

T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FAZ DEĞİŞTİRİCİ MALZEMELERİN FOTOVOLTAİK PİLLERİN
SOĞUTULMASINA YÖNELİK ÜRETİMİ VE TERMAL ÖZELLİKLERİ

AYŞE MİNE KÜÇÜKKAYA

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2022

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**FAZ DEĞİŞTİRİCİ MALZEMELERİN FOTOVOLTAİK PİLLERİN
SOĞUTULMASINA YÖNELİK ÜRETİMİ VE TERMAL ÖZELLİKLERİ**

Ayşe Mine KÜÇÜKKAYA

Adıyaman Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zuhâl KARAGÖZ GENÇ

Yıl: 2022, Sayfa sayısı: 135

Jüri: Doç. Dr. Zuhâl KARAGÖZ GENÇ

Doç. Dr. Engin YILMAZ

Doç. Dr. Hacı SOĞUKPINAR

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının artan dünya nüfusu nedeniyle hızla tükeniyor olması nedeniyle son yıllarda artan enerji ihtiyacını karşılabilmek için özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına olan talep artmaktadır. Yenilebilir enerji kaynaklarının ilk sırasında yer alan güneş enerjisinden verimli şekilde kullanımının ilk sırasında ise fotovoltaik sistemler yer almaktadır. Fotovoltaik sistemler güneş enerjisinden verimli şekilde elektrik üretimini sağlayan sistemlerdir. Fotovoltaik sistemlerin beraberinde getirdiği en önemli dezavantaj ise panellerin aşırı ısınmasıdır.

Faz değiştiren malzemeler (FDM) uygun sıcaklık aralığında erime- donma esnasında yüksek miktarda ısı depolama özelliğine sahip malzemelerdir. Yüksek miktarda ısı depolama kapasitesine sahip olmaları nedeniyle farklı alanlarda

ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadırlar. Fotovoltaik sistemlerde aşırı ısınma probleminin önüne geçebilmek için FDM kullanımları son yıllarda yaygınlaşmıştır. Çalışmaların daha çok makrokapsülasyon üzerine yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

Tez çalışmasında literatür çalışmaları dikkate alınarak fotovoltaik panellerin çalışma aralıklarına uygun sıcaklıkta erime↔donma aralığına sahip setil alkol, palmitik asit, bütül stearat ilk olarak saf halde emülsiyon polimerizasyonu yöntemiyle mikrokapsüllendi. Çalışmanın ikinci basamağında ise; setil alkol, palmitik asit, bütül stearatın farklı oranlarda ötektik karışımları hazırlandı. Elde edilen uygun sıcaklık ve entalpi değerlerine sahip ötektik karışımlar yine emülsiyon polimerizasyonu yöntemiyle mikrokapsüllendi. Elde edilen mikrokapsüllerin ısı depolama/yayma kapasiteleri ve kimyasal yapıları ise sırasıyla DSC ve FT-IR spektroskopisi ile analizleri tespit edildi ve mikrokapsüllerin morfolojik incelemeleri için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanıldı.

Uygun erime↔donma sıcaklığı ve gizli ısı kapasitesine sahip mikrokapsüllenmiş FDM'lerin solar simülatör yardımıyla termal davranışları ve termal şekil kararlılıkları incelendi. Çalışma sonunda saf halde mikrokapsüllenen palmitik asitin ve ötektik mikrokapsüllenmiş FDM'ler arasında ise palmitik-setil alkolün fotovoltaik panellerde soğutma amaçlı kullanımları için uygun termal davranışa ve termal şekil kararlılığına sahip olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Faz değiştiren malzemeler, Emülsiyon polimerizasyon, Fotovoltaik sistem, Termal davranış, Şekil stabilize

ABSTRACT

MSc Thesis

PRODUCTION AND THERMAL PROPERTIES OF PHASE CHANGING MATERIALS FOR COOLING PHOTOVOLTAIC BATTERIES

Ayşe Mine KÜÇÜKKAYA

Adiyaman University

Graduate Education Institute

Department of Philosophy Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Zuhâl KARAGÖZ GENÇ

Year : 2022, Number of pages:135

Jury : Assoc. Prof. Dr. Zuhâl KARAGÖZ GENÇ

Assoc. Prof. Dr. Engin YILMAZ

Assoc. Prof. Dr. Hacı SOĞUKPINAR

Due to the rapid depletion of non-renewable energy sources due to the increasing world population, the demand for the use of renewable energy sources has been increasing in order to meet the increasing energy needs in recent years. Photovoltaic systems are at the forefront of the efficient use of solar energy, which is in the first place of renewable energy sources. Photovoltaic systems are systems that produce electricity from solar energy. The most important disadvantage of photovoltaic systems is the overheating of the panels.

Phase change materials (FDM) are materials that have high heat storage properties during melting-freezing in the appropriate temperature range. Due to their high heat storage capacity, they are used for heating and cooling purposes

in different areas. In order to prevent the overheating problem in photovoltaic systems, the use of FDM has become widespread in recent years. It has been determined that the studies are mostly focused on macrocapsulation.

In the thesis study, taking into account the literature studies, cetyl alcohol, palmitic acid, butyl stearate, which has a melting-freezing range at a temperature suitable for the working range of photovoltaic panels, was first microencapsulated in pure form by emulsion polymerization method. In the second step of the study; Eutectic mixtures of cetyl alcohol, palmitic acid, butyl stearate at different ratios were prepared. The obtained eutectic mixtures with suitable temperature and enthalpy values were also microencapsulated by emulsion polymerization method. The heat storage/dissipation capacities and chemical structures of the obtained microcapsules were determined by DSC and FT-IR spectroscopy, respectively, and Scanning Electron Microscopy (SEM) was used for the morphological examinations of the microcapsules.

The thermal behavior and thermal shape stability of microencapsulated FDMs with suitable melting-freezing temperature and latent heat capacity were investigated with the help of a solar simulator. At the end of the study, it was determined that the pure microencapsulated palmitic acid and the palmitic-cetyl alcohol among the eutectic microencapsulated PCMs have suitable thermal behavior and thermal shape stability for their use in photovoltaic panels for cooling purposes.

Key Words: Phase change materials, Emulsion polymerization, Photovoltaic system, Thermal behavior, Shape stabilized

DESTEKLER

Bu tez çalışması Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP) tarafından MÜFAAP/2018-0002 numaralı altyapı projesi ile desteklenmiştir.



BEYAN

“Fotovoltaik Sistemlerin Faz Değiştirici Malzemelerle Soğutulması” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Ayşe Mine KÜÇÜKKAYA

İmza

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi gördüğüm süre boyunca deneyimleri ile bana ışık tutan, her türlü karşılaştığım problemin üstesinden gelmemde bana yardımcı olan, olumlu yönlendirmesi ile daima yanımda olan çok değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Zuhâl KARAGÖZ GENÇ'e teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Doç. Dr. Murat Genç hocama, çalışma arkadaşlarım Şilan GÜRHAN ZENBİLCİ'ye ve Ruken ÖZBEK'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP) tarafından MÜFAAP/2018-0002 numaralı alt yapı projesi ile desteklenmiştir.

Her zaman her konuda maddi ve manevi olarak daima yanımda olan aileme, moral kaynağım olan yeğenlerim Hasan Eymen ve İrem'e sonsuz teşekkürler.

Ayşe Mine KÜÇÜKKAYA

ADİYAMAN-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	III
DESTEKLER.....	V
BEYAN	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
SİMGELER.....	XIX
KISALTMALAR	XX
1. GİRİŞ	1
1.1.Enerji Kaynakları.....	2
1.1.1.Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	4
1.2.Fotovoltaik Sistemler	5
1.2.1.Isı Enerjisi Depolama Yöntemler.....	6
1.2.2.Duyulur Isı Enerjisi Depolama.....	6
1.2.3.Gizli Isı Depolama Yöntemleri.....	7
2.FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER.....	10
2.1.Faz Değişiren Malzemelerin Sınıflandırılması.....	11
2.1.1. Organik Faz Değişiren Malzemeler	11
2.1.2. İnorganik Faz Değişiren Malzemeler.....	12
2.1.3. Ötektik Faz Değişiren Malzemeler	13
2.2. Faz Değişiren Malzemelerin Kullanım Alanları	13

2.3.Faz Değiştiren Malzemelerin Çalışma Prensipleri	14
2.4.Faz Değiştiren Malzemelerin Erime Entalpi Aralıkları	15
2.5. Faz Değiştiren Malzemelerin Kapsüllenme Yöntemleri	16
2.5.1.Mikrokapsülasyon Yöntemleri.....	16
2.5.1.1.Ara Yüzey Polimerizasyonu	19
2.5.1.2. İn-situ Polimerizasyon	20
2.5.1.3. Süspansiyon Polimerizasyon.....	21
2.5.1.4. Emülsiyon Polimerizasyon.....	21
2.5.1.5. Dispersiyon Polimerizasyon	22
2.5.1.6. Karmaşık Koaservasyon.....	23
2.5.1.7. Sol-jel Yöntemi	24
2.5.1.8.Püskürtmeyle Kurutma.....	25
3. KAYNAK ARAşTIRMASI	26
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
4.1.Materyal.....	34
4.1.1 Çalışmada Kullanılan Kimyasal Malzemeler.....	34
4.1.2.Çalışmada kullanılan cihazlar	37
4.1.3 Faz Değiştirici Malzemelerin Analizi için Kullanılan Cihazlar.....	37
4.2. Yöntem.....	39
4.2.1 Ötektik Karışım.....	39
4.2.1.1. Setil Alkol ve Palmitik Asit İkili Ötektiği	39
4.2.1.2. Setil alkol ve Bütil Stearat İkili Ötektiği.....	40
4.2.1.3. Palmitik Asit ve Bütil Stearat İkili Ötektiği.....	40
4.2.1.4. Palmitik Asit, Bütil Stearat ve Setil Alkol Üçlü Ötektiği	41
4.2.2. Mikrokapsülasyon İşlemi	41

5.BULGULAR VE TARTIŞMA	46
5.1. Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün Analizi	46
5.1.1. Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün FT-IR Analizi	46
5.1.2 Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün SEM Analizi	47
5.1.3. Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün DSC Analizi.....	48
5.1.4 Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün Şekil Kararlılığı	50
5.1.5 Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün Termal İletkenliği	51
5.1.6 Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün Termal Davranışı	52
5.2 Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin Analizi	54
5.2.1 Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin FT-IR Analizi	54
5.2.2. Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin SEM Analizi	56
5.2.3. Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin DSC Analizi.....	56
5.2.4 Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin Şekil Kararlılığı	58
5.2.5. Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin Termal İletkenliği	59
5.2.6 Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin Termal Davranışı	59
5.3. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın Analizi	62
5.3.1. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın FT-IR Analizi.....	62
5.3.2. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın SEM Analizi	63
5.3.3. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın DSC Analizi.....	64
5.3.4. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın Şekil Kararlılığı	66
5.3.5. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın Termal İletkenliği	67
5.3.6 Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın Termal Davranışı	67
5.4. Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin Analizi	69
5.4.1. Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik Asitin FT-IR Analizi	70
5.4.2. Mikrokapsüllenmiş Setil alkolün ve Palmitik Asitin SEM Analizi	72

5.4.3. Mikroapsülenmiş Setil alkol ve Palmitik Asitin DSC Analizi.....	73
5.4.4. Mikroapsülenmiş Setil alkol ve Palmitik Asitin Şekil Kararlılığı	75
5.4.5. Mikroapsülenmiş Setil alkolün ve Palmitik Asitin Termal İletkenliği.....	77
5.4.6 Mikroapsülenmiş Setil alkolün ve Palmitik Asitin Termal Davranışı.....	77
5.5. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat ın ve Palmitik asit in Analizi.....	80
5.5.1. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat ın ve Palmitik asitin FT-IR Analizi.....	80
5.5.2. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat ın ve Palmitik asitin SEM Analizi	82
5.5.3. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat ve Palmitik asit in DSC Analizi.....	83
5.5.4. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat ve Palmitik Asitin Şekil Kararlılığı	85
5.5.5. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat ve Palmitik Asitin Termal İletkenliği	87
5.5.6 Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat ve Palmitik Asitin Termal Davranışı	88
5.6. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün Analizi.....	91
5.6.1. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün FT-IR Analizi.....	91
5.6.2. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün SEM Analizi.....	93
5.6.3. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün DSC Analizi.....	94
5.6.4 Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün Şekil Kararlılığı.....	96
5.6.5. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün Termal İletkenliği.....	98
5.6.6. Mikroapsülenmiş Bütıl Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün Termal Davranışı.....	99

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	102
6.1. Sonuçlar.....	102
6.2. Öneriler.....	103
KAYNAKLAR.....	105
KİŞİSEL BİLGİLER.....	115



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1 Isı depolama yöntemleri arasındaki farklar.....	9
Çizelge 2. 1 FDM'lerin kullanım alanları	14
Çizelge 2. 2 Mikrokapsülasyon yönteminde kullanılan dış çeper malzemeleri.....	18
Çizelge 4. 1 Mikrokapsülasyon yönteminde kullanılan kimyasallar	34
Çizelge 4. 2 Yapılan çalışmada kullanılan cihazlar	37
Çizelge 4. 3 Mikrokapsülde kullanılan kimyasalların listesi	43
Çizelge 4. 4 Emülsiyon polimerizasyon fazları	43
Çizelge 4. 5 Çalışmada kullanılan FDM lerin kapsül içeriği	45
Çizelge 5. 1 Saf setil alkol ve mikrokapsülünün FT-IR spektrumu	47
Çizelge 5. 2 Saf setil alkolün ve mikrokapsüllenmiş setil alkolün DSC Eğrileri	50
Çizelge 5. 3 Saf setil alkolün (Se) ve mikrokapsüllenmiş setil alkolün (SeK) termal analizi	51
Çizelge 5. 4 Saf palmitik asit ve mikrokapsülünün FT-IR spektrumu.....	55
Çizelge 5. 5 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) DSC analizi	57
Çizelge 5. 6 Saf palmitik asitin (Pa) ve mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) termal analizi	59
Çizelge 5. 7 Saf ve Mikrokapsüllenmiş bütül stearat FT_IR Spektrumu	63
Çizelge 5. 8 Saf bütül stearat (Bü) ve mikrokapsüllemiş bütül stearatın (BüK) DSC analizi	65
Çizelge 5. 9 Saf bütül stearatın ve mikrokapsüllenmiş bütül stearatın termal analizi .	67
Çizelge 5. 10 Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin FT-IR spektrumu ...	71
Çizelge 5. 11 Mikrokapsüllenmiş setil alkol ve palmitik asitin DSC analizi	74
Çizelge 5. 12 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün ve palmitik Asitin Termal Analizi...	77
Çizelge 5. 13 Mikrokapsüllenmiş palmitik asit ve bütül stearatın FT-IR spektrumu .	81
Çizelge 5. 14 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat ve palmitik asit in DSC Analizi	85
Çizelge 5. 15 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat ve palmitik asitin termal analizi	88

Çizelge 5.16 Mikroapsüllü bütıl stearat, palmitik asit, setil alkolün FT-IR spektrumu	92
Çizelge 5. 17 Mikroapsüllenmiş bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkolün DSC analizi	96
Çizelge 5. 18 Mikroapsüllenmiş bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkolün termal analizi	99



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1 Enerji kaynakları.....	3
Şekil 1. 2 Yenilenebilir enerji kaynakların yıllara göre artış oranları.....	4
Şekil 1. 3 FV hücre ve dizi tasarımları.....	5
Şekil 1. 4 Isı enerjisi depolama yöntemleri.....	6
Şekil 1. 5 Isının gizli ve duyulur ısı olarak depolanması	8
Şekil 2. 1 FDM'lerin değişen ortam sıcaklığına bağlı ısısal davranışları	10
Şekil 2. 2 Faz değiştiren malzemelerin kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılması	11
Şekil 2. 3 İnorganik FDM'lerin ani soğuması.....	12
Şekil 2. 4 FDM'lerin ısıyı depolama ve yayma prensipler	15
Şekil 2. 5 Faz değiştiren malzemelerin erime sıcaklığı ve erime entalpisi	16
Şekil 2. 6 Farklı mikrokapsül yapıları.....	17
Şekil 2. 7 Mikrokapsüllenmiş faz değişim malzemesi.....	18
Şekil 2. 8 Mikrokapsülasyon teknikleri	18
Şekil 2. 9 Arayüzey polimerizasyon mikrokapsülleme yönteminin şeması	20
Şekil 2. 10 In-situ polimerizasyonu ile kapsülleme işlemi	20
Şekil 2. 11 Süspansiyon proses şeması	21
Şekil 2. 12 Polimerizasyon şeması.....	22
Şekil 2. 13 Dispersiyon oluşum şeması	23
Şekil 2. 14 Faz ayırım metodu (koazervasyon yöntemi).....	24
Şekil 2. 15 Sol-jel prosesi mikrokapsülleme yöntemi, (a) yoğunlaşma ve (b) jelleşme	25
Şekil 3. 1 (a) Gizli ısı depolama sisteminin fotoğrafı (b) SAT enerji depolama deney düzeneğinin şeması	26
Şekil 3. 2 Üç farklı BTMS çalışmasının şeması a) dairesel kesit, b) dikdörtgen kesit, c) altıgen kesit	27

Şekil 3. 3 (a) FDM'li BISTFV'nin ve (b) FDM'siz BISTPV'nin fotoğrafları.....	30
Şekil 3. 4 Kompozit FDM'lerin kolay üretiminin şematik gösterimi.....	31
Şekil 3. 5 Güneş enerjisinin etkisiyle oluşan termal görüntü.....	32
Şekil 4. 1 Setil alkol ve palmitik asit ötektik karışım	39
Şekil 4. 2 Setil alkol ve bütül stearat ötektik karışım.....	40
Şekil 4. 3 Palmitik asit ve bütül stearat ötektik karışım.....	40
Şekil 4. 4 Palmitik asit, bütül stearat ve setil alkol ötektik karışım	41
Şekil 4. 5 Emülsiyon yönteminde gerçekleşen reaksiyon oluşumu	42
Şekil 5. 1 Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün FT-IR spektrumu	46
Şekil 5. 2 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün SEM görüntüsü	48
Şekil 5. 3 Setil alkolün DSC eğrisi	49
Şekil 5. 4 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün DSC eğrisi	49
Şekil 5. 5 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün (SeK) şekil stabilize analizi.....	51
Şekil 5. 6 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün ısınma sürecindeki termal davranışı.....	53
Şekil 5. 7 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün soğuma sürecindeki termal davranışı....	54
Şekil 5. 8 Mikrokapsüllenmiş palmitik Asitin (PaK) FT-IR spektrumu.....	55
Şekil 5. 9 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin SEM Analizi	56
Şekil 5. 10 Palmitik asitin DSC eğrisi.....	57
Şekil 5. 11 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) DSC eğrisi	57
Şekil 5. 12 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin(PaK) şekil stabilizesi	58
Şekil 5. 13 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) ısınma sürecindeki termal davranış.....	60
Şekil 5. 14 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) soğuma sürecindeki termal davranış.....	61
Şekil 5. 15 Mikrokapsüllenmiş bütül sitereatin FT-IR spektrumu	62
Şekil 5. 16 Mikrokapsüllenmiş bütül stearatın SEM görüntüsü	64
Şekil 5. 17 Saf bütül stearatın DSC eğrisi.....	65
Şekil 5. 18 Mikrokapsüllenmiş bütül stearatın DSC eğrisi.....	65
Şekil 5. 19 Mikrokapsüllenmiş bütül stearatın şekil kararlılığı	66

Şekil 5. 20 Mikroapsülenmiş bütıl stearatın ısınma sürecindeki termal davranış1..	68
Şekil 5. 21 Mikroapsülenmiş bütıl stearatın soğuma sürecindeki termal davranış1	69
Şekil 5. 22 Mikroapsülenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin FT-IR spektrumu	70
Şekil 5. 23 Mikroapsülenmiş setil alkol ve palmitik asitin SEM görüntüsü.....	72
Şekil 5. 24 Setil alkol ve palmitik asit ötekiğinin(SePa) DSC eğirisi.....	74
Şekil 5. 25 Mikroapsülenmiş setil alkolün ve palmitik asitin (SePaK) DSC eğrisi	74
Şekil 5. 26 Mikroapsülenmiş setil alkol ve palmitik asitin şekil kararlılığı.....	75
Şekil 5. 27 Setil alkol ve palmitik asitin erime sürecindeki termal görüntüsü.....	76
Şekil 5. 28 Mikroapsülenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin (SePaK) ısınma sürecindeki termal davranış1	78
Şekil 5. 29 Mikroapsülenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin (SePaK) soğuma sürecindeki termal davranış1	79
Şekil 5. 30 Mikroapsülenmiş palmitik asit ve bütıl stearatın FT-IR spektrumu.....	80
Şekil 5. 31 Mikroapsülenmiş bütıl stearat ın ve palmitik asitin SEM görüntüsü ...	82
Şekil 5. 32 Bütıl stearat tearat ve palmitik asit ötekiğinin(PaBü) DSC eğrisi	84
Şekil 5. 33 Mikroapsülenmiş bütıl stearat ve palmitik asitin DSC eğrisi	84
Şekil 5. 34 Mikroapsülenmiş bütıl stearat ve palmitik asitin şekil kararlılığı	86
Şekil 5. 35 Bütıl stearat ve palmitik asit ikili ötekiğinin şekil kararlılığı termal analizi.....	87
Şekil 5. 36 Mikroapsülenmiş palmitik asit ve bütıl stearatın (PaBüK) ısınma sürecindeki termal davranış1	89
Şekil 5. 37 Mikroapsülenmiş palmitik asit ve bütıl stearatın (PaBüK) soğuma sürecindeki termal davranış1	90
Şekil 5. 38 Mikroapsülenmiş bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkolün FT-IR spektrumu.....	92
Şekil 5. 39 Mikroapsülenmiş bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkolün SEM görüntüsü.....	93
Şekil 5. 40 Bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkolün DSC eğrisi	95
Şekil 5. 41 Mikroapsülenmiş bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkolün DSC eğrisi	95
Şekil 5. 42 Mikroapsülenmiş bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkolün şekil	

kararlılığı.....	97
Şekil 5. 43 Bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkolün termal davranışı.....	98
Şekil 5. 44 Mikrokapsüllenmiş bütıl stereat, palmitik asit ve setil alkolün(SePaBüK) ısınma sürecindeki termal davranışı.....	100
Şekil 5. 45 Mikrokapsüllenmiş bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkolün(SePaBüK) soğuma sürecindeki termal davranışı	101



SİMGELER

<i>ck</i>	: Katı haldeki özgül ısı (kJ/kg.K)
<i>cp</i>	: Sabit basınçtaki özgül ısı (kJ/kg.K)
<i>cs</i>	: Sıvı haldeki özgül ısı (kJ/kg.K)
<i>He</i>	: Erime gizli ısı (kJ/kg)
<i>m</i>	: Kütlesel debi (kg/s)
<i>Te</i>	: Erime sıcaklığı (K)
<i>Tep</i>	: Erime pik sıcaklığı (°C)
<i>Td</i>	: Donma sıcaklığı (K)
<i>Ti</i>	: İlk sıcaklık (K)
<i>Ts</i>	: Son sıcaklık (K)
<i>Q</i>	: Depolanan enerji miktarı (kW)
<i>ΔH</i>	: Entalpi değişimi (kJ/kg)
<i>ΔT</i>	: Sıcaklık farkı (K)

KISALTMALAR

CTAB	Setiltrimetilamonyum bromür
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
DVB	Divinilbenzen
FT-IR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
MikroFDM	Mikrokapsüllenmiş faz değıştiren madde
SEM	Taramalı elektron mikroskop
GES	Güneş enerjisi sistemleri
PV	Fotovoltaik sistemler
FDM	Faz Değıştiren malzemeler
PCM	Phase change material
TED	Termal enerji depolama
BN	Boron nitrit
EDMA	Etilen glikol dimetakrilat
TEVS	Viniltrietoksisilan
MMA	Metilmetakrilat
BP	Benzoil peroksit
PVP	Polivinilpirolidin
Bük	Mikrokapsüllenmiş bütıl stearat
PaK	Mikrokapsüllenmiş palmitik asit
SeK	Mikrokapsüllenmiş setil alkol
PaBük	Mikrokapsüllenmiş palmitik asit- bütıl stearat ötektik
SePaK	Mikrokapsüllenmiş setil alkol- palmitik asit ötektik
SePaBük	Mikrokapsüllenmiş setil alkol- palmitik asit- bütıl stearat ötektik

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu ve sanayileşmeden dolayı fosil yakıtlardan elde edilen enerji ihtiyacı ve tüketimi her geçen gün artmaktadır. Ancak bu kaynaklar (*kömür, petrol, doğalgaz vb.*) sınırlı miktarda olmasının yanı sıra ekosistemimize de zararlıdır.

Bu nedenle tüm dünyada ve son yıllarda ülkemizde güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmiştir. Coğrafi konumumuz sebebiyle ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisi kaynağı açısından dünyada önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için güneş enerjisi sistemleri (GES) kullanılmaktadır. GES'in beraberinde getirdiği en önemli dezavantaj ise; yüksek sıcaklık bölgelerindeki panellerin aşırı ısınmalarına bağlı olarak gelişen verim düşüklüğü ve panel ömrünün kısalmasıdır. Bu amaçla panellerin hızla soğutulması oldukça önem arz etmektedir.

Bu amaçla ulaşabildiğimiz literatürde T. Ma ve arkadaşları Fotovoltaik panellerde (PV) Faz Değiştiren Malzeme (FDM)'lerin kullanımının soğutma gücünü, gizli ısı depolama kapasitesi arttırdığını uzun yıllar yapılan çalışmalar ile ispat etmişlerdir [1]. Bununla birlikte FDM kullanımı ile termal iletkenliğin ve enerji yoğunluğunun daha iyi sistem performansı sergilediğini söyleyebiliriz. Bu sebepten dolayı FDM kullanımı bu tarz sistemler için vazgeçilmez bir yöntem haline gelmiştir. Bunun yanında FDM'lerin akma dayanımı artırmak, dış etkilere korumak amacıyla mikrokapsülasyon çalışmaları yapılmıştır. D.G. Atinafu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında Miristik asit ve Sitearik asiti ikili ötektik yaparak termal performansını incelemişlerdir [2].

Ancak bu çalışmalardan da anlaşıldığı üzere birçok avantajlar yanında dezavantajlarının da olduğu görülmüştür.

Bu nedenle Faz Değiştiren Malzemeler (FDM)'e ait bu dezavantajları ortadan kaldırmak için kapsüllenmeleri gerektiğine inanarak başlattığımız tez çalışmasında ilk olarak palmitik asit, setil alkol ve bütül sterat kullanılarak hem saf halde mikrokapsüllendi hem de farklı ötektik oranlarda uygun sıcaklık aralıklarında

hazırlanan ötektik FDM'nin mikrokapsülleri hazırlandı. Sonuç olarak literatüre potansiyel olarak fotovoltaiik sistemlerde kullanılabilecek yeni mikrokapsüllenmiş FDM'ler kazandırıldı.

Sonuç olarak; bu çalışmada panellerin hızlı ve verimli bir şekilde optimum çalışma sıcaklığına soğutulabilmesi için literatürde ilk defa tarafımızdan mikrokapsüllenmiş FDM'nin kullanılması önerilmektedir.

1.1.Enerji Kaynakları

Yaşadığımız bu yüzyılda enerji ve teknoloji insanlar için kaçınılmaz bir temel ihtiyaç haline gelmiştir. Enerji kaynakları başlıca iki majör gruba ayrılmaktadır.

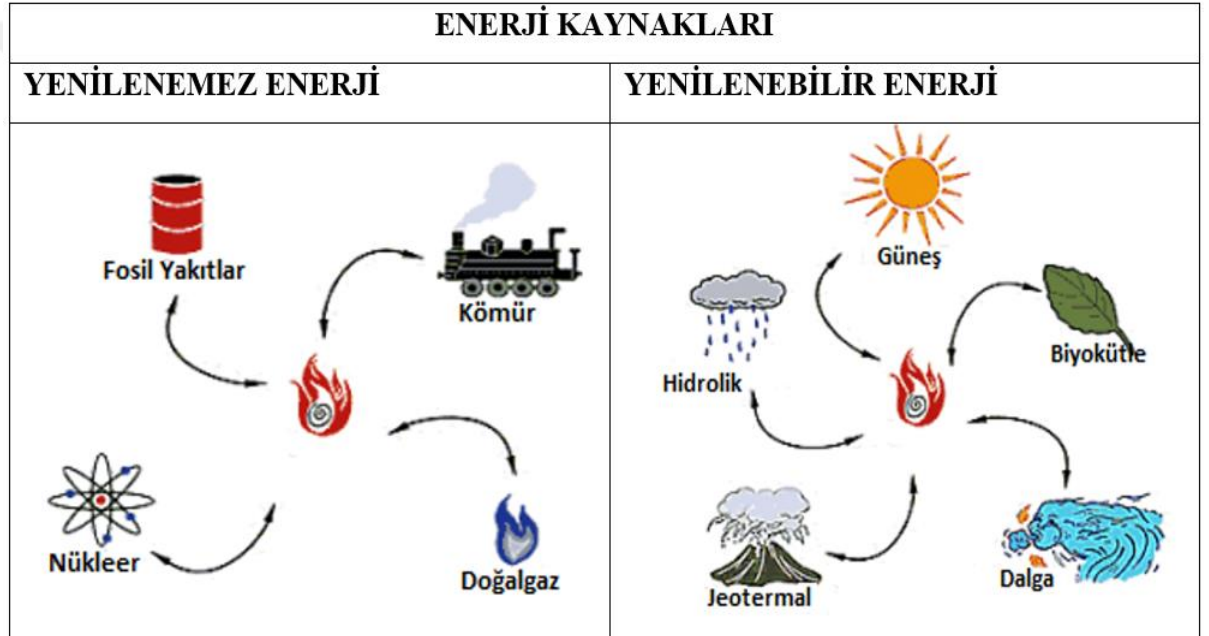
1. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları fosil yakıtlar ve nükleer enerji olmak üzere iki ana başlıkta toplanabilir. Fosil yakıtlar yapılarında yüksek oranda karbon bulunan doğal kaynaklardır. Bu enerji kaynakları arasında; petrol, kömür, doğalgaz bulunur. Nükleer enerji ise maddenin en küçük yapı taşı olan atomun çekirdeğinden ortaya çıkarılır. Birçok farklı sektörde ihtiyaç duyulan bu enerji de bir limiti olduğu ve yeniden kullanım şansı bulunmadığından yenilenemeyen enerji kaynaklarındandır.

Yenilenemez enerji kaynaklarının en temel özelliği sürdürülebilir yapıda olmamalarıdır. Bu nedenle petrol veya doğalgaz yenilenebilir mi sorusunun yanıtı olumsuzdur. Ayrıca kükürtlü, karbonlu ve azotlu yapıda kaynaklar olduklarından çevreye zarar verirler. Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla miktar ve enerji potansiyeli bakımından daha dengeli yapıya sahiptir.

2.Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Ekonomik, çevre dostu ve doğada bulunabilen enerji kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu kaynakların en önemli özellikleri sürdürülebilirliktir. Çünkü doğal kaynaklardan elde edilen enerjilerin herhangi bir limitinin olmaması ve çevre dostu olmalarıdır[3]. Bu grupta; Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Biyokütle Enerjisi, Jeotermal Enerji, Hidroelektrik Enerji, Hidrojen Enerjisi ve Dalga Enerjisi bulunmaktadır (Şekil 1.1).

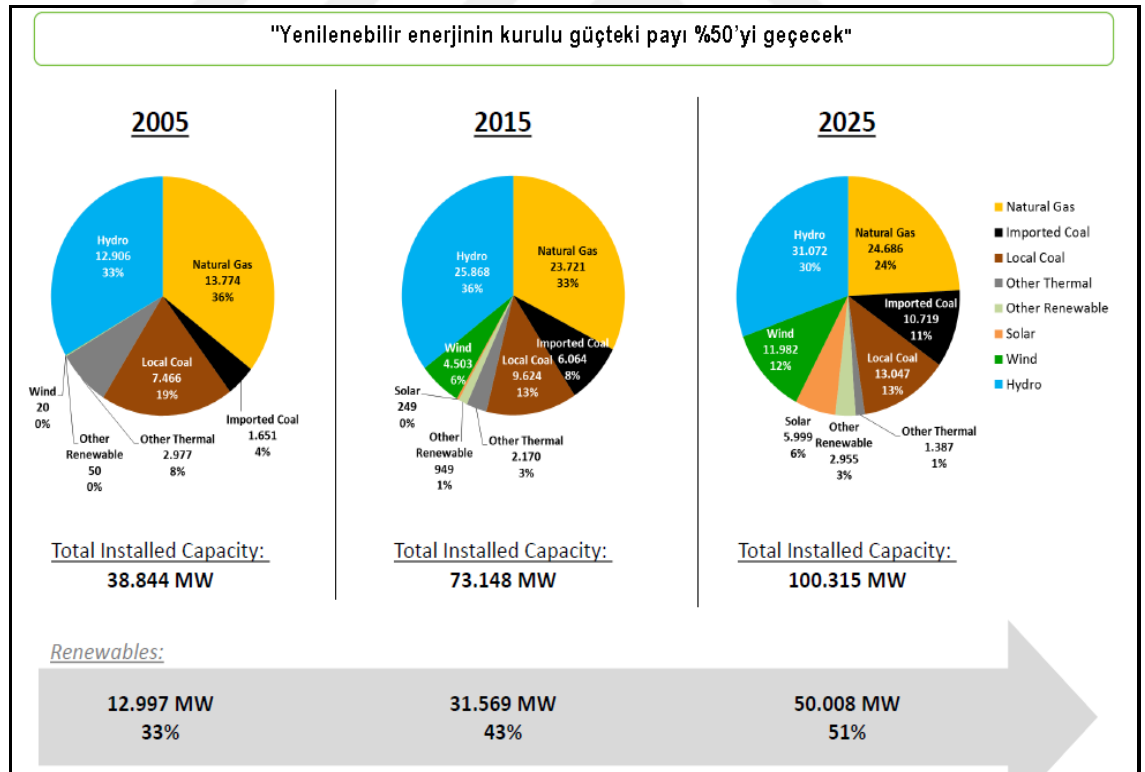


Şekil 1. 1 Enerji kaynakları

1.1.1.Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğada var olan ve süreklilik arz eden enerji kaynaklarından elde edilen enerji türüdür. Yenilenebilir enerjiyi diğer enerji kaynaklarından ayıran en önemli özellik doğal bir şekilde kendini tekrarlaması ve yok olmamasıdır. Bu kaynaklar, doğa dostu olmaları beraberlerinde getirdikleri en önemli avantajdır [4].

Yenilenebilir enerji kaynakları ile yapılan çalışmalar genellikle enerji depolamadaki verimin artırılması ve enerji ihtiyacı karşılayacak en uygun dönüşümün geliştirilmesi üzerinedir. Yenilenebilir enerji türleri içerisindeki en önemli enerji kaynağı güneş enerjisidir. Şekil 1.2 de yenilenebilir enerji kaynakların kurulu güçteki artış oranları, yıllara göre değişimi verilmektedir[3-5].



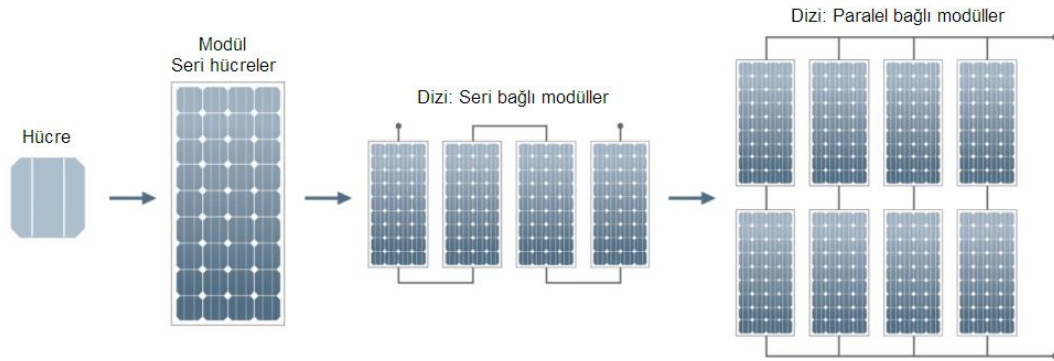
Şekil 1. 2 Yenilenebilir enerji kaynakların yıllara göre artış oranları

1.2.Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler (FV) yarı iletken olmakla beraber güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren uzun ömürlü elektronik sistemlerdir.

Fotovoltaik sistemler coğrafi konum gereği var olan güneş enerjisi zenginliği, kurulum kolaylığı, insan gücüne ihtiyaç duyulmaması ve bunun yanında çevre dostu olması, kullanılacak olan enerji kaynağına ücret ödenmemesi gibi birçok nedenlerden dolayı tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağı sistemidir. FV sistemleri güneş enerjisini %5- 20 arasındaki bir verimlilikle elektriğe dönüştürür [6].

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemlere güneş pilleri denir. Güneş pilleri genellikle silikondan yapılmış yarı iletken katmanlardan oluşur. Tek başına bu yarı iletken pillerin enerji verimliliği düşük olduğundan kurulumları genelde birçok panel sisteminin bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Şekil 1.3’de bu sistemlerin dizi tasarımları verilmektedir[7].

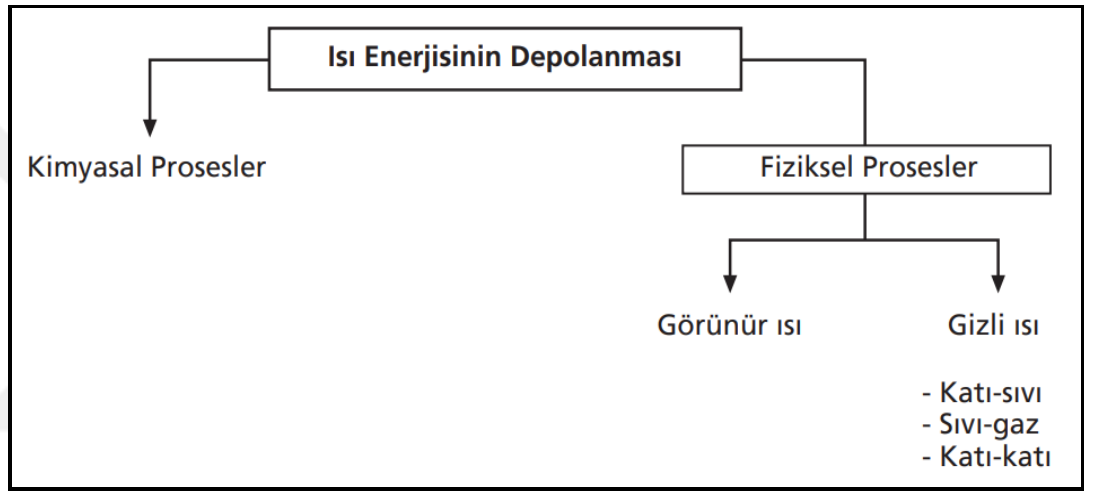


Şekil 1. 3 FV hücre ve dizi tasarımları

1.2.1. Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri

Isı enerji depolanma sistemleri temel olarak iki ana başlıkta toplanmaktadır (Şekil 1.4) [8].

- I. Duyulur ısı depolama(sıvılar,katılar)
- II. Gizli ısı depolama(katı-katı,katı-sıvı,katı-gaz,sıvı-sıvı,sıvı-gaz)



Şekil 1. 4 Isı enerjisi depolama yöntemleri

1.2.2. Duyulur Isı Enerjisi Depolama

Duyulur ısı depolama yönteminde, ısı depolama malzemenin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ısıya verilen addır. Isı depolama sıvı, katı ve sıvı ile katının beraber olduğu malzemelerde gerçekleştirilebilir [7][8][9].

Duyulur ısı yönteminde, depolama materyalinin ve depolama ortamının sıcaklık değişiminden dolayı materyalin kinetik enerjisi değişir. Bu sebepten dolayı oluşan sıcaklık değişiminden yararlanarak depolama yapılır. Enerji katı veya sıvı haldeki malzemenin ısı depolama kapasitesinden elde edilir. Duyulur ısı depolamada ısı yükleme ve boşaltma işlemi süresince depolama materyali hal değiştirme ve reaksiyon gibi kimyasal ve fiziksel bir

değişime uğramadığı için geri kazanma yöntemi ve çok sayıda depolayabilme çevrimlerinde kullanılır[10]. Duyulur ısı yöntemi mükemmel ısı transferi sağladığından, ucuz ve kolay elde edilebilir olmasından dolayı daha çok konutlarda sıcak su sağlamak amacıyla tercih edilir[11]. Bunun yanında ucuz olmaları ve bulunma kolaylığı sağlaması sebebiyle tuğla, su, yağ, toprak veya çakıl taşı tercih edilir[12].

Çok sayıda absorplama ve salınım çevriminin gerçekleşebilmesi bu sistemin avantajı, ihtiyaç duyulan depo hacminin büyük olması ise dezavantajdır[13].

Şöyle ki böyle bir durumda büyük hacimli tanklar kullanmak gerekir. Bunun yanında duyulur ısı depolamak için kullanılan sıvı malzemelerin ise zamanla aşındırıcı özelliğe sahip olmaları, depolanmanın zorlaşmasına ve ısı kaybına yol açmasına sebep olur. Bu sorunları gidermek ve önlemek için hassas ısı depolama sistemleri uygulanmalıdır. Sıcak su üretmek için hassas ısı depolama özellikli, güneş kolektörlerine sahip küçük enerji santralleri uygulama olarak seçilir[13-14-15].

1.2.3.Gizli Isı Depolama Yöntemleri

Bir maddenin faz değişimi sırasında ısı alarak veya ısı vererek yapmış olduğu gizli ısı depolama yöntemidir. Bir başka deyişle bir maddenin iç enerjisindeki değişim sonucu faz değişimi gerçekleşir [13].

Termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddeler Faz değiştirici malzeme (FDM)'dir. Malzemenin faz değiştirmesini sağlayan en önemli etken FDM'nin iç enerjisinin önemli oranda değişmesi ve bu enerjinin materyalin faz değiştirmesine neden olmasıdır.

Uygun sıcaklık aralıklarında, faz değişimi ile ortaya çıkan gizli ısı depolanabilir. Isı depolanması amacıyla, gizli ısı değerleri yüksek ve belirli sıcaklıklarda faz değişimlerine uğrayan ve olan malzemelerden faydalanılır. Katı-katı ve katı-sıvıdır faz değişimleri ısı depolamaya uygundur.

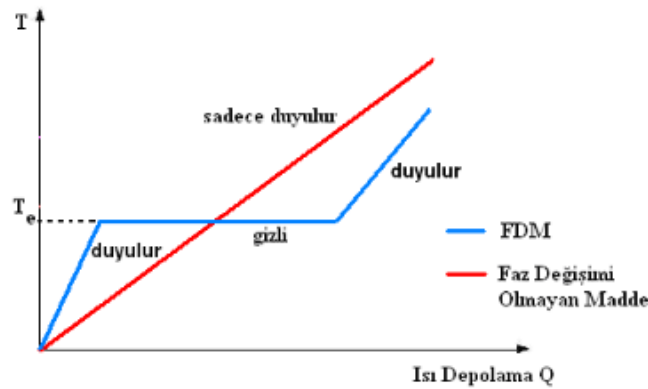
Gaz fazın depolanması için basınçlı depolama kaplarını gerektirmesi nedeniyle sıvı-buhar faz değişimi, ısı depolamaya uygun değildir. Katı

durumdaki bir materyal kristalleşerek diğer bir katı faza dönüştüğünde (katı-katı değişimi), kristalleşme ısısı şeklinde ısı depolanır. Materyal ilk durumdaki katı fazına yeniden dönüştüğünde, faz değişimi sırası da depolanan ısı da geri kazanılır[16-17].

Katı-katı faz değişimi sırasında açığa çıkan gizli ısı miktarının az olması nedeniyle ısı depolamada tercih edilmemektedir. Katı-sıvı faz değişiminde, diğer faz değişimlerine oranla daha az hacim değişimi gerçekleşir.

Isı depolama uygulamalarında kristalleşme ısısı yüksek olan katı-katı faz değişimleri ve/veya hacimsel enerji depolama kapasitesi yüksek olduğundan sadece katı-sıvı değişimleri esas alınmaktadır. FDM sabit sıcaklıkta faz değiştirmeleri sebebiyle hem ısıtma hem de soğutma sistemlerinde ısı depolama ve geri kazanma için uygundur. Faz değişimi sırasında hacimde oluşan farklılaşmalar yapının düzenini oldukça karmaşık hale getirir. Sıvı-sıvı dönüşümlerinde enerji depolaması çok azdır. Katı- katı dönüşümlerde ise katı-sıvı geçişinden daha az gizli ısı değeri ve hacim değişimi meydana gelir[18-19].

FDM ler sabit sıcaklıkta ısıyı emer veya serbest bırakır. Bu özellikleri bir çok araştırmacının dikkatini çekmiş, bu malzemelerin gizli ısı depolama özelliklerini incelemeye ve FDM leri güçlendirmek için termal güçlendiriciler kullanmaya yönlendirmiştir[20].



Şekil 1. 5 Isının gizli ve duyulur ısı olarak depolanması

Gizli ısı depolama yönteminin diğer yöntemlere göre üstünlükleri;

- FDM nin birim kütlesinin ısı depolama yeteneği hacim başına 5-14 kat daha fazladır.
- Isı deposu hacmi daha küçüktür.
- FDM'nin faz değişimi sabit sıcaklıkta ısı gerektiren durumlar için uygundur.
- FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığı (-10 ° C ila 300 ° C) arasındadır.
- Isı depolama kapasitesi daha yüksektir.

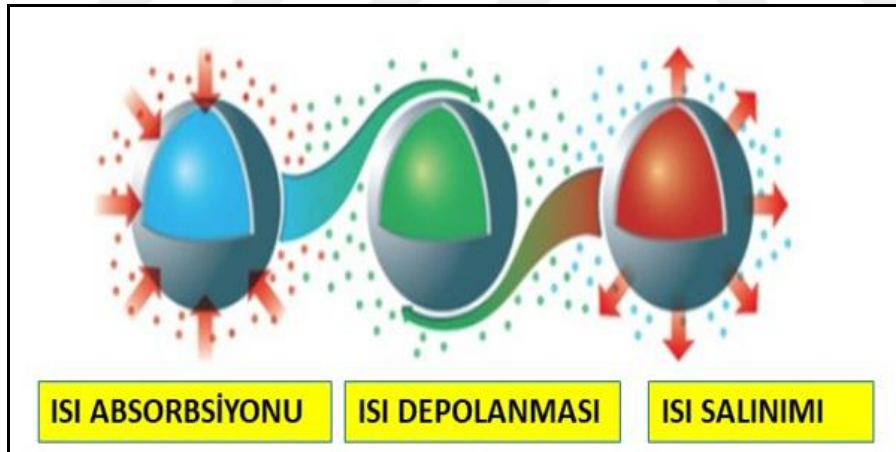
Çizelge 1. 1 Isı depolama yöntemleri arasındaki farklar

Özellikler	Duyulur ısı depolama	Gizli ısı depolama
Depolama kapasitesi	Düşük	Düşük
Geri kazanma sıcaklığı	Değişebilir	Sabit
Yalıtım	Gerekli	Gerekli
Tasarım	Kolay	Zor
Isı kayıpları	Fazla	Fazla

2. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER

Faz değıştirici malzemeler yüksek ısı kapasitesine sahip ve belirli bir sıcaklık aralığında faz değıştirerek enerji depolayan veya salan maddelere denir[21]. Faz değıştiren malzemelerin(FDM) en önemli özelliği faz değışim esnasında yüksek miktarda enerji depolayabilmeleridir. Faz geçişı sırasında katı-gaz ve sıvı-gaz faz değışimleri daha yüksek gizli ısı depolarken, katı-katı geçişlerinde ise depolanabilecek gizli ısı enerjisi miktarı daha azdır. Katı- sıvı faz geçişinde ise yüksek ısı depolama ve bu esnada meydana gelen düşük hacim değışikliği nedeniyle en çok tercih edilen FDM'lerdir[21].

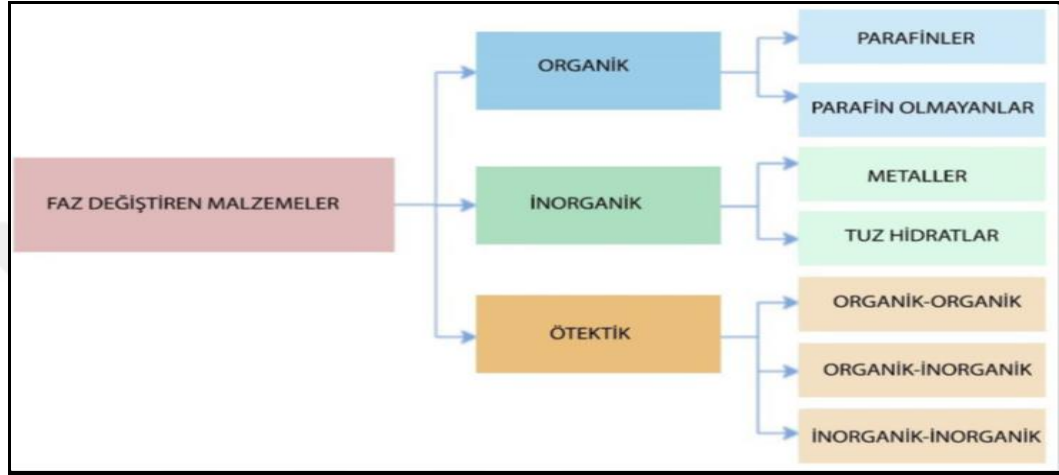
FDM'ler değışen ortam sıcaklığına bağlı olarak farklı davranış biçimleri gösterirler. Sıcaklık artıkça ısıyı absorbe eder ve depolamaya başlar, sıcaklık düşükçe depoladığı ısıyı ortama salar. (Şekil 2.1)'de FDM'nin sıcaklığa bağlı olarak ısı davranışını verilmektedir. [21].



Şekil 2. 1 FDM'lerin değışen ortam sıcaklığına bağlı ısısal davranışları

2.1. Faz Değiştiren Malzemelerin Sınıflandırılması

Faz değiştiren malzemeler organik, inorganik ve ötektik olmak üzere üç alt gruba ayrılırlar (Şekil 2.2) [22].



Şekil 2. 2 Faz değiştiren malzemelerin kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılması

2.1.1. Organik Faz Değiştiren Malzemeler

Yapısında hidrojen ve karbon bulunduran ve doğada bol miktarda bulunan hidrokarbonlardır [9]. Fakat en önemli bir dezavantajları düşük termal iletkenliğe sahip olmalarıdır.

Parafinler

Petrolün ayrışması ile elde edilen alkanlar (C_nH_{2n+2}) grubu düz zincir yapılı hidrokarbonlardır. İçerdikleri karbon sayılarına bağlı olarak katı, sıvı veya gaz halinde bulunabilirler. Alkanların; 1-4 karbon içerenleri; Gaz 5-17 karbon içerenleri; sıvı ve ≥ 17 karbon içerenleri ise; katıdır. Parafinler; $-17-135$ °C sıcaklık aralığına ve 60-268 kJ/kg arası gizli ısıya sahiptirler. En önemli dezavantajları ise; düşük ısı iletkenlikleri olup, inorganik faz değiştiren malzemelere göre daha pahalıdır. Ancak doğada yüksek oranda bulunabilmeleri önemli bir avantajdır. [23-24].

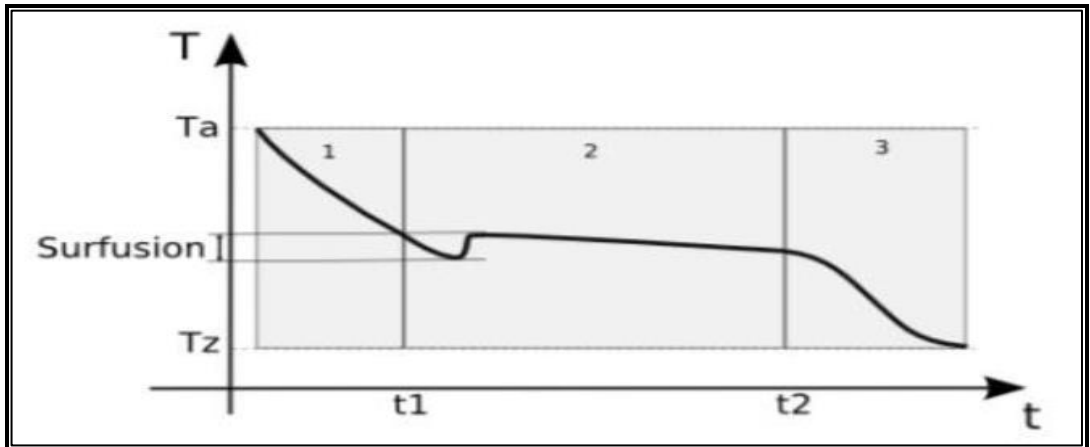
Parafin Olmayan Maddeler

Parafin olmayan faz değıştiren malzemeler düz zincirli bir hidrokarbon grubu ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}$) ve bir $-\text{COOH}$ karboksil grubundan oluşmaktadır. Alkol, ester, yağ sitleri bu grup içerisinde sayılmaktadır.

Yağ asitlerinin erime noktaları; -7 - 187 °C arasında iken, gizli ısı depolama kapasiteleri ise; 125 - 250 kJ/kg arasındadır. Yağ asitlerinin karbonlar arası bağları tek ya da çift olması onların doymuş ya da doymamış olarak gruplandırılmasını sağlar. Parafinlere göre daha pahalıdırlar [23-25].

2.1.2. İnorganik Faz Değıştiren Malzemeler

İnorganik faz değıştiren malzemeler; hacimsel olarak yüksek oranda gizli ısı depolama kapasitesine ve yüksek termal iletkenliğe sahiplerdir. Metaller ve Tuz hidratları olmak üzere iki gruba ayrılırlar ve en önemli avantajları yanıcı olmamaları iken en önemli dezavantajları ise ani soğuma göstermeleridir[9]. Kalsiyum klorür, sodyum tiyosülfat, baryum hidroksit, sodyum sülfat dekahidrat gibi tuz hidratları düşük maliyetli oldukları için bir çok araştırmada kullanılmıştır. Şekil 2.3 de inorganik FDM'lerin ani soğumasını gösteren tablo yer almaktadır[26].



Şekil 2. 3 İnorganik FDM'lerin ani soğuması

Metaller

Doğa da cevher halinde bulunan metallerin ısı iletkenlikleri çok yüksektir. Düşük buhar basıncına, geniş erime sıcaklığı aralığına sahiptirler. Erime noktaları; 30-125°C, gizli ısıları ise; 25- 91 kJ/kg aralığındadır. [23].

Tuz Hidratları

Tuz hidratlar; oksitlerin, karbonatların, nitratların, sülfatların ve halojenürlerin belirli oranlarda su ile etkileşimi sonucu oluşmaktadır. Genel formülleri $X_nY_m \cdot aH_2O$ şeklindedir. Oda sıcaklığında genelde katı halde bulunurlar. Erime noktaları -33 -120°C iken, gizli ısıları ise; 86-328 kJ/kg aralığındadır. En önemli dezavantajları; aşırı soğuma, faz ayrışması ve düşük termal iletkenlik dir. [27].

2.1.3. Ötektik Faz Değiştiren Malzemeler

İki ya da daha fazla faz değiştirici malzemenin uygun yöntemlerle karıştırılması sonucu elde edilen malzemelerdir. Bu yöntemle farklı özelliklerde sayısız ötektik malzemeler üretilebilir [28]. Ötektik FDM; organik-organik, inorganik-inorganik veya organik-inorganik şeklinde sınıflandırılabilir.

2.2. Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanım Alanları

FDM gerek çevre dostu olması gerek ekonomik yönden uygun olmaları nedeniyle her geçen gün kullanım alanları hızla artmaktadır. Birçok uygulama alanı bulunan faz değiştiren malzemelerin bazı kullanım alanları Çizelge 2.1 de verilmiştir [9].

Çizelge 2. 1 FDM'lerin kullanım alanları

• Soğutmada	• Ayakkabı sektöründe
• Isıtmada	• Otomobil sektöründe
• Termal güneş enerjisinin depolanmasında	• Tarım sektöründe
• Tıbbi uygulamalarda	• Elektrikli aletlerin termal korunmasında
• Binalarda pasif ısı depolamada	• Spor alanında
• Tekstil sektöründe	• Uzay mekiği termal uygulamalarında

2.3.Faz Değiştiren Malzemelerin Çalışma Prensipleri

Ortam sıcaklığı FDM'nin erime sıcaklığına ulaştığında FDM katı halden sıvı hale geçer ve erime süresince ısıyı absorbe eder ve FDM'nin sıcaklığı erime tamamlanıncaya kadar sabit kalır (Şekil 2.4)

Ortam sıcaklığının düşmesi ile FDM absorpladığı ısıyı dışarıya vererek sıvı halden katı hale geçer. FDM'nin en önemli özellikleri; defalarca faz değişimlerine uğramalarına karşın yapısal bir bozulma göstermemeleridir.

FDM faz değişimleri esnasında minimum hacim değişikliği göstermelerine rağmen büyük oranda enerji depolarlar ve dayanımları da oldukça yüksektir.

FDM faz değişimleri; katı-katı, katı-sıvı, sıvı-gaz ve katı-gaz şekillerinde gerçekleşir[5].

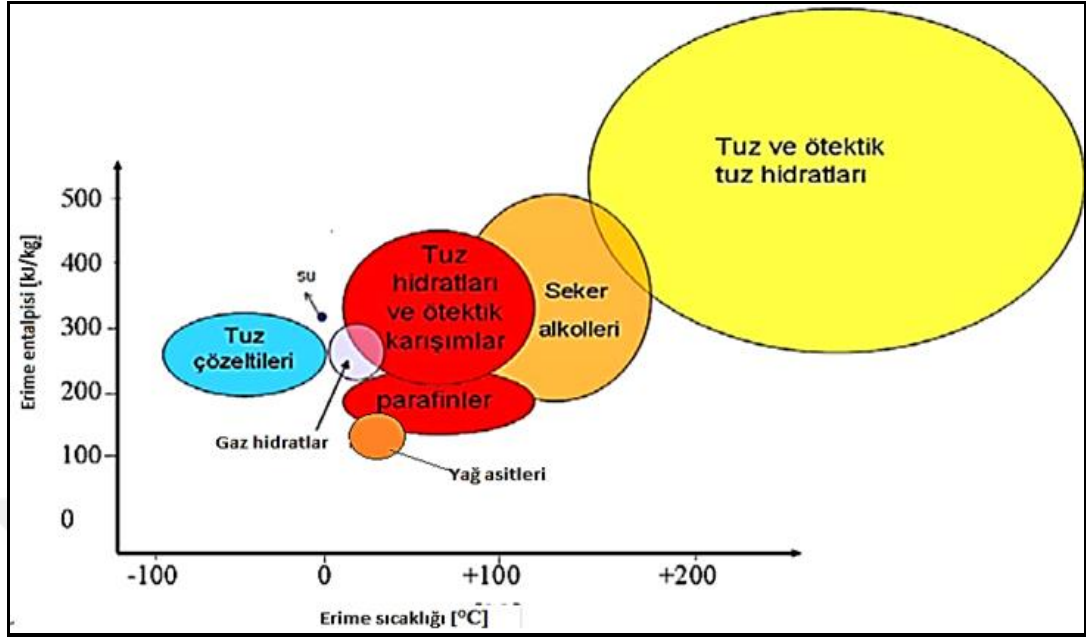


Şekil 2. 4 FDM'lerin ısıyı depolama ve yayma prensipleri

2.4.Faz Değiştiren Malzemelerin Erime Entalpi Aralıkları

Faz değiştiren malzemelerin ısı depolama amaçlı kullanımlarında esas olan nokta uygun sıcaklık aralığına sahip olmalarının yanı sıra yüksek gizli ısı depolama kapasitesine de sahip olmalarıdır. Kullanılacak faz değiştiren malzemenin erime sıcaklık aralığı arttıkça kullanım alanları da artar. Malzemenin ucuz olması ve ulaşılabilir olması en önemli kriterlerinden bir tanesidir. Herhangi bir uygulama için kullanılacak faz değiştiren maddenin seçiminde termo-fiziksel özellikler uygun erime sıcaklığı ve gizli ısı depolamanın yanı sıra; yüksek görünür ısı katsayısı, yüksek termal iletkenlik, faz değişimi esnasında gösterdiği minimum hacim değişikliği ve düşük buhar basıncı, düşük erime ve donma sıcaklık farkıdır [29].

FDM'nin sahip olması istenilen kimyasal özellikleri ise; faz değişiminin tersinir yönde olması, yüksek sayıda faz dönüşüm döngüsüne uğramasına rağmen herhangi bir kimyasal değişime uğramaması, malzemenin aşındırıcı olmaması ve yanıcı olmamasıdır[30]. Şekil 2.5'te FDM'lerin erime sıcaklıklarının füzyon ısılarına göre değişimi diyagram halinde gösterilmiştir[28-31-32].



Şekil 2. 5 Faz değıştiren malzemelerin erime sıcaklığı ve erime entalpisi

2.5. Faz Değıştiren Malzemelerin Kapsüllenme Yöntemleri

FDM'nin farklı alanlarda kullanımları sırasında meydana gelen ve istenmeyen sızma problemi ve hacim değışikliklerinin önüne geçilebilmesi için kapsüllenmeleri gerekmektedir. Temel olarak mikrokapsülasyon ve makrokapsülasyon olmak üzere iki tip kapsülasyon yöntemi vardır. Makrokapsülasyon yöntemi ile elde edilen FDM'nin pratik de uygulama alanlarının kısıtlı olması nedeniyle tercih edilmemektedir. Bu alanda mikrokapsülasyon yöntemleri daha çok tercih edilmektedir.

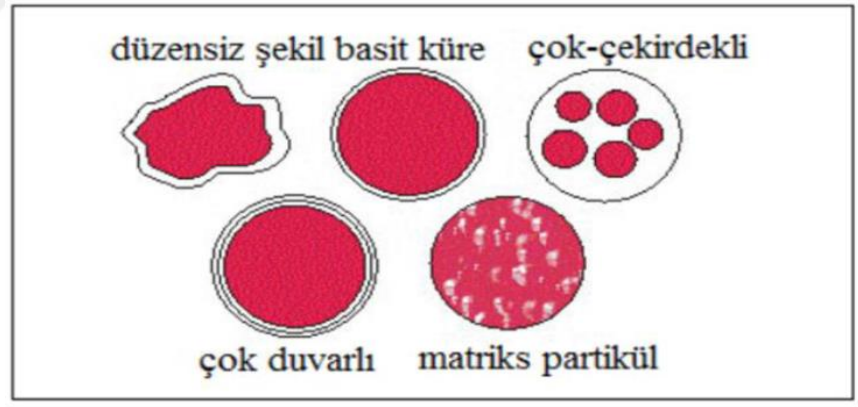
2.5.1. Mikrokapsülasyon Yöntemleri

Mikrokapsülasyon yöntemi FDM'nin fonksiyonel ömrünü uzattığından ve çeşitli uygulama alanlarında daha güvenilir olduğu düşünüldüğünden tercih edilen bir yöntemdir.

Mikrokapsüller partikül büyüklüklerine göre; yaklaşık olarak 1-1000 µm aralığında olan yapılardır. Bu kapsüller boyutlarına göre; nanokapsül (1nm-1µm), mikrokapsül (1µm-1mm) ve makrokapsül (≥ 1 mm) olarak sınıflandırılabilirler [33]. Şekil 2.6 da mikrokapsüllerin farklı yapıları verilmiştir[34].

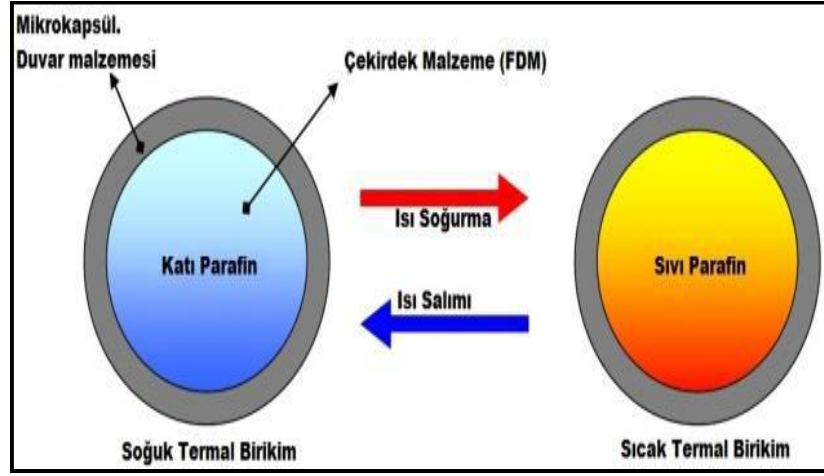
Mikrokapsülasyon Yönteminin Faydaları

1. FDM'nin stabilitesini artırır
2. Dış ortamlara karşı FDM'leri korur
3. Uçucu madde içeren FDM'nin buharlaşmasını önler.
4. Tekrarlanan faz değişim çevrimlerine rağmen kimyasal ve termal olarak kararlılığını sağlar.
5. İstenmeyen tat ve kokuları gizleyerek kullanımını kolaylaştırır.



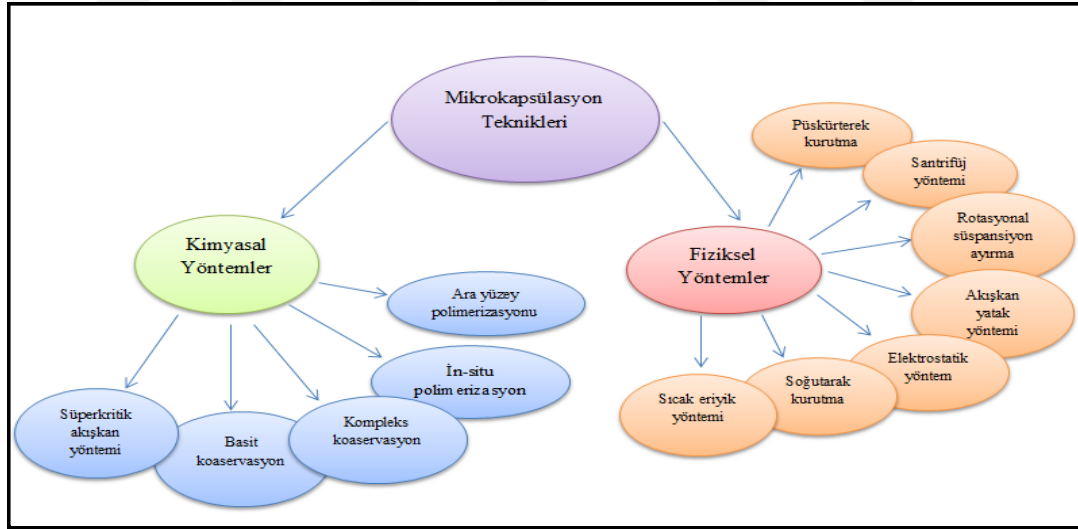
Şekil 2. 6 Farklı mikrokapsül yapıları

Tek çekirdekli mikrokapsüllemede bir dış çeper, çok çekirdekli mikrokapsüllemede ise farklı yerlerde toplanmış birden fazla çekirdek ve etrafını saran bir dış kabuk var iken, matriks yapıli mikrokapsüllerde ise çekirdek kabuk içerisinde homojen bir dağılım sergiler (Şekil 2.7) [34-35].



Şekil 2. 7 Mikrokapsüllenmiş faz değişim malzemesi

Mikrokapsül FDM'nin oluşumu mikro partikül oluşum mekanizmalarına dayanan üç farklı metodolojiye sahiptir. Bunlar kimyasal, fiziksel ve kimyasal, fiziksel ve mekanik yöntem olarak sıralanır. (Şekil 2.8) [36-37].



Şekil 2. 8 Mikrokapsülasyon teknikleri

Mikrokapsül oluşumunda dış çeper oluşumunda birçok malzeme kullanılır (Çizelge 2.2). Dış çeper malzemelerinin seçimi kullanılacak olan malzemenin çeşidine, boyutuna ve kullanılacağı yere göre değişir.

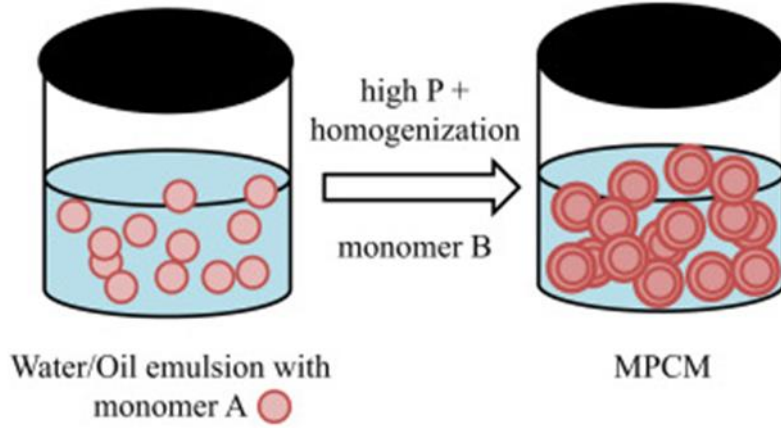
Çizelge 2. 2 Mikrokapsülasyon yönteminde kullanılan dış çeper malzemeleri

Doğal Polimerler	Sentetik Polimerler
Agar	Akrilik polimerler
Albumin	Alifatik poliesterler
Aljinat	CMC
Arap zamkı	Polistiren
Dekstran	PEG
Gluten	Polilizin
Jelatin	Poli amitler
Kazein	Poli üretanlar
Kitozan	Poli orto esterler
Kollajen	PVA
Nişasta	Selüloz ve Selüloz türevleri
Mum (Srtearil alkol, Gliseril stearatlar, vb)	Silikonlar
Pektin	PVP
Zein	Şellak

2.5.1.1.Ara Yüzey Polimerizasyonu

Karışmayan iki sıvı fazın ara yüzeylerinde bulunan çeşitli monomerlerin birbirleri ile reaksiyona girmesiyle arayüzeyde film tabakası şeklinde gerçekleşir [38-45]. Diğer bir deyişle ara yüzey polimerizasyonu polikondenzasyon yöntemi ile gerçekleşir [38].

Monomerlerin derişimi, reaktifliği ve ortam sıcaklığı ortalama polimerizasyon derecesini verir [39-40]. Şekil 2.9’da arayüzey mikrokapsülasyonun oluşum şeması verilmiştir[41-42].

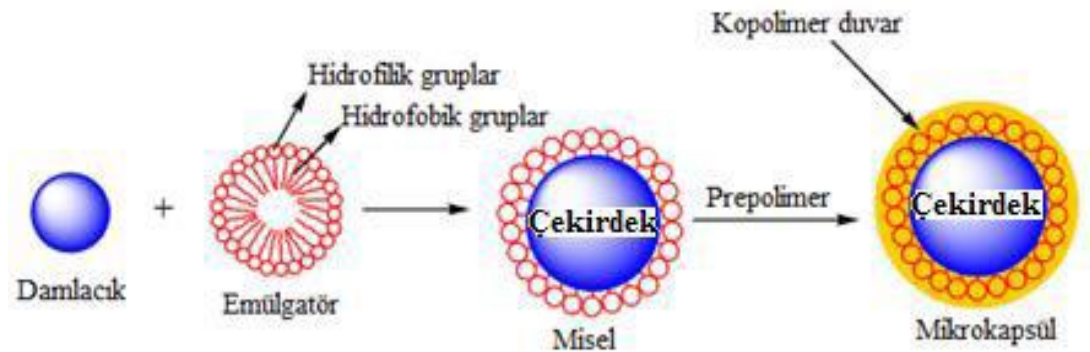


Şekil 2. 9 Arayüzey polimerizasyon mikrokapsülleme yönteminin şeması

2.5.1.2. İn-situ Polimerizasyon

İn-situ polimerizasyonu, ara yüzey polimerizasyonuna çok benzer bir yöntemdir. Bu yöntemde çekirdek maddeye hiçbir reaktif eklenmez. Polimerizasyon yalnızca sürekli fazda ve dispers çekirdek materyali ve sürekli fazın oluşturduğu arayüzeyin devamlı faz kısmında meydana gelir.

Bu yöntemde de arayüzey polimerizasyonundaki gibi uygun bir karıştırıcı yardımıyla çekirdek maddesinin yüzey aktif madde ile sulu emülsiyonu oluşturulur. Daha sonra emülsiyon oluştuktan sonra ön polimer ilave edilir ve polimerizasyonun başlayıp bitmesi için pH ve sıcaklık uygun şartlara getirilir [39-40]. Şekil 2.10'da İn-situ polimerizasyonun kapsülleme işlemi verilmiştir[39].

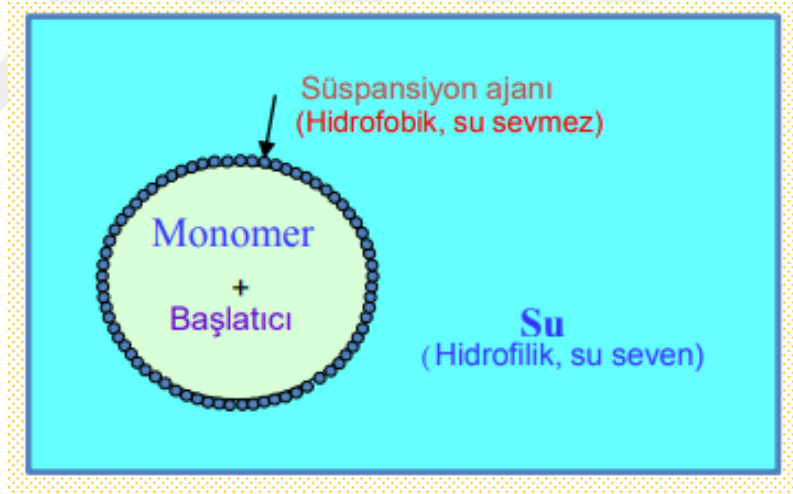


Şekil 2. 10 İn-situ polimerizasyonu ile kapsülleme işlemi

2.5.1.3. Süspansiyon Polimerizasyon

Süspansiyon polimerizasyonu; emülsiyon polimerizasyon sistemine benzer fakat geleneksel emülsiyon polimerizasyonundan farklı olarak polimerizasyonun başlaması için yağda çözünen başlatıcının kullanıldığı parçacık birleşmesi tekniği ile yapılan heterojen polimerizasyon yöntemidir [43-44].

Süspansiyonu hazırlamak için suda düşük çözünürlüğe sahip mikromoleküller su içerisinde stabilize edicilerle karıştırılarak dağıtılırlar. Bu işlemde stabilize edici damlacıkların kümeleşmesini engelleyerek kolloid kararlılığını sağlar. Bu metod ile üretilen mikrokapsüller genellikle milimetrik ve 100 µm'den daha büyük çapla sahip olurlar [39-42]. Şekil 2.11' de süspansiyon polimerizasyon işleminin oluşum şekli verilmiştir[39].

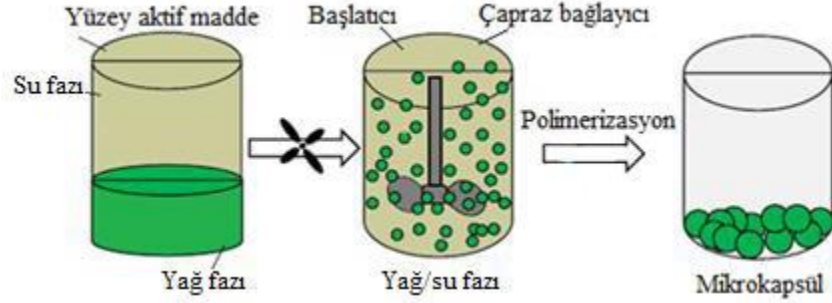


Şekil 2. 11 Süspansiyon proses şeması

2.5.1.4. Emülsiyon Polimerizasyon

Süspansiyon polimerizasyona benzer ve bir heterojen polimerizasyon yöntemi olan bu polimerizasyon yönteminde başlatıcı sulu fazda yer alır. Bu yöntemde karıştırma mikrakapsül çapını belirleyen önemli bir faktördür. Partikül büyüklüğü 100 µm'nin altındadır[39-45]. En önemli dezavantajı yüzey aktif madde konsantrasyonu çok yüksek olduğundan dolayı reaksiyona girmemiş monomerler

bulunabilir [45-46]. Şekil 2.12’de polimerizasyon oluşum aşamaları verilmiştir[39].

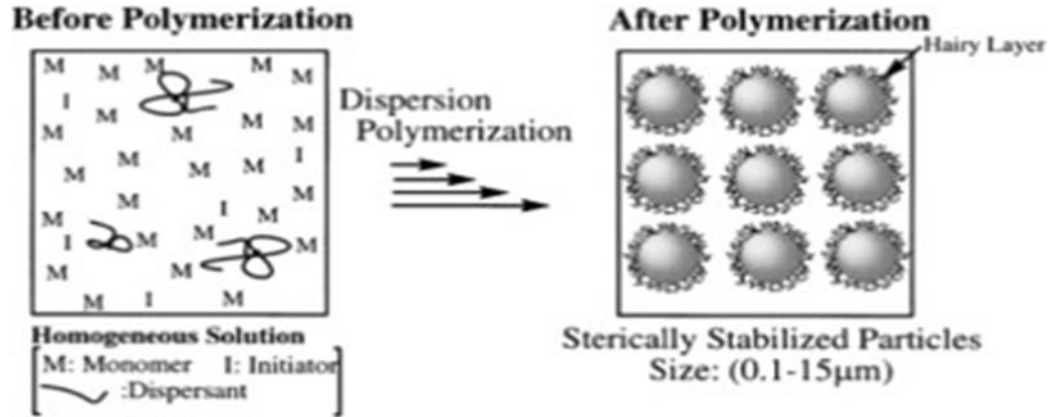


Şekil 2. 12 Polimerizasyon şeması

2.5.1.5. Dispersiyon Polimerizasyon

Dispersiyon polimerizasyonunda polimerizasyon başlatıcıda başlayarak oligomerler oluşturur, oluşan oligomerler bir araya gelerek çökelir ve tanecikleri oluştururlar. Oluşan bu tanecikler yüzey aktif madde kullanılarak stabilize edilir [38-39]. Bu yöntemde 1-20 μm arasında çapa sahip mikrokapsüller oluşur. Yine bu yöntemde monomerler sürekli fazda çözünürken oluşan polimerler çözünmez [39-40].

Dispersiyon polimerizasyonda reaksiyon hızı, yüzey aktif malzeme konsantrasyonu gibi parametrelerin kontrolü oldukça önemlidir[39-41-46]. Çünkü olası bir hatada oluşan monomerler çözünmeyebilir ve böylelikle mikrokapsülasyon olayı gerçekleşmeyebilir. Şekil 2.13’de dispersiyon oluşum şeması verilmiştir[29-47].



Şekil 2. 13 Dispersiyon oluşum şeması

2.5.1.6. Karmaşık Koaservasyon

Karmaşık koaservasyon; Hidrofilik kolloidin sulu çözeltide hazırlanması ve sonrasında ikinci kolloidin eklenmesiyle çekirdek malzeme çevresinde kolloidlerin toplanarak oluşmasıyla gerçekleşen mikrokapsülleme yöntemidir. Burada kullanılan kolloidler farklı yüklere sahiplerdir. Yani ortama eklenen ikinci kolloid farklı yüktedir [35-46].

Oluşma şekillerine göre fiziko kimyasal bir teknik yöntemi olan kompleks koaservasyon metodu ikiye ayrılır. Metodu faz ayırımına dayanan bu teknikte basit ve kompleks koaservasyon olmak üzere iki yöntem kullanılır. Kullanılan bu yöntemi ayıran tek faktör faz ayırımının oluşma şeklidir. Basit koaservasyon yönteminde çözücü madde faz ayırımı görevi için ilave edilir [43].

Kompleks koaservasyon yönteminde ise üç aşamadan oluşan ve zıt yüklü iki polimer kullanılarak yapılır. İlk aşamada genellikle yağ olan çekirdek madde polimer çözeltisi yani sulu katyonik polimer içerisinde yayılırken, ikinci aşamada hazırlanan dispersiyona iki polimer ilave edilir ve bu iki polimer (anyonik, suda çözünebilen) kompleks oluşturarak çekirdek madde üzerine duvar maddesi olarak depozite oluşturur.

Mikrokapsüllerin çeper kalınlığı tuz ilavesi, pH ve sıcaklık değişimi veya ortamı seyreltilmesi ile ayarlanabilir. Üçüncü aşamada ise hazırlanmış olan mikrokapsüller çapraz bağlayıcı veya ısıtma işlemi gibi uygulamalar ile kararlı hale

getirilir [43-48]. Şekil 2.14’de koazervasyon yöntemi verilmiştir[34-49].



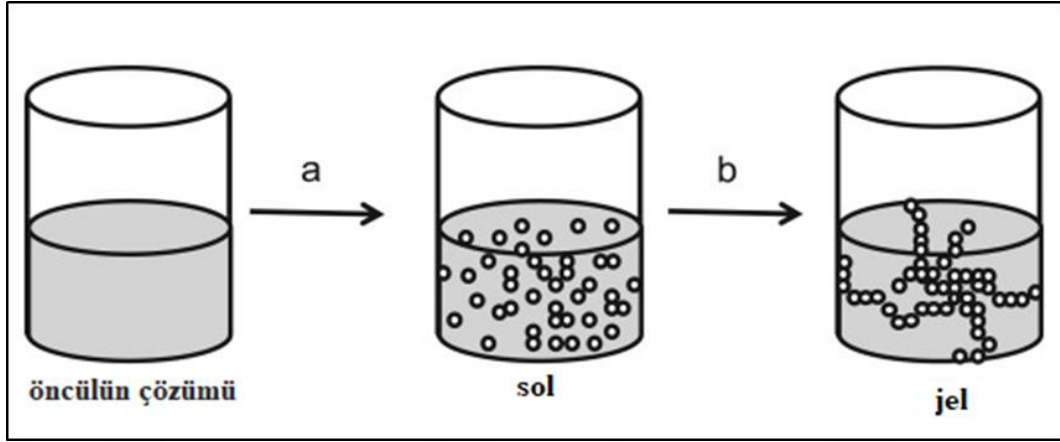
Şekil 2. 14 Faz ayırım metodu (koazervasyon yöntemi)

2.5.1.7. Sol-jel Yöntemi

Üç boyutlu bir şekilde jeli oluşturan inorganik bir ağa sahip katı ve sıvı partiküllerin stabil süspansiyonlarıdır [39]. Bu yöntemin; çevre dostu olması, tek adımda çok fonksiyonlu işlevselliği, düşük sıcaklıklarda çalışılabilme ve uygulama kolaylığı gibi birçok avantaja sahiptir [39].

Sol-jel yönteminde başlatıcı olarak tetraetoksisilan (TEOS) ve titanyum isopropoksit gibi bileşenler, çözücü olarak metanol ve su gibi çözücüler ile katalizör olarak da HCl ve NaOH kullanılır [39].

Sol-jel yönteminde çözücü olarak metal tuzları için su, metal alkoksitler için C_2H_5OH (etanol), C_4H_9OH (bütanol) gibi alkoller kullanılır. Böylelikle su ile karışmayan alkoksit reaksiyona girerek yöntem gerçekleşir [50-51]. Bu yöntemde hidroliz kullanılan katalizörlere bağlı olarak asidik veya bazik hidroliz olarak gerçekleşebilir. Sol-jel yöntemi ile seramik, cam, lif, film kaplama vb. yapıda gereçler üretmek muhtemeldir [39]. Şekil 2.15’de sol-jel yöntemi ile elde edilen mikrokapsülasyonun oluşum şeması verilmiştir[46].



Şekil 2. 15 Sol-jel prosesi mikrokapsülleme yöntemi, (a) yoğunlaşma ve (b) jelleşme

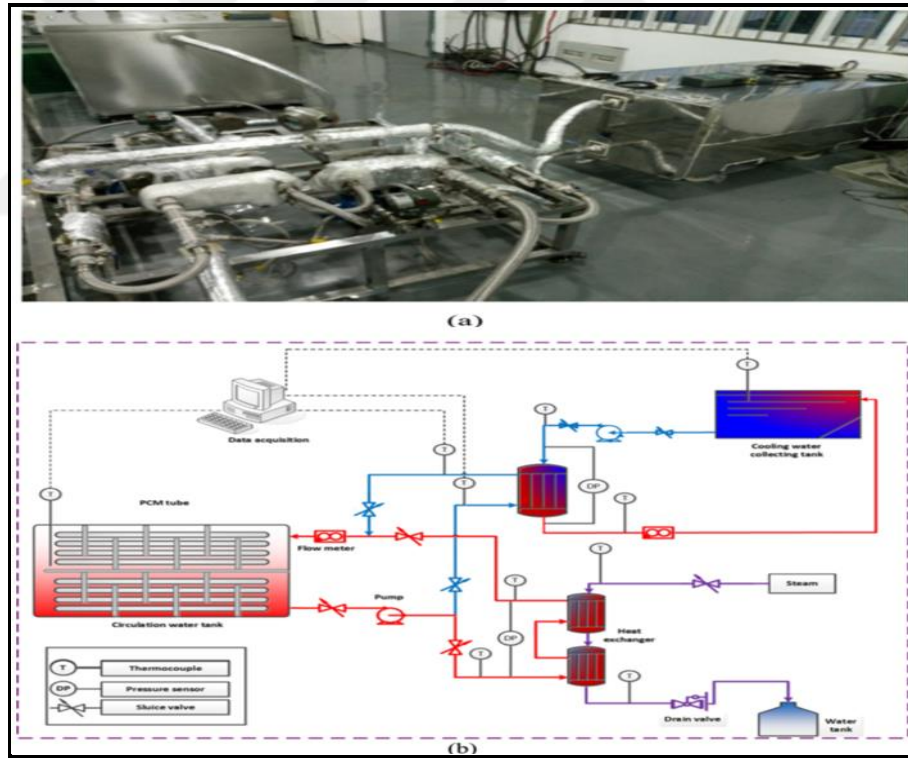
2.5.1.8. Püskürtmeyle Kurutma

Geleneksel yöntemlerden farklı olarak aktif maddenin dış yüzeyinde bulunan koruyucu matrisin spreyle kurutularak kapsüllemesi yöntemidir [34-52-53]. Bu yöntem ile partikül büyüklüğü 100 μm 'den küçük mikrokapsüller elde edilebildiği için partikül büyüklüğünün önemli olduğu ilaç gibi maddelerin kapsüllemesinde önemli bir yere sahiptir [34].

Bu yöntemde materyal bir polimer çözeltisi içerisinde çözülerek sistemde bulunan nozuldan pompalanır ve aerosol şeklinde sıcak hava ile birlikte kabine püskürtülür[54]. Kabinde bulunan sıcak hava sayesinde çözücü ortamdan uzaklaşır ve böylelikle mikrokapsül oluşur [34-51].

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

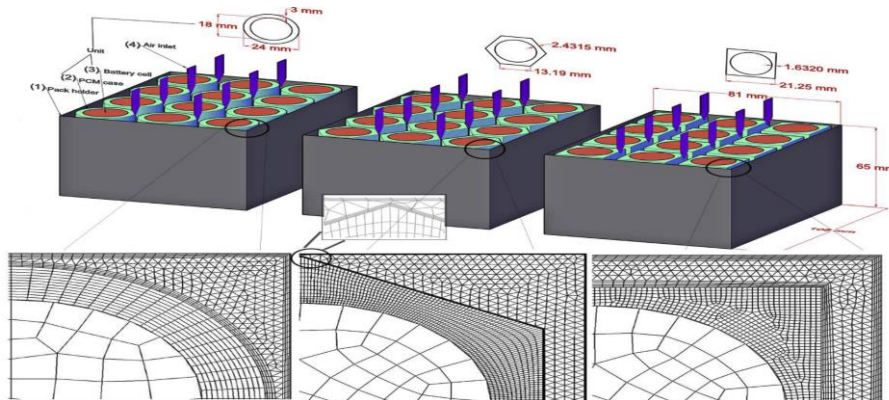
Y. Wang ve arkadaşları (2020) [55] deneysel çalışmalarında, Termal enerji depolama (TES) sistemi düzeneği oluşturmuşlardır. Enerji yükleme ve boşaltma performansını incelemek için sodyum asetat trihidrat faz değiştirici malzeme kullanarak deneysel testler gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları bu düzenek Şekil 3.1 de verilmektedir. Çalışmada yapılan testler sonucunda FDM kullanımı ile iyi bir akış hızına sahip ısı transferi sağlanmıştır. Bu sistemde enerji boşaltımının termal performansını araştırmak için binalarda kullanılan su ısıtılmıştır. Çalışma sonucunda FDM kullanımı ile %79,4 oranında iyi bir termal verimlilik elde etmişlerdir.



Şekil 3. 1 (a) Gizli ısı depolama sisteminin fotoğrafı (b) SAT enerji depolama deney düzeneğinin şeması

Zandi ve arkadaşlarının (1998) [56] yaptığı çalışmada ferfanazin içeren mikrokapsüller oluşturmuşlardır. Mikrokapsüllerin yapısı büyüklüğü verimi üzerinde polimerin etkisi araştırmışlardır. Polimerlerin ağırlığı mikrokapsüllerin boyut dağılımını ve karakteristik özelliğini etkilediği sonucuna varmışlardır. Küçük parçacık boyutuna sahip mikrokapsüllerin yüzey alanına sahip olmakla birlikte, ilaç salınım oranını arttırdığı sonucuna varmışlardır.

M. Safdari ve arkadaşları (2020) [57] çalışmalarında FDM kullanarak pasif-aktif lityum iyon pillerin termal yönetim sistemi (BTMS) üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Pil hücrelerini çevreleyen FDM, şekil 3.2’de gösterildiği gibi eşit hacimlerde dairesel, dikdörtgen ve altıgen olmak üzere üç farklı kap kesitine alınmıştır. Bu BTMS’lerin her biri, aynı paket tutucuya sahip 12 Sony 18650 pilden oluşmuştur. Pil takımının termal yönetimi, farklı şarj ve deşarj oranları incelenmiştir. Sonuç olarak; hem altıgen hem de dairesel FDM kaplarının termal performansının genellikle aynı davranışı gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Batarya termal yönetiminde pasif soğutma amaçlı FDM’nin kullanılması oldukça verimli sonuçlar vermiştir, özellikle dairesel FDM konfigürasyonunu en ideal konfigürasyon olarak belirlenmiştir. Fakat yüksek hızda doldurma veya boşaltma esnasında ise, dikdörtgen şeklin etrafındaki tek tip hava kanalı, diğer düzenlemelere kıyasla daha verimli bir soğutma sağlamıştır.



Şekil 3. 2 Üç farklı BTMS çalışmasının şeması a) dairesel kesit, b) dikdörtgen kesit, c) altıgen kesit

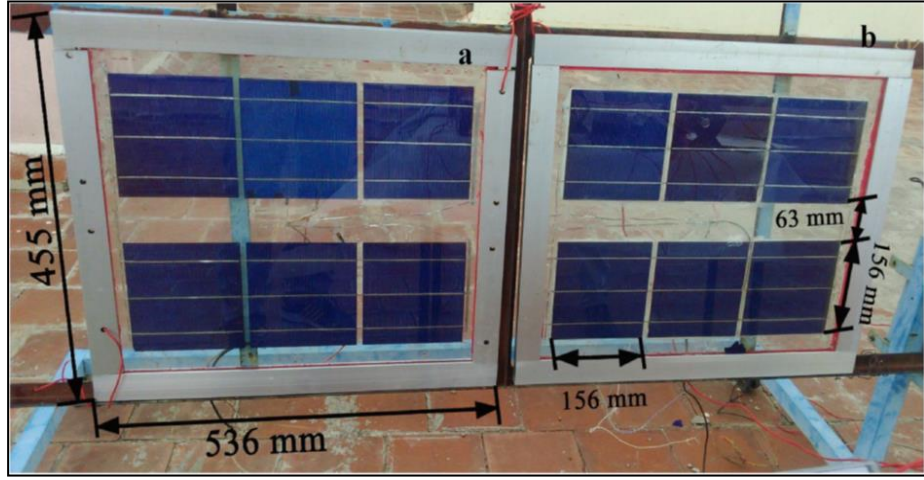
A. Hasan ve arkadaşları (2017) [59] Birleşik Arap Emirlikleri, Al Ain'deki aşırı sıcak çevre koşulları için bir FV/FDM sisteminin enerji performansının yıllık bazda iyileştirilmesi için çalışma tasarlanmıştır. Tahminlerde kullanılan sayısal model deneysel sonuçlara göre kıyaslanmıştır. İki küçük polikristalin EVA kapsüllenmiş ve FV paneli ile açık havada test edilmiştir: Buna göre; FDM'siz bir FV paneli referans olarak alınmış; diğerine ise panelin arkasına parafin bazlı FDM RT 42 (erime aralığı 38-43 °C) ile doldurulmuş dahili kanatlı metalik bir kap eklenmiştir. Sonuçlar, FDM ile kullanılan FV panelin referans olarak alınan panelin sıcaklığına göre ortalama 10,5 ° C'lik bir düşüşe neden olduğu (en yoğun zamanda) ve yıllık bazda FV güç çıkışında % 5,9 artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

N. Tan ve arkadaşları (2021) [60] çalışmalarında, bina yalıtımı için gizli ısı depolama malzemesi olarak kaprik asit ve palmitik asitin ikili ötektiklerini kullanmışlardır. Kaprik asit(CA)–palmitik asit(PA) ötektiklerini soljel yöntemiyle mikrokapsüllemişlerdir. Bu kapsülasyon yönteminde kabuk malzeme olarak iyi bir termal iletkenliğe sahip silika kullanmışlardır. Elde edilen CA-PA/silika form kararlı FDM, 0.17 W/mK termal iletkenlik sergileyerek, çok yavaş bir ısı depolama ve serbest bırakma hızı ile yalıtım amaçlı kullanılabilecek ideal bir FDM özelliği göstermiştir. Sonuç olarak silika kaplı hazırlanan CA-PA/silika FDM'lerin CA-PA ötektik FDM'nin sahip olduğu termal iletkenliğe göre %218 kat daha fazla verim elde edilmiştir.

K. Velmurugan ve arkadaşları (2020) [61] ise çalışmada ilk olarak lauril alkol ve etil alkolü 75:25 oranında karıştırılıp ötektik FDM'yi elde etmişlerdir. Daha sonra elde ettikleri bu ötektik fotovoltaiK'in arka yüzeyine doğrudan iki farklı kalınlıktaki 3 cm ve 5 cm lik FDM'leri FotovoltaiK panele entegre ederek termal değişimlerini incelemişlerdir. 5 cm'lik kabın 3 cm'lik kaba oranla daha yüksek ısı sergileyerek, elektrik verimliliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir. FotovoltaiK (FV) modül sıcaklığındaki maksimum sıcaklık artışında panelin sıcaklığında 10,3°C'lik azalma görülmüştür.

S. Demirbağ (2014) [43] yapmış olduğu tez çalışmasında kompleks koaservasyon metodu ile kumaşların ısı düzenleme ve güç tutuşurluk özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada jelatin/sodyum alginat duvarlı ve jelatin/Arap zambkı, n-eikosan çekirdekli mikrokapsüller üretmişlerdir. Üretilen mikrokapsüllerin oldukça yüksek ısı kapasitesine sahip oldukları DSC ve TGA analizi ile tespit edilmiştir. Nano partiküllerin iyon yükü dikkate alınarak, alüminyum oksit ve nanokillere ilave edildiğinde kumaşların güç tutuşur özelliği ve termal dayanımlarını arttırdığı belirlenmiştir.

A. Karthick ve arkadaşları (2020) [62] yaptıkları çalışmada Sodyum Sülfat Dekahidrat ve Çinko Nitrat Heksahidrat'ın ikili ötektik (70:30) karışımlarını hazırlamışlardır. Ayrıca yarı şeffaf fotovoltaiik (BIST-FV) sistemleri kurmuşlardır ve bu kurulumu hazırlanmış olan ikili ötektik FDM malzemesini ekleyerek (BIST-FV-FDM) bu sistemi modüldeki binaya entegre edip incelemişlerdir. Yıl boyunca her ay DSC sonuçlarına göre elde edilen gizli ısı depolama kapasitelerini karşılaştırmışlardır. Çatıya yerleştirilen BIST-FV modüllerinin boyutları $0.45 \pm 0.70 \pm 0.01$ m'dir. Deney ölçümleri 06:00-18:00 saatleri arasında alınmıştır. Normal şartlarda BIST-FV modülünden üretilen yıllık çıkış gücü 34.287 Wh/yıl iken FDM kullanımından sonra 37.024 Wh/yıl'a çıkmıştır. Böylelikle binalarda BIST-FV-FDM kurulumu enerji verimliliğini arttırdığı sonucuna varmışlardır. Şekil 3.3 (a) ve (b) de fotovoltaiik panellere uygulama şekilleri gösterilmektedir. Sodyum sülfat dekahidrat için DSC sonuçları incelendiğinde donma noktasının $+3^{\circ}\text{C}$ 'de başladığı $+4^{\circ}\text{C}$ 'de tamamlandığı; Çinko nitrat heksahidrat için ise donma noktasının $32,5^{\circ}\text{C}$ 'de başladığı ve 34°C 'de tamamlandığı tespit edilmiştir. Sodyum sülfat dekahidrat için DSC sonuçları incelendiğinde erime noktasının 30°C 'de başladığı $32,4^{\circ}\text{C}$ 'de tamamlandığı; Çinko nitrat heksahidrat için ise erime noktasının 35°C 'de başladığı ve 37°C 'de tamamlandığı tespit edilmiştir. Ötektik DSC sonuçları incelendiğinde ikili ötektiğin donma noktasının 22°C 'de başladığı ve 25°C 'de tamamlandığı ve erime noktasının ise 28°C 'de başlayıp 30°C 'de tamamlandığını belirlemişlerdir.

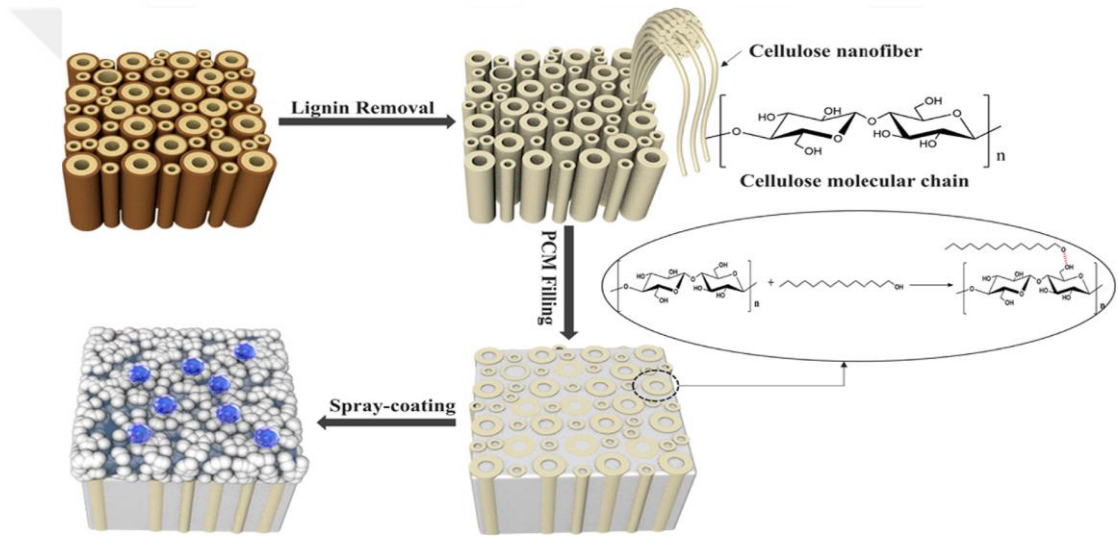


Şekil 3. 3 (a) FDM'li BISTFV'nin ve (b) FDM'siz BISTPV'nin fotoğrafları

A. Sarı ve arkadaşları (2009) [63] çalışmalarında, FDM'lerin sentezi, karakterizasyonu, termal özellikleri ve termal güvenilirliği ile ilgili çalışmışlardır. Termal enerji depolanması için yeni bir katı-sıvı faz değişim malzemesi (FDM) olarak stearik asit esterlerini kullanmışlardır. Ester bileşikleri stearik asidin n-bütül alkol, izopropil alkol ve gliserol esterleridir. Elde edilen FDM'lerin yapısal analizlerini; FT-IR ve ¹H-NMR spektroskopisi ile karakterize etmişlerdir. Termal özellikleri ise DSC ve TGA ile ölçülmüştür. Çalışmada yeni sentezlenen stearik asit esterlerinin önemli enerji depolama potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

J. Yao ve arkadaşları (2020) [64] Çalışmalarında FV/T modülü, doğrudan genleşme oluşturmak için ısı pompası evaporatörü ile birleştirmişlerdir. FV/T (fotovoltaik/termal) teknolojisi, FV modülü (fotovoltaik kullanım) ve kollektörün bir kombinasyonudur. Çalışmada FDM'lerin fototermal kullanımı için güneş enerjisinin kapsamlı kullanım verimliliğini artırabilen bir sistem oluşturmuşlardır. Sistemin matematiksel modeli kurarak farklı koşullar altında sistem performansını doğrulamışlardır. Bu sistemi aynı zamanda konut ısıtması için de simüle etmişlerdir. Çalışma sonucunda FDM kullanılan FV/T modüllerinde enerji verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir.

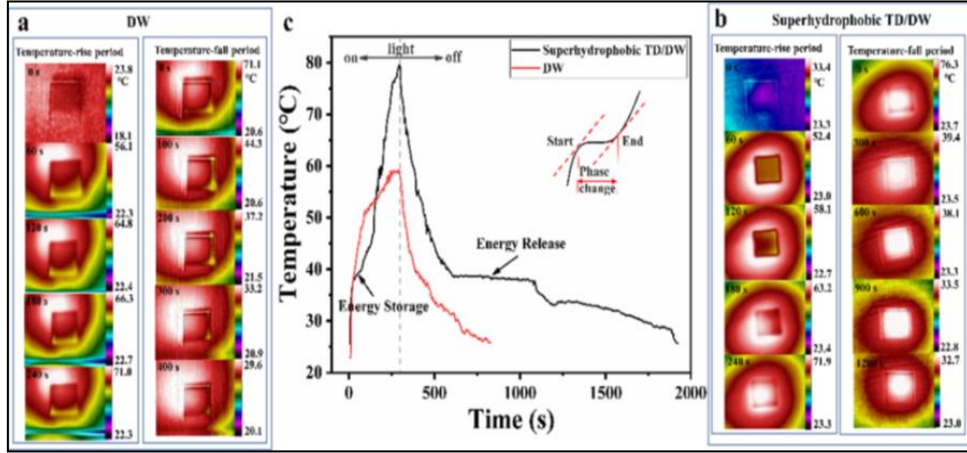
H.Yang ve arkadaşları (2020) [65] çalışmalarında ıhlamur dilimleri kullanarak süperhidrofobik kompozit faz değişim malzemeleri sentezlemiştir. Faz değiştirme malzemesi olarak kullanılan Sodyum klorit (NaClO_2), hidrofilik SiO_2 (7-40 nm), perflorodesiltrioksilan (PFDS), 1-tetradekanolün kullanmışlardır. ıhlamur dilimleri yüzeyine süperhidrofobik kaplama püskürtülerek sıvı sızıntısını engellenmiştir. İşlem basamağı Şekil 3.4’de görülmektedir. Bu şekilde yeni bir kompozit faz değiştirme malzemesi üretmişlerdir.



Şekil 3. 4 Kompozit FDM'lerin kolay üretiminin şematik gösterimi

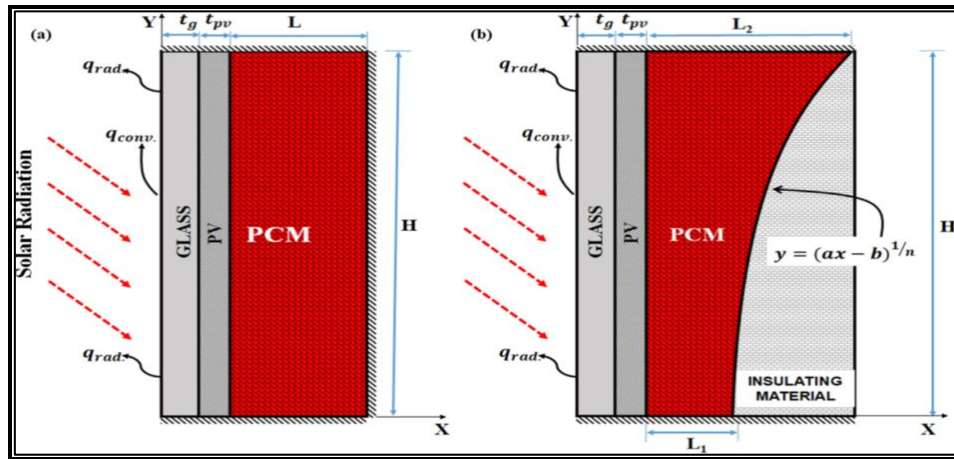
155 °'lik geniş su temas açısına ve süper-hidrofobik stabiliteye sahip bu faz değiştirici malzeme ile ıslak ve nemli ortamlarda bile termal enerji depolama gerçekleştirebilen bir şekil-kararlı ve süperhidrofobik kompozit faz değişim malzeme elde etmişleridir.

Şekil 3.5’te (a ve b) süperhidrofobik malzemesinin kızılötesi termal görüntüleri sıcaklık artış ve sıcaklık düşüş dönemlerinde kompozitin yapısı görülmektedir. (c) de ise süperhidrofobik kompozitlerinin sıcaklık-zaman eğrileri görülmektedir.



Şekil 3. 5 Güneş enerjisinin etkisiyle oluşan termal görüntü

Akshayveer ve arkadaşları (2020) [66] Kapsüllemiş oldukları FDM'leri dikdörtgen bir şekilde panellere yerleştirerek fotovoltaik (FV) panellerin elektrik verimliliğini artırmak için yaptıkları çalışmada; FV panellerinde dört geçici ısı transferi olduğunu saptamışlar ve bu geçişlerin sırasıyla; karışık iletim-konveksiyon, yarı kararlı konveksiyon ve katı-büzülme olduğu, sonuçta da FDM içeren FV panellerin verimliği için uzun süreli yarı kararlı konveksiyon geçişini saptadıklarını bildirmişlerdir.



Şekil 3. 6 PV/FDM sisteminin (a) tip-A dikdörtgen FDM muhafazalı, (b) tip-B, C ve D dikdörtgen olmayan FDM muhafazalı enine kesitini gösteren diyagramı

İki farklı şekilde hazırlanmış olan sistemin enerji verimliliğini karşılaştırmışlardır. Sistemin dizaynı şekil 3. 6 da verilmiştir. FDM siz enerji verimliliği %10.84'e düşer ve hücre sıcaklığı 56,78 °C'ye kadar yükselir, geleneksel dikedörtgen tasarımda elektrik verimliliği artar FV sıcaklığı olarak %7,84'lük bir iyileşme ile %11,69'a çıkar sıcaklık 39.28 °C'ye düşer, son olarak Kübik tasarımda elektrik verimliliğinde %1,87 artış gözlenmiş elektrik verimliliği %11,92'ye ulaşmıştır. Bunun nedeni ise daha fazla FV hücre sıcaklığında %11.5'lik azalmanın olması. Enerji verimliliğinde ise yaklaşık %0,45 oranında artış gerçekleşmiştir.

Z. Zhang ve arkadaşları (2019) [67] Yeni bir Ters emülsiyon polimerizasyon yöntemi oluşturmak için bir silika kabuk içerisinde Sodyum sülfat dekahidratı mikrokapsüllemişlerdir. Bu yöntemde Silika kabuğu oluşturmak için Tetraetoksisilan ve 3-aminopropil-trietoksisilan kullanmışlardır. Elde ettikleri mikrokapsülün uygulama kolaylığı sağladığını, enerji performansının iyi olduğunu FT-IR, DSC, TGA analiz sonuçları ile desteklemişleridir.

C.Veerakumar ve arkadaşı (2020) [68] Faz değişim malzemesi olarak bütül sitereatı kullanmışlardır. Bütül sitereatın termofiziksel özelliklerini kimyasal olarak stabil olduğunu DSC, TGA, FT-IR ve korozyon testi analizleri ile ispatlamışlardır. Bütül sitereatın korozyon testi için cam tüpler içerisine Bakır, Alüminyum ve 316 Paslanmaz çelikten yapılmış üç tane metal numunesi ile bütül sitereat yerleştirilmiş. ASTM G1-03 testi uygulanmıştır. Bu testi 1, 4 ve 12 hafta aralıklarla gözlemlemişleridir. Başlangıçtaki ve sondaki kütle oranlarının farkı hesaplanmış ve bütül sitereatın iyi bir korozyon dayanımı sergilediği gözlemlenmiştir. Bütül sitereat kapsülasyon yöntemi ile gerçek zamanlı uygulamalarda termal enerji depolaması için iyi bir potansiyele sahiptir.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1.Materyal

İkili ve üçlü ötektik sentezi için kullanılan kimyasallar; Yağ alkolü grubunda yer alan setil alkol(Se) ,yağ asiti grubunda yer alan palmitik asit(Pa) ve bütıl stereat (Bü).

Mikrokapsülasyon işlemi için kullanılan kimyasallar; FDM(Setil alkol-Palmitik asit-Bütıl stearat), metil metakrilat (MMA), polivinilpirolidin (PVP), viniltrioksisilan(TEVS),etilen glikol dimetakrilat (EDMA), benzoil Peroksit, boron Nitrit, saf su.

4.1.1 Çalışmada Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Çalışma sırasında kullanılan kimyasal malzemeler listesi Çizelgede 4.1 gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1 Mikrokapsülasyon yönteminde kullanılan kimyasallar

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formül	Ticari Marka Adı	Safılık Derecesi
Palmitik Asit	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Merck	≥98%
Setil Alkol	C ₁₆ H ₃₄ O	Honeywell	≥99%
Bütıl Sitearat	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Sigma- Aldrich	≥40-60%
Metil metakrilat (MMA)	C ₅ H ₈ O ₂	Acros-Organics	≥99%
Polivinilpirolidin (PVP)	(C ₆ H ₉ NO) _n	BioShop	≥99%
Viniltrioksisilan(TEVS)	C ₈ H ₁₈ O ₃ Si	abcr	≥98%
Etilen Glikol Dimetakrilat (EDMA)	C ₁₀ H ₁₄ O ₄	Sigma- Aldrich	≥98%
Benzoil Peroksit	C ₁₄ H ₁₀ O ₄	sigma aldrich	≥99%
Boron Nitrit	BN	sigma aldrich	≥98%

Bütil stearat (Bü)

Erime derecesi 17 °C dir. Sitearatik asitin bütil esteridir. Endüstride birçok alanda kullanılan bu kimyasal yüksek uyumlu bir çözücüdür. Boya katkı maddeleri, gıda sanayisinde, tekstil ve deri endüstrisi gibi alanlarda kullanılır.

Setil alkol(Se)

Erime derecesi, 49,3 °C dir. 16 karbonlu uzun zincirli bir yağ alkolüdür. Palmitil alkol olarakta bilinir. Opaklaştırıcı, yumuşatıcı, koyulaştırıcı gibi bir çok etkisi vardır. Kozmetik alanında çok fazla kullanılan zararsız bir etkiye sahiptir. Mumsu beyaz ve pul şeklinde bir yapısı vardır.

Palmitik asit(Pa)

Erime derecesi, 62,9 °C dir. Hayvan ve bitkilerde bulunan en yaygın doymuş yağ asitidir. 16 karbonludur, baz haline palmitat denir. Palmiye ağacında bulunur. Tereyağ, peynir, süt ve ette de bulunur.

Polivinilpirolidin (PVP)

Erime derecesi 150 °C dir. Genellikle polividon veya povidon olarak da adlandırılan polivinilpirolidon, monomer N-vinilpirolidondan yapılan suda çözünür bir polimerdir. Çözünürlük olarak su ve metil alkol içerisinde çok iyi çözünürlüğe sahiptir. Yüksek düzeyde uyumluluk sergileyen kararlı bir bileşiktir. PVP, çeşitli moleküler ağırlıklarda ve ilgili viskozitelerde mevcuttur ve istenen uygulama özelliklerine göre seçilebilir.

Metil metakrilat (MMA)

Erime derecesi $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Kaynama noktası $101\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Metakrilik asitin Metil esteridir. Renksiz, yanıcı bir sıvıdır. Su içerisinde çözünür. Polimetil metakrilat polimerinin üretiminde kullanılır. Gözle teması körlüğe neden olabilir, deriyi tahriş edebilir. Kullanımında dikkat gerektirir.

Etilen glikol dimetakrilat (EDMA)

Kaynama noktası $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. İki eşdeğer metakrilik asit ve bir eşdeğer etilen glikolün yoğunlaştırılmasıyla oluşan bir diesterdir. Serbest radikal kopolimer çapraz bağlama reaksiyonlarında kullanılabilir.

viniltrioksilan (TEVS)

Kaynama noktası $156\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Renksiz bir sıvıdır. bileşik, bir vinil grubu ve hidrolitik açıdan hassas ethoxysilyl gruplarının her ikisi de sahip, iki fonksiyonlu olduğu. Bu nedenle de bir çapraz bağlama maddesidir.

Benzoil Peroksit

Organik bir asittir. Jellerde, temizleyicilerde ve leke tedavisinde kullanılan kimyasallarda bulunur. Daha çok ilaç tedavisinde kullanılır.

Boron Nitrit

Kaynama noktası $3.273\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Termal ve kimyasal olarak dirençli bir bor ve nitrojen refrakter bileşiğidir. Benzer şekilde yapılandırılmış bir karbon kafesine izoelektronik olan çeşitli kristal formlarda bulunur. Yüksek ısı iletkenlik, iyi bir elektriksel yalıtkanlık, kolay işlenebilirlik ve kimyasal kararlılığa sahip bir maddedir. Elektirk- elektronik ve metalürji malzeme endüstrisinde sıkça kullanılır.

4.1.2.Çalışmada kullanılan cihazlar

Bu tez çalışmasında kullanılan cihazlar Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Yapılan çalışmada kullanılan cihazlar

Cihazın Adı	Marka
Hassas Terazi	RADWAG
Manyetik Karıştırıcı	Wise Stir
Ultrasonik Karıştırıcı	ISOLAB
pH metre	ISOLAB
Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)	Perkin-Elmer DSC 800
FT-IR Spektrofotometre	Perkin-Elmer Spectrum 100
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	Zeiss
Press makinesi	BAYKON3A
Solar Simülatör Cihazı	OptoSense

4.1.3 Faz Değiştirici Malzemelerin Analizi için Kullanılan Cihazlar

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi

Bu analiz tekniğinde numune ve bir referans bulunur. Numune ile referans arasındaki sıcaklığı eşitlemek için numuneye sıcaklık verilir. Verilen bu sıcaklık ile DSC eğrisi oluşur. Yatay eksen sıcaklığı, düşey eksen ise numuneye aktarılan enerjiyi gösterir. Kısacası bu teknik ile malzemenin termal özelliklerini nicel olarak grafiğe aktarılır.

DSC; maddelerin erime ↔ donma sıcaklığı ve bu esnada meydana gelen entalpi değişikliği, özgül ısı kapasitesi, tepkime ısısı gibi sıcaklık ve ısı değişikliklerinin ölçümünde kullanılır. DSC analizleri Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Perkin- Elmer DSC cihazı ile azot gazı atmosferinde 10 °C/dk ısıtma hızında yapıldı.

FT-IR Spektrofotometre Analizi

FT-IR Spektrofotometre organik, inorganik maddeler, plastikler, polimerler, dolgu maddeleri, boyalar, kauçuk, reçine gibi bileşiklerin hızlı bir şekilde tespitini yapmak için kullanılan bir tür titreşim spektrofotometresidir. Numuneye gönderilen kızılötesi ışın, moleküller tarafından absorblanarak vibrasyon(titreşim) ve dönme enerjilerine dönüştürülür. Cihazda ışık kaynağı, örnek yerleştirme kısmı, bant, fotometre, dedektör ve monokromatör gibi kısımlar bulunur.

Bu tez çalışmasında saf halde mikrokapsüllenen FDM'nin kapsülasyon işlemi esnasında kimyasal yapısını koruyabildiğini tespit etmek; ötektik karışım hazırlanırken FDM'ler arasında kimyasal etkileşim olup olmadığı ve yine ötektik karışımlar mikrokapsülendirken kimyasal yapılarının korunduğunu tespit etmek için FT-IR analizinden faydandır. Bu amaçla analizler Adıyaman Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya bölümü Laboratuvarı'ndaki Perkin- Elmer Spectrum One (ATR) markalı cihaz kullanıldı.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde edebilmek için kullanılan bir elektron mikroskobudur. Genel olarak maddelerin saf halleri ile yeni üretilen malzemelerin yüzey morfolojisinin analizi yapılır. Bu çalışmada yapılan SEM analizleri Adıyaman Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan Zeiss EVO-LSLO cihazında gerçekleştirilmiştir.

Solar Simülatör Cihazı

Güneş simülatörü ("yapay güneş" veya "solar simülatör" olarak da bilinir), doğal güneş ışığına yakın aydınlatma sağlayan bir cihazdır. Güneş simülatörünün amacı, güneş pilleri, güneş kremleri, plastikler ve diğer materyal ve cihazların test edilmesinde kullanılabilecek laboratuvar koşullarında kontrol edilebilir bir kapalı test ortamı sağlamaktır[69]. İsteğe bağlı olarak uygulanabilir ve kolaylıkla zamana bağlı

güneş simülasyon yapma imkânı tanır. Bu çalışmada yapılan Solar Simülatör analizleri Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde bulunan OptoSense cihazında gerçekleştirilmiştir.

4.2. Yöntem

Tez çalışmasında iki aşamada gerçekleştirildi. Birinci kısmında bütül stearat, palmitik asit, setil alkolün farklı oranlarda ikili (1:1, 1:4, 4:1, 2:3, 3:2) ve üçlü (1:1:8, 2:3:5, 3:2:5) ötektik karışımları hazırlandı. Ötektikli özelliği gösteren ve uygun erime sıcaklığına sahip FDM'ler de yine emülsiyon polimerizasyonu yöntemiyle mikrokapsüllendi.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise öncelikle saf haldeki bütül stearat, palmitik asit ve setil alkol emülsiyon polimerizasyonu yöntemiyle mikrokapsüllendi.

4.2.1 Ötektik Karışım

4.2.1.1. Setil Alkol ve Palmitik Asit İkili Ötektiği

	Kimyasal Formül	Yoğunluk	Erime Derecesi
Setil alkol	$C_{16}H_{34}O$	811 kg/m ³	49,3 °C
Palmitik asit	$C_{16}H_{32}O_2$	853 kg/m ³	62,9 °C



Setil alkol



Palmitik asit

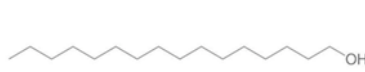
Şekil 4. 1 Setil alkol ve palmitik asit ötektik karışım

Hassas terazide 5 farklı oranda (1:1, 2:3, 3:2, 4:1, 1:4) palmitik asit ve setil alkol tartıldı. Manyetik karıştırıcının sıcaklığı 70 °C ye getirilerek 800 rpm karıştırma hızına ayarlandı. Öncelikle beher içerisine alınan palmitik asit manyetik karıştırıcıya alındı, palmitik asitin erimesi tamamlandıktan sonra setil alkol ilave edildi ve homojen bir karışım elde etmek için 2 saat karıştırılmaya bırakıldı. Elde

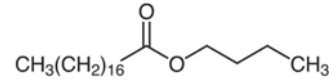
edilen ötektik karışım buz banyosunda ani soğutma işlemine tabi tutuldu.

4.2.1.2. Setil alkol ve Bütil Stearat İkili Ötektiği

	Kimyasal Formül	Yoğunluk	Erime Derecesi
Setil alkol	$C_{16}H_{34}O$	811 kg/m ³	49,3 °C
Bütil sitearat	$C_{22}H_{44}O_2$	0.861 g/mL	17-21°C



Setil alkol



Bütil sitearat

Şekil 4. 2 Setil alkol ve bütil stearat ötektik karışım

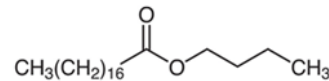
Hassas terazide 5 farklı oranda (1:1, 2:3, 3:2, 4:1, 1:4) bütil stearat ve setil alkol tartıldı. Bütil stearat ultrasonik karıştırıcıda erime sıcaklığında 30 dk karıştırıldı, ayrı bir beherde manyetik karıştırıcıda 800 rpm hızında erime sıcaklığında ısıtılan setil alkol ilave edildi. 4 saat sonra elde edilen ötektik karışım buz banyosunda ani soğutuldu.

4.2.1.3. Palmitik Asit ve Bütil Stearat İkili Ötektiği

	Kimyasal Formül	Yoğunluk	Erime Derecesi
Palmitik asit	$C_{16}H_{32}O_2$	853 kg/m ³	62,9 °C
Bütil sitearat	$C_{22}H_{44}O_2$	0.861 g/mL	17-21°C



Palmitik asit



Bütil sitearat

Şekil 4. 3 Palmitik asit ve bütil stearat ötektik karışım

Hassas terazide 5 farklı oranda (**1:1, 2:3, 3:2, 4:1, 1:4**) palmitik asit ve bütül stearat tartıldı. Ultrasonik karıştırıcının sıcaklığı 65 °C ye getirilerek çalıştırıldı. Öncelikle beher içerisine alınan palmitik asit ultrasonik karıştırıcıya alındı ve 10 dk sonra içerisine bütül stearat ilave edildi ve homojen bir karışım elde etmek için 2 saat karıştırılmaya bırakıldı. Elde edilen ötektik karışım buz banyosunda ani soğutmaya tabi tutuldu.

4.2.1.4. Palmitik Asit, Bütül Stearat ve Setil Alkol Üçlü Ötektiği

Hassas terazide 3 farklı oranlarda (**1:1:8, 2:3:5, 3:2:5**) ayrı beherler içerisinde palmitik asit, setil alkol ve bütül stearat tartıldı. Öncelikle beher içerisine alınan palmitik asit ultrasonik karıştırıcıda erime sıcaklığında yaklaşık 30 dk karıştırıldıktan sonra içerisine setil alkol ilave edilerek karışım 20 dk ısıtıldı. Son olarak aynı karışıma manyetik karıştırıcıda erime sıcaklığında ısıtılan bütül stearat ilave edildi ve homojen bir karışım elde etmek için 3 saat karıştırılmaya bırakıldı. Elde edilen ötektik karışım buz banyosunda ani soğutmaya tabi tutuldu.

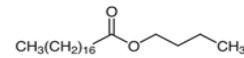
	Kimyasal Formül	Yoğunluk	Erime Derecesi
Palmitik asit	$C_{16}H_{32}O_2$	853 kg/m ³	62,9 °C
Bütül stearat	$C_{22}H_{44}O_2$	0.861 g/mL	17-21 °C
Setil alkol	$C_{16}H_{34}O$	811 kg/m ³	49,3 °C



Palmitik asit



Setil alkol



Bütül stearat

Şekil 4. 4 Palmitik asit, bütül stearat ve setil alkol ötektik karışım

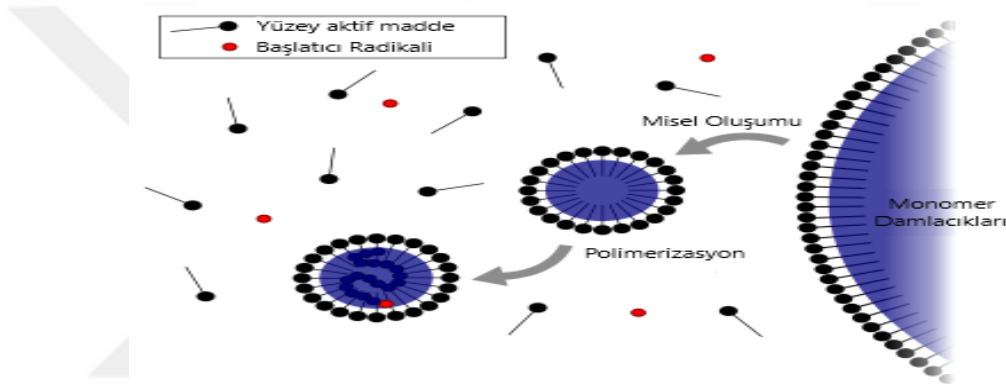
4.2.2. Mikrokapsülasyon İşlemi

Tez çalışmasında iki aşamada gerçekleştirildi. Birinci kısmında bütül stearat, palmitik asit, setil alkolün farklı oranlarda ikili (**1:1, 2:3, 3:2, 4:1, 1:4**) ve üçlü (**1:1:8, 2:3:5, 3:2:5**) ötektik karışımları hazırlandı. Elde edilen ötektik özellik gösteren ve uygun erime sıcaklığına sahip FDM'ler de yine emülsiyon

polimerizasyonu yöntemiyle mikrokapsüllendi.

Çalışmanın ikinci kısımda ise aşamasında öncelikle saf haldeki bütül stearat, palmitik asit ve setil alkol emülsiyon polimerizasyonu yöntemiyle mikrokapsüllendi.

Tez çalışmasında mikrokapsülleme yöntemlerinden biri olan emülsiyon polimerizasyon metodu kullanıldı. **D. Quan ve ark. 2017[70]**, **H. Wang ve ark. 2018 [71]**, **C. Wu ve ark. 2014 [72-76]**. Çalışmamızdaki bu yöntem ve sonuçları literatür ile uyumlu idi. **Şekil 4.5** de emülsiyon polimerizasyon yöntemi özetlenmiştir.



Şekil 4. 5 Emülsiyon yönteminde gerçekleşen reaksiyon oluşumu

Çizelge 4. 3 Mikrokapsülde kullanılan kimyasalların listesi

Madde adı	Madde oranı	Maddenin özelliği
Setil alkol, palmitik asid, bütül stearat safları ve ötektikleri	10 gr	FDM
PVP	5.6 gr	Yüzey aktif madde
MMA	11ml	Polimerleştirici
TEVS	2.25 ml	Çapraz bağlayıcı
Saf su	350 ml	Çözücü
EDMA	1 ml	Kopolimer çapraz bağlayıcı
Benzoil Peroksit	0.002 g	Başlatıcı
Boron nitrit	0.001 g	Katkı maddesi

Çizelge 4. 4 Emülsiyon polimerizasyon fazları

Sulu Faz	Yağ fazı	Sulu faz-Yağ fazı
350 ml saf su	11 ml MMA	10 gr FDM
5.6 g PVP	2.25 ml TEVS	0.001 g Boron Nitrit
	0.002 g Benzoil Peroksit	Sulu faz içerisine yağ fazı ilave edildi
		1 ml EDMA
		0.002 g Benzoil Peroksit

Mikrokapsülasyon basamakları:

Mikrokapsülasyon işlemi bütül stearat üzerinden örneklendirildi. Diğer mikrokapsülasyon işlemleride aynı basamaklarla tekrarlandı.

- Basamak:** 350 ml saf su ölçüldü ve içerisine 5.6 g PVP eklenerek 50 °C sıcaklıktaki manyetik karıştırıcıya yerleştirilerek 1,5 saat karıştırıldı. Daha sonra aynı karışıma 10 gr bütül stearat ilave edildi. Bütül stearat

erime sıcaklığına kadar ısıtıldı daha sonra karışıma 0.001 g Boron Nitrit ilave edilerek 20 dk karıştırıldı.

2. **Basamak:** 11 ml MMA, 2.25 ml TEVS ve 0.002 g benzoil peroksit eklenerek 80 °C sıcaklıktaki yağ banyosunda 1 saat karıştırıldı.
3. **Basamak:** Bütil stearat içeren karışım yağ banyosundaki karışıma ilave edilerek 1 ml EDMA ve 0.002 g Benzoil Peroksit de aynı karışıma ilave edildi.
4. **Basamak:** Karışım manyetik karıştırıcıdan alınarak 80 °C olan yağ banyosuna yerleştirildi. 24 saat yağ banyosunda karıştırıldı.
5. **Basamak:** Deney 24 saatin sonunda alınarak buzlu bir kap içerisinde manyetik karıştırıcıda 15 saat karıştırıldı. Elde edilen mikrokapsüllenmiş bütil sterat süzülerek kurutuldu.

Mikrokapsüllerin FDM içeriği aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı;

$$\Phi = \frac{\text{Mikrokapsüllenmiş FDM}(\Delta H_e + \Delta H_d)}{\text{Safl FDM}(\Delta H_e + \Delta H_d)}$$

Φ : Mikrokapsülün % FDM içeriği

$\text{Mikro}(H_e + H_k)$: mikrokapsüllerden gelen erime ve kristalleşme entalpisinin toplamıdır.

$\text{FDM}(H_e + H_k)$: FDM'den gelen erime ve kristalleşme entalpisinin toplamıdır.

Çizelge 4. 5 Çalışmada kullanılan FDM lerin kapsül içeriği

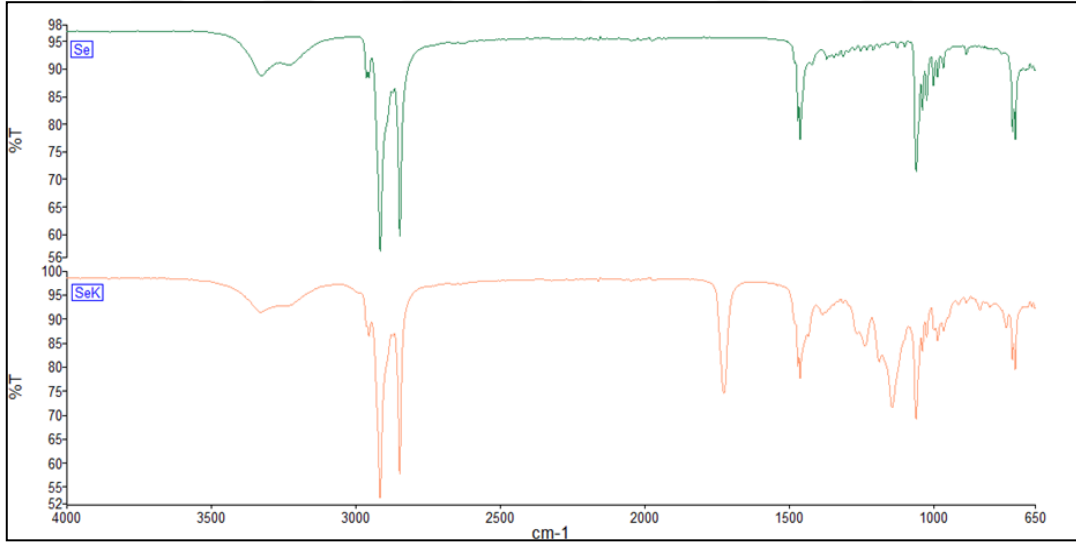
Kapsül FDM	%Kapsül İçeriği
SeK	51
PaK	37
BüK	6
SePaK	22
PaBüK	66
SePaBüK	31

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün Analizi

5.1.1. Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün FT-IR Analizi

Setil alkolün FT-IR spektrumu incelendiğinde Setil alkole ait –OH gerilme piklerinin $3416\text{--}3142\text{ cm}^{-1}$ 'den mikrokapsülasyon işlemi sonrasında $3419\text{--}3142\text{ cm}^{-1}$ 'e kaydığı belirlendi. Setil alkole ait 1061 cm^{-1} 'de gözlemlenen C-O pikleri dikkate alındığında ise mikrokapsülasyon işlemi sonrasında aynı piklerin 1064 cm^{-1} 'e kaydığı tespit edildi. Setil alkolün temel piklerinde önemli değişikliklerin olmaması mikrokapsülasyon işlemi sonrasında faz değiştirici malzemenin kimyasal yapısının aynı kaldığını gösterdi.



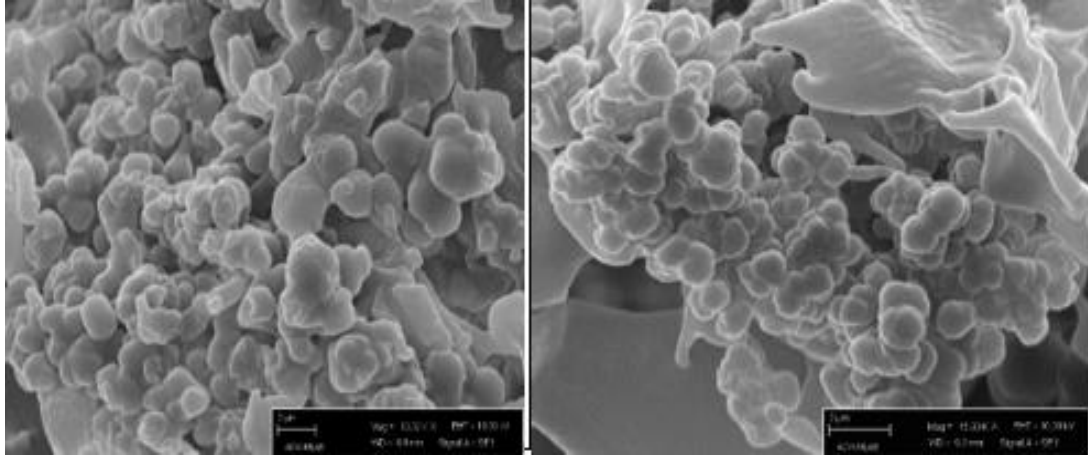
Şekil 5. 1 Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün FT-IR spektrumu

Çizelge 5. 1 Saf setil alkol ve mikrokapsülünün FT-IR spektrumu

DM	Ortak Fonksiyonel Grupların FT-IR Analizi	
	Titreşim Modu	Pik Frekansı (cm ⁻¹)
Se	O-H (Gerilme)	3416-3142 (yayvan pik)
	C-H (Gerilme)	2963-2847
	C-H (Eğilme)	1463
	C-O (Gerilme)	1061
SeK	O-H (Gerilme)	3419-3142 (yayvan)
	C-H (Gerilme)	2952-2850
	C=O	1728
	C-H (Eğilme)	1462
	C-O (Gerilme)	1064

5.1.2 Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün SEM Analizi

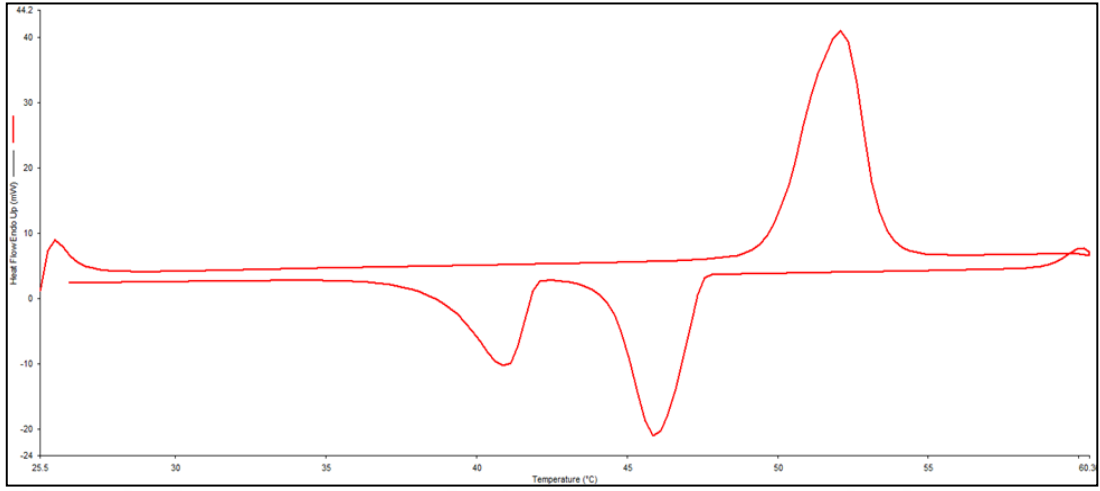
Sentezlenmiş olan Setil alkolün mikrokapsülünde kapsül oluşumunun ve yüzey özelliklerinin araştırılması için Taramalı elektron mikroskopunda SEM analizi yapılmıştır. Şekil 5.2 de de görüldüğü üzere setil alkol mikrokapsülleri oldukça pürüzsüz bir yüzeye sahip olmakla birlikte aynı zamanda küresele şekle yakın bir oluşum göstermiştir. Tanecikli yapının oluşumu mikrokapsüllerin oluştuğunu kanıtlamaktadır. Görüntülerde setil alkolün mikrokapsüllerin dışında kaldığına dair bir bulgu yer almamaktadır.



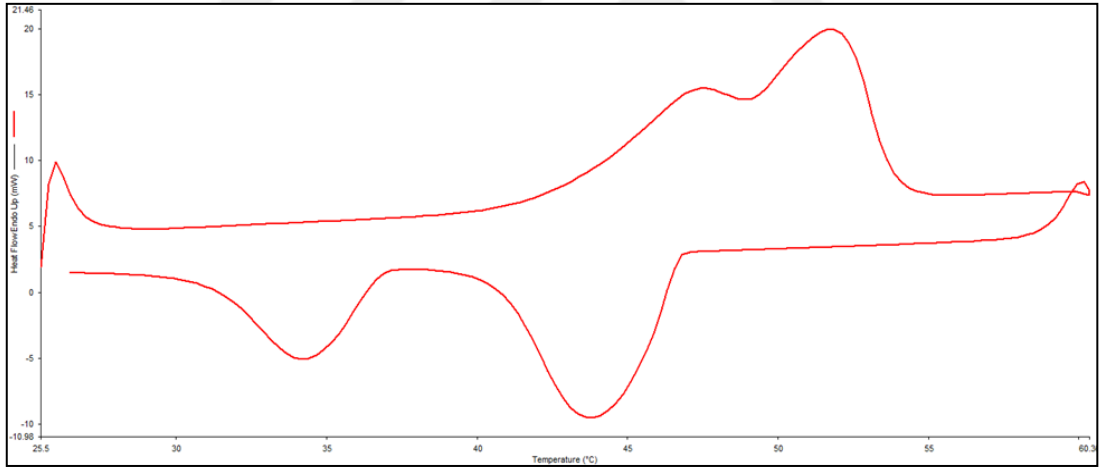
Şekil 5. 2 Mikroapsülenmiş setil alkolün SEM görüntüsü

5.1.3. Mikroapsülenmiş Setil Alkolün DSC Analizi

Mikroapsüllerin ısı depolama özelliklerini incelemek için yapılan DSC analiz sonuçları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 de gösterildi. Elde edilen DSC eğrisinde setil alkolün saf halinin (Se) 49,84 °C de erimeye başladığı, 53,46 °C de ise erimenin tamamlandığı belirlendi. Erime esnasında 226.80 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı saptandı. Aynı şekilde setil alkolün saf halinin (Se) 47.46 °C de katılaşmaya başladığı, 44.43 °C de ise katılaşmanın tamamlandığı tespit edildi. Katılaşma esnasında -131.45 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı belirlendi. Mikroapsülenmiş setil alkolün (Se) 46.44°C de erimeye başladığı, 53.86 °C de ise erimenin tamamlandığı belirlendi. Erime esnasında 99.25 J/g'lık gizli ısı enerjisi depoladığı tespit edildi. Setil alkolün katılaşma piki incelendiğinde iki pik gözlemlendi 1. Pikin katılaşma, 2.Pikin ise kristalizasyon sıcaklığına ait olduğu saptandı. Katılaşmanın; 46.71°C sıcaklıkda başlayıp, 40.66 °C de sonlandığı, Kristalizasyonun ise; 36.80 °C sıcaklıkda başlayıp, 31.13°C de sonlandığı tespit edildi. Katılaşma sırasında ise -54.72 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı saptandı. 2. Pik te ise katılaşma esnasında ise -27.73 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı tespit edildi.



Şekil 5. 3 Setil alkolün DSC eğrisi



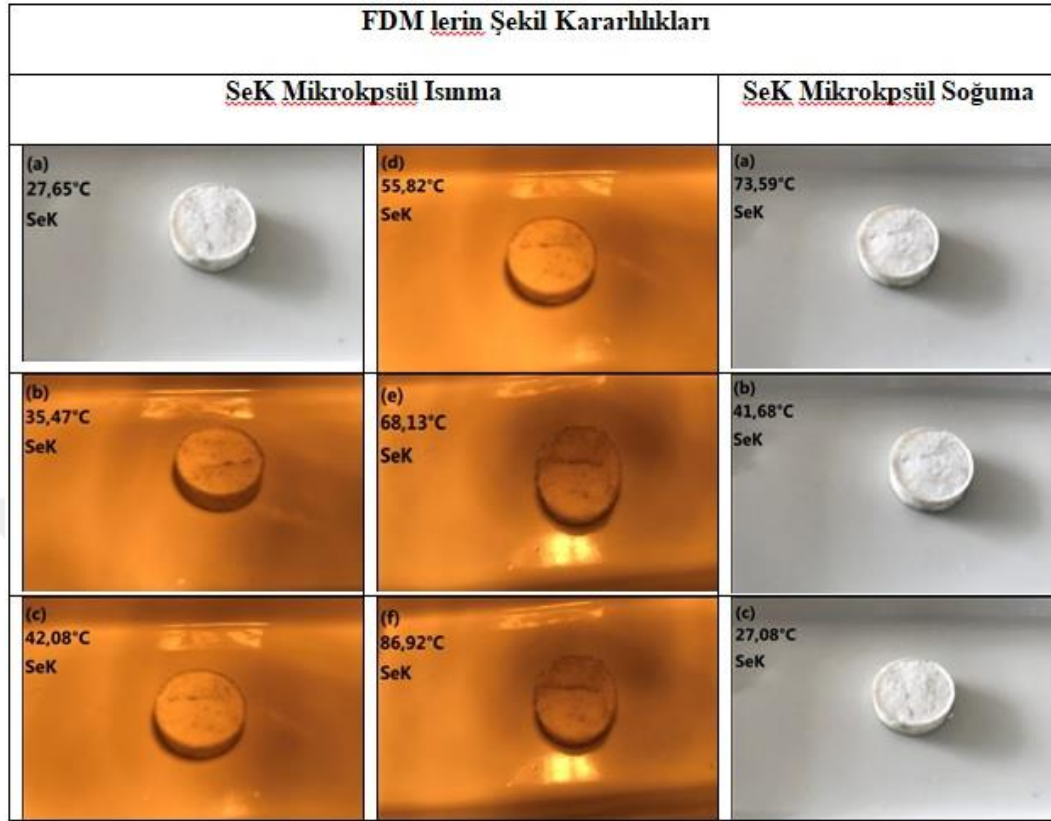
Şekil 5. 4 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün DSC eğrisi

Çizelge 5. 2 Saf setil alkolün ve mikrokapsüllenmiş setil alkolün DSC Eğrileri

		Setil Alkol	Setil Alkol Kapsül
Erime Noktası (°C)	Başlangıç	49.84	46.44
	Tepe	52.09	51.87
	Bitiş	53.46	53.86
	$\Delta H_m(j/g)$	226.80	99.25
Donma Noktası (°C)	Başlangıç	47.46	46.71
	Tepe	45.86	43.85
	Bitiş	44.49	40.66
	$\Delta H_m(j/g)$	-131.45	-54.72
Kristalizasyon Noktası	Başlangıç	-	36.80
	Tepe	-	34.16
	Bitiş	-	31.13
	$\Delta H_m(j/g)$	-	-27.73

5.1.4 Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün Şekil Kararlılığı

Setil alkolün şekil kararlılığını belirlemek için mikrokapsüllenmiş setil alkol 1800 Pa basınç altında preslenerek oda sıcaklığından başlayarak 90°C'ye kadar ısıtılma işlemine tabii tutuldu. Görüntüler incelendiğinde ısıtma işlemi esnasında setil alkolün erime sıcaklığının çok üzerinde ısıtılmasına rağmen preslenen yapıların şekillerini koruduğu tespit edildi. İdeal FDM'nin ısıtma işlemi sonrasında ani soğutma göstermemesi ve soğuma esnasında şekil stabilitesini koruması gerekliliği elde edilen mikrokapsüllenmiş setil alkolde de gözlemlendi.



Şekil 5. 5 Mikrokapsülenmiş setil alkolün (SeK) şekil stabilize analizi

5.1.5 Mikrokapsülenmiş Setil Alkolün Termal İletkenliği

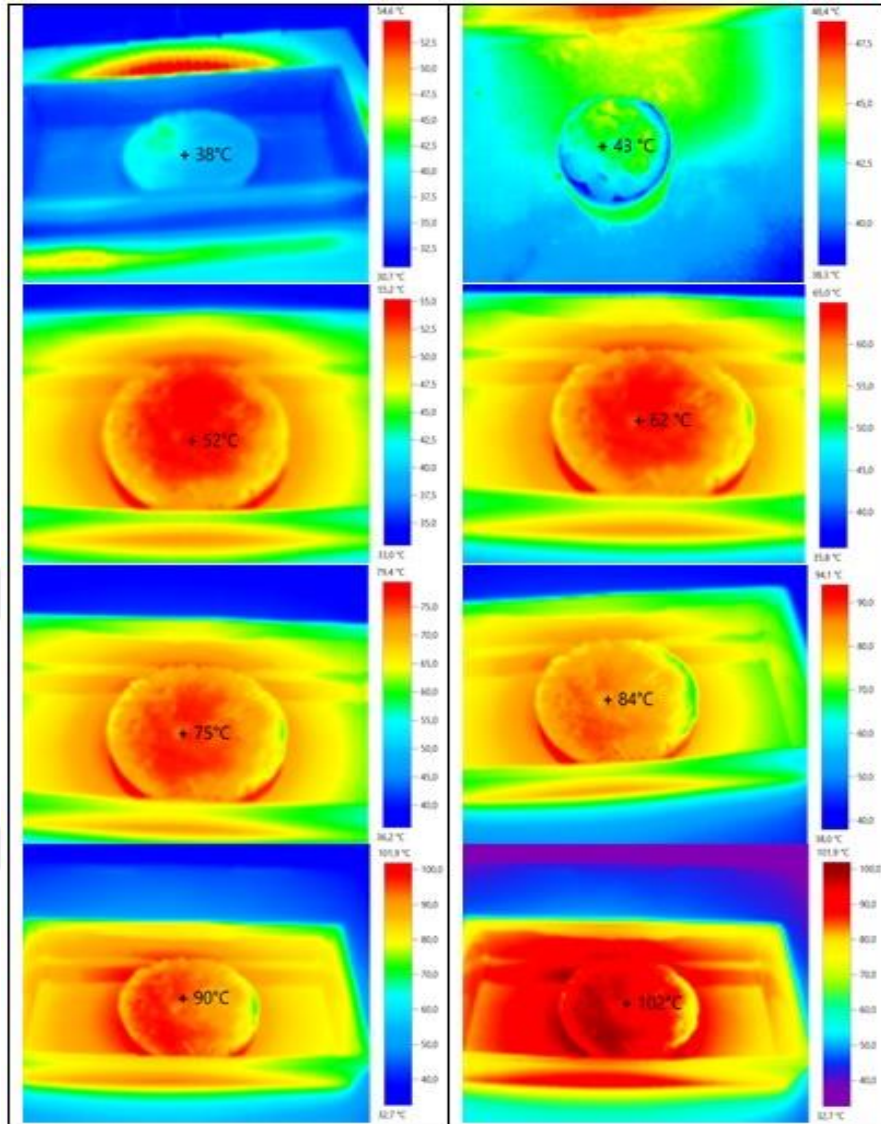
Çizelge 5. 3 Saf setil alkolün (Se) ve mikrokapsülenmiş setil alkolün (SeK) termal analizi

Setil Alkolün Termal Analizi			
Madde	Termal İletkenlik W/m.K	Sıcaklık °C	Hata Payı
Se	0,111	22,30	0,0075
SeK	0,136	29,91	0,0122

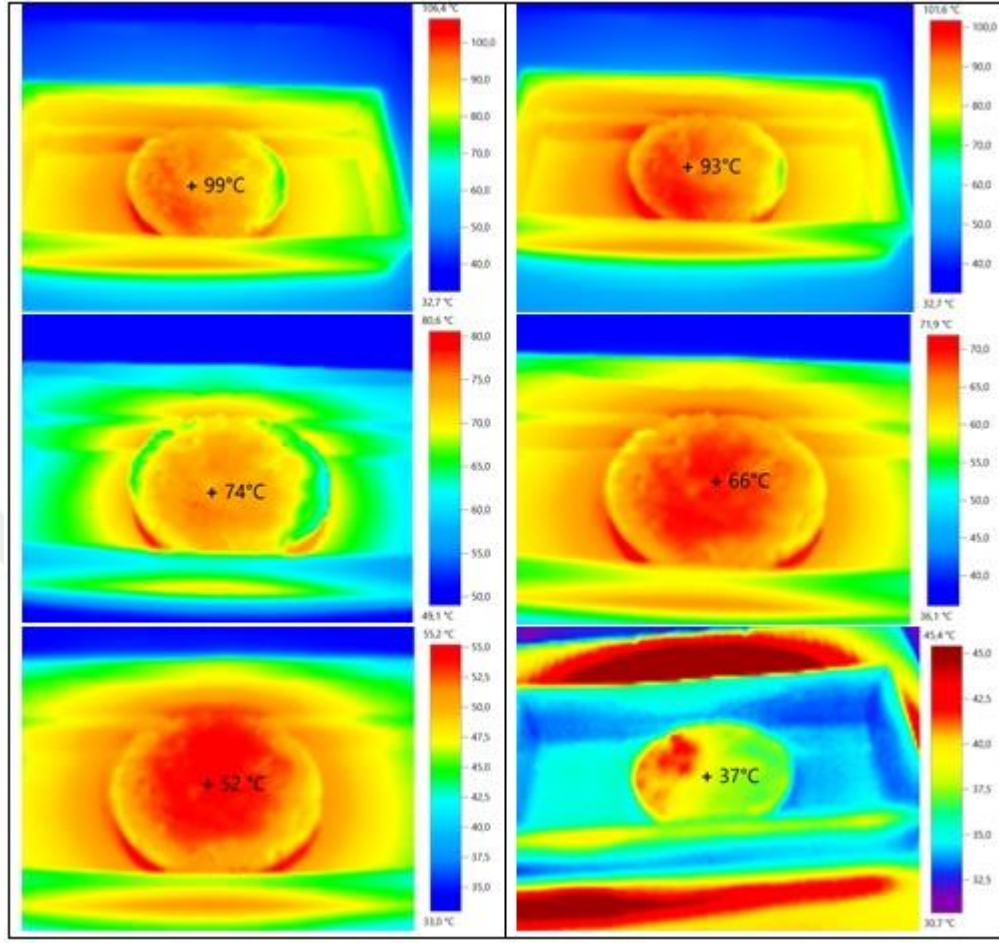
Mikrokapsülasyon işlemi sonrasında setil alkolün termal iletkenlikleri ölçülüp saf haldeki setil alkolle kıyaslandığında değerlerin önemli ölçüde değişmediği saptandı. Mikrokapsülasyon işlemi sırasında ilave edilen Boron Nitrit ile termal iletkenliğin arttığı tespit edildi. Elde edilen bu sonuçlar mikrokapsülasyon işlemi sonrasında setil alkolün kimyasal yapısının korunduğu belirlendi.

5.1.6 Mikrokapsüllenmiş Setil Alkolün Termal Davranışı

Mikrokapsüllenmiş setil alkol solar simülatör ışığı altında ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelenmiştir. Oda sıcaklığından başlayarak 85 °C ye kadar ısıtılmış, aynı şekilde soğumanında yavaş yavaş gerçekleştirildiği termal davranışı izlenmiştir. Sonuç olarak termal güvenilirliğe sahip iyi bir faz değişim davranışı ve iyi bir termal döngü gerçekleştirdiği görülmektedir. Şekil 5.6’da mikrokapsüllenmiş setil alkolün termal şekil kararlılığını çok iyi koruyabildiği görülür.



Şekil 5. 6 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün ısınma sürecindeki termal davranışı



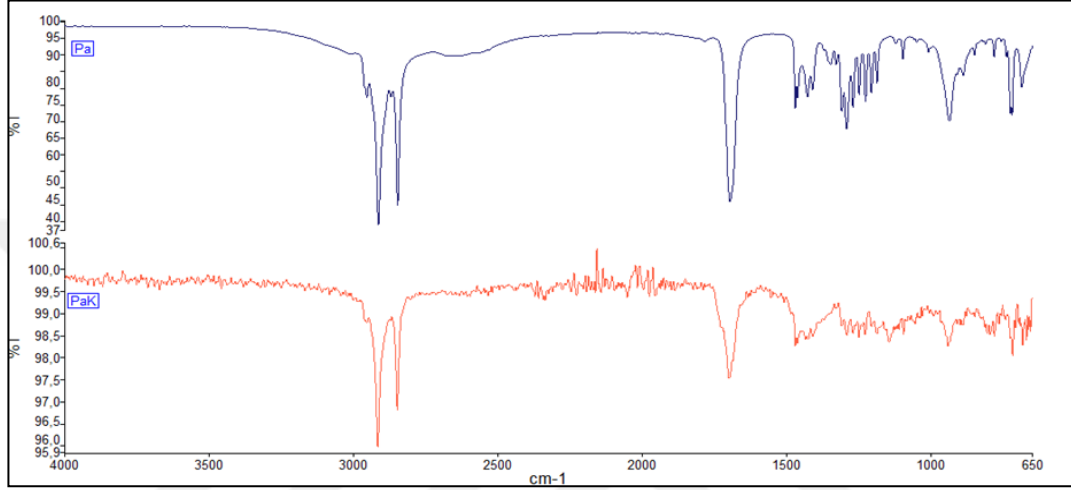
Şekil 5. 7 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün soğuma sürecindeki termal davranışı

5.2 Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin Analizi

5.2.1 Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin FT-IR Analizi

Mikrokapsüllenmiş palmitik asidin FT-IR spektroskopisi ile elde edilen FT-IR spektrumları Şekil 5.8’de yer almaktadır. Saf palmitik asidin spektrumu incelendiğinde $2952-2847\text{ cm}^{-1}$ ’de görülen pikler alifatik C-H gerilme titreşimlerinden kaynaklanırken, 1469 cm^{-1} ve 1402 cm^{-1} de görülen pikler sırasıyla C-H eğilme titreşimi ve metil bükülme titreşiminden ileri gelmektedir. Palmitik site ait $3216-2551\text{ cm}^{-1}$ ’de gözlemlenen O-H piklerinin mikrokapsülasyon işlemi sonrasında $3037-2768$

cm^{-1} 'e gözlemlendiği belirlendi. 1700 cm^{-1} 'de ise $\text{C}=\text{O}$ titreşimi yer almaktadır. Çekirdek kısmında palmitik asit içeren MikroFDM'lere ait spektrum incelendiğinde ise palmitik asite ait tüm karakteristik piklerin spektrumda yer alması palmitik asidin başarılı bir şekilde kabuk malzeme ile kapsüle edildiğini doğrulamaktadır.



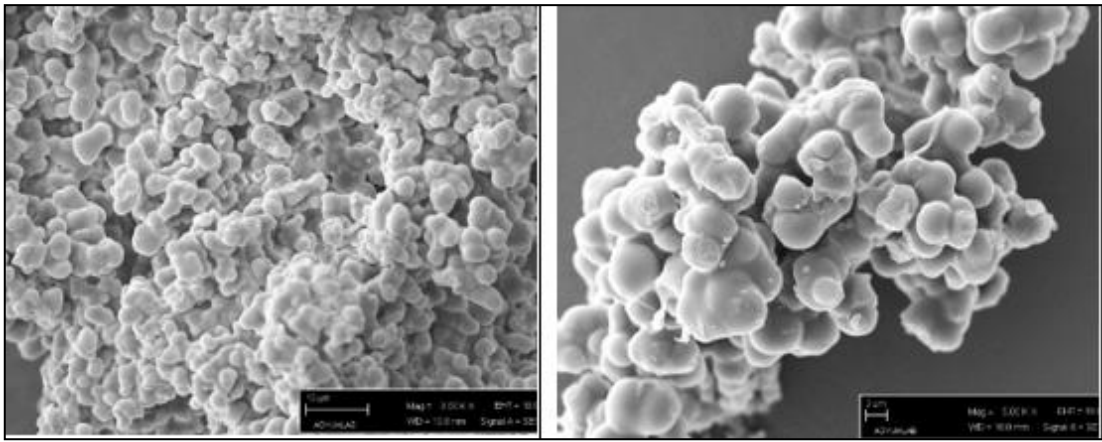
Şekil 5. 8 Mikrokapşüllenmiş palmitik Asitin (PaK) FT-IR spektrumu

Çizelge 5. 4 Saf palmitik asit ve mikrokapşülünün FT-IR spektrumu

FDM	Ortak Fonksiyonel Grupların FT-IR Analizi	
	Titreşim Modu	Pik Frekansı (cm^{-1})
Pa	O-H(Gerilme)	3216-2551 (Yayvan Pik)
	C-H (Gerilme)	2952-2847
	C=O (Gerilme)	1697
	C-H(Eğilme)	1469-1402
	C-O (Gerilme)	1293
PaK	O-H (Eğilme)	3037-2768
	C-H (Gerilme)	2917-2848
	C=O (Gerilme)	1700
	C-H (eğilme)	1463-1428

5.2.2. Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin SEM Analizi

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi elde edilen FDM mikrokapsülleri hemen hemen pürüzsüz, kompakt ve küresel bir görünüme sahiptir. Mikrokapsüllerin partikül boyutunun 0,6 ilave 1,1 μm arasında değiştiği görülmektedir. Mikrokapsüllerin görünüşleri literatür çalışmaları ile uyumludur. Elde edilen SEM görüntüleri ışığında mikrokapsüllerin tek model dağılım sergiledikleri belirlendi.

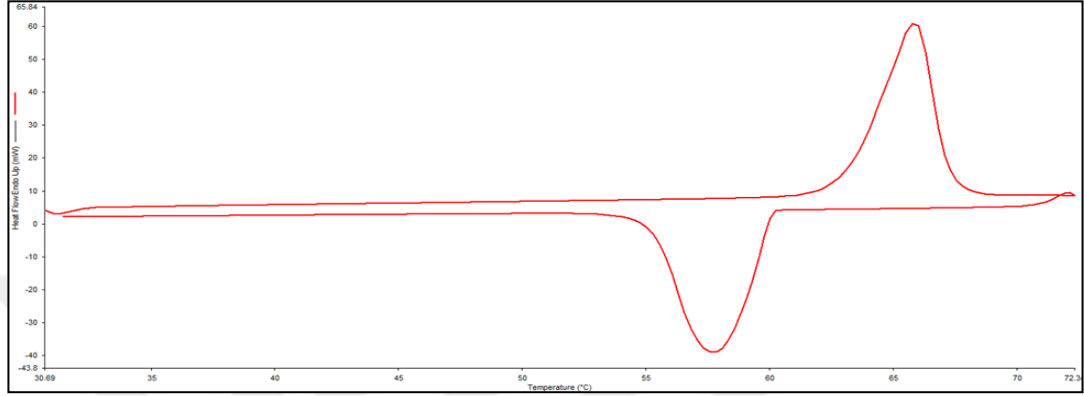


Şekil 5. 9 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin SEM Analizi

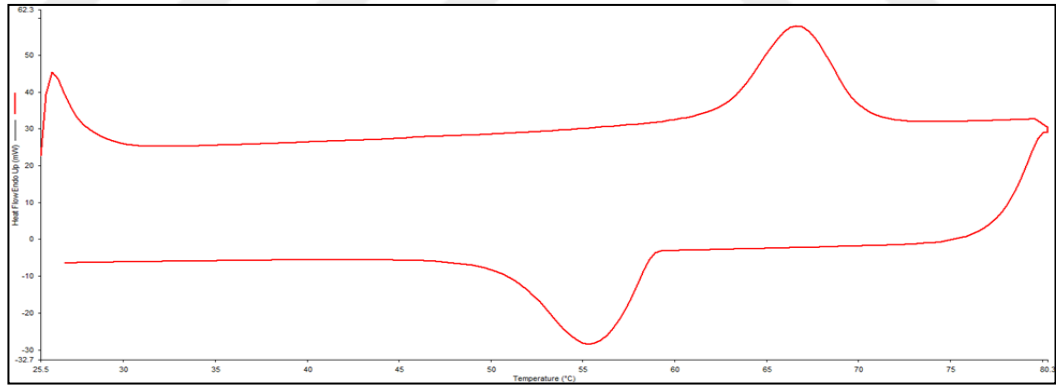
5.2.3. Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin DSC Analizi

Mikrokapsüllerin erime ve katılaşma gizli ısı kapasitelerini analiz edebilmek için 10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızı ile DSC analizleri yapıldı. Elde edilen DSC analiz sonuçları Şekil 5.10 ve Şekil 5.11 de gösterilerek. Tablo 5.5’de özetlendi. Elde edilen DSC eğrisinde Palmitik asitin (Pa) saf halinin 63.02 $^{\circ}\text{C}$ de erimeye başladığı, 67.29 $^{\circ}\text{C}$ de ise hal değişimini tamamladığı görüldü. Erime esnasında 186.27 J/g’lık gizli ısı enerjisi depoladığı gözlemlendi. Aynı şekilde Palmitik asitin saf halinin (Pa) 60.09 $^{\circ}\text{C}$ de donmaya başladığı, 55.27 $^{\circ}\text{C}$ de ise hal değişimini tamamladığı görüldü. Katılaşma esnasında -185.43 J/g’lık gizli ısı enerjisi depoladığı gözlemlendi. Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) halinde ise 62.62 $^{\circ}\text{C}$ de erimeye başladığı, 70.22 $^{\circ}\text{C}$ de ise hal değişimini tamamladığı tespit edildi. Erime esnasında ise 67.78 J/g’lık gizli ısı enerjisi

depoladığı belirlendi. Aynı şekilde mikrokapsüllenmiş palmitik asitin 58.77°C de donmaya başladığı, 50.58°C de ise hal değişimini tamamladığı tespit edildi. Katılaşma esnasında ise -71.06 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı saptandı.



Şekil 5. 10 Palmitik asitin DSC eğrisi



Şekil 5. 11 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) DSC eğrisi

Çizelge 5. 5 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) DSC analizi

Adı	Erime Süreci				Katılaşma süreci			
	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (j/g)	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (j/g)
Pa	63.02	65.77	67.29	186.27	60.09	57.84	55.27	-185.43
PaK	62.62	66.61	70.22	67.78	58.77	55.32	50.58	-71.06

5.2.4 Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin Şekil Kararlılığı

Palmitik asitin şekil kararlılığını belirlemek için mikrokapsüllenmiş palmitik asit 1800 Pa basınç altında preslenerek oda sıcaklığından başlayarak 93°C'ye kadar ısıtılma işlemine tabii tutuldu. Görüntüler incelendiğinde ısıtma işlemi esnasında palmitik asit erime sıcaklığının çok üzerinde ısıtılmasına rağmen preslenen yapıların şekillerini koruduğu tespit edildi. İdeal FDM'nin ısıtma işlemi sonrasında ani soğutma göstermemesi ve soğuma esnasında şekil stabilitesini koruması gerekliliği elde edilen mikrokapsüllenmiş palmitik asitte de gözlemlendi.

FDM lerin Şekil Kararlılıkları		
PaK Mikrokpsül Isınma		PaK Mikrokpsül Soğuma
(a) 27,15°C PaK	(d) 65,85°C PaK	(a) 78,02°C PaK
(b) 37,89°C PaK	(e) 78,96°C PaK	(b) 45,89°C PaK
(c) 58,07°C PaK	(f) 93,28°C PaK	(c) 27,32°C PaK

Şekil 5. 12 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin(PaK) şekil stabilizesi

5.2.5. Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin Termal İletkenliği

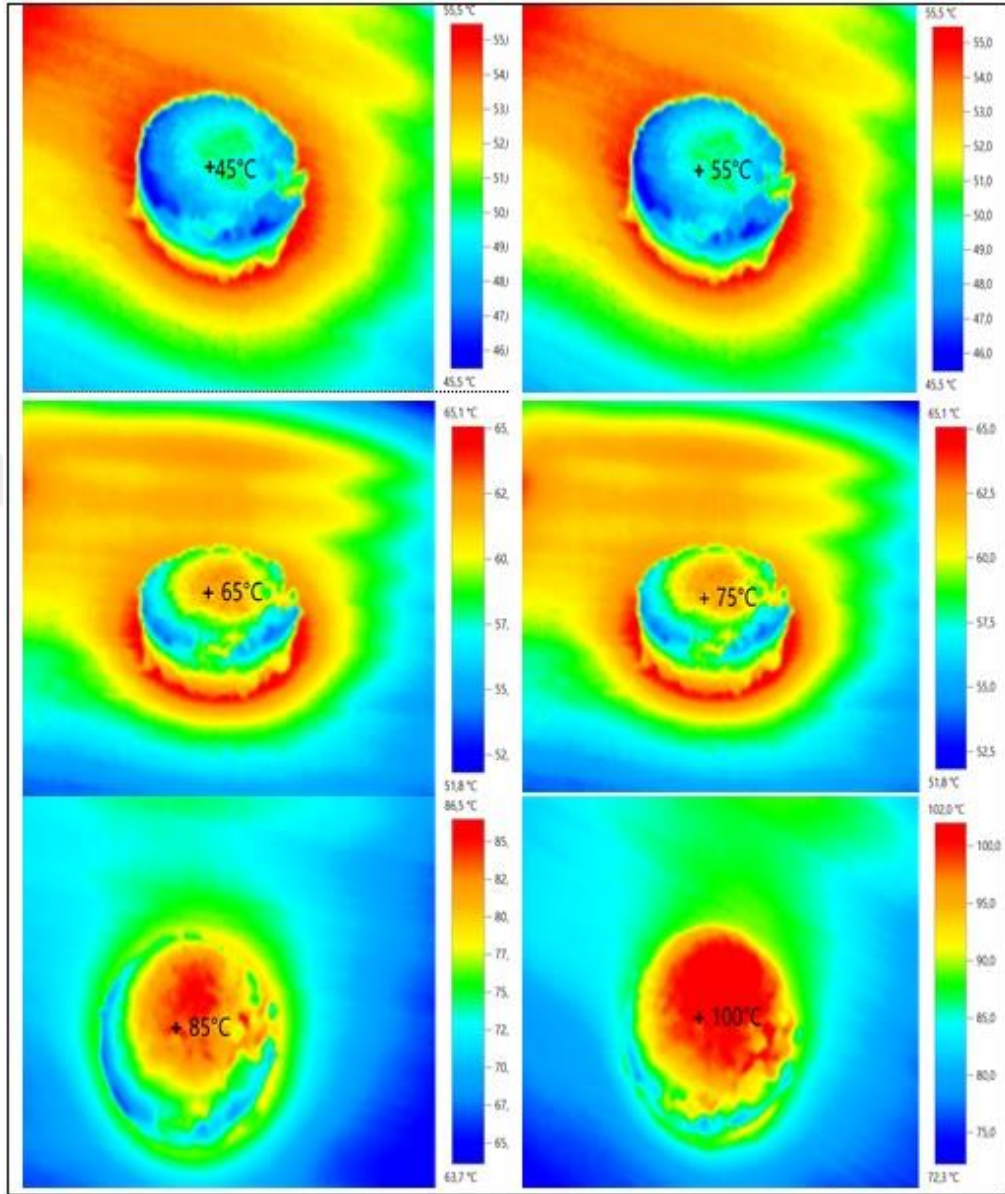
Mikrokapsülasyon işlemi sonrasında palmitik asitin termal iletkenlikleri ölçülüp saf haldeki palmitik asit ile kıyaslandığında değerlerin önemli ölçüde değişmediği saptandı. Mikrokapsülasyon işlemi sırasında ilave edilen Boron Nitrit ile termal iletkenliğin arttığı tespit edildi. Elde edilen bu sonuçlar mikrokapsülasyon işlemi sonrasında palmitik asitin kimyasal yapısının korunduğu belirlendi.

Çizelge 5. 6 Saf palmitik asitin (Pa) ve mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) termal analizi

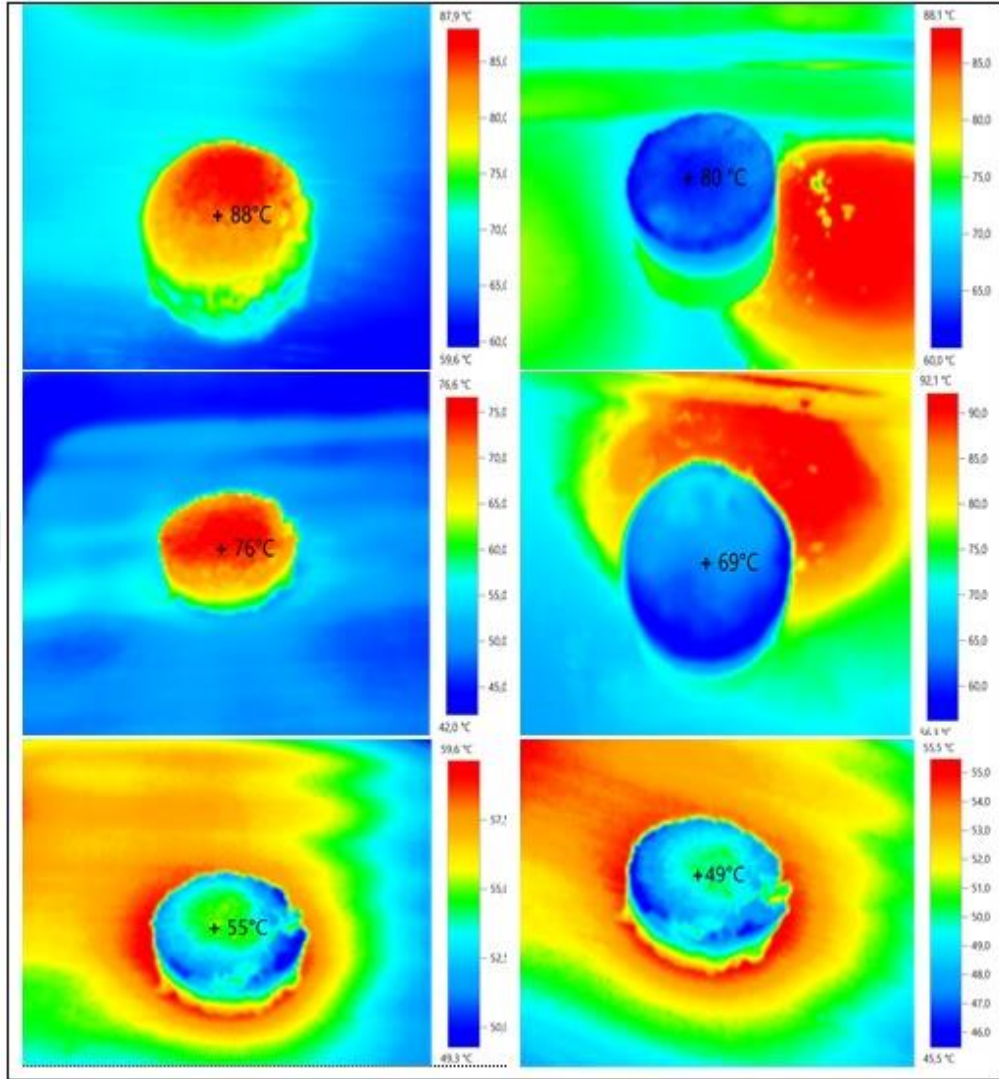
Palmitik Asitin Termal İletkenlik Analizi			
Madde	Termal İletkenlik W/m.K	Sıcaklık °C	Hata Payı
Pa	0,077	24,94	0,0056
PaK	0,088	26,70	0,0112

5.2.6 Mikrokapsüllenmiş Palmitik Asitin Termal Davranışı

Mikrokapsüllenmiş palmitik asit solar simülatör ışığı altında ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelenmiştir. Oda sıcaklığından başlayarak 85 °C ye kadar ısıtılmış, aynı şekilde soğumanında yavaş yavaş gerçekleştirildiği termal davranışı izlenmiştir. Sonuç olarak termal güvenilirliğe sahip iyi bir faz değişim davranışı ve iyi bir termal döngü gerçekleştirdiği görülmektedir. Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de mikrokapsüllenmiş palmitik asitin termal şekil kararlılığını çok iyi koruyabildiği görülür.



Şekil 5. 13 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) ısınma sürecindeki termal davranı

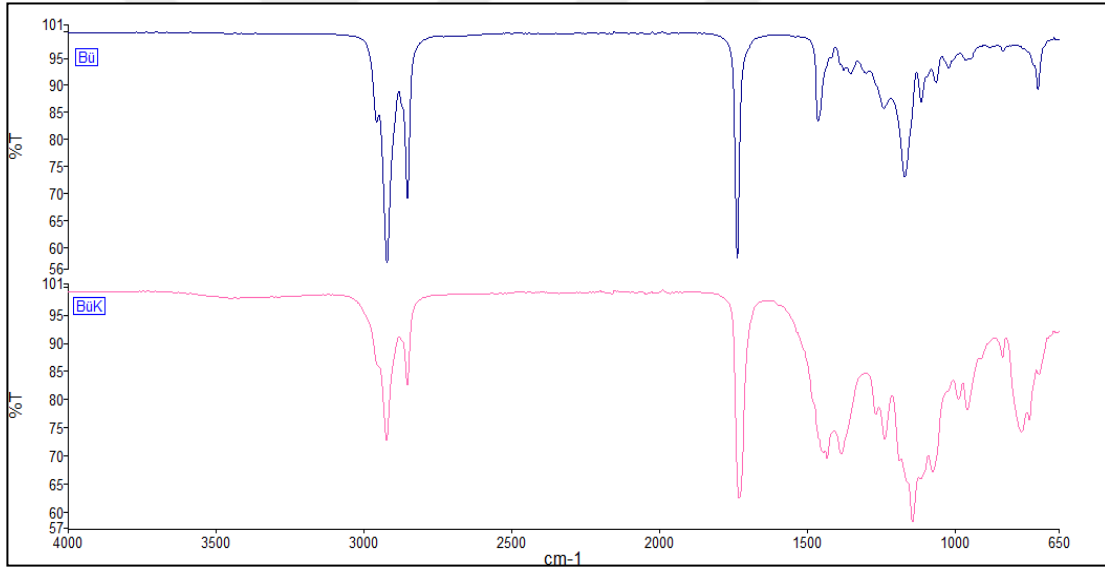


Şekil 5. 14 Mikrokapsüllenmiş palmitik asitin (PaK) soğuma sürecindeki termal davranışı

5.3. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın Analizi

5.3.1. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın FT-IR Analizi

Saf ve mikrokapsüllenmiş bütil stearatın FT-IR spektrumu incelendiğinde; bütil stearatın $2956\text{-}2850\text{cm}^{-1}$ de C-H gerilme titreşimi bağını oluşturduğu tespit edildi. Spektrumda gerilme titreşimin 1739cm^{-1} arasında C=O bağını ifade ettiği, $1470\text{-}1353\text{cm}^{-1}$ de ise C-C gerilme bağı olduğu saptandı. Mikrokapsülasyon işlemi sonrasında ise C-C cm^{-1} de oluşan gerilme titreşiminin $1435\text{-}1385\text{cm}^{-1}$ arasında olduğu belirlendi. C-O gerilme titreşimlerinin ise 1145cm^{-1} e kaydığı tespit edildi.



Şekil 5. 15 Mikrokapsüllenmiş bütil sitereatın FT-IR spektrumu

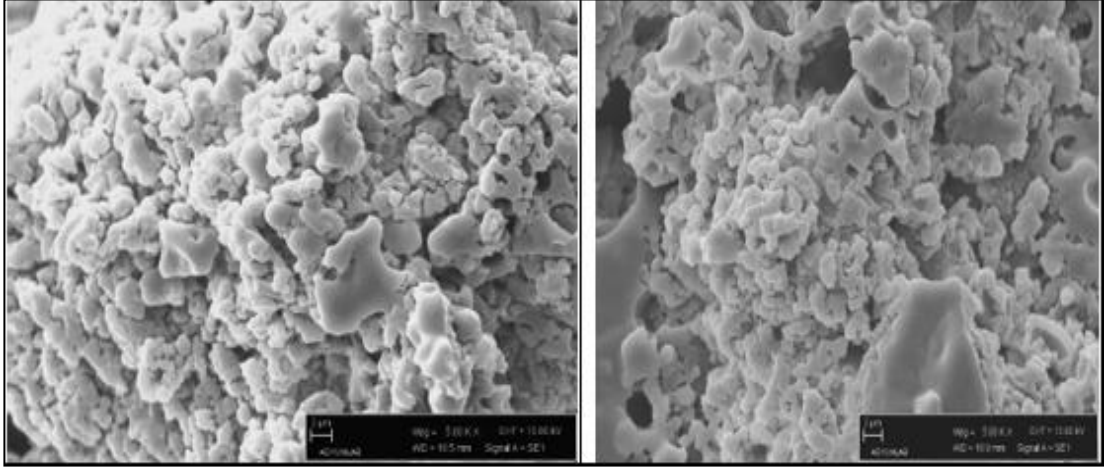
Y. Ma ve arkadaşlarının yaptığı mikrokapsül çalışmasında da benzer FT-IR sonuçları elde etmişlerdir[73]. Aynı şekilde **Veerakumar Chinnasamy ve arkadaşlarının**da FT-IR sonuçları çalışmamız ile benzer veriler sunmaktadır[68]. Analizlerimiz literatürde yapılan çalışmalar ile uyumludur. FT-IR analizlerinden anlaşıldığı gibi başarılı bir mikrokapsülasyon gerçekleştiği ve yapısal olarak herhangi bir değişimin oluşmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5. 7 Saf ve Mikrokapsülenmiş bütül stearat FT_IR Spektrumu

FDM	Ortak Fonksiyonel Grupların FT-IR Analizi	
	Titreşim Modu	Pik Frekansı (cm ⁻¹)
Bü	C-H _(Gerilme)	2956-2850
	C=O _(Gerilme)	1739
	C-C _(Gerilme)	1470-1353
	C-O _(Gerilme)	1170
BüK	C-H _(Gerilme)	2956-2853
	C=O _(Gerilme)	1732
	C-C _(Gerilme)	1435-1385
	C-O _(Gerilme)	1145

5.3.2. Mikrokapsülenmiş Bütül Stearatın SEM Analizi

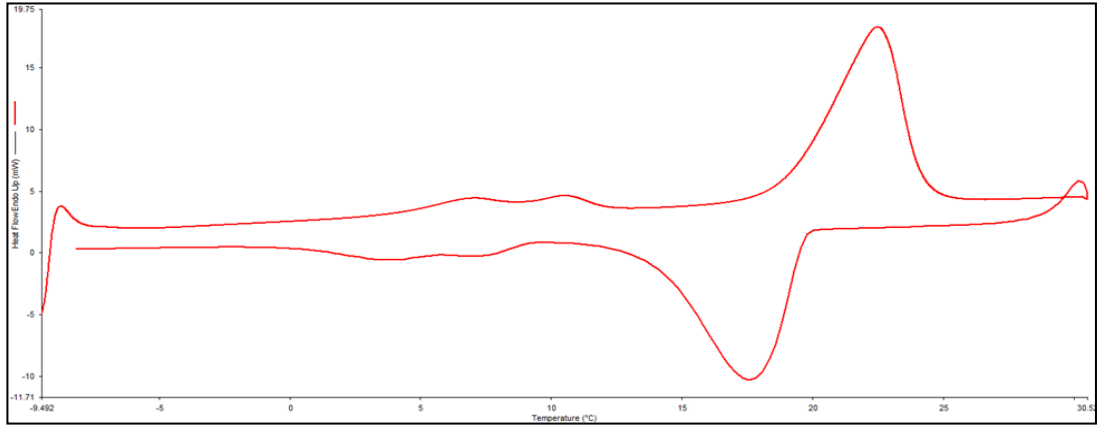
Mikrokapsülenmiş bütül stearatın kapsül oluşumunun ve yüzey özelliklerinin araştırılması için Taramalı elektron mikroskobunda SEM analizi yapılmıştır. Şekil 5.16'da da görüldüğü üzere bütül stearatın mikrokapsüllerinin SEM görüntüleri incelendiğinde oldukça pürüzsüz bir yüzeye sahip olmakla birlikte aynı zamanda küresel şekle yakın bir oluşum göstermiştir. Tanecikli yapının oluşumu mikrokapsüllerin oluştuğunu kanıtlamaktadır. Parçalanmış veya tamamlanmamış küreler mevcut olmamakla birlikte görüntülerde bütül stearatın mikrokapsüllerin dışında kaldığına dair bir bulgu yer almamaktadır.



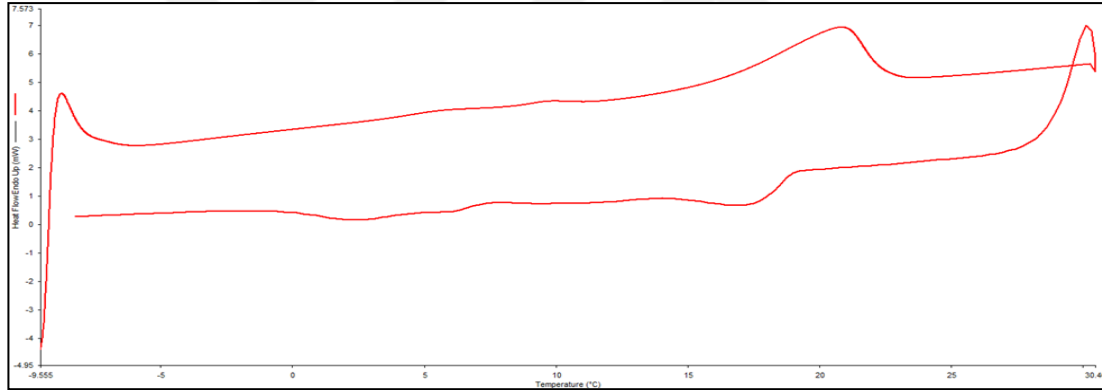
Şekil 5. 16 Mikrokapsüllenmiş bütül stearatın SEM görüntüsü

5.3.3. Mikrokapsüllenmiş Bütül Stearatın DSC Analizi

Mikrokapsüllerin ısı depolama özelliklerini incelemek için yapılan ve elde edilen DSC analiz sonuçları Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 de gösterilmiştir. Elde edilen DSC eğrisinde bütül stearatın saf halinin (Bü) 18.93°C de erimeye başladığı, 24.13°C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Erime sırasında ise 92.65 J/g'lık gizli ısı depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde bütül stearatın saf halinin (Bü) 19.71°C de donmaya başladığı, 13.73 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Katılaşma sırasında ise -93.76 J/g'lık gizli ısı depoladığı gözlemlenmiştir. Mikrokapsüllenmiş bütül stearatın (BüK) 15.16°C de erimeye başladığı, 22.49 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Erime sırasında ise 10.25 J/g'lık gizli ısı depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde Mikrokapsüllenmiş bütül stearatın (BüK) 18.94°C de donmaya başladığı, 14.52 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Katılaşma sırasında ise -2.70 J/g'lık gizli ısı depoladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 17 Saf bütül stearatın DSC eğrisi



Şekil 5. 18 Mikrokapsüllenmiş bütül stearatın DSC eğrisi

Çizelge 5. 8 Saf bütül stearat (Bü) ve mikrokapsüllenmiş bütül stearatın (BüK) DSC analizi

Adı	Erime Süreci				Katılaşma süreci			
	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (j/g)	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (j/g)
Bü	18.93	22.48	24.13	92.65	19.71	17.57	13.73	-93.76
BüK	15.76	20.75	22.49	10.25	18.94	17.24	14.52	-2.70

5.3.4. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın Şekil Kararlılığı

Bütil stearatın şekil kararlılığını belirlemek için mikrokapsüllenmiş bütil stearat 1800 Pa basınç altında preslenerek oda sıcaklığından başlayarak 93°C'ye kadar ısıtılma işlemine tabii tutuldu. Görüntüler incelendiğinde ısıtma işlemi esnasında bütil stearatın erime sıcaklığının çok üzerinde ısıtılmasına rağmen preslenen yapıların şekillerini koruduğu tespit edildi. İdeal FDM'nin ısıtma işlemi sonrasında ani soğutma göstermemesi ve soğuma esnasında şekil stabilitesini koruması gerekliliği elde edilen mikrokapsüllenmiş bütil stearat da gözlemlendi.

FDM lerin Şekil Kararlılıkları		
BüK Mikrokpsül Isınma		BüK Mikrokpsül Soğuma
(a) 27,85°C BüK27 	(d) 68,23°C BüK 	(a) 72,85°C BüK 
(b) 41,25°C BüK 	(e) 82,75°C BüK 	(b) 48,63°C BüK 
(c) 55,07°C BüK 	(f) 93,58°C BüK 	(c) 26,89°C BüK 

Şekil 5. 19 Mikrokapsüllenmiş bütil stearatın şekil kararlılığı

5.3.5. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın Termal İletkenliği

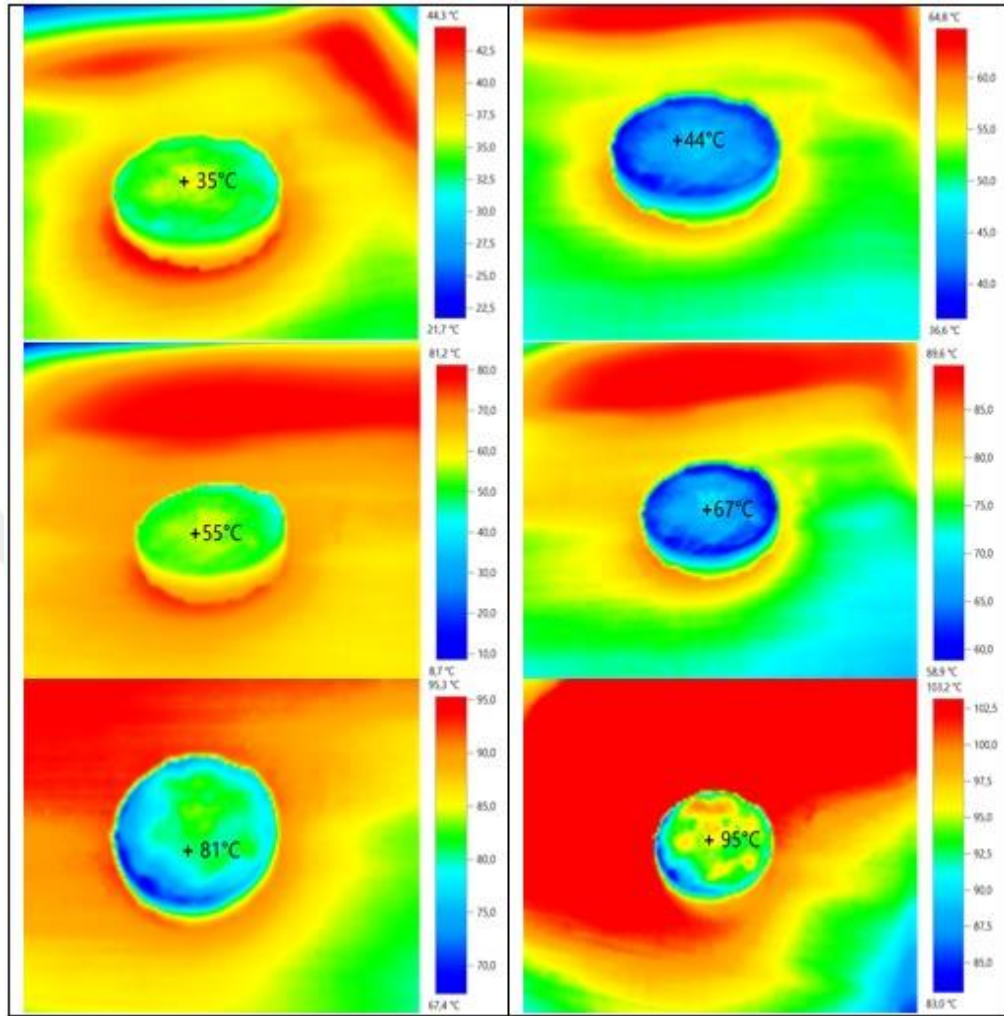
Mikrokapsülasyon işlemi sonrasında bütil stearatın termal iletkenlikleri ölçülüp saf haldeki bütil stearatın ile kıyaslandığında değerlerin önemli ölçüde değişmediği saptandı. Mikrokapsülasyon işlemi sırasında ilave edilen Boron Nitrit ile termal iletkenliğin arttığı tespit edildi. Elde edilen bu sonuçlar mikrokapsülasyon işlemi sonrasında bütil stearatın kimyasal yapısının korunduğu belirlendi.

Çizelge 5. 9 Saf bütil stearatın ve mikrokapsüllenmiş bütil stearatın termal analizi

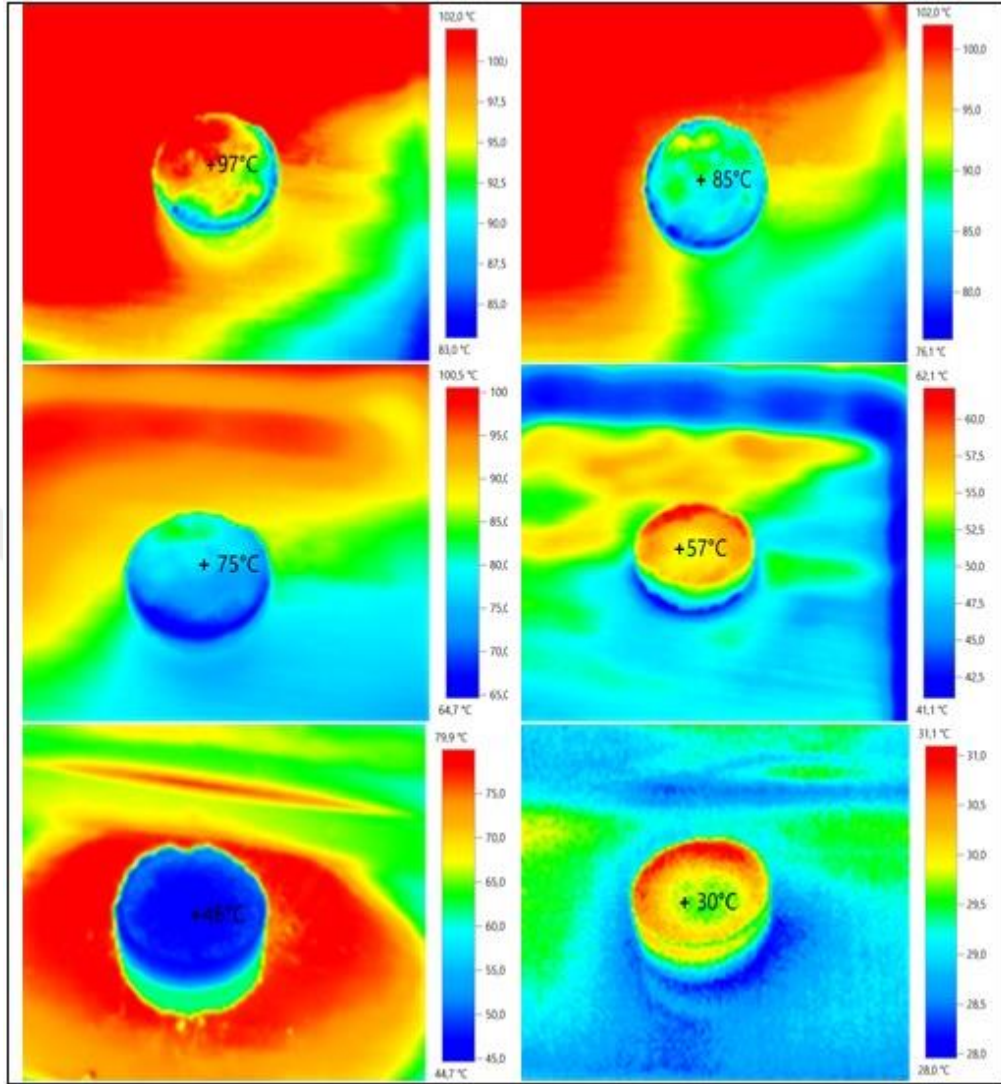
Bütil Stearatın Termal Analizi			
Madde	Termal İletkenlik W/m.K	Sıcaklık °C	Hata payı
Bü	0,025	24,65	0,0096
BüK	0,034	27,32	0,0136

5.3.6 Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearatın Termal Davranışı

Mikrokapsüllenmiş bütil stearat solar simülatör ışığı altında ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelenmiştir. Oda sıcaklığından başlayarak 95 °C ye kadar ısıtılmış, aynı şekilde soğumanında yavaş yavaş gerçekleştirildiği termal davranışı izlenmiştir. Sonuç olarak termal güvenilirliğe sahip iyi bir faz değişim davranışı ve iyi bir termal döngü gerçekleştirdiği görülmektedir. Şekil 5. 20 ve Şekil 5.21’de mikrokapsüllenmiş bütil stearat termal şekil kararlılığını çok iyi koruyabildiği görülür.



Şekil 5. 20 Mikrokapsülenmiş bütül stearatın ısınma sürecindeki termal davranışı



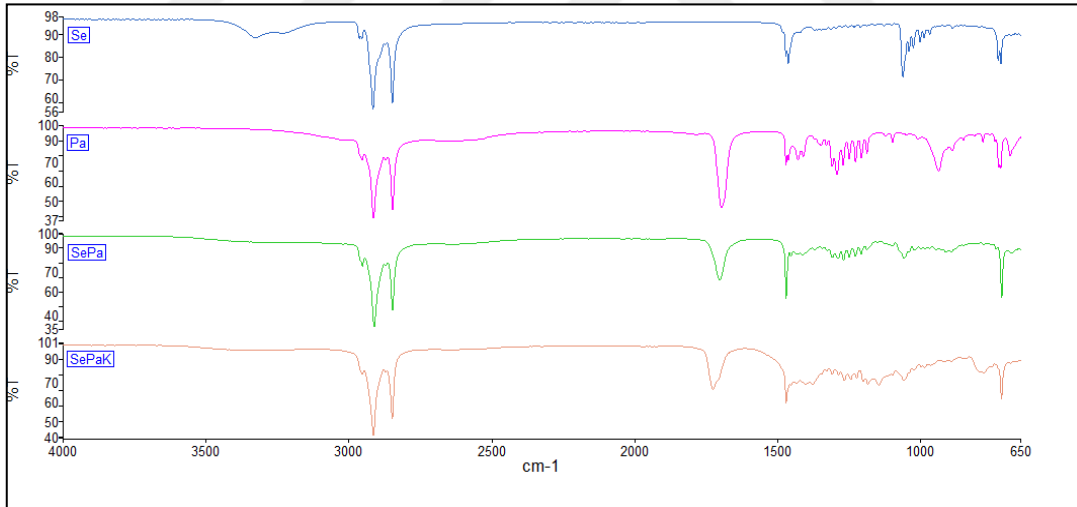
Şekil 5. 21 Mikrokapsülenmiş bütül stearatın soğuma sürecindeki termal davranışı

5.4. Mikrokapsülenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin Analizi

Farklı erime sıcaklığına sahip setil alkol ve palmitik asitin 5 farklı oranda ikili ötektiği yapıldı. DSC analizine göre ideal erime ve donma sıcaklığına sahip ikili ötektik (1:1) oranında elde edilmiştir. Setil alkol ve palmitik asitin (SePa(1:1)) oranında mikrokapsülasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve analizleri bu oranda yapılmıştır.

5.4.1. Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik Asitin FT-IR Analizi

Şekil 5.22 de görüldüğü üzere, saf palmitik asitin, alifatik zincirlerinin C-H gruplarının gerilme titreşimleri sebebiyle meydana gelen absorbands bant değerleri 2952 ve 2847 cm^{-1} de görüldü. Karışımı oluşturan bileşiklerinin karakteristik bantları ise 1467-1414 cm^{-1} de gözlemlenirken, setil alkolün 1463 cm^{-1} 'de gözlenen pik C-H grubuna ait eğilme titreşiminden dolayı meydana gelmektedir. Kabuk malzemenin spektrumuna bakıldığında ise 1725 cm^{-1} ve 1467-1378 cm^{-1} de yer alan piklerin polistirene ait sırasıyla aromatik C=O ve C-H grupları sebebiyle oluştuğu belirlenmiştir. Şekil 5.6a'dan görüldüğü üzere, saf parafin karışımı ve kabuk malzemenin karakteristik pikleri, mikroFDM'nin FT-IR spektrumunda da gözlenmektedir. Bu gözlem hazırlanan ötektik FDM karışımının başarılı bir şekilde kapsüllendiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 5. 22 Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin FT-IR spektrumu

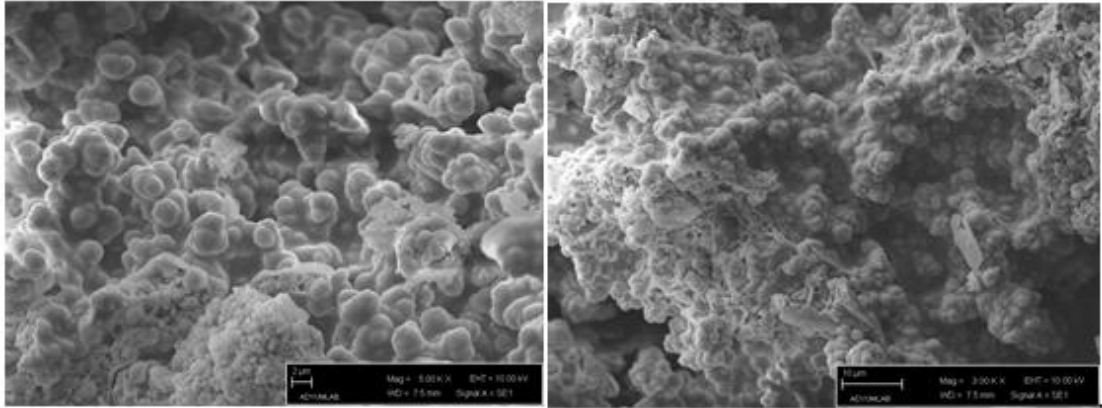
Çizelge 5. 10 Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin FT-IR spektrumu

FDM	Ortak Fonksiyonel Grupların FT-IR Analizi	
	Titreşim Modu	Pik Frekansı (cm ⁻¹)
Se	O-H (Gerilme)	3416-3142 (yayvan pik)
	C-H (Gerilme)	2963-2847
	C-H (Eğilme)	1463
	C-O (Gerilme)	1061
Pa	O-H(Gerilme)	3216-2551 (Yayvan Pik)
	C-H (Gerilme)	2952-2847
	C=O (Gerilme)	1697
	C-H(Eğilme)	1469-1402
	C-O (Gerilme)	1293
SePa	O-H (Gerilme)	3543-2669(yayvan pik)
	C-H (Gerilme)	2952-2846
	C=O (Gerilme)	1700
	C-H (Eğilme)	1467-1414
SePak	C-O	1269
	O-H (Gerilme)	3483-2595(yayvan pik)
	C-H (Gerilme)	2956-2850
	C=O (Gerilme)	1725
	C-H (Eğilme)	1467-1378
	C-O	1148

Setil alkol ve palmitik asitin[1:1] ötektik karışımlarının FT-IR spektrumları incelendiğinde başarılı bir ötektik karışımın elde edildiği ve bu karışımın başarılı bir şekilde mikrokapsüllendiği elde edilen sonuçlarda görülmektedir. **R. Wang ve arkadaşlarının** araştırmaları çalışmamızı desteklemektedir[49].

5.4.2. Mikrokapsüllenmiş Setil alkolün ve Palmitik Asitin SEM Analizi

Mikrokapsüllenmiş setil alkol ile palmitik asit ötekiğinin kapsül oluşumunun ve yüzey özelliklerinin araştırılması için Taramalı elektron mikroskobunda SEM analizi yapılmıştır. Şekil 5.23’de de görüldüğü üzere setil alkol ile palmitik asit ötekiğinin mikrokapsülleri mikrografları optimum koşullarda görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde oldukça pürüzsüz bir yüzeye sahip olmakla birlikte aynı zamanda küresel şeklinde bir oluşum göstermiştir. Tanecikli yapının oluşumu mikrokapsüllerin oluştuğunu kanıtlamaktadır. Mevcut görüntülerde setil alkol ile palmitik asit ötekiğinin mikrokapsüllerin dışında kaldığına dair bir bulgu yer almamaktadır.

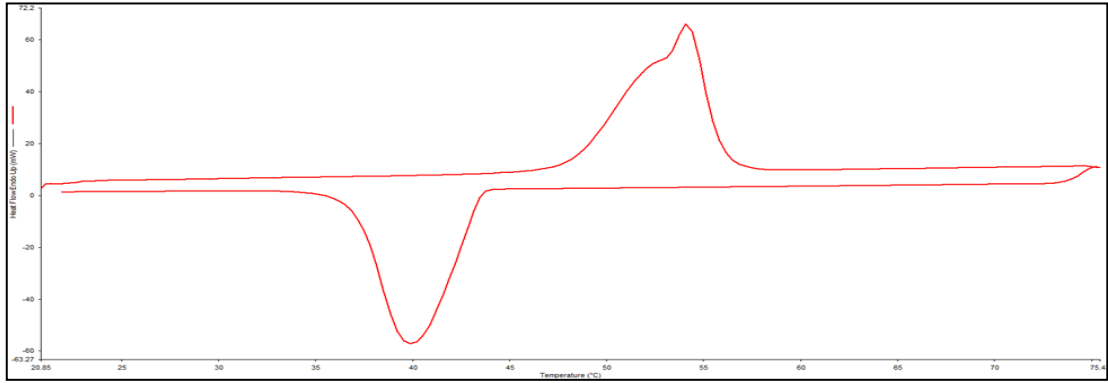


Şekil 5. 23 Mikrokapsüllenmiş setil alkol ve palmitik asitin SEM görüntüsü

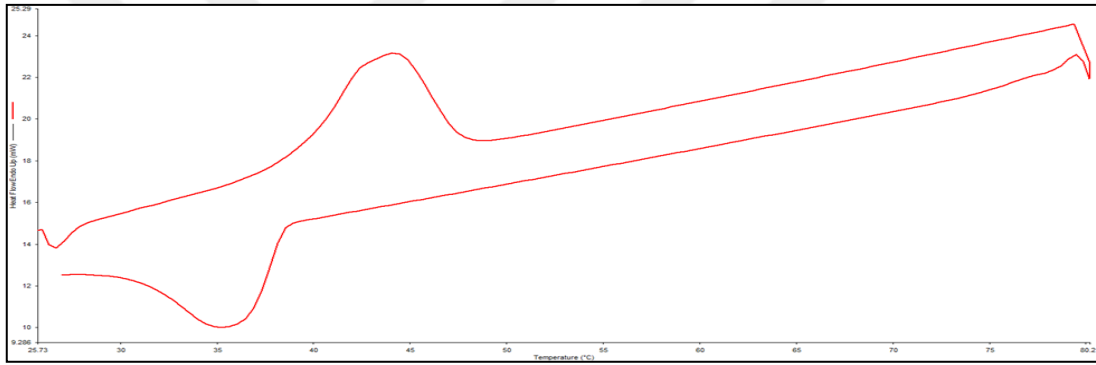
5.4.3.Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik Asitin DSC Analizi

Mikrokapsüllerin ısı depolama özelliklerini incelemek için yapılan DSC analiz sonuçları Şekil 5.24 ve Şekil 5.25 de gösterilmiştir. Elde edilen DSC eğrisinde Setil alkol ve Palmitik asit (SePa(1:1)) ötektik halinin 50.60°C de erimeye başladığı, 55.89°C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Erime sırasında ise 197.61 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde Setil alkol ve Palmitik asit (SePa(1:1)) ötektik halinin 43.61°C de donmaya başladığı, 37.12 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Katılaşma sırasında ise -195.60 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin (SePaK(1:1)) 39.08°C de erimeye başladığı, 47.77 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Erime sırasında ise 48.66 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin (SePaK(1:1)) 38.69°C de katılaşmaya başladığı, 30.13 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Katılaşma sırasında ise -39.62 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir.

Setil alkol ve palmitik asitin [1:1] DSC sonuçları incelendiğinde bu ikili ötektiğin erime ve katılaşma entalpi değerleri dikkate alındığında entalpi değerlerinin kapsülasyon işlemi sonrasında azaldığı tespit edildi. Entalpide meydana gelen bu düşüşün sebebi ise FDM'nin kapsül içindeki kütlece yüzdesinin düşük olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz [74].



Şekil 5. 24 Setil alkol ve palmitik asit ötektiğinin(SePa) DSC eğrisi



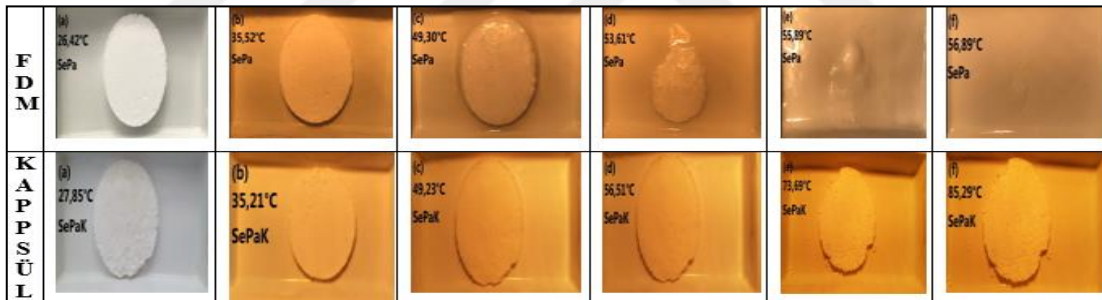
Şekil 5. 25 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün ve palmitik asitin (SePaK) DSC eğrisi

Çizelge 5. 11 Mikrokapsüllenmiş setil alkol ve palmitik asitin DSC analizi

Adı	Erime Süreci				Katılaşma süreci			
	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (J/g)	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (J/g)
Se	49.84	52.09	53.46	226.80	47.46	45.86	44.43	-
Pa	63.02	65.77	67.29	186.27	60.09	57.84	55.27	-
SePa	50.60	54.06	55.89	197.61	43.61	39.92	37.12	-
SePaK	39.08	44.05	47.77	48.66	38.69	35.65	30.13	-39.62

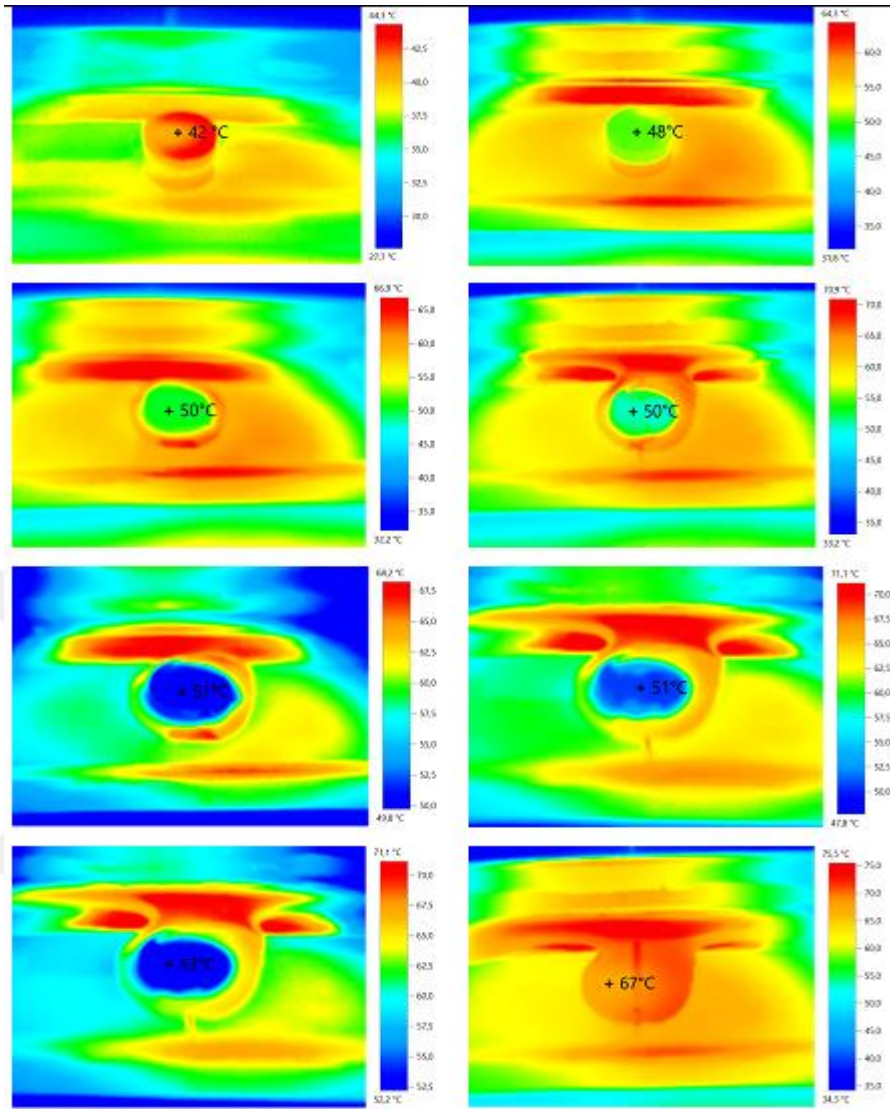
5.4.4. Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik Asitin Şekil Kararlılığı

Setil alkol ile Palmitik asit ötektiklerinin şekil kararlılığını belirlemek için ötektik ve mikrokapsüllenmiş setil alkol ile palmitik asit 1800 Pa basınç altında preslenmiştir. İkili ötektik oda sıcaklığından başlayarak 56 °C'ye kadar ısıtma işlemine tabi tutuldu. Bu sırada ikili ötektik saf halinin 49 °C de erimeye başladığı ve 56 °C de tamamen eridiği görülmektedir. Maddede oluşan hal değişiminin DSC analizindeki değişimi ile paralel bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Setil alkol ile palmitik asit ötektiklerinin mikrokapsüllenmiş hali ise 90°C'ye kadar ısıtılma işlemine tabii tutuldu. Görüntüler incelendiğinde ısıtma işlemi esnasında setil alkolün ve palmitik asitin erime sıcaklığının çok üzerinde ısıtılmasına rağmen preslenen yapıların şekillerini koruduğu tespit edildi. FDM'nin sızıntı göstermeyip şeklini koruduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5. 26 Mikrokapsüllenmiş setil alkol ve palmitik asitin şekil kararlılığı

Setil alkol ve palmitik asit ötektik karışımının solar simülatör ışığı yardımıyla ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan ötektik sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği gözlemlendi (Şekil 5.27). Sıcaklığı yükselen kapsüllenmemiş FDM'nin akma davranışı gösterdiği görülmektedir. Ayrıca SePa ötektik karışımının DSC verilerinden de (Çizelge 5.11) elde ettiğimiz 50,60-55,89 °C erime hal değişimi aralığında gerçekleştiği, tamamen erime gösteren bölgelerin sıcaklıkları ise 67°C'den yüksek olduğu gözlemlendi.



Şekil 5. 27 Setil alkol ve palmitik asitin erime sürecindeki termal görüntüsü

5.4.5 Mikrokapsüllenmiş Setil alkolün ve Palmitik Asitin Termal İletkenliği

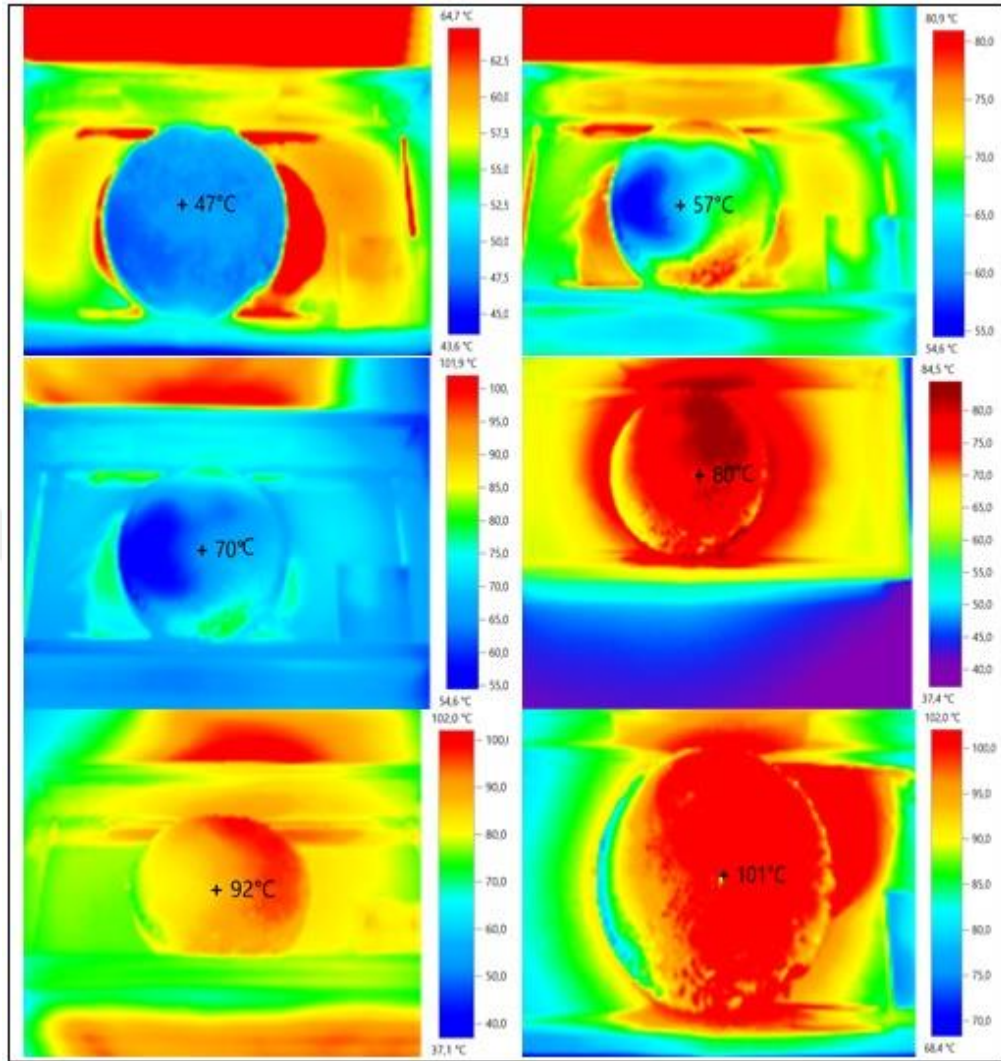
Mikrokapsülasyon işlemi sonrasında setil alkol ile palmitik asit(SePaK) ikili ötektiğinin termal iletkenlikleri ölçülüp saf haldeki setil alkol ile palmitik asit(SePa) ile kıyaslandığında değerlerin önemli ölçüde değişmediği saptandı. Mikrokapsülasyon işlemi sırasında ilave edilen Boron Nitrit ile termal iletkenliğin arttığı tespit edildi. Elde edilen bu sonuçlar mikrokapsülasyon işlemi sonrasında setil alkol ile palmitik asiti(SePa) ötektiğinin kimyasal yapısının korunduğu belirlendi.

Çizelge 5. 12 Mikrokapsüllenmiş setil alkolün ve palmitik Asitin Termal Analizi

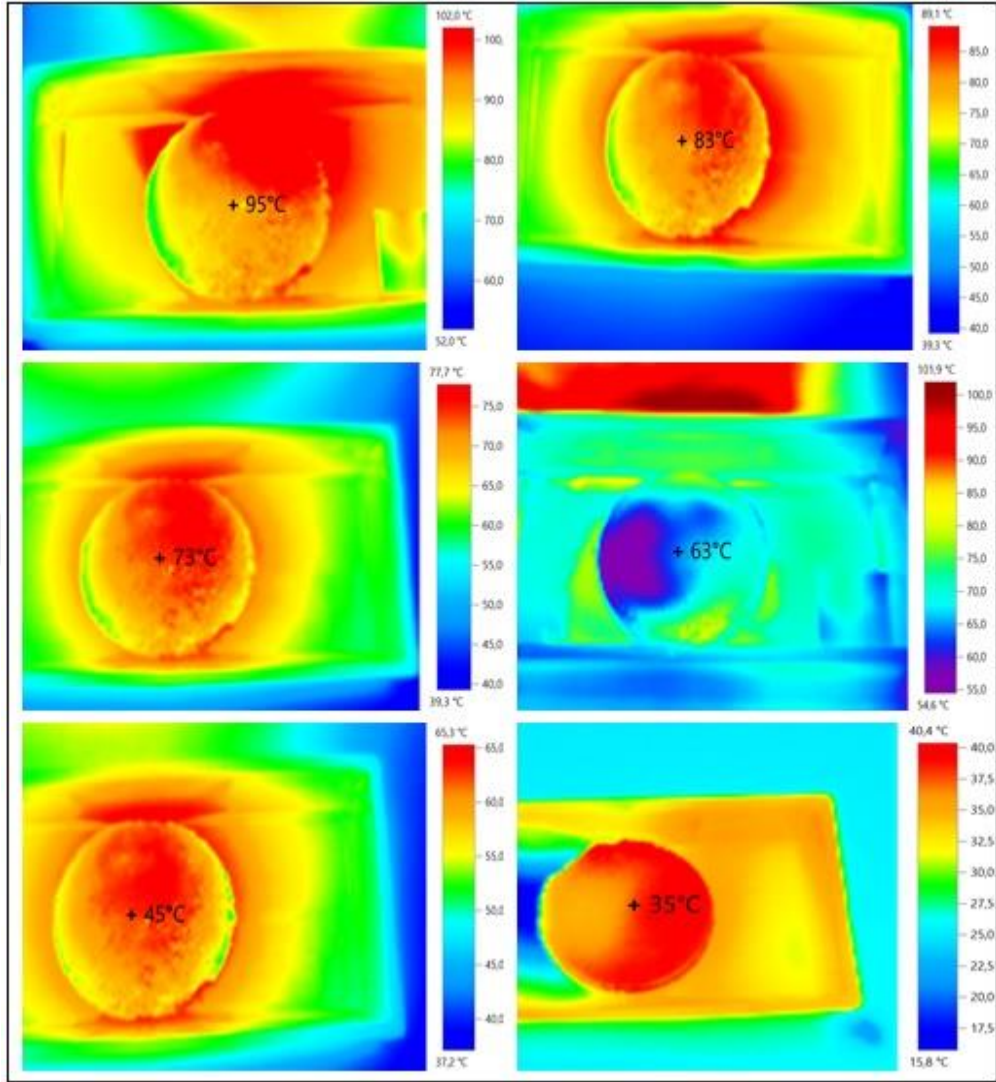
Setil alkolün ve Palmitik Asitin Termal Analizi			
Madde	Termal İletkenlik W/m.K	Sıcaklık °C	Hata Payı
Se	0,111	22,30	0,0075
Pa	0,077	24,94	0,0152
SePa	0,090	28,40	0,0095
SePaK	0,092	27,27	0,0014

5.4.6 Mikrokapsüllenmiş Setil alkolün ve Palmitik Asitin Termal Davranışı

Mikrokapsüllenmiş setil alkol ve palmitik asit ötektiği solar simülatör ışığı altında ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelenmiştir. Oda sıcaklığından başlayarak 101 °C ye kadar ısıtılmış, aynı şekilde soğumanında yavaş yavaş gerçekleştirildiği termal davranışı izlenmiştir. Sonuç olarak termal güvenilirliğe sahip iyi bir faz değişim davranışı ve iyi bir termal döngü gerçekleştirdiği görülmektedir. Şekil 5.28’de ve Şekil 5.29’da mikrokapsüllenmiş setil alkol ve palmitik asitin(SePaK) termal şekil kararlılığını çok iyi koruyabildiği görülür.



Şekil 5. 28 Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin (SePaK) ısınma sürecindeki termal davranışı



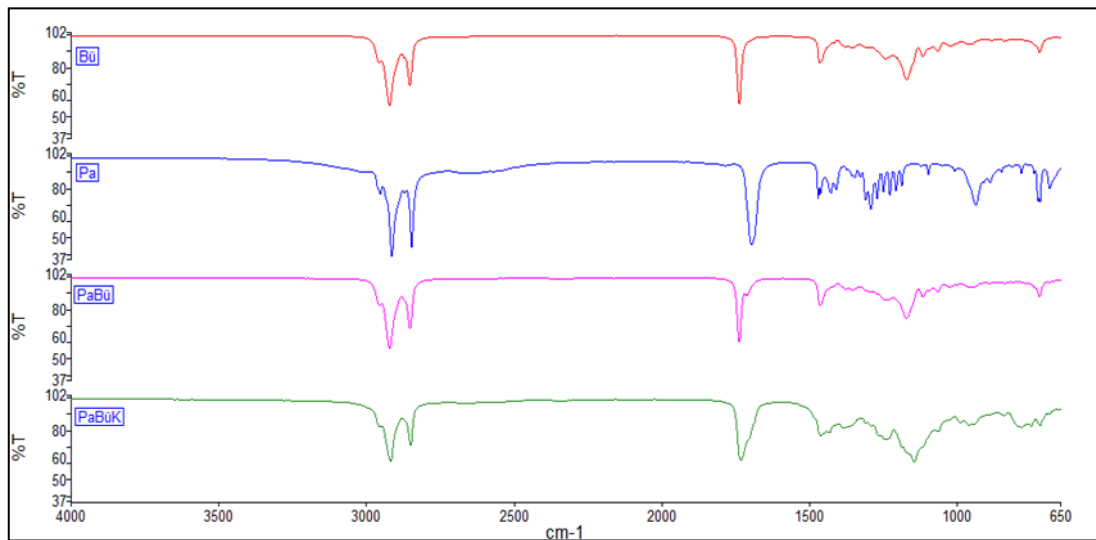
Şekil 5. 29 Mikrokapsüllenmiş Setil alkol ve Palmitik asitin (SePaK) soğuma sürecindeki termal davranışı

5.5. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearat ın ve Palmitik asit in Analizi

Farklı erime sıcaklığına sahip bütil stearat ve palmitik asitin 5 farklı oranda ikili ötektiği yapıldı. DSC analizine göre ideal erime ve donma sıcaklığına sahip ikili ötektik (1:4) oranında elde edilmiştir. Bütil stearat ve palmitik asitin (PaBü(1:4)) oranında mikrokapsülasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve analizleri bu doğrultuda yapılmıştır.

5.5.1. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearat ın ve Palmitik asitin FT-IR Analizi

Mikrokapsüllenmiş palmitik asit ve bütil stearat ikili ötektiğinin FT-IR spektroskopisi ile elde edilen FT-IR spektrumları Şekil 5.30 de yer almaktadır. Saf palmitik asitin spektrumları incelendiğinde 3216 ve 2551 cm⁻¹ de görülen yayvan piklerin O-H gerilme piklerinden oluştuğu, 2952 ve 2847 cm⁻¹ de görülen piklerin ise alifatik C-H gerilme titreşimine ait olduğu saptandı. Bütil stearatın 1170 cm⁻¹de gözlenen pik grubunda ise değişken açılı titreşimli pikler tespit edildi. Kabuk malzemenin spektrumu incelendiğinde aromatik C-H eğilme pikinin 1460-1375 cm⁻¹ bandında olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 30 Mikrokapsüllenmiş palmitik asit ve bütil stearatın FT-IR spektrumu

Çekirdek kısmında ikili ötekiğin (PaBü) ve kabuk kısmında ise polimer içeren MikroFDM'e ait spektrum incelendiğinde C=O (Gerilme) pikinin 1732 cm⁻¹ de bütül stereata ait pik özelliği sergilemektedir. Böylelikle hem çekirdek FDM ye hemde kabuk malzemesine ait tüm karakteristik piklerin spektrumda yer aldığı ve başarılı bir şekilde kabuk malzeme ile kapsüle edildiği doğrulanmaktadır (Şekil 5.30).

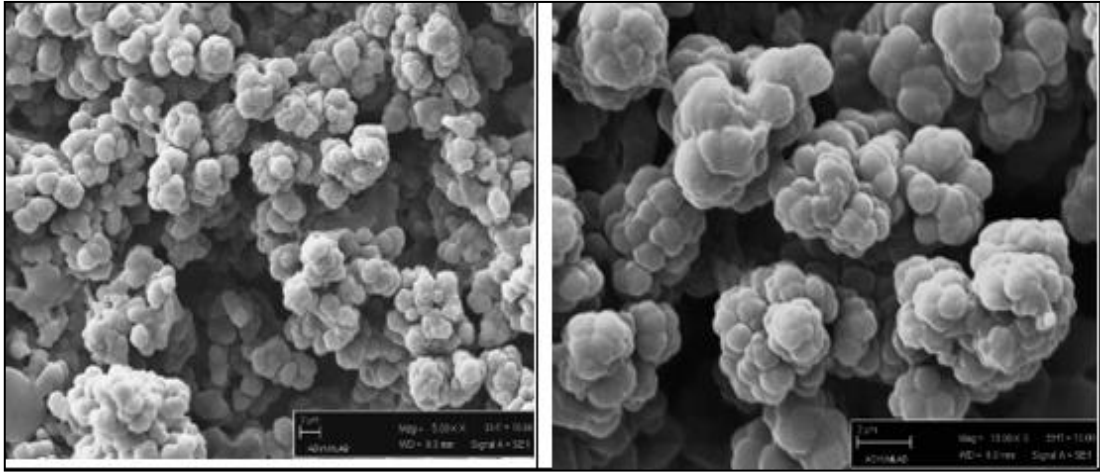
Çizelge 5. 13 Mikrokapsüllenmiş palmitik asit ve bütül stearatın FT-IR spektrumu

FDM	Ortak Fonksiyonel Grupların FT-IR Analizi	
	Titreşim Modu	Pik Frekansı (cm ⁻¹)
Bü	C-H _(Gerilme)	2956-2850
	C=O _(Gerilme)	1739
	C-C _(Gerilme)	1470-1353
	C-O _(Gerilme)	1170
Pa	O-H _(Gerilme)	3216-2551 (Yayvan Pik)
	C-H _(Gerilme)	2952-2847
	C=O _(Gerilme)	1697
	C-H _(Eğilme)	1469-1402
	C-O _(Gerilme)	1293
PaBü	C-H _(Gerilme)	2956-2850
	C=O _(Gerilme)	1736(Bü)
	C=O _(Gerilme)	1711 (Pa)
	C-H _(Eğilme)	1463
	C-O _(Gerilme)	1170
PaBüK	C-H _(Gerilme)	2952-2846
	C=O _(Gerilme)	1732(Bü)
	C=O _(Gerilme)	1705 (Pa)
	C-H _(Eğilme)	1460-1375
	C-O _(Gerilme)	1145

Palmitik asit ve bütül stearatın[1:4] ötektik karışımlarının FT-IR spektrumları incelendiğinde başarılı bir ötektik karışımın elde edildiği ve bu karışımın başarılı bir şekilde mikrokapsüllendiği elde edilen sonuçlarda görülmektedir. **Veerakumar Chinnasamy ve arkadaşları, H.Ke ve arkadaşları**nın FT-IR sonuçları çalışmamız ile benzer veriler sunmaktadır[68-74]. Analizlerimiz literatürde yapılan çalışmalar ile uyumludur.

5.5.2. Mikrokapsüllenmiş Bütül Stearat ın ve Palmitik asitin SEM Analizi

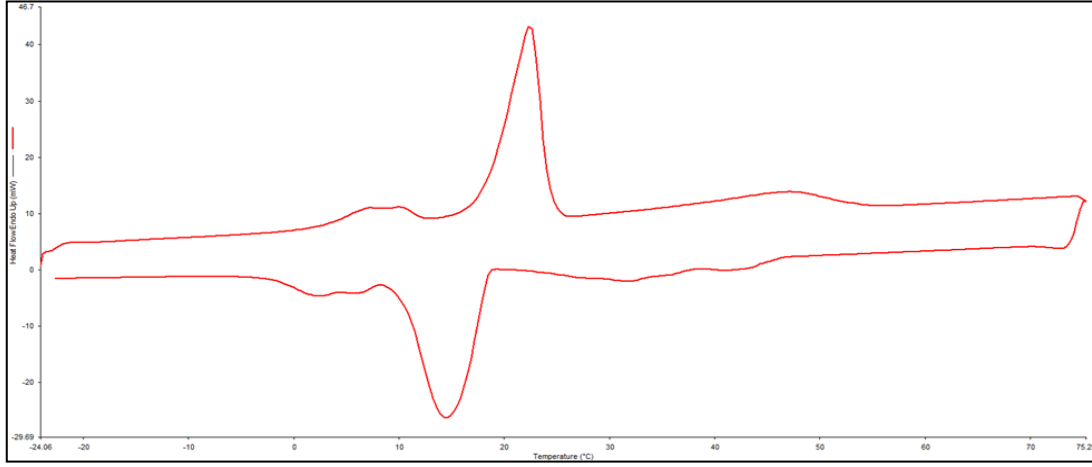
Mikrokapsüllenmiş bütül stearat ile palmitik asit ötekiğinin kapsül oluşumunun SEM görüntüleri incelendiğinde oldukça pürüzsüz bir yüzeye sahip olmakla birlikte aynı zamanda küresel şeklinde bir oluşum göstermiştir. Tanecikli yapının oluşumu mikrokapsüllerin oluştuğunu kanıtlamaktadır. Mevcut görüntülerde parçacıkların iyi tanımlanmış çekirdek/kabuk mikroyapısı ile birlikte küresel bir morfoloji sergilediği görülmüştür. Bütül stearat ile palmitik asit ötekiğinin mikrokapsüllerin dışında kaldığına dair bir bulgu yer almamaktadır.



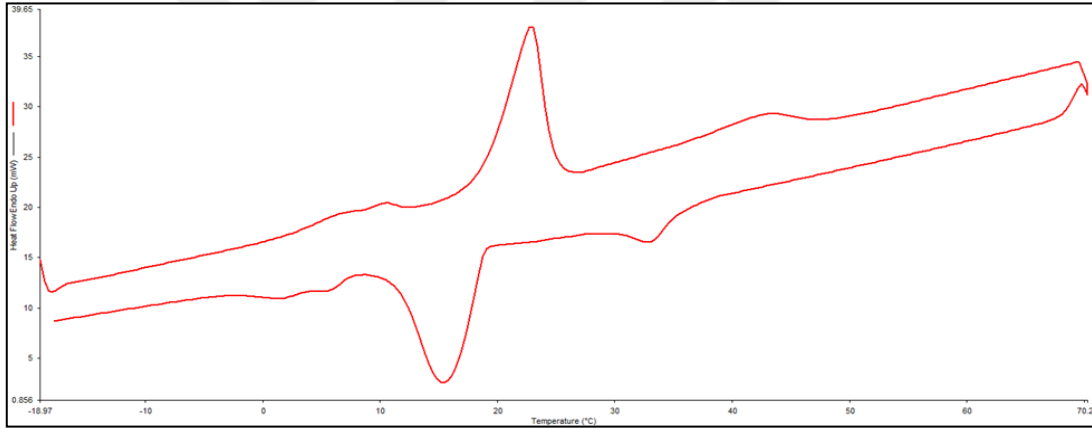
Şekil 5. 31 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat ın ve palmitik asitin SEM görüntüsü

5.5.3. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearat ve Palmitik asit in DSC Analizi

Mikrokapsüllerin ısı depolama özelliklerini incelemek için yapılan DSC analiz sonuçları Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 de gösterilmiştir. Elde edilen DSC eğrisinde bütil stearat ve palmitik asit (PaBü(1:4)) ötektik halinin 18.03 °C de erimeye başladığı, 24.60°C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Erime sırasında ise 76.48 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde bütil stearat ve palmitik asit (PaBü(1:4)) ötektik halinin 18.42°C de katılaşmaya başladığı, 10.28 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Katılaşma sırasında ise -76.34 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Mikrokapsüllenmiş bütil stearat ve palmitik asitin(PaBüK(1:4)) 18.60°C de erimeye başladığı, 24.83 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Erime sırasında ise 50.89 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde mikrokapsüllenmiş bütil stearat ve palmitik asitin (PaBüK(1:4)) 18.06°C de katılaşmaya başladığı, 11.33 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Katılaşma sırasında ise -51.14 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 32 Bütil stearat tearat ve palmitik asit ötektiğinin(PaBü) DSC eğrisi



Şekil 5. 33 Mikrokapsüllenmiş bütil stearat ve palmitik asitin DSC eğrisi

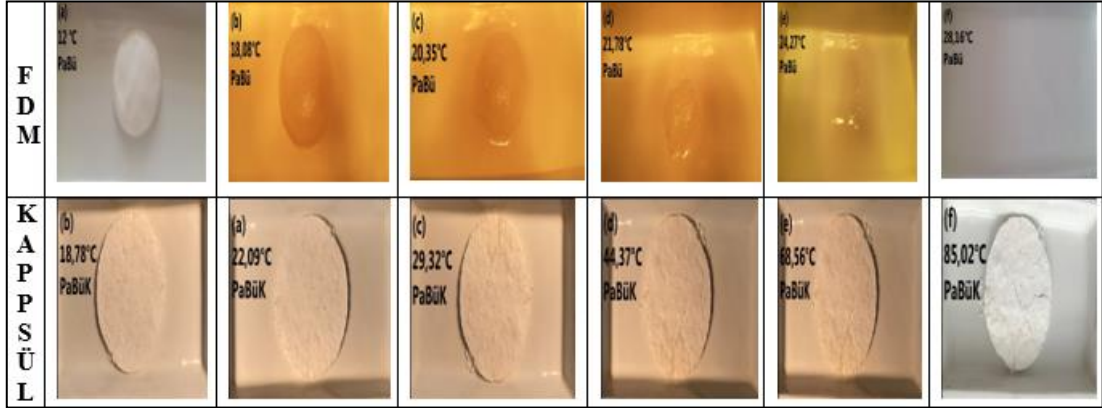
Palmitik asit ve bütil stearatın[1:4] DSC sonuçları incelendiğinde bu ikili ötektiğin erime ve katılaşma entalpi değerleri dikkate alındığında entalpi değerlerinin kapsülasyon işlemi sonrasında azaldığı tespit edildi. Entalpide meydana gelen bu düşüşün sebebi ise FDM'nin kapsül içindeki kütlece yüzdesinin düşük olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz [67].

Çizelge 5. 14 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat ve palmitik asit in DSC Analizi

Adı	Erime Süreci				Katılaşma süreci			
	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (J/g)	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (J/g)
Pa	63.02	65.77	67.29	186.27	60.09	57.84	55.27	-185.43
Bü	18.93	22.48	24.13	92.65	19.71	17.57	13.73	-93.76
PaBü	18.03	22.33	24.60	76.48	18.42	14.56	10.28	-76.34
PaBüK	18.60	22.70	24.83	50.89	18.06	15.50	11.33	-51.14

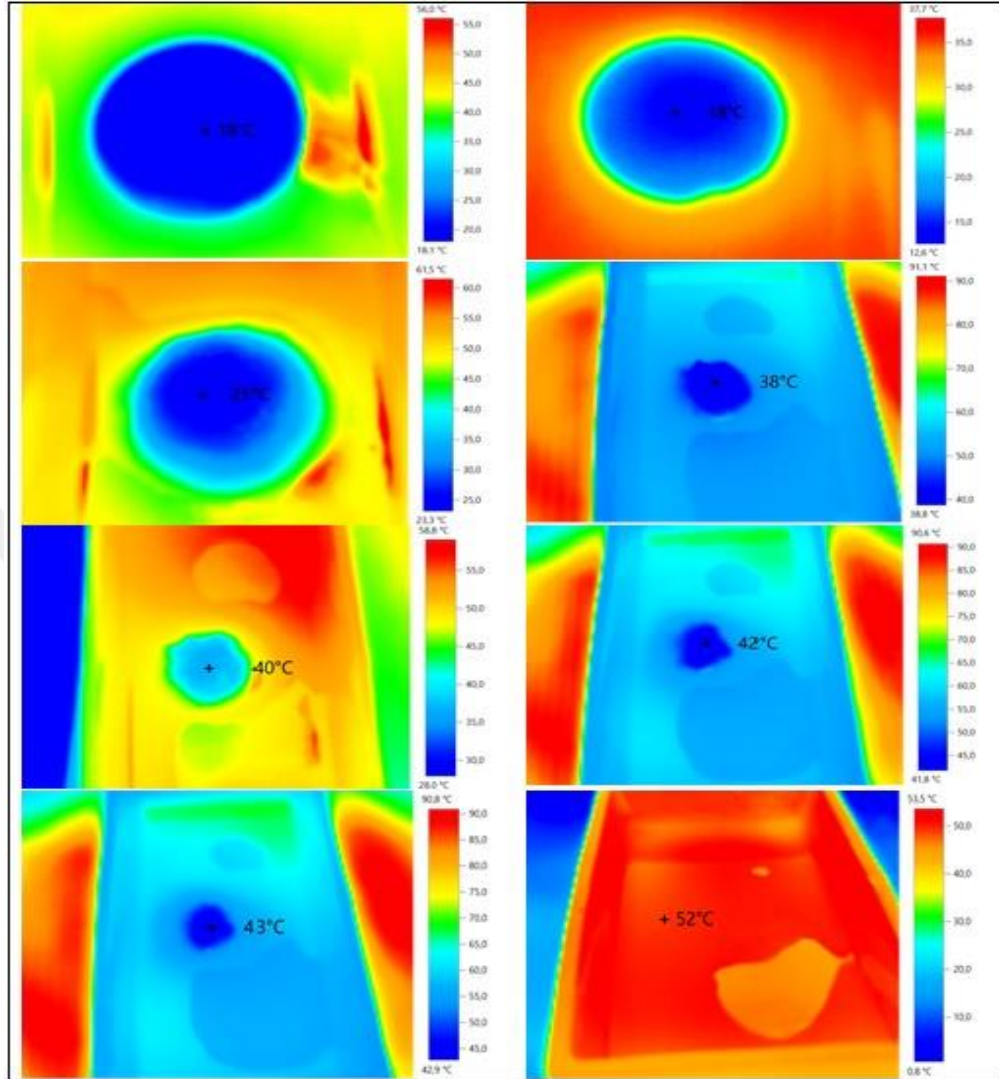
5.5.4. Mikrokapsüllenmiş Bütül Stearat ve Palmitik Asitin Şekil Kararlılığı

Bütül stearat ile palmitik asit ötektiğinin şekil kararlılığını belirlemek için ötektik ve mikrokapsüllenmiş bütül stearat ile palmitik asit 1800 Pa basınç altında preslenmiştir. İkili ötektik oda sıcaklığından başlayarak 29 °C'ye kadar ısıtma işlemine tabi tutuldu. Bu sırada ikili ötektiğin saf halinin 18 °C de erimeye başladığı ve 25 °C de tamamen eridiği görülmektedir. Maddede oluşan hal değişiminin DSC analizindeki değişimi ile paralel bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bütül stearat ile palmitik asit ötektiğinin mikrokapsüllenmiş hali ise 90°C'ye kadar ısıtılma işlemine tabii tutuldu. Görüntüler incelendiğinde ısıtma işlemi esnasında bütül stearat ve palmitik asitin erime sıcaklığının çok üzerinde ısıtılmasına rağmen preslenen yapıların şekillerini koruduğu tespit edildi. FDM'nin sızıntı göstermeyip şeklini koruduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5. 34 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat ve palmitik asitin şekil kararlılığı

Bütül stearat ve palmitik asit ötektik karışımının solar simülatör ışığı yardımı ile ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan ötektiğin sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği gözlemlendi (Şekil 5.35). Sıcaklığı yükselen kapsüllenmemiş FDM'nin akma davranışı gösterdiği görülmektedir. Ayrıca PaBü ötektik karışımının DSC verilerinden de (Çizelge 5.14) elde ettiğimiz 18,03- 24,60 °C erime hal değişimi aralığında gerçekleştiği, tamamen erime gösteren bölgelerin sıcaklıkları ise 50°C'den yüksek olduğu gözlemlendi.



Şekil 5. 35 Bütil stearat ve palmitik asit ikili ötektiğinin şekil kararlılığı termal analizi

5.5.5. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearat ve Palmitik Asitin Termal İletkenliği

Mikrokapsülasyon işlemi sonrasında bütil stearat ile palmitik asit(PaBüK) ikili ötektiğinin termal iletkenlikleri ölçülüp saf haldeki bütil stearat ile palmitik asit(PaBü) ile kıyaslandığında değerlerin önemli ölçüde değişmediği saptandı. Mikrokapsülasyon işlemi sırasında ilave edilen Boron Nitrit ile termal iletkenliğin arttığı tespit edildi.

Elde edilen bu sonuçlar mikrokapsülasyon işlemi sonrasında bütül stearat ile palmitik asiti(PaBü) ötektiğinin kimyasal yapısının korunduğu belirlendi.

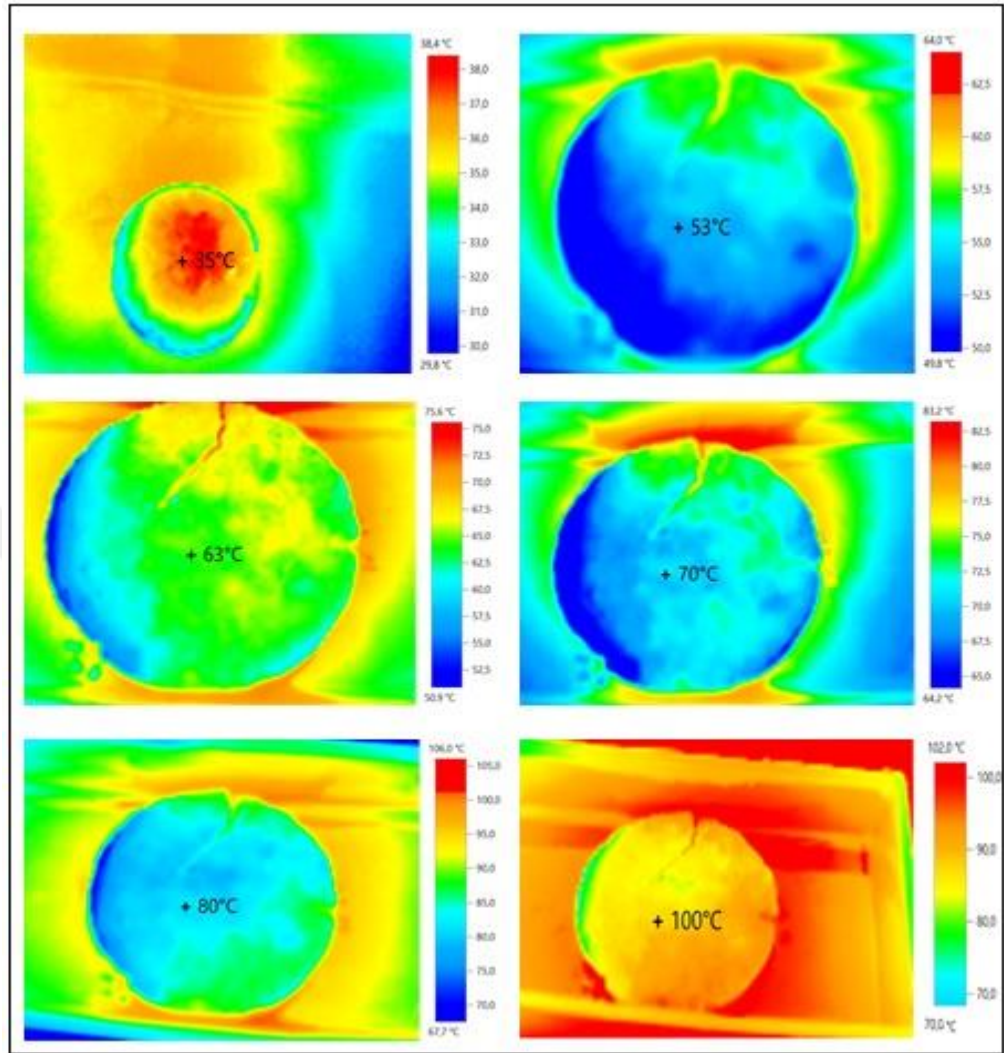
Çizelge 5. 15 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat ve palmitik asitin termal analizi

Setil alkolün ve Palmitik Asitin Termal Analizi			
Madde	Termal İletkenlik W/m.K	Sıcaklık °C	Hata Payı
Bü	0,025	24,65	0,0096
Pa	0,077	24,94	0,0152
PaBü	0,070	23,20	0,0055
PaBüK	0,071	23,41	0,0069

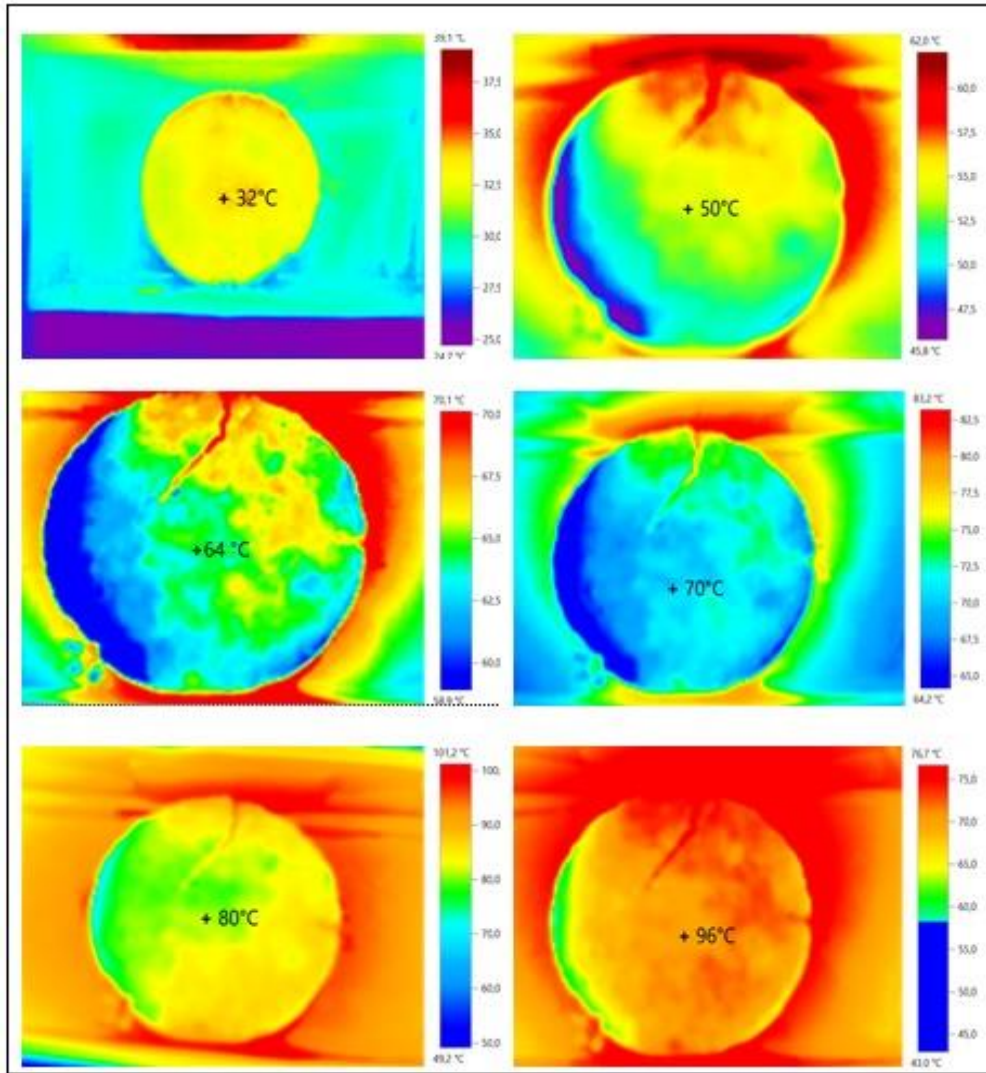
5.5.6 Mikrokapsüllenmiş Bütül Stearat ve Palmitik Asitin Termal

Davranışı

Mikrokapsüllenmiş palmitik asit ile bütül stearat ötektiği solar simülatör ışığı altında ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelenmiştir. Oda sıcaklığından başlayarak 100 °C ye kadar ısıtılmış, aynı şekilde soğumanında yavaş yavaş gerçekleştirildiği termal davranışı izlenmiştir. Sonuç olarak termal güvenilirliğe sahip iyi bir faz değişim davranışı ve iyi bir termal döngü gerçekleştirdiği görülmektedir. Şekil 5.36’da ve Şekil 5.37’de mikrokapsüllenmiş palmitik asit ve bütül stearatın(PaBüK) termal şekil kararlılığını çok iyi koruyabildiği görülür.



Şekil 5. 36 Mikrokapsüllenmiş palmitik asit ve bütül stearatın (PaBüK) ısınma sürecindeki termal davranışı



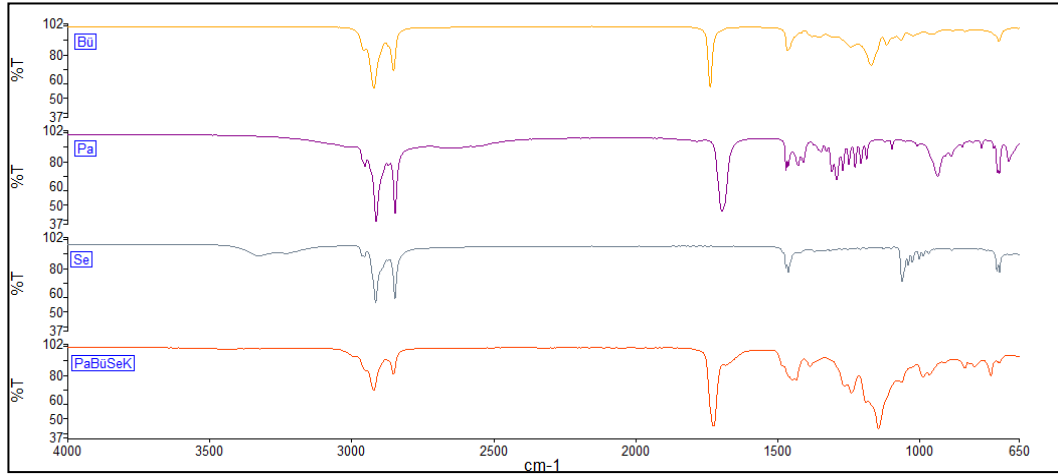
Şekil 5. 37 Mikrokapsüllenmiş palmitik asit ve bütül stearatın (PaBüK) soğuma sürecindeki termal davranışı

5.6. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün Analizi

Farklı erime sıcaklığına sahip setil alkol, palmitik asit ve bütil stearat 3 farklı oranda üçlü ötektiği yapıldı. DSC analizine göre ideal erime ve donma sıcaklığına sahip üçlü ötektik (1:1:8) oranında elde edilmiştir. Setil alkol, palmitik asit ve bütil stearatın (SePaBü(1:1:8)) oranında mikrokapsülasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve analizleri bu doğrultuda yapılmıştır.

5.6.1. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün FT-IR Analizi

Şekil 5.38 de görüldüğü gibi mikrokapsüllenmiş FDM (MikroFDM), (PaBüSe) ve kabuk malzemenin FT-IR spektroskopisi ile elde edilen spektrumları yer almaktadır. Saf setil alkolde görülen spektrum piki incelendiğinde 2963 cm⁻¹ ve 2847 cm⁻¹ piklerin C-H grubuna ait gerilme titreşiminden meydana geldiği, saf palmitik asitte görülen 2952, 2847 cm⁻¹ de piklerin alifatik C-H gerilme titreşimlerinden kaynaklandığı, saf bütil stearatta ise 1739 cm⁻¹ gerilme titreşiminin C=O bağıny ifade ettiği tespit edildi. Bunun yanında polimer kabuk malzemeye ait spektrum incelendiğinde kabuk malzemenin karakteristik pikleri olan aromatik C-H ve C=O gerilme bağlarının sırasıyla 1477-1332 cm⁻¹ ve 1725 cm⁻¹ bandında olduğu görülmektedir. 1145 cm⁻¹ deki zirveler ise C-O asimetrik ve simetrik germe titreşimine ait olduğu görülür. Kabuk kısmında polimer içeren MikroFDM'e ait spektrum incelendiğinde ise hem çekirdek FDM'ye hem de kabuğa ait tüm karakteristik piklerin spektrumda yer alması FDM nin başarılı bir şekilde kapsülünün gerçekleştiği doğrulamaktadır.



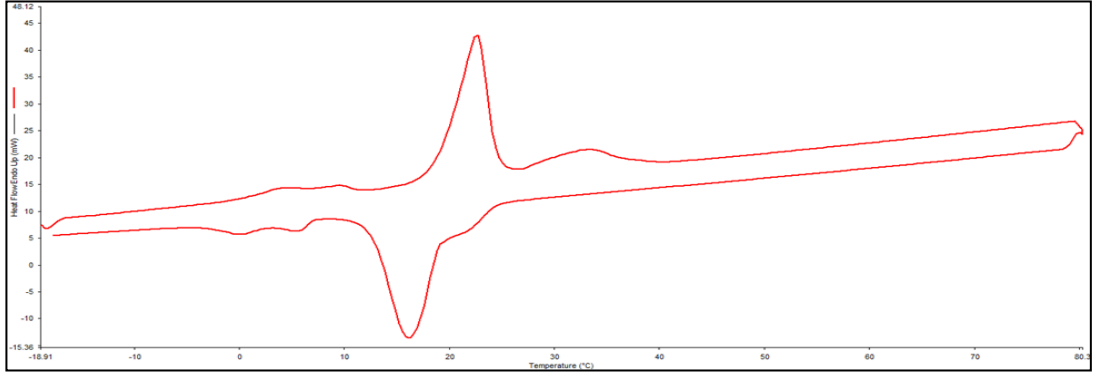
Şekil 5. 38 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat, palmitik asit ve setil alkolün FT-IR spektrumu

Çizelge 5.16 Mikrokapsüllü bütül stearat, palmitik asit, setil alkolün FT-IR spektrumu

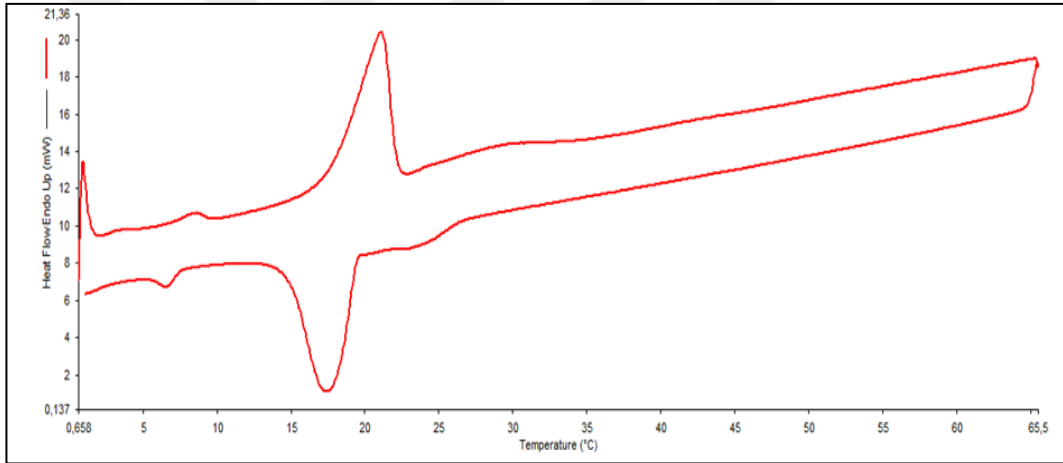
FDM	Ortak Fonksiyonel Grupların FT-IR Analizi	
	Titreşim Modu	Pik Frekansı (cm ⁻¹)
Bü	C-H _(Gerilme)	2956-2850
	C=O _(Gerilme)	1739
	C-C _(Gerilme)	1470-1353
	C-O _(Gerilme)	1170
Pa	O-H _(Gerilme)	3216-2551 (Yayvan Pik)
	C-H _(Gerilme)	2952-2847
	C=O _(Gerilme)	1697
	C-H _(Eğilme)	1469-1402
	C-O _(Gerilme)	1293
Se	O-H _(Gerilme)	3416-3142 (yayvan pik)
	C-H _(Gerilme)	2963-2847
	C-H _(Eğilme)	1463
	C-O _(Gerilme)	1061
PaBSüSeK	C-H _(Gerilme)	2995-2853
	C=O _(Gerilme)	1725(Bü)
	C=O _(Gerilme)	1683 (Pa)
	C-H _(Eğilme)	1477-1332
	C-O _(Gerilme)	1145

5.6.3. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün DSC Analizi

Mikrokapsüllerin ısı depolama özelliklerini incelemek için yapılan DSC analiz sonuçları Şekil 5.40 ve Şekil 5.41’de gösterilmiştir. Elde edilen DSC eğrisinde bütil stearat, palmitik asit ve setil alkolün (PaBüSe(1/4)) üçlü ötektik halinin 63.02 °C de erimeye başladığı, 67.29°C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Erime sırasında ise 186.27 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde üçlü ötektiğin (SePaBü) 60.09°C de katılaşmaya başladığı, 55.27 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Hal değişimi sırasında ise -185.43 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Setil alkol, palmitik asit ve bütil stearatın (SePaBüK) mikrokapsüllenmiş halinde ise 17.64°C de erimeye başladığı, 22.10 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Erime sırasında ise 26.35 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde (SePaBüK)’ın mikrokapsüllenmiş halinde ise 19.43°C de katılaşmaya başladığı, 14.86 °C de ise hal değişimini tamamladığı görülmektedir. Katılaşma sırasında ise -30.46 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 40 Bütül stearat, palmitik asit ve setil alkolün DSC eğrisi



Şekil 5. 41 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat, palmitik asit ve setil alkolün DSC eğrisi

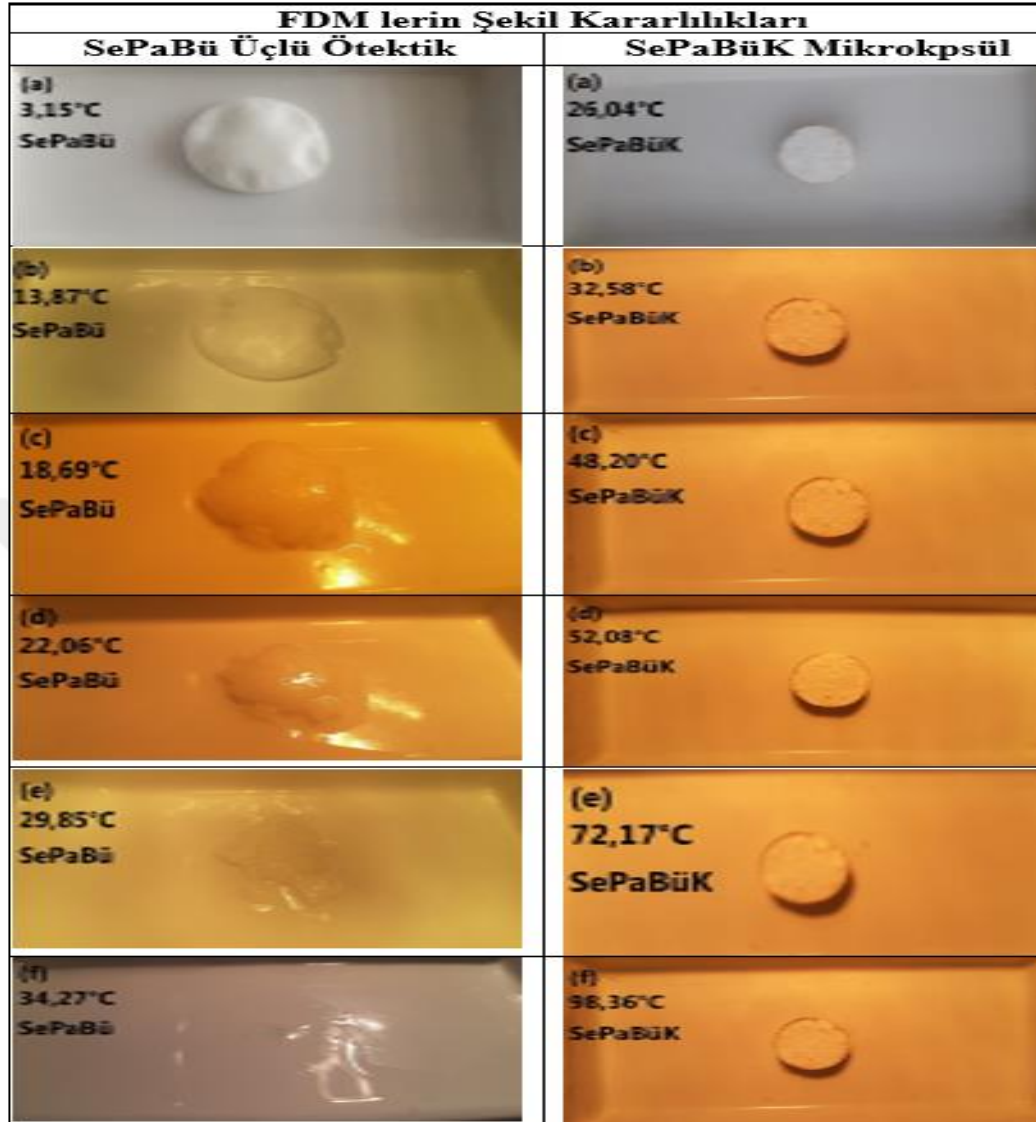
Setil alkol, palmitik asit ve bütül stearatın[1:1:8] DSC sonuçları incelendiğinde bu üçlü ötekiğin erime ve katılaşma entalpi değerleri dikkate alındığında entalpi değerlerinin kapsülasyon işlemi sonrasında azaldığı tespit edildi. Entalpide meydana gelen bu düşüşün sebebi ise FDM'nin kapsül içindeki kütleye yüzdesinin düşük olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz [74].

Çizelge 5. 17 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat, palmitik asit ve setil alkolün DSC analizi

Adı	Erime Süreci				Katılma süreci			
	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (j/g)	Başlangıç (°C)	Tepe (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_m (j/g)
Se	49.84	52.09	53.46	226.80	47.46	45.86	44.43	-131.45
Pa	63.02	65.77	67.29	186.27	60.09	57.84	55.27	-185.43
Bü	18.93	22.48	24.13	92.65	19.71	17.57	13.73	-93.76
PaBüSe	18.87	22.73	24.47	74.14	19.69	16.23	12.55	-103.75
PaBüSeK	17.64	21.09	22.10	26.35	19.43	17.46	14.86	-30.46

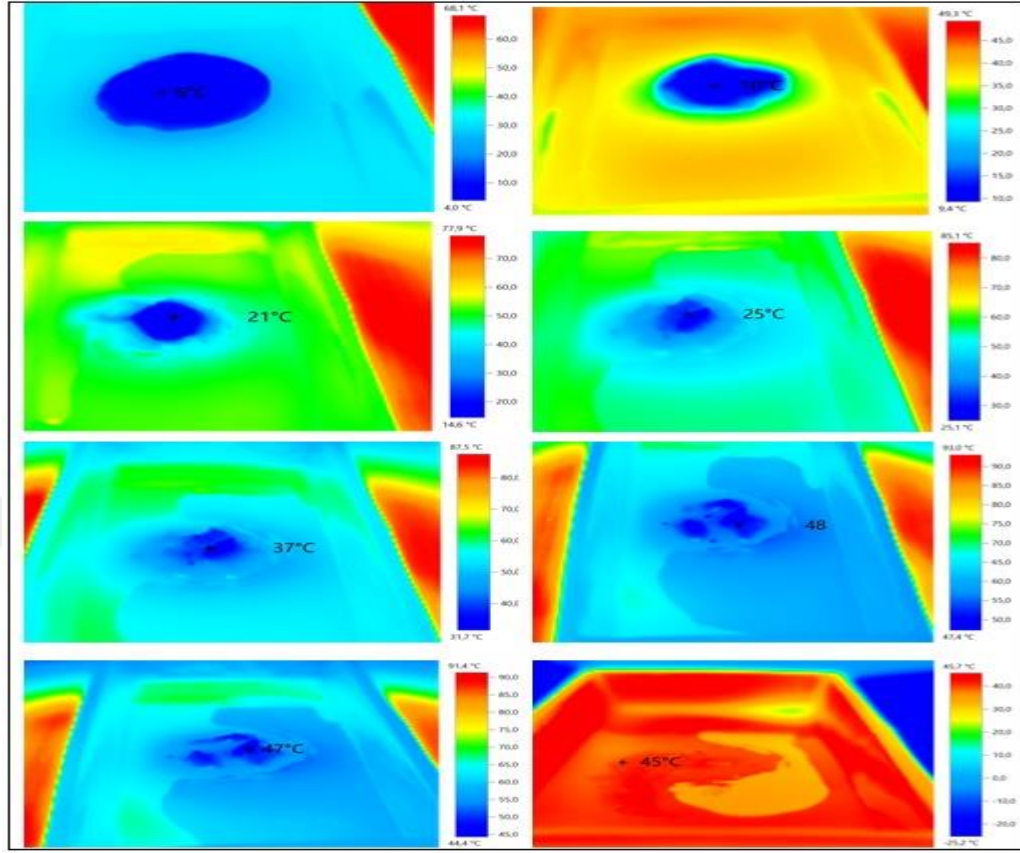
5.6.4 Mikrokapsüllenmiş Bütül Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün Şekil Kararlılığı

Setil alkolün- palmitik asit ile bütül stearat üçlü ötektiğinin şekil kararlılığını belirlemek için üçlü ötektik ve mikrokapsüllenmiş setil alkol ile palmitik asit ve bütül stearat 1800 Pa basınç altında preslendi. Üçlü ötektik oda sıcaklığından başlayarak 35 °C'ye kadar ısıtılma işlemine tabi tutuldu. Bu sırada üçlü ötektiğin erimeye başladığı ve maddede oluşan hal değişiminin DSC analizindeki değişimi ile paralel bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Setil alkol ile palmitik asit ve bütül stearat üçlü ötektiğinin mikrokapsüllenmiş hali ise 98°C'ye kadar ısıtılma işlemine tabii tutuldu. Görüntüler incelendiğinde ısıtma işlemi esnasında setil alkolün- palmitik asitin ve bütül stearat ın erime sıcaklığının çok üzerinde ısıtılmasına rağmen preslenen yapıların şekillerini koruduğu tespit edildi.



Şekil 5. 42 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat, palmitik asit ve setil alkolün şekil kararlılığı

Setil alkol-bütül stearat ve palmitik asit ötektik karışımının solar simülatör ışığı yardımıyla ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan ötektik sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği gözlemlendi (Şekil 5.43). Sıcaklığı yükselen kapsüllenmemiş FDM'nin akma davranışı gösterdiği görülmektedir. Ayrıca SePaBü ötektik karışımının DSC verilerinden de (Çizelge 5.17) elde ettiğimiz 18,87- 24,47 °C erime hal değişimi aralığında gerçekleştiği, tamamen erime gösteren bölgelerin sıcaklıkları ise 45°C'den yüksek olduğu gözlemlendi.



Şekil 5. 43 Bütil stearat, palmitik asit ve setil alkolün termal davranışı

5.6.5. Mikrokapsüllenmiş Bütil Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün Termal İletkenliği

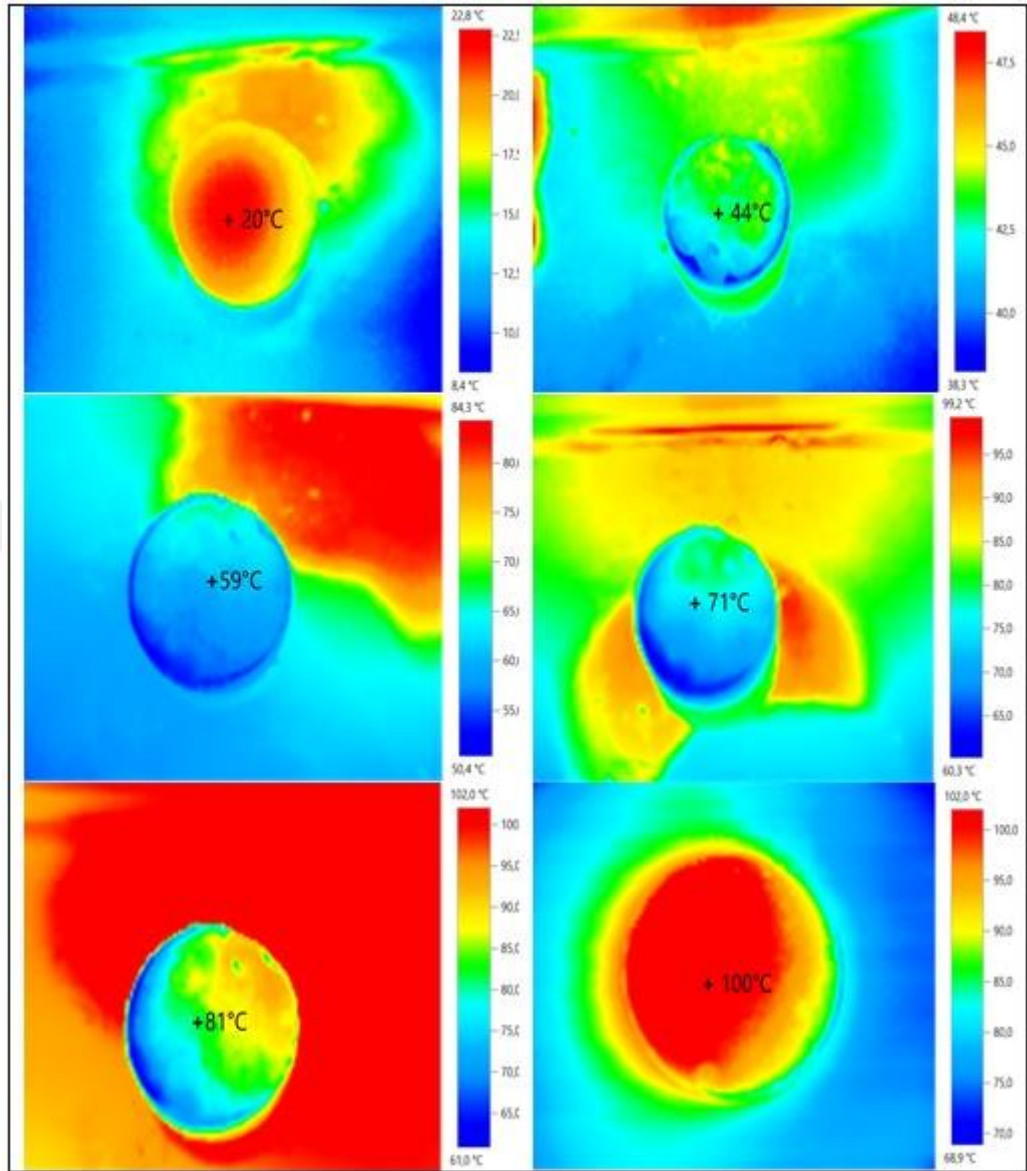
Mikrokapsülasyon işlemi sonrasında setil alkol, bütil stearat ile palmitik asit(SePaBüK) üçlü ötektiğinin termal iletkenlikleri ölçülüp saf haldeki setil alkol, bütil stearat ile palmitik asit(SePaBü) ile kıyaslandığında değerlerin önemli ölçüde değişmediği saptandı. Mikrokapsülasyon işlemi sırasında ilave edilen Boron Nitrit ile termal iletkenliğin arttığı tespit edildi. Elde edilen bu sonuçlar mikrokapsülasyon işlemi sonrasında setil alkol, bütil stearat ile palmitik asiti(SePaBü) ötektiğinin kimyasal yapısının korunduğu belirlendi.

Çizelge 5. 18 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat, palmitik asit ve setil alkolün termal analizi

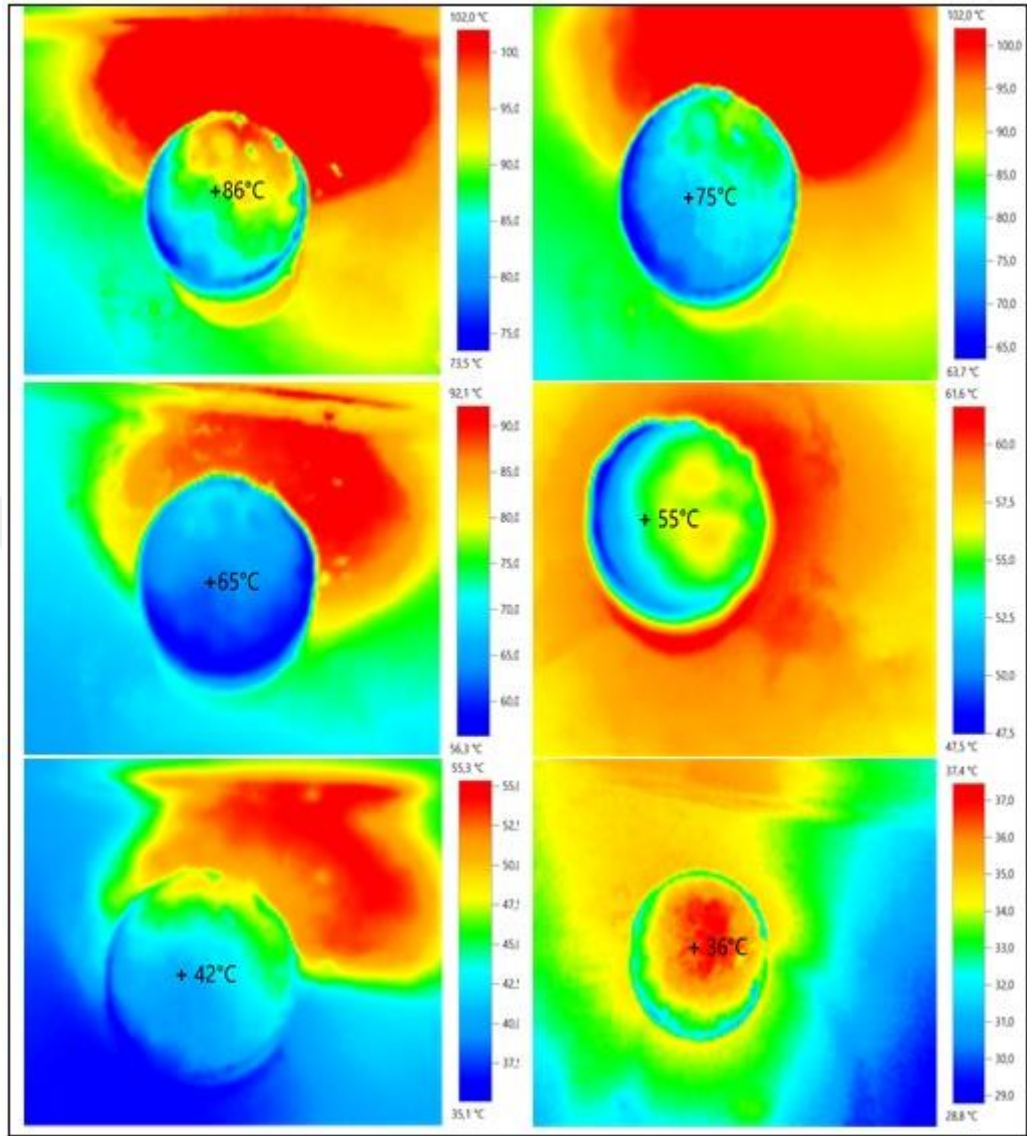
Setil alkol - Palmitik Asit ve Bütül Stearatın Termal Analizi			
Madde	Termal İletkenlik W/m.K	Sıcaklık °C	Hata Payı
Bü	0,025	24,65	0,0096
Pa	0,077	24,94	0,0152
Se	0,111	22,30	0,0075
PaBüSe	0,071	23,62	0,0101
PaBüSeK	0,072	23,80	0,0051

5.6.6. Mikrokapsüllenmiş Bütül Stearat, Palmitik asit ve Setil alkolün Termal Davranışı

Mikrokapsüllenmiş setil alkol, palmitik asit ve bütül stearat üçlü ötektiği solar simülatör ışığı altında ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelenmiştir. Oda sıcaklığından başlayarak 100 °C ye kadar ısıtılmış, aynı şekilde soğumanında yavaş yavaş gerçekleştirildiği termal davranışı izlenmiştir. Sonuç olarak termal güvenilirliğe sahip iyi bir faz değişim davranışı ve iyi bir termal döngü gerçekleştirdiği görülmektedir. Şekil 5.44 ve Şekil 5.45’de mikrokapsüllenmiş setil alkol, palmitik asit ve bütül stearatın(SePaBüK) termal şekil kararlılığını çok iyi koruyabildiği görülür.



Şekil 5. 44 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat, palmitik asit ve setil alkolün(SePaBüK) ısınma sürecindeki termal davranışı



Şekil 5. 45 Mikrokapsüllenmiş bütül stearat, palmitik asit ve setil alkolün(SePaBüK) soğuma sürecindeki termal davranışı

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Enerji ihtiyacının ve talebinin hızla arttığı günümüzde alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesi giderek önemli bir konu haline gelmektedir. Alternatif enerji kaynaklarının ilk sırasında yenilenebilir enerji kaynağı olarak yer alan güneş enerjisi fotovoltaiik sistemlerde elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Fotovoltaiik panellerin beraberinde getirdiği en önemli dezavantaj ise panel çalışma sıcaklığının üzerinde panellerin ömürlerinin kısılması ve verimin düşmesidir.

Faz değıştiren malzemeler uygun sıcaklık aralığında erime↔donma aralığına sahip olan ve faz değışimi esnasında yüksek oranda ısı depolama kapasitesine sahip malzemelerdir. Sahip oldukları yüksek ısı depolama kapasiteleri sebebiyle soğutma, yalıtım, ısı depolama gibi farklı sektörel alanlarda son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanmışlardır.

Literatür araştırmaları incelendiğinde ise fotovoltaiik panellerde soğutma amaçlı FDM'in kullanılmaya başlandığı fakat kullanımlarının makrokapsülleme ile sınırlı kaldığı tespit edildi. Bu amaçla tez çalışmasında ilk olarak saf haldeki bütıl stearat, palmitik asit ve setil alkol emülsiyon polimerizasyonu yöntemiyle mikrokapsüllendi. İkinci kısımda ise bütıl stereat, palmitik asit, setil alkolün farklı oranlarda (1:1, 1:4, 4:1, 2:3, 3:2) ikili ve (1:1:8, 2:3:5, 3:2:5) oranlarında üçlü ötektik karışımları hazırlandı.

Elde edilen mikrokapsüllenmiş FDM'nin termal özellikleri, yapısal ve morfolojik yapıları DSC, FT-IR ve SEM ile analiz edildi. Elde edilen tüm mikrokapsüllerin solar simülatör yardımıyla termal özellikleri ve termal şekil kararlılıkları belirlendi. Analiz sonuçlarına göre termal kamera ile alınan görüntüler sonucunda elde edilen mikrokapsüllerin tamamında kapsüllerin homojen ısınma ve soğutma gösterdiği ve kapsüllerin yağ asitlerini sızdırmadığı belirlendi. Termal şekil kararlılıkları incelendiğinde ise mikrokapsüllenmiş FDM'nin erime sıcaklıklarının üstünde sıcaklıklarda bile şekil kararlılıklarını çok iyi korudukları tespit edildi.

İdeal mikrokapsüllenmiş FDM’lerde beklenen en önemli özellik de mikrokapsüllerin yavaş soğumasıdır. Elde edilen mikrokapsüllerin termal kamera yardımıyla soğuma özellikleri incelendiğinde de beklenen özellikleri gösterdikleri belirlenmiştir.

Elde edilen mikrokapsüllenmiş FDM’ler arasında mikrokapsüllenmiş palmitik asitin mikrokapsüllerinin hemen hemen pürüzsüz, kompakt ve küresel bir görünüme sahip olduğu saptandı. Şekil 4.9’da ise mikrokapsüllerin partikül boyutunun 0,6 ilave 1,1 μm arasında değiştiği görülmektedir. Mikrokapsüllerin görünüşleri literatür çalışmaları ile uyumludur. Saf halde mikrokapsüllenmiş bütül stearat ve setil alkole nazaran mikrokapsüllenmiş palmitik asit mikrokapsüllerinin tek model dağılım sergiledikleri belirlendi.

Mikrokapsüllenmiş ötektik FDM’ler arasında ise yine analiz sonuçlarına göre termal kamera ile alınan görüntüler sonucunda elde edilen ötektik mikrokapsüllerin tamamında kapsüllerin homojen ısınma ve soğutma gösterdiği ve kapsüllerin yağ asitlerini sızdırmadığı belirlendi. Termal şekil kararlılıkları incelendiğinde ise ötektik mikrokapsüllenmiş FDM’nin erime sıcaklıklarının üstünde sıcaklıklarda bile şekil kararlılıklarını çok iyi korudukları tespit edildi.

İdeal mikrokapsüllenmiş FDM’lerde beklenen en önemli özellik de mikrokapsüllerin yavaş soğumasıdır. Elde edilen ötektik mikrokapsüllerin termal kamera yardımıyla soğuma özellikleri incelendiğinde de beklenen özellikleri gösterdikleri belirlenmiştir.

6.2. Öneriler

Tez çalışmasında literatürde ilk kez setil alkol, palmitik asit ve bütül stearatın üçlü ötektik karışımı elde edilerek karışım mikrokapsüllenmiştir. Mikrokapsüllenmiş setil alkol, palmitik asit ve bütül stearat üçlü ötektiği solar simülatör ışığı altında ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelenmiştir. Oda sıcaklığından başlayıp üçlü ötektik karışımın erime sıcaklığının üstünde sıcaklıklarda bile mikrokapsüllenmiş üçlü ötektik karışımın termal dayanıklılığını ve termal şekil kararlılığını koruduğu belirlenmiştir. Soğuma esnasında da termal kararlılık ve şekil

kararlılığı davranışları aynı kalmıştır.

Önerilen tez çalışmasında elde edilen gerek setil alkol, palmitik asit ve bütül stearatın saf mikrokapsülleri gerekse farklı oranlarda elde edilen ötektik karışımların mikrokapsülleri termal ısı depolama özellikleri açısından değerlendirildiğinde potansiyel olarak fotovoltaiik sistemlerde kullanılabilme özelliğine sahip oldukları belirlenmiştir. Fotovoltaiik sistemlerin soğutulması için kullanılacak potansiyel FDM'in yüksek ısı depolayabilme özelliklerinin yanı sıra en önemli özellikleri erime↔donma döngüsü esnasında gösterdikleri termal şekil kararlılıkları ve yavaş ısınma ve soğuma özellikleridir. Sonuçlar mikrokapsüllenmiş hallerinde bu özellikleri koruyabildiklerini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] T. Ma, Z. Li, J. Zhao, "Photovoltaic panel integrated with phase change materials (PV-PCM): technology overview and materials selection" Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.116, pp.109406, 2019.
- [2] L.Cao, F.Tang, G.Fang, "Preparation and characteristics of microencapsulated palmitic acid with Tio₂ shell as shape-stabilized thermal energy storage materials", Solar Energy Materials & Solar Cells, vol.123, pp.183-188, 2014.
- [3] <http://www.teknolojivetasarim.org/yenilenebilir-ve-yenilenemez-enerji-kaynagi-etkinligi/> [Erişim Tarihi: 01-Ocak-2020].
- [4] M Ciftci, "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Yerel Yönetimlerde Kullanımının Swot Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, 2015.
- [5] P. Ji, H. Sun, Y. Zhong, and W. Feng, "Improvement of the thermal conductivity of a phase change material by the functionalized carbon nanotubes," Chem. Eng. Sci., vol. 81, pp. 140–145, Oct. 2012, doi: 10.1016/j.ces.2012.07.002.
- [6] "GEPA", <http://www.eie.gov.tr/>. [Erişim Tarihi: 01-Ocak-2020].
- [7] İ.Dinçer, "Thermal energy storage and phase-change materials", Course on Porous Media, Evora, Portugal, 2002, pp.17-21
- [8] G. F. Munoz, A. Sole, C. Barreneche, I. Martorell, ve L. F. Cabeza, "Review on the methodology used in thermal stability characterization of phase change materials", Renewable and Sustainable Energy Review, vol.50(C), pp.665-685, 2015.

- [9] H. Akeiber, P. Nejat, M. Z. A. Majid, M.A. Wahid, F. Jomehzadeh, I.Z. Famileh, J. K. Calautit B. R. V. Hughes, S. A. Zaki, "A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.60(C), pp. 1470-1497, 2016.
- [10] A.Sarı, U.A. Biçer, Ö.Lafçı, "Yeni tip katı-sıvı faz değişim maddesi olarak galaktitol hekza miristat galaktitol hekza palmitat ve galaktitol hekza stearat esterlerinin sentezi ve enerji depolama özelliklerinin belirlenmesi", *Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, Gazi Osman Paşa Üniversitesi*, 2012.
- [11] I. Dincer, M.A. Rosen, *Thermal energy storage. Systems and applications*. John Wiley & Sons, 2002.
- [12] B.Kılış, S. Kakaç, "Importance of Energy Storage", *Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Pub., The Netherlands*, 1989.
- [13] W.J. Yang, "Thermal Energy Storage Systems and Their Dynamic Behavior", *Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Pub., The Netherlands*, 1989.
- [14] X. Wang, E. Lu, W. Lin, T. Liu, Z. Shi, R. Tang, C. Wang, "Heat storage performance of the binary systems neopentyl glycol/pentaerythritol and neopentyl glycol/trihydroxy menthylaminomethane as solid phase change materials", *Energy Conservation and Management*, vol.41, pp. 129-134, 2000.
- [15] T. M. I. Mahlia, T. J. Saktisahdan, A. Jannifar, M. H. Hasan, and H. S. C. Matseelar, "A review of available methods and development on energy storage ; technology update," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 532–545, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.01.068.

- [16] R. Domański, M. Jaworski, and M. Rebow, “Thermal energy storage problems,” J. Power thecnology, vol. 79, 1995.
- [17] G. A. Lane, Solar heat storage; Latent heat materials., Technology. Boca Raton, 1986.
- [18] Zalba B, Marin JM, and H. Cabeza, L.F. and Mehling, “Review on Thermal Energy Storage with Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis and Applications,” Appl. Therm. Eng., 2003, doi: 10.1016/S1359-4311(02)00192-8.
- [19] B. Basal, “Eş eksenli üç borulu ısı eşanjörlerinde faz değiştirici madde kullanarak ısı enerjisi depolanmasının incelenmesi,” Yüksek lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2007.
- [20] E. M. Shchukina, M. Graham, Z. Zheng, and D. G. Shchukin, “Nanoencapsulation of phase change materials for advanced thermal energy storage systems,” pp. 4156–4175, 2018, doi: 10.1039/c8cs00099a.
- [21] Y.Zhou, S. Li, Y.Zhao, Z. Ling, Z. Zhang, X. Fang,” Compatible paraffin@SiO₂ microcapsules/polydimethylsiloxane composites with heat storage capacity and enhanced thermal conductivity for thermal management”,Composites Science and Technology, vol.218,pp.109192,2022.
- [22] M. Fırat, M. Okcu, & Y. Varol, “Bir enerji depolama tankının farklı konumlarının erime ve katılaşma sürecine etkisinin sayısal olarak incelenmesi”, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2016.
- [23] Y. Zhang,, G. Zhou, K. Lin, Q. Zhang,, H. Di, “Application of latent heat thermal energy storage in buildings:state-of-the-art and Outlook”, Build Environment, vol.42(6), pp.2197-2209, 2007.

- [24] C. S Herrick, Melt-freeze-cycle life-testing of Glauber's salt in a rolling cylinder heat store, Solar Energy, 2016.
- [25] A. S. Fleischer, Thermal energy storage using phase change materials fundamentals and applications, Villanova, 2015.
- [26] M. Kozak, & Ş. Kozak, Enerji depolama yöntemleri, SDU International Technologic Science, 2012.
- [27] M. S. Mert, M. Sert, & H. H. Mert, Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değıştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2018.
- [28] H.Mehling, LF. Cabeza, M.Yamaha,Phase change materials: application Fundamentals, Thermal energy storage for sustainable energy consumption:fundamentals, case studies and design, Kluwer Academic Publishers Group,pp. 279–314,2007.
- [29] J. Muntasell, M. Barrio, J. Font, D. O. Lopez, J. L. Tamarit, M. C. Diarte, & Y. Haget, Plastic crystals and their potential use in new technologies. Journal of thermal analysis, 1991, pp37(10), 2395-2398.
- [30] A. Fallahi, G. Guldentops, M. Tao, S. Granados-Focil, & S. Van Dessel, Review on solid-solid phase change materials for thermal energy storage: Molecular structure and thermal properties. Applied Thermal Engineering, 2017, pp127, 1427-1441.
- [31] H.Mehling, LF.Cabeza, Phase change materials and their basic properties. Thermal energy storage for sustainable energy consumption: Fundamentals,case studies and design, Kluwer AcademicPubliss Group; pp. 257–78,2007.

- [32] H. Mehling, L.F. Cabeza, Heat and cold storage with PCM. An up to date introduction into basics and applications. Springer, 2008.
- [33] A. Bayon, M. Liu, D. Sergeev, M. Grigore, F. Bruno, & M. Müller, “ Novel solid–solid phase-change cascade systems for high-temperature thermal energy storage”, Solar Energy, vol.177, pp.274-283, 2019.
- [34] J. Makhammadiev, “ Mikrokapsülasyonda emülsifiye damlacıkların korunmasında kullanılacak polimerlerin sentezi”, Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2020.
- [35] S. Mondal, “Phase Change Materials for Smart Textiles – An overview”, Applied Thermal Engineering, vol. 28, pp. 1536–1550, 2008.
- [36] Ş. Eyüpoğlu, D. Kut “ Mikrokapsülasyon teknolojisi ve tekstil sektöründe kullanımı”, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol.29, pp.09-28, 2015.
- [37] D. Kut, “Fonksiyonel bitim işlemleri”, Fonksiyonel Bitim İşlemleri Ders Notları, 2011.
- [38] S. Karabulut, “ Setil alkolün inorganik esaslı mikrokapsüllerinin hazırlanması ve faz değiştirici malzeme (fdm) davranışının incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, 2019.
- [39] İ. Kandemir, “ Mikrokapsülasyon ve sol-jel teknolojileri kullanılarak koku salınımlı ve antibakteriyel kumaş geliştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2020.
- [40] Ö.Topbaş, “ Mikrokapsülasyon tekniği ile iyileştirici bandaj üretimi “, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2011.

- [41] J. Giro-paloma, M. Martínez, L. F. Cabeza, and A. I. Fernández, “Types , methods , techniques , and applications for microencapsulated phase change materials (MPCM): A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 1059–1075, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.09.040.
- [42] N. V. N. Jyothi, P. M. Prasanna, S. N. Sakarkar, K. S. Prabha, P. S. Ramaiah, and G. Y. Srawan, “Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency,” *J. Microencapsul.*, vol. 27, no. 3, pp. 187–197, May 2010, doi: 10.3109/02652040903131301.
- [43] S. Demirbağ, “Kompleks koaservasyon metodu ile ısı depolama ve güç tutuşur özellikli mikrokapsül üretimi ve tekstil uygulamaları” Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2014.
- [44] J.Giro-Paloma, M. Martínez, L. F. Cabeza, A. I Fernández, "Types, methods, techniques, and applications for microencapsulated phase change materials (MPCM): A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,vol.53, pp.1059-1075,2016.
- [45] S. Alay,”Isıl enerji depolama özellikli mikrokapsüller içeren akıllı tekstil ürünlerinin geliştirilmesi”,Yüksek lisans tezi,Süleyman Demirel Üniversitesi,2010.
- [46] S. H.Kaş,”İlaç taşıyıcı partiküler sistemler Kontrollü salım sistemleri”, İstanbul: Kontrollü Salım Derneği Yayınları, vol.1,pp65-99, 2002.
- [47] A. Sarı, C. Alkan, and A. Karaipekli, “Preparation, characterization and thermal properties of PMMA/n-heptadecane microcapsules as novel solid–liquid microPCM for thermal energy storage,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 5, pp. 1529–1534, May 2010, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.10.011.
- [48] N.Sarier, E. Önder,”Organic Phase Change Materials and Their Textile Applications: An Overview,” vol.540, pp.7-60,2012.

- [49] R.Wang,M.Ren,X.Gao,L.Qin, ''Preparation and properties of fatty acids based thermal energy storege aggregate concrete'',Construction and Building Materials,vol.165,pp.1-10,2018.
- [50] W. N. W. Ismail, "Sol-gel technology for innovative fabric finishing-A review'', Journal of Sol-Gel Science and Technology,vol.78,pp.698-707,2016.
- [51] C.J Brinker, G.W. Scherer, Sol-gel science- the physics and chemistry of sol-gel processing, New York: Akademik Press, 1989.
- [52] S. K. Ghosh, Functional Coatings. Wiley, 2006.
- [53] M.I. Ré, ''Microencapsulation by Spray Drying'', Drying Technology, vol.16,pp. 1195-1236,1998.
- [54] E. Mathiowitz, D. Chickering, Y. S. Jong, J. S. Jacop, ''Methods and industrial applications second edition'',Microencapsulation, vol.6, pp.143- 211,2000.
- [55] Y.Wang, K.Yu, X. Ling, '' Experimental study on thermal performance of a mobilized thermal energy storage system: A case study of hydrated salt latent heat storage'', Energy & Buildings, vol.210,pp.109744,2020.
- [56] M. Zandi, A. Pourjavadi,S.A. Hashemi, H.Arab, '' Preparation of ethyl cellulose microcapsules containing perphenazine and polymeric perphenazine based on acryloyl chloride for physical and chemical studies of drug release control''Polymer International, vol.47,pp. 413-418,1998.
- [57] M.Safdari,R.Ahmadi,S.Sadeghzadeh, '' Numerical investigation on PCM encapsulation shape used in the passive-active battery thermal management'', Energy,vol.193,pp. 116840,2020.

- [58] F. Wang, J.Cao,Z. Ling,Z. Zhang,X. Fang,’’ Experimental and simulative investigations on a phase change material nano-emulsion-based liquid cooling thermal management system for a lithium-ion battery pack’’, Energy,vol.207,pp. 118215,2020.
- [59] A.Hasan, J.Sarwar, H.Alnoman, S.Abdelbaqi,’’ Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate’’, Solar Energy, vol.146,pp. 417-429,2017.
- [60] N.Tan,T. Xie,P. Hu ,Y. Feng , Q.Li , S.Zhao , H. Zhou , W. Zeng ,J. Zeng,’’ Preparation and characterization of capric-palmitic acids eutectics/silica xerogel/exfoliated graphite nanoplatelets form-stable phase change materials’’, Journal of Energy Storage,vol.,pp.102016,2020.
- [61] K. Velmurugan, V.Karthikeyan, T.B.Korukonda, P.Poongavanam, S. Nadarajan, S.Kumarasamy, T.Wongwuttanasatian, D.Sandeep,’’ Experimental studies on photovoltaic module temperature reduction using eutectic cold phase change material’’, Solar Energy, vol.209,pp. 302-315,2020.
- [62] A.Karthick, K.K.Murugavel, A.Ghosh, K.Sudhakar, P.Ramanan’’ Investigation of a binary eutectic mixture of phase change material for building integrated photovoltaic (BIPV) system’’, Solar Energy Materials and Solar Cells,vol.207,pp. 110360,2020.
- [63] A.Sarı, A.Biçer, A.Karaipekli,’’Synthesis, characterization, thermal properties of a series of stearic acid esters as novel solid-liquid phase change materials’’Materials Letters,vol.63,pp.1213-1216,2009.
- [64] J.Yao, H.Xu,Y.Dai,M.Huang,’’Performance analysis of solar assisted heat pump coupled with build-in PCM heat storage based on PV/T panel’’,Solar Energy,vol.197,pp.279-291,2020.

- [65] H.Yang, S.Wang, X. Wang, W. Chao, N. Wang, X. Ding, F. Liu, Q. Yu, T. Yang, Z. Yang, J. Li, C. Wang, G. Li, "Wood-based composite phase change materials with self-cleaning superhydrophobic surface for thermal energy storage", *Applied Energy*, vol.261, pp.114481, 2020.
- [66] Akshayverr, A.Kumar, A.P.Sing, O.P.Sing, "Effect of novel PCM encapsulation desing on electrical and thermal performance of a hybrid photovoltaic solar panel", *Solar Energy*, vol.205, pp.320-333, 2020.
- [67] Z.Zhang, Y.Lian, X. Xu, X. Xu, G.Fang, M. Gu, "Synthesis and characterization of microencapsulated sodium sulfate decahydrate as phase change energy storage materials", *Applied Energy*, vol.255, pp.113830, 2019.
- [68] C. Veerakumar, A. Sreekumar, "Thermo-physical investigation of butyl stearate as potential phase change material for thermal energy storage in cooling application", *Energy Storage*, vol.2, PP1-9, 2020.
- [69] <http://www.rotalab.com/tr/urunler/gunes-simulatorleri/kucuk-alan-solar-simulator.html> [erişim tarihi 04.08.2020]
- [70] D.Quan, Y.Tseng, Y.Shih, H.Lian, Y.Yu, "Synthesis of novel phase change material microcapsule and its application", *Polymer*, vol.133, pp.250-262, 2017.
- [71] H.Wang, L.Zhao, G.Song, G.Tang, X.Shi, "Organic-inorganic hybrid Shell microencapsulated phase change materials prepared from SiO₂ / TiG-stabilized pickering emulsion polymerization", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol.175, pp.102-110, 2018.
- [72] C.Wu, G.Wu, X.Yang, Y.Liu, C.Gao, Q.Ji, "Preparation of Mannitol@Silica core-shell capsules via an interfacial polymerization process from water-in-oil emulsion", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering*

Aspects,vol.457,pp.487-494,2014.

[73] Y.Ma, X.Chu, W.Li, G.Tang, ‘‘Preparation and characterization of poly(methyl methacrylate-co-divinylbenzene) microcapsules containing phase change temperature adjustable binary core materials’’,Solar Energy, vol.86,pp.2056-2066,2012.

[74] H.Ke,Q.Wei,’’Using co-electrospinning method to regulate phase change temperatures of fatty acid eutectic/polystyrene/fatty acid eutectic form-stable phase change composite nanofibrous membranes for thermal energy storage’’,Thermochimica Acta,vol.683,pp.178438,2020.

[75] K. Sun, H. Liu, X. Wang, and D. Wu, ‘‘Innovative design of superhydrophobic thermal energy-storage materials by microencapsulation of n-docosane with nanostructured ZnO/SiO₂ shell,’’ Appl. Energy, vol. 237, pp. 549–565, 2019.

[76]<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/T%C3%BCrk%C3%A7em%C3%BCsiyonpolimerizasyonu.png> [erişim tarihi 05.08.2020]

Yayınlar

- [1] H. Soğukpınar, Z. Karagöz Genç, İ.Bozkurt, A.M. Küçükkaya, ‘‘The Investigation of Using Cetyl-Palmitic Acid as a Phase Change Material in a Solar Pond’’ *Turkish Physical Society 37th International Physics Congress*, Bodrum, 2021.
- [2] H. Soğukpınar, Z. Karagöz Genç, İ.Bozkurt, A.M. Küçükkaya, ‘‘The Effect Of Using Palmitic Acid On A Solar Pond Temperature Distribution’’ *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 17, pp.360-365,2022.
- [3] Z. Karagöz Genç, A.M. Küçükkaya, ‘‘Preparation And Characterization Of Microencapsulated Cetyl Alcohol For Solar Systems’’ *IMSTEC2021*, Kapadokya, 2021.
- [4] Z. Karagöz Genç, A.M. Küçükkaya, ‘‘Preparation, Characterization, Investigation Of Phase Change Eutectic-Thermal Control Material Used For Energy Storage And Temperature Regulation’’ *IMSTEC2021*, Kapadokya, 2021.