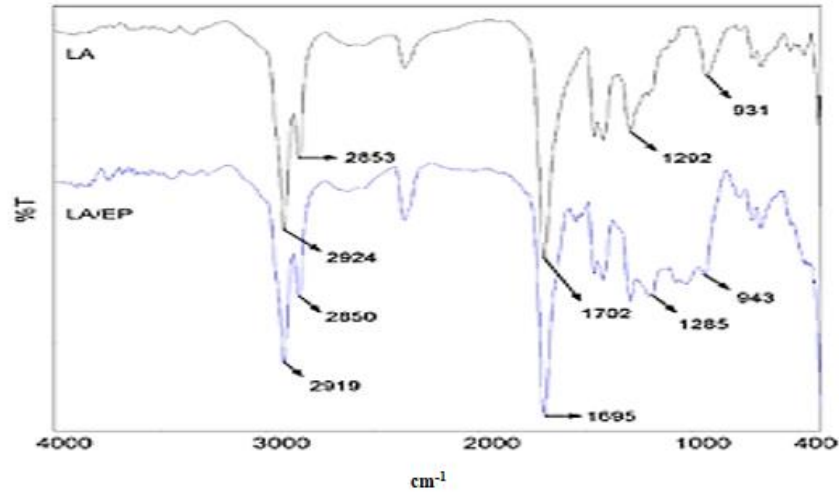
Şekil 2.12. Stearik asit, grafen oksit ve kompozitlerinin TGA eğrileri [49]



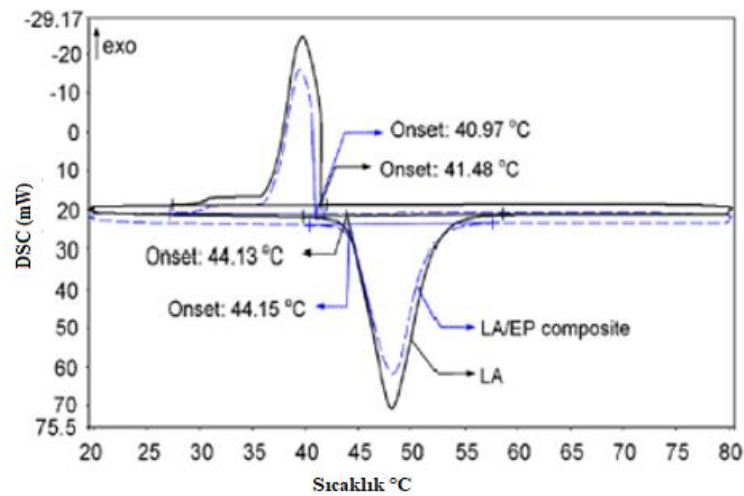
Şekil 2.13. Stearik asit, grafen oksit ve kompozitlerinin FT-IR spektrumları [49]

Ahmet Sarı ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada genişletilmiş perlit (GP) içine laurik asit (LA) katkılanmasıyla kararlı bir yapıda yeni kompozit destekli FDM elde edilmiştir. Elde edilen kompozit FDM'nin yapısı SEM ve FT-IR analiz teknikleri kullanılarak aydınlatılmıştır. DSC, TGA ve termal çevrim analizleri ile de kompozitin termal özellikleri, termal kararlılığı ve termal tekrarlanabilirliği tespit edilmiştir. FT-IR sonuçlarıyla da fiziksel olarak LA'in GP'in gözeneklerine dağıldığı ve herhangi bir kimyasal etkileşime girmediği kanıtlanmıştır (Şekil 2.14.).

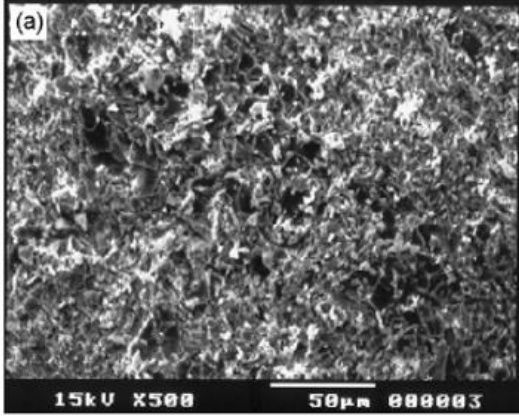
Kütlece % 60'ı LA olan bir kompozit ergimiş halde iken sızdırmazlık özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. DSC verilerine bakıldığında bu yüzdeye sahip olan kompozit destekli FDM'nin 44.13 °C'de 93.36 J/g'lık ısı ile eridiği, 40.97 °C'de 94.87 J/g'lık ısı ile katılaştığı belirlenmiştir (Şekil 2.15.). LA'ın GP'in gözeneklerine çok iyi şekilde dağıldığı SEM sonuçlarıyla gözlemlenmiştir (Şekil 2.16. ve Şekil 2.17.). Termal çevrim testinin 1000 erime donma döngüsüyle yapılması sonucunda kimyasal ve termal kararlılığını koruduğu gözlenmiştir (Şekil 2.18. Şekil 2.19. Şekil 2.20. ve Şekil 2.21.). Kütlece %10'luk GG'in (geniştirilmiş grafit) kompozit destekli FDM' ye eklenmesi sonucunda termal iletkenlikte yaklaşık %86'lık bir artış olduğu görülmüştür. Çalışma sonunda bu kompozitin kimyasal kararlılığının, termal kararlılığının, termal iletkenliğinin ve termal enerji depolama özellikleri iyi olduğundan dolayı, termal enerji depolama sistemlerinde kullanılabilirliği kabul edilmiştir [50].



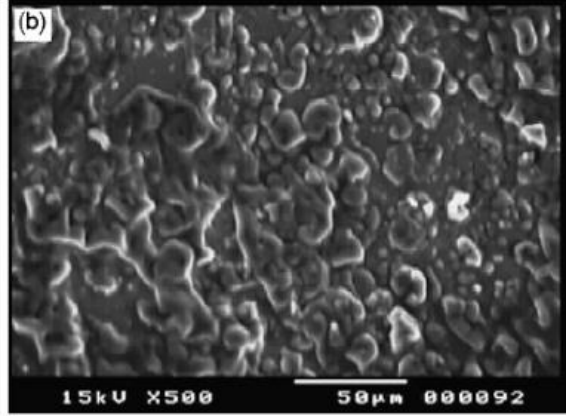
Şekil 2.14. LA ve LA/GP (60/40 wt %) FT-IR spektrumları [50]



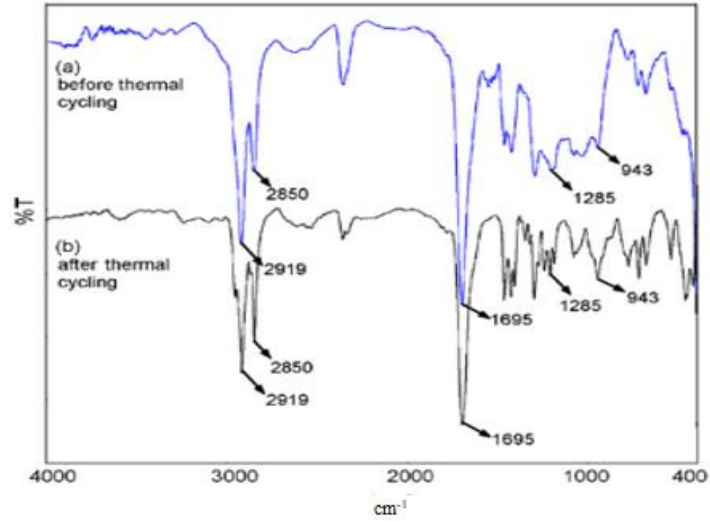
Şekil 2.15. LA ve LA/GP kompozitinin DSC eğrileri [50]



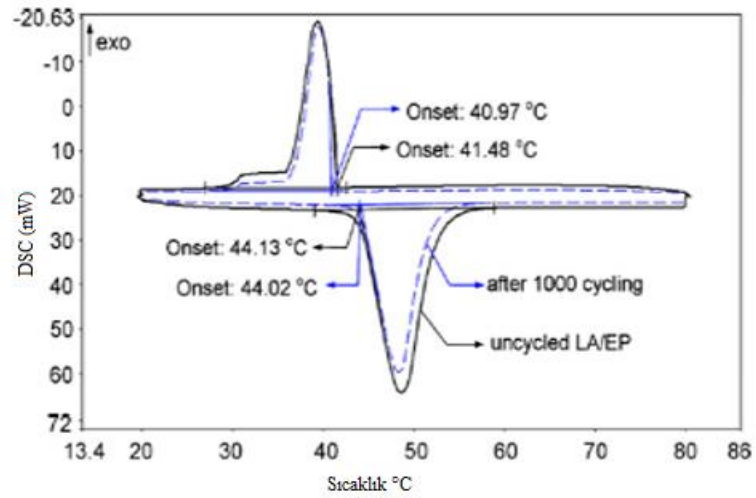
Şekil 2.16. Laurik asit eklenmeden önce [50]



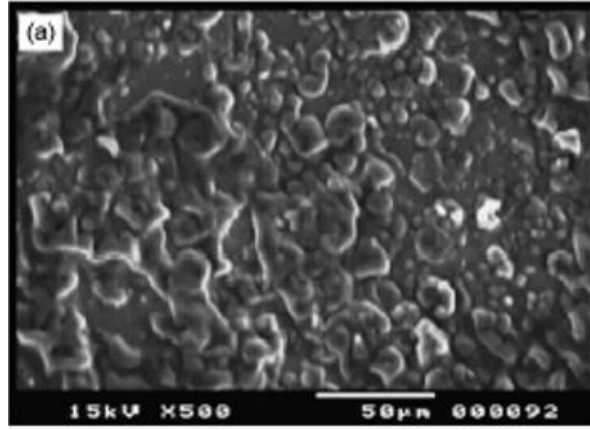
Şekil 2.17. Laurik asit eklendikten sonra [50]



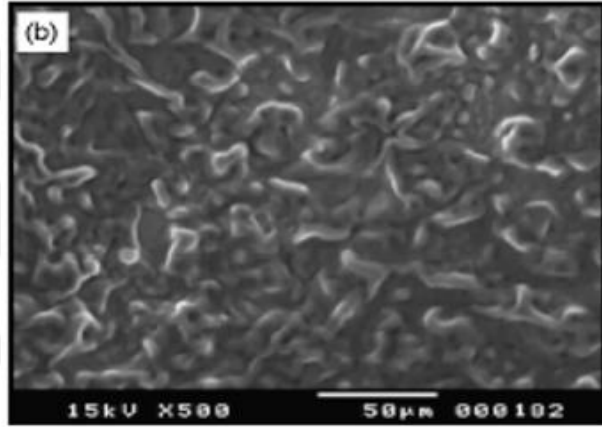
Şekil 2.18. LA/GP ve 1000 termal döngüden sonra LA/GP FT-IR spektrumu [50]



Şekil 2.19. LA/GP ve 1000 termal döngüden sonra LA/GP DSC eğrisi [50]

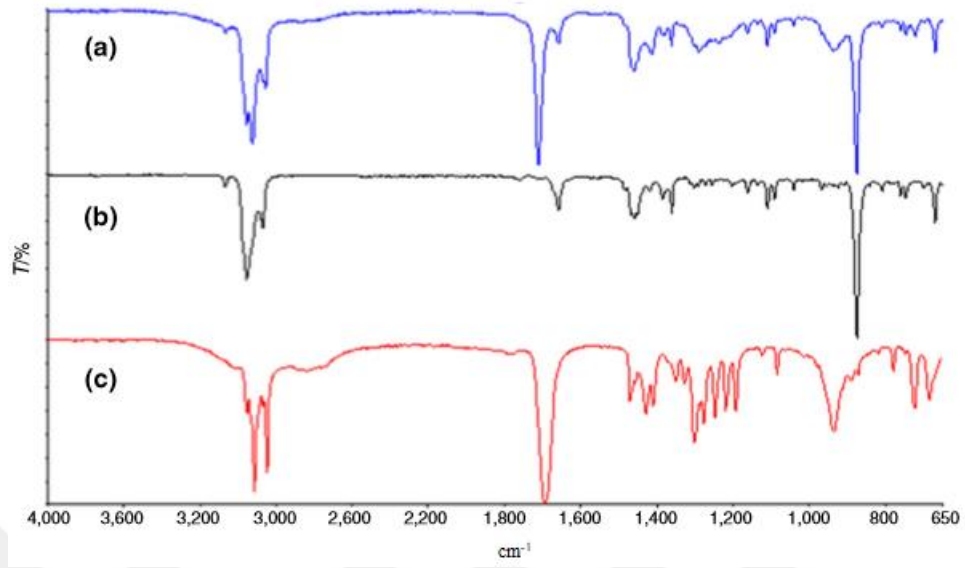


Şekil 2.20. LA/GP 1000 termal döngüden önce SEM fotoğrafı [50]

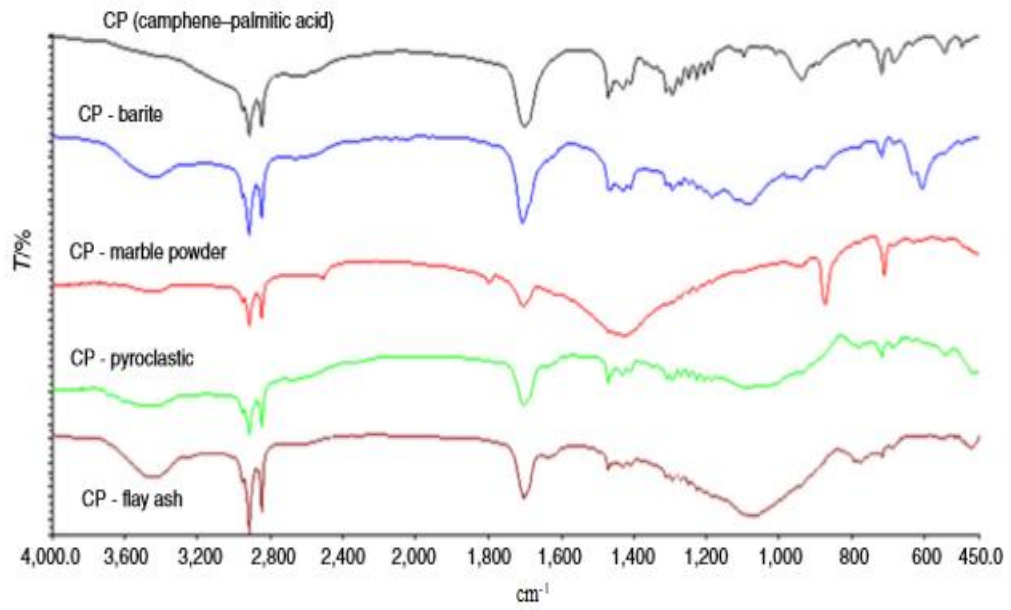


Şekil 2.21. LA/GP 1000 termal döngüden sonra SEM fotoğrafı [50]

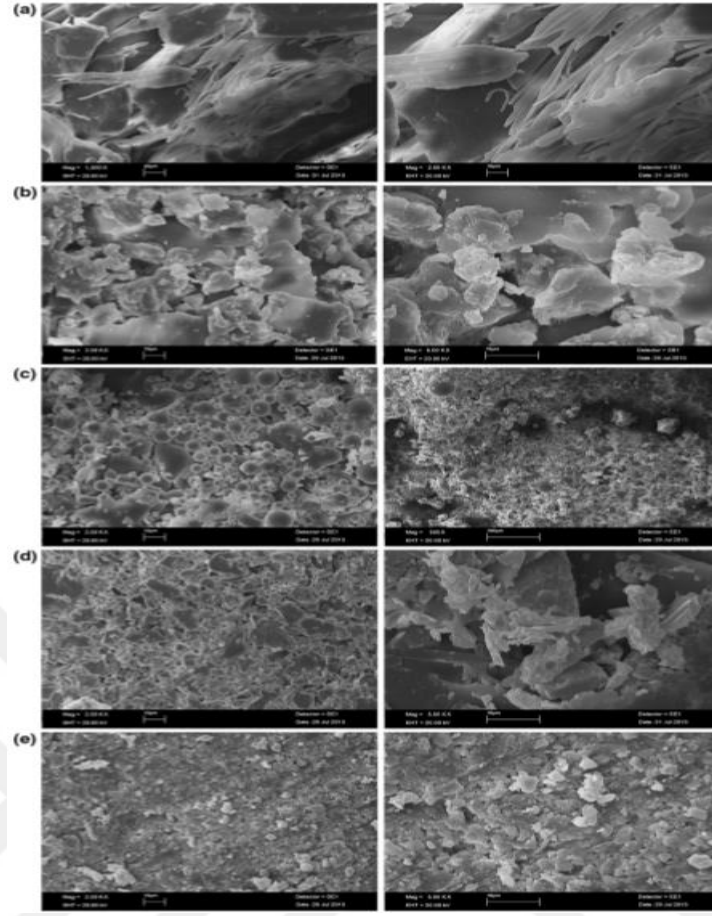
Zuhal ve arkadaşları faz değişim malzemesi olarak kamfen/palmitik asit karışımı hazırlayarak çalışmanın ilk aşamasını gerçekleştirmişlerdir. Kamfen/palmitik asit kompozit bazlı faz değişim malzemeleri (PCM'ler) termal enerji depolama amaçlı vakum emdirme yöntemiyle hazırlanmıştır. Piroklastik, uçucu kül, barit ve mermer tozu içerisine maksimum katılma yüzdesi kamfen/palmitik asit için sırasıyla %33.09, 55.5, 31.5 ve 35.96 olarak bulunmuştur. Yapıda bulunan fonksiyonel gruplar FT-IR spektrumlarıyla belirlendi (Şekil 2.22.). Katkılandırma sonrası yapıda herhangi bir değişiklik olup olmadığı tekrar FT-IR analiz tekniği ile anlaşılmıştır (Şekil 2.23.). Numunelerin homojenliğinin iyi olduğu ve destekleyici malzemelere göre gözenek oluşumunun gözlemlendiği SEM analizi ile belirlenmiştir (Şekil 2.24.). Diferansiyel taramalı kalorimetri analizi kompozit PCM'lerin uygun faz değişim sıcaklığı ve geniş aralıklı ısı değerleri açısından bina uygulamalarında uygun olduğunu ortaya çıkarmıştır (Şekil 2.25.). Gizli ısı kapasiteleri Şekil 2.26., TGA eğrileri Şekil 2.27.'de görülmektedir. Termal çevrim analizi kararlı kompozit PCM'lerin 2000 eritme/donma döngüsüne tabii tutulmasına rağmen iyi termal güvenilirliğe ve kimyasal stabiliteye sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 2.28. ve Şekil 2.29.) [51].



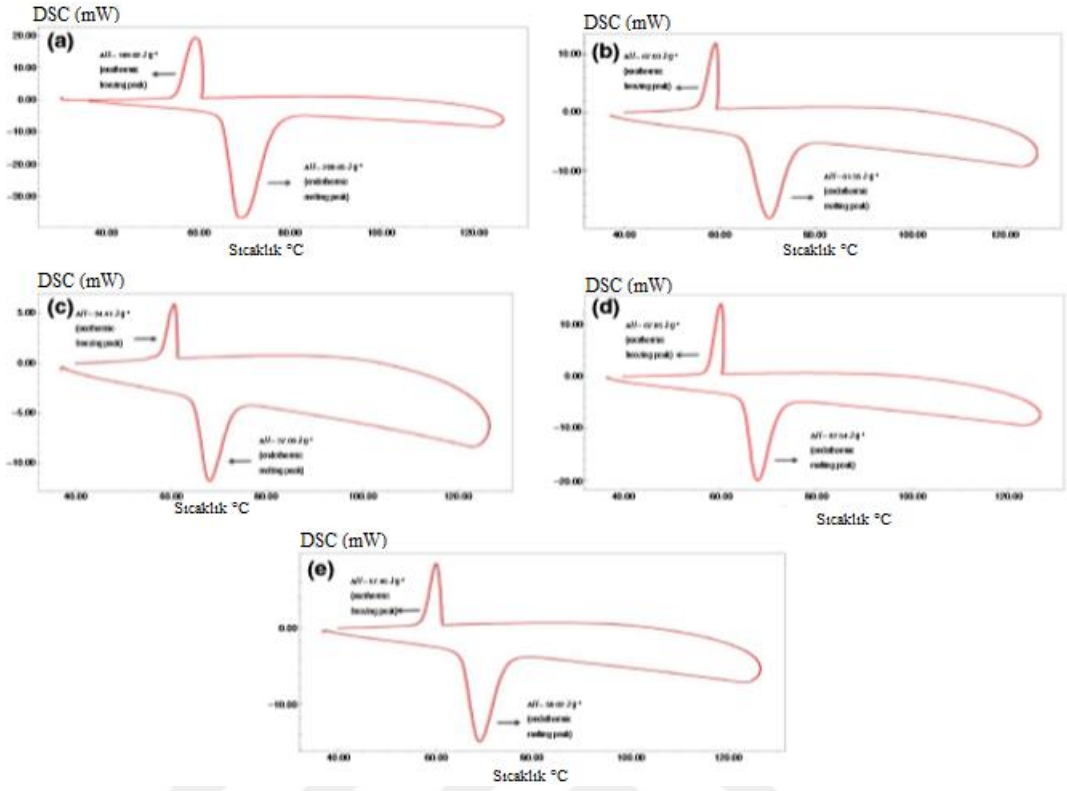
Şekil 2.22. Kamfen/palmitik asit, kamfen ve palmitik asitin FT-IR spektrumları [51]



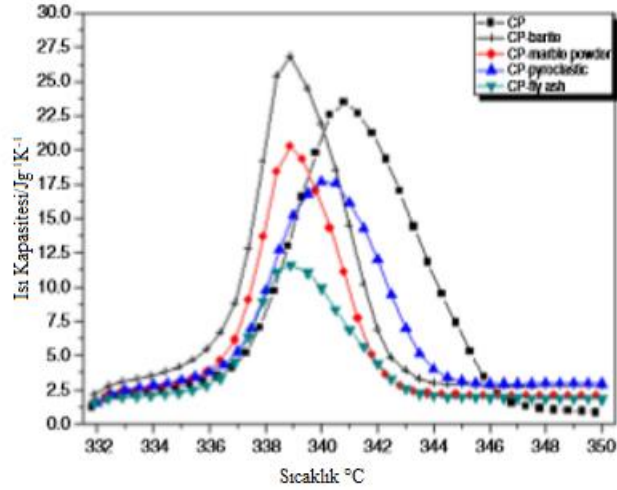
Şekil 2.23. CP(kamfen-palmitik asit) FT-IR spektrumları ve hazırlanan kompozit bazlı FDM'ler [51]



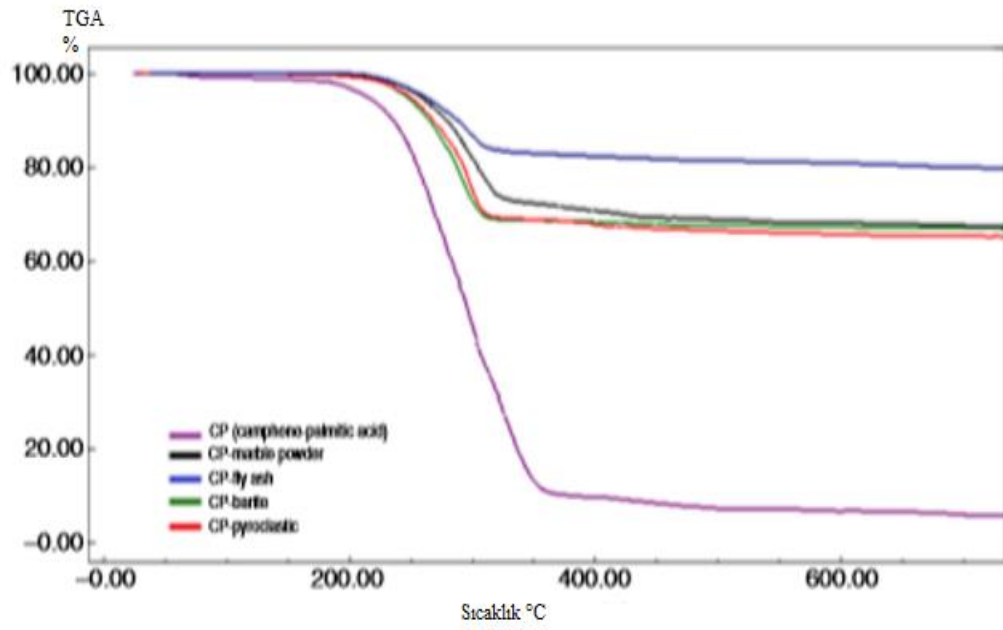
Şekil 2.24. (a) kamfen-palmitik asit (CP), (b) piroklastik kompozit bazlı FDM, (c) uçucu kül kompozit bazlı FDM, (d) barit kompozit bazlı FDM, (e) mermer tozu kompozit bazlı FDM'lerin SEM görüntüleri [51]



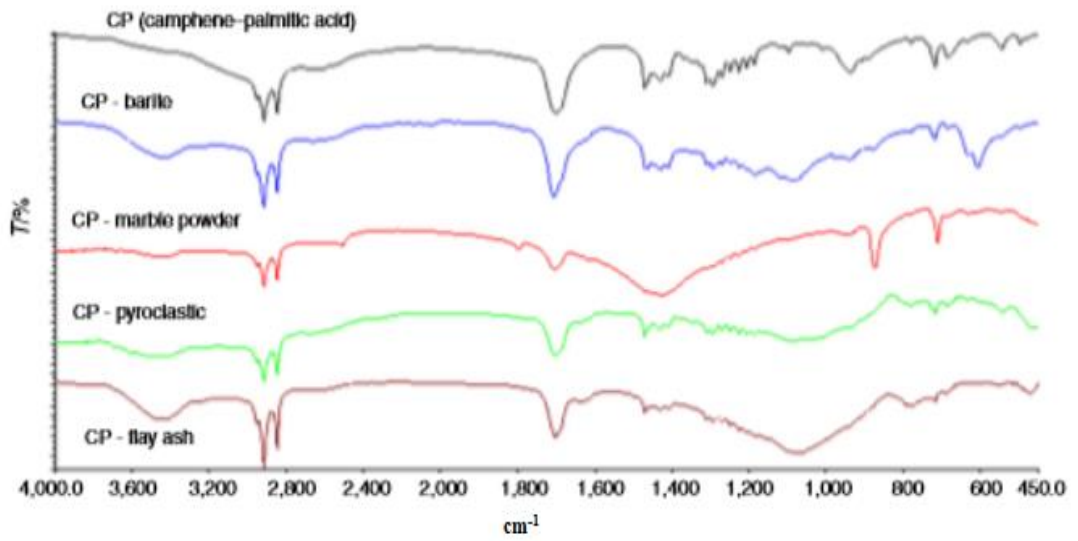
Şekil 2.25. (a) kamfen-palmitik asit (CP), (b) piroklastik kompozit bazlı FDM, (c) uçucu kül kompozit bazlı FDM, (d) barit kompozit bazlı FDM, (e) mermer tozu kompozit bazlı FDM’lerin DSC eğrileri [51]



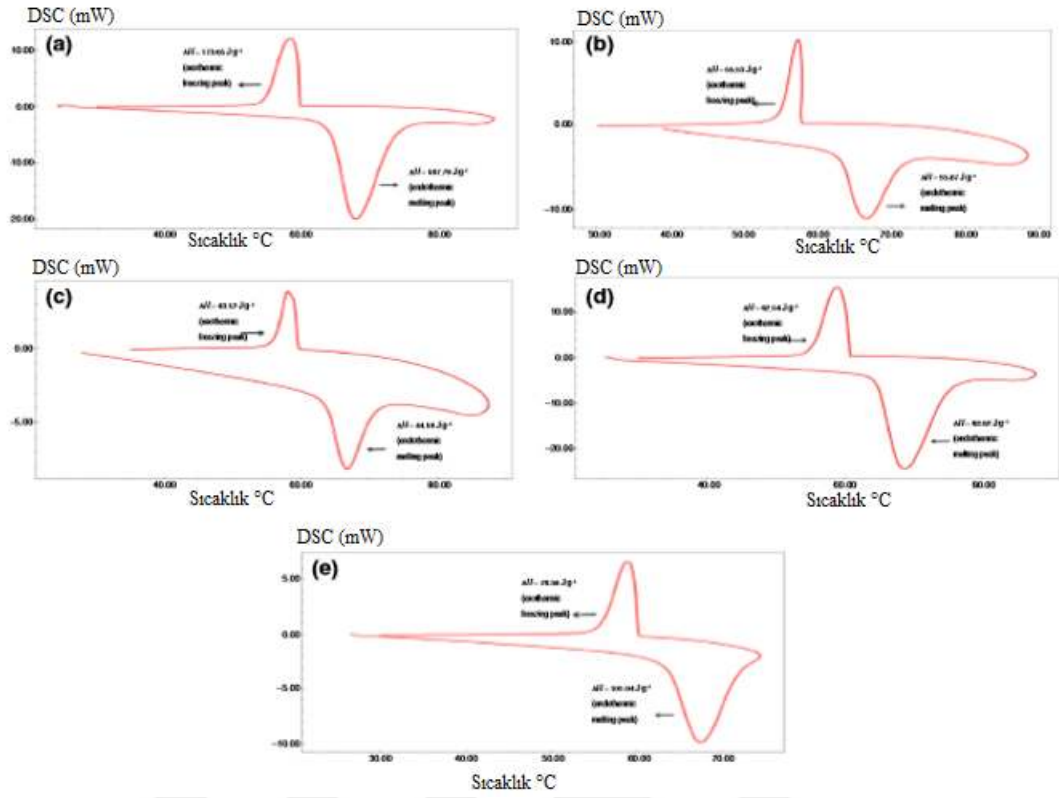
Şekil 2.26. CP ve kompozit tabanlı FDM’lerin ısıtılması sırasında gizli ısı kapasiteleri [51]



Şekil 2.27. CP ve kompozit FDM'lerin TGA eğrileri [51]



Şekil 2.28. CP ve termal döngüden sonra hazırlanan bileşik FDM'lerin FT-IR spektrumları [51]



Şekil 2.29. (a) kamfen-palmitik asit (CP), (b) piroklastik kompozit bazlı FDM, (c) uçucu kül kompozit bazlı FDM, (d) barit kompozit bazlı FDM, (e) mermer tozu kompozit bazlı FDM'lerin termal çevrim sonrası DSC eğrileri [51]

3. MATERYAL VE METOD

Yapılan tez çalışmasında yağ asitleri ve yağ alkolü kullanılarak hazırlanmış olan ötektik karışımlara yapı malzemeleri katkılanarak elde edilen kompozit destekli FDM'lerin özellikle yalıtım sektöründe kullanılabilirliği araştırıldı. Yaygın yapı malzemelerinden barit, boron nitrit, diatomit ve silis dumanı bu amaçla kullanıldı.

3.1. Materyal

Çalışmada yağ asitleri ve yağ alkolü kullanılarak kompozit katkılı faz değıştiren maddeler elde edilmiştir. Bu maddelerin enerji depolama özelliğı araştırılmış, DSC, TGA, FT-IR analizleri yapılarak maddeler arasında en iyi termal özelliğı sahip olan karışımın en iyi FDM olduğı belirlenmiştir. Elde edilen kompozit katkılı FDM'lerde herhangi bir kimyasal etkileşim olmadığı da analiz sonuçlarıyla anlaşılmıştır.

3.1.1. Kullanılan Araç ve Gereçler

- FT-IR (Perkin Elmer Precisely Spectrum One), Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü
- Diferansiyel Taramalı Kalorimetre: Shimadzu DSC-60 A, Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü
- Termogravimetrik Analiz: Shimadzu DTG-60 AH, Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü
- Elektronik Terazı: Gec Avery, Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü
- Termal Cykler: Applied Biosystems Veriti 96 Well Thermal Cykler Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü
- Ultrasonik Karıştırıcı Su Banyosu: Elmasonic S 30H, Fırat Üniversitesi Fen Fak. Biyoloji Bölümü
- Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM): Erciyes Üniversitesi Teknolojik Araştırma ve Uygulama Merkezi.

3.1.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar

Duyulur ısı depolama amaçlı hazırlanan FDM karışımları için yağ asidi olarak; Palmitik Asit (PA) ve Dekanoik Asit (DA) yağ alkolü olarak da Setil Alkol (SA) kullanıldı. Farklı oranlarda karışımları hazırlanan bu maddelerden gizli ısı kapasitesi yüksek olan ötektik karışımlar FDM olarak belirlendi. Palmitik-Dekanoik Asit (PA-DA) ve Dekanoik Asit-Setil Alkol (DA-SA)

karışımlarına bazı yapı malzemelerinin katkılandırılmasıyla elde edilen kompozit destekli FDM'lerin yalıtım sektöründe kullanılabilirliği araştırıldı. Yapı malzemelerinden olan Barit, Silis Dumanı, Diatomit ve Boron Nitrit bu amaçla kullanıldı. Kullanılan yağ asitlerinin kimyasal formülü ve DSC analizleriyle belirlenen ısı özellikleri Tablo 3.1.'de, yağ alkolünün de Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Ötektik karışımların hazırlanmasında kullanılan yağ asitlerinin termal özellikleri

Yağ Asidi	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Gizli Isısı (kJ/kg)	Özgül Isı (kJ/kg °C)	Kimyasal Formülleri
Palmitik Asit	61-64	203,4	2,20 (40°C) 2,48 (80°C)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Dekanoik Asit	30-32	-	-	$\text{C}_9\text{H}_{19}\text{COOH}$

Tablo 3.2. Ötektik karışımların hazırlanmasında kullanılan yağ alkolünün termal özellikleri

Alkol Parafini	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Gizli Isısı (kJ/kg)	Özgül Isı (kJ/kg)	Kimyasal Formülü
Setil Alkol	47-50	134.66	3,36 (40°C) 1,68 (80°C)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{OH}$

3.2. Metod

Kompozit FDM'lerin entalpi değerlerinin ve gizli ısılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi için;

- ✓ Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)
- ✓ Termogravimetrik Analiz (TGA) kullanılmıştır.

3.2.1. FDM ve Kompozit Destekli FDM'lerin Hazırlanması

Palmitik asit, dekanoik asit ve setil alkol FDM'lerin hazırlanması için ağırlığı farklı oranlarda tartıldıktan sonra karışım cam kapaklı şişelere alındı. Bu karışımlar ultrasonik karıştırıcı su banyosuna alınarak 60-75 °C sıcaklık aralığında 2 saat homojen olarak karıştırıldı. Homojen karışımların homojenliğini korunması için buzda ani soğutma ile katılaşması sağlandı.

Palmitik Asit-Dekanoik Asit Karışımları

En iyi ısı özelliklerine sahip olan Palmitik Asit-Dekanoik Asit ötektik karışımlarının belirlenmesi için;

I. SERİ KARIŞIM

PALMİTİK ASİT-DEKANOİK ASİT KARIŞIMLARI

Palmitik Asit-Dekanoik Asit (PA-DA, 1:2) için; 2000 mg PA + 4000 mg DA

Palmitik Asit-Dekanoik Asit (PA-DA, 2:1) için; 4000 mg PA + 2000 mg DA

Palmitik Asit-Dekanoik Asit (PA-DA, 1:4) için; 2000 mg PA + 8000 mg DA

Palmitik Asit-Dekanoik Asit (PA-DA, 4:1) için; 8000 mg PA + 2000 mg DA

Palmitik Asit-Dekanoik Asit (PA-DA, 2:3) için; 4000 mg PA + 6000 mg DA

Palmitik Asit-Dekanoik Asit (PA-DA, 3:2) için; 6000 mg PA + 4000 mg DA

Belirtilen oranlarda hazırlanan karışımların DSC analizleri incelendi. Analiz sonuçlarına göre düzenli şekilde erime ve donma gösteren karışım (PA-DA, 4:1) ana karışım olarak seçildi.

KOMPOZİT KATKILI FDM KARIŞIMLARI

(PA-DA, 4:1) Barit (B) için; 2000 mg (PA-DA, 4:1) + 20 mg B

(PA-DA, 4:1) Boron Nitrit (BN) için; 2000 mg (PA-DA, 4:1) + 20 mg BN

(PA-DA, 4:1) Diatomit (DiA) için; 2000 mg (PA-DA, 4:1) + 20 mg DiA

(PA-DA, 4:1) Silis Dumanı (SD) için; 2000 mg (PA-DA, 4:1) + 20 mg SD

FT-IR verileri sonucunda ötektik karışımları oluşturan maddeler arasında sadece fiziksel etkileşim olduğu belirlendi. Seçilen ötektik karışımdan (PA-DA, 4:1) 2000 mg alınarak behere aktarıldı. Magnetik karıştırıcıda 35-45 °C sıcaklık aralığında erimesi beklendi. Eriyen ötektik karışımın %1'i kadar barit, boron nitrit, diatomit ve silis dumanı kullanılarak kompozit FDM'ler oluşturuldu. Elde edilen bu kompozit FDM'lerin DSC analiz sonuçlarına göre en iyi özelliğe sahip olanları temel karışımlar olarak seçildi. Belirlenen temel karışımların TGA analizlerinin yapılması ile termal kararlılıkları incelendi ve termal özelliklerinde, yapılarında herhangi bir değişiklik olup olmadığını anlamak için termal çevrim cihazında 1000 çevrime tabi tutuldu. Yüzey morfolojilerinde meydana gelen değişiklikler de SEM görüntüleri alınarak belirlendi.

Dekanoik Asit – Setil Alkol Karışımları

En iyi ısıl özelliklere sahip Dekanoik Asit-Setil Alkol ötektik karışımlarının belirlenmesi için;

II. SERİ KARIŞIM

DEKANOİK ASİT-SETİL ALKOL KARIŞIMLARI

Dekanoik Asit-Setil Alkol (DA-SA, 1:2) için; 2000 mg DA + 4000 mg SA

Dekanoik Asit-Setil Alkol (DA-SA, 2:1) için; 4000 mg DA + 2000 mg SA

Dekanoik Asit-Setil Alkol (DA-SA, 1:4) için; 2000 mg DA + 8000 mg SA

Dekanoik Asit-Setil Alkol (DA-SA, 4:1) için; 8000 mg DA + 2000 mg SA

Dekanoik Asit-Setil Alkol (DA-SA, 2:3) için; 4000 mg DA + 6000 mg SA

Dekanoik Asit-Setil Alkol (DA-SA, 3:2) için; 6000 mg DA + 4000 mg SA

Belirtilen oranlarda hazırlanan karışımların DSC analizleri incelendi. Analiz sonuçlarına göre düzenli şekilde erime ve donma gösteren karışım (DA-SA, 1:4) ana karışım olarak seçildi.

KOMPOZİT KATKILI FDM KARIŞIMLARI

(DA-SA, 1:4) Barit (B) için; 2000 mg (DA-SA, 1:4) + 20 mg B

(DA-SA, 1:4) Boron Nitrit (BN) için; 2000 mg (DA-SA, 1:4) + 20 mg BN

(DA-SA, 1:4) Diatomit (DiA) için; 2000 mg (DA-SA, 1:4) + 20 mg DiA

(DA-SA, 1:4) Silis Dumanı (SD) için; 2000 mg (DA-SA, 1:4) + 20 mg SD

FT-IR verileri sonucunda ötektik karışımları oluşturan maddeler arasında sadece fiziksel etkileşim olduğu belirlendi. Seçilen ötektik karışımdan (DA-SA, 1:4) 2000 mg alınarak behere aktarıldı. Magnetik karıştırıcıda 35-45 °C sıcaklık aralığında erimesi beklendi. Eriyen ötektik karışımın %1'i kadar barit, boron nitrit, diatomit ve silis dumanı kullanılarak kompozit FDM'ler oluşturuldu. Elde edilen bu kompozit FDM'lerin DSC analiz sonuçlarına göre en iyi özelliğe sahip olanları temel karışım olarak seçildi. Belirlenen temel karışımların TGA analizlerinin yapılması ile termal kararlılıkları incelendi ve termal özelliklerinde, yapılarında herhangi bir değişiklik olup olmadığını anlamak için termal çevrim cihazında 1000 çevrime tabi tutuldu. Termal ve fiziksel özelliklerde meydana gelen değişimler DSC analiz yöntemiyle saptandı. Yüzey morfolojilerinde meydana gelen değişiklikler de SEM görüntüleri alınarak belirlendi.

3.2.2. Elde Edilen FDM Karışımlarının Analizi

FT - IR Analizi

Infrared veya biraz daha uzun dalga boylu ışınların kullanılmasıyla yapılan her türlü analize IR analizleri denir. Temel prensibi; bir madde içerisinde, IR ışınlarına maruz kalan molekül veya atomların bağlarının eğilmesi, bükülmesi, gerilmesi, titreşimi veya dönme hareketleri sonucu bir absorpsiyon vermesi ile elde edilen spektrumun değerlendirilmesidir. IR bölgesi elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi ile mikro dalga bölgesi arasında yer alır. Bu bölgede $4000-450\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu arasındadır. Katı maddeler KBr ile toz haline getirilip belli ölçüde preslenerek IR spektrumu alınır. IR spektrometresi başlıca üç kısımdan oluşur:

- Işın Kaynağı
- Monokromatör
- Alıcı

Elde edilen karışımları oluşturan maddeler arası etkileşim FT-IR cihazı (Perkin Elmer Precisely Spectrum One) ile belirlendi. Karışımlar katı olduğundan spektrumlar KBr diski oluşturularak alındı. Saf halde bulunan yağ asidi ve kullanılan yapı malzemelerinin FT-IR spektrumları alınarak kıyaslama yapıldı. Oluşan spektrumlar karışımların olduğu sırada aralarında fiziksel etkileşimin olduğuna açıklık getirdi.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM-Scanning Electron Microscope) odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu türüdür. Numunedeki atomlar ile etkileşen elektronlar numune yüzeyindeki topografi hakkında bilgiler veren farklı sinyaller üretir. Alınan sinyallerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla görüntü elde edilir.

Tez çalışmasında üretilen FDM'lerin yüzey özelliklerini incelemek için SEM kullanılmıştır. Farklı büyütmelerde görüntüler FDM'lerin özelliklerine göre alınmıştır.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre veya DSC ısı analizi yapmaya yarayan, termal analitik bir yöntemdir. Örnek soğutulup ısıtılırken ya da sabit sıcaklıkta tutulurken soğurulan ya da salıverilen enerji miktarını ölçer. Ölçüm prensipleri TGA ile aynıdır. DSC'nin uygulama alanları endotermik ve ekzotermik ayrışma gibi faz değişimleri üzerindeki çalışmalardır. DSC hal değişim ısısı, özgül ısı kapasitesi, tepkime ısısı, faz değişimi sıcaklığı gibi ısıl değişikliklerin ölçümünde kullanılır.

Fen Fakültesi Kimya Bölümü'nde bulunan Shimadzu DSC-60A cihazı kullanılarak DSC analizleri yapıldı. Analizler argon gazı atmosferinde 25 °C ile 100 °C sıcaklık aralıklarında 10 °C/dk ısıtma hızında yapıldı.

Karışımları oluşturan palmitik asit, dekanolik asit, setil alkol ve bunlardan oluşan ötektik karışımların erime (T_m), katılaşma (T_s) sıcaklıkları DSC eğrilerinde faz geçişlerinin gözlemlendiği pikin maksimum eğimli kısmından temel çizgiye teğet çizilerek belirlendi. Erime (ΔH_m) ve katılaşma (ΔH_s) pikleri ile temel çizgi arasında kalan alan integrasyonu ile faz değişim entalpilerinin hesaplaması yapıldı.

Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz, bir numunenin kütlesinde artan sıcaklık sonucunda meydana gelen ağırlık değişimlerini kantitatif olarak veren bir yöntemdir. Bir maddenin bozunması veya dehidrasyonu sırasında meydana gelen ağırlık değişimlerini sıcaklık ve zamana bağlı olarak gözlemek mümkündür. Yüksek sıcaklıklarda fiziksel ve kimyasal bağların kopması sonucu ağırlık değişimi meydana gelir. TGA kaynama, erime, parçalanma noktalarını yüksek bir doğrulukla tayin eder. Kristalleşme ve faz değişimleri hakkında da bilgi vermektedir.

Analizler, Fırat Üniversitesi Kimya Bölümü'nde bulunan DTG-60AH cihazı ile yapıldı. Termogravimetrik analizler argon atmosferinin 10 mL/dk akış hızına sahip olduğu ortamda 10 °C/dk ısıtma hızında 25 °C ile 200 °C sıcaklık aralıklarında yapıldı. Numunelerin bozunmaya başladıkları andaki sıcaklıkları ile beraber termal kararlılıkları incelenip birbiriyle kıyaslama yapıldı.

Termal Çevrim Analizi

Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü'ndeki Applied Biosystems Veriti 96 Well Thermal Cycler cihazı bu analiz tekniği için kullanıldı. Bu cihaz istenilen zaman aralıklarında ve belirlenen sıcaklıkta girilmiş olan tekrar sayısına bağlı olarak numunenin defalarca ısıtılıp soğutulmasını sağlamaktadır. İşlem sonucunda maddenin termal olarak yaşlandırması yapılır. Yaşlandırılmış olan bu maddelerin FT-IR, TGA, DSC, SEM ölçümleri alınarak analizleri yapılır. Sonuçlar karşılaştırılarak termal döngünün maddelerin yapısında herhangi bir değişikliğe neden olup olmadığı araştırılır. Karşılaştırmalar sonucunda maddelerde herhangi bir değişimin olmadığı saptanırsa maddelerin termal tekrarlanabilirlik özelliğine sahip olduğu belirlenmiş olur.

Ultrasonik Karıştırıcı Su Banyosu

Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'ndeki Elmasonic S 30H cihazı kullanıldı. Bu cihaz karışım içerisindeki küçük partikülleri azaltmak, homojen olarak küçük ve eşit bir şekilde dağılmalarını sağlamak amacıyla kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

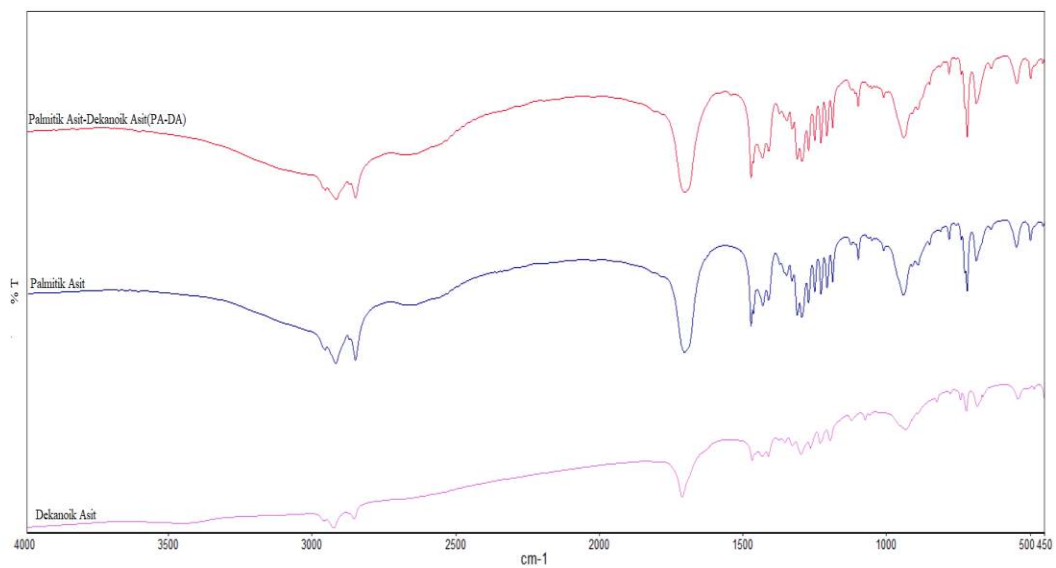
Bu çalışmada yağ asitleri, yağ alkolü ve katkı maddeleri kullanılarak yeni kompozit FDM'ler hazırlanmıştır. Bu FDM'lerin enerji depolama kapasiteleri araştırılmış, erime ve donma entalpileri DSC analizi ile belirlenmiştir.

4.1. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lere Ait Veriler

Palmitik asit-Dekanoik asit (4:1) ötektik karışımının ve ötektikleri katkılandırılmış olan FDM'lerin FT-IR, DSC, TGA ve SEM analizleri yapıldı.

4.1.1. PA-DA Ötektik Karışımının FT-IR Sonuçları

Karışımın oluştuğu sırada karışımı oluşturan maddelerin herhangi bir kimyasal değişime uğrayıp uğramadığını ve karışımın sadece fiziksel etkileşimle olduğunu anlamak için palmitik asit, dekanoik asit saf halleri ve palmitik asit-dekanoik asit (PA-DA, 4:1) ötektik karışımının FT-IR spektrumları incelendi (Şekil 4.1.).



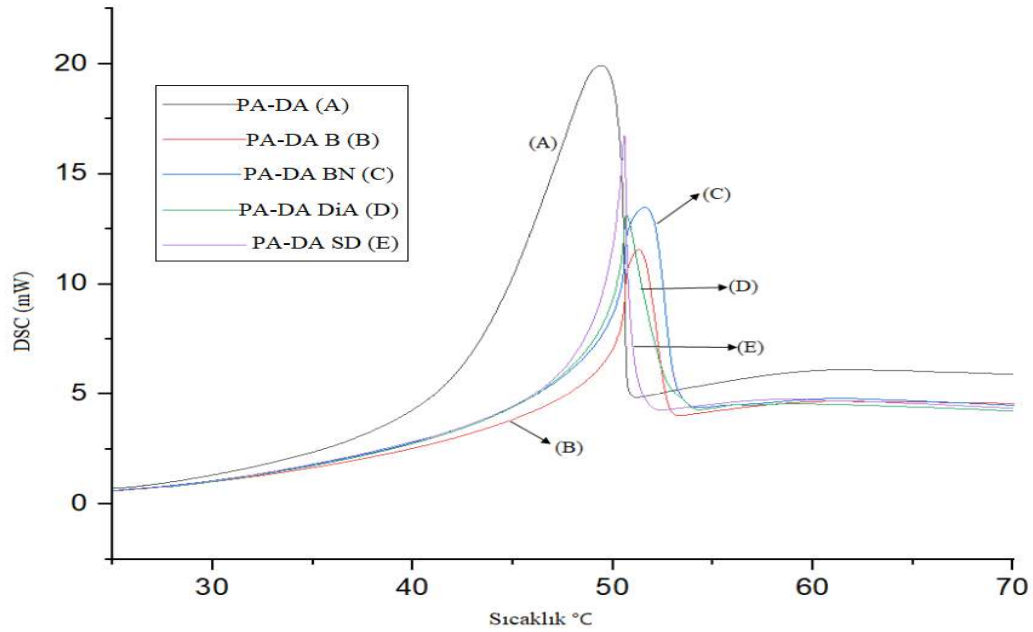
Şekil 4.1. Palmitik Asit (PA), Dekanoik Asit (DA) ve Palmitik Asit-Dekanoik Asit (PA-DA, 4:1) ötektik karışımının FT-IR spektrumları

Palmitik asit-dekanoik asit ötektik karışımının FT-IR spektrumunda $3115.7\text{--}2644.6\text{ cm}^{-1}$ aralığında alifatik CH'ların barınmasından dolayı yayvanlaşma meydana gelmiştir. 1704.2 cm^{-1} de gözlenen pik C=O gerilmesine, 3000 cm^{-1} altında görülen pikler alifatik -CH gerilme titreşimlerine, 2845.4 cm^{-1} de görülen pikin de karboksilik aside ait olan -OH gerilmesi olduğu tespit edildi.

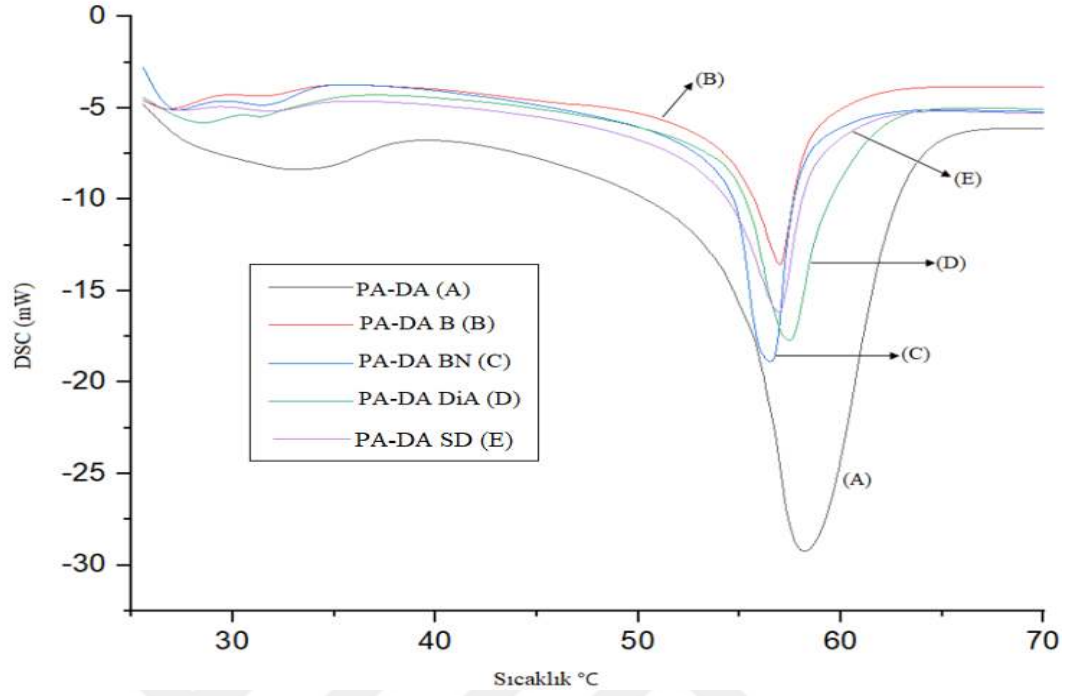
Palmitik asitin FT-IR spektrumunda yine 2500-3000 cm^{-1} civarında karakteristik pikler gözlenir. 3298-2693 cm^{-1} aralığında gözlenen pikte yayvanlaşma olmuştur. Bu yayvanlaşma içerisinde alifatik CH'ları barındırmıştır. Ayrıca 1710.2 cm^{-1} de gözlenen pik C=O gerilmesine, 3000 cm^{-1} altında görülen pikler alifatik -CH gerilme titreşimlerine, 2850 cm^{-1} de görülen pikin de karboksilik aside ait olan -OH gerilmesi olduğu tespit edildi. Dekanoik asitin FT-IR spektrumu incelendiğinde 3000 cm^{-1} altında görülen piklerin alifatik -CH gerilme titreşimlerine, 1715 cm^{-1} de gözlenen pik C=O gerilmesine, 2935.5 cm^{-1} deki pikin karboksilik aside ait olan -OH gerilmesi olduğu tespit edildi. Palmitik asitte olduğu gibi dekanoik asitte de 3028.2-2778.5 cm^{-1} aralığında gözlenen pikte yayvanlaşma olmuştur. Yine bu yayvanlaşma içerisinde alifatik -CH bantlarını barındırmıştır diyebiliriz.

4.1.2. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin DSC Sonuçları

(PA-DA, 4:1) faz değiştiren ötektik karışımının yapı malzemelerindeki gizli ısı enerji depolamasının belirlenip bina yalıtım malzemelerinde kullanımının uygunluğunu anlamak amacıyla karışıma belirli oranlarda barit, boron nitrit, diatomit, silis dumanı gibi yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemeleri katılmıştır. (PA-DA, 4:1) ötektik karışımının % 1'i kadar yalıtım malzemesi kullanılarak farklı karışımlar hazırlandı. Termal özelliklerinin belirlenmesi için homojen olarak elde edilmiş olan PA-DA Barit (PA-DA B), PA-DA Boron nitrit (PA-DA BN), PA-DA Diatomit (PA-DA DiA), PA-DA Silis dumanı (PA-DA SD) karışımlarının DSC eğrileri incelendi (Şekil 4.2. ve Şekil 4.3).



Şekil 4.2. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 4.3. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılanırılmış FDM'lerin erime hal değışimlerine ait DSC eğrileri

Palmitik asit (PA)-Dekanoik asit (DA) (A) karışımının 54.19 °C'de erimeye başladığı 62.25°C' de hal değışimini tamamladığı ve bu hal değışim esnasında 189.0 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı tespit edildi. Aynı karışımın 50.72 °C' de donmaya başladığı 43.72 °C'de donma hal değışimini gerçekleştirdiği ve bu sıcaklık aralığında 178.48 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlendi. DSC analiz sonuçlarına göre Barit katkılanırmasıyla (PA-DA B) (B) 54.34 °C ile 60.40 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 183.22 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 52.70 °C ile 47.78 °C sıcaklıkları arasında donma hal değışimini tamamladığı bu sırada 145.67 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Boron nitrit katkılanırılmasıyla (PA-DA BN) (C) 54.79 °C ile 59.96 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 179.65 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 53.57 °C ile 47.65 °C sıcaklıkları arasında donma hal değışimini tamamladığı bu sırada 161.68 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Diatomit katkılanırılmasıyla (PA-DA DiA) (D) 54.39 °C ile 61.11 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 196.45 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 52.42 °C ile 46.52 °C sıcaklıkları arasında donma hal değışimini tamamladığı bu sırada 150.05 J/g'lık gizli ısı enerji depolama gösterdiği gözlemlenmiştir. Silis dumanı katkılanırılmasıyla (PA-DA SD) (E) 52.94 °C ile 60.16 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 179.55 J/g'lık gizli ısı enerji

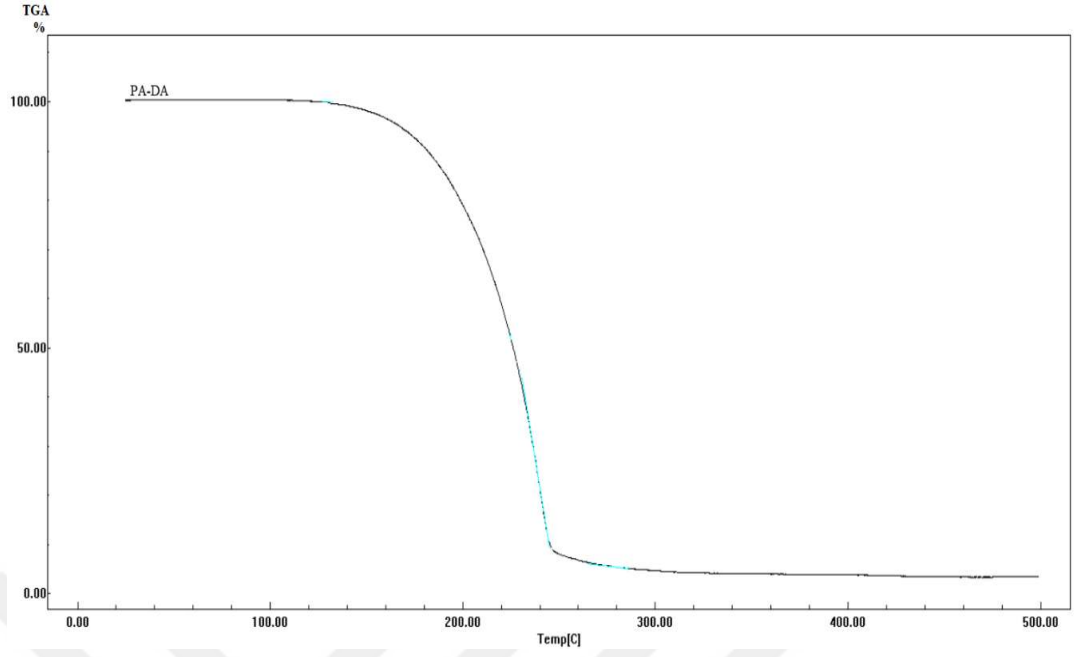
depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 50.84 °C ile 47.04 °C sıcaklıkları arasında donma hal değişimini tamamladığı bu sırada 154.16 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlenmiştir. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lere ait DSC verileri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerine ait DSC verileri

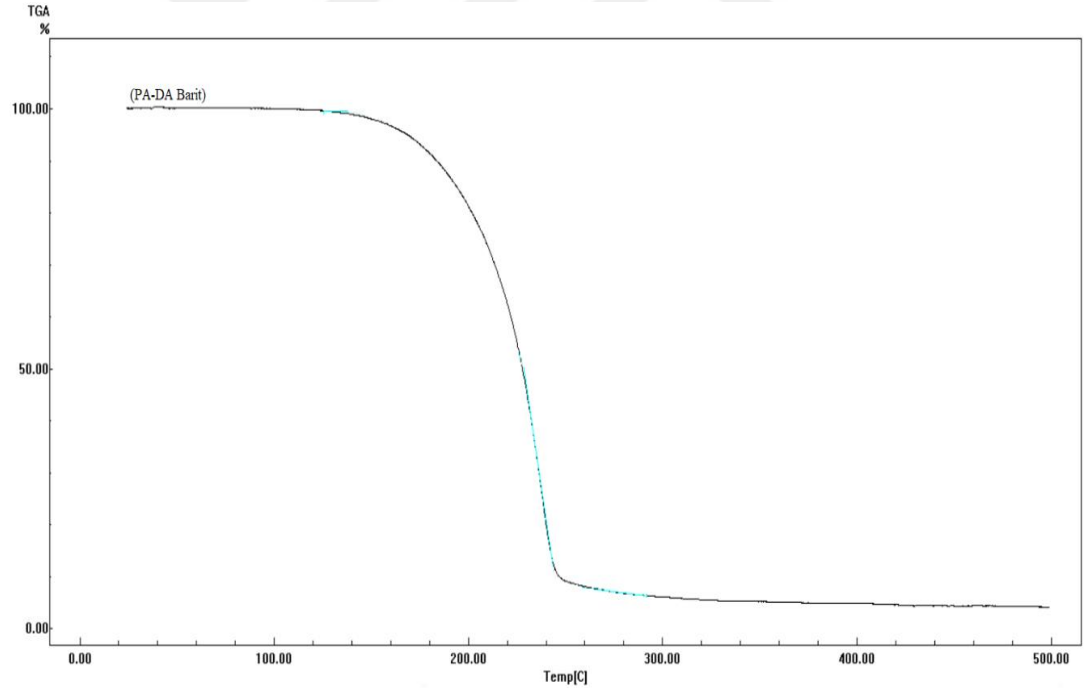
Karışımlar	Erime Entalpisi (J/g)	Donma Entalpisi (J/g)	Erime Noktası (°C)	Donma Noktası (°C)
PA-DA, 4:1	189.0	-178.48	49.44	58.23
PA-DA B	183.22	-145.67	51.71	57.84
PA-DA BN	179.65	-161.68	52.52	56.92
PA-DA DiA	196.45	-150.0	50.52	58.09
PA-DA SD	179.55	-154.16	50.12	57.32

4.1.3. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılандırılmış FDM'lerin TGA Sonuçları

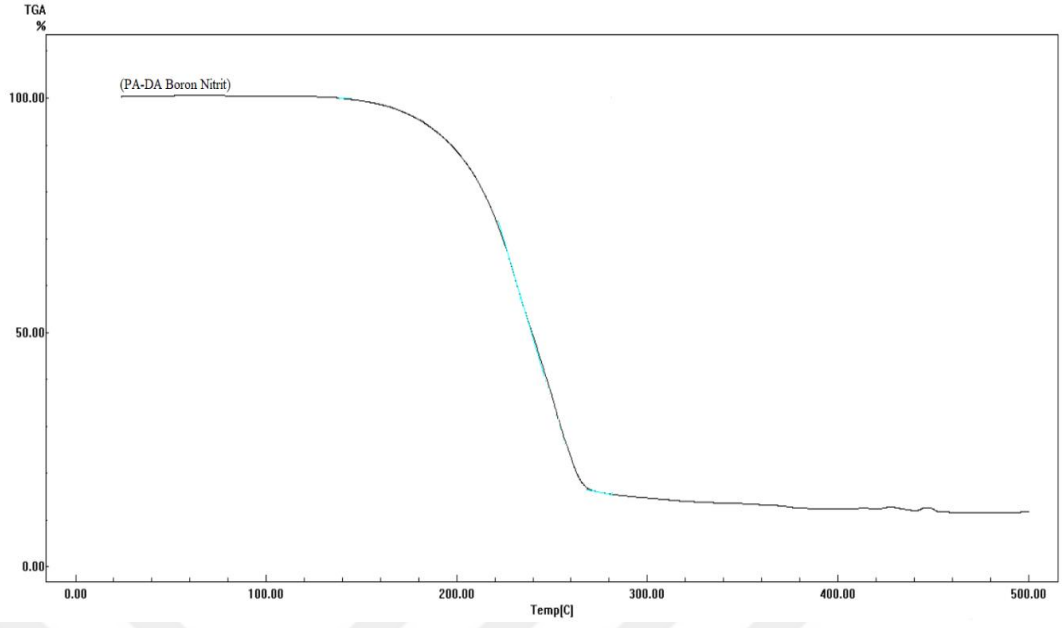
Yapılmış olan termogravimetrik analiz (TGA) sonuçlarında karışım (PA-DA) ve karışımın katkılандırılmış halleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda FDM'lerin tek basamakta bozunmaya uğradığı gözlenmiştir. Karışımın (PA-DA, 4:1) TGA eğrisi incelenirse tek basamakta 207.58 °C' de bozunmaya başladığı ve analiz sonucunda ağırlığının %94.92' sini kaybettiği görülmüştür. (Şekil 4.4.). Belirtilmiş olan sıcaklığa yakın sıcaklıklarda oluşan madde kaybının PA-DA karışımının yanması sonucu meydana geldiği tespit edilmiştir. Katkılандırılmış maddelerden PA-DA B'in 209.18 °C'de bozunmaya başladığı ve ağırlık kaybının %93.43 olduğu (Şekil 4.5.), PA-DA BN'in 202.77 °C'de bozunmaya başladığı ve ağırlık kaybının %84.72 olduğu (Şekil 4.6.), PA-DA DiA'in 230.11 °C'de bozunmaya başladığı ve ağırlık kaybının %97.54 olduğu (Şekil 4.7.), PA-DA SD'nın 223.18 °C'de bozunmaya başladığı ve ağırlık kaybının %87.19 olduğu (Şekil 4.8.) gözlemlendi. Tükenmeden kalmış olan maddelerin termal kararlılığa sahip katkılандırılmış FDM'ler olduğu belirlendi.



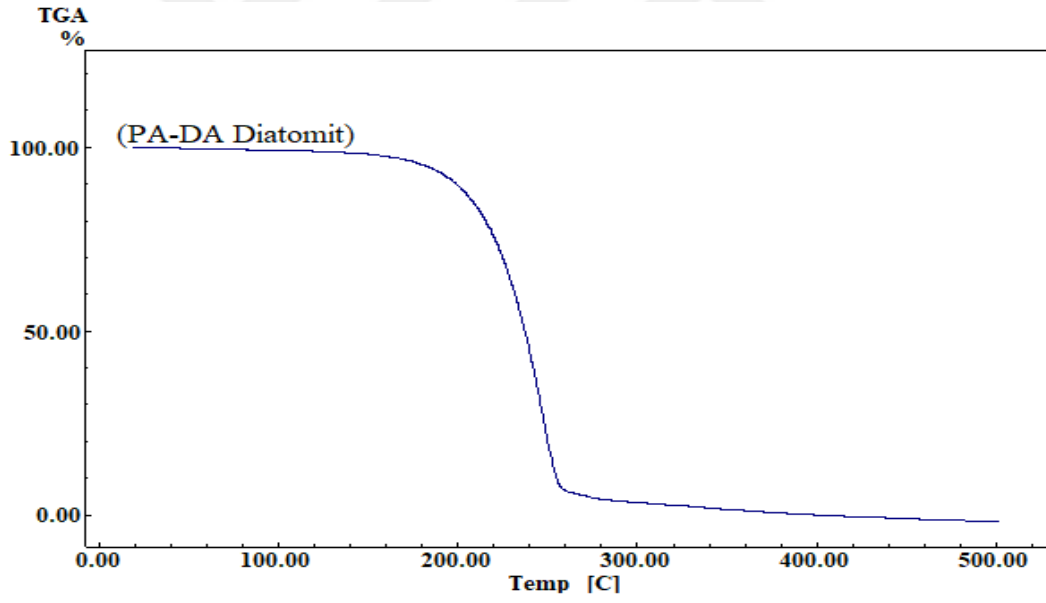
Şekil 4.4. Palmitik asit-Dekanoik asit ötektik karışımının TGA eğrisi



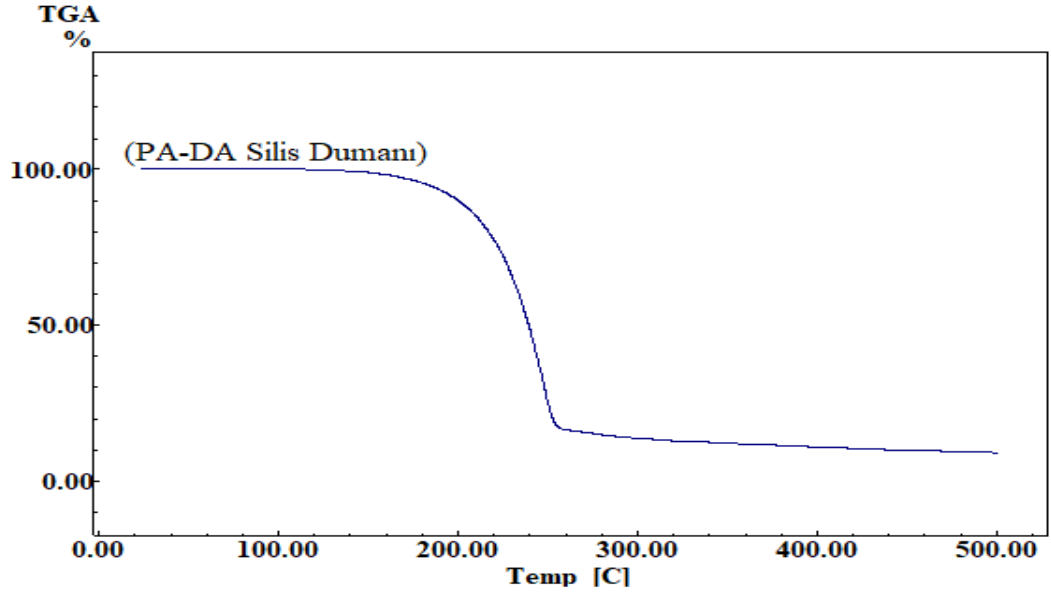
Şekil 4.5. Ötektiği katkılandırılmış (PA-DA Barit) FDM'nin TGA eğrisi



Şekil 4.6. Ötektiği katkılandırılmış (PA-DA Boron Nitrit) FDM'nin TGA eğrisi



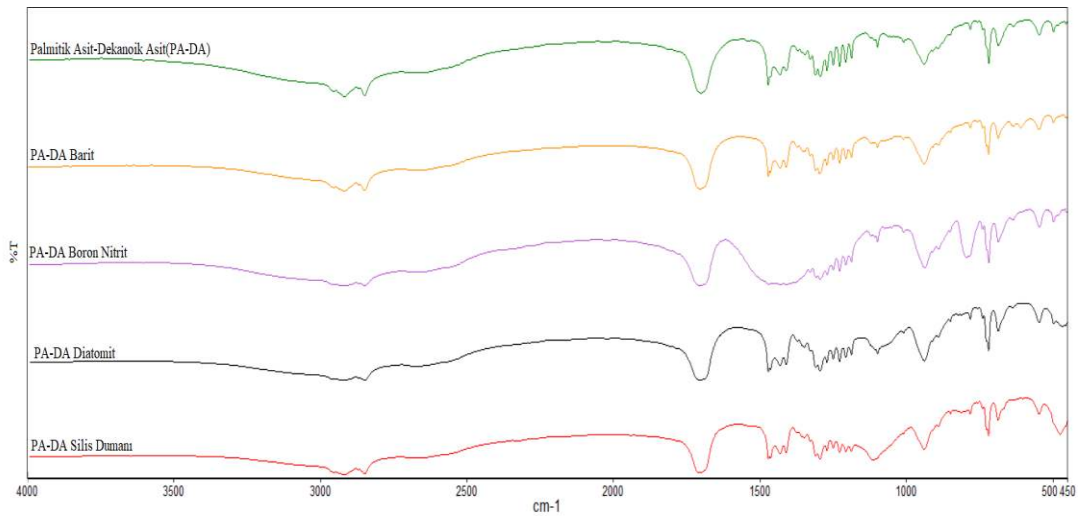
Şekil 4.7. Ötektiği katkılandırılmış (PA-DA Diatomit) FDM'nin TGA eğrisi



Şekil 4.8. Ötektiği katkılanmış (PA-DA Silis Dumanı) FDM'nin TGA eğrisi

4.1.4. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılanmış FDM'lerin FT-IR Sonuçları

FT-IR spektrumlarının incelenmesi sonucunda PA-DA ötektik karışımı ve yalıtım malzemesi katkılanmış FDM'lerin fonksiyonel grup bölgesinde benzer pikler verdiği gözlemlendi. Palmitik asit-dekanoik asit (PA-DA, 4:1) ötektik karışımının spektrumu incelendiğinde 1704.2 cm^{-1} de gözlenen pik C=O gerilmesine, 3000 cm^{-1} altında görülen pikler alifatik -CH gerilme titreşimlerine, 2845.4 cm^{-1} de görülen pikin de karboksilik aside ait olan -OH gerilmesi olduğu tespit edildi. Elde edilen FT-IR sonuçlarına göre katkılanmış FDM'lerin PA-DA karışımının kimyasal yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmadığı ve piklerin benzer bölgelerde çıktığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.9.).

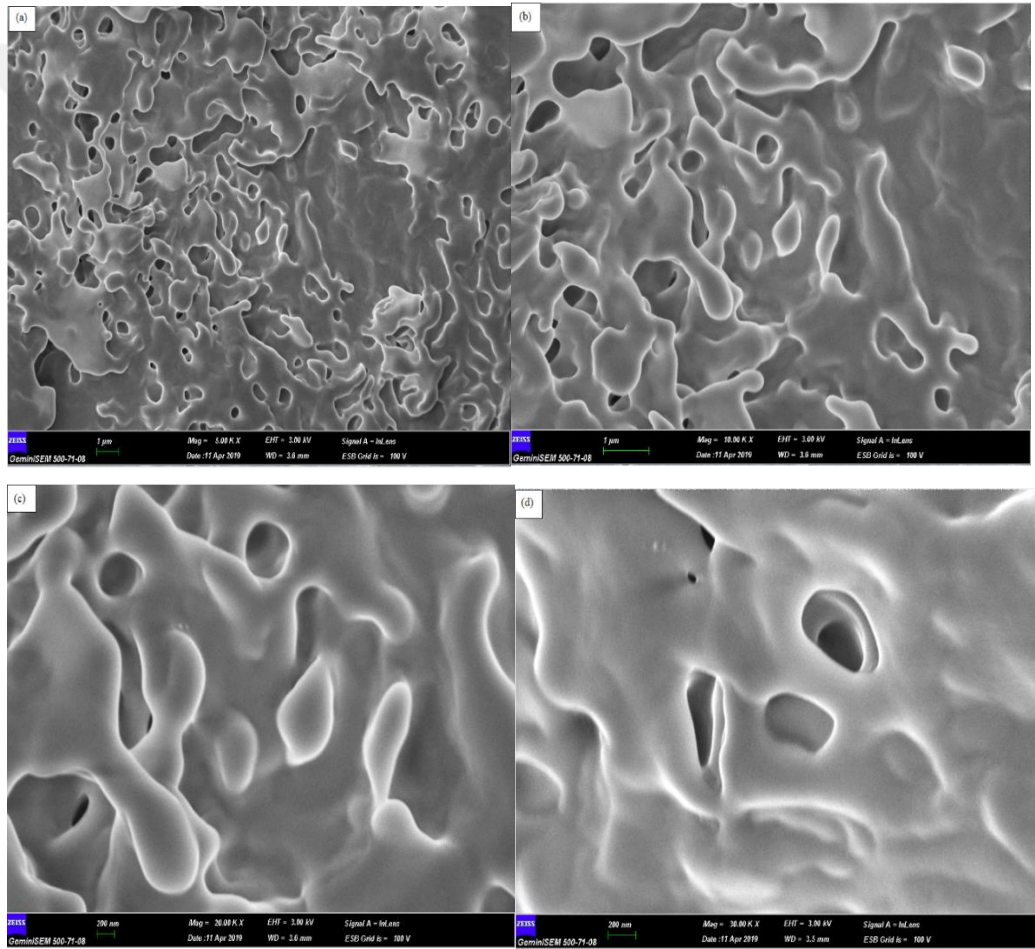


Şekil 4.9. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılanmış FDM'lerin FT-IR Spektrumları

4.1.5. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin SEM Sonuçları

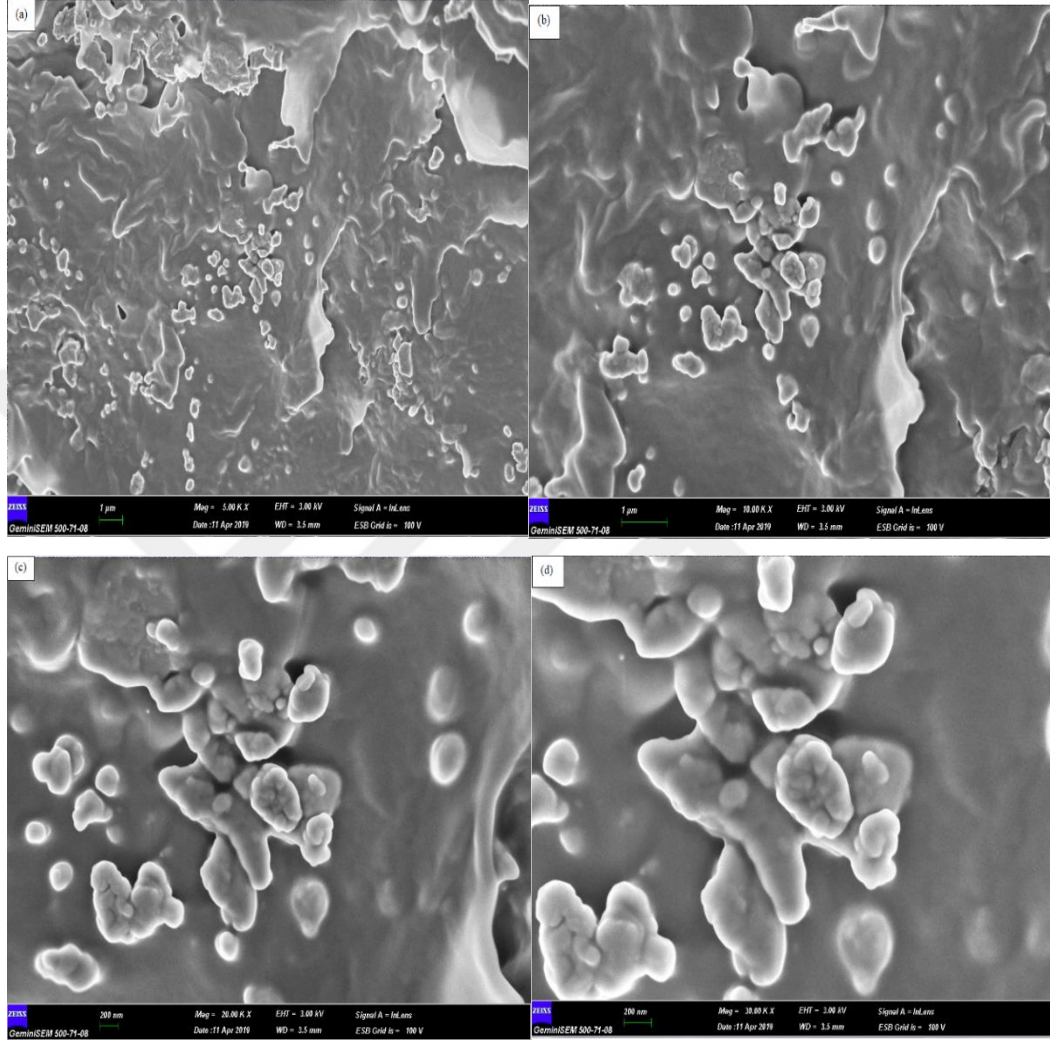
Palmitik asit-Dekanoik asit (PA-DA), Barit (PA-DA B), boron nitrit (PA-DA BN), diatomit (PA-DA DiA) ve silis dumanı (PA-DA SD) FDM'lerinin SEM analizleri oda sıcaklığında alınmıştır. PA-DA karışımı düşük erime sıcaklığına sahip olduğundan SEM analizlerinde erime göstermektedir. SEM görüntüleri bu yüzden farklı büyütmelerde alınmıştır.

PA-DA, 4:1 ötektik karışımının SEM görüntüsü (Şekil 4.10.) incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde boşlukların oluştuğu gözlenmiştir. Genel olarak bu yapıda, homojen bir yapının oluşmadığı tespit edilmiştir.



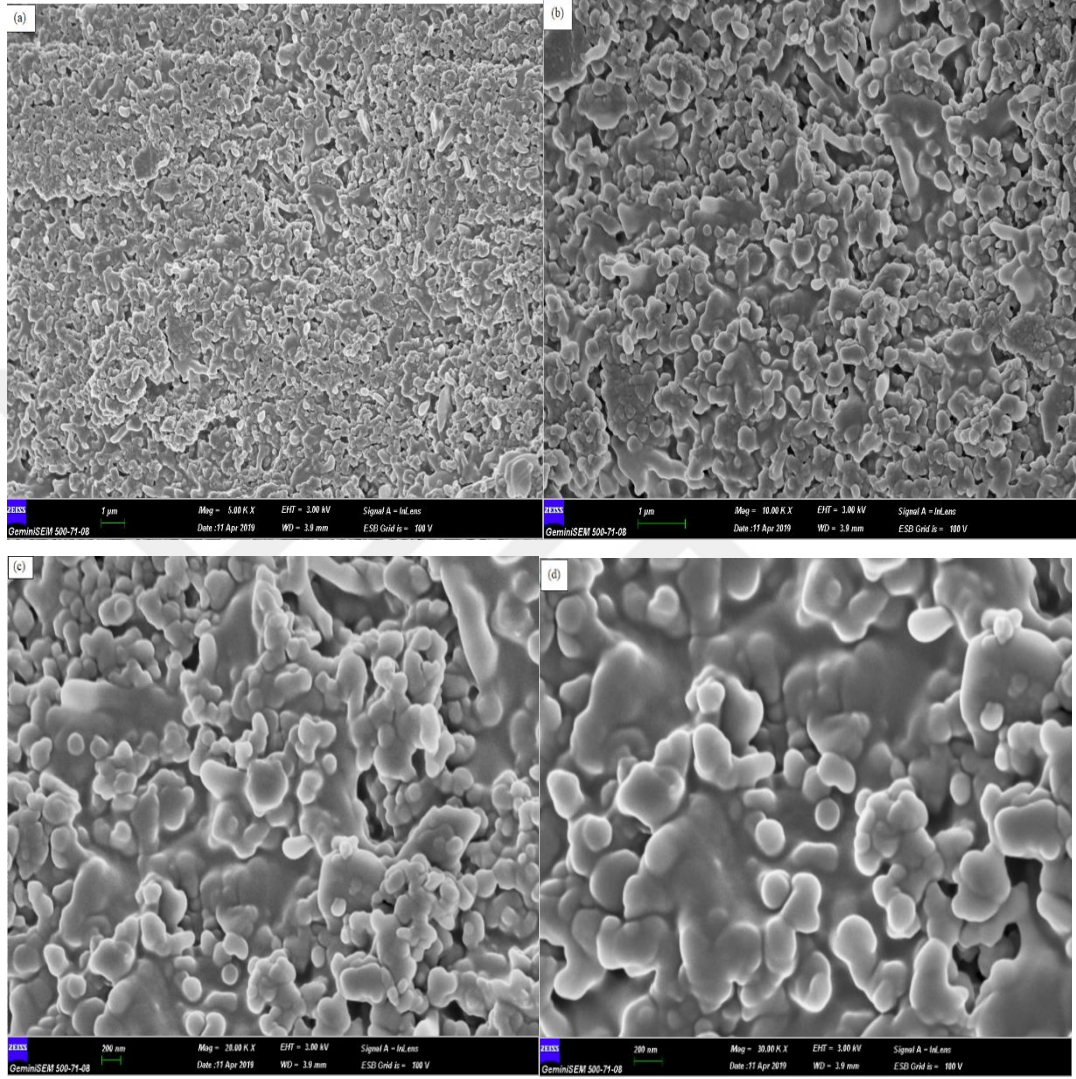
Şekil 4.10. PA-DA ötektik karışımı SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

PA-DA B numunesinin SEM görüntüsü (Şekil 4.11.) incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde granül yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Genel olarak bu yapıda, taneciklerin homojen bir dağılım göstermediği tespit edilmiştir.



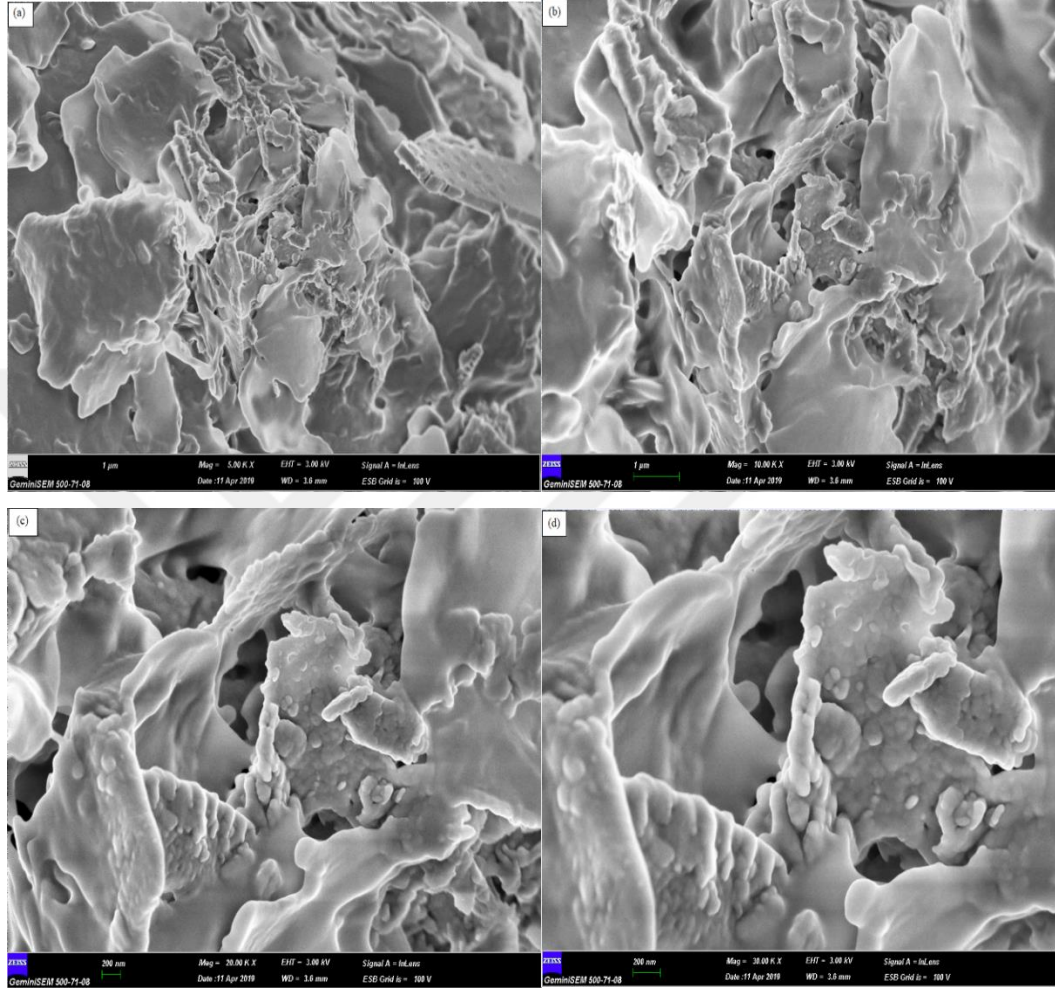
Şekil 4.11. PA-DA B numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

PA-DA BN numunesinin SEM görüntüsü (Şekil 4.12.) incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde granül yapıların daha belirgin olduğu olduğu gözlenmiştir. Bu yapıda, tanecik boyutunun küçüldüğü ve birim alana düşen granül sayısının arttığı tespit edilmiştir.



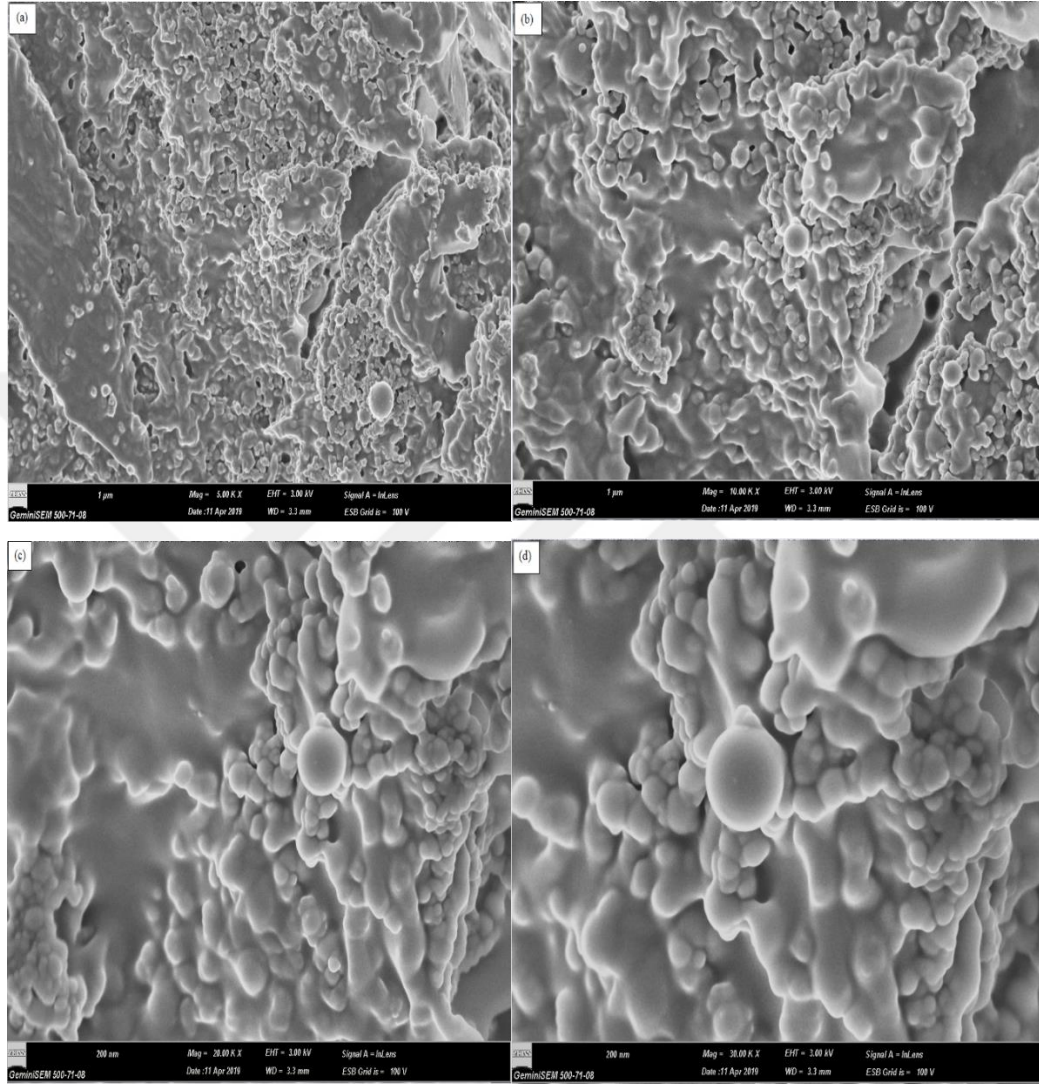
Şekil 4.12. PA-DA BN numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

PA-DA DiA numunesinin SEM görüntüsü (Şekil 4.13.) incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde granül yapılardan ziyade düzlemsel yapıların olduğu gözlenmiştir. Bu yapıda, yüzeydeki girinti ve çıkıntıların belirgin hale geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. PA-DA DiA numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

PA-DA SD numunesinin SEM görüntüsü (Şekil 4.14.) incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde oval granül yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca bazı bölgelerde boşlukların ve düzlemsel yapıların oluştuğu görülmüştür.

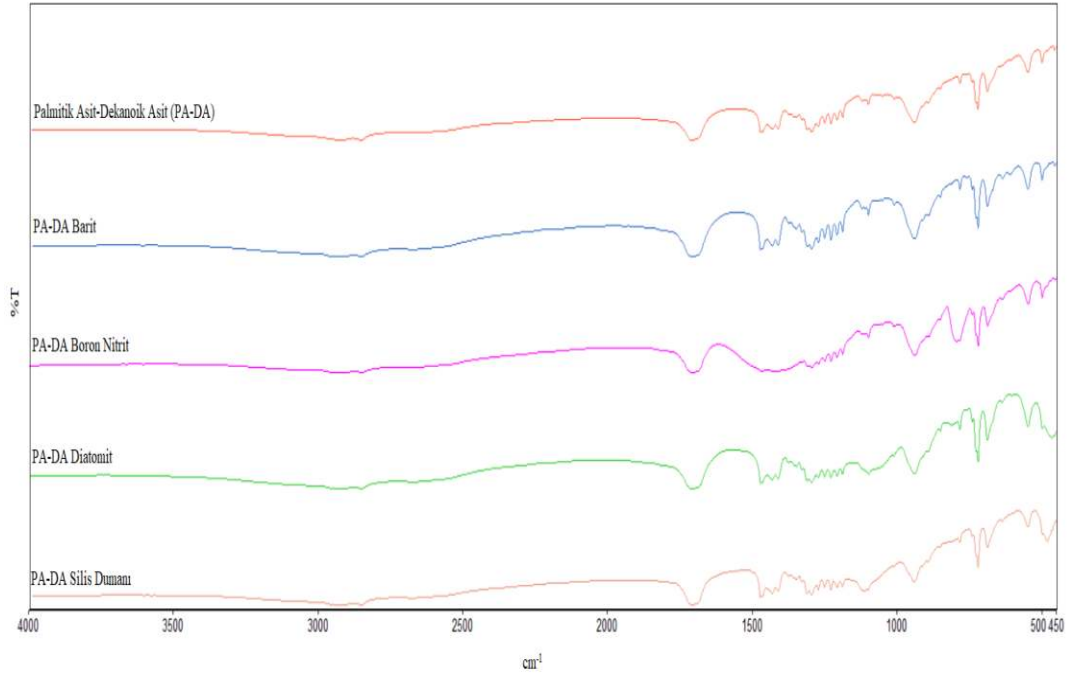


Şekil 4.14. PA-DA SD numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

4.1.6. PA-DA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin Termal Çevrim Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi

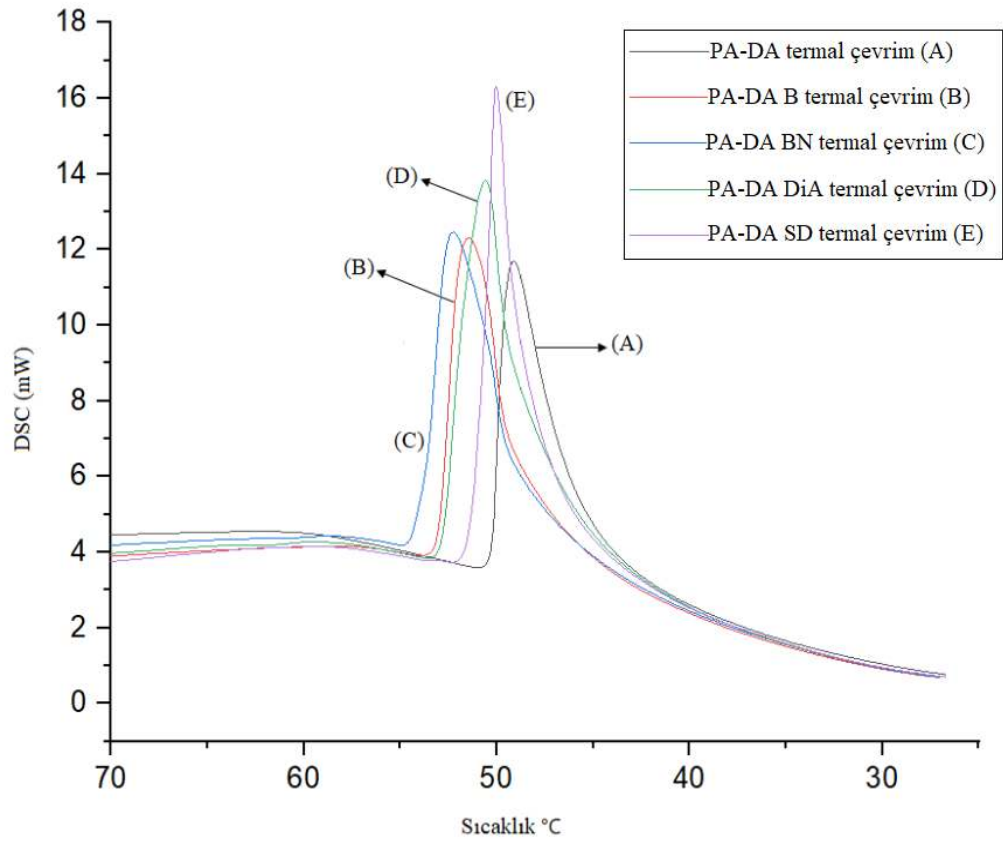
Ötektikleri katkılandırılmış FDM özelliğine sahip olan bu karışımların kullanım ömürlerinin belirlenmesi için 0 °C ile 100 °C aralığında 1000 termal çevrime tabi tutuldu. Bu karışımların termal çevrim sonrasında termal ve yapısal özellikleri tekrar incelendi.

Maddeler 0 °C ile 100 °C aralığında 1000 termal çevrime tabi tutulduktan sonra FT-IR spektrumları incelendi ve ana karışım olan PA-DA, 4:1 ötektik karışımını oluşturan palmitik asit ve dekanoik asitin 1717.1 cm^{-1} de gözlenen pik C=O gerilmesine, 3000 cm^{-1} altında görülen pikler alifatik -CH gerilme titreşimlerine, 2921 cm^{-1} de görülen pikin de karboksilik aside ait olan -OH gerilmesi olduğu görüldü. FT-IR fonksiyonel grup bölgesindeki piklerde değişimin olmadığı gözlemlendi. Bu sonuçlara dayanarak yalıtım malzemesi katkılandırılmış olan FDM özelliğine sahip olan bu karışımlarda termal döngü boyunca kimyasal olarak herhangi bir değişimin olmadığı, benzer piklerin benzer dalga boylarında verildiği, yapısal ve kimyasal olarak kararlılık gösterdiği tespit edildi (Şekil 4.15.).

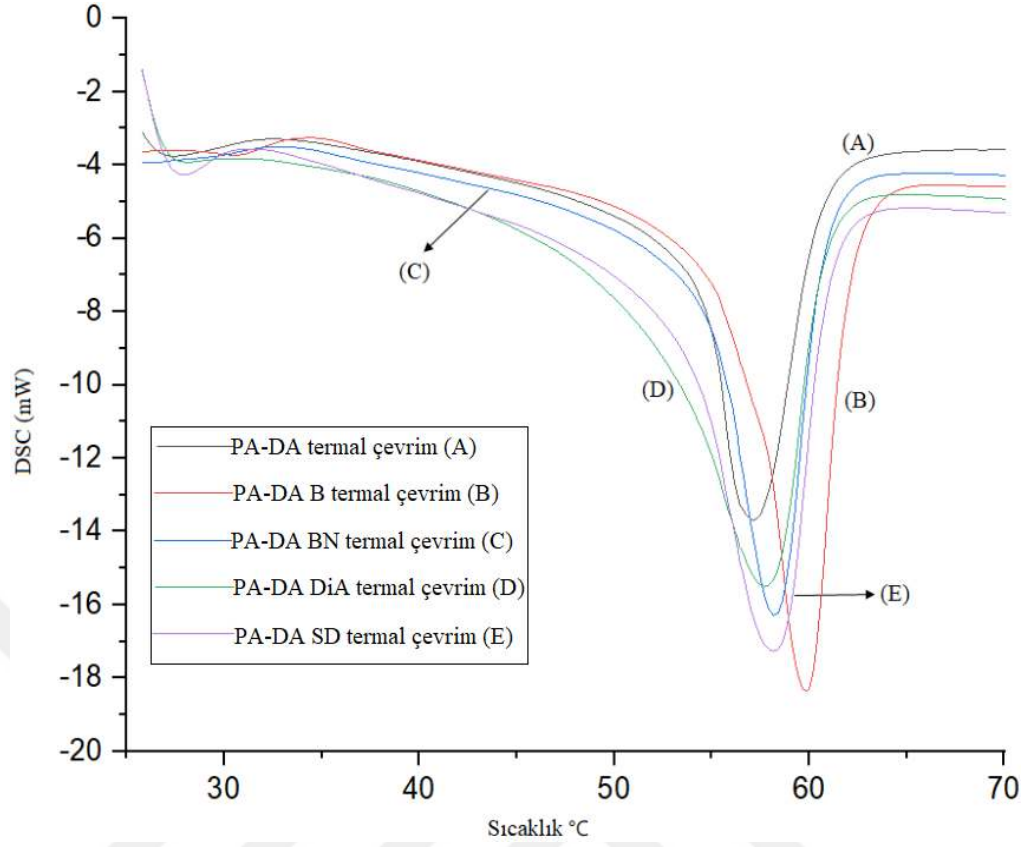


Şekil 4.15. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası FT-IR spektrumları

Termal çevrimden önce ve sonra karışımların DSC eğrilerinden (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17.) elde edilen sayısal veriler Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.'de karşılaştırmalı şekilde verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde değerlerin birbirine yakın olduğu yani düzenli erime ve donma meydana geldiği anlaşılmıştır. Ayrıca gizli ısı depolama kapasitelerinde genellikle artış gözlemlendi. Bununla birlikte sıcaklıklarda karşılaştırma yapılacak olursa erimeye başlama sıcaklığı, erimenin bittiği sıcaklık, donmaya başlama sıcaklığı, donmanın bittiği sıcaklık, erime ve donma noktaları arasında 0 °C ile 5 °C sıcaklık artması ya da azalması gözlemlendi.



Şekil 4.16. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 4.17. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri

Tablo 4.2. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası donma hal değişimlerine ait DSC verileri

Karışımlar	Donmaya başladığı sıcaklık (°C)	Donmayı sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Donma Noktası (°C)	Donma Entalpisi (J/g)
PA-DA, 4:1	50.72	43.72	58.23	-178.48
PA-DA, 4:1 termal çevrim	50.34	46.33	49.09	-146.76
PA-DA B	52.70	47.78	57.84	-145.67
PA-DA B termal çevrim	52.57	47.24	51.43	-165.92
PA-DA BN	53.57	47.65	56.92	-161.68
PA-DA BN termal çevrim	53.75	47.49	52.33	-139.47
PA-DA DiA	52.42	46.52	58.09	-150.0
PA-DA DiA termal çevrim	52.78	47.21	51.08	-157.77
PA-DA SD	50.84	47.04	57.32	-154.16
PA-DA SD termal çevrim	51.34	47.67	50.61	-146.88

Tablo 4.3. PA-DA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerin termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası erime hal değişimlerine ait DSC verileri

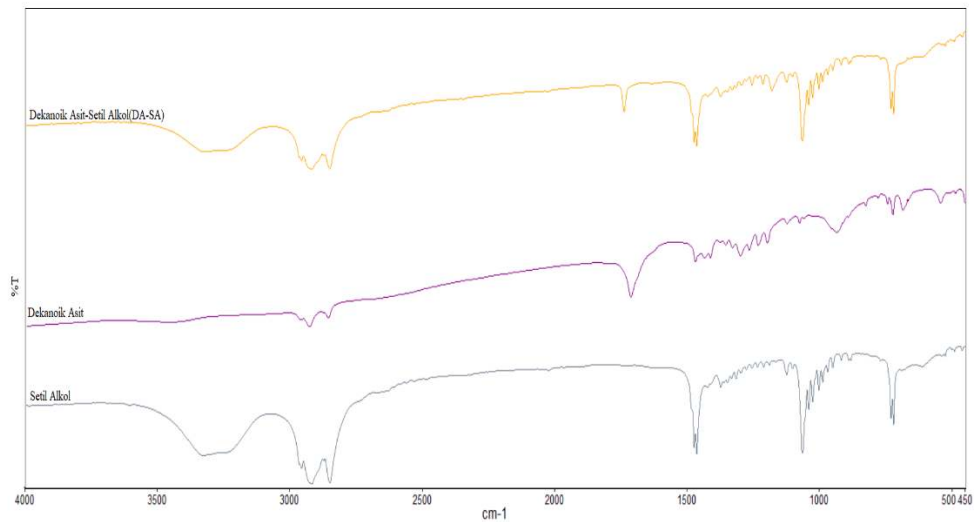
Karışımlar	Erimeye başladığı sıcaklık (°C)	Erimeyi sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Erime Noktası (°C)	Erime Entalpisi (J/g)
PA-DA, 4:1	54.19	62.25	58.23	189.0
PA-DA, 4:1 termal çevrim	56.62	61.23	57.12	220.82
PA-DA B	54.34	60.40	57.84	183.22
PA-DA B termal çevrim	56.62	61.23	58.25	224.37
PA-DA BN	54.79	59.96	56.92	179.65
PA-DA BN termal çevrim	54.29	59.98	57.22	189.64
PA-DA DiA	54.39	61.11	58.09	196.45
PA-DA DiA termal çevrim	49.59	60.62	57.55	209.57
PA-DA SD	52.94	60.16	57.32	179.55
PA-DA SD termal çevrim	52.41	60.77	57.69	224.78

4.2. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılандırılmış FDM'lere Ait Veriler

Dekanoik asit-Setil alkol (1:4) ötektik karışımının ve ötektikleri katkılандırılmış olan FDM'lerin FT-IR, DSC, TGA ve SEM analizleri yapıldı.

4.2.1. DA-SA Ötektik Karışımının FT-IR Sonuçları

Karışımın oluştuğu sırada karışımı oluşturan maddelerin herhangi bir kimyasal değişime uğrayıp uğramadığını ve karışımın sadece fiziksel etkileşimle olduğunu anlamak için dekanoyik asit, setil alkol saf halleri ve dekanoyik asit-setil alkol (DA-SA, 1:4) ötektik karışımının FT-IR spektrumları incelendi (Şekil 4.18).

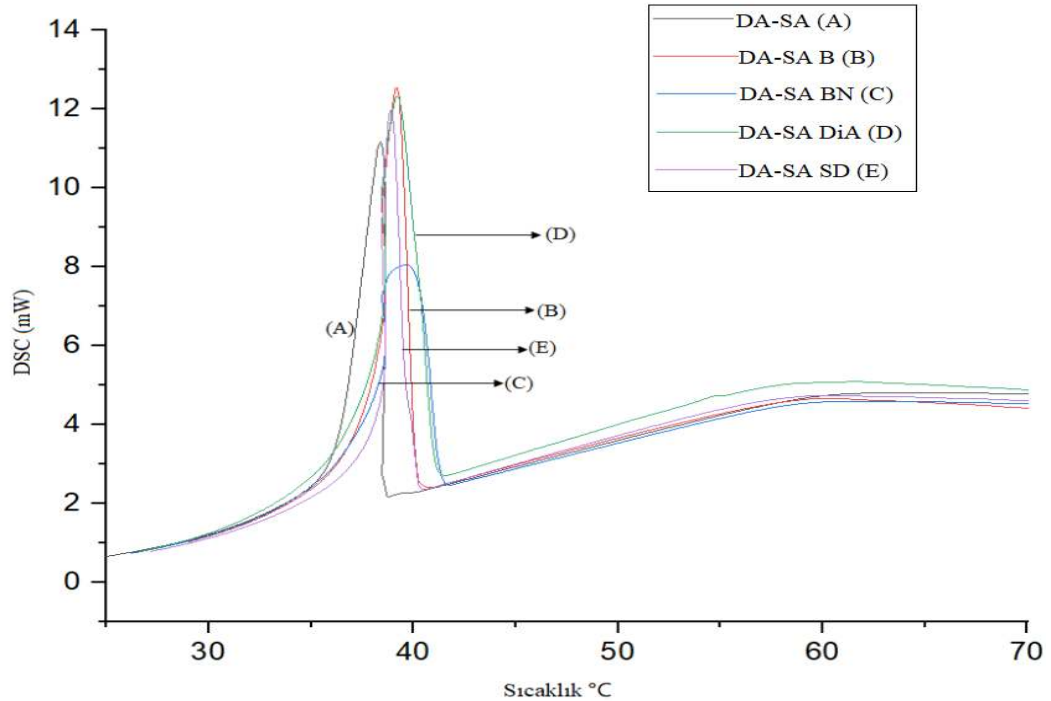


Şekil 4.18. Dekanoik Asit, Setil Alkol ve Dekanoik Asit-Setil Alkol ötektik karışımının FT-IR spektrumları

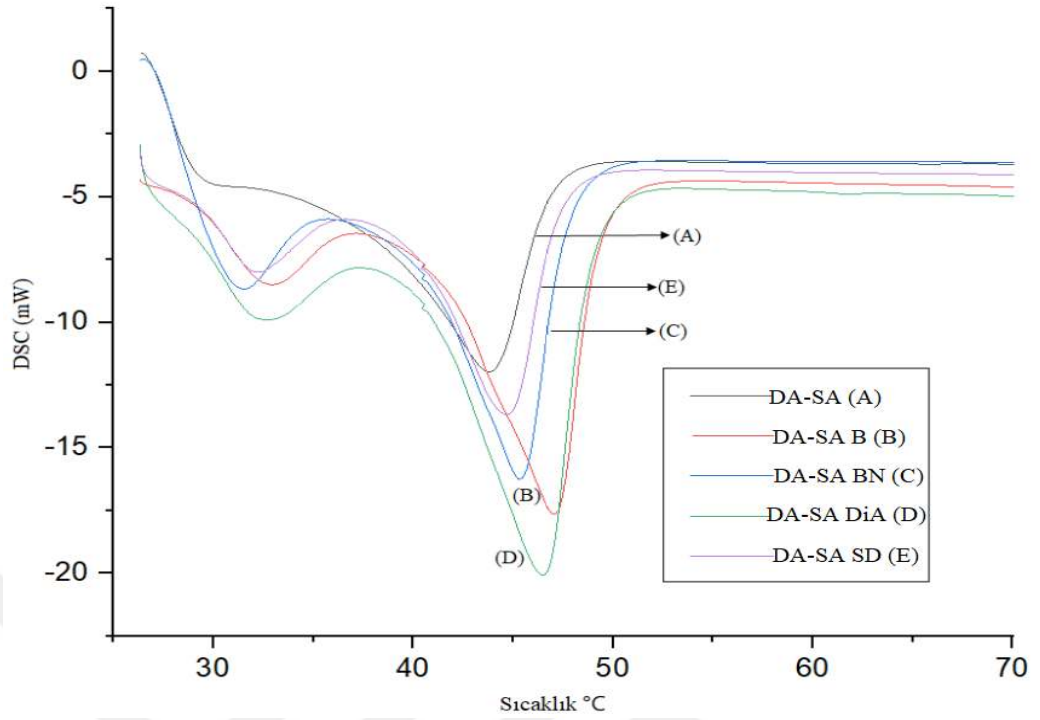
Dekanoik asit-setil alkol ötektik karışımının spektrumu incelendiğinde 1706.8 cm^{-1} de gözlenen pik dekanoyik asitin $\text{C}=\text{O}$ gerilmesine, 3000 cm^{-1} altında görülen alifatik $-\text{CH}$ gerilme titreşimlerine, 3287.2 cm^{-1} de gözlenen pik alkole ait olan $-\text{OH}$ piki, 2908.4 cm^{-1} de görülen pikin de karboksilik asite ait olan $-\text{OH}$ gerilmesi olduğu tespit edildi. Dekanoik asitin FT-IR spektrumu incelendiğinde 3000 cm^{-1} altında görülen piklerin alifatik $-\text{CH}$ gerilme titreşimlerine, 1715 cm^{-1} de gözlenen pik $\text{C}=\text{O}$ gerilmesine, 2935.5 cm^{-1} deki pikin karboksilik asite ait olan $-\text{OH}$ gerilmesi olduğu tespit edildi. Setil alkol spektrumu incelendiğinde ise $3432.4\text{--}3133.7\text{ cm}^{-1}$ de gözlenen geniş yayvan pik $-\text{OH}$ gerilme titreşimine aittir. $2971.6\text{--}2814.5\text{ cm}^{-1}$ de çıkan üçlü pikler alifatik $-\text{CH}$ gruplarına aittir. 1465.6 cm^{-1} de çıkan pikler de yapıda bulunan $-\text{OH}$ eğilme titreşimleridir [52].

4.2.2. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin DSC Sonuçları

(DA-SA, 1:4) faz değiştiren ötektik karışımının yapı malzemelerindeki gizli ısı enerjisi depolamasının belirlenip bina yalıtım malzemelerinde kullanımının uygunluğunu anlamak amacıyla karışıma belirli oranlarda barit, boron nitrit, diatomit, silis dumanı gibi yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemeleri katılmıştır. DA-SA, 1:4 ötektik karışımının % 1'i kadar yalıtım malzemesi kullanılarak farklı karışımlar hazırlandı. Termal özelliklerinin belirlenmesi için homojen olarak elde edilmiş olan DA-SA Barit, DA-SA Boron nitrit, DA-SA Diatomit, DA-SA Silis dumanı karışımlarının DSC eğrileri incelendi (Şekil 4.19. ve Şekil 4.20.).



Şekil 4.19. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 4.20. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılanmış FDM'lerin erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri

Dekanoik asit(DA)-Setil alkol (SA) (A) karışımının 38.84 °C' de erimeye başladığı 46.54 °C'de hal değişimini tamamladığı ve bu hal değişim esnasında 174.71 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı tespit edildi. Aynı karışımın 38.47 °C'de donmaya başladığı 36.48 °C'de donma hal değişimini gerçekleştirdiği ve bu sıcaklık aralığında 167.48 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlendi. DSC analiz sonuçlarına göre Barit katkılanmasıyla (DA-SA B) (B) 45.30 °C ile 48.49 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 257.96 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 39.52 °C ile 36.27 °C sıcaklıkları arasında donma hal değişimini tamamladığı bu sırada 179.53 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Boron nitrit katkılanmasıyla (DA-SA BN) (C) 26.72 °C ile 48.39 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 291.19 J/g'lık gizli ısı enerji depolama gösterdiği gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 40.68 °C ile 36.07 °C sıcaklıkları arasında donma hal değişimini tamamladığı bu sırada 161.14 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir [52]. Diatomit katkılanmasıyla (DA-SA DiA) (D) 47.08 °C ile 48.21 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 246.79 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 40.06 °C ile 35.97 °C sıcaklıkları arasında donma hal değişimini tamamladığı bu sırada 192.79 J/g'lık gizli ısı enerji depolama gösterdiği gözlemlenmiştir. Silis dumanı katkılanmasıyla (DA-SA SD) (E) 25.00 °C ile 46.92 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 382.42 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 38.57 °C ile 36.26 °C

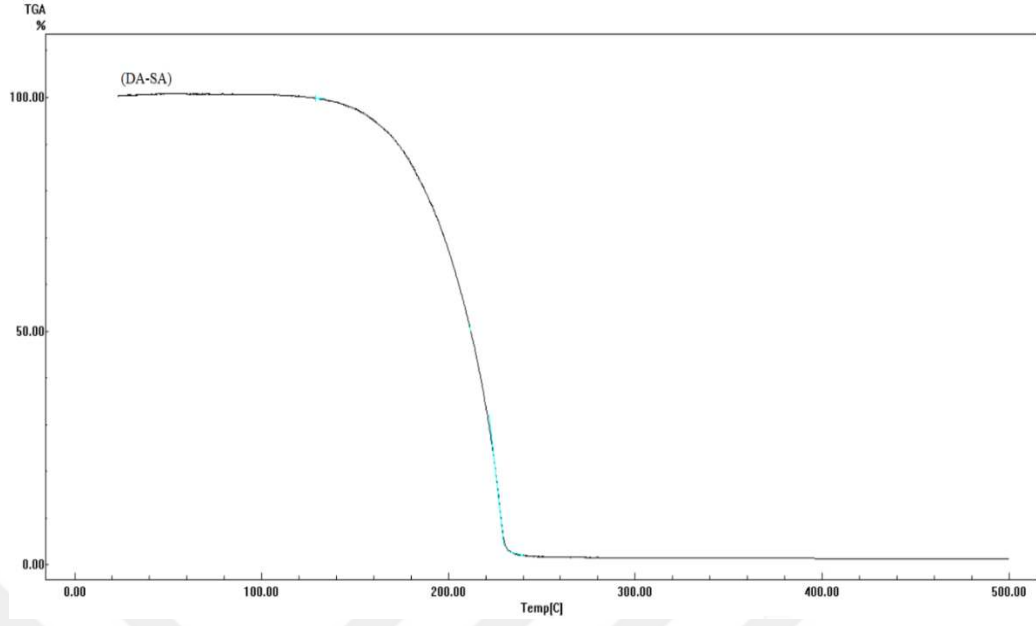
sıcaklıkları arasında donma hal değişimini tamamladığı bu sırada 161.81 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlenmiştir. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerine ait DSC verileri Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılандırılmış FDM'lerine ait DSC verileri

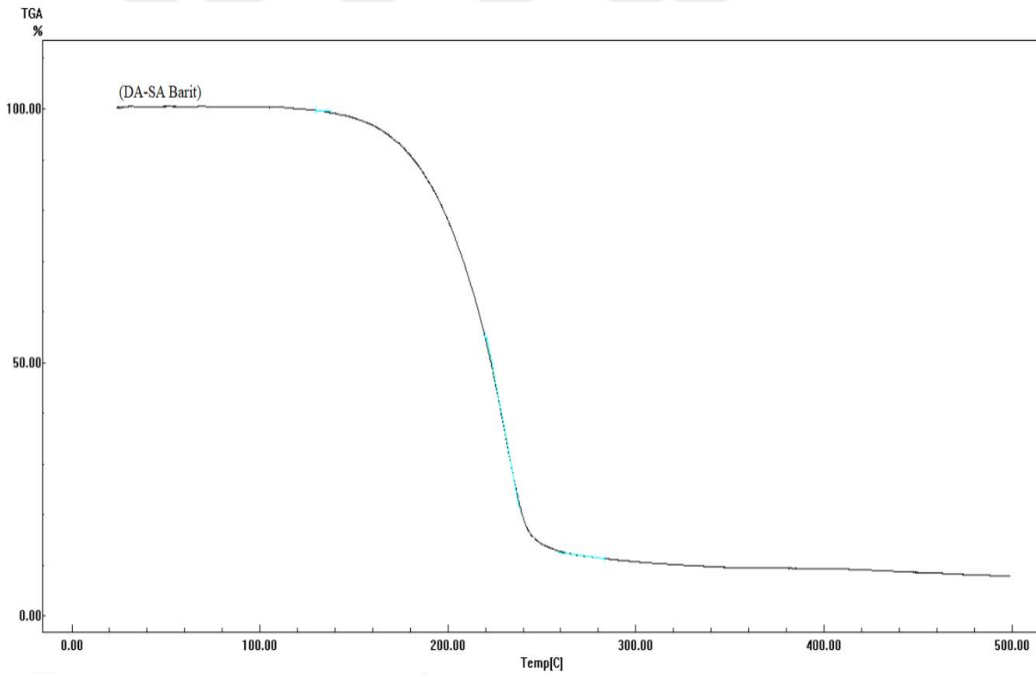
Karışımlar	Erime Entalpisi J/g	Donma Entalpisi J/g	Erime Noktası °C	Donma Noktası °C
DA-SA, 1:4	174.71	-167.48	43.78	38.40
DA-SA B	257.96	-179.53	45.45	39.34
DA-SA BN	291.19	-161.14	45.26	39.45
DA-SA DiA	246.79	-192.79	44.95	38.93
DA-SA SD	382.42	-161.81	44.20	38.25

4.2.3. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılандırılmış FDM'lerin TGA Sonuçları

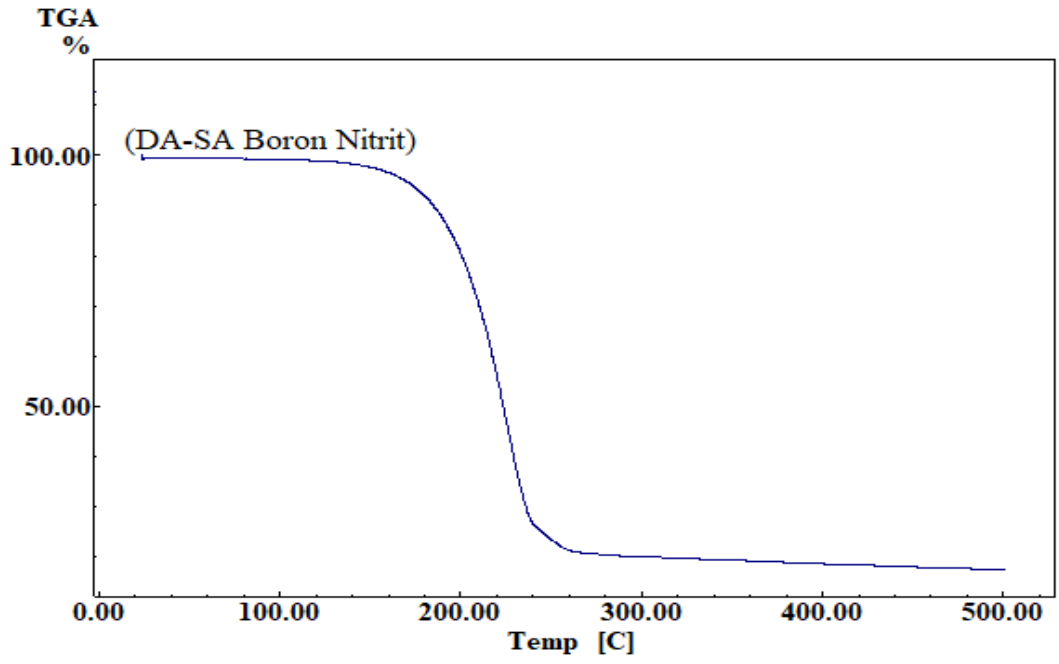
Yapılmış olan termogravimetrik analiz (TGA) sonuçlarında ötektik karışım (DA-SA, 1:4) ve karışımın katkılандırılmış halleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda FDM'lerin tek basamakta bozunmaya uğradığı gözlenmiştir. Karışımın (DA-SA, 1:4) TGA eğrisi incelenirse tek basamakta 203.12 °C'de bozunmaya başladığı ve analiz sonucunda ağırlığının %97.95'ini kaybettiği görüldü (Şekil 4.21.). Belirtilmiş olan sıcaklığa yakın sıcaklıklarda oluşan madde kaybının DA-SA karışımının yanması sonucu meydana geldiği tespit edilmiştir. Katkılандırılmış maddelerden DA-SA B'in 197.70 °C'de bozunmaya başladığı ve ağırlık kaybının %88.44 olduğu (Şekil 4.22.), DA-SA BN'in 220.73 °C'de bozunmaya başladığı ve ağırlık kaybının %79.34 olduğu (Şekil 4.23.), DA-SA DiA'in 195.36 °C'de bozunmaya başladığı ve ağırlık kaybının %88.59 olduğu (Şekil 4.24.), DA-SA SD'nin 190.23 °C'de bozunmaya başladığı ve ağırlık kaybının %85.03 olduğu (Şekil 4.25.) gözlemlendi. Tükenmeden kalmış olan maddelerin termal kararlılığa sahip katkılандırılmış FDM'ler olduğu belirlendi.



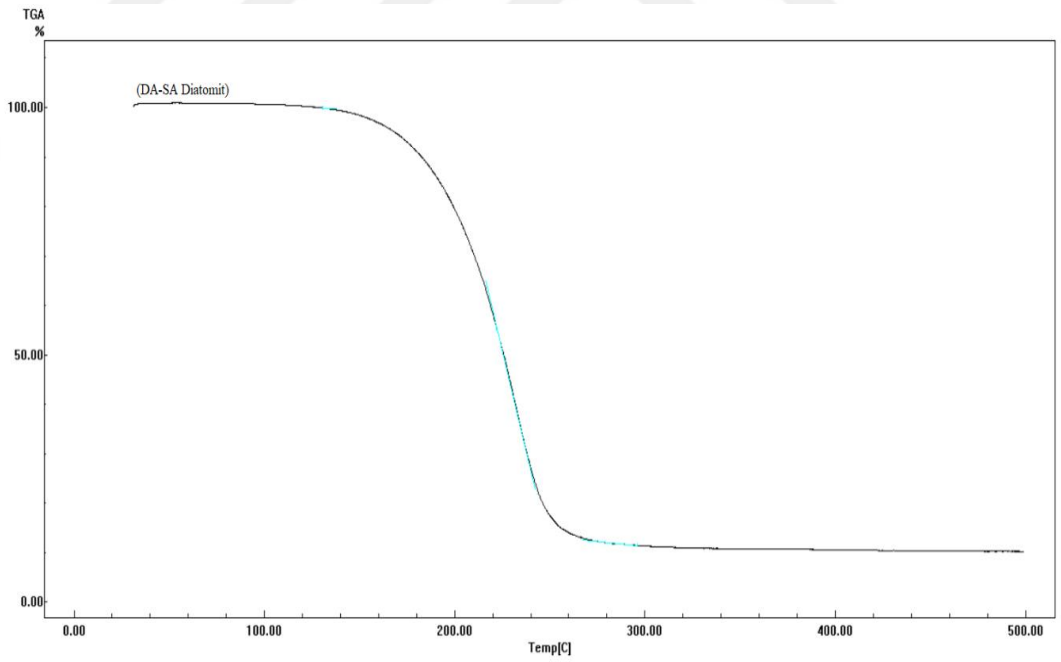
Şekil 4.21. Dekanoik asit-Setil alkol ötektik karışımının TGA eğrisi



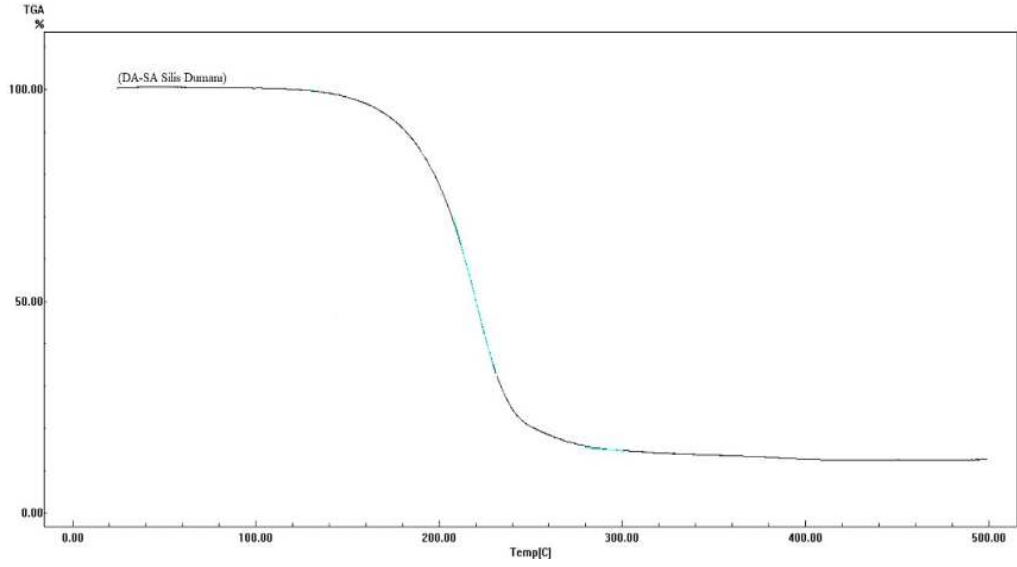
Şekil 4.22. Ötektiği katkılандırılmış (DA-SA Barit) FDM'nin TGA eğrisi



Şekil 4.23. Ötektiği katkılandırılmış (DA-SA Boron Nitrit) FDM'nin TGA eğrisi



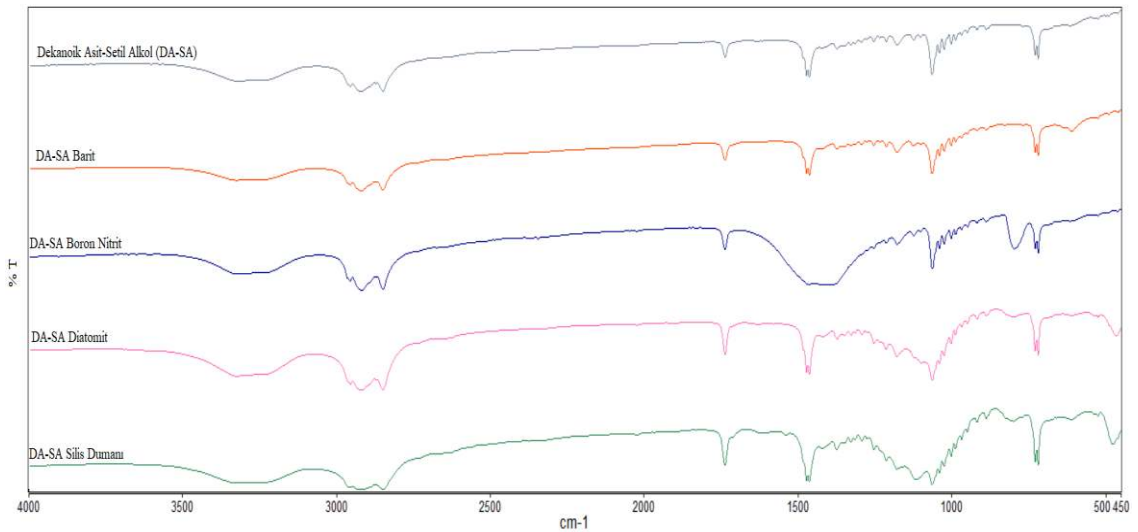
Şekil 4.24. Ötektiği katkılandırılmış (DA-SA Diatomit) FDM'nin TGA eğrisi



Şekil 4.25. Ötektiği katkılanırılmış (DA-SA Silis Dumanı) FDM'nin TGA eğrisi

4.2.4. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılanırılmış FDM'lerin FT-IR Sonuçları

FT-IR spektrumlarının incelenmesi sonucunda (DA-SA, 1:4) ötektik karışımı ve yalıtım malzemesi katkılanırılmış FDM'lerin fonksiyonel grup bölgesinde benzer pikler verdiği gözlemlendi. Dekanoik asit-setil alkol ötektik karışımının spektrumu incelendiğinde 1706.8 cm^{-1} de gözlenen pik dekanok asitin C=O gerilmesine, 3000 cm^{-1} altında görülen pikler alifatik -CH gerilme titreşimlerine, 3287.2 cm^{-1} de gözlenen pik alkole ait olan -OH piki, 2908.4 cm^{-1} de görülen pikin de karboksilik asite ait olan -OH gerilmesi olduğu tespit edildi. Elde edilen FT-IR sonuçlarına göre katkılanırılmış FDM'lerin DA-SA karışımının kimyasal yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmadığı ve piklerin benzer bölgelerde çıktığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.26.).

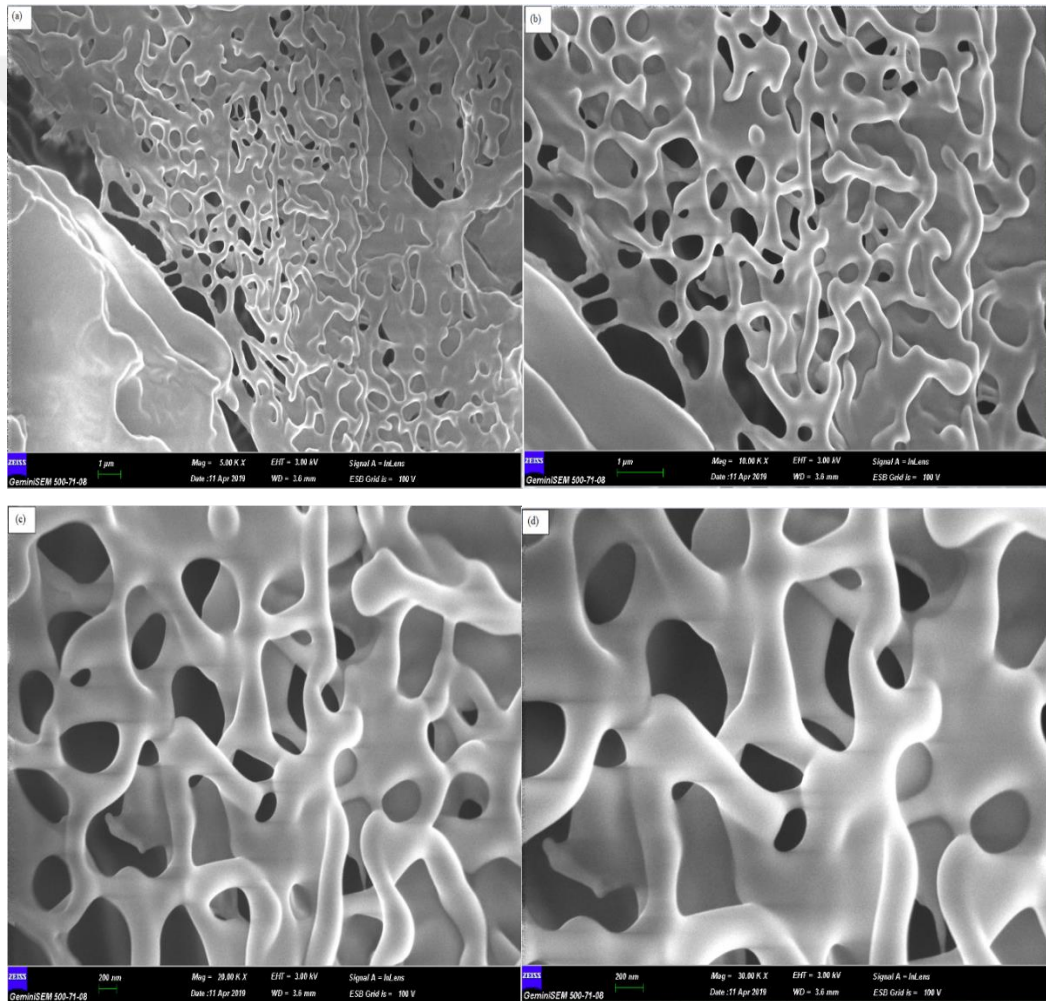


Şekil 4.26. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılanırılmış FDM'lerin FT-IR Spektrumları

4.2.5. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin SEM Sonuçları

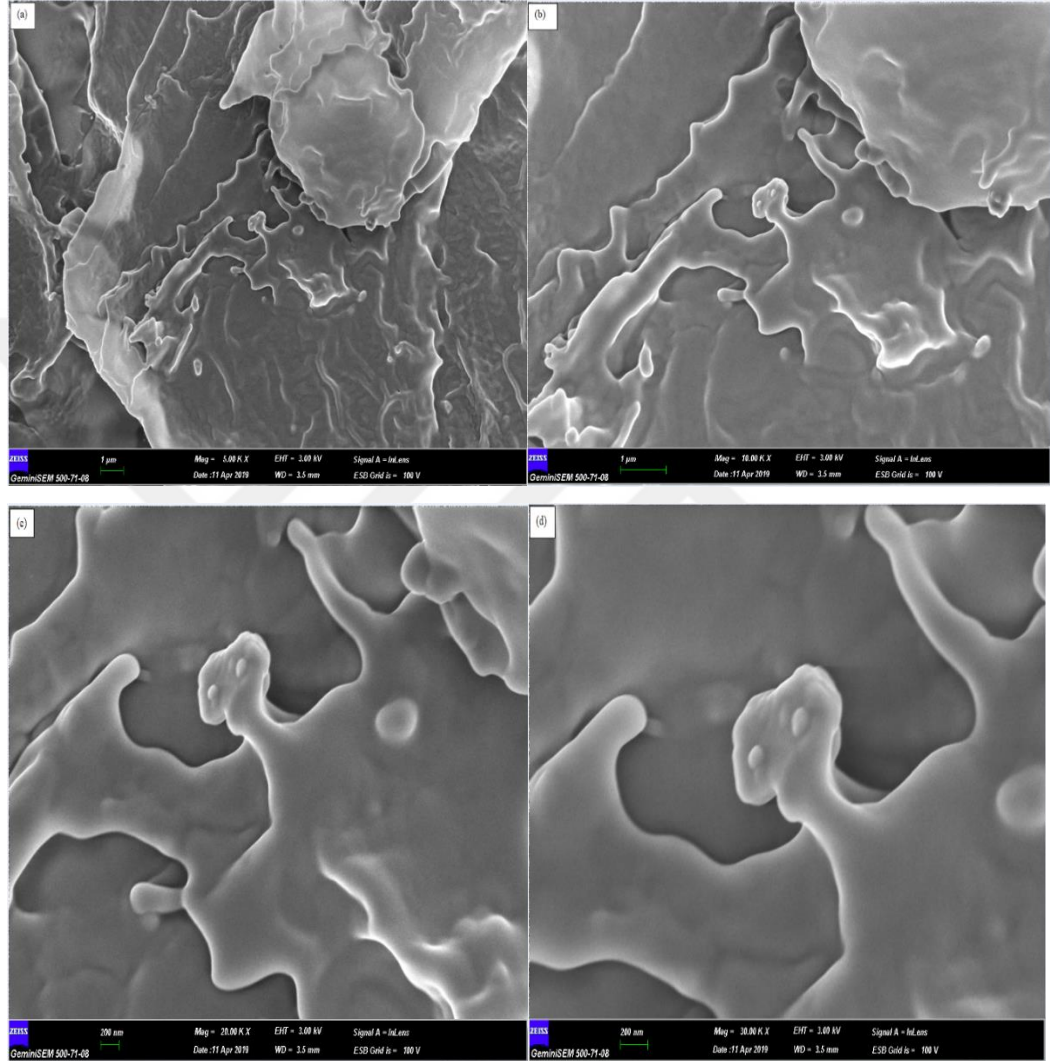
Dekanoik asit-Setil alkol (DA-SA, 1:4), Barit (DA-SA B), boron nitrit (DA-SA BN), diatomit (DA-SA DiA) ve silis dumanı (DA-SA SD) FDM'lerinin SEM analizleri oda sıcaklığında alınmıştır. DA-SA karışımı düşük erime sıcaklığına sahip olduğundan SEM analizlerinde erime göstermektedir. SEM görüntüleri bu yüzden farklı büyütmelerde alınmıştır.

DA-SA, 1:4 ötektik karışımının SEM görüntüsü (Şekil 4.27.) incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde lifli yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Bu yapıların homojen olmamakla birlikte eleksi görünüme sahip olduğu tespit edilmiştir.



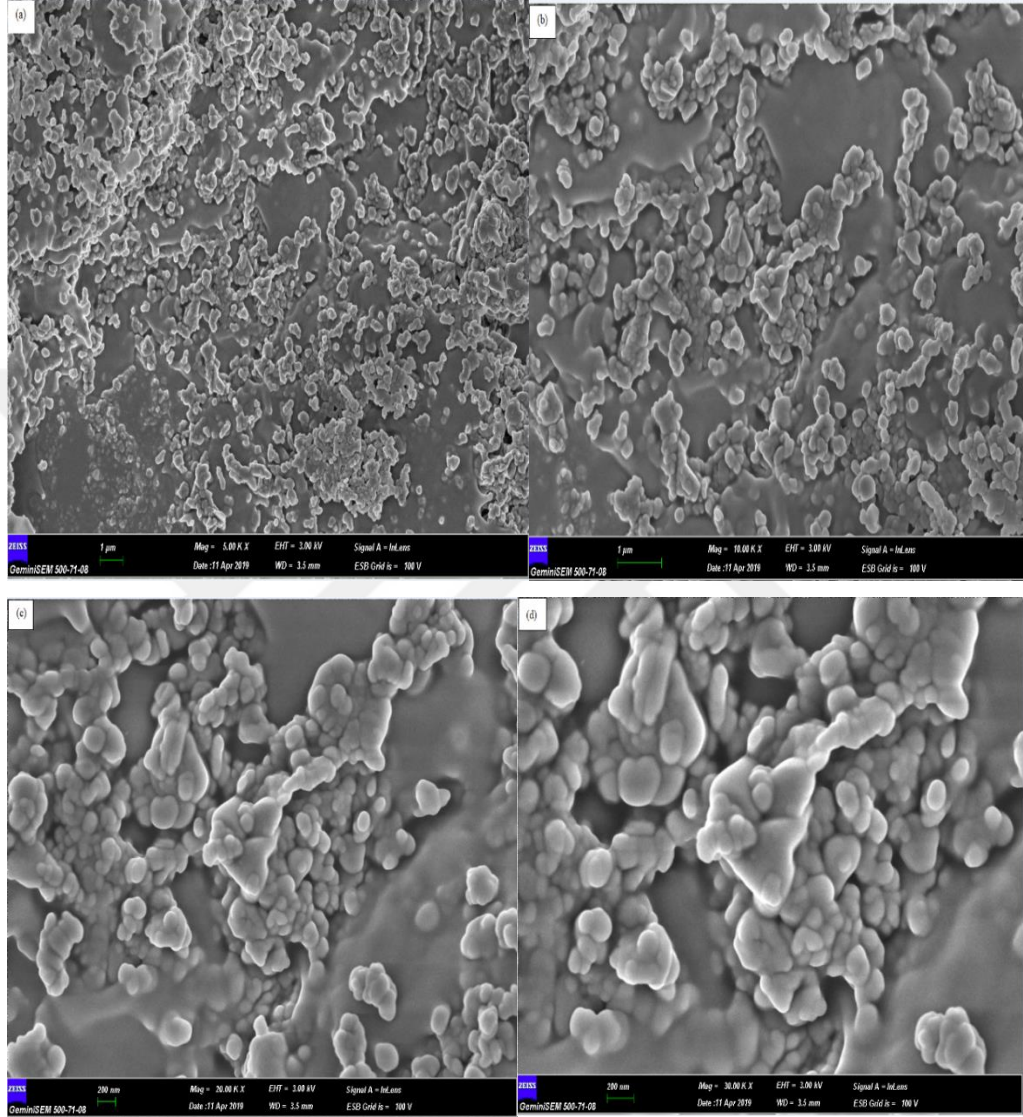
Şekil 4.27. DA-SA ötektik karışımı SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

DA-SA B numunesinin SEM görüntüsüne göre, malzemenin yüzeyinde granül ya da lifli yapıların oluşmadığı, daha çok düzlemsel yapıların olduğu gözlenmiştir. Oluşan tabakaların alanları, Şekil 4.13'te verilen PA-DA DiA numunesindeki tabakalara kıyasla daha büyüktür (Şekil 4.28.).



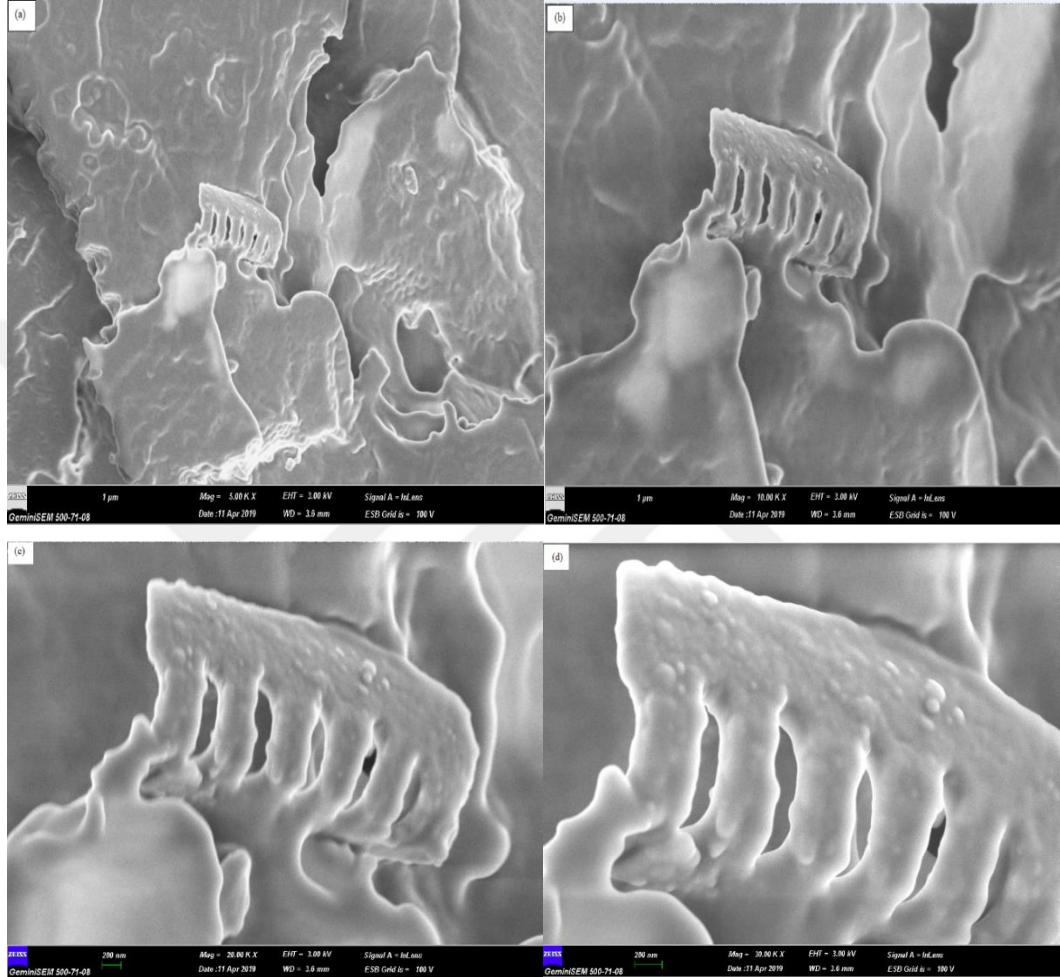
Şekil 4.28. DA-SA B numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1 µm 5.00 Kx, (b) 1 µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

DA-SA BN numunesinin SEM görüntüleri (Şekil 4.29.) incelendiğinde, Şekil 4.12’de verilen PA-DA BN numunesinin SEM görüntüsüne benzer yapıda olduğu tespit edilmiştir. Malzemenin yüzeyinde granül yapıların oluştuğu gözlenmiştir.



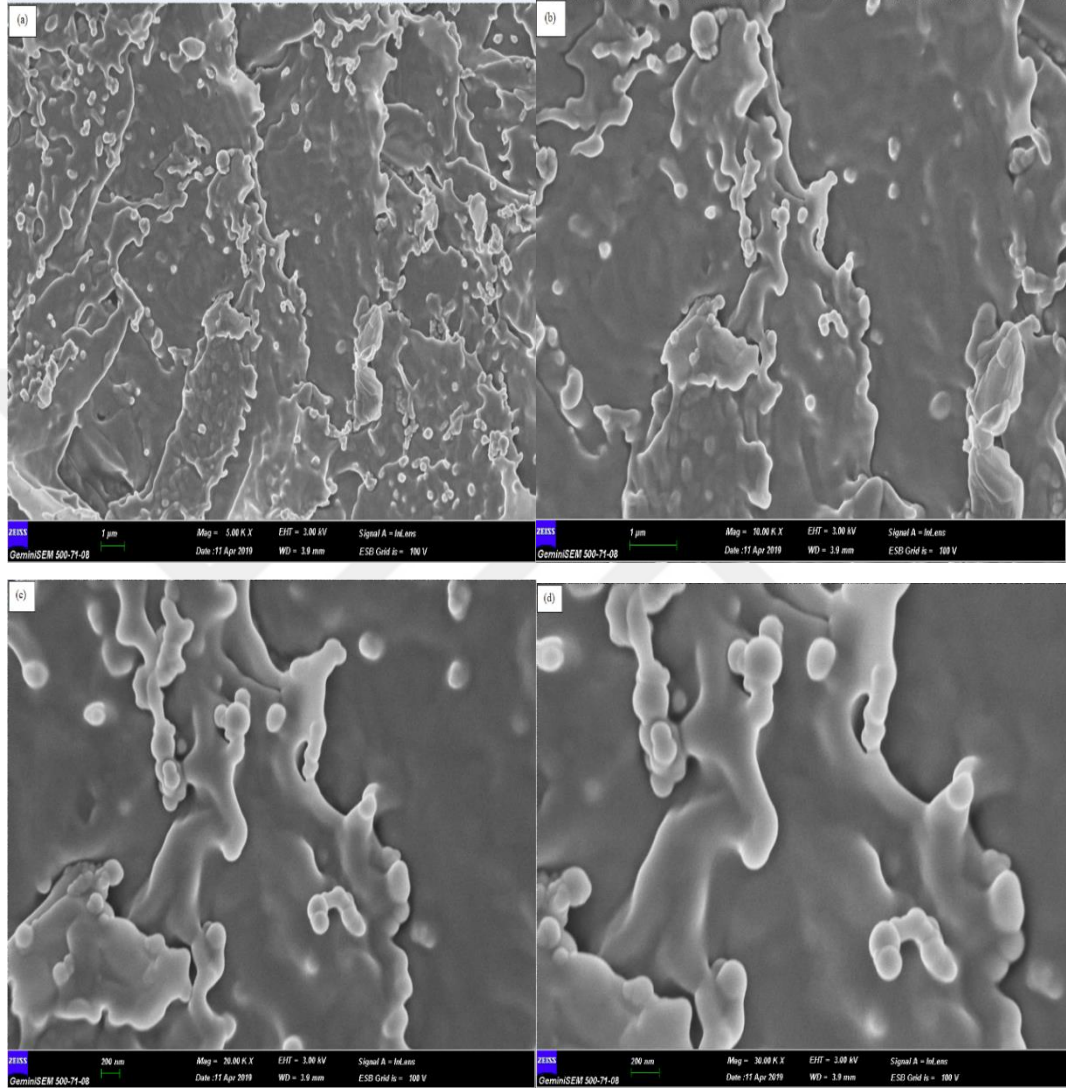
Şekil 4.29. DA-SA BN numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1 μm 5.00 Kx, (b) 1 μm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

DA-SA DiA numunesinin SEM görüntüsü (Şekil 4.30.) incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde asit muamelesinden ötürü tırtıklı yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Homojen bir görünüme sahip olmayan bu yapıda yer yer boşlukların ve düzlemsel yapıların oluştuğu da söylenebilir.



Şekil 4.30. DA-SA DiA numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1µm 5.00 Kx, (b) 1µm 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

DA-SA SD numunesinin SEM görüntüsü (Şekil 4.31.) incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde yuvarlağımsı granül yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca bazı bölgelerde boşlukların ve düzlemsel yapıların oluştuğu da söylenebilir.

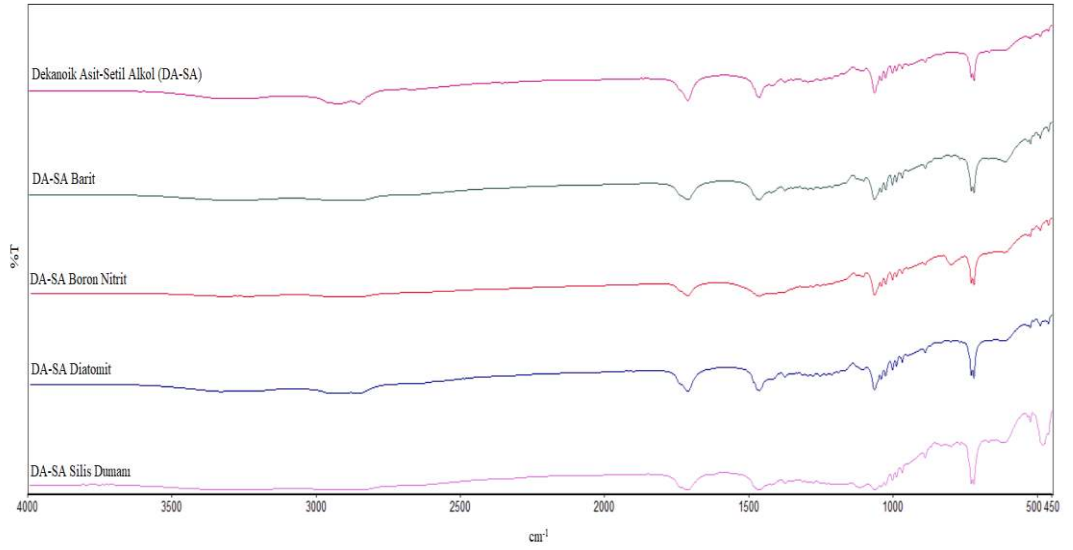


Şekil 4.31. DA-SA SD numunesinin SEM görüntüleri; (a) 1 μ m 5.00 Kx, (b) 1 μ m 10.00 Kx, (c) 200 nm 20.00 Kx, (d) 200 nm 30.00 Kx

4.2.6. DA-SA Ötektik Karışımı ve Ötektikleri Katkılandırılmış FDM'lerin Termal Çevrim Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi

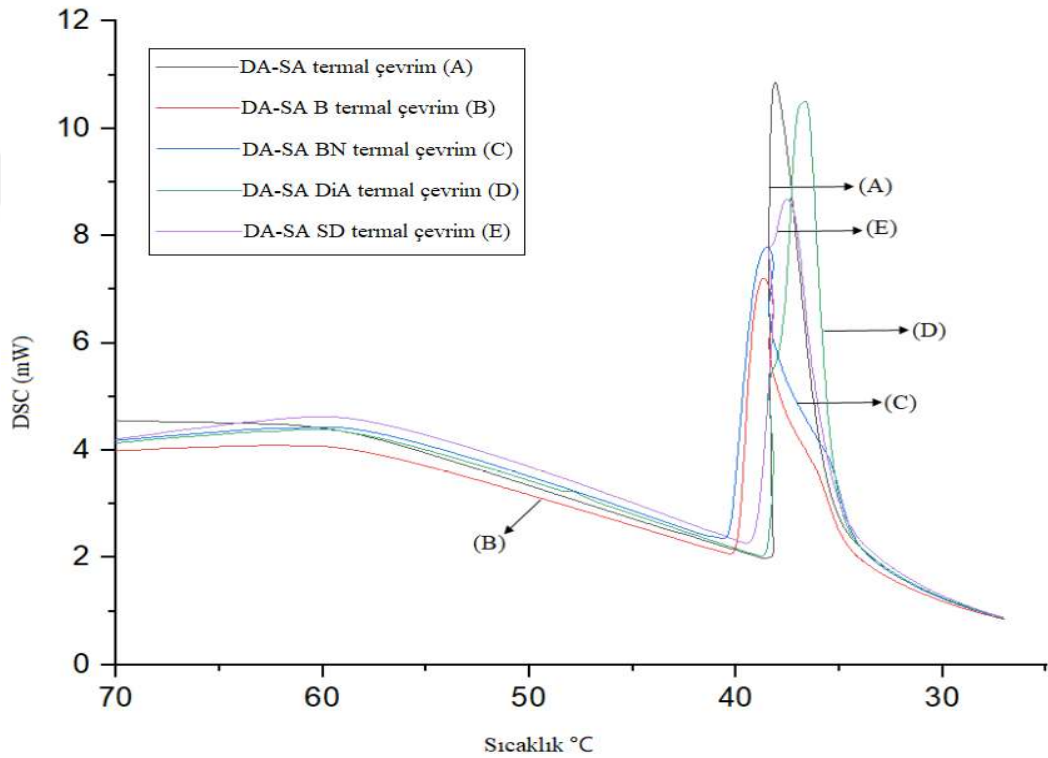
Ötektikleri katkılandırılmış FDM özelliğine sahip olan bu karışımların kullanım ömürlerinin belirlenmesi için 0 °C ile 100 °C aralığında 1000 termal çevrime tabi tutuldu. Bu karışımların termal çevrim sonrasında termal ve yapısal özellikleri tekrar incelendi.

Maddeler 0 °C ile 100 °C aralığında 1000 termal çevrime tabi tutulduktan sonra FT-IR spektrumları incelendi ve ana karışım olan DA-SA ötektik karışımını oluşturan dekanolik asitin C=O gerilme piki 1735.9 cm⁻¹ de görülmüştür. 3000 cm⁻¹ altında görülen pikler alifatik -CH gerilme titreşimlerine, 3287.2 cm⁻¹ de gözlenen pik alkole ait olan -OH piki, 2908.4 cm⁻¹ de görülen pikin de karboksilik aside ait olan -OH gerilmesi olduğu tespit edildi. FT-IR fonksiyonel grup bölgesindeki piklerde değişimin olmadığı gözlemlendi. Bu sonuçlara dayanarak yalıtım malzemesi katkılandırılmış olan FDM özelliğine sahip olan bu karışımlarda termal döngü boyunca kimyasal olarak herhangi bir değişimin olmadığı, benzer piklerin benzer dalga boylarında verildiği, yapısal ve kimyasal olarak kararlılık gösterdiği tespit edildi (Şekil 4.32.).

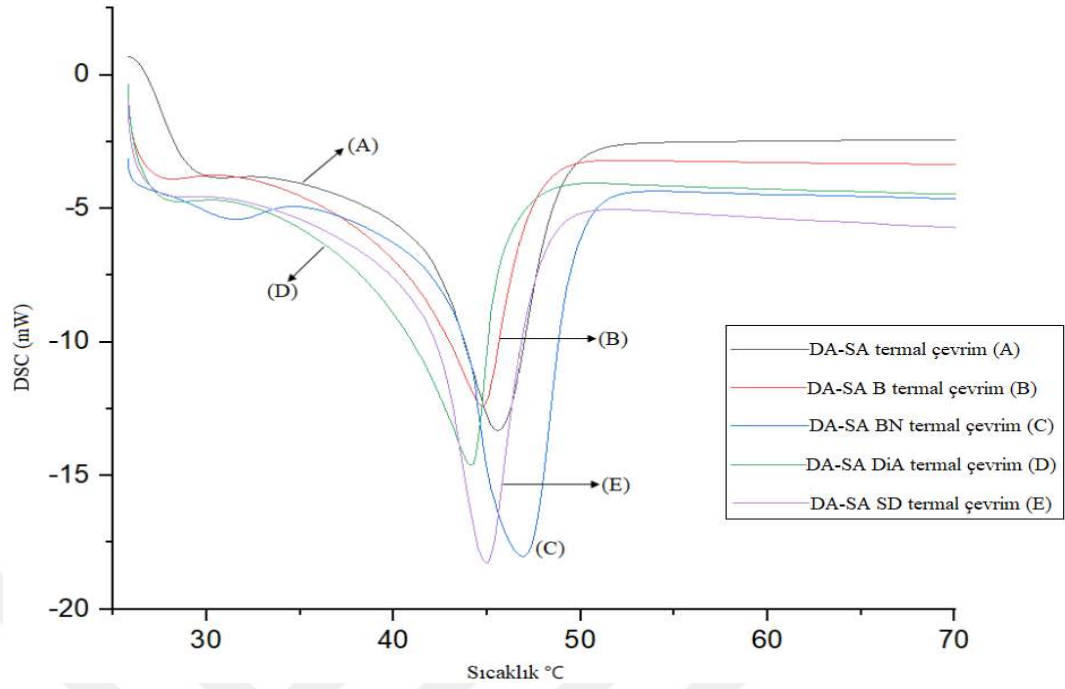


Şekil 4.32. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası FT-IR spektrumları

Termal çevrimden önce ve sonra karışımların DSC eğrilerinden (Şekil 4.33. ve Şekil 4.34.) elde edilen sayısal veriler Tablo 4.5. ve Tablo 4.6.'da karşılaştırmalı şekilde verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde değerlerin birbirine yakın olduğu yani düzenli erime ve donma meydana geldiği anlaşılmıştır. Ayrıca gizli ısı depolama kapasitelerinde genellikle artış gözlemlendi. Bununla birlikte sıcaklıklarda karşılaştırma yapılacak olursa erimeye başlama sıcaklığı, erimenin bittiği sıcaklık, donmaya başlama sıcaklığı, donmanın bittiği sıcaklık, erime ve donma noktaları arasında 0 °C ile 5 °C sıcaklık artması ya da azalması gözlemlendi.



Şekil 4.33. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 4.34. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim sonrası erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri

Tablo 4.5. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM'lerin termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası donma hal değişimlerine ait DSC verileri

Karışımlar	Donmaya başladığı sıcaklık (°C)	Donmayı sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Donma Noktası (°C)	Donma Entalpisi (J/g)
DA-SA, 1:4	38.47	36.48	38.40	-167.48
DA-SA, 1:4 termal çevrim	38.21	35.90	38.10	-160.30
DA-SA B	39.52	36.27	39.34	-179.53
DA-SA B termal çevrim	40.62	36.96	39.80	-149.98
DA-SA BN	40.68	36.07	39.45	-161.14
DA-SA BN termal çevrim	40.59	36.59	39.35	-168.54
DA-SA DiA	40.06	35.97	38.93	-192.79
DA-SA DiA termal çevrim	38.48	36.28	37.80	-165.23
DA-SA SD	38.57	36.26	38.25	-161.81
DA-SA SD termal çevrim	39.67	36.70	38.24	-130.19

Tablo 4.6. DA-SA ötektik karışımı ve ötektikleri katkılandırılmış FDM’lerin termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası erime hal değişimlerine ait DSC verileri

Karışımlar	Erimeye başladığı sıcaklık (°C)	Erimeyi sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Erime Noktası (°C)	Erime Entalpisi (J/g)
DA-SA, 1:4	38.84	46.54	43.78	174.71
DA-SA, 1:4 termal çevrim	42.28	48.49	45.58	172.13
DA-SA B	45.30	48.49	45.45	257.96
DA-SA B termal çevrim	38.51	47.69	45.11	174.90
DA-SA BN	26.72	48.39	45.26	291.19
DA-SA BN termal çevrim	42.88	49.35	46.18	164.82
DA-SA DiA	47.08	48.21	44.95	246.79
DA-SA DiA termal çevrim	38.79	46.87	44.13	168.26
DA-SA SD	25.00	46.92	44.20	382.42
DA-SA SD termal çevrim	41.13	47.70	44.72	152.54

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada termal enerji depolama amacıyla palmitik asit ($C_{16}H_{32}O_2$), dekanolik asit ($C_{10}H_{20}O_2$) ve setil alkol ($CH_3(CH_2)_{15}OH$) kullanılarak hazırlanan FDM özelliğine sahip olan ötektik karışımlar elde edildi. Elde edilmiş olan bu ötektik karışımların DSC analiz sonuçlarına göre gizli ısı enerji depoladığı, düzenli bir şekilde erime ve donma sıcaklığına sahip olduğu anlaşıldı. İki seri karışım hazırlandı. Birinci seri palmitik asit-dekanolik asit ötektik karışımlarının hazırlanması ile tamamlandı. PA-DA, 4:1 ötektik karışımının FT-IR spektrumu incelenerek bu karışımın oluşumu esnasında herhangi bir kimyasal değişimin gerçekleşmediği, karışımın tamamen fiziksel etkileşimlerle meydana geldiği anlaşıldı. Palmitik asit ve dekanolik asitte var olan fonksiyonel grupların piklerinin ötektik karışımın FT-IR spektrumunda da gözlenmesi kimyasal bir etkileşimin olmadığını göstermiştir.

Elde edilmiş olan FDM özelliğine sahip olan bu ötektik karışımın (PA-DA, 4:1) yalıtım alanında kullanılabilirliğini araştırmak amaçlı yaygın yalıtım malzemelerinden barit, boron nitrit, diatomit, silis dumanı katkılanarak yapısal ve termal özellikleri incelendi. Palmitik asit-Dekanoik asit (PA-DA, 4:1) karışımının %1'i kadar barit (PA-DA B), boron nitrit (PA-DA BN), diatomit (PA-DA DiA) ve silis dumanı (PA-DA SD) katkılanarak bir seri karışım hazırlandı. Bu karışımlar içerisinde homojen olup düzenli şekilde erime ve donma özelliğine sahip olanlar belirlenerek kimyasal, termal ve yapısal özellikleri incelendi. Katkılanmış olan yalıtım malzemelerinin herhangi bir kimyasal etkileşime girmedikleri, PA-DA, 4:1 ötektik karışımının fonksiyonel grup piklerinde herhangi bir değişimin olmadığı FT-IR spektrumlarının incelenmesi ile anlaşıldı. Karışımların termal olarak kararlılıklarının belirlenmesi için TGA eğrileri incelendi. Tüm karışımların tek basamakta bozundukları ve bozunma esnasında meydana gelen ağırlık kaybı oranlarının ötektik karışımındaki PA-DA oranına karşılık geldiği görülmüştür. Sıcaklıkları birbirine yakın olan maddelerin entalpi değerleri incelendiğinde en yüksek artışın PA-DA diatomitte olduğu gözlemlendi (Tablo 4.1). SEM analizi incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde granül yapılardan ziyade düzlemsel yapıların olduğu ve yüzeydeki girinti ve çıkıntıların belirgin hale geldiği tespit edilmiştir. Bu nedenle termal çevrim öncesi en iyi FDM özelliğine sahip olan maddenin PA-DA diatomit olduğu belirlendi.

Karışımların kullanılabilirlik ve termal olarak tekrarlanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi için 1000 termal çevrime tabi tutuldular. Termal çevrim sonrası özellikler tekrar incelendi. FT-IR spektrumlarının termal çevrim sonrası tekrar alınmasıyla fonksiyonel grup bölgelerinde herhangi bir değişim olmadığı gözlemlendi. Böylece kullanılmış olan yalıtım malzemelerinin termal çevrim sonunda yapısal özelliklerini korudukları herhangi bir kimyasal değişime uğramadıkları anlaşıldı. Aynı şekilde bu yalıtım malzemelerinin DSC eğrileri de incelendi. Erime ve donma sıcaklıklarının

birbirine yakın olduğu, PA-DA baritin entalpi değerlerinde kısmen azalmanın olduğu, PA-DA diatomitin entalpi değerlerinde ise artış olduğu gözlenmiştir.

İkinci seride ise dekanolik asit ($C_{10}H_{20}O_2$) ve setil alkol ($CH_3(CH_2)_{15}OH$) kullanılarak hazırlanan FDM özelliğine sahip olan ötektik karışımlar elde edildi. Elde edilmiş olan bu ötektik karışımların DSC analiz sonuçlarına göre gizli ısı enerji depoladığı, düzenli bir şekilde erime ve donma sıcaklığına sahip olduğu anlaşıldı. DA-SA, 1:4 ötektik karışımının FT-IR spektrumu incelenerek bu karışımın oluşumu esnasında herhangi bir kimyasal değişimin gerçekleşmediği, karışımın tamamen fiziksel etkileşimlerle meydana geldiği anlaşıldı. Dekanolik asit ve setil alkolde var olan fonksiyonel grupların piklerinin ötektik karışımın FT-IR spektrumunda da gözlenmesi kimyasal bir etkileşimin olmadığını göstermiştir.

Elde edilmiş olan FDM özelliğine sahip olan bu ötektik karışımın (DA-SA, 1:4) yalıtım alanında kullanılabilirliğini araştırmak amaçlı yaygın yalıtım malzemelerinden barit, boron nitrit, diatomit, silis dumanı katkılanarak yapısal ve termal özellikleri incelendi. Dekanolik asit-Setil alkol (DA-SA, 1:4) karışımının % 1'i kadar barit (DA-SA B), boron nitrit (DA-SA BN), diatomit (DA-SA DiA) ve silis dumanı (DA-SA SD) katkılanarak bir seri karışım hazırlandı. Bu karışımlar içerisinde homojen olup düzenli şekilde erime ve donma özelliğine sahip olanlar belirlenerek kimyasal, termal ve yapısal özellikleri incelendi. Katkılanmış olan yalıtım malzemelerinin herhangi bir kimyasal etkileşime girmedikleri, DA-SA, 1:4 ötektik karışımının fonksiyonel grup piklerinde herhangi bir değişimin olmadığı FT-IR spektrumlarının incelenmesi ile anlaşıldı. . Karışımların termal olarak kararlılıklarının belirlenmesi için TGA eğrileri incelendi. Tüm karışımların tek basamakta bozundukları ve bozunma esnasında meydana gelen ağırlık kaybı oranlarının ötektik karışımındaki DA-SA oranına karşılık geldiği görülmüştür. Sıcaklıkları birbirine yakın olan maddelerin entalpi değerleri incelendiğinde en yüksek artışın DA-SA silis dumanında olduğu gözlemlendi (Tablo 4.4). SEM analizi incelendiğinde, malzemenin yüzeyinde yuvarlakmsı granül yapıların olduğu ve bazı bölgelerde boşlukların ve düzlemsel yapıların meydana geldiği söylenebilir. Bu nedenle termal çevrim öncesi en iyi FDM özelliğine sahip olan maddenin DA-SA silis dumanı olduğu belirlendi.

Karışımların kullanılabilirlik ve termal olarak tekrarlanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi için 1000 termal çevrime tabi tutuldular. Termal çevrim sonrası özellikler tekrar incelendi. FT-IR spektrumlarının termal çevrim sonrası tekrar alınmasıyla fonksiyonel grup bölgelerinde herhangi bir değişim olmadığı gözlemlendi. Böylece kullanılmış olan yalıtım malzemelerinin termal çevrim sonunda yapısal özelliklerini korudukları herhangi bir kimyasal değişime uğramadıkları anlaşıldı. Aynı şekilde DSC eğrilerinin de incelenmesi yapıldı. Erime ve donma sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu, DA-SA diatomitin entalpi değerlerinde kısmen azalmanın olduğu, DA-SA silis dumanı ve DA-SA boron nitrit entalpi değerlerinde ise artış olduğu gözlenmiştir.

ÖNERİLER

Bu çalışmada yağ asitlerinden palmitik asit, dekanıik asit ve yağ alkolü olarak setil alkol kullanıldı. Bunların ötektik karışımları hazırlanıp barit, boron nitrit, diatomit, silis dumanı ile katkılandırma işlemi yapıldı. Elde edilen bu kompozit katkılı FDM'lerin DSC analiz sonuçlarına göre entalpi değerleri incelendiğinde palmitik asit-dekanıik asit diatomitin (PA-DA DiA) ve dekanıik asit-setil alkol silis dumanının (DA-SA SD) en iyi FDM özelliğine sahip oldukları belirlendi. Söz konusu bu FDM'lerin ısı yalıtımı uygulamalarında kullanılması durumunda enerji tasarrufu bakımından faydalı olacağı düşünülmektedir.

FDM özelliğine sahip ötektik karışımlar aracılığıyla gizli ısı enerji depolama yöntemi ile yalıtım sistemleri geliştirilebilir. Elde edilen ötektik karışımlar erime-donma sıcaklık aralığı bina yalıtım sistemlerinin sıcaklık aralıklarıyla uyduğundan binaların yalıtım sistemlerinde kullanılabilirler. Bu konuda yapılacak olan daha sonraki çalışmalarda FDM ile gizli ısı depolamanın teorik olarak modellenmesi deneysel çalışmalara ışık tutacaktır. 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ İli Sivrice merkezli 6.8 şiddetindeki deprem felaketi ile beraber yalıtım konusunun önemi bir kez daha ön plana çıkmıştır. Özellikle deprem anında yıkılan ve ağır hasarlı olarak çok sayıda binanın tespit edilmesinden sonra yalıtımla ilgili hassasiyet ve zorunluluk kaçınılmazdır. Bununla birlikte orta hasarlı ve az hasarlı binalarda onarımla birlikte yalıtım uygulamasında artış söz konusu olacaktır. Yalıtım, çağımızda enerji tasarrufu bakımından son derece önemli olup önermiş olduğumuz FDM'ler, bu konuda çeşitli faz değiştirici malzemelere yönelik devam eden araştırmalara ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Shumeli, H., Ziskind, G. and Letan, R.,(2010). Melting in a Vertical Cylindrical Tube: Numerical Investigation and Comprasion With Experiments, International Journal of Heat and Mass Transfer, 53, 4082-4091.
- [2] Evans, A., Strezov, V., Evans, T. J.,(2012). Assessment of Utility Energy Storage Options for Increased Renewable Energy Penetration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 4141-4147.
- [3] Alay, S., (2010). Isıl Enerji Depolama Özellikli Mikrokapsüller İçeren Akıllı Tekstil Ürünlerinin Geliştirilmesi üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bil..Ens., Isparta.
- [4] Sarıkaya, Y., (2011). Fizikokimya. Gazi Kitabevi.
- [5] Paksoy, H. Ö. (Ed.), (2007). Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption: Fundamentals, Case Studies and Design (Vol. 234). Springer Science & Business Media.
- [6] Lane, G. A., (1983), Solar Energy Latent Heat Material , Volume I, CRC Pres Inc. Boca Raton /Florida,450.
- [7] Mazman M., (2006), Gizli Isı Depolaması ve Uygulamaları, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens.,Adana.
- [8] Paksoy H. Ö., (1992). Thermal Analysis of Heat Storage Materials and Integrated Heat Pump and Theral Energy Storage, Doktora Tezi. Ç.Ü.Fen Bil. Ens.,Adana.
- [9] Kovach, E.G.,(1976). Thermal Energy Storage.The Report of a NATO Science Committee Conference,1-5 March, Scotland,Pergamon Pres,76s.
- [10] Sarı A.,(2000). Bazı Yağ Asitleri ve Ötektik Karışımlarının Enerji Depolayıcı Madde Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gaziosman Paşa Üni. Fen Bil.Ens, Tokat.
- [11] Sarı A., Tarhan S., Kaygusuz K., (2005). Enerjiyi Düşük Sıcaklıkta Gizli Isı Olarak Depolayan Kimyasal Maddeler. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri.Özkan K. (2001). “Yüksek Performanslı Isı Yalıtım Malzemeleri”, Mühendis ve Makine, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/00000394.pdf>.
- [12] Özkan K. (2001). “Yüksek Performanslı Isı Yalıtım Malzemeleri”, Mühendis ve Makine, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/00000394.pdf>.
- [13] Dinçer I., Rosen M.A., (2002). Thermal Energy Storage, Systems and Applications, John Wiley&Sons.Chicheser(England).
- [14] Kılış B., Kakaç S., (1989). "Importance of Energy Storage", Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Pub., The Netherlands.
- [15] Yang W. J., (1989). "Thermal Energy Storage Systems and Their Dynamic Behavior" Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Pub., The Netherlands.
- [16] Özönur Y., (2004). Düşük Sıcaklıkta Termal Enerji Depolamasına Uygun Faz Değiştiren Maddelerin Mikrokapsüllenmesi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi.

- [17] Basal B., (2007). Eş Eksenli Üç Borulu Isı Eşanjörlerinde Faz Değiştiren Madde Kullanarak Isıl Enerji Depolanmasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.A.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [18] Günerhan H., (2004). Duyulur Isı Depolama ve Bazalt Taşı, Mühendis ve Makina, 12-17.
- [19] Abhat A., (1983). Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage Materials, Solar Energy 30 (4) 313-332.
- [20] Özönur Y., Mazman M., Paksoy H.Ö., (2003). Termal Enerji Depolaması İçin Parafinin Mikrokapsüllemesi, Türkiye 9. Enerji Kongresi, İstanbul, Türkiye.
- [21] Hauer A., (2002). "Thermal Energy Storage With Zeolite for Heating and Cooling Applications", IEA, ECES IA Annex 17, Advanced Thermal Energy Storage Through Phase Change Materials and Chemical Reactions-Feasibility Studies and Demonstration Projects. 3rd Workshop, 1-2 October 2002, Tokyo, Japan.
- [22] Karaipekli A., (2006). Faz Değişimli Enerji Depolama Maddelerinde Isıl İletkenliğin Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- [23] Yılmaz S., (2008). Soğutma Uygulamaları İçin Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [24] Paksoy H.Ö., Başçetinçelik A., Öztürk H.H., (1995). Isı Depolama Yöntemleri ve Yeraltında Isı Depolama Sistemleri. 5. Türk Alman Enerji Sempozyumu, "Güneş Enerjisi ve Diğer Yenilenebilir Enerji Uygulamalarındaki Gelişmeler" Bildiri Kitabı:151-160, İzmir.
- [25] Kaya K., (2007). Isıl Enerji Depolama Amaçlı Polipropilen/Parafin Karışımının Hazırlanması ve Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 43, Tokat.
- [26] Shilei L., Neng Z., Guohui F., (2006). Eutectic Mixtures of Capric Acid and Lauric Acid Applied in Building Wallboards for Heat Energy Storage, Energy and Buildings, 38 s., 708–711.
- [27] Watson D., Labs K., 1983. Climatic Building Design, Mc Gram-Hill Book Company.
- [28] Zhang Y.P., Lin K.P., Yang R., Di H.F., Jiang Y., (2006). Preparation, Thermal Performance and Application of Shape Stabilized PCM in Energy Efficient Buildings, Energy and Buildings 38, s1262-1269.
- [29] Cedeno F.O., Prieto M.M., Espina A., Garcia J.R., (2001), Measurement of Temperature and Melting Heat of Some Pure Fatty Acids and Their Binary and Ternary Mixtures by Differential Scanning Calorimeter, Thermochimica 369, 39-50.
- [30] Suppes G. J., Goff M.J., Lopes S., (2003). Latent Heat Characteristic of Fatty Acid Derivatives Pursuant Phase Change Material Applications, Chemical Engineering Science, V.58, 1751-1763.
- [31] Akçay M., (2006). Isıl Enerji Depolama Amaçlı Bazı Polimer/Yağ Asidi Karışımlarının Hazırlanması ve Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 65s., Tokat.
- [32] Sarı A., Kaygusuz K., (2001). Thermal Performance of Myristic Acid as A Phase Change Material For Energy Storage Application. Renewable Energy 24, 303-317.

- [33] Sarı A., Kaygusuz K., (2001). Thermal Energy Storage System Using Stearic Acids as A Phase Change Material. *Solar Energy* 71(6), 365-376.
- [34] Zhang J. J., Zhang J. L., He S.M., Wu K.Z., Liu X.D., (2001). Thermal Studies on The Solid-Liquid Phase Transition Binary System of Fatty Acids. *Thermochim Acta*, 369, 157-160.
- [35] Tao X., (2008). *Smart Fibres, Fabrics and Clothing*. Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge, England.
- [36] Mondal S., (2008). Phase Change Materials for Smart Textiles- An Overview, *Applied Thermal Engineering*, 28, 1536-1550.
- [37] ACAR., S. Ş., (2014). Faz Değiştirici Maddeler ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [38] Tunçbilek K.(2005). Laurik-Palmitik Asit Ötektik Karışımının Enerji Depolama Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [39] Zalba B., Marin J. M., Cabeza L.F., Mehling H., (2003). Review on Thermal Energy Storage With Phase Change Materials, Heat Transfer Analysis and Applications, *Applied Thermal Engineering*, 23, pp. 251-283.
- [40] Dimaano M.N.R., Watanabe T., (2002). The Capric - Lauric Acid And Pentadecane Combination as Phase Change Material For Cooling Applications, *Applied Thermal Engineering* 22, 365-377.
- [41] Farid M.M., Khudhair A.M., Razack S.A.K., Al-Hallaj S., (2004). A Review on Phase Change Energy Storage Materials and Applications, *Energy Conversion & management*, 45 pp. 1597-1615.
- [42] Konuklu Y., (2008). Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama İle Binalarda Enerji Tasarrufu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [43] İzoder, Isı Yalıtımı Genel Teknik Şartnamesi
- [44] Özyaman C., (1986). “Katı Yakıtlı Yakma Sistemlerinin Neden Olduğu Çevre Kirliliğinin Akışkan Yakıt İle Kontrolü”, Çevre’ 86 Sempozyumu, İzmir.
- [45] ŞEN A. O., (2006). Binalarda Uygulanan Yalıtım Sistemleri Dünyada ve Türkiye’ de Yalıtım, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [46] Kulaksızoğlu Z., (2006). Isı Yalıtım Sektör Araştırması.
- [47] Guiyin F., Hui L., Xu L., (2011). *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 95, Issue 7, Pages 1875-1881.
- [48] Lei C., Fang T., Guiyin F., (2014). Preparation and Characteristics of Microencapsulated Palmitic Acid With TiO₂ Shell As Shape-Stabilized Thermal Energy Storage Materials, School of Physics, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China..
- [49] Benxia L., Tongxuan L., Luyang H., Yanfen W., Shibin N., (2013). *Chemical Engineering Journal*, Volumes 215-216, Pages 819-826.
- [50] Sarı A., Karaipekli A., Alkan C., (2009). Preparation, Characterization and Thermal Properties of Lauric acid/Expanded Perlite as Novel Form-Stable Composite Phase Change Material, *Chemical Engineering Journal* 155, Pages 899 – 904.

- [51] Karagöz Genç Z., Aksu Canbay C., Acar S.S., Şekerci M., (2015). Preparation and Thermal Properties of Heterogeneous Composite Phase Change Materials Based on Camphene-Palmitic Acid, J Therm Anal Calorim, 120, 1679-1688.
- [52] Karabulut S., (2019). Setil Alkolün İnorganik Esaslı Mikrokapsüllerinin Hazırlanması ve Faz Değiştirici Malzeme (FDM) Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.



ÖZGEÇMİŞ

Funda BULUT

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : ELAZIĞ
Doğum Yılı : 1993
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
E-posta : funda_2318@hotmail.com
Yabancı Diller : İngilizce (Düzey: Orta)

EĞİTİM BİLGİLERİ

Üniversite (Lisans): 09/2010 – 07/2014
Fırat Üniversitesi- Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
Lise: 09/2005 – 06/2009

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

✓ PERKİN ELMER FT-IR Spektrometresi