

T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YENİ NESİL FAZ DEĞİŞTİRİCİ MALZEME ÜRETİMİ VE TERMAL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ŞİLAN GÜRHAN ZENBİLCİ

METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİ NESİL FAZ DEĞİŞTİRİCİ MALZEME ÜRETİMİ VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ŞİLAN GÜRHAN ZENBİLCİ

Adıyaman Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zuhale KARAGÖZ GENÇ

Yıl: 2022, Sayfa sayısı: 142

Jüri: Doç. Dr. Zuhale KARAGÖZ GENÇ

Doç. Dr. ENGİN YILMAZ

Doç. Dr. HACI SOĞUKPINAR

Artan dünya nüfusunun ve fosil yakıtların kontrolsüz kullanımı sonucunda ortaya çıkan enerji talebinin karşılanması için son yıllarda ülkeler enerji politikalarını değiştirmeye ve farklı kaynak arayışlarına yönelmişlerdir. Enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımlarının yanı sıra enerjinin uygun koşullarda depolanabilmesi de oldukça önemlidir. FDM'ler ısıнын verimli olarak depolanması sağlayan malzemelerdir. FDM'lerin çalışma prensipleri erime ve donma sıcaklıkları aralıklarında oldukça yüksek oranda enerji depolayabilmeleridir. Bu nedenle enerji alanında son zamanlarda yapılan çalışmalarda oldukça sık kullanılmaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ilk sırasında yer alan güneş enerjisinin elektrik enerjisi olarak kullanımını sağlayan fotovoltaik sistemlerin beraberinde getirdiği önemli problem kullanım alanlarının oldukça sınırlı olması ve yüksek sıcaklıklarda kullanım ömürlerinin kısılmasıdır.

FDM'ler yüksek enerji depolayabilme özellikleri farklı sistemlerde soğutma amaçlı kullanımlarını da beraberinde getirmektedir. Son yıllarda fotovoltaik sistemlerin soğutulmasında FDM'ler sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Fakat literatür çalışmaları çoğunlukla makrokapsüllenmiş FDM'lerin kullanımı şeklinde kısıtlıdır. Bu amaçla tez

alışmasında Dekanoik Asit, n-Oktanoik Asit ve Dokosan arayüzey polimerizasyonu yöntemi ile mikrokapsüllenerek termal özellikleri ve fotovoltaiik sistemlerde potansiyel kullanım özellikleri incelendi. Çalışmanın ikinci basamağında; Dokosan-Dekanoik Asit [1/4], Dokosan-n-Oktanoik Asit [1:4] ve Dekanoik asit- n-Oktanoik Asit [3\2] karışımlarından ideal ötektik karışımlar elde edildi ve elde edilen uygun ötektik FDM'ler ara-yüzey polimerizasyonu ile kapsüllendi. Mikrokapsüllenmiş FDM'lerin yapısal ve termal özellikleri FT-IR, SEM ve DSC teknikleri kullanılarak analiz edildi. DSC analizleri incelendiğinde saf halde mikrokapsüllenen FDM'ler arasında mikrokapsüllenmiş Dokosanın ve ötektik mikrokapsüllenmiş FDM'ler arasında ise dokosan-n-oktanoik asit ötektik karışımının en yüksek erime ve donma gizli ısı değerlerine sahip olduğu belirlendi. Fotovoltaiik sistemlerde potansiyel kullanım özellikleri ise termal şekil kararlılığı ve solar simülatör cihazı ile termal kamera ile gözlemlenerek saptandı. Mikrokapsüllenmiş FDM'ler arasında potansiyel olarak fotovoltaiik sistemlerde kullanım özelliğine sahip olan FDM'lerin sırasıyla mikrokapsüllenmiş dokosan ve dokosan-n-oktanoik asit ötektik karışımının olduğu tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Faz değıştiren malzemeler, Arayüzey polimerizasyonu, Fotovoltaiik sistemler, Termal davranış, Şekil stabilize

ABSTRACT

MSc THESIS

NEW GENERATION PHASE CHANGE MATERIAL PRODUCTION AND INVESTIGATION OF THERMAL PROPERTIES

ŞİLAN GÜRHAN ZENBİLCİ

Adıyaman University

Graduate Education Institute

Department of Philosophy Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. ZUHAL KARAGÖZ GENÇ

Year: 2022, Number of pages: 142

Jury: Assoc. Prof. Dr. Zuhâl KARAGÖZ GENÇ

Assoc. Prof. Dr. ENGİN YILMAZ

Assoc. Prof. Dr. HACI SOĞUKPINAR

In recent years, countries have tended to change their energy policies and seek different sources in order to meet the energy demand resulting from the increasing world population and the uncontrolled use of fossil fuels. In addition to the effective and efficient use of energy resources, it is also very important to store energy in appropriate conditions. FDMs are materials that provide efficient storage of heat. The working principles of FDMs are that they can store quite a lot of energy in the melting and freezing temperature ranges. For this reason, they are used quite frequently in recent studies in the field of energy. The most important problem brought by the photovoltaic systems that enable the use of solar energy as electrical energy, which is in the first place of renewable energy sources, is that the usage areas are very limited and their lifespan is shortened at high temperatures.

FDMs' high energy storage features bring their use for cooling in different systems. In recent years, FDMs have been used frequently in the cooling of photovoltaic systems. However, literature studies are mostly limited to the use of macroencapsulated FDMs in photovoltaic systems. For this purpose, in the thesis study, Decanoic Acid, n-Octanoic Acid and Docosane were microencapsulated with the interfacial polymerization method and their thermal properties and potential use in photovoltaic systems were examined. In the second step of the study; Ideal eutectic mixtures were obtained from the mixtures of Docosan-Decanoic Acid [1/4], Docosan-n-Octanoic Acid [1:4] and Decanoic acid-n-Octanoic Acid [3\2], and these suitable eutectic FDMs were encapsulated by interfacial polymerization. Structural and thermal properties of microencapsulated FDMs were analyzed using FT-IR, SEM and DSC techniques. When the DSC analyzes were examined, it was determined that among the pure microencapsulated FDMs, the microencapsulated Docosane and among the eutectic microencapsulated FDM, the docosan-n-octanoic acid eutectic mixture had the highest melting and freezing latent heat values.

Keywords: Phase Change Material, Interfacial polymerization, Photovoltaic Systems, Shape Stability

DESTEKLER

Bu tez çalışması Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından MÜFAAP/2018-0002 numaralı altyapı projesi ve MÜFYL/2019-0003 numaralı yüksek lisans projesi ile desteklenmiştir.



BEYAN

“ Yeni Nesil Faz Değiştirici Malzeme Üretimi ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi” 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.

ŞİLAN GÜRHAN ZENBİLCİ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın planlanmasında, yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her türlü desteği sağlayan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Zuhul KARAGÖZ GENÇ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tezimin analizlerinin yapılmasında büyük emeği olan Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı müdürü Sayın Doç. Dr. Murat GENÇ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışma arkadaşlarım Ayşe Mine KÜÇÜKKAYA'ya ve Ruken ÖZBEK'e, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ndeki kıymetli hocalarıma ve idari personellerine teşekkür ederim.

Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP) (MÜFAAP/2018-0002 nolu altyapı proje) ve MÜFYL/2019-0003 numaralı yüksek lisans projesi ile desteklerinden dolayı Adıyaman Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca beni her konuda destekleyen, her zaman yanımda olan aileme, ablam Şükran SİYAHTOPRAK'a ve eşim Mustafa Yusuf ZENBİLCİ'ye teşekkürlerimi borç bilirim.

Eğitimim boyunca zaman zaman ihmal etmek zorunda kaldığım oğlum Ahmet Barış ZENBİLCİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

Adıyaman
23.08.2022

ŞİLAN GÜRHAN ZENBİLCİ

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	III
DESTEKLER.....	V
BEYAN	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ	XV
SİMGELER.....	XVI
KISALTMALAR	XVII
1.GİRİŞ	1
2. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER	4
2.1.Faz Değıştiren Malzemelerin Sınıflandırılması	7
2.1.1.Organik Faz Değıştiren Malzemeler	8
2.1.2.İnorganik Faz Değıştiren Malzemeler.....	13
2.1.3.Ötektik Faz Değıştiren Malzemeler	15
2.2. Faz Değıştiren Malzemelerin Katkılandırılması	17
2.3. Faz Değıştiren Malzemeleri Kapsülleme Yöntemleri.....	17
2.3.1. Makrokapsülasyon	19
2.3.2. Mikrokapsülleme.....	20
2.3.1.Kimyasal Yöntemler	24
2.3.2.Fiziko-Kimyasal Yöntemler.....	29

2.4. Faz Değiştiren Malzemelerin Uygulama Alanları	32
3. ÖNCEKİ ÇALIşMALAR.....	37
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	44
4.1. Materyal	44
4.1.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar ve Gereçler.....	44
4.1.2. Faz Değiştirici Malzemelerin Analizi İçin Kullanılan Yöntemler ve Cihazlar	45
4.2. Yöntem.....	47
4.2.1. İkili Ötektik Karışımların Genel Sentez Yöntemi.....	47
4.2.2. Mikrokapsülasyon İşlemleri.....	49
5. BULGULAR ve TARTIşMA.....	53
5.1. Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Malzemelerin Analizi	53
5.1.1. Mikrokapsüllenmiş Dokosanın FT-IR Analizi.....	53
5.1.2. Mikrokapsüllenmiş Dokosanın DSC Analizi.....	55
5.1.3. Mikrokapsüllenmiş Dokosanın SEM analizi	57
5.1.4. Mikrokapsüllenmiş Dokosanın Şekil Stabilize Analizi	58
5.1.5. Mikrokapsüllenmiş Dokosanın Termal Davranışı	59
5.1.6. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asitin FT-IR Analizi	62
5.1.7. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asitin DSC Analizi.....	63
5.1.8. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asitin SEM Analizi	65
5.1.9. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asitin Şekil Stabilize Analizi	66
5.1.9. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asitin Termal Davranışı	67
5.1.11. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin FT-IR Analizi.....	70
5.1.12. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin DSC Analizi	72

5.1.13. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin SEM Analizi.....	74
5.1.14. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin Şekil Stabilize Analizi.....	75
5.1.15. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin Termal Davranışı.....	76
5.2. Mikrokapsüllenmiş İkili Ötektiklerin Analizi.....	79
5.2.1. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin FT-IR Analizi	79
5.2.2. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin DSC Analizi	82
5.2.3. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin SEM Analizi.....	84
5.2.4. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin Şekil Stabilize Analizi...	86
5.2.5. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin Termal davranışı.....	88
5.2.6. Mikrokapsüllenmiş Dokosan- n-Oktanoik Asitin FT-IR Analizi	91
5.2.7. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-n-Oktanoik Asitin DSC Analizi.....	93
5.2.8. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-n-Oktanoik Asitin SEM Analizi	96
5.2.9. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-n-Oktanoik Asitin Şekil Stabilize Davranışı	98
5.2.10. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-n-Oktanoik Asitin Termal Davranışı....	100
5.2.11. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asit-n-Oktanoik Asitin DSC Analizi...	104
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	107
6.1.Sonuçlar	107
6.2. Öneriler	109
KAYNAKLAR	110
KİŞİSEL BİLGİLER	122

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1 Enerji depolama yöntemleri.....	1
Şekil 2. 1 Katı-sıvı faz değişimi gerçekleştiren malzemelerin ısı depolaması ve ısı salınımı.....	5
Şekil 2. 2 Faz değiştiren malzemelerin sınıflandırılması	7
Şekil 2. 3 Mevcut faz değiştiren malzemelerin erime sıcaklıkları ve füzyon ısısı.....	7
Şekil 2. 4 Ötektik noktaya sahip karışımların faz diyagramı	15
Şekil 2. 5 Faz değiştiren malzeme olan çekirdek ve onu çevreleyen kabuk	18
Şekil 2. 6 Makrokapsül, mikrokapsül ve nanokapsüllerin boyut dağılımı.....	18
Şekil 2. 7 Mikrokapsüllerin olası morfolojileri (a) düzensiz şekil; (b) basit; (c) çok duvarlı; (d) çok çekirdekli ve (e) matris tipi	19
Şekil 2. 8 Makro boyutta kapsülleme şekilleri.....	19
Şekil 2. 9 (a) Mononükleer; (b) polinükleer; (c) matris kapsülleme ve (d) çoklu film mikrokapsüllenmiş-FDM türleri	20
Şekil 2. 10 Süspansiyon polimerizasyon mikrokapsülleme işleminin şeması	25
Şekil 2. 11 Emülsiyon polimerizasyonu yöntemi	26
Şekil 2. 12 FDM emülsiyonlarının mikroskopik fotoğrafları.	26
Şekil 2. 13 Dispersiyon polimerizasyonun şematik açıklaması	27
Şekil 2. 14 Arayüzey polimerizasyon mikrokapsülleme yönteminin şeması	28
Şekil 2. 15 Basit koaservasyon tekniği şeması, (a) çekirdek malzeme bir kabuk polimer çözeltisi içinde dağıtılır; (b) koaservatın solüsyondan ayrılması; (c) koaservat damlacıklar ile çekirdek malzemenin kaplanması ve (d) çekirdek parçacıkları etrafında sürekli bir kabuk oluşturmak için koaservatın birleşmesi	29
Şekil 2. 16 Jelatin ve Arap zamkı kullanılarak karmaşık koaservasyon ile mikrokapsül hazırlanması için genel işlem şeması	30
Şekil 2. 17 Sol-jel prosesi mikrokapsülleme yöntemi, (a) yoğunlaşma ve (b) jelleşme	31
Şekil 2. 18 (a)Tuğla içerisine makro kapsül şeklinde paketlenmiş parafin uygulaması, (b) makro kapsüllerde BioFDM.....	32

Şekil 2. 19 Sıcak-soğuk gıda muhafazasında paketlemelerde FDM 'in kullanılması	33
Şekil 2. 20 Mikrokapsüllenmiş FDM içeren lifin enine (a) ve boyuna kesit (b) görüntüleri	34
Şekil 2. 21 Üretiminde FDM'in kullanıldığı çeşitli tekstil ürünleri	34
Şekil 2.22 Mikrokapsüllenmiş FDM'in ameliyat masalarındaki sıcak-soğuk terapilerde, kan numuneleri ve organ taşımacılığında kullanılması	35
Şekil 2. 23 FDM'in yüksek teknoloji uygulamalarındaki kullanım alanları	36
Şekil 2. 24 Referans-PV, FDM1-PV, FDM2-PV kurulu dış mekân deney düzeneği	36
Şekil 3. 1 PV/kapsüllenmiş-FDM hücresi üzerindeki erime durumunda sıcaklık varyasyonları	37
Şekil 3. 2 FDM'i PV sistemine bağlayarak toplam elektrik enerjisi üretimindeki iyileştirme a) Ankara b) Mersin	38
Şekil 3.3 PMMA/dokosan mikrokapsüllerinin A) SEM görüntüsü, B) DSC termogramı	39
Şekil 3. 4 1:1, 4:3, 5:3, 2:1 kütle oranı ile MMA/PCM'nin DSC(a) ve TG (b) eğrileri	40
Şekil 3. 5 (a) SNF/KNT/PEG kompozitlerinin foto-termal dönüşümünün şematik diyagramı. (b) Farklı Xenon lamba ışık kaynağı yoğunlukları (90, 100, 110 ve 120 mW/cm ²) altında SNF/KNT/PEG kompozitlerinin sıcaklık gelişim eğrileri . (c) Farklı ışık yoğunluğunda SNF/KNT/PEG kompozitlerinin foto-termal enerji depolama verimliliği . (d) 50 geri dönüşüm için SNF/KNT/PEG kompozitlerinin sıcaklık evrim eğrileri (ışık yoğunluğu 110 mW/cm ²)	41
Şekil 3. 6 (sol) DS ötektik ve sızıntıya dirençli ŞPK/DS kompozitinin DSC termogramları, (sağ) ŞPK, DS, ŞPK/DS kompozitinin termal iletkenliği	42
Şekil 3. 7 SiCn ₄ hazırlanmasını gösteren şematik diyagramı	43
Şekil 4. 1 FDM'nin arayüzey polimerizasyonu ile mikrokapsüllenme şeması	49
Şekil 5. 1 Dokosan ve mikrokapsüllenmiş dokosanın FT-IR spektrumları	53
Şekil 5. 2 Saf dokosanın (Do) erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri	55

Şekil 5. 3 Mikrokapsüllenmiş dokosanın (Do) erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri	55
Şekil 5. 4 Mikrokapsüllenmiş dokosanın SEM görüntüleri	58
Şekil 5. 5 Mikrokapsüllenmiş dokosanın şekil stabilize analizi	59
Şekil 5. 6 Mikrokapsüllenmiş dokosanın ısınma sürecindeki termal davranışları.....	60
Şekil 5. 7 Mikrokapsüllenmiş dokosanın soğuma sürecindeki termal davranışları ...	61
Şekil 5. 8 Saf dekanolik asitin (De) ve mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin (De-K) FT-IR spektrumları.....	62
Şekil 5. 9 Saf dekanolik asitin erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri.....	64
Şekil 5. 10 Mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri	64
Şekil 5. 11 Mikrokapsüllenmiş Dekanolik asitin SEM analizi	66
Şekil 5. 12 Mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin şekil stabilize analizi.....	67
Şekil 5. 13 Mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin ısınma sürecindeki termal davranışları	68
Şekil 5. 14 Mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin soğuma sürecindeki termal davranışları	69
Şekil 5. 15 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin FT-IR spektrumları	70
Şekil 5. 16 Saf n-oktanoik asitin erime-donma hal değişimine ait DSC eğrileri	72
Şekil 5. 17 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin erime-donma hal değişimine ait DSC eğrileri	72
Şekil 5. 18 Mikrokapsüllenmiş dokosanın SEM görüntüleri	74
Şekil 5. 19 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin şekil stabilize analizi.....	75
Şekil 5. 20 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin ısınma sürecindeki termal analizi	77
Şekil 5. 21 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin soğuma sürecindeki termal analizi	78
Şekil 5. 22. Dokosan (Do), Dekanolik Asit (De) ve Do-De ötektik karışımının ve kapsülünün (Do-De-K) FT-IR spektrumları.	79
Şekil 5. 23 Saf dokosanın erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri.....	82
Şekil 5. 24 Dokosan ve dekanolik asit ötektik karışımının (DoDe) DSC eğrileri	83
Şekil 5. 25 Mikrokapsüllenmiş dokosan ve dekanolik asit ötektik karışımının (DoDe-K) DSC eğrileri	83

Şekil 5. 26 Mikrokapsüllenmiş Do-De ötektik karışımının SEM analizi	85
Şekil 5. 27 Dokosan-Dekanoik Asit ötektiğinin ve mikrokapsülünün şekil stabilize analizi	87
Şekil 5. 28 Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asit karışımının ısınma sürecindeki termal davranışları.....	88
Şekil 5. 29 Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asit karışımının soğuma sürecindeki termal davranışı	89
Şekil 5. 30 Mikrokapsüllenmemiş Dokosan-Dekanoik Asit karışımının ısınma sürecindeki termal davranışı	90
Şekil 5. 31 Dokosan (Do), n-oktanoik Asit (Ok) ve Do-Ok ötektik karışımının ve kapsülünün (Do-De-K) FT-IR spektrumları	91
Şekil 5. 32 Saf dokosanın (Do) erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri	94
Şekil 5. 33 Saf n-oktanoik asitin (Ok) erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri	94
Şekil 5. 34 Dokosan - n-oktanoik asit ötektiğinin erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri	95
Şekil 5. 35 Mikrokapsüllenmiş dokosan - n-oktanoik asit ötektiğinin erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri	95
Şekil 5. 36 Mikrokapsüllenmiş dokosan-n-oktanoik Asitin SEM görüntüleri.....	97
Şekil 5. 37 Dokosan-n-Oktanoik Asit ötektiğinin ve kapsülünün şekil stabilize analizi	99
Şekil 5. 38 Mikrokapsüllenmiş dokosan-n-oktanoik asitin ısınma sürecindeki termal davranışı	101
Şekil 5. 39 Mikrokapsüllenmiş dokosan-n-oktanoik asitin ısınma sürecindeki termal davranışı	102
Şekil 5. 40 Dokosan-n-Oktanoik asit ötektik karışımının termal davranışı	103
Şekil 5. 41 Saf Dekanoik Asitin erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri	105
Şekil 5. 42 saf n-oktanoik asitin erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri	105
Şekil 5. 43 Dekanoik asit-n-oktanoik asit ötektik karışımının erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri	105
Şekil 5. 44 Mikrokapsüllenmiş dekanolik asit -n-oktanik asit ötektiğinin DSC eğrisi	106

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2. 1 Faz değıştiren malzemelerin özellikleri	6
Tablo 2. 2 Organik, inorganik ve ötektik faz değıştiren malzemelerin avantajları ve dezavantajları	8
Tablo 2. 3 Parafin grubunda yer alan FDM'ler ve termofiziksel özellikleri	9
Tablo 2. 4 Parafin olmayan FDM'ler ve özellikleri	11
Tablo 2. 5 Tuz hidrat grubunda yer alan FDM'ler ve özellikleri	14
Tablo 2. 6 Ötektik FDM'ler ve özellikleri	16
Tablo 2. 7 Farklı kapsülleme yöntemlerinin karşılaştırılması	21
Tablo 2. 8 Kapsülasyon işleminde kullanılan kabuk malzemeler	24
Tablo 4. 1 Ötektik karışımların hazırlanmasında kullanılan FDM'in termal özellikleri	44
Tablo 4. 2 Farklı ikili ötektik karışımı için denenen oranlar ve madde miktarları	48
Tablo 4. 3 DSC sonucuna göre ötektik özelliğı gösteren karışım oranları ve termal özellikleri	48
Tablo 4. 4 Dokosanın mikrokapsülasyon işlemi için kullanılan kimyasallar	50
Tablo 4. 5 Dokosan-dekanoik ikili ötektik karışımının mikrokapsülasyon işlemi için kullanılan kimyasallar	51
Tablo 4. 6 Mikrokapsüllerin içerdığı FDM oranı	52
Tablo 5. 1 Saf dokosan ve mikrokapsüllenmiş dokosanın FT-IR spektrumları	54
Tablo 5. 2 Saf Dokosanın (Do) ve Mikrokapsüllenmiş Dokosanın (Do-K) DSC Eğrileri	56
Tablo 5. 3 Mikrokapsüllenmiş dekanoik asitin FT-IR spektrumları	63
Tablo 5. 4 Saf dekanoik asitin (De) ve mikrokapsüllenmiş dekanoik asitin (De-K) DSC verileri	65
Tablo 5. 5 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin FT-IR spektrumları	71
Tablo 5. 6 Saf n-oktanoik asitin (Ok) ve mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin (Ok-K) DSC verileri	73
Tablo 5. 7 Dokosan (Do), Dekanoik Asit (De) ve Do-De [2:3] ötektik karışımının ve kapsülünün (Do-De-K) FT-IR spektrumlarının değerleri	81
Tablo 5. 8 Saf dokosanın (Do), dekanoik asitin (De), dokosan-dekanoik asit ötektiğinin (Do-De) ve mikrokapsülünün (DoDe-K) DSC verileri	84
Tablo 5. 9 Dokosan (Do), n-oktanoik Asit (Ok) ve Do-Ok ötektik karışımının ve kapsülünün (Do-Ok-K) FT-IR spektrumları	92
Tablo 5. 10 Saf dokosanın (Do), n-oktanoik asitin (De), dokosan-n-oktanoik asit ötektiğinin (Do-De) ve mikrokapsülünün (DoDe-K) DSC verileri	96
Tablo 5. 11 Saf dekaok asitin (De), oktanoik asitin (Ok), dekanoik asit-n-oktanoik asit ötektiğinin (De-Ok) ve mikrokapsülünün DSC verileri	106

SİMGELER

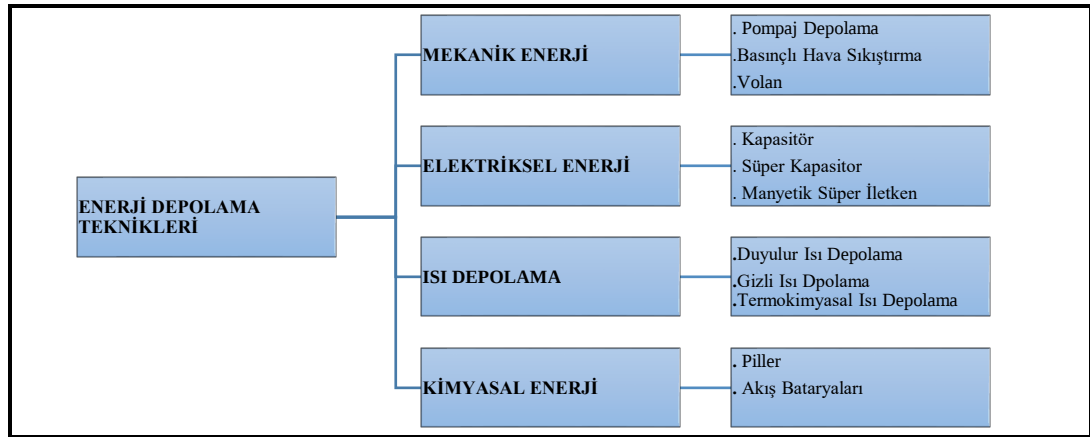
<i>ck</i>	: Katı haldeki özgül ısı (kJ/kg.K)
<i>cp</i>	: Sabit basınçtaki özgül ısı (kJ/kg.K)
<i>cs</i>	: Sıvı haldeki özgül ısı (kJ/kg.K)
<i>He</i>	: Erime gizli ısı (kJ/kg)
<i>m</i>	: Kütlesek debi (kg/s)
<i>Te</i>	: Erime sıcaklığı (K)
<i>Tep</i>	: Erime pik sıcaklığı (°C)
<i>Td</i>	: Donma sıcaklığı (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 Değiştiren Madde
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskop
GES	: Güneş Enerjisi Sistemleri
PV	: Fotovoltaik sistemler
FDM	: Faz Değiştiren Malzemeler
PCM	Phase change material
Si	Silisyum
Ge	Germanyum
TED	Termal enerji Depolama
SDS	Sodyum Dodesil Sülfat
MMA	Metilmetakrilat
BP	Benzoil Peroksit
Do-K	Mikrokapsüllenmiş dokosan
De-K	Mikrokapsüllenmiş dekanolik asit
Ok-K	Mikrokapsüllenmiş oktanoik asit
DoDe-K	Mikrokapsüllenmiş dokosan- dekanolik asit ötektik
DoOk-K	Mikrokapsüllenmiş dokosan- n-oktanoik asit ötektik
De-Ok-K	Mikrokapsüllenmiş dekanolik ait-n-oktanoik asit ötektik

1.GİRİŞ

Toplumun ve küresel ekonominin ani gelişimi, enerji talebinde çarpıcı bir artışa yol açmıştır. Bu nedenle, enerji sorunuyla baş edebilmek için hem yeni sürdürülebilir enerji kaynaklarının araştırılması hem de enerji verimliliğinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Şekil 1.1’de gösterildiği üzere enerji depolama çeşitli şekillerde olabilmektedir. Son yıllarda, termal enerji depolama, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi açısından çok çekici bir konudur [1]. Termal enerji depolama teknolojisi (TED), enerji talebi ve arzı arasındaki boşluğu doldurarak kullanım verimliliğini artırır ve enerjinin yeniden dağıtımını iyileştirir. TED yöntemi, hissedilir ısı, gizli ısı ve termokimyasal ısı depolama olarak üçe ayrılır (Şekil 1.1) [2], [3]. Maddenin ısı kapasitesinden yararlanılarak enerjinin depolanmasına duyulur ısı depolama denir. Duyulur ısıyı depolamak için kullanılacak bazı sıvı malzemeler su, yağ bazlı sıvılar, erimiş tuzlar, kayalar ve metallerdir. Su gibi malzemelerin diğer malzemeler için aşındırıcı olabileceği, dolayısıyla depolanmasının kolay olmadığı ve zamanla önemli bir ısı kaybına neden olur. Depolanan enerji miktarı yoğunluğa, özgül ısıya ve malzemenin boyutuna bağlı olması en önemli dezavantajdır [4].



Şekil 1. 1 Enerji depolama yöntemleri

Enerjinin, sabit bir faz geçiş sıcaklığında faz değişimi yoluyla depolanmasına “gizli ısı depolama” denir. Enerjiyi faz değişimi yoluyla depolayan maddelere ise faz değiştiren malzemeler (FDM) denir. Faz değişikliği esnasında büyük miktar da enerji

depolayabildikleri ve geri salabildikleri için FDM kullanarak gizli ısı depolama en etkili yöntemlerden biridir [5]. Gizli ısı depolama yöntemiyle depolanan enerji miktarı, hissedilebilir ısı depolamasından daha büyüktür. Bu nedenle gizli ısı depolama yönteminde ‘i kullanarak daha az kütle ve hacim ile depolama sağlanabilir [5], [6]. Ayrıca faz değişimi sabit bir sıcaklıkta gerçekleşir, böylece korozyon ve sıcaklık gibi kullanım sorunları önlenir. FDM de faz geçişleri katıdan sıvıya, katıdan katıya veya sıvıdan gaza olabilir. Yüksek enerji depolayabilme kapasitesine sahip olan FDM katıdan sıvı faza geçerken ısı absorplar, sıvıdan katı faza geçerken ısı yaymaktadırlar. Yükselen sıcaklık bu maddelerin erime sıcaklığına ulaştığında katıdan sıvı faza geçer, erime boyunca ortamdan gizli ısı absorbe etmekte ve gizli ısıyı yapısında depo etmektedir. Sıcaklık düşüp katılaşma başladığın da ise depo ettiği gizli ısıyı ortama geri yaymaktadır. FDM organik, inorganik veya ötektik olarak 3 gruba ayrılır. Bu malzemelerin dezavantajlarından bazıları, faz değişimi gerçekleşirken ortaya çıkan yoğunluk ve hacim değişikliği, bazı durumlarda faz ayrımı, aşırı soğuma ve organik FDM’nin düşük ısı iletkenlikleridir. Organik FDM’in yüksek enerji depolama kapasitesi, alt soğutmanın olmaması, ayrışma olmadan zaman içinde iyi kimyasal stabilite; inorganik FDM’in yüksek termal iletkenlikleri, ötektik FDM’in farklı malzemeleri karıştırarak faz değişim sıcaklığının ayarlanabilir olması, ayrışma olmadan uyumlu bir şekilde birleşip ve katılaşması FDM’in genel avantajları arasında yer alır. FDM’nin avantaj ve dezavantajları ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır [4], [5], [7]. Termokimyasal depolama sisteminde ısı enerji, enerjiyi açığa çıkaran moleküler düzeyde kimyasal bağların kırılma veya ayrışma reaksiyonundan sonra depolanır ve daha sonra tersine çevrilebilir bir kimyasal reaksiyonda geri kazanılır. Diğer termal enerji depolama sistemlerine benzer şekilde, termokimyasal ısı depolama sistemi de şarj, depolama ve boşaltma işlemlerine tabi tutulabilir [5]. Termokimyasal ısı depolama, bir malzemeyle sonuçlanabilecek ekzotermik ve endotermik reaksiyonların kullanımına karşılık gelir. Bu sistemlerin dezavantajları yüksek maliyet, zaman içindeki davranışı, sistemde gerçekleşen reaksiyonların uygulama aşamasında teknik sorunların çıkması, toksisiteye ve korozyona uğraması olarak sıralanabilir. Termokimyasal ısıyı depolayan malzemelerin avantajları, yüksek yoğunluklu ısı depolaması ve düşük ısı kaybıdır gösterilmiştir [2], [8].

Güneş enerjisi, her yerde bulunan ve yaygın olarak benimsenen, dünyadaki en güvenilir yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu bağlamda güneş enerjisi, fotovoltaik, güneş termal kollektörleri ve fotovoltaik termal kollektörler kullanılarak farklı enerji formlarına dönüştürülebilir. Güneş enerjisi kaynağından yeryüzüne ulaşan fotonlar (küçük enerji paketleri) fotovoltaik panellere ulaştığında hücreler tarafından emildiklerinde, açığa çıkan enerji elektronları özgürce hareket etmelerine yol açar. Fotovoltaik panellerdeki hücreler elektrik devresine bağlanarak devrede elektrik akımı meydana getirir. Fotovoltaik panellerin üzerlerinde düşen güneş ışığının soğutulması, PV hücre sıcaklığının yükselmesine neden olur ve bu da PV dönüşüm verimliliğinin azalmasına yol açar. Bu yüzden güneşin elektrığe dönüşüm verimini ve güneş panellerinin ömür beklentisini arttırmak için PV hücrelerinin soğutulması en önemli unsurdur. Bu nedenle, hücrelerin verimli bir şekilde soğutulması dolaylı olarak daha az atık malzeme oluşumuna yol açar. Soğutma sistemi yönteminin seçiminde panellerin kurulduğu yerin çevresel koşulları (sıcaklık, yıllık radyasyon, nem, rüzgar hızı vb.) önemli bir faktörler. Tüm soğutma yöntemleri genel olarak aktif veya pasif soğutma kategorisine girer. Hava soğutma tabanlı [9][10], sıvı soğutma tabanlı [11][12], ısı borusu tabanlı [13], FDM tabanlı [14][15][16] ve termoelektrik tabanlı [17][24] olarak çalışmalar mevcuttur [18].

Son zamanlarda, PV panel ve FDM'nin entegrasyonuna kapsamlı bir teknik genel bakış sunulmuştur. PV panelin arkasındaki FDM'lerin uygulanması, PV panelinden ısıyı emmek ve PV sıcaklığını daha düşük seviyede tutmak için etkili bir yoldur. Bu tür uygulamalar, PV verimliliğini iyileştirebilir ve gizli ısıyı [19][20][18] depolayabilir.

2. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER

Faz değıştiren malzemeler çevre sıcaklığının artması ile ısı soğurabilen ve bu ısıyı depolayabilen, çevre sıcaklığının düşmesi ile depoladığı bu ısıyı yayabilen malzemelere denir. FDM 'ler bu döngüyü bir fazdan diğer bir faza geçiş esnasında gerçekleştirirler. Katı-gaz ve sıvı-gaz faz değışimleri daha yüksek gizli ısı depolarken katı-katı geçişlerinde ise depolanabilecek gizli ısı enerjisi miktarı daha azdır. Ancak, Katı-gaz ve sıvı-gaz geçişleri sırasında hacim değışimi büyüktür. Bu geçişler sırasında hacim değışimini kontrol altında tutabilmek için basınca dayanıklı kapların kullanılması gerekmektedir. Ancak katı-katı geçişlerinde maddenin kristal yapısı değıştiği için hacim değışimi minimum seviyededir. Sıvı-sıvı geçişlerinde ise depolanabilecek gizli ısı enerjisi miktarı nispeten daha azdır. Katı-sıvı faz dönüşümlerinde ısı depolama diğer sistemlerden ekonomik olduğundan en uygun faz değışim tipidir. Ayrıca, katı-sıvı geçişleri esnasında hacim değışimi (% 10 veya daha az) oldukça küçüktür [21].

Katı-sıvı FDM'lerin ısıtılmasının başlangıcında, termal enerjiyi emerken FDM'nin sıcaklığı yükselir. Malzeme belirli bir sıcaklık aralığına ulaştığında FDM erimeye başlar ve erime boyunca ortamdan ısı soğurur. Maddeyi katı halde tutan kimyasal yapı soğurulan bu ısı tarafından bozulur. Ortam sıcaklığı FDM'nin katılaşma sıcaklığına düştüğünde ise sıvı-katı faz geçişi başlar. Katılaşma işlemi boyunca yapısındaki ısıyı ortama geri yayar. Faz değıştiren malzeme katıdan tamamen sıvıya dönüşene kadar veya sıvıdan tamamen katıya geçene kadar sıcaklığı sabit kalır (Şekil 2.1) [22].



Şekil 2. 1 Katı-sıvı faz değişimi gerçekleştiren malzemelerin ısı depolaması ve ısı salınımı

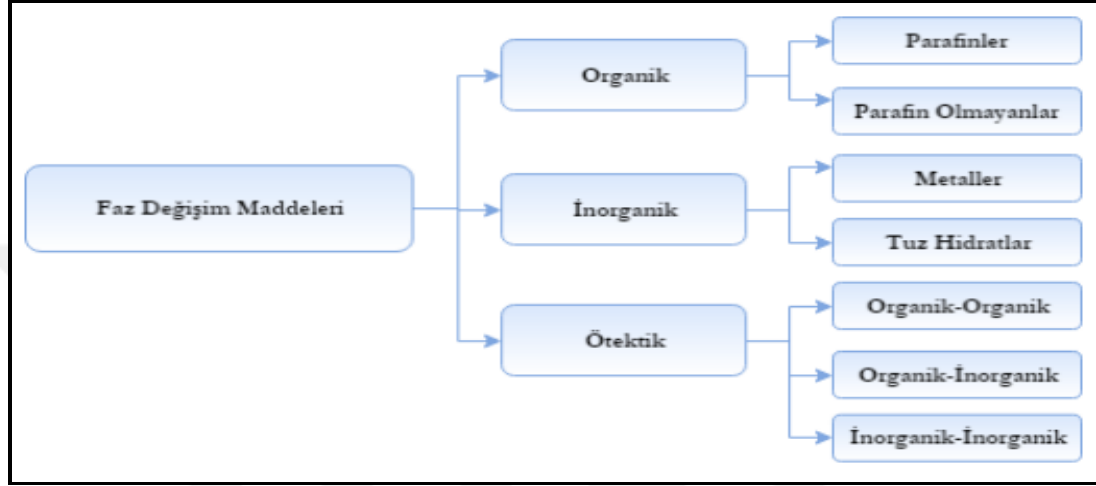
FDM 'nin termal enerji transferi, malzemenin sıvı halden kat hale değiştiği yükleme veya boşaltma (eritme veya katılaşma) işlemi sırasında gerçekleşir. FDM özellikle gizli ısı enerjisi depolama sistemlerinde kullanılır ve bu nedenle FDM, gizli ısı depolama malzemesi olarak da adlandırılabilir. Ancak, hassas ısı depolama malzemelerinden farklı olarak; faz geçiş süreci sırasında FDM, sabit veya neredeyse sabit bir sıcaklıkta ısıyı serbest bırakır veya emer. Tablo 2.1 'de faz değiştiren malzemelerin özellikleri listelenmiştir .

Tablo 2. 1 Faz değıştiren malzemelerin özellikleri

Isıl ve fiziksel özellikler (Termodinamik özellikler)	Erime noktası istenilen sıcaklık aralığında olmalı Birim hacim başına yüksek erime gizli ısısına sahip olmalı, (bu şekilde az FDM kullanarak yüksek enerji depolama sağlanır) FDM’ler hem duyulur ısı depolamaya hem de yüksek ısı depolama kapasitesine sahip olmalı Küçük hacimdeki depolara yerleştirilebilmesi için yoğunluğu yüksek olmalıdır. Yüksek ısıl iletkenliğine sahip olmalıdır. Böylece daha kısa sürede ısı depolanması ve salınımı gerçekleşecektir. Faz değışiminde küçük hacim değışimi gösteren ve çalışma sıcaklığında düşük buhar basıncına sahip olan FDM’ler de depolama kabı problemi gerçekleşmez. FDM Sıcaklık değışiminde Düzenli erime ve katılaşma davranışı göstermelidir. Aksi durumda sıvı ve katı fazlar arasında yoğunluk farkı oluşur ve faz ayrımı meydana gelir böylece maddenin kimyasal yapısı değışir.
Kinetik özellikler	Katılaşma esnasında çok az aşırı soğuma etkisi göstermeli ya da hiç göstermemelidir bunun için çekirdekleşme hızı yüksek olmalıdır. Kristal oluşum hızı yüksek olan FDM’ler ısısının hızlı geri kazanımını sağlar.
Kimyasal özellikler	Kimyasal kararlılık göstermeli (kimyasal özellikleri değışmemelidir) Tamamen tersinir erime ve katılaşma dönüşümüne sahip olmalı Kullanım süresinin uzun olması için çok sayıda erime ve katılaşma dönüşümünden sonra kimyasal kararlılık göstermeli. Korozif, yanıcı, zehirli ve patlayıcı özelliklerde olmamalıdır.
Ekonomik özellikler	Doğada kolay temin edilebilir maliyeti düşük olmalıdır.
Teknik özellikler	Basitlik, Uygulanabilirlik Sistemlere uygunluk Güvenilirlik

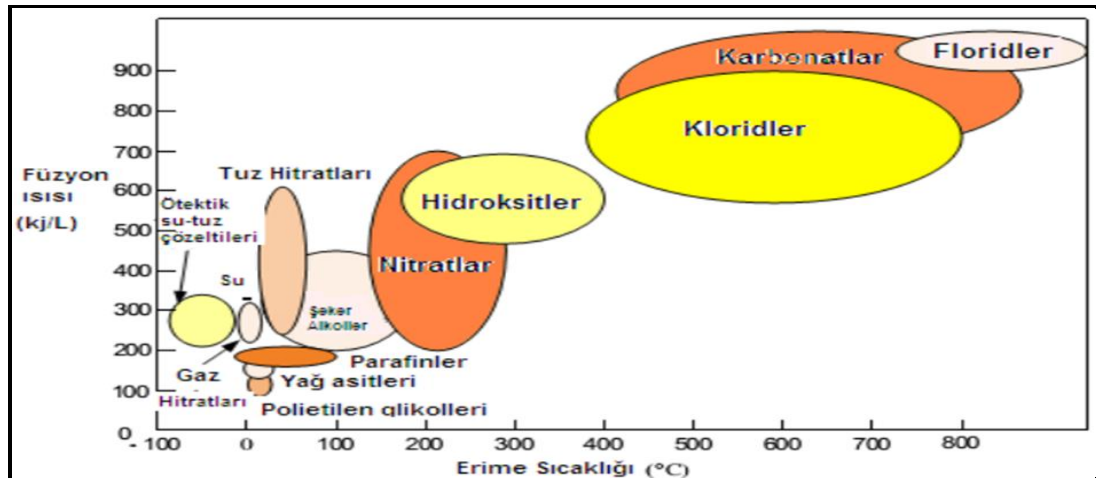
2.1.Faz Değiştiren Malzemelerin Sınıflandırılması

Birçok araştırmacı, farklı FDM türleri ile deneyler yapmıştır, onları organik, inorganik ve onların ötektikleri olarak sınıflandırmışlardır (Şekil 2. 2) [22].



Şekil 2. 2 Faz değıştiren malzemelerin sınıflandırılması

Şekil 2.3'te faz değıştiren malzemelerin füzyon ısısı- erime sıcaklığı diyagramı verilmiştir [23]. Bu diyagram yağ asitleri ve parafinlerin tuz hidratlarından geniş bir sıcaklık aralığında erime sıcaklığına sahip olduklarını göstermektedir. Tuz hidratlar ise daha yüksek füzyon ısısı gösterirler.



Şekil 2. 3 Mevcut faz değıştiren malzemelerin erime sıcaklıkları ve füzyon ısısı

Tablo 2. 2 Organik, inorganik ve ötektik faz değıştiren malzemelerin avantajları ve dezavantajları

	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Organik FDM'ler	-Yüksek enerji depolama kapasitesi	-Düşük ısı iletkenliği
	-Alt soğutma yok	-Tutuşabilirlik
	-Ayrışma olmadan zaman içinde iyi kimyasal stabilite	-Yüksek sıcaklıklarda olası dengesizlik
	-Yağ asitleri ve alkoller yenilenebilir kaynaklardan gelir	-PEG ve parafinler yenilenemeyen kaynaklardan gelir
İnorganik FDM'ler	-Organik FDM'lere göre neredeyse iki kat termal depolama kapasitesi	-Tuzlar uyumsuz füzyon ve çökelme sunabilir
	-Yüksek termal iletkenlik	-Tuzların olası dehidrasyonu
Ötektik FDM'ler	-Ayrışma olmadan uyumlu bir şekilde birleşir ve katılaşır	-Saf organik veya inorganik faz değışim malzemeleri ile aynı dezavantajlar
	-Farklı malzemeleri karıştırarak ayarlanabilir faz değışim sıcaklığı	

2.1.1.Organik Faz Değıştiren Malzemeler

Organik faz değıştiren malzemeler parafin ve parafin olmayan olmak üzere ikiye ayrılırlar. Parafin, yağ asitleri, polioller, polihidrik alkoller organik FDM'ler grubunda yer alır.

2.1.1.1.Parafinler

Petrol türevleri olan parafin mumları çoğunlukla düz zincirli alkanların CH₃-(CH₂)-CH₃ bir karışımından oluşur. Düz zincir yapıda oldukları için erime sıcaklıkları ve faz değışim entalpileri karbon zincirinin uzunluğu arttıkça artmaktadır [24]. Düşük termal iletkenliğe sahip olan parafinlerin FDM olarak kullanılabilmesi için bazı yöntemler geliştirilerek ısı transferinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Örneğin yüksek yoğunluklu polietilen gibi bir polimerin ağ yapısındaki gözeneklere grafit

katkılanarak parafınle birlikte kullanılması termal iletkenlikleri artırılabilir [25]. Tablo 2.3 Parafın grubunda yer alan FDM'ler ve termofiziksel özellikleri [26][27] verilmiştir.

Tablo 2. 3 Parafın grubunda yer alan FDM'ler ve termofiziksel özellikleri

FDM	T_m (°C)	H (kJ/kg)	k (W/m K)	ρ (kg/m ³)
<i>n</i> -Dodekan	12	216	0,21 (k), 0,21 (s)	750
<i>n</i> -Tridekane	6	-	-	756
<i>n</i> -Tetradekan	4.5– 5.6	231	-	771
<i>n</i> -Pentadekan	10	207	0.17	768
<i>n</i> -Hexadekan	18.2	238	0.21(s)	774
<i>n</i> -Heptadekan	22	215	-	778
<i>n</i> -Octadecane	28.2	245	0.35(k), 0.149(s)	814(k), 775(s)
<i>n</i> -Nonadecane	31.9	222	0.21(k)	912(k), 769(s)
<i>n</i> -Heneikosan	41	215	-	-
<i>n</i> -dokosan	44	249	-	-
<i>n</i> -Trikosan	47	234	-	-
<i>n</i> -Pentakosan	54	238	-	-
<i>n</i> -heksakosan	56	257	0.21(k)	770
<i>n</i> -Heptakosan	59	236	-	773
<i>n</i> -Nonakosan	64	240	-	-
<i>n</i> -Hentriakontan	68	242	-	930(k), 830(s)

Açıklama: C_p : Özgül ısı (kJ/kg). H : Gizli ısı (kJ/kg). k : Termal iletkenlik (W/m K). T_m : Erime sıcaklığı (°C). ρ : Yoğunluk (kg/m³).

Avantajları

- Katı-sıvı faz geçişi gösteren parafinlerin uygulama alanları 20 °C - 70 °C sıcaklık aralığındadır.
- Organik faz değiştiren malzeme grubunda yer aldıkları için inert özellik gösterirler. Bu özellikleri sayesinde yapı elemanlarıyla uyumludurlar.
- Faz değişimi sırasında küçük hacim değişimi gösterirler.
- Düzenli erime ve katılaşma davranışı gösterdikleri için faz ayırma uğramazlar.
- Uzun vadede kimyasal karalılık gösterir.
- Yüksek gizli erime ısısına sahiptirler (120 J/g dan 210 J/g'a kadar).
- Toksik ve tahriş edici özellik göstermezler ve geri dönüştürülebilirler.
- Katılaşma esnasında aşırı soğuma göstermezler ya da çok az gösterirler [25].
- Parafinlerin düşük maliyetli olmaları onların kullanımını artırmıştır [25].

Dezavantajları

- Plastik konteynırlarla her zaman uyumlu olmamaları.
- Kısmen alevlenebilmeleri.
- 0,2W/m.K civarında düşük ısı iletkenliğe sahip olmaları.
- Buna bağılı olarak daha büyük bir yüzey alanı gerektirmeleri [24].

2.1.1.2. Yağ Asitleri

Parafin olmayan FDM'ler, parafinden farklı olarak çok sayıda çeşidi bulunur. Temel olarak, organik malzemeler yüksek gizli ısı ve nispeten düşük maliyet avantajlarına sahipken, dezavantajı ise düşük ısı iletkenlik ve yanıcılıktır. Gerçekte, yağ asitleri ve türevleri, termal enerji depolama için parafin ile neredeyse aynı potansiyele sahiptir ve bu da akademik çevrede büyük ilgi görmektedir [28].

Yağ asitlerin kimyasal formülleri $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ şeklindedir. Trigliserit yağlardan elde edildikleri için yağ asitleri olarak adlandırılırlar. Bütün yağ asitlerinin bir ucunda metil grubu diğer ucunda karboksil grubu bulunur. Karbon sayıları düşük

olan yağ asitleri oda sıcaklığında sıvı halde bulunur. Yağ asitlerin karbon sayısı arttıkça viskozitesi artar, daha yüksek karbon sayısına sahip olanlar oda sıcaklığında katı halde bulunurlar [25]. Yağ asitleri termodinamik, kimyasal, kinetik ve ısı özellikler bakımından TED uygulamalarında uygundur [3]. Yağ asitlerin en önemli avantajı ham maddelerin bitkisel ve hayvansal kaynaklı olmasıdır. Hayvansal yağlarda ve sebzelerde trigliseritler çoğunlukla yenilemez yağ formunda bulunurlar. Örneğin stearik asit, palmitik asit, oleik ve linoleik asit ayçiçek, yemeklik soya ve zeytinyağı gibi ürünlerde bulunurlar. Tablo 2.4'te parafin olmayan FDM'ler ve özellikleri verilmiştir [26],[27].

Avantajları

- Faz geçişleri sırasında küçük hacim değişimi göstermeleri
- Oldukça kimyasal kararlılık
- Düşük buhar basıncına sahip olmaları
- Kendiliğinden çekirdeklenme özelliklerine sahip olmaları gibi özelliklerdir
- Zehirli ve aşındırıcı olmamaları

Tablo 2. 4 Parafin olmayan FDM'ler ve özellikleri

FDM	T_m (°C)	H (kJ/kg)	k (W/m . K)	ρ (kg/m ³)
Trietilen Glikol	7	247	-	1200(s)
N-Tetradekan	5.5	226	-	-
Formik Asit	7.8	247	-	1226.7
Izopropil Palmiat		-	-	-.
Oleik Asit	13.5- 16.3	-	-	863
Izopropil Stearat	14-19	140- 142	-	-
Kaprilik Asit	16.3	148	0.149	901
Dimetil Sülfoksit	16.5	85.7	-	1009(s)

Tablo 2.4 ‘ün devamı (Parafin olmayan FDM’ler ve özellikleri)

Asetik Asit	16.7	187–273	-	1050
Gliserin	17.9	198.7	-	1260
Butil Stearat	19	140	-	-
Polietilen Glikol 600	20–25	146	-	1100
Metil Palmitat	29	205	-	-
Kaprik Asit	32	152.7	0.153	878
Trimiristin	33–57	201–213	-	862
Polietilen Glikol 900 (PEG900)	34	150.5	0.188	1100(l), 1200 (s)
Stearik Asit	41–43	211.6	1.6	862(s), 1007(k)
Laurik Asit	42–44	178	1.6	1007(k), 862(s)
Siyanamid	44	209	-	1080
Metil Eikosanat	45	230	-	851
Elaidik Asit	47	218	-	851
Setil Alkol	49.3	141	-	-
Kamfen	50	238	-	842
Miristik Asit	52.2–58	182.6–199	-	862.2
Palmitik Asit	57.8–61.8	185.4	0.162	850(k), 989 (s)
Bal Mumu	61.8	177	-	950

Açıklama: *H*: Gizli ısı (kJ/kg). *k*: Termal iletkenlik (W/m K). *T_m*: Erime sıcaklığı (°C).
ρ: Yoğunluk (kg/m³).

2.1.2.İnorganik Faz Değiştiren Malzemeler

Özellikle yüksek sıcaklık bölgelerinde, erimiş tuzların ve metallerin daha yüksek erime sıcaklığına sahip olması nedeniyle inorganik FDM'ler vazgeçilmez bir role sahiptir. Organik malzemeler göre daha büyük gizli ısı ve daha büyük faz değişim sıcaklığına sahiptirler, düşük ısıl iletkenlik (yaklaşık $1 \text{ W / m}\cdot\text{K}$) (metaller ve alaşımlar hariç), aşındırıcılık, aşırı soğuma, düşük termal kararlılık vb. özelliklere sahiptirler [29]. İnorganik FDM'lerin ısı eşanjörlerine entegrasyonu, konsantre güneş enerjisi üretimi, güneş enerjili su ısıtma sistemleri, endüstriyel ısı geri kazanımı ve binalardaki uygulamaları mevcuttur.

2.1.2.1.Tuz Hidratlar

Metalik FDM'ler çok ağır olduğundan ve istenen sıcaklık aralığında olmadığından en yaygın inorganik FDM'ler tuz hidratlardır. Tuz hidratları $AB \cdot nH_2O$ genel formüle sahiptir. Örneğin; $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ ve $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ gibi tuz hidratlar mevcuttur. Parafin gibi organik malzemelerle karşılaştırıldığında, tuz hidratları nispeten daha yüksek gizli ısı yoğunluğunda, ayrıca neredeyse iki kat kütle yoğunluğunda ve küçük hacim değişiminde büyük performans gösterir. Ayrıca yanmazlar ve ısıl iletkenlik yeterince yüksek olmasa da parafininkinin iki katıdır [28]. Çok sayıda mevcut tuz hidrat vardır ve bunlar uyumlu, yarı uyumlu veya uyumsuz olarak erir. En değerli olanlar uyumlu, bol ve düşük maliyetli olan tuz hidratlardır. Bununla birlikte, bu tür tuz hidratların sayısı çok sınırlıdır [30]. Tuz hidratların bir diğer önemli eksikliği, katılaşmaları sırasında aşırı soğumasıdır.

Tuz hidratlar, termal depolama cihazlarında çalışma ajanı olarak yaygın olarak kullanılmadığından, termofiziksel özellikleri yeterince çalışılmamıştır. Termal enerji depolama sistemlerinde çalışma ajanı olarak tuz hidratlarının verimli bir şekilde uygulanması için, termofiziksel ve kimyasal özellikler hakkında güvenilir veriler ve sistemin ömrü boyunca bu özelliklerin korunmasına ilişkin bilgiler gereklidir [28]–[30].

Tablo 2. 5 Tuz hidrat grubunda yer alan FDM'ler ve özellikleri

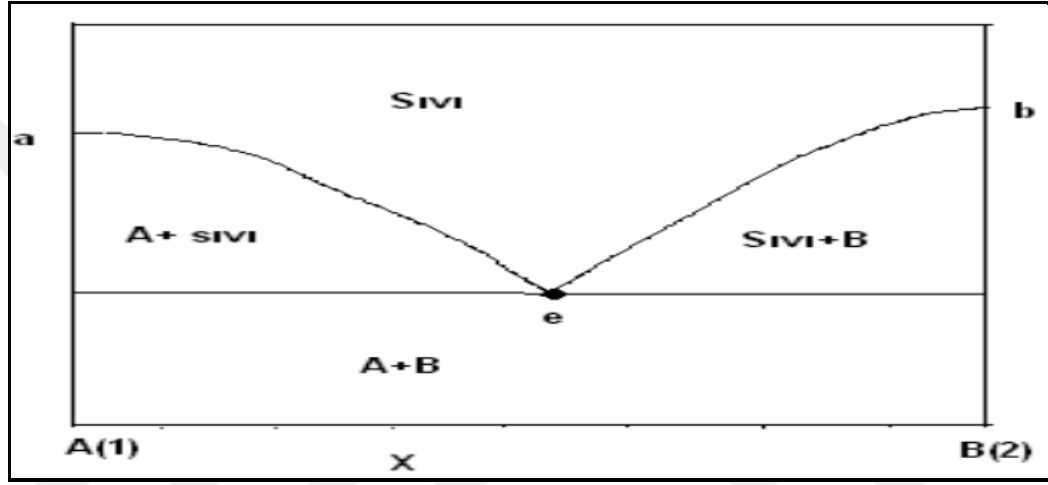
FDM	Kimyasal Formül	T_m (°C)	H (kJ/kg)	k (W/m K)	ρ (kg/m ³)
Lithium chlorate trihydrate	LiClO ₃ . 3H ₂ O	8	253	-	1720(s), 1530(l)
Dipotassium hydrogen phosphate tetrahydrate	K ₂ HPO ₄ . 4H ₂ O	18.5	231	-	1447(l), 1480(s)
Manganese nitrate hexahydrate	Mn(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	25.5	125. 9- 148	-	1738(s), 1728(l)
Calcium chloride hexahydrate	CaCl ₂ . 6H ₂ O	29- 30	170- 192	1.008(k) 0.561(s)	1802(s), 1562(l)
Sodium sulphate decahydrate	Na ₂ SO ₄ . 10H ₂ O	32	251- 254	0.544	1485(s)
Sodium carbonate decahydrate	Na ₂ CO ₃ . 10H ₂ O	32	267	0.514(k) 0.224(s)	830
Calcium bromide hexahydrate	CaBr ₂ . 6H ₂ O	34	115- 138	-	2194(k), 1956(s)
Dipotassium hydrogen phosphate dodecahydrate	Na ₂ HPO ₄ . 12H ₂ O	35-40	256- 281	-	1522
Zinc nitrate hexahydrate	Zn(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	36	134- 147	0.464	1937(k), 1828(s)
Sodium thiosulfate pentahydrate	Na ₂ S ₂ O ₃ . 5H ₂ O	48	209	-	1600
Sodium acetate trihydrate	CH ₃ COONa . 3H ₂ O	58	270- 290	-	1450
Barium hydroxide octahydrate	Ba(OH) ₂ . 8H ₂ O	78	265- 280	1.255(k) 0.653(s)	2070(k), 1937(s)
Magnesium nitrate hexahydrate	Mg(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	89.9	167	0.490(s) 0.611(k)	1550(s), 1636(k)
Magnesium chloride hexahydrate	MgCl ₂ . 6H ₂ O	117	167	0.570(s) 0.704(k)	1450(s), 1570(k)

Açıklama: H : Gizli ısı (kJ/kg). k : Termal iletkenlik (W/m K). T_m : Erime sıcaklığı (°C).

ρ : Yoğunluk (kg/m³ [26], [27]).

2.1.3.Ötektik Faz Değiştiren Malzemeler

Birden fazla bileşenden oluşan karışımın faz ayrımı olmaksızın hal değişimine uğrayabilmesi için her bileşenin aynı anda ve aynı sıcaklıkta hal değiştirmesi mümkün olduğu karışımlara ötektik karışım denir. Ötektik karışımın hal değiştirdiği noktaya ise ötektik nokta denir (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Ötektik noktaya sahip karışımların faz diyagramı

Bir ötektik, spesifik bir erime noktası gibi istenen özellikleri elde etmek için organik veya inorganik olmak üzere iki veya daha fazla FDM'nin bileşimidir [28]. Bir başka deyişle bir ötektik, iki veya daha fazla bileşenin minimum erimeli bileşimidir [31]. Karışım içinde ki her bir madde donma boyunca ayrışma olmadan uygun şekilde erir ve katılaşır. Çünkü ötektik oluşurken sıkı bir karışım şeklinde katılaşır. Minimum erime noktalı ötektik yapıların bileşimleri bazen ayrılmış olabilir ve buna hatalı ötektik denilir. Bileşimler faz geçişi boyunca peritektik bir reaksiyona uğrayan bu yapılara peritektik yapı denir [31]. Ötektik yapılar organik-organik, organik-inorganik, inorganik-inorganik olarak oluşturulabilirler. Tablo 2.6 'da Ötektik FDM'ler ve özellikleri verilmiştir [26], [27].

Tablo 2. 6 Ötektik FDM'ler ve özellikleri

Ötektik Karışım	Kompozisyon (ağırlıkça%)	T_m (°C)	H (kJ/kg)
$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$	31+13+16+40	4	234
$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl} + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$	32+14+12+42	11	-
$\text{C}_5\text{H}_5\text{C}_6\text{H}_5 + (\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{O}$	26,5+73,5	12	97.9
Trietiletan+su+üre	38,5+31,5+30	13.4	160
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	45+55	14.7	140
Kaprik+laurik asit	61,5+38,5	19.1	132
Kaprik+laurik asit	82+18	19.1–20.4	147
Kaprik+laurik asit	45+55	21	143
Kaprik+mirstik	73.5+26.5	21.4	152
kaprik + palmitat	75.2+24.8	22.1	153
kaprik+stearat	86.6+13.4	26.8	160
trietiletan+üre	62,5+37,5	29.8	218
Laurik+palmitik asit	69+31	35.2	166.3
Naftalin+benzoik asit	67.1+32.9	67	123.4

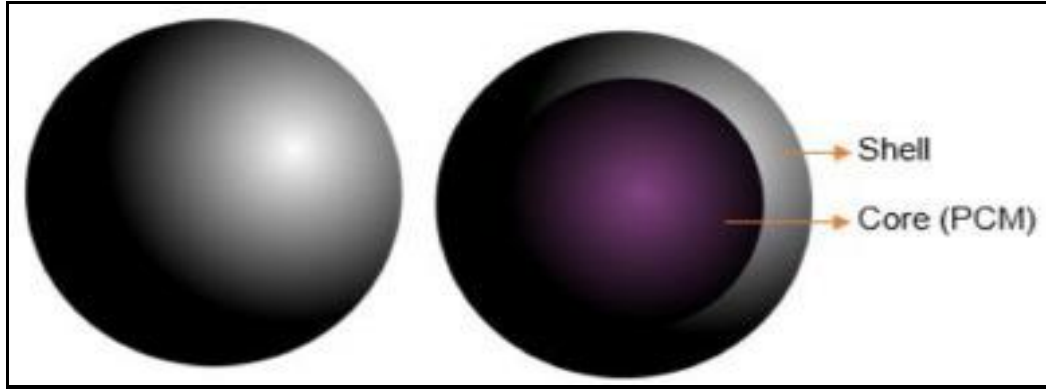
2.2. Faz Değiştiren Malzemelerin Katkılandırılması

Faz değişim materyalinin çoğu, ideal bir termal enerji ortamı için tavsiye edilen özelliklere sahip değildir ve bu nedenle termal güçlendiriciler, ortamın sahip olabileceği herhangi bir dezavantajı iyileştirmek için kullanılır. Bir başka deyişle faz değişim malzemeler termal iletkenlik özelliğini ve gizli ısı depolama kapasitesini artırmak, erime sıcaklığını düşürmek, sızma problemlerini kaldırmak ya da en aza indirmek ve iyi bir şekil stabilizasyonu sağlamak için uygun katkı maddeleri ile katkılandırılırlar. Faz değişim malzemelerin yüksek ısı depolama kapasitesine sahiptir fakat düşük ısı iletkenliği, pratik uygulamaları için büyük bir dezavantajdır. Bu problemi çözmek için FDM'ler termal iletkenliklerini artıracak katkı maddeleri ile katkılandırılırlar. Örneğin faz değişim malzemelerinin termal iletkenliğini artırmak için eklenen katkı maddeleri karbon fiberler, karbon nanotüpler, grafen nanoplatelets, siyah karbon grafenlerdir [32], [33].

2.3. Faz Değiştiren Malzemeleri Kapsülleme Yöntemleri

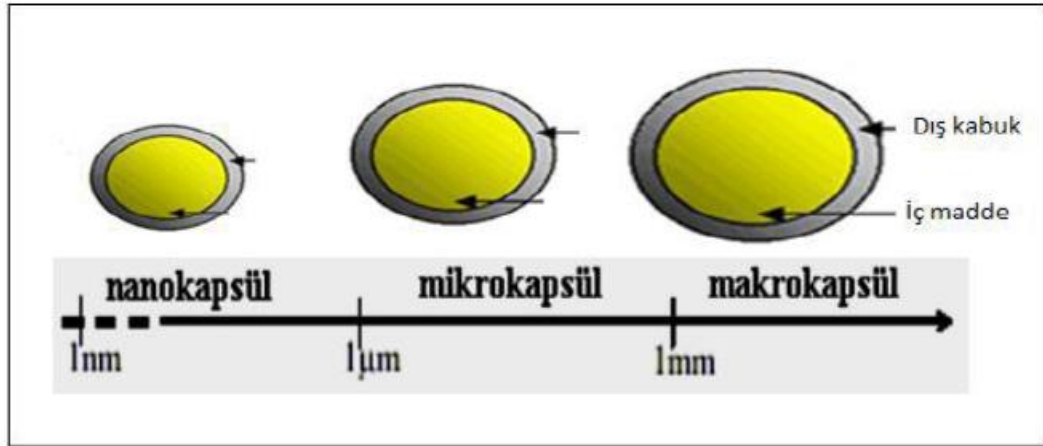
Kapsülleme, özellikle katıdan sıvıya değişen faz değişim materyallerinin işlenmesini iyileştirmek için en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, Şekil 2.5 'te [34] gösterildiği gibi bir çekirdek-kabuk sistemi elde edilir. Kapsüllerin / kabukların avantajları şunlardır [34], [35]

- FDM 'yi çevreden izole ederek dış etmenlerden koruyan bir bariyer görevi görür
- Yüzey alanını artırarak TED sisteminin ısı iletkenliğini artırır
- FDM 'lerin diğer malzemelerle uyumluluğunu artırır
- Korozyonu azaltır
- Faz değişimi sırasında FDM'nin ses değişimini kontrol etmeye yardımcı olur.

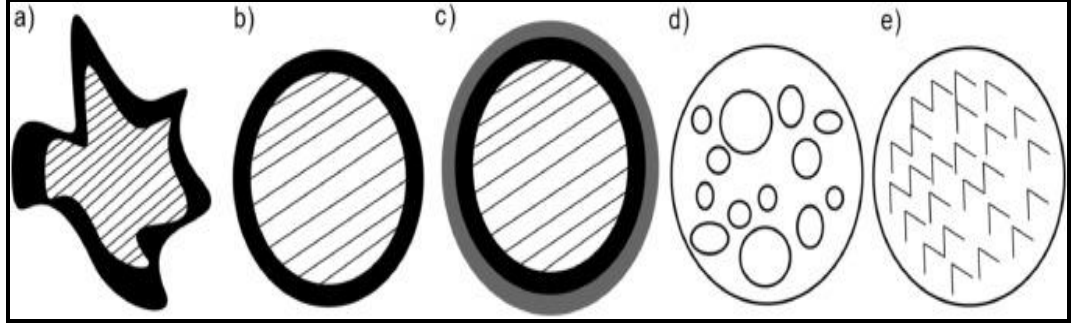


Şekil 2. 5 Faz değıştiren malzeme olan çekirdek ve onu çevreleyen kabuk

Makro ve mikro boyutlarda kapsülleme gerçekleştirilebilir. Kapsülleme, kapsül boyutuna göre sırasıyla 1 mm 'den 1 cm 'ye, 1 μm 'den 1 mm 'ye ve 1 μm 'den küçük çaplar için makrokapsülleme, mikrokapsülleme ve nanokapsülleme olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2. 6) [35]. Bununla birlikte, literatürde bildirildiğine göre en çok araştırılan boyut küresel ve düzensiz olan morfolojilerdir (Şekil 2. 7) [36] .



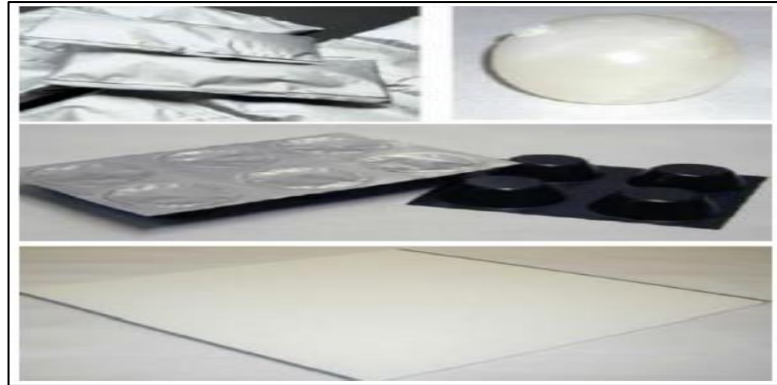
Şekil 2. 6 Makrokapsül, mikrokapsül ve nanokapsüllerin boyut dağılımı



Şekil 2. 7 Mikrokapsüllerin olası morfolojileri (a) düzensiz şekil; (b) basit; (c) çok duvarlı; (d) çok çekirdekli ve (e) matris tipi

2.3.1. Makrokapsülasyon

Üretilen FDM'ler makro boyutta tüpler, torbalar, küreler, paneller veya sabit şekilli kutularda da paketlenabilmektedir. Şekil 2.8'de makro boyutta kapsülleme yöntemleri gösterilmiştir.

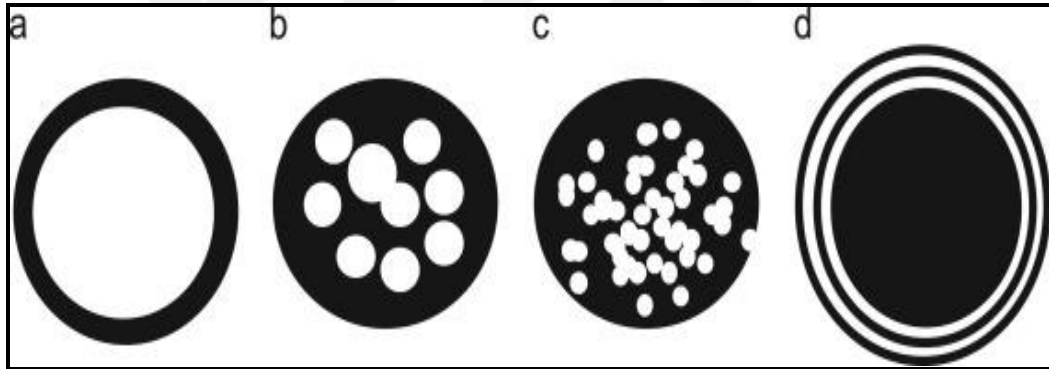


Şekil 2. 8 Makro boyutta kapsülleme şekilleri

2.3.2. Mikrokapsülleme

Mikrokapsül tanımı ve morfolojisi, çekirdek malzemesine ve kabuğun biriktirme sürecine bağlıdır Şekil 2.9 'da gösterdiği gibi dört tip vardır [36], [37].

- Mononükleer (çekirdek / kabuk): Sürekli bir kabuk malzemesi ile sarılmış tek bir çekirdek.
- Polinükleer: Sürekli bir kabuk malzemesi ile kaplanmış birçok çekirdek.
- Matris kapsülleme: Çekirdek malzemenin kabuk malzemesine homojen olarak dağıtıldığı yer.
- Çoklu film: Çok katmanlı sürekli kabuk malzemesi ile kaplanmış sürekli bir çekirdek.



Şekil 2. 9 (a) Mononükleer; (b) polinükleer; (c) matris kapsülleme ve (d) çoklu film mikrokapsüllenmiş-FDM türleri

Mikrokapsül FDM'nin oluşumu mikro partikül oluşum mekanizmalarına dayanan üç farklı metodolojiye sahiptir. Bunlar kimyasal, fiziksel ve kimyasal, fiziksel ve mekanik yöntem olarak sıralanır. Organik FDM'leri kapsüllemek için yöntemlerin örnekleri, süspansiyon polimerizasyonu, dispersiyon, koaservasyonun, elektrostatik kapsülleme, püskürtme-kurutma ve süper kritik CO₂-assisted yöntemleri. İnorganik FDM'leri kapsüllemek için kullanılan yöntemler, emülsiyon polimerizasyonu, yerinde polimerizasyon, arayüzey polimerizasyonu ve sol-jel işlemidir [34], [38]. Tablo 2.7 Farklı kapsülleme

yöntemlerinin karşılaştırılması Ramírez ve ark. [34] yaptıkları çalışmadan uyarlanarak oluşturulmuştur.

Tablo 2. 7 Farklı kapsülleme yöntemlerinin karşılaştırılması

	Avantajlar	Dezavantajları
Süspansiyon Polimerizasyonu	Çevre dostu ürünler [39]	Büyük ölçekte yüksek enerji tüketimi ve yüksek üretim maliyetleri [27]
	Organik FDM'yi kapsüllemek için kullanılır [27]	
	Yüksek FDM içeriği ile büyük partikül boyutu elde edilebilir [27]	-Az miktarda monomer suda çözünür. 2 – 4000 µm civarında boyut [36]
	Reaksiyonun iyi ısı kontrolü [36]	-İnorganik FDM için ullanılmaz [38]
İn-Situ Polimerizasyon	Organik FDM'yi kapsüllemek için kullanılır [27]	-Çevreye zararlı maddeler elde edilebilir [39]
	İnorganik FDM'yi kapsüllemek için kullanılır [38]	-1 ile 2000 µm arasında boyut [36]
	Yüksek FDM içeriği ile büyük partikül boyutu elde edilebilir[27]	
	Yüksek kapsülleme verimliliği [27]	
Arayüzey Polimerizasyonu	Organik FDM'yi kapsüllemek için kullanılır [27]	
	İnorganik FDM'yi kapsüllemek için kullanılır [38]	
	Yüksek reaksiyon hızı [36]	-Çevreye zararlı maddeler elde edilebilir [39]
	Ürünleri düşük geçirgenliğe sahiptir [36]	
	Çok yönlü, boyut olarak iyi özellikler, bozunabilirlik, mekanik direnç [36]	

Tablo 2.7 devamı;

Emülsiyon Polimerizasyonu	Nanokapsüller üretmek için kullanılır [27]	Büyük ölçekte yüksek enerji tüketimi ve yüksek üretim maliyetleri [27]
	Organik ve inorganik FDM'yi kapsüllemek için kullanılır [38]	
Sol-Jel	Organik FDM'yi kapsüllemek için kullanılır [38],[27]	-Bildirilmedi [36]
	İnorganik FDM'yi kapsüllemek için kullanılır [38]	
	İnorganik kabuklar kullanılabilir [36],[27]	-Yüksek maliyetli öncüler
Koaservasyon	Organik FDM 'yi kapsüllemek için kullanılır [38],[27]	-Aglomerasyon [36]
	Basit ve karmaşık koaservasyon olarak iki yöntem vardır [36]	-Büyütmek zor [36]
	Çok yönlü [36]	
	Parçacık boyutu ve kalınlığının iyi kontrolü [36]	-İnorganik FDM için kullanılmaz [38]
Solvent Buharlaştırma Yöntemi	İnorganik FDM'yi kapsüllemek için kullanılır [27]	-Düşük kapsülleme verimliliği [27]
Püskürtmeyle Kurutma	Hızlı yöntem [40]	
	Düşük maliyetli ticari süreç [36]	- Topaklanmış ve kaplanmamış parçacıklar olabilir [36], [40]
	Kolayca büyütülebilir [36],[40]	

Bir yöntemin veya diğerinin nihai seçimi, kapsüllenecek FDM'nin tipine, işlemin gerektirdiği maliyete, kapsülleme verimliliğine, sistemin termal stabilitesine ve reaktiflerin mevcudiyetine göre yönlendirilmelidir. Kabuk malzemesinin seçimi de

önemlidir ve istenen uygulama sıcaklığı, ısı iletkenlik, kapsülleme işlemi, geçirgenlik, toksisite ve çekirdek (FDM) ve bunun dahil edileceği çevredeki ortam ile uyumluluk gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu nedenle uygun malzemeler özenle seçilmelidir.

Genel olarak, FDM 'leri kapsüllemek için kullanılan materyaller, inorganik ve organik olarak sınıflandırılabilir; organik malzemeler, iyi kimyasal ve mekanik stabiliteye sahip oldukları için literatürde en çok bildirilenlerdir, bunların bazıları üre-formaldehit ve melamin-formaldehittir [41], [42]. Çevre ve insanlar için zararlı bileşikler üretebilir ve aynı zamanda düşük ısı iletkenliğine sahip olup, FDM çekirdeğinin enerji transferi sırasında etkili olmasını engeller. Bu nedenle, bazı yazarlar çevre dostu, iyi termal iletkenlik sergileyen ve yanıcı olan polimerik olmayan malzemelerin kullanımı üzerinde çalışmışlardır [34], [43]. Bazı inorganik FDM'ler için, özellikle hidratlanmış tuzlar için, kabuk malzemesinin seçilmesinde ve ayrıca kapsülleme işleminde ek bir zorluk vardır çünkü bunların su içeriği kaybolabilir, yüksek yüzey polariteleri ve kenar hizalama etkileri ortaya çıkabilir [38].

Genel olarak, bir kabuk malzemesi seçerken aşağıdaki özellikler istenen tasarım faktörleri olarak sıralanabilir [34]:

- İyi mekanik dayanım
- Esneklik
- Korozyon direnci
- Termal kararlılık
- Yüksek termal iletkenlik
- Yapısal stabilite ve kolay kullanım
- Çekirdek ile kimyasal uyumluluk ve reaktif olmayan (FDM)
- Higroskopik olmayan
- İyi kullanılabilirlik
- Toksik olmayan

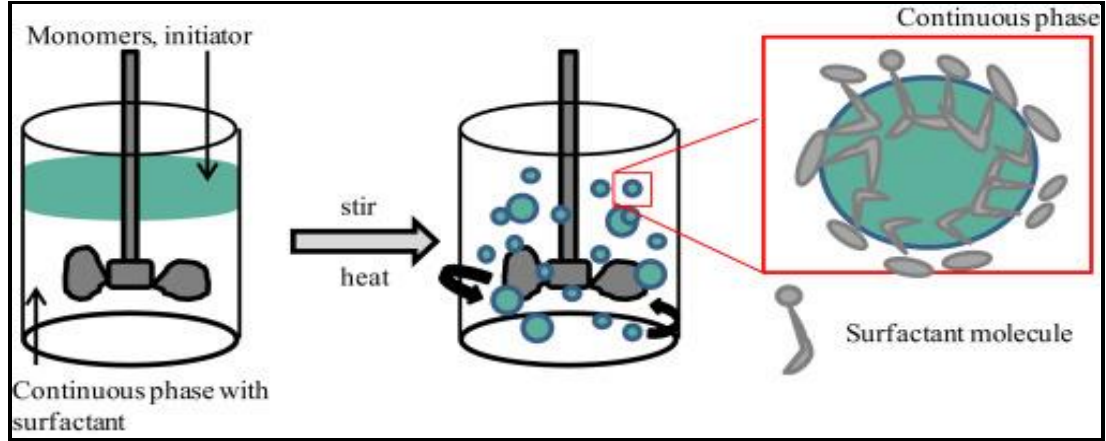
Tablo 2. 8 Kapsülasyon işleminde kullanılan kabuk malzemeler

KABUK MALZEME	KABUK MALZEME
Silikon dioksit (SiO_2)	Silikon dioksit
Alüminyum hidroksit ($\text{Al}(\text{OH})_3$)	Stiren-bütıl akrilat (St-BA)
Jelatin-gum Arabic (arap zamkı)	Stiren (St)-divinilbenzen (DVB) kopolimeri
Melamin formaldehit (MF)	Stiredivinilbenzen1,4-bütıl glıkol diakrılát kopolimeri (PSDB)
Polıvinıl asetát (PVAC)	Üre formaldehit (UF)
Polıestıren (PS)	Polıdivinılbenzen (PDVB)
Polımetıl metakrılát (PMMA)	Aminoplast
Polıetıl metakrılát (PEMA)	Kalsıyum karbonat (CaCO_3)
Fenolık reçıne (PFR)	

2.3.1.Kımyasal Yöntemler

2.3.1.1. Süspansıyon Polimerizasyonu

Sánchez-Silva vd. [44], süspansıyon polimerizasyon sürecinin, partikül birleşmesi ve parçalanması, ikincil çekirdeklenme ve monomerin arayüze difüzyonu gibi birden çok eşzamanlı mekanizma tarafından yönetildiğini açığa çıkardı. Bu mekanizmaların toplu etkisi mikrokapsüllere boyut, yapı ve yüzey özelliklerini kazandırır. Şekil 2. 10 süspansıyon polimerizasyon metodolojisinin bir şemasını göstermektedir [36], [44]. Süspansıyon polimerizasyonunda suda çözünmeyen bir monomer karıştırma hızı ve diğer koşullara bağılı olarak küçük damlalar halinde ortamda dağıtılır. Başlatıcı olarak suda çözünmeyen monomerde çözünebilen organik bileşikler kullanılır. Polimerizasyon doğrudan monomer içerisinde başlayacağı için her bir monomer damlası yığın polimerizasyonunun ilerlediği küçük birimleri oluşturur [45]–[47].



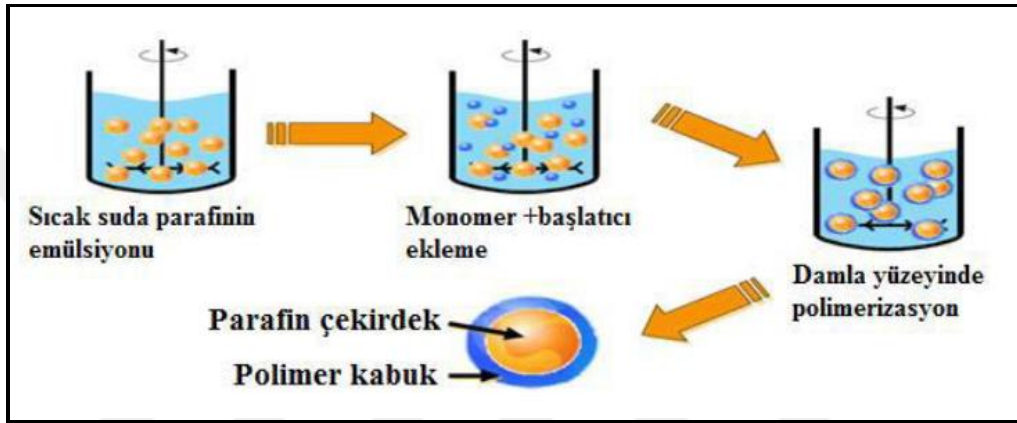
Şekil 2. 10 Süspansiyon polimerizasyon mikrokapsülleme işleminin şeması

Süspansiyon polimerizasyonu ile mikrokapsülleme, yerinde polimerizasyon ve arayüz polimerizasyonu gibi diğer yöntemlere kıyasla daha çevre dostu malzemeler üreten bir yöntem olması nedeniyle çok ilgi çekmiştir [34], [39].

2.3.1.2. Emülsiyon polimerizasyonu

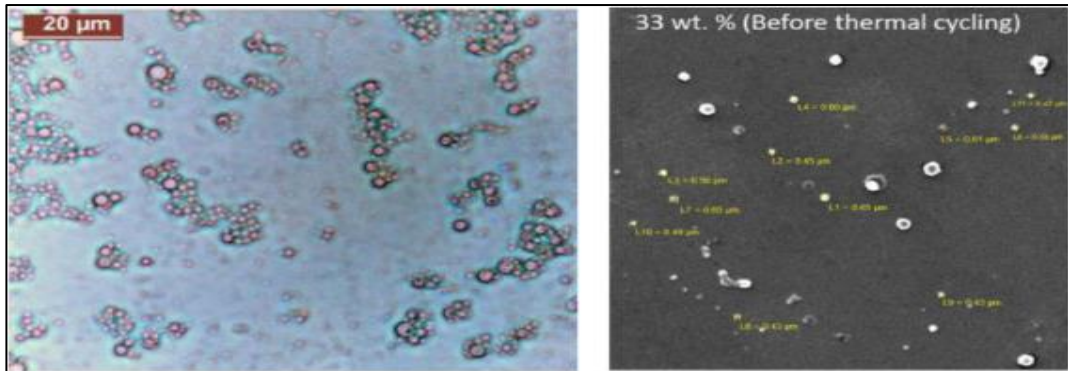
Birbiri ile karışmayan iki sulu faz ortamında gerçekleşen bir polimerizasyon türüdür. Emülsiyon polimerizasyonu, su içinde bir yağ emülsiyonunun (yağ /su) üretimini veya tam tersine, bir yağ içinde su (su/yağ) emülsiyonunun oluşumunu içeren bir polimerizasyondur. Ters emülsiyon denir. Her iki tip emülsiyon, sistemi stabilize etmek için bir emülgatörün eklenmesini gerektirir. Kapsüllemesi istenen FDM'lerin daha önce başka bir ortamda çözülmesi ve kabuğu oluşturmak için bir polimer veya monomer eklenmelidir. Emülsiyonlaştırılmış sisteme sahip olduktan sonra, aşağıdaki üç yoldan birini takip edebilen bir polimerizasyon aşaması izler: misel içine giren bir serbest radikal eklenerek monomerlerin yayılması, serbest radikalın zincir uzunluğunun, parçacığın çekirdeğini oluşturan ortamda çözünürlük sınırını aştığında çökmesi veya son olarak, ortamda serbest radikallerin büyümesiyle indüklenen FDM'yi içeren monomer damlalarının eklenmesinden sonra bir yayılma meydana gelebilir [34], [38], Şekil 2.11 'de [48] görülen su ve yüzey aktif madde içeren sisteme monomer eklendiğinde monomerlerin tamamı neredeyse monomer damlaları halinde

bulunur. Monomer damlaları birbiri ile birleşme eğilimindedir. Hidrofobik özelliği olan yüzey aktif maddelerin hidrofobik kısımları birbirlerini iterek bu birleşmeyi engeller. Çözelti içerisine yüzey aktif maddeler atıldığında; kritik misel konsantrasyonuna erişildiğinde yüzeydeki aktif maddeler içeriye girerek misel denilen yapıyı oluştururlar [49].



Şekil 2. 11 Emülsiyon polimerizasyonu yöntemi

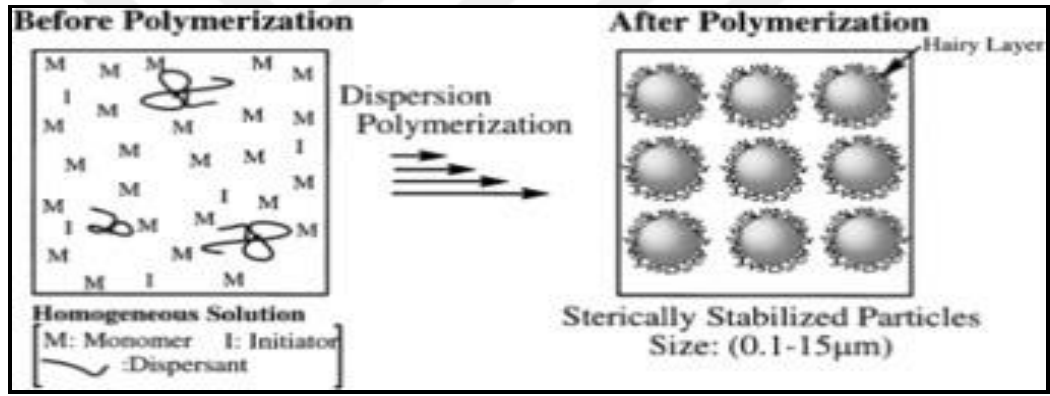
Kapsülleme işlemlerinde emülsiyon hızı arttıkça daha küçük kapsül partikül boyutlarının elde edildiği ve çekirdek-kabuk oranı arttıkça mikrokapsülleme etkinliğinin azaldığı gözlenmiştir. Şekil 2. 12 FDM emülsiyonlarının mikroskopik fotoğrafları, sol [50], sağ [51].



Şekil 2. 12 FDM emülsiyonlarının mikroskopik fotoğrafları.

2.3.1.3. Dispersiyon Polimerizasyonu

Dispersiyon polimerizasyonu, tek aşamalı işlemin basitliği nedeniyle çok çekici bir yöntemdir. Bu yöntemin tipik örnekleri, hidrokarbonlar, alkoller, alkol-eter ve alkol-su karışımlarında stirenin dispersiyon polimerizasyonudur. Bu metodolojide, başlatıcı, monomer, stabilizatör konsantrasyonu ve reaksiyon süresi gibi parametrelerin nihai partiküllerin karakteristikleri üzerine bu metodoloji ile kontrol edilmesi önemlidir. Şekil 2.13'te, polimerizasyon işleminden önce ve sonra dispersiyonun grafik bir tarifini sunar [36][52].



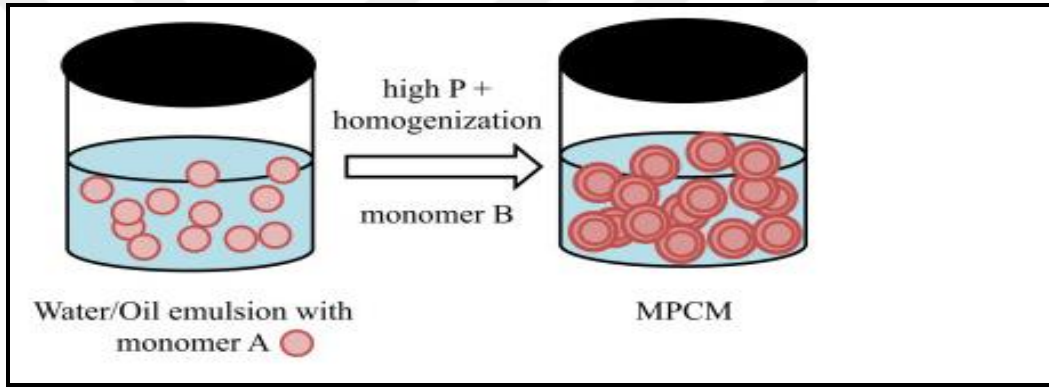
Şekil 2. 13 Dispersiyon polimerizasyonunun şematik açıklaması

2.3.1.4. Ara Yüzey (interfacial) Polimerizasyonu

Bu teknikte kabuk kapsülü, reaktif monomerlerin polimerizasyonu ile damlacığın yüzeyinde veya yüzeyinde veya partikül üzerinde oluşturulur ve organik bir fazın (çok fonksiyonlu monomerler ve / veya oligomerler içeren) sulu bir faza (aşağıdakileri içeren) dağıtılmasını içerir. enkapsüle edilecek malzeme ile birlikte bir emülgatör ve koruyucu kolloid stabilizatör karışımı). Çapraz bağların varlığı, dış mikrokapsül yüzeyinin morfolojisini etkiler [36], [53]. Kabuk olarak kullanılan maddeler çok işlevli monomerlerdir. Çok işlevli monomer, sıvı çekirdek malzeme içinde çözülür ve bir dispersiyon ajanı içeren sulu fazda dağılacaktır. Genel olarak,

kullanılan kabuk oluşturu malzeme, diaminler, izosiyanatlar ve diasit klorürler gibi ortak reaksiyona giren çok işlevli reaktifi içerir. Bunlar arayüzde hızlı polimerizasyonla sonuçlanır ve kapsül kabuğunun oluşumu gerçekleşir [36], [54]. Arayüzey polimerizasyonu, organik bir fazın kapsüllenecek malzeme ile birlikte sulu bir faza dağıtılmasını içerir [34]. Şekil 2. 14 'de Arayüzey polimerizasyon mikrokapsülleme yönteminin şeması [36], [54] verilmiştir.

Bu tekniğin ana avantajları, yüksek reaksiyon hızı, hafif reaksiyon seyri ve ayrıca ürünlerinin düşük geçirgenliğe sahip olmasıdır.



Şekil 2. 14 Arayüzey polimerizasyon mikrokapsülleme yönteminin şeması

2.3.1.5. İn-Situ Polimerizasyonu

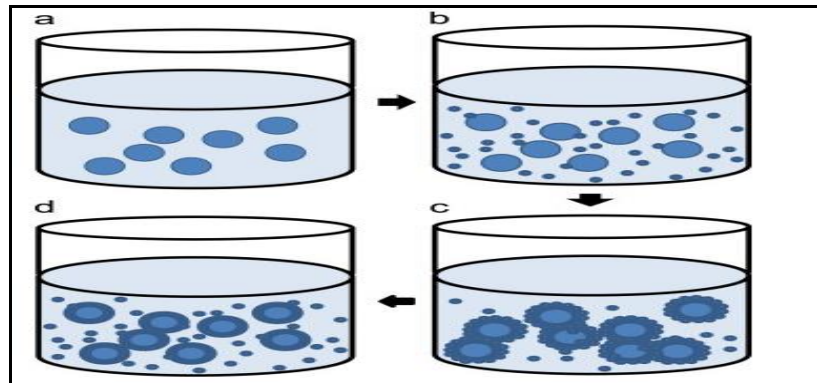
İn-Situ polimerizasyon, bir Yağ/Su sisteminde oluşan misellerde kapsül oluşumunun meydana geldiği polimerizasyona benzer bir yöntemdir. Temel fark, kabuğun oluşumu için bir ön polimerin eklenmesi ve polimerizasyonun yalnızca sürekli fazda gerçekleşmesidir. Bu yöntemde, çekirdek malzemeye hiçbir reaktan eklenmez. Kapsül oluşumu, reaktöre eklenen monomerlerin polimerizasyonu nedeniyle meydana gelir. Bu metodda, çekirdek malzemeye hiçbir reaktif madde eklenmez ve polimerizasyon sadece sürekli fazda gerçekleşir. FDM 'yi mikrokapsül içine almak için tüm materyallerin emülsiyon sisteminin sürekli fazından

kaynaklanması ve suda çözünür olmalıdır. Başlangıçta düşük moleküler ağırlıklı bir ön polimer oluşur ve zamanla pre-polimer ebat olarak büyür, dağılmış çekirdek malzemesinin yüzeyinde birikir ve bu şekilde katı kapsül kabuğu oluşur. [34], [36]. Öncelikle bir FDM emülsiyonu hazırlanır ve ardından ön polimer çözeltisinin sentezi, kapağı oluşturacak iki polimer ve su karışımı ile gerçekleştirilir. Bu ön polimer, emülsiyona damlacıklar şeklinde eklenirken, emülsiyon belirli bir süre boyunca karıştırılır. Emülsiyon soğutulur ve süzülür, kurutulması gereken mikrokapsüller elde edilir. Mekanik özellikleri geliştirmek için modifiye edici ajanların eklenmesi önerilmektedir [36], [55].

2.3.2.Fiziko-Kimyasal Yöntemler

2.3.2.1. Karmaşık Koaservasyon

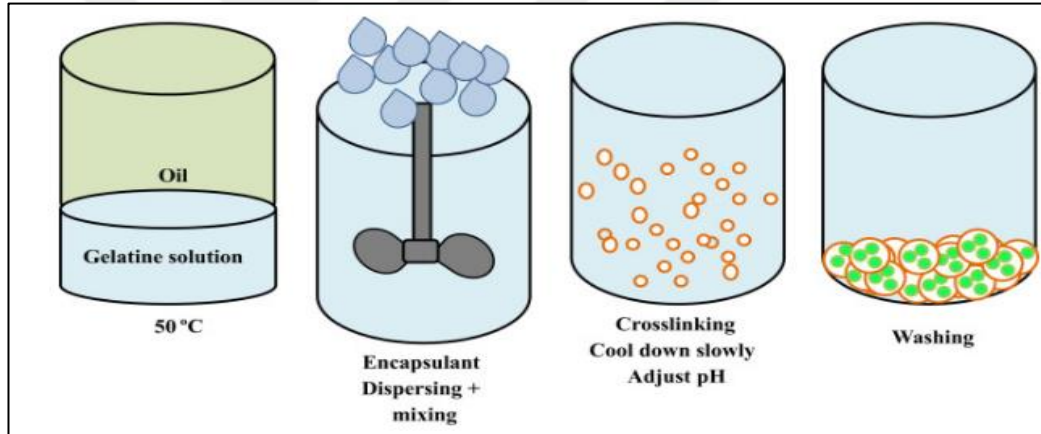
Koaservasyon işlemi basit ve karmaşık koaservasyon olarak iki yöntem vardır. Her iki işlem için mikrokapsül oluşturma mekanizması, faz ayrımının gerçekleştirilme şekli dışında aynıdır. Basit koaservasyon için, faz ayrımı için bir desolvasyon ajanı eklenir. Bunun tersine, karmaşık bir koaservasyon, iki zıt yüklü polimer arasındaki karmaşıklık içerir. Şekil 2. 15 bu prosedürün bir şemasını göstermektedir [36].



Şekil 2. 15 Basit koaservasyon tekniği şeması, (a) çekirdek malzeme bir kabuk polimer çözeltisi içinde dağıtılır; (b) koaservatın solüsyondan ayrılması; (c) koaservat

damlacıklar ile çekirdek malzemenin kaplanması ve (d) çekirdek parçacıkları etrafında sürekli bir kabuk oluşturmak için koaservatın birleşmesi

Ayrıca, karmaşık koaservasyonun üç adımı vardır. İlk adım, birbiriyle karışmayan üç fazın, sıvı üretim aracının, çekirdek malzemenin ve kaplama malzemesinin oluşturulmasıdır. Çekirdek malzeme, kaplama polimeri çözeltisi içinde dağıtılır. Polimer çözeltisinin değişen sıcaklığına ve polimer çözeltisine tuz, çözücü olmayan ve uyumsuz bir polimer ilavesine ihtiyaç vardır. İkinci adım, kaplamanın biriktirilmesidir ve üçüncü adım, kaplamanın sertleştirilmesidir. Hazırlanan mikrokapsüller, çapraz bağlama, desolvasyon veya ısıl işlemle stabilize edilir (Şekil 2. 16) [36].



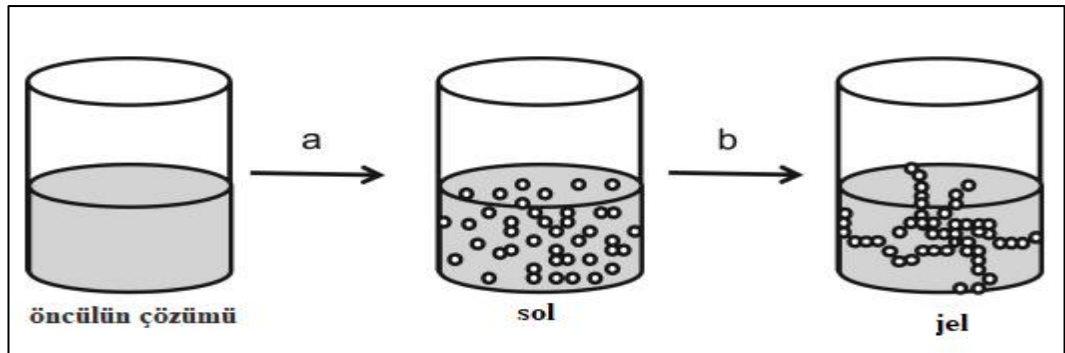
Şekil 2. 16 Jelatin ve Arap zamkı kullanılarak karmaşık koaservasyon ile mikrokapsül hazırlanması için genel işlem şeması

Karmaşık işlemde, polimerik çözünen küçük sıvı damlacıklar şeklinde ayrılır ve koaservat oluşturur. Daha sonra, bir sıvı halinde dağılan çözünmeyen parçacıkların etrafında biriktirilir. Bu damlacıklar yavaşça birleşerek çekirdek etrafında sürekli bir örtü oluşturur. Daha uzun ömürlü mikrokapsül elde etmek için, bu teknik iki adımda tamamlanabilir ve polimer iki kez eklenebilir. Bu mekanizma sayesinde, mikrokapsül kabuğunun daha küçük bir kalınlığı elde edilebilir. Sıkıştırılabilirlik ve geçirimsizlik iyileştirilir (daha düşük bir polimer biriktirme hızı geçirimsizliği artırır), mikrokapsüllere daha fazla stabilite verir, boyutu ve küresel formu korur. Tek adımlı

koaservasyona kıyasla doku daha pürüzsüz ve küresel form daha düzenlidir, burada birçok çökintiyeye sahip mikrokapsüller daha pürüzlüdür, daha kaba ve daha gözenekli elde edilir. Bu nedenle, makromoleküler kolloid bakımından zengin koaservat damlacıklarının dağılık mikrokapsül çekirdeklerini çevrelediği ve çapraz bağlama maddeleri ile katılan viskoz bir mikrokapsül duvarı oluşturduğu kolloid sistemlerde meydana gelen bir fenomendir.

2.3.2.2. Sol-Jel

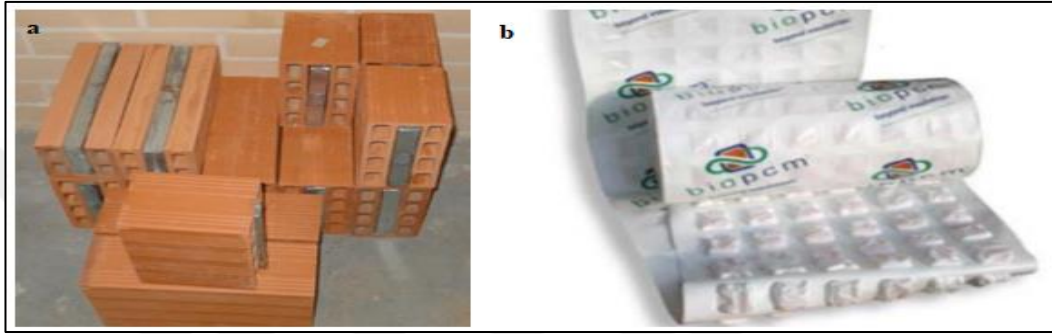
Çözültiden katı materyalin hazırlanması esasına dayanır bir başka deyişle bu işlem sıvı bir “sol” fazdan katı bir “jel” faza sol bileşiminin geçişine dayanır. Diğer hazırlama metotlarına göre daha düşük sıcaklıkta gerçekleşir. Bu polimerizasyon yöntemi ile hem inorganik hem de organik-inorganik hibrit polimerler elde edilebilir [21]. Sol-Gel yönteminde benzer deneysel yol izlenmesine rağmen elde edilen ürünler farklı karakteristikte olduğu görülür. Çünkü sol- gel yönteminde izlenen her aşama son ürünü etkilemektedir. Bu sebeple söz konusu yöntemde net bir yol çizmek ya da elde edilen ürün hakkında tahminlerde bulunma olanağı olmadığı için her bir adımın ayrıntılı olarak analiz edilmesi ve sonuçta beklenen ürünün özelliklerine has bir işlem geliştirmeyi zorunlu kılmıştır [37]. Şekil 2. 17, sol-jel işleminin bir şemasını göstermektedir [36], [56].



Şekil 2. 17 Sol-jel prosesi mikrokapsülleme yöntemi, (a) yoğunlaşma ve (b) jelleşme

2.4. Faz Değiştiren Malzemelerin Uygulama Alanları

Faz değıştiren malzemelerin uygulama alanları; Teknik Uygulamalarda, Yüksek Teknoloji Uygulamalarında, Sağlık Alanında, Tekstil Ürünlerinde şeklinde sıralanabilir.

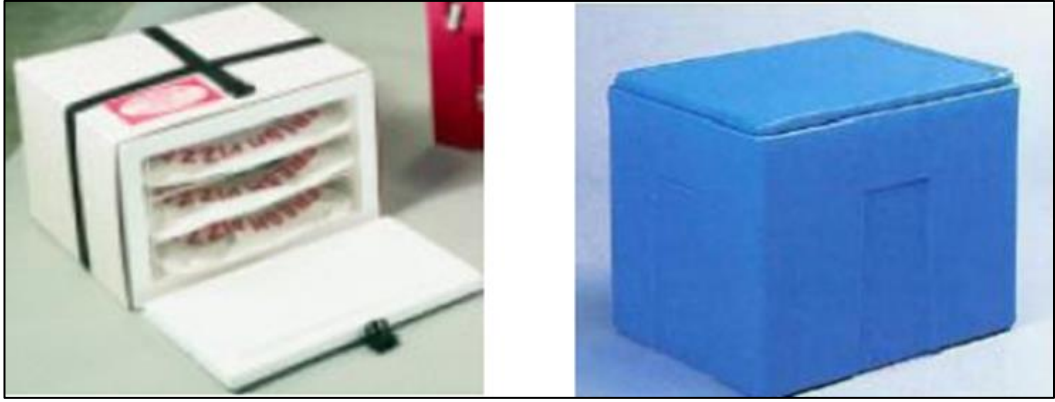


Şekil 2. 18 (a)Tuğla içerisine makro kapsül şeklinde paketlenmiş parafin uygulaması, (b) makro kapsüllerde BioFDM

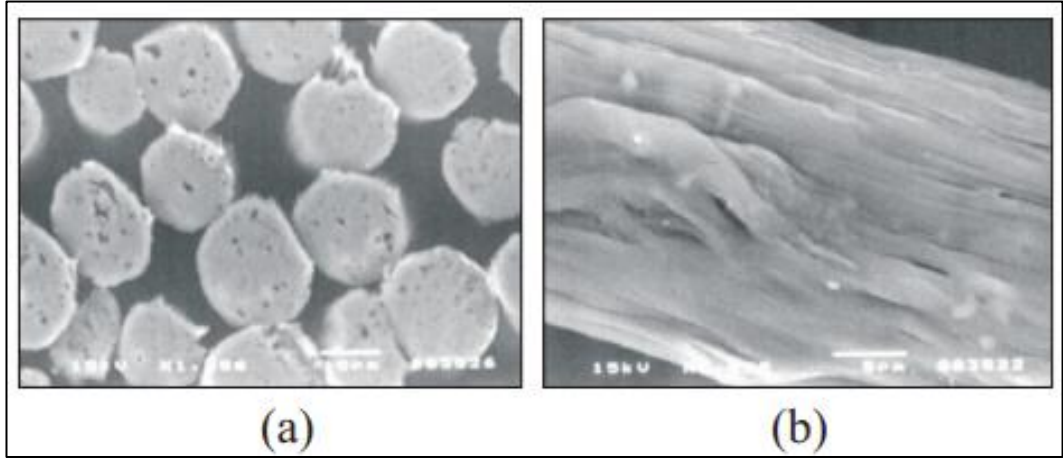
FDM'in en yaygın kullanım alanı bina ısı yalıtımı sistemlerinde görölmektedir. FDM'leri binaların çatılarında, duvarlarında, tavan ve taban döşemelerinde olmak üzere 3 farklı şekilde uygulayarak ısı yalıtımı sağlanabilir. Bina ısı yalıtım uygulamalarında FDM kullanımı, soğuk iklimlerde yıl bazında değerlendirildiğinde ortalama %20 verim elde edildiği görölmüştür. Gece gündüz sıcaklık farkının fazla olmadığı bölgelerde FDM 'nin iç tarafında kullanılmasının iç mekân ısı dalgalanmalarının azaltılması açısından daha uygun olduğu belirtilmiştir. Gece ve gündüz sıcaklık farkının fazla olduğu iklim bölgelerinde ise FDM'in dış cephe ısı yalıtım kaplamalarında kullanımının etkili olduğu görölmüştür. Böylece gündüz FDM tarafından depolanan ısının soğuk gecelerde kullanılarak, bir sonraki gün yeniden iç ortama verilebilmesi sağlanmıştır [57]. Şekil 2. 18a'da [57] tuğla içerisine makrokapsül şeklinde paketlenmiş parafin uygulaması [58] ve b'de makro kapsüllerde BioFDM görölmektedir.

Buzdolaplarının enerji verimliliklerini artırmak için ve sıcak soğuk gıda muhafazasında FDM'in kullanılması, geçtiğimiz son on yılda ilgi görmüştür. Birkaç

araştırmacı, soğuk depolama cihazları için FDM kullanımına ilişkin bir değerlendirme sunmuşlardır. Örneğin Azzouz ve ark. [59] yaptıkları çalışmada, buharlaştırıcı tarafına 5 mm ve 10 mm kalınlığında iki farklı FDM yerleştirerek FDM'in buzdolabındaki düşük ısıyı muhafaza edebilmesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma için -3 °C erime sıcaklığına sahip ötektik FDM' kullanılmıştır. Bu süreçte yalnızca kısmen donmuş olan 5 mm levhanın gösterdiği etkiyi 10 mm levha da göstermiştir. Azzouz ve ark. kullanılacak FDM'in özelliklerine bağlı olarak, soğutma için performans katsayısının (COP) %10 – 30 aralığında artırılabilceğini bildirmişlerdir. Ayrıca FDM olarak ötektik karışımın kullanılmasını buzdolabındaki düşük ısıyı muhafaza etmede daha avantajlı bulmuşlardır [59], [60]. Bunun yanısıra sevkiyat, depolama gibi müşteriye ulaşana kadar geçen tüm aşamalarda gıdaların düşük ısıda saklanması veya ısı kontrolünün sağlanması için soğuk ve sıcak muhafazalarda ambalaj ve paketlemelerde FDM kullanılır. Şekil 2. 19'da ise sıcak-soğuk gıda muhafazasında FDM'in kullanıldığı paketler gösterilmiştir [61].



Şekil 2. 19 Sıcak-soğuk gıda muhafazasında paketlemelerde FDM 'in kullanılması



Şekil 2. 20 Mikrokapsüllemiş FDM içeren lifin enine (a) ve boyuna kesit (b) görüntüleri

İlk kez 1980'li yılların başlarında NASA tarafından FDM' tekstil materyallerine uygulanmıştır. NASA FDM'yi ilk kez denediğinde mikrokapsülleyerek kullanmıştır günümüzde ise mikrokapsüllemeye veya kapsüllemeye doğrudan tekstil lif veya kumaş yapılarına uygulandığı görülmektedir. Şekil 2. 20 'de Outlast Technologies firması tarafından üretilen mikrokapsüllemiş FDM içeren liflere ait enine ve boyuna lif görüntüleri verilmiştir [62]

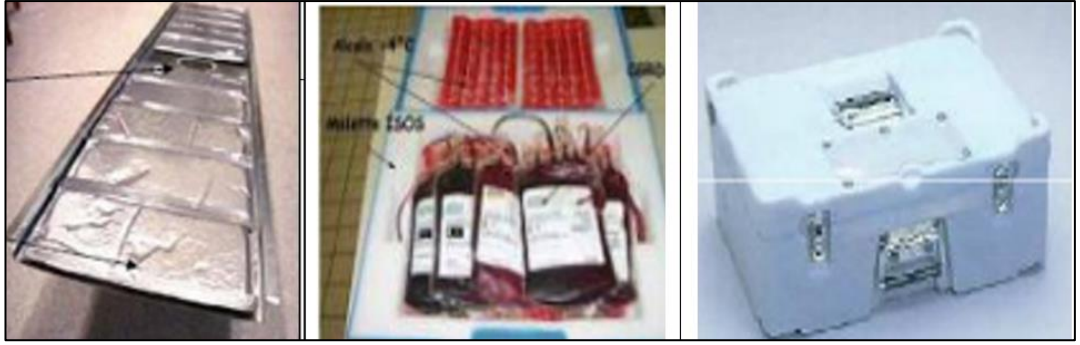


Şekil 2. 21 Üretiminde FDM'in kullanıldığı çeşitli tekstil ürünleri

FDM tekstil üretimine dahil edilerek soğuğa karşı ısıtma, sıcağa karşı serinletme hedeflenmektedir. Örneğin; ısıtıcı tekstil ürünleri, yangın giysileri, elektrik dirençli tekstil ürünleri, su geçirmeyen ve vücut ısını koruyan dalış kıyafetleri, özel çalışma elbiseleri, askeri üniformalar, eldivenler ve ayakkabılar. Şekil 2. 21 'de

FDM'in kullanıldığı çeşitli tekstil ürünlerini ve mikrokapsüllerin lifler arasındaki dağılımını gösterilmektedir [61].

Mikrokapsüllenmiş FDM sağlık alanında da birçok medikal malzemelerde kullanılmaktadır. Bunlar travmatolojik durumlarda kullanılan ortopedik malzemeler, sıcaklık duyarlı ilaçların ve kan, organ gibi biyolojik numunelerin taşınması için kullanılan cihazlar; travma sonrası vücutta hasarlı bölgelerin körelmesini engellemek için vücut zırhları, sıcak bandajlar ve soğutucu vücut sargıları; yatalak hastalarda yatak yarasını azaltmak ve derinin serinletilmesi için destek yüzeyler olmak üzere birçok sağlık alanında kullanılmaktadır. Şekil 2. 22'de faz değiştiren malzemelerin kullanıldığı medikal malzemeler gösterilmiştir [61].



Şekil 2.22 Mikrokapsüllenmiş FDM'in ameliyat masalarındaki sıcak-soğuk terapilerde, kan numuneleri ve organ taşımacılığında kullanılması

FDM'in yüksek teknoloji uygulamalarındaki kullanım alanlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Şekil 2.23) [61].

- Dizüstü bilgisayarların ısınma problemlerine karşılık elektronik cihazlar için ısı absorplayan boyalarda
- Hassas elektronik parçalar ve diğer teknik cihazlar için aktif soğutma sistemlerinde

- Bitki ve tohumlar için sera yetiştiriciliğinde, düşük sıcaklıkta dona karşı koruma sağlanmasında, bitkiler üzerine mantar ve bakteri etkisinin arttırılmasında.



Şekil 2. 23 FDM'in yüksek teknoloji uygulamalarındaki kullanım alanları

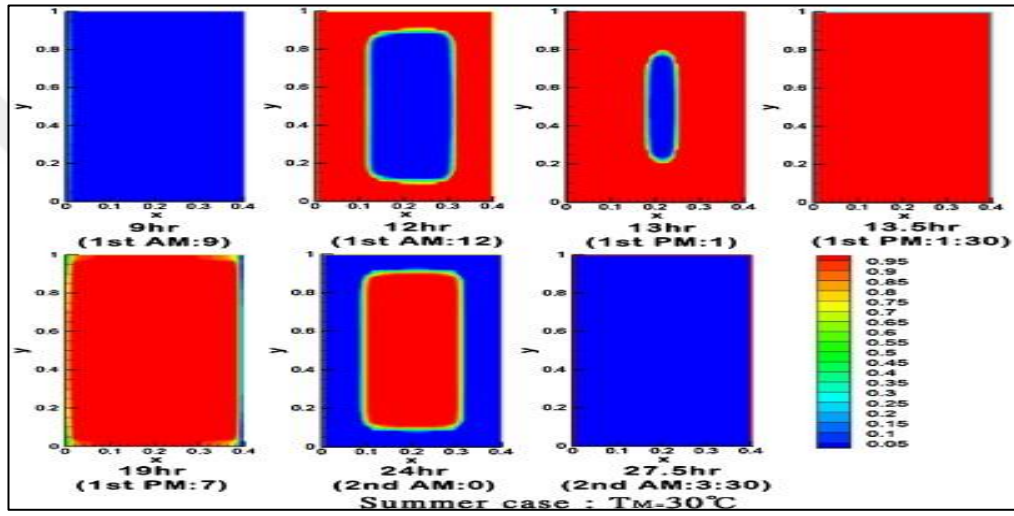
Thaib ve arkadaşları [63] 2018 yılında Endonezya'da, PV-FDM sistemini gösterildiği gibi dış ortamda test etmişlerdir. FDM olarak hem balmumu hem de parafin kullanıldığında, bir günlük deneysel sonuçlar PV verimliliğinin %6.1- % 6.5'ten % 7.0-7.8'e yükseldiğini göstermişlerdir (Şekil 2.24).



Şekil 2. 24 Referans-PV, FDM1-PV, FDM2-PV kurulu dış mekân deney düzeneği

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

HO ve ark. 2012, 2013, 2015 yıllarında [64]–[67] mikrokapsülendirilmiş faz değişim malzemesinin PV-FDM sistemlerinde kullanılmasını önermişlerdir. Ho ve çalışma arkadaşlarının [64] 2013 yılında PV-FDM sistemlerinde mikrokapsülendirilmiş faz değişim malzemesinin (MEFDM) uygulanmasını araştırmışlardır.

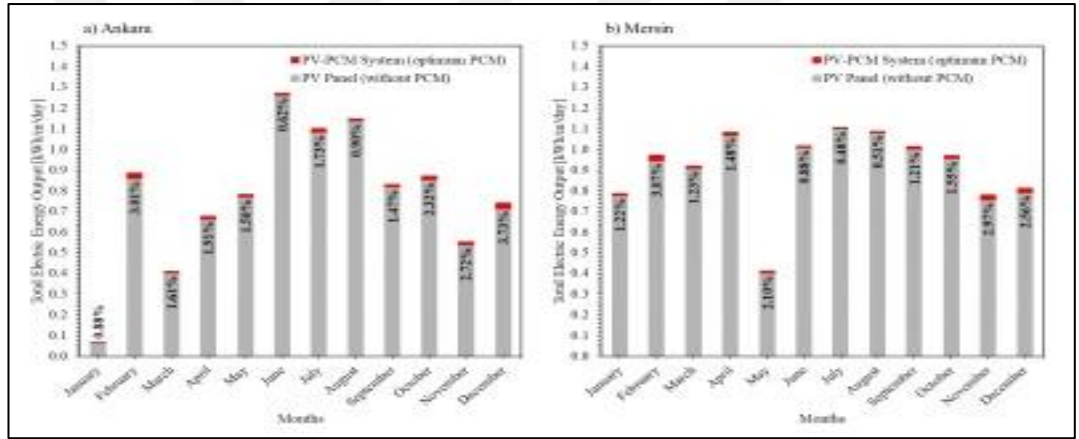


Şekil 3. 1 PV/kapsülendirilmiş-FDM hücresi üzerindeki erime durumunda sıcaklık varyasyonları

Bu çalışmada PV/MEFDM hücresinin en yüksek ortalama yüzey sıcaklığı, ikinci gün öğleden sonra 16: 35'te 34.1 °C olduğu görülmektedir. Yapılan ölçümler neticesinde tek günlük toplam elektrik üretim kapasitesi 231.439 kJ/m'ye ulaştığını ve bu değer, FDM'siz PV hücre değerine göre % 2.013'lük bir artışı temsil ettiğini beyan etmişlerdir.

ARICI ve ark. [68], 2018 yılında Akdeniz Bölgesi'nin bir temsilcisi olarak PV-FDM sistem performansını simüle etmek için basitleştirilmiş bir 1-D modeli geliştirmişlerdir. Basitleştirilmiş olmasına rağmen, geliştirilen simülasyon modeli mevcut sayısal ve deneysel verilerle başarılı bir şekilde doğrulanmış ve sonuçların makul bir şekilde eşleşmesini sağlamışlardır. Geliştirilen model ayrıca, kış ve yaz

dönemlerinde PV-FDM sisteminin çalışma şeklini ve verimliliğini kontrol etmek için Akdeniz Bölgesi'nin önemli bir bölümünü temsil eden iklim özelliklerine sahip iki Türkiye şehrinde uygulamışlardır. Birincisi tipik bir karasal iklime sahip olan Ankara ve ikincisi tipik bir kıyı kenarı iklim koşullarına sahip olan Mersin ilini seçmişlerdir. Sonuçlar (Şekil 3. 8), PV sıcaklığının 0,31–10,26 ° C azaltılabileceğini göstermektedir, % 0,48 ila % 3,73 arasında değişen bir verimlilik artışı deneyimlemişlerdir; bu nedenle ortalama yıllık verimlilik artışı neredeyse %1,59'dur (not: orijinal PV verimliliğinin % 15 olması koşuluyla, geliştirilmiş verimlilik $(1 + \% 1,59) \times \% 15$ 'tir). Verimlilikteki artışın minimum olması, FDM katmanıyla ve genel termal yönetim sorunuyla ilgili olduğunu kaydetmişlerdir [68].

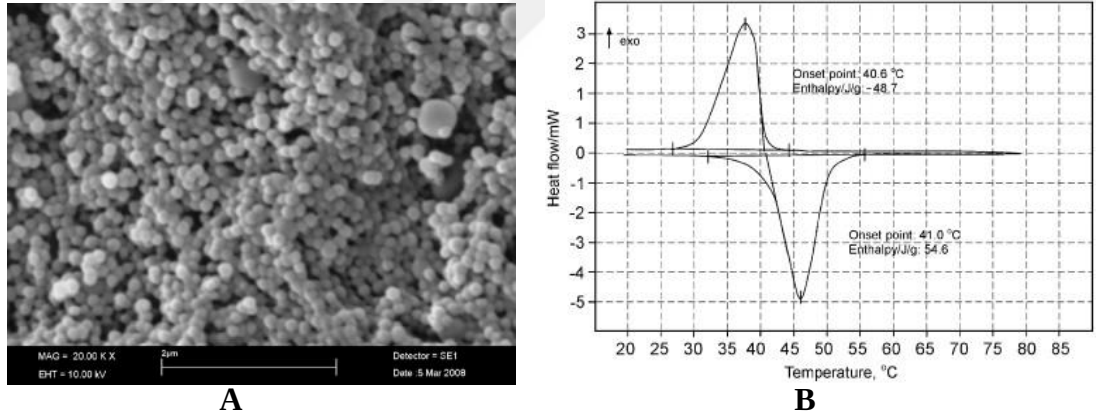


Şekil 3. 2 FDM'i PV sistemine bağlayarak toplam elektrik enerjisi üretimindeki iyileştirme a) Ankara b) Mersin

XU ve LI (2014) [69] parafin / diatomit kompozit FDM 'nin termal iletkenliğinin, 10 ila 20 nm ve uzunluk 5-15 um arasında değişen çok duvarlı karbon nanotüplerin eklenmesiyle büyük ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, termal iletkenliğinin % 42.45 oranında arttığını göstermiş ve çok duvarlı karbon nanotüpler ayrıca ısı depolamayı ve parafin salım hızını arttırdığını göstermiştir.

ALKAN ve ark. (2009) [70] dokosanı ve metilmetakrilat (MMA) monomerini kullanarak emülsiyon polimerizasyon yöntemiyle PMMA/dokosan mikrokapsüllerini

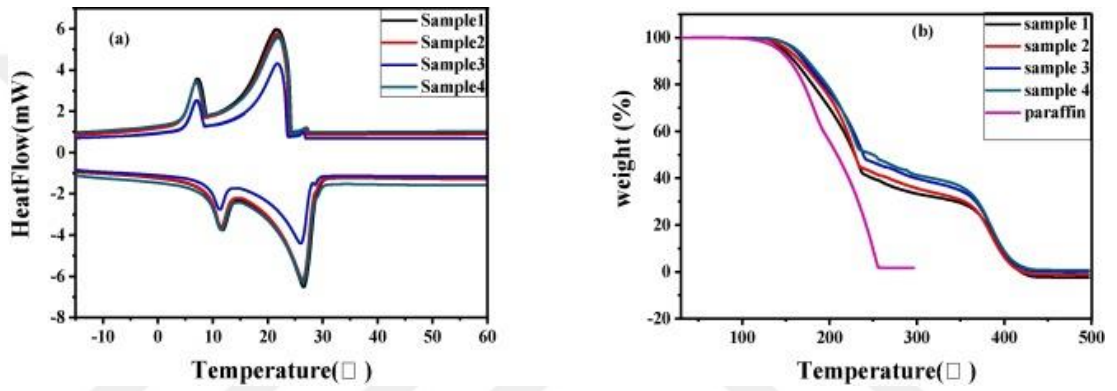
hazırlanmışlardır. MikroFDM'nin termal özelliklerini ve termal kararlılığını, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termal gravimetrik analiz (TGA) ile ölçmüşlerdir. DSC analizi, mikrokapsüllerdeki dokosanın 41.0 °C'de eridiğini ve 40.6 °C'de kristalleştiğini göstermiştir (Şekil 3.3-B). Erime ve kristalizasyon için gizli ısılarının sırasıyla 54.6 ve -48.7 J/g olduğunu kaydetmişlerdir. TGA ile mikroFDM'nin ayırt edilebilir üç aşamada bozunduğu ve iyi kimyasal stabiliteye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Hızlandırılmış termal döngü testleri ayrıca MikroFDM'nin iyi bir termal güvenilirliğe sahip olduğunu göstermiştir. Tüm bu sonuçlara dayanarak, PMMA/dokosan mikrokapsüllerin, güneş enerjili alan ısıtma uygulamaları gibi termal enerji depolama amaçları için iyi bir potansiyele sahip olduğunu kaydetmişlerdir. Ek olarak, ayrı bir işlem olmaksızın yüksek verimde, eşit boyutta ve aynı şekilde mikrokapsüller (Şekil 3.3-A) üretilebilmesi için polimerizasyon sırasında ikincil bir başlatıcı eklenmesini önermişlerdir.



Şekil 3.3 PMMA/dokosan mikrokapsüllerinin A) SEM görüntüsü, B) DSC termogramı

SHI ve ark. (2019) [71] Parafin/polimetilmetakrilat (PMMA/ FDM) nanokapsüllerini özel gereksinimler olmaksızın basit bir tek aşamalı arayüzey polimerizasyon yöntemiyle elde etmişlerdir. PMMA/ FDM karışımını 800 rpm karıştırma hızında 2,5 saat süreyle karıştırarak küresel nano kapsüllü, yüzeyi homojen, pürüzsüz, kompakt ve parçacık boyutu 200-400 nm aralığında kapsüller elde

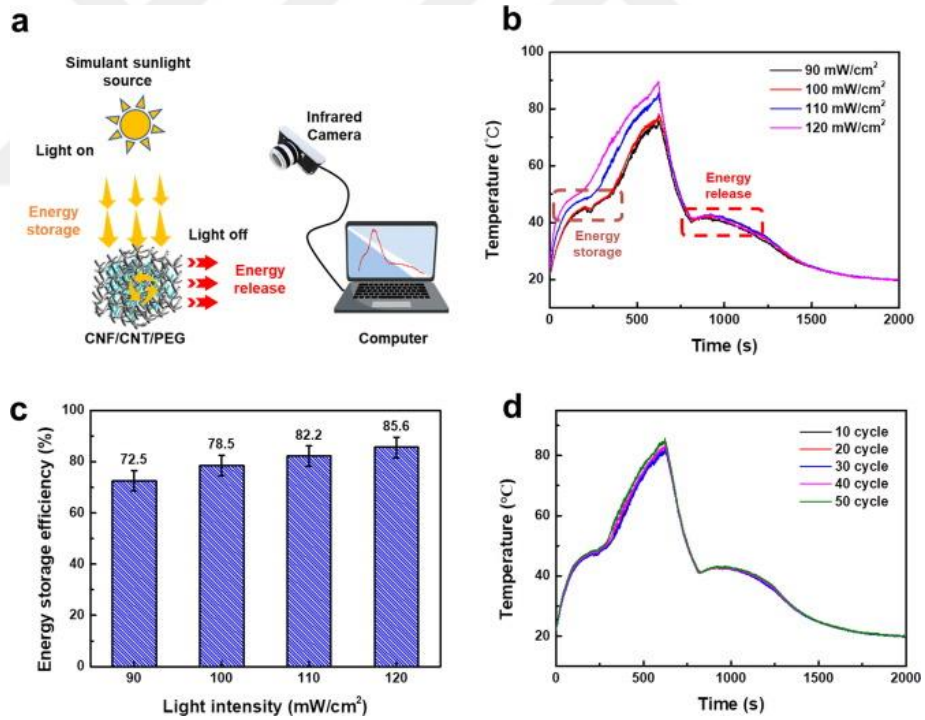
etmişlerdir. Elde ettikleri nano kapsüllerin, yaklaşık 64.93 J/g erime entalpisi ve yaklaşık 66.45 J/g kristalleşme entalpisi ile kararlı ve güvenilir FDM'ler olduğunu kaydetmişlerdir. TGA analizi ile nano-kapsüllenmiş FDM'nin üç adımda bozulduğunu ve FDM içeriğinin yaklaşık %52.95 ile iyi bir termal stabiliteye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Arıcı ve ark. yaptıkları bu çalışmada PMMA/FDM nanokapsülleri termal enerji depolama uygulamaları için önermişlerdir.



Şekil 3. 4 1:1, 4:3, 5:3, 2:1 kütle oranı ile MMA/PCM'nin DSC(a) ve TG (b) eğrileri

SU ve ark.[72] Parafin içeren mikrokapsülleri in-sitü polimerizasyonu ile üretmişlerdir. Kabuk malzemesi olarak metanol ile modifiye edilmiş melamin-formaldehit (MMF) kullanarak termal enerji depolaması için mikrokapsüllü FDM/alçı matris yapı malzemelerinin kullanılabilirliklerini incelemektedir. 100 kez termal döngü işleminden sonra, mikroFDM'lerin halen parafin içerdiğini ve FDM'nin faz değişim davranışlarını neredeyse hiç değiştirmediklerini kaydetmişlerdir. Alçıpan levhadaki mikroFDM'lerin ağırlık içeriğinin artması ile kompozitlerin ısı iletkenlik (λ) değerlerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Ayrıca sıcaklık testlerinin simülasyonu ile, mikroFDM/alçıtaşı bileşiminin zamana bağlı ve aralıklı güneş enerjisini depolayabildiğini ve bu enerjinin her zaman alan ısıtması için enerji ihtiyaçlarını karşılamadığını göstermişlerdir.

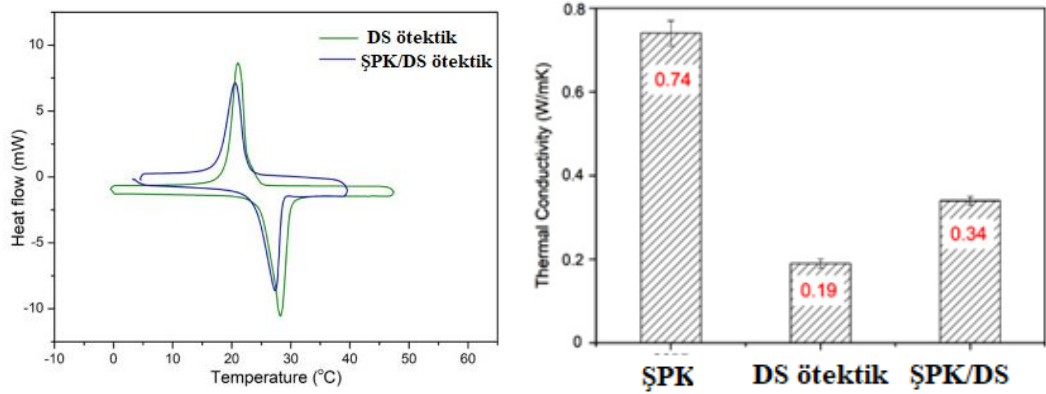
LIU ve ark. (2022) [73] Polietilen glikol (PEG), selüloz nanofiberler (SNF'ler) ve karbon nanotüplerden (KNT'ler) oluşan yeni faz değişim malzemeleri, verimli ve çevre dostu bir strateji ile geliştirmişlerdir. Bu çalışmada Liu ve ark. SNF/KNT/PEG kompozitlerinin güçlü destek sağlayan üç boyutlu ağ yapısını oluşturmak için SNF'leri kitosan ile modifiye etmişlerdir. Analizler sonucunda yüksek gizli ısı (158.3 J/g), düşük ısı kaybı (%0.75) ve mükemmel foto-termal dönüşüm (enerji depolama verimliliği %85.6), elektro-termal dönüşüm (enerji depolama verimliliği %92.3) özellikleri sergileyen mikroFDM'ler elde ettiklerini kaydetmişlerdir. SNF/KNT/PEG kompozitleri bu performansları nedeniyle, termal yönetim malzemeleri olarak kullanım için büyük potansiyele sahip olduğunu kaydetmişlerdir.



Şekil 3. 5 (a) SNF/KNT/PEG kompozitlerinin foto-termal dönüşümünün şematik diyagramı. (b) Farklı Xenon lamba ışık kaynağı yoğunlukları (90, 100, 110 ve 120 mW/cm²) altında SNF/KNT/PEG kompozitlerinin sıcaklık gelişim eğrileri . (c) Farklı ışık yoğunluğunda SNF/KNT/PEG kompozitlerinin foto-termal enerji depolama

verimliliği . (d) 50 geri dönüşüm için SNF/KNT/PEG kompozitlerinin sıcaklık evrim eğrileri (ışık yoğunluğu 110 mW/cm²)

SARI ve ark. (2022) [74] yaptıkları çalışmada sızıntıya dirençli ve yüksek termal iletkenliğe sahip potansiyel bir kompozit faz değişim malzemesi (FDM) geliştirmeyi amaçlamışlardır. Endüstriyel bir atık olarak şeker pancarı küspesini (ŞPK), gözenekli bir çerçeve oluşturmak için karbonize edilerek ve sızıntı sorununu çözmek, Dekanoik asit-Stearik asit ötektik karışımının (DS) termal iletkenliğini artırmak kullanmışlardır. Form stabilizasyon testi, DS ötektik karışım şeker pancarı küspesinin iskelesinde ağırlıkça %70 olarak başarıyla tutulduğunu göstermiştir. Elde ettikleri DSC sonuçları ağırlıkça %70 ŞPK içeren kompozitin 24 °C erime sıcaklığına ve 117 J/g gizli ısı entalpisine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca Kompozit FDM'nin erime sıcaklığı ve gizli ısı entalpisini, 1000 termal döngüden sonra hafifçe değiştirildiğini kaydetmişlerdir.

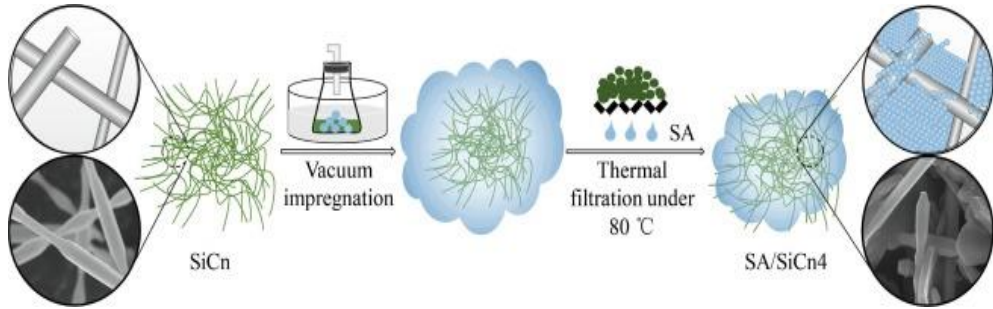


Şekil 3. 6 (sol) DS ötektik ve sızıntıya dirençli ŞPK/DS kompozitinin DSC termogramları, (sağ) ŞPK, DS, ŞPK/DS kompozitinin termal iletkenliği

TGA ölçümleri sonucu, üretilen kompozitin termal olarak kararlı olduğunu kaydetmişlerdir. DS ötektik karışımın şeker pancarı ile birleştirilmesi, termal iletkenliğinde %79 artışla sonuçlandığını kaydetmişlerdir. Ancak, bu kompozit

FDM'nin bina cephe malzemeleriyle bütünleştirilmesiyle elde edilecek yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin ve yangına dayanıklılık özelliklerinin tahmin edilmesi için ek araştırmalara ihtiyaç duyulduğunu vurgulamışlardır.

CHEN ve ark. (2020) [75] Stearik asit (SA) ile kompozit faz değişim malzemeleri hazırlamak için toz (SiCp), kılçıklı (SiCw) ve nanofiber (SiCn) dahil olmak üzere üç farklı silikon karbür mikro yapısı, kullanmışlardır. SA/SiCp, SA/SiCw ve SA/SiCn4 kompozitleri vakum emdirme ile elde edilmiş ve SA/SiCn1, SA/SiCn2 ve SA/SiCn3 etanol yöntemi ile sentezlemişlerdir. Kompozitlerin termal iletkenlikleri saf SA'dan %61.80–169.29 daha yüksek olduğunu kaydetmişlerdir. SA/SiCn4, daha yüksek termal iletkenliği ve termal depolama kapasitesi nedeniyle termal enerji depolama ve serbest bırakma sürecinde en kapsamlı performansa sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Termal kızılötesi görüntüler ile SA/SiCn4'ün sıcaklık değişimlerine daha duyarlı olduğunu ve termal yönetim testi ile SA/SiCn4'ün lityum iyon pillerin termal yönetimi için iyi bir performansa sahip olduğunu kanıtlamışlardır.



Şekil 3. 7 SiCn4 hazırlanmasını gösteren şematik diyagramı.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında ilk basamakta dokosan, dekanolik asit, n-oktanoik asit faz değiştiren malzemelerin saf halleri mikrokapsüllendi. Bu mikrokapsülasyon yöntemi için ara yüzey polimerizasyonu kullanıldı.

İkinci basamakta ise dokosan - dekanolik asit, dekanolik asit – n-oktanoik asit ve dokosan- n-oktanoik asitlerin farklı oranlarda [1/4, 2/3, 1/1, 3/2, 4/1] ikili ötektikleri sentezlenerek DSC analizlerine göre uygun erime-donma sıcaklığına sahip ikili ötektik karışımlar mikrokapsüllendi. Mikrokapsüllenen ikili ötektik karışımlar ve ideal ötektiklik oranları sırasıyla; Dokosan - dekanolik asit [1/4], dekanolik asit- n - oktanoik asit [3/2], dokosan -n-oktanoik asittir [1/4].

4.1. Materyal

4.1.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar ve Gereçler

İkili ötektik sentezi için kullanılan kimyasallar; Parafin grubunda yer alan dokosan (Do) ve yağ asitleri grubunda yer alan dekanolik asit (De) ve n-oktanoik asit (Oc).

Tablo 4. 1 Ötektik karışımların hazırlanmasında kullanılan FDM'in termal özellikleri

FDM	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Gizli Isısı (J/g)	Kimyasal Formülleri
Dokosan	42-45	215,05	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{CH}_3$
Dekanoik Asit	30-32	156,75	$\text{C}_9\text{H}_{19}\text{COOH}$
n-Oktanoik Asit	15-17	149	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$

Mikrokapsülleme işlemi için kullanılan kimyasallar; FDM (Dokosan (Do), Dekanoik Asit (De), n-Oktanoik Asit (Oc)) saf su, Sodyum Dodesil Sülfat (SDS), Titanyum (IV) Butoksit, Metilmetakrilat (MMA), Benzoil Peroksit.

4.1.2. Faz Değiştirici Malzemelerin Analizi İçin Kullanılan Yöntemler ve Cihazlar

FT-IR Analizi; Infrared dalga boylu ışınların kullanılmasıyla yapılan her türlü analize infrared (IR) analizleri denir. Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (FTIR) ile organik bileşiklerin yapılarındaki fonksiyonel grupları, yapının aromatik ya da alifatik olup olmadığı, iki bileşiğin arasındaki benzerlik ya da farklılığı, bileşiği oluşturan bağların durumu ve bağlanma yerleri belirlenebilir. Karbonhidrat, fosfolipit, aminoasit ve proteinlerin biyokimyasal olarak yapı analizlerinde kullanılabilir. Polimer testi, ilaç ve adli analiz için sınırsız kullanılırken ayrıca malzeme biliminde, kimya ve seramik sektöründe çeşitli organik ve inorganik numunelerin niteliksel ve niceliksel analizlerini sağlar. Temel prensibi; Infrared (IR) ışınlarına maruz kalan molekül veya atomların bağlarının eğilmesi, bükülmesi, gerilmesi, titreşimi veya dönme hareketleri sonucu bir absorpsiyon vermesi ile elde edilen spektrumun değerlendirilmesidir. IR bölgesi $4000-450\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu arasındadır. Bir başka deyişle IR bölgesi görünür bölge ile mikro dalga bölge arasında yer alır. Cam Infrared (IR) ışınları kuvvetli olarak absorpladığından deneyler için KBr, AgCl, NaCl veya CaF_2 ’den yapılmış kaplar veya prizmalar kullanılır. Katı maddeler KBr ile toz haline getirilerek ve belli bir ölçüde preslenerek IR spektrumu alınır.

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 mikrokapsülленirken kimyasal yapılarının korunduğunu tespit etmek için FT-IR analizinden faydandırıldı. Bu amaçla analizler Adıyaman Üniversitesi Fen-

Edebiyat Fakültesi Kimya bölümü Laboratuvarı'ndaki *Perkin- Elmer Spectrum One* (ATR) markalı cihaz kullanıldı.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi; Termal bir analiz yöntemi olan Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı (DSC); numunenin ısıtılması, sabit bir sıcaklıkta tutulması veya soğutulması sırasında soğurulan veya salıverilen enerji miktarını kalori cinsinden ölçer. Bu teknikte numuneden gelen veya uzaklaşan ısı farkı sıcaklığa veya zamana bağlı olarak gösterilirken referans ile kıyaslama yaparak grafik oluşturulur. DSC, DTA ile aynı ölçüm prensiplerini kullanmasına rağmen aralarındaki temel fark DSC cihazında ısı farkı esas alınırken, DTA'da ise sıcaklık farkı esas alınır.

DSC; maddelerin erime↔donma sıcaklığı ve bu esnada meydana gelen entalpi değişikliği, özgül ısı kapasitesi, tepkime ısısı gibi sıcaklık ve ısı değışikliklerinin 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.

Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM-Scanning Electron Microscope) Analizi; SEM ile numune yüzeyini odaklanmış bir elektron demeti tarayarak görüntü elde edilir. Bir elektron mikroskobu olan SEM'in çalışma prensibi; elektronların, maddeyi oluşturan atomlarla etkileşerek elektron ve foton sinyalleri oluşturur. Sinyaller bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılır. Aktarılan bu sinyallerin mikroskop yazılımı ile işlenmesi sonucunda numune yüzeyindeki topografi hakkında bilgiler veren görüntüler oluşur.

Tez çalışmasında elde edilen tüm mikrokapsüllenmiş FDM'nin yüzey özelliklerini incelemek için SEM kullanıldı. SEM analizleri Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan *Zeiss* marka SEM cihazı kullanılarak yapıldı.

Solar Simulatör Cihazı; Güneş ışığı simülatörü olarak da bilinen solar simulator cihazı gerçek güneş ışığına yakın bir aydınlatma sağlayan cihazdır. Solar

simülatörün amacı, ışığa duyarlı bir malzemenin veya işlemin laboratuvar gibi iç mekanlarda gerçekleşmesini sağlamaktır. Yapılmak istenen deneyler veya analizler solar simülatör ile laboratuvar koşullarında kontrol edilebilme imkanı sağlar.

Tez çalışmasında mikrokapsüllenmiş FDM'in potansiyel olarak fotovoltaiik sistemlerde kullanılabilirliklerinin incelenmesi için solar simülatör cihazı kullanıldı. Solar sümulatör analizleri; Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yalıtım Laboratuvarı'nda bulunan *OptoSense* marka Solar Simulator Cihazı kullanılarak yapıldı.

4.2. Yöntem

4.2.1. İkili Ötektik Karışımların Genel Sentez Yöntemi

Dokosan, dekanolik asit ve n-oktanoik asitin ikili ötektik karışımının hazırlanması için 5 farklı ötektik oran (1:4, 2:3, 1:1, 3:2, 4:1) belirlendi (Tablo 4.2). Genel sentez yöntemi ise;

Sentez; 45 °C erime noktasına sahip olan Dokosan hassas terazide 1000 mg tartıldıktan sonra cam behere alınarak manyetik karıştırıcıda ki su banyosuna yerleştirildi. 45 °C' de Dokosanın tamamen erimesi sağlandıktan sonra 2900 rpm karıştırma hızında karıştırıldı. Hassas terazide 4000 mg tartılan Dekanoik asit behere eklendi. Homojen bir karışım elde etmek için deney 3 saat boyunca 50 °C'de 2900 rpm karıştırma hızında karıştırılarak, ötektik karışım buz banyosunda soğutuldu. Yukarda bahsettiğimiz sentez Dokosan, Dekanoik asit, n-Oktanoik asitin ikili ötektik karışımlarının sentezi için de uygulandı.

Tablo 4. 2 Farklı ikili ötektik karışımı için denenen oranlar ve madde miktarları

Faz Değiştiren Malzemeler	Karışım Oranları (mg)				
	1:4	2:3	1:1	3:2	4:1
Dokosan- Dekanoik Asit	8000	4000	5000	6000	8000
	2000	6000	5000	4000	2000
Dekanoik Asit n-Oktanoik Asit	8000	4000	5000	6000	8000
	2000	6000	5000	4000	2000
Dokosan- n-Oktanoik Asit	8000	4000	5000	6000	8000
	2000	6000	5000	4000	2000

Tablo 4.2’de belirtilen farklı oranlarda alınan karışımlardan ötektik özellikleri gözlenenler diferansiyel termal kalorimetre (DSC) ile belirlendi. Buna göre ideal ötektik karışımların oranları, erime-donma sıcaklıkları ve ΔH değerleri tablo 4.3’teki gibidir.

Tablo 4. 3 DSC sonucuna göre ötektik özelliği gösteren karışım oranları ve termal özellikleri

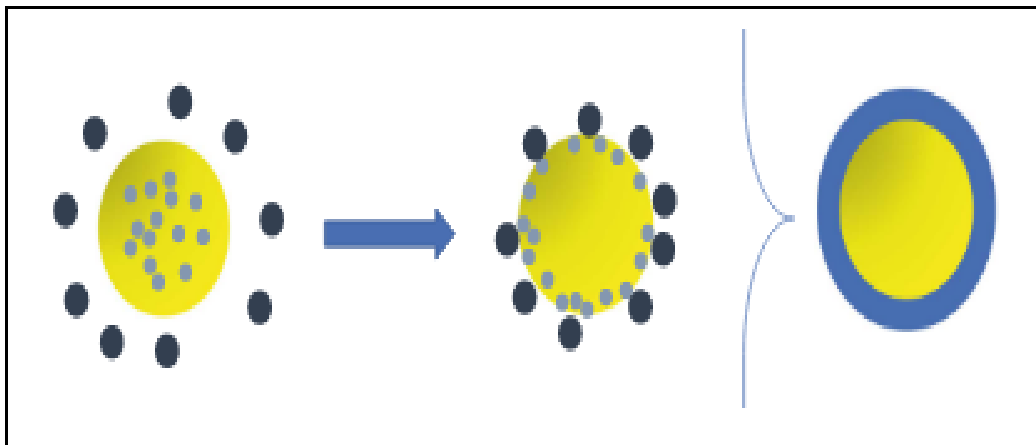
İkili ötektik karışımları	Karışım oranı	Erime noktası (°C)	Donma noktası (°C)	Erime Entalpisi (j/g)	Donma Entalpisi (j/g)
Dokosan- Dekanoik Asit Ötektik Karışımı	1:4	31,96	22,83	123,30	117,12
Dekanoik Asit- Oktanoik Asit Ötektik Karışımı	3:2	37,01	25,00	147,74	-145,06
Dokosan- Oktanoik Asit Ötektik Karışımı	1:4	43,68	1.pik 39,37	33,53	1.pik -10,42

4.2.2. Mikrokapsülasyon İşlemleri

Katı↔sıvı faz değişimleri sırasında görülecek olası hacim değişiklikleri nedeniyle FDM'nin kullanılacağı alanlarda sızma probleminin önüne geçebilmek için FDM'in mikrokapsülasyonu gerekmektedir. Bu tez çalışmasında arayüzey polimerizasyon yöntemi kullanılarak FDM'ler mikrokapsülendi. Arayüzey polimerizasyonunda, Şekil 4.1 'de gösterildiği gibi, iki reaktif monomer yağ fazında ve sulu fazda ayrı ayrı çözülür ve daha sonra bir başlatıcının etkisi altında yağ-su arayüzeyinde polimerizasyon meydana gelir [76].

Arayüzey polimerizasyonunun genel adımları aşağıdaki gibidir:

- (1) FDM ve hidroforik monomer içeren bir yağ/su emülsiyonu oluşturmak
- (2) Uygun koşullar altında polimerizasyonu başlatmak için hidrofilik monomerin eklenmesi
- (3) Filtreleme, yıkama ve kurutma yoluyla mikrokapsüllerin elde edilmesi.



Şekil 4. 1 FDM'nin arayüzey polimerizasyonu ile mikrokapsülasyon şeması

Su ve ark. 2012 [72], **Lu ve ark. 2018** [77] **Shi ve ark. 2019** [71] tarafından arayüzey polimerizasyon yöntemi ile FDM'lerin kapsülasyonu başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Önerilen tez çalışmasında ilk basamakta dokosan, dekanoik asit, n-oktanoik asit faz değiştiren malzemelerin saf halleri mikrokapsüllendi. Bu mikrokapsülasyon yöntemi için arayüzey polimerizasyonu kullanıldı. İkinci basamakta ise dokosan - dekanoik asit, dekanoik asit – n-oktanoik asit ve dokosan n – oktanoik asitlerin farklı oranlarda ikili ötektikleri sentezlenerek DSC analizlerine göre uygun erime - donma sıcaklığına sahip ikili ötektik karışımlar mikrokapsüllendi. Mikrokapsüllenen ikili ötektik karışımları ve oranları sırasıyla; Dokosan - dekanoik asit [1/4], dekanoik asit- n - oktanoik asit [3/2], dokosan - n - oktanoik asittir [1/4].

4.2.2.1. Faz Değiştiren Malzemelerin Mikrokapsülasyonu

Parafin grubunda yer alan dokosanın ve yağ asidi grubunda yer alan dekanoik asit ile n-oktanoik asitin mikrokapsülasyon işlemi ve kullanılan kimyasallar Tablo 4.4'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4. 4 Dokosanın mikrokapsülasyon işlemi için kullanılan kimyasallar

Saf Su
Sodyum Dodesil Sülfat (SDS)
Dokosan
Titanyum (IV) Butoksit
Metilmetakrilat (MMA)
Benzoil Peroksit (BP)

Aşağıdaki aşamalar izlenerek mikrokapsülasyon işlemi gerçekleştirildi;

Sentez; İlk önce, 1000 mg SDS ve 42.5 ml deiyonize su bir beherde manyetik karıştırıcı da karıştırıldı ve 60 °C'de tek tip bir su fazı hazırlamak için mekanik altında 10 dakika emülsiyon haline getirildi. Yağ fazını hazırlamak için 6000 mg dokosan, 10,0 ml MMA ve 3,0 ml Titanyum (IV) Butoksit 24 °C'de 10 dakika ultrasonik yöntemle karıştırıldı. 10 dakika sonra su fazı 80 °C'de ki yağ banyosuna alındı. Daha sonra yağ fazı su fazına ilave edildi ve homojen bir yağ/su emülsiyonu hazırlamak için 30 dakika 800 rpm karıştırma hızında karıştırıldı. Elde edilen emülsiyon benzoil peroksit başlatıcısı yardımıyla 80 °C'de mikrokapsüllendi. Son olarak, emülsiyon üç kez deiyonize su ile yıkandı ve FDM'i elde etmek için 4 saat boyunca 45 °C'de kurutuldu.

4.2.2.2. Ötektik Karışımların Mikrokapsülasyonu

Mikrokapsüllenen ikili ötektikler ve ötektik karışım oranları sırasıyla; Dokosan-dekanoik asit [1:4], dekanoik asit- n-oktanoik asit [3:2], dokosan-n-oktanoik asittir [1:4]. Ötektik karışımların mikrokapsülasyonu dokosan-dekanoik asit ötektiğinin kapsüllenmesi üzerinden anlatılacaktır.

Tablo 4. 5 Dokosan-dekanoik ikili ötektik karışımının mikrokapsülasyon işlemi için kullanılan kimyasallar

Saf Su	Metilmetakrilat (MMA)
Sodyum Dodesil Sülfat (SDS)	Benzoil Peroksit (BP)
Dokosan-dekanoik ikili ötektik karışımı [1:4]	Titanyum (IV) Butoksit

Sentez; İlk önce, 1000 mg SDS ve 42.5 ml deiyonize su bir şişede karıştırıldı ve 60 °C'de tek tip bir su fazı hazırlamak için mekanik karıştırıcıda 10 dakika emülsiyon haline getirildi. Yağ fazını hazırlamak için 6000 mg dokosan, 10,0 ml MMA ve 3,0 ml Titanyum (IV) Butoksit 24 °C'de 10 dakika ultrasonik yöntemle karıştırıldı. 10 dakika sonra su fazı 80 °C'de ki yağ banyosuna alındı. Daha sonra yağ fazı su fazına ilave edildi ve homojen bir yağ/su emülsiyonu hazırlamak için 30 dakika 800 rpm karıştırma hızında karıştırıldı. Elde edilen emülsiyon benzoil peroksit başlatıcısı yardımıyla 80 °C'de mikrokapsüllendi. Son olarak, emülsiyon üç kez deiyonize su ile yıkandı ve FDM'i elde etmek için 4 saat boyunca 45 °C'de kurutuldu.

Mikrokapsüllerin FDM içeriği aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı;

$$\phi = \frac{\text{Mikrokapsüllenmiş FDM } (\Delta H_e + \Delta H_d)}{\text{Saf FDM } (\Delta H_e + \Delta H_d)}$$

Φ : Mikrokapsüllü FMD'nin % FDM içeriği

Mikrokapsüllenmiş FDM (He+ Hd) : Mikrokapsüllerden gelen erime ve kristalleşme entalpisinin toplamıdır.

Saf FDM (He + Hd) : FDM'den gelen erime ve kristalleşme entalpisinin toplamıdır.

Tablo 4. 6 Mikrokapsüllerin içerdiği FDM oranı

MİKROKAPSÜLLENMİŞ FDM	% KAPSÜL İÇERİĞİ
Do-K	30
De-K	5
Ok-K	4
Do-De-K	83
Do-Ok-K	82

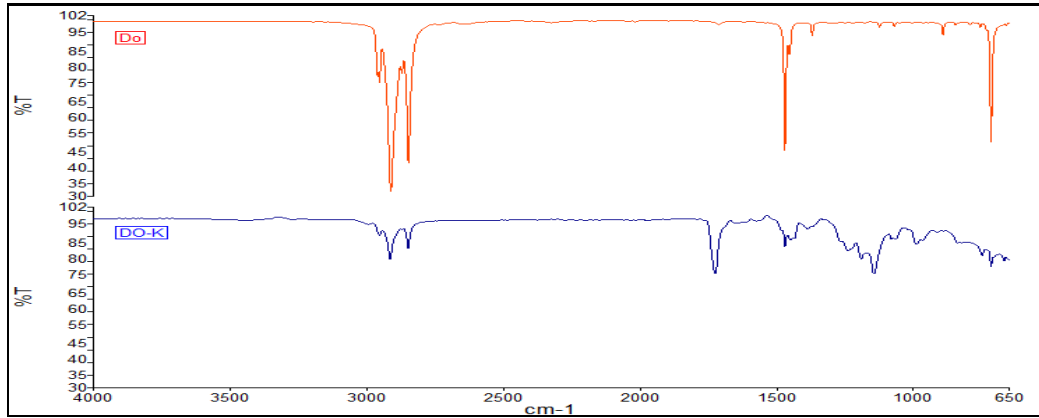
5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışmasında ilk olarak farklı erime sıcaklığına sahip FDM'lerin ikili ötektik karışımları elde edildi. DSC analizine göre ideal erime-donma sıcaklığına sahip ikili ötektik karışımlar arayüzey polimerizasyon yöntemi ile mikrokapsüllendi. Diğer bir taraftan kullanılan FDM saf halde de aynı yöntemle mikrokapsüllendi.

5.1. Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Malzemelerin Analizi

5.1.1. Mikrokapsüllenmiş Dokosanın FT-IR Analizi

Dokosanın hem saf hali hem de mikrokapsüllenmiş halinin FT-IR spektrumlarının incelenmesi sonucunda benzer dalga boylarında ve benzer pikler verdikleri gözlemlendi (Şekil 5.1).



Şekil 5. 1 Dokosan ve mikrokapsüllenmiş dokosanın FT-IR spektrumları

Saf dokosanın ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{CH}_3$) spektrumu, metilen gruplarının tipik titreşimleri ile karakterize edilir; 2953, 2911, 2847 cm^{-1} 'deki pikler $-\text{CH}_2$ ve $-\text{CH}_3$ gruplarındaki C-H bağ germe titreşiminden kaynaklanırken, 1470 ve 1370 cm^{-1} 'deki pikler de sırasıyla

–CH₂ ve –CH₃ gruplarının eğilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Saf dokosanda görülen karakteristik pikler mikrokapsüllenmiş dokosanın spektrumlarında da önemli ölçüde değişmediği saptandı (Tablo 5.1).

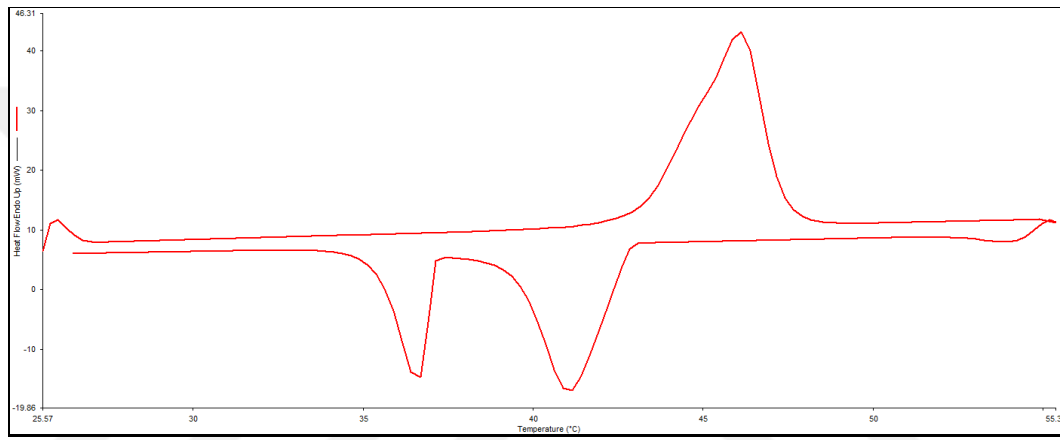
Tablo 5. 1 Saf dokosan ve mikrokapsüllenmiş dokosanın FT-IR spektrumları

FDM	Pike ait bağın adı	Pik frekansı cm ⁻¹
Do	C-H (gerilme)	2953
	C-H (gerilme)	2911
	C-H (gerilme)	2847
	C-H (eğilme-CH ₂)	1470
	C-H (eğilme-CH ₃)	1370
Do-K	C-H (gerilme)	2955
	C-H (gerilme)	2914
	C-H (gerilme)	2848
	C-H (eğilme-CH ₂)	1470
	C-H (eğilme-CH ₃)	1386

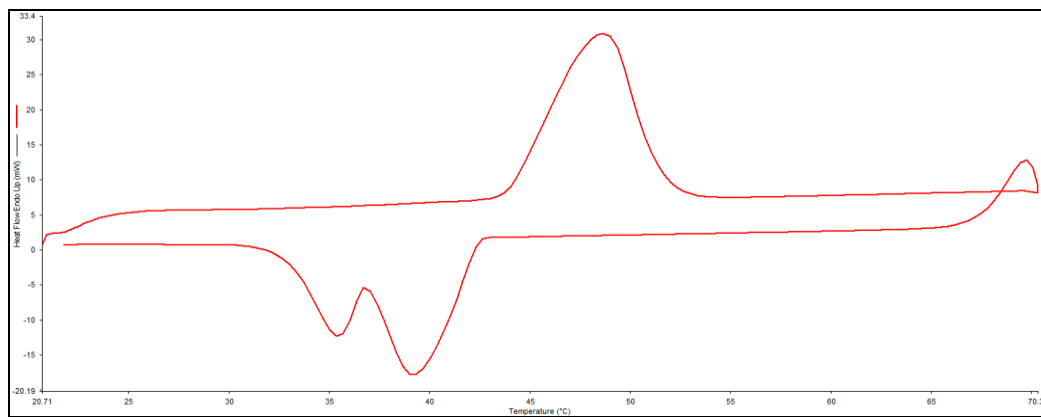
Alkan ve ark. dokosan içeren mikrokapsüller için benzer FT-IR sonuçları bildirmişlerdir [70]. Çalışmamızdaki FT-IR sonuçları ile ulaşabildiğimiz literatür verileri karşılaştırıldığında, çalışmamızdaki sonuçlar literatür ile uyumlu idi (Tablo 5.1). Bu uyumluluğun dokosanın mikrokapsülasyonu işlemi esnasında kimyasal yapı değişikliğine uğramadan mikrokapsüllendiğinin bir göstergesi olduğunu düşünmekteyiz.

5.1.2. Mikrokapsüllenmiş Dokosanın DSC Analizi

Dokosanın ve mikrokapsüllenmiş dokosanın DSC eğrileri sırasıyla Şekil 5.2 ve Şekil 5. 3'te verilmiştir. Dokosanın ve mikrokapsüllenmiş dokosanın DSC eğrilerinden elde edilen ısı verileri ise Tablo 5.2 'de özetlenmiştir.



Şekil 5. 2 Saf dokosanın (Do) erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 3 Mikrokapsüllenmiş dokosanın (Do) erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri

Tablo 5. 2 Saf Dokosanın (Do) ve Mikrokapsüllenmiş Dokosanın (Do-K) DSC Eğrileri

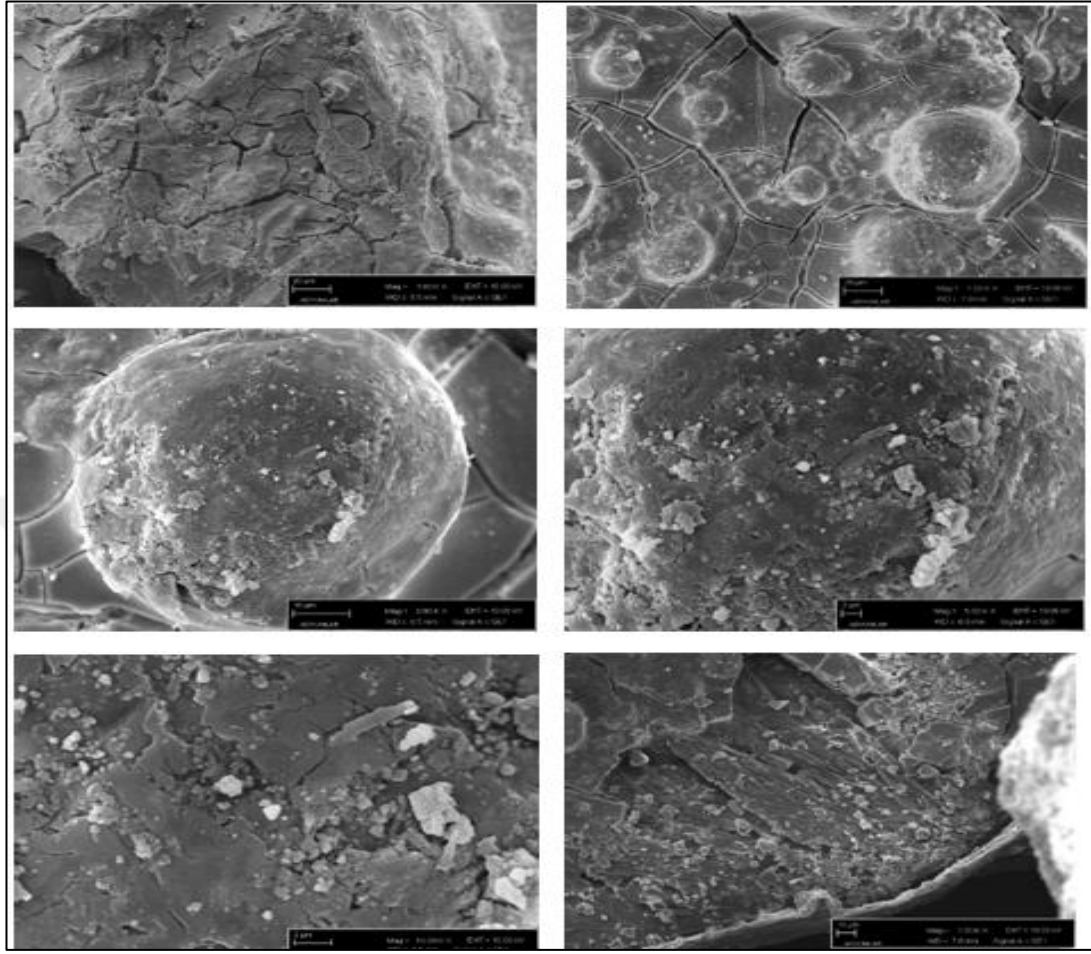
		Dokosan	Do-K
Erime Noktası (°C)	Başlangıç	43,45	43,95
	Tepe	46,12	48,69
	Bitiş	47,34	51,56
	ΔHm (j/g)	215,08	71,81
Donma Noktası (°C)	Başlangıç	42,83	42,20
	Tepe	41,15	39,37
	Bitiş	39,45	37,69
	ΔHm (j/g)	133,99	27,43
Kristalizasyon Noktası	Başlangıç	37,17	36,63
	Tepe	36,69	35,38
	Bitiş	35,45	33,39
	ΔHm (j/g)	58,90	8,25

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 ile Tablo 5.2’den görüldüğü üzere mikrokapsüllenmiş FDM için erime-donma pik sıcaklıkları sırasıyla; 48,69 °C, 39,37 °C olarak saptandı. Dokosan için bu değerler sırasıyla 46,12 °C, 41,15 °C olarak ölçüldü. Buna göre dokosan ile mikrokapsüllenmiş FDM’lerin erime ve donma entalpileri karşılaştırıldığında dokosanın erime ve donma entalpileri sırasıyla 215,08 ve 133,99 J.g⁻¹ iken, mikrokapsüllenmiş dokosanın erime entalpisinin; 71,81 J.g⁻¹ ve donma entalpisinin 35,68 J.g⁻¹ olduğu saptandı. Saf dokosanın ve mikrokapsüllenmiş dokosanın soğutma işleminde iki ekzotermik pik göstermesine karşın, ısıtma işleminde erime için sadece bir endotermik pik gözlemledik. 1. pik katılaşma, 2.pik ise kristalizasyon sıcaklığı olarak saptandı. Buna göre dokosan ile mikrokapsüllenmiş dokosanın kristalleşme sıcaklığı karşılaştırıldığında; dokosanın kristalizasyon sıcaklığı 37,17 °C ‘de başlayıp 35,45 °C’de sonlandığı, mikrokapsüllenmiş dokosanın ise 36,63 °C’de başlayıp 33,39 °C’de sonlandığı tespit edildi. Böyle iki farklı kristalleşme davranışı, dokosanın tamamen kristalleşmeden önce yarı kararlı bir fazın

varlığından kaynaklanmaktadır. Ve bu durum çok sayıda parafin grubunda gözlemlenir [78], [79], [80]. Ayrıca mikrokapsüllenmiş ve mikrokapsüllenmemiş dokosana ait erime ve donma entalpileri dikkate alındığında entalpi değerlerinin kapsülasyon işlemi sonrasında azaldığı saptandı. Entalpideki bu düşüşün nedeni ise dokosanın kapsüllenme yüzdesinin % 30 olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz [78].

5.1.3. Mikrokapsüllenmiş Dokosanın SEM analizi

Mikrokapsüllenmiş dokosana ait SEM görüntüleri (Şekil 5.4) incelendiğinde; mikrokapsüllerin oluştuğu ve titanyum kabuk malzemesinin, n-dokosanın yüzeyinde başarılı bir şekilde üretildiği kanıtlanmıştır. Kapsül görünürlüğünün az olmasının nedeni kapsüllenme yüzdesinin (%30) düşük olmasıdır. Buna rağmen kapsüllerin yüzey görüntüleri incelendiğinde titanyum mikrokapsüllerin iyi tanımlanmış çekirdek/kabuk mikroyapısı ile birlikte küresel bir morfoloji sergilediği görülmüştür.

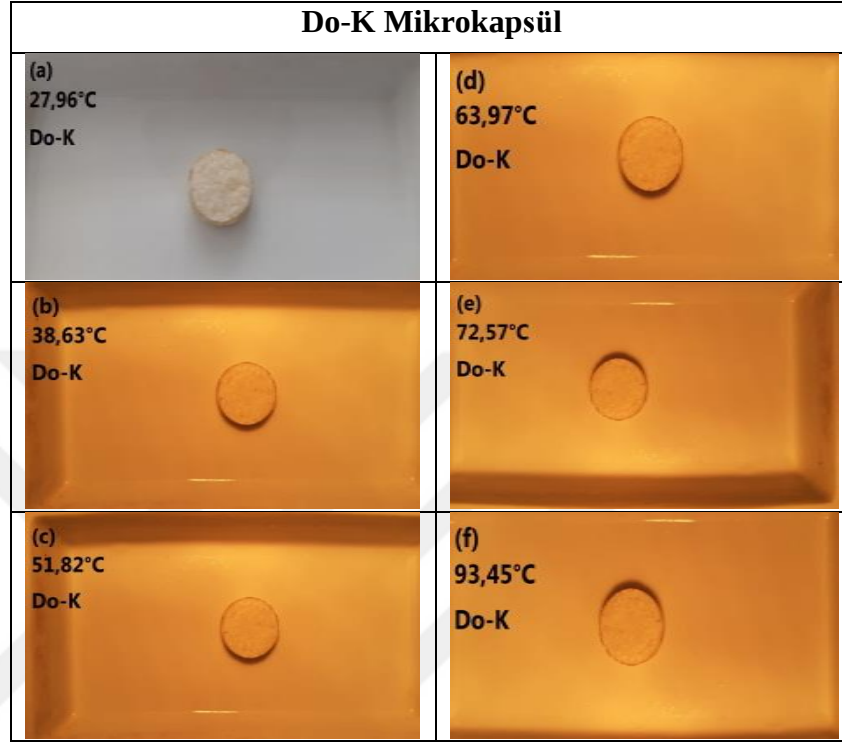


Şekil 5. 4 Mikrokapsüllenmiş dokosanın SEM görüntüleri

5.1.4. Mikrokapsüllenmiş Dokosanın Şekil Stabilize Analizi

Mikrokapsüllenmiş dokosanın şekil kararlılığını belirlemek için öncelikle mikrokapsüller 1800 Pa basınç altında preslendi. Şekil 5.5'te gösterilen şekil stabilize analiz görüntüler mikrokapsüllenmiş dokosanın solar simülatör cihazının ürettiği simule güneş ışığı altında ısıtılması sonucu dijital bir kamerayla çekilerek elde edilmiştir. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin ısıtılmasıyla dokosanın erime sıcaklığına ulaşıldığında mikrokapsüllerin yapısını koruduğu ve dokosanın kapsül dışına

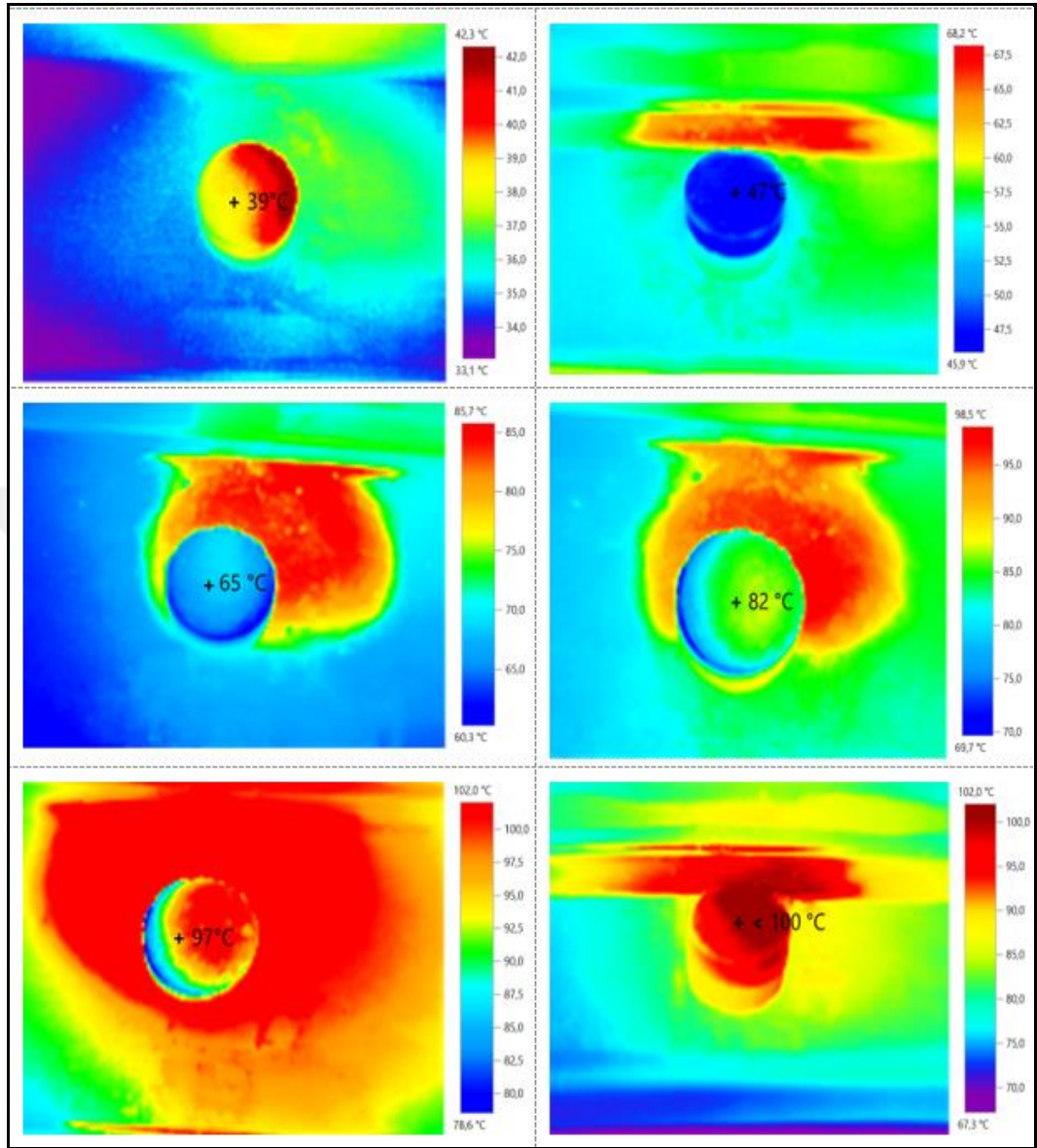
sızmadığı saptandı (Şekil 5.5). Bu sonuç; kapsülleme işleminin başarılı olduğunu ve kapsüllerin ısıya maruz kalması halinde şeklini koruduğunu göstermektedir.



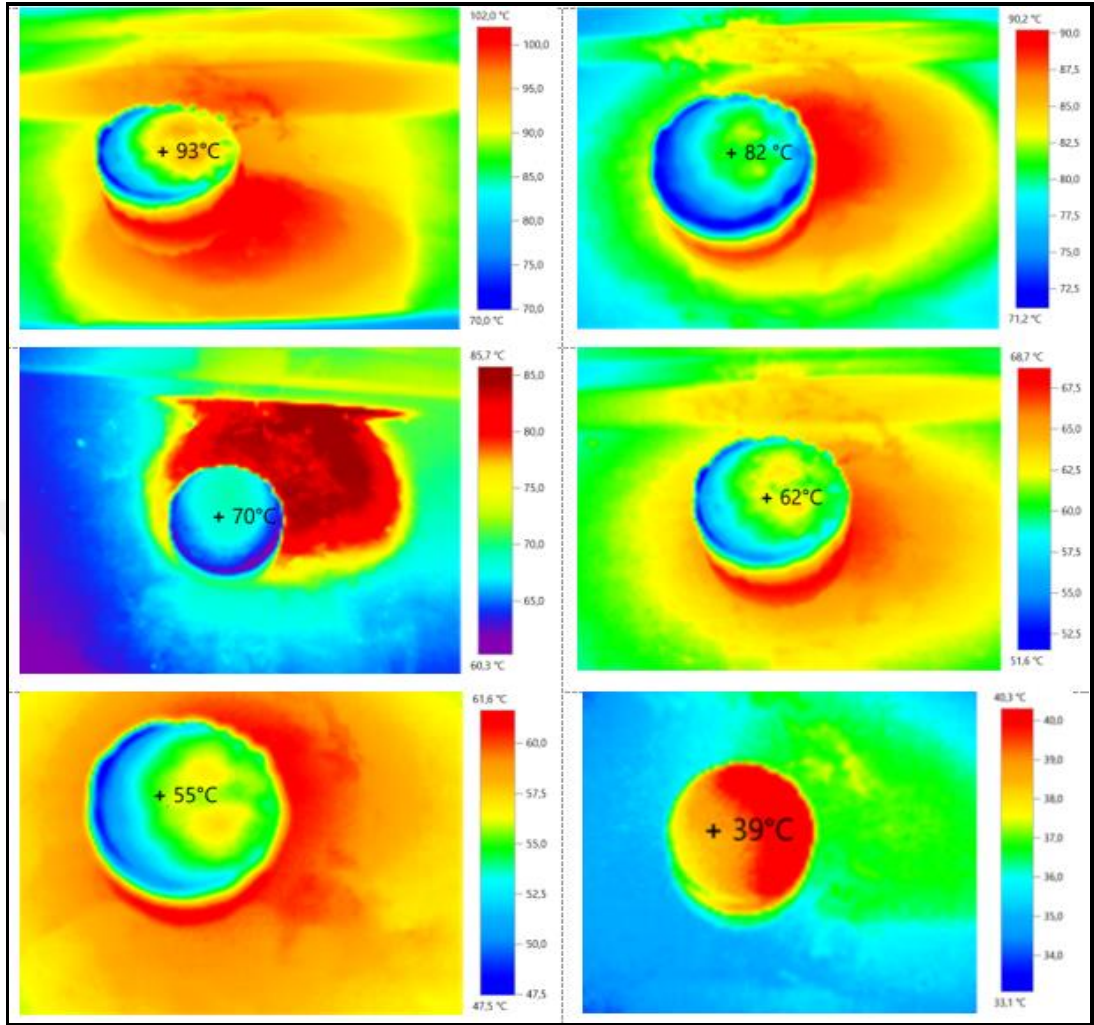
Şekil 5. 5 Mikro kapsül lenmiş dokosan ın şek il stabilize anal izi

5.1.5. Mikro kapsül lenmiş Dokosan ın Termal Davran ışı

Mikro kapsül lenmiş dokosan ın solar simülatör cihaz ının üretti ğ i simü le güneş ış ığı altında ısıtılması sonucu termal kamera ile termal davran ışı ları incelendi ğ inde; ısıya maruz kalan kapsül lerin sıcaklı ğ ının yavaş yavaş yükseldi ğ i (Şekil 5.6), aynı şekilde so ğuman ın da yavaş yavaş gerç ekleş ti ğ i saptandı (Şekil 5.7).). Yine her iki görüntüden katı↔sıvı faz geçişleri esnasında homojen bir ısıtma ve so ğutma oldu ğ u tespit edildi. Bu sonuç; dokosan ın mikro kapsülleme işleminin başarılı oldu ğ unu göstermekte idi [78].



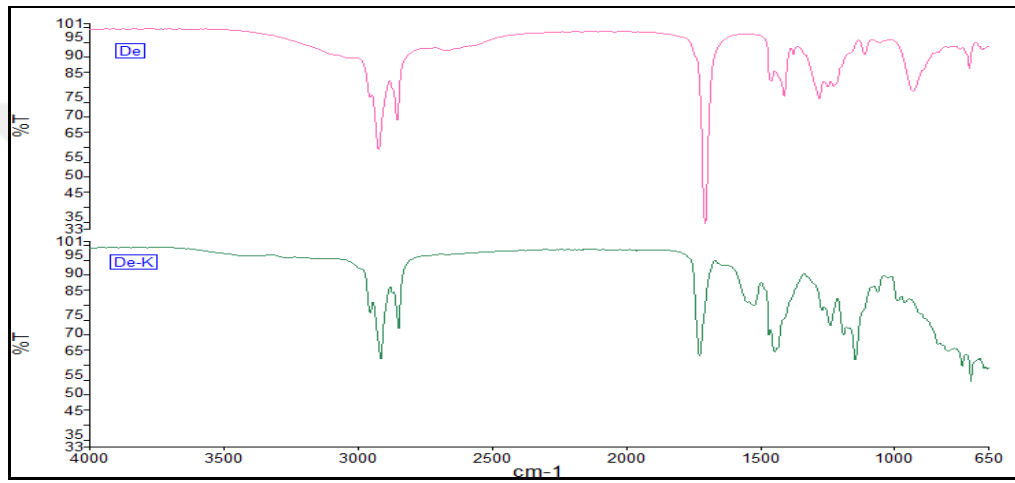
Şekil 5. 6 Mikrokapsüllenmiş dokosanın ısıtma sürecindeki termal davranışları



Şekil 5. 7 Mikrokapsüllenmiş dokosanın soğuma sürecindeki termal davranışları

5.1.6. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asitin FT-IR Analizi

Dekanoik asitin ($C_{10}H_{20}COOH$) hem saf hali hem de mikrokapsüllenmiş halinin FT-IR spektrumlarının incelenmesi sonucunda benzer dalga boylarında ve benzer pikler verdikleri gözlemlendi ayrıca spektrumlarda ek bir pik gözlemlenmedi (Şekil 5.8).



Şekil 5. 8 Saf dekanolik asitin (De) ve mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin (De-K) FT-IR spektrumları

Tablo 5.3'teki FT-IR spektrumu incelendiğinde saf dekanolik asitin 2955, 2923, 2854 cm^{-1} de görülen pikler ve mikrokapsüllenmiş dekanolik asitte 2953, 2915, 2849 cm^{-1} de görülen pikler alifatik $-C-H$ gerilme titreşimlerine aittir. Saf dekanolik asitin karakteristik $C=O$ gerilmesi (1706 cm^{-1}), mikrokapsüllü dekanolik asitin (1727 cm^{-1}) spektrumlarında da olduğu tespit edildi. Saf dekanolik asitin karboksilik aside ait olan $-OH$ gerilmesi (2963-2850 cm^{-1}) mikrokapsüllü dekanolik asitte de bu piklerin olduğu tespit edildi.

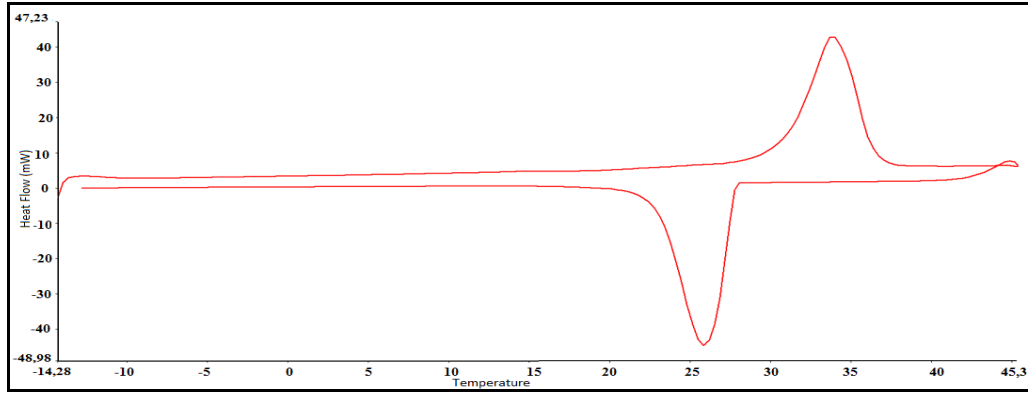
Tablo 5. 3 Mikrokapsüllenmiş dekanoik asitin FT-IR spektrumları

FDM	Pike ait bağın adı	Pik frekansı cm^{-1}
De	O-H (kuvvetli –H bağı, gerilme)	2963-2850
	C-H (gerilme)	2955
	C-H (gerilme)	2923
	C-H (gerilme)	2854
	C-O (gerilme)	1281
	O-H (eğilme)	1412
	C=O (gerilme)	1706
De-K	O-H (kuvvetli –H bağı, gerilme)	2958-2850
	C-H (gerilme)	2953
	C-H (gerilme)	2915
	C-H (gerilme)	2849
	C=O (gerilme)	1727
	C-O (gerilme)	1273
	O-H (eğilme)	1438

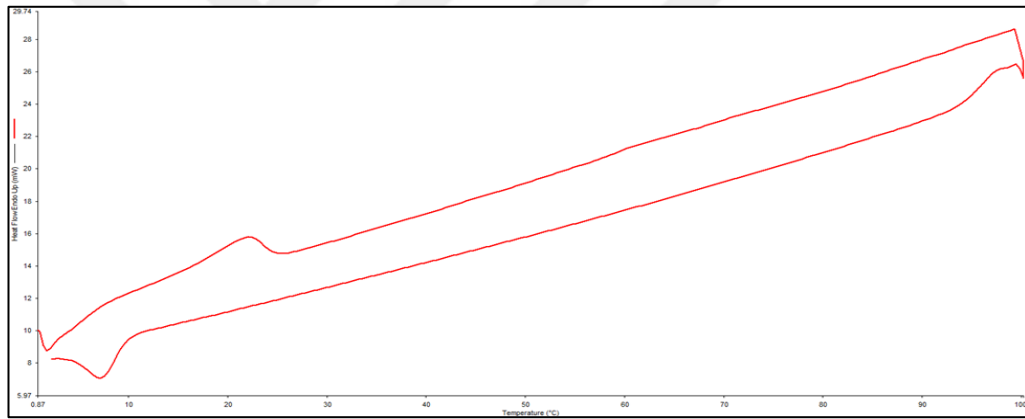
Çalışmamızdaki FT-IR sonuçları ile mevcut literatür verileri karşılaştırıldığında, çalışmamızdaki sonuçlar literatür ile uyumlu idi (Tablo 5.3) [81]. Bu sonuç, dekanoik asitin mikrokapsülasyonu işlemi sırasında bileşenler arasında herhangi bir kimyasal reaksiyonun meydana gelmediğini doğrulamıştır. Karaipekli ve ark. [81] yaptıkları çalışmada çekirdek malzeme olarak dekanoik asit-palmitik asit seçmişlerdir. Mikrokapsüllenmiş FDM için benzer FT-IR sonuçları bildirmişlerdir.

5.1.7. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asitin DSC Analizi

Dekanoik asit ve mikrokapsüllenmiş dekanoik asitin DSC eğrileri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Dekanoik asit ve mikrokapsüllenmiş dekanoik asitin DSC eğrilerinden elde edilen ısı verileri ise Tablo 5.4 'te özetlenmiştir.



Şekil 5. 9 Saf dekanolik asitin erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 10 Mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri

Şekil 5.9 ve Tablo 5.4'ten görüldüğü üzere dekanolik asitin erime ve donma pik sıcaklıkları sırasıyla; 34,02 °C ve 25,85 °C olarak saptandı. Mikrokapsüllenmiş FDM için bu değerler sırasıyla 22,02 °C ve 6,79°C olarak ölçüldü (Şekil 5.10, Tablo 5.4). Buna göre dekanolik asit ile mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin entalpileri karşılaştırıldığında dekanolik asitin erime ve donma entalpileri sırasıyla; 147,34 ve -114,75 J.g⁻¹ iken, mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin erime entalpisinin; 8,23 J.g⁻¹ ve donma entalpisinin -8,25 J.g⁻¹ olduğu saptandı. Mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin ve

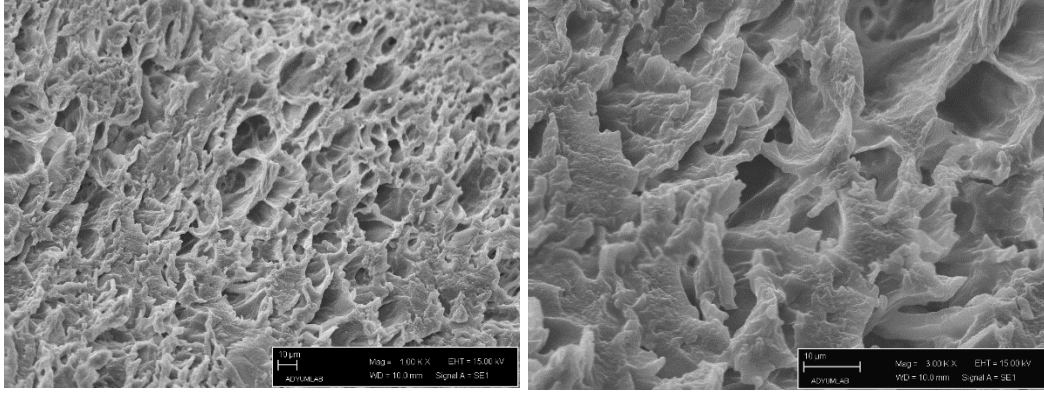
saf halde ki dekanolik asitin erime ve donma entalpileri dikkate alındığında entalpi değerlerinin kapsülasyon işlemi sonrasında azaldığı saptandı. Entalpideki bu düşüşün nedeni ise dekanolik asitin kapsüllenme yüzdesinin düşük olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Karaipekli ve ark. [81]'da yaptıkları çalışmada kompozit FDM'lerin entalpi değerleri, FDM'lerin kütle içeriğine dayalı olarak elde edilen teorik değerlerden biraz daha düşük olduğunu kaydettiler. Sun ve arkadaşlarının da [78], kapsüllenmiş ve kapsüllenmemiş FDM'lerin DSC verileri bunu destekler niteliktedir.

Tablo 5. 4 Saf dekanolik asitin (De) ve mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin (De-K) DSC verileri

	Erime Noktası				Donma Noktası			
FDM	Başlangıç (°C)	Pik (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_e (j/g)	Başlangıç (°C)	Pik (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_d (j/g)
De	30,80	34,02	36,48	147,34	27,75	25,85	22,96	144,75
De-K	14,74	22,02	25,16	8,23	9,28	6,79	3,09	8,12

5.1.8. Mikrokapsüllenmiş Dekanolik Asitin SEM Analizi

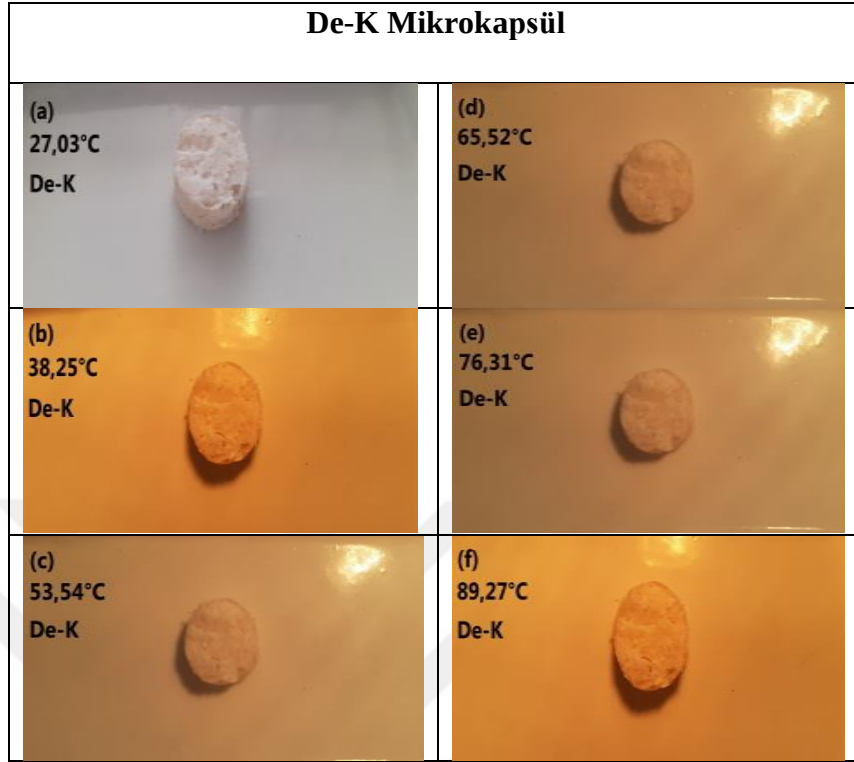
Mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin SEM görüntüleri incelendiğinde; dekanolik asitin başarılı bir şekilde kapsüllendiği sonucuna varabiliriz. SEM görüntüleri incelendiğinde mikrokapsüllenenmiş FDM'lerin kapsüllerini oluşturduğu görülmüştür. Fakat kapsüllenme miktarının %5 olması ve kapsüllenmemiş dekanolik yüzdesinin fazlalığı nedeniyle yüzeyde homojen bir dağılım sergilenmemiştir ve kapsül görüntülerinin görünürlüğü daha sınırlı düzeyde kalmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5. 11 Mikrokapşüllenmiş Dekanoik asitin SEM analizi

5.1.9. Mikrokapşüllenmiş Dekanoik Asitin Şekil Stabilize Analizi

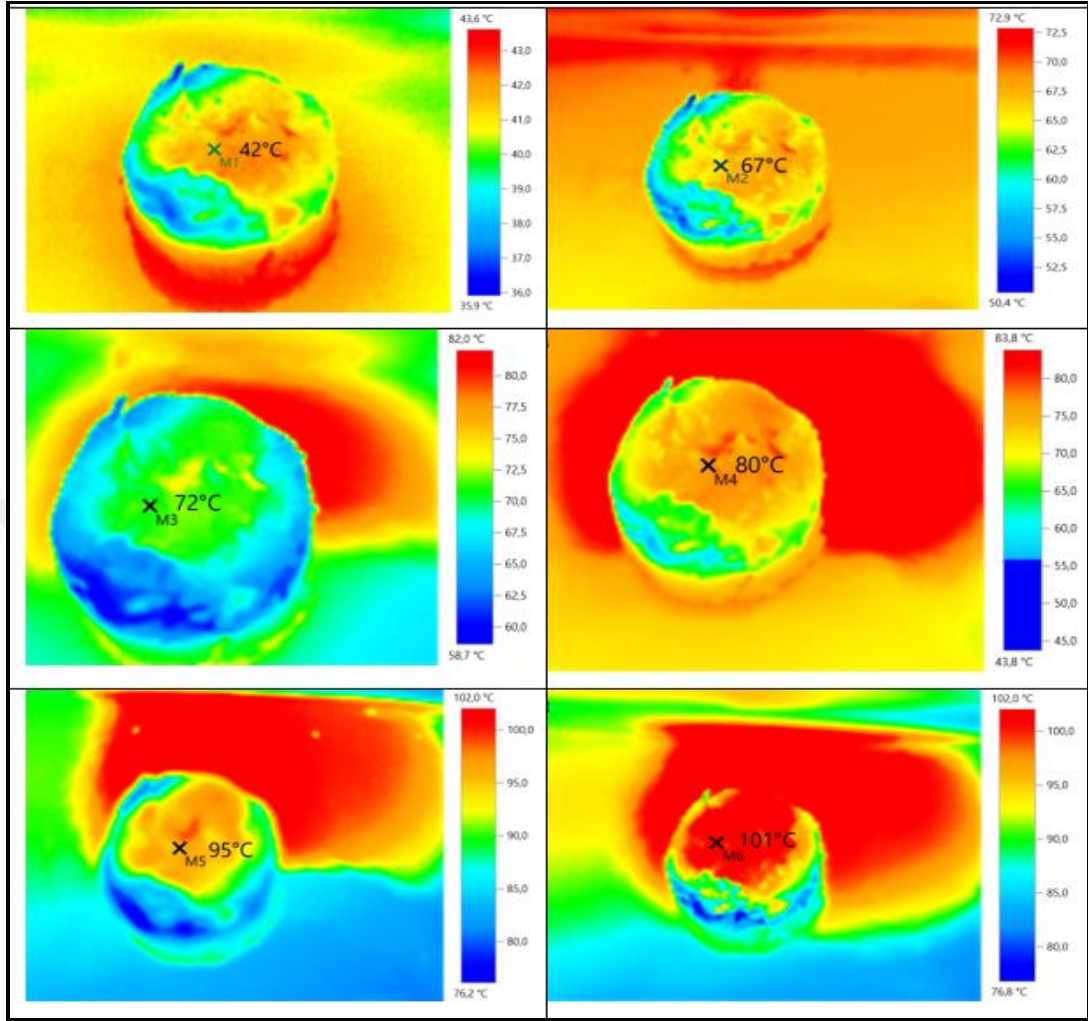
Mikrokapşüllenmiş dekanolik asitin şekil stabilize analizi solar simülatör cihazının ürettiği simüle güneş ışığı altında gerçekleştirdik (Şekil 5.12). Mikrokapşüllü FDM'nin ısıtılması sonucunda elde edilen görüntülerden dekanolik asitin erime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa kadar ısınmasına rağmen mikrokapşülden dışarı sızıntı göstermediği, mikrokapşüllerin yapısının korunduğu tespit edildi. Bu sonuç kapşüllenme işleminin başarılı olduğu ve kapşüllerin ısıya maruz kalması halinde şeklini koruduğu göstermektedir. Karaipekli ve ark. [81] mikrokapşüllü FDM'leri erime sıcaklığının üzerindeki sıcaklığa kadar ısıtmışlardır. Bunun sonucunda Elde ettikleri FDM'leri şekillerini koruyan ve sızıntı göstermeyen kompozit FDM'ler olarak tanımlamışlardır.



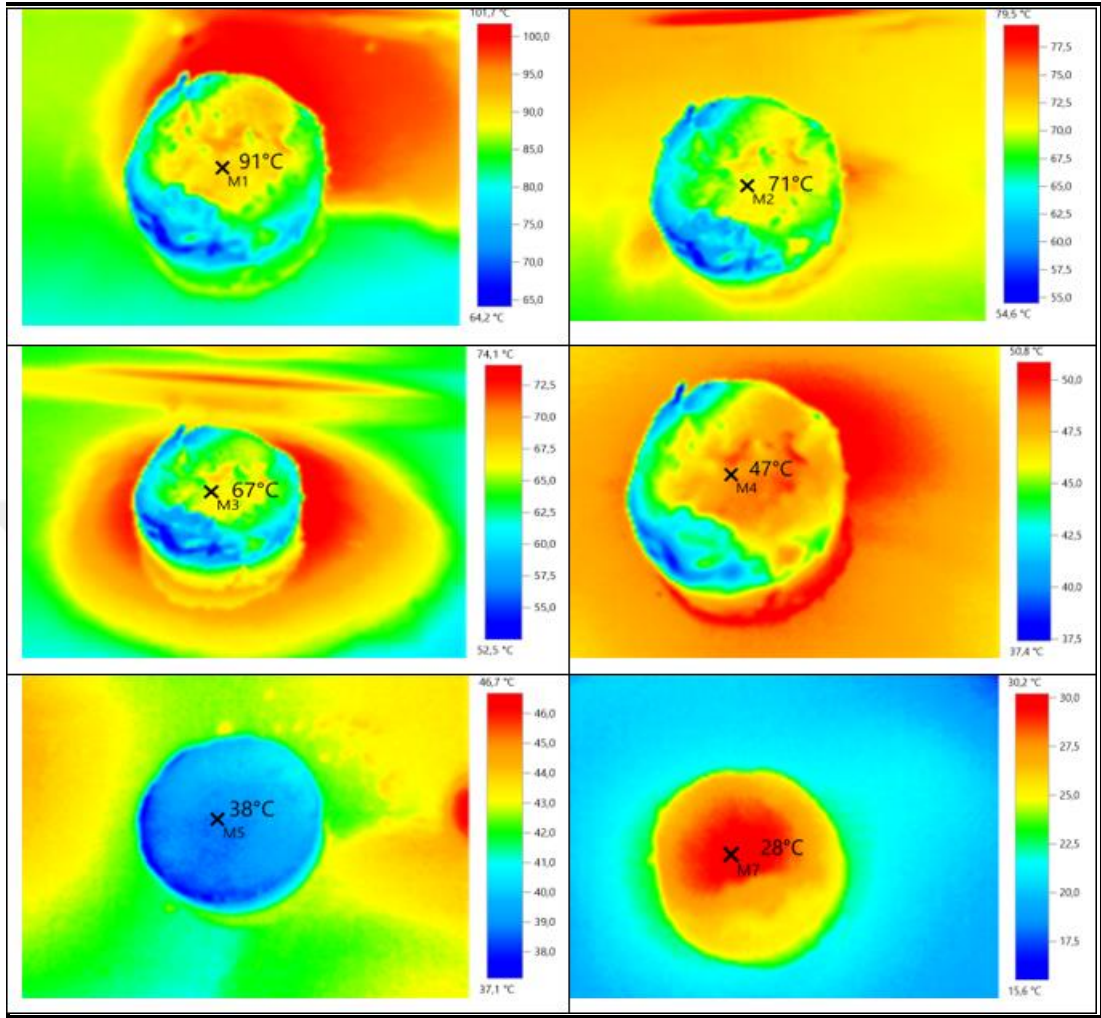
Şekil 5. 12 Mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin şekil stabilize analizi

5.1.9. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asitin Termal Davranışı

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan FDM'lerin katı↔sıvı faz değişimleri esnasında sızma davranışı göstermemeleri için mikrokapsüllenmesi gerekmektedir. Elde ettiğimiz mikrokapsüllerin termal davranışını gösteren Şekil 5.13-14 görüntüleri solar simülatör cihazının ürettiği simule güneş ışığı altında ısıtılması sonucu elde edilmiştir. Mikrokapsüllenmiş FDM'lerin ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan kapsüllerin sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği (Şekil 5.13), aynı şekilde soğumanın da yavaş yavaş gerçekleştiği saptandı (Şekil 5.14). Katı↔sıvı faz geçişleri esnasında homojen bir ısıtma ve soğutma olduğu tespit edildi. Bu sonuç; dekanolik asitin mikrokapsülleme işleminin başarılı olduğunu göstermekte idi [78].



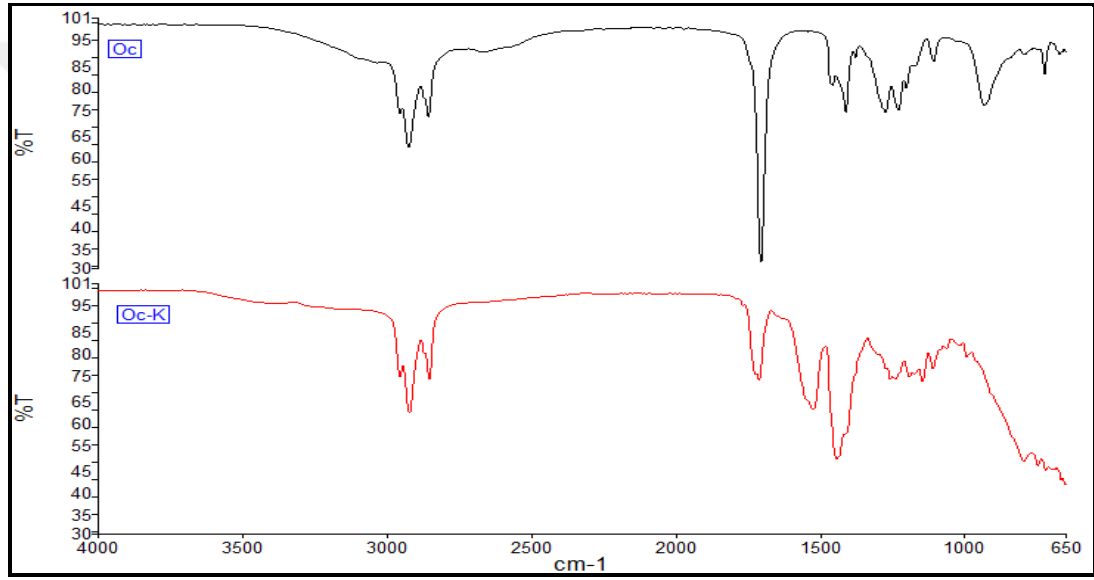
Şekil 5. 13 Mikrokapsüllenmiş dekanolik asitin ısınma sürecindeki termal davranışı



Şekil 5. 14 Mikroapsüllenmiş dekanolik asitin soğuma sürecindeki termal davranışı

5.1.11. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin FT-IR Analizi

n-Oktanoik asitin ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$) hem saf hali hem de mikrokapsüllenmiş halinin FT-IR spektrumlarının incelenmesi sonucunda benzer dalga boylarında ve benzer pikler verdikleri gözlemlendi (Şekil 5.15).



Şekil 5. 15 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin FT-IR spektrumları

Şekil 5.15'te n-oktanoik asitin ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$) spektrumları mikrokapsüllü n-oktanoik asitin FT-IR spektrumları ile kıyaslandığında n-oktanoik asite ait olan ($\text{C}=\text{O}$) 1705 cm^{-1} piki mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitte (1712 cm^{-1}) önemli ölçüde değişmediği belirlenmiştir. Saf n-oktanoik asit ve mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asit spektrumlarında -CH gerilme bantlarının sırasıyla $2956\text{--}2825\text{ cm}^{-1}$ ve $2953\text{--}2853\text{ cm}^{-1}$ civarında gözlemlendiği tespit edildi. n-Oktanoik asitin karakteristik $2963\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ ve 1274 cm^{-1} de gözlemlenen O-H gerilme ve C-O gerilme piklerinin hem saf n-oktanoik asitte hem de mikrokapsüllenmiş -n-oktanoik asitte önemli ölçüde

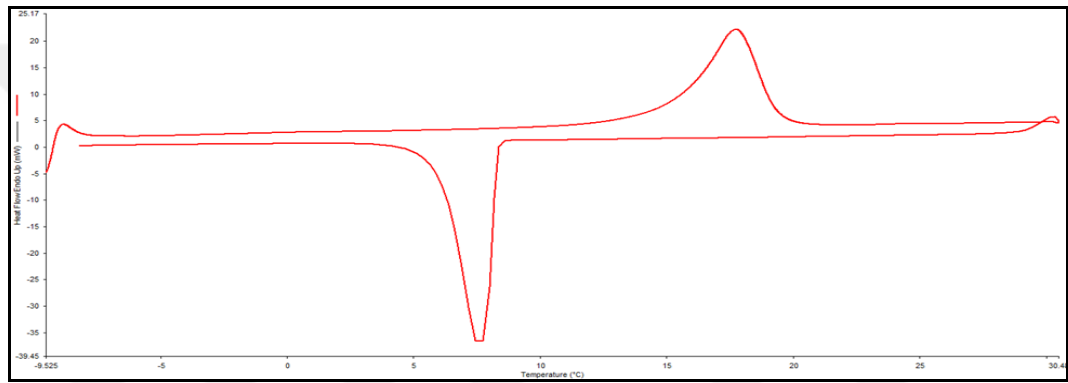
değişmediği belirlendi. Çalışmamızdaki FT-IR sonuçları ile ulaşabildiğimiz literatür verileri karşılaştırıldığında, çalışmamızdaki sonuçlar literatür ile uyumlu idi (Tablo 5.5). Bu uyumluluğun n-oktanoik asitin mikrokapsülasyonu işlemi esnasında kimyasal yapı değişikliğine uğramadan kapsüllendiğinin bir göstergesi olduğunu düşünmekteyiz. Konuklu ve ark. da [82] yaptıkları çalışmada çekirdek malzeme olarak oktanoik asiti seçmişlerdir. FT-IR spektrumlarından elde ettikleri veriler bizim çalışmamız ile benzerlikler göstermektedir.

Tablo 5. 5 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin FT-IR spektrumları

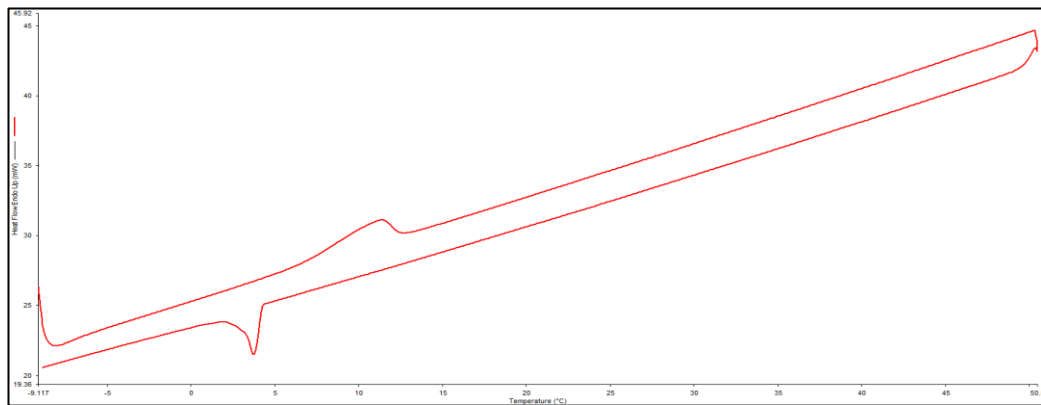
FDM	Pike ait bağın adı	Pik frekansı cm^{-1}
Ok	O-H (gerilme)	2961-2833
	C-H (gerilme)	2925
	C-H (gerilme)	2914
	C-H (gerilme)	2856
	C=O (gerilme)	1705
	O-H (eğilme)	1412
	C-O (gerilme)	1274
Ok-K	O-H (kuvvetli -H bağı, gerilme)	2958-2850
	C-H (gerilme)	2953
	C-H (gerilme)	2922
	C-H (gerilme)	2853
	C=O (gerilme)	1712
	C-O (gerilme)	1258
	O-H (eğilme)	1445

5.1.12. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin DSC Analizi

n-Oktanoik asit ve mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin DSC eğrileri Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de verilmiştir. n-Oktanoik asit ve mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin DSC eğrilerinden elde edilen ısı verileri ise Tablo 5.6’da özetlenmiştir.



Şekil 5. 16 Saf n-oktanoik asitin erime-donma hal değişimine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 17 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin erime-donma hal değişimine ait DSC eğrileri

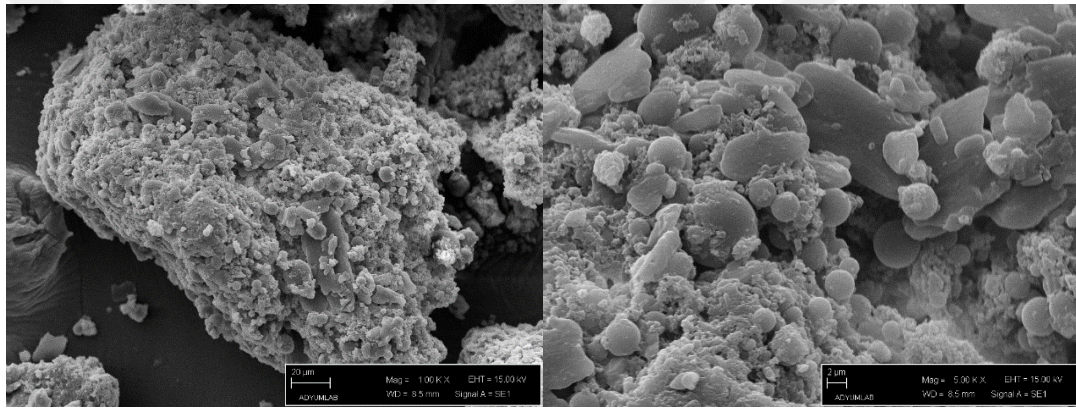
Şekil 5.16 ve Tablo 5.6'dan görüldüğü üzere n-oktanoik asitin erime ve donma pik sıcaklıkları sırasıyla; 17,23 °C ve 7,72 °C olarak saptandı. Mikrokapsüllenmiş FDM için bu değerler sırasıyla 11,22 °C ve 3,77 °C olarak tespit edildi (Şekil 5.17, Tablo 5.6). Buna göre n-oktanoik asit ile mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin erime ve donma entalpileri karşılaştırıldığında n-oktanoik asitin erime ve donma entalpileri sırasıyla; 114,45 J.g⁻¹ ve 122,21 J.g⁻¹ iken, mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin erime entalpisinin; 6,44 J.g⁻¹ ve donma entalpisinin -4,59 J.g⁻¹ olduğu saptandı. Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin ve saf halde ki n-oktanoik asitin erime ve donma entalpileri dikkate alındığında entalpi değerlerinin kapsülasyon işlemi sonrasında azaldığı saptandı. Entalpideki bu düşüşün nedeni ise n-oktanoik asitin kapsüllenme oranının (%4) düşük olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Karaipekli ve ark.[81] yaptıkları çalışmada mikrokapsüllenmiş FDM'lerin entalpi değerleri, FDM'lerin kütle içeriğine dayalı olarak kapsüllenmemiş FDM'den biraz daha düşük olduğunu kaydettiler.

Tablo 5. 6 Saf n-oktanoik asitin (Ok) ve mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin (Ok-K) DSC verileri

FDM	Erime Noktası				Donma Noktası			
	Başlangıç (°C)	Pik (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_e (J/g)	Başlangıç (°C)	Pik (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_d (J/g)
Ok	15,23	17,23	19,37	114,45	8,31	7,72	6,01	- 122,21
Ok-K	6,98	11,22	12,47	6,44	4,22	3,77	2,96	-4,59

5.1.13. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin SEM Analizi

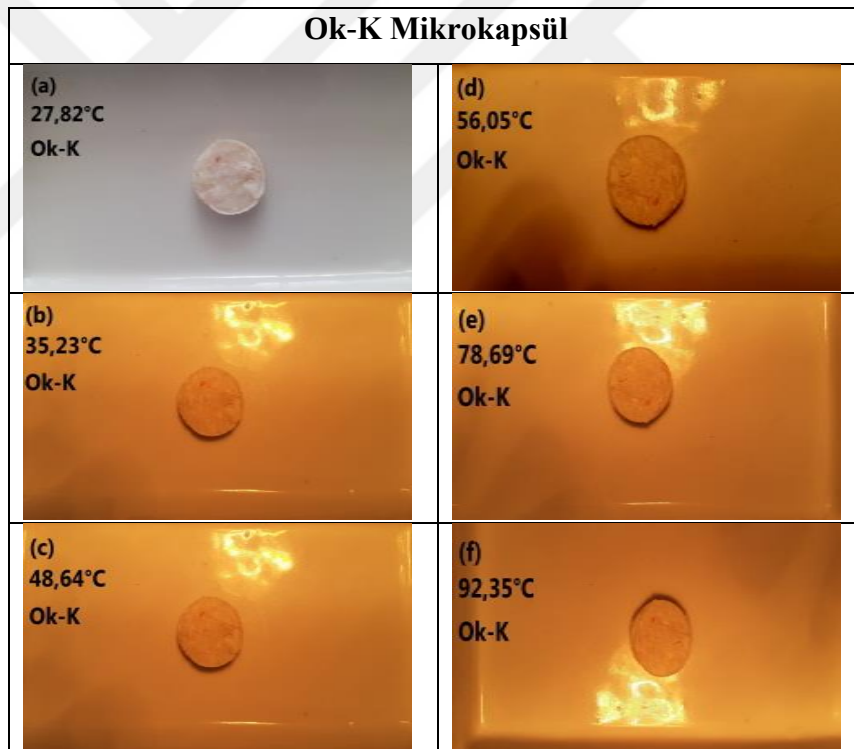
Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin SEM görüntülerini (Şekil 5.18) incelendiğimizde; FDM'nin iyi tanımlanmış çekirdek/kabuk mikroyapısı ile başarılı bir şekilde kapsüllendiğini tespit ettik. Ayrıca titanyum kabuk malzemesinin, kapsüllenmiş n-oktanoik yüzeyinde başarılı bir şekilde üretildiği kanıtlanmıştır. SEM analizi ile mikrokapsüllerin küresel geometriye sahip olduğu ve oldukça düzenli bir dağılım sergilediği görülmüştür.



Şekil 5. 18 Mikrokapsüllenmiş dokosanın SEM görüntüleri

5.1.14. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin Şekil Stabilize Analizi

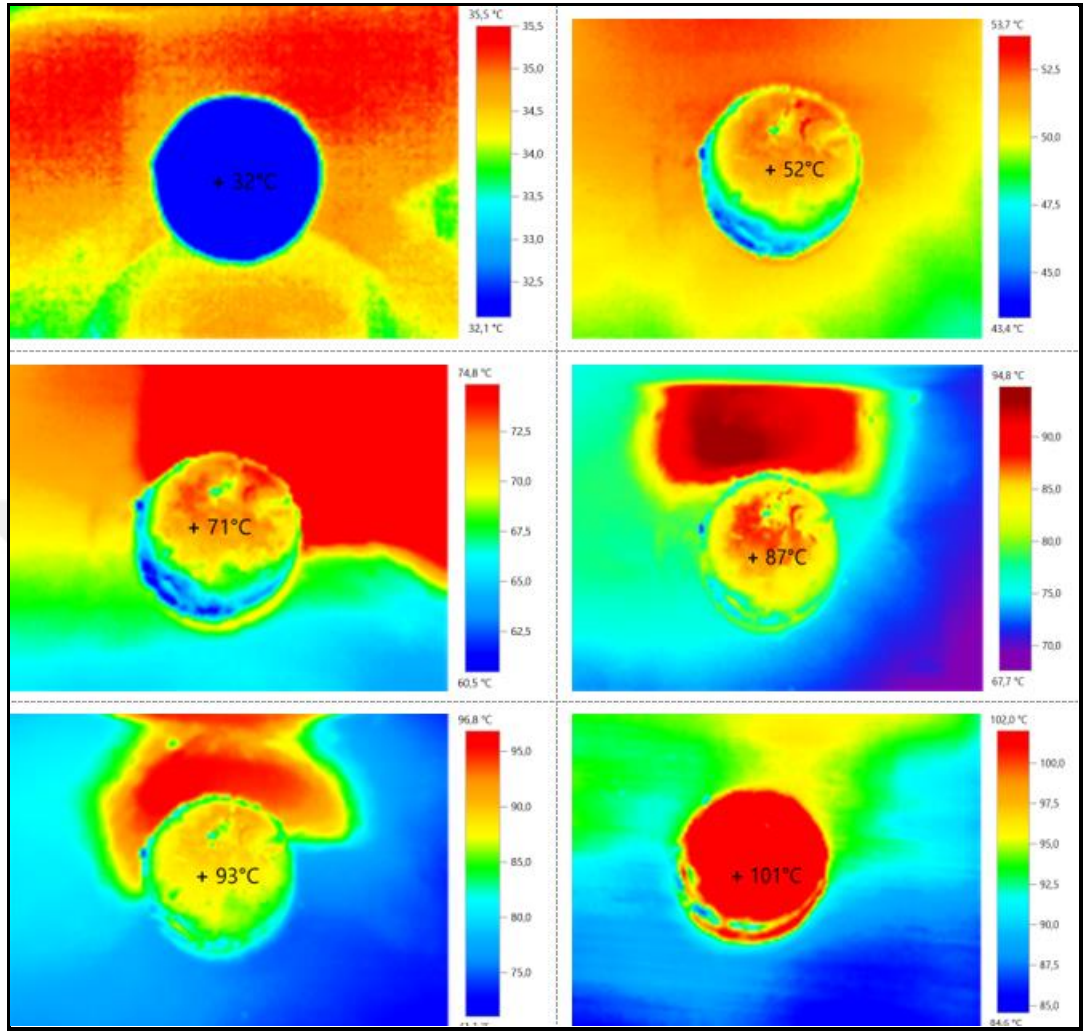
Şekil 5.19' da görülen şekil stabilize görüntüleri mikrokapsüllenmiş FDM 'nin solar simülatör cihazının ürettiği simule güneş ışığı altında ısıtılması sonucu elde edilmiştir. n-Oktanoik asitin erime sıcaklığının üzerinde ısıtılması sonucu mikrokapsüllerin yapısını koruyarak çekirdek FDM'nin sızıntı göstermediği tespit edildi. Bu sonuç; kapsüllenme işleminin başarılı olduğunu ve kapsüllerin ısıya maruz kalması halinde şeklini koruduğunu göstermektedir.



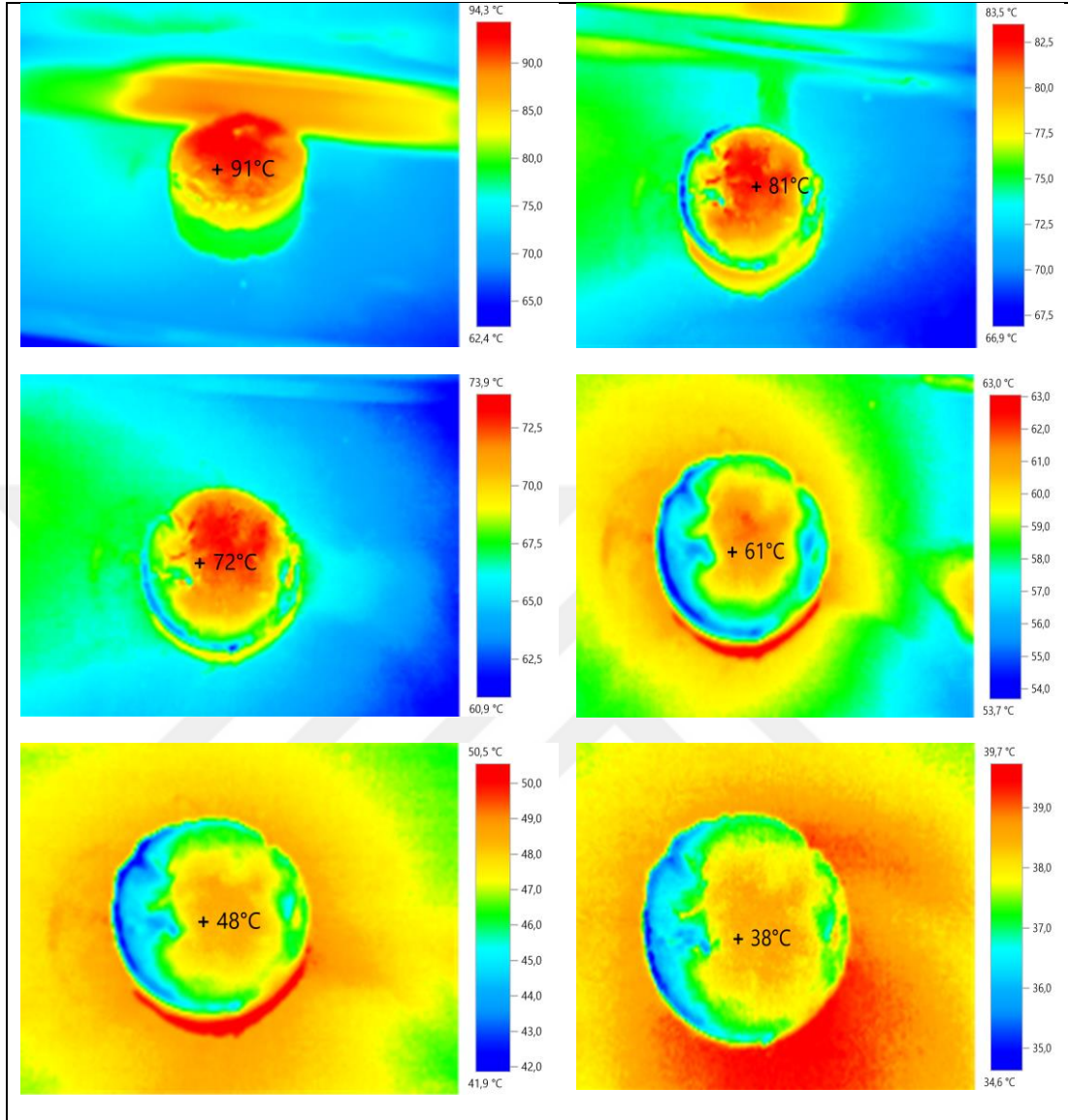
Şekil 5. 19 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin şekil stabilize analizi

5.1.15. Mikrokapsüllenmiş n-Oktanoik Asitin Termal Davranışı

FDM'nin fotovoltaik sistemlerde kullanılması için mikrokapsüllenmesi ve mikrokapsüllenmiş FDM'lerin de katı↔sıvı faz değişimleri esnasında sızma davranışı göstermemeleri gerekmektedir. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin termal davranışını gösteren Şekil 5.20-21 solar simülatör cihazının ürettiği simule güneş ışığı altında ısıtılması sonucu elde edilmiştir. Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin ısıtılması sonucu termal kamera ile termal davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan kapsüllerin sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği (Şekil 5.20), aynı şekilde soğumanın da yavaş yavaş gerçekleştiği saptandı (Şekil 5.21). Hem ısıtma hem de soğuma davranışları incelendiğinde mikrokapsüllenmiş FDM'de erime ve donma esnasında kapsüllerden sızma olmadığı da tespit edildi. Bu sonuç; oktanoik asitin mikrokapsülleme işleminin başarılı olduğunu göstermekte idi.



Şekil 5. 20 Mikrokapsüllenmiş n-oktanoik asitin ısınma sürecindeki termal analizi

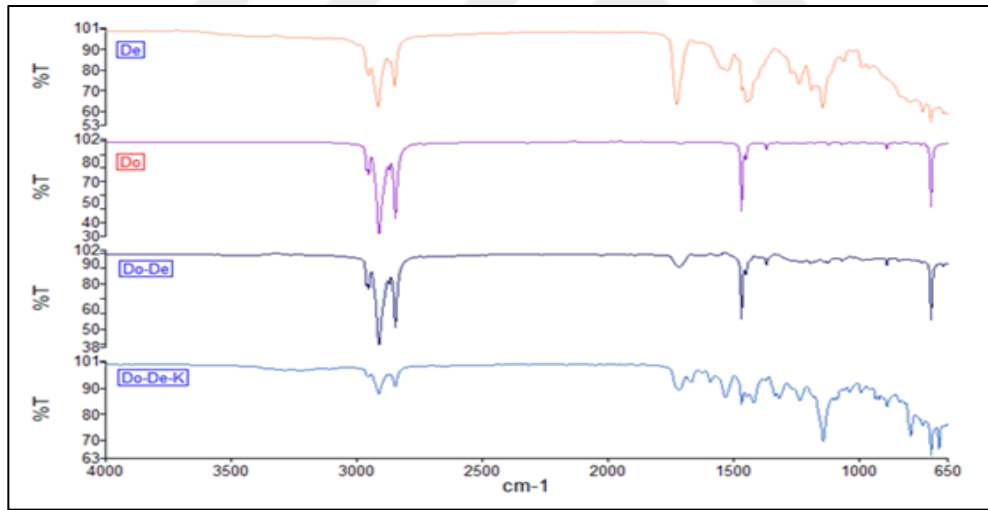


Şekil 5. 21 Mikroapsüllenmiş n-oktanoik asitin soğuma sürecindeki termal analizi

5.2. Mikrokapsüllenmiş İkili Ötektiklerin Analizi

5.2.1. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin FT-IR Analizi

Ötektik karışımların hazırlanmasında en önemli parametre ötektik karışımların hazırlanırken karışımı oluşturan dokosan ve dekanoik asitin kimyasal bir etkileşime girmeden sadece fiziksel yolla ötektik oluşturmalarıdır. Bu nedenle uygun erime donma sıcaklığı ve entalpi değerleri ($\Delta H_e - \Delta H_d$) elde edilen ötektik karışımların ötektiklik oluştururken kimyasal etkileşimin olup olmadığı FT-IR spektrumları ile kontrol edildi (Şekil 5.22).



Şekil 5. 22. Dokosan (Do), Dekanoik Asit (De) ve Do-De ötektik karışımının ve kapsülünün (Do-De-K) FT-IR spektrumları.

Tablo 5.7’de saf dokosanın ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{CH}_3$), saf dekanoik asitin ($\text{C}_9\text{H}_{19}\text{COOH}$) ve Do-De [1:4] ötektik karışımının FT-IR spektrumlarını kıyasladığımız zaman benzer dalga boylarında ve benzer pikler verdikleri gözlemlendi. Dekanoik asite ait olan (1706 cm^{-1}) C=O gerilme piki hem dokosan-

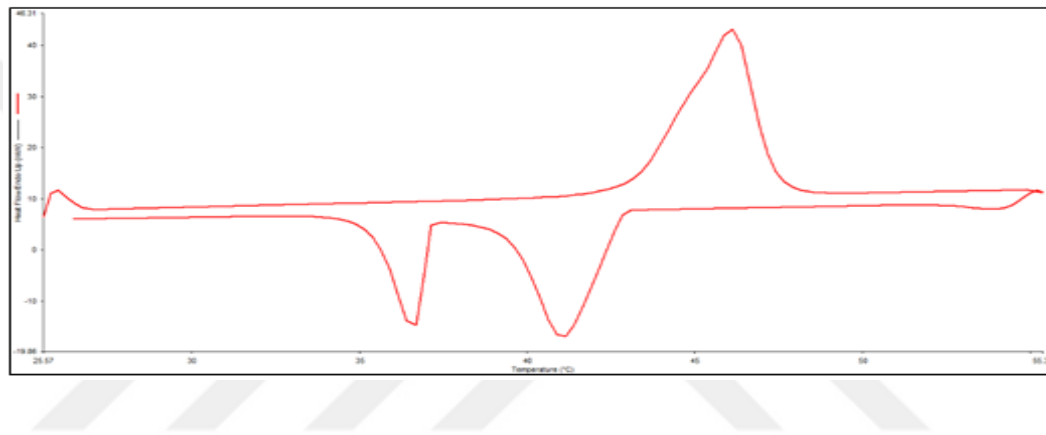
dekanoik asitin ötektik karışımında (1716 cm^{-1}) hem de mikrokapsüllenmiş ötektik karışımında (1716 cm^{-1}) görülmüştür. -CH gerilme bantları saf dokosan ve n-oktanoik asit spektrumlarında sırasıyla $2953\text{-}2871\text{ cm}^{-1}$ ve $2955\text{-}2853\text{ cm}^{-1}$ civarında gözlemlendi. Yine bu aralık hem ötektik dokosan-n-oktanoik asitte hem de mikrokapsüllenmiş ötektik dokosan-n-oktanoik asitte $2956\text{-}2854\text{ cm}^{-1}$ de olduğu tespit edildi. Dekanoik asite ait $2963\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$ ve 1281 cm^{-1} de gözlemlenen O-H gerilme ve C-O gerilme piklerinin hem ötektik dokosan-dekanoik asitte hem de mikrokapsüllenmiş ötektik dokosan-dekanoik asitte önemli ölçüde değişmediği belirlendi. FT-IR sonuçlarına göre saf dokosan ve n-oktanoik asitin ötektikleştirme ve mikrokapsülasyon işlemleri sonrasında FDM'lerin kimyasal yapısında bir değişiklik meydana gelmediği tespit edildi. Do-De [1:4] ötektik karışımının ve kapsülünün FT-IR spektrumlarının benzer dalga boylarında pikler verdikleri ve ek bir pik vermediği gözlemlendi. Bu da ideal ötektik karışımın oluştuğunu ve kapsülleme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiği sonucuna ulaşabiliriz.

Tablo 5. 7 Dokosan (Do), Dekanoik Asit (De) ve Do-De [2:3] ötektik karışımının ve kapsülünün (Do-De-K) FT-IR spektrumlarının değerleri

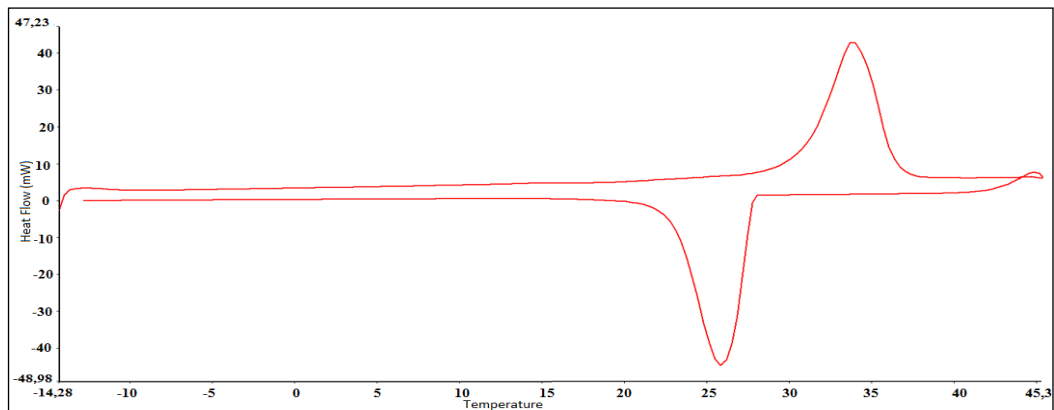
FDM	Pike ait bağın adı	Pik frekansı cm^{-1}
Do	C-H (gerilme)	2953
	C-H (gerilme)	2911
	C-H (gerilme)	2871
	C-H (gerilme)	2847
	C-H (eğilme-CH ₂)	1470
	C-H (eğilme)	1454
	C-H (eğilme-CH ₃)	1370
De	O-H (kuvetli –H bağı, gerilme)	2963-2850
	C-H (gerilme)	2955
	C-H (gerilme)	2923
	C-H (gerilme)	2854
	C-O (gerilme)	1281
	O-H (eğilme)	1412
	C=O (gerilme)	1706
Do-De	O-H (kuvetli –H bağı, gerilme)	2963-2850
	C-H (gerilme)	2956
	C-H (gerilme)	2913
	C-H (gerilme)	2847
	C=O (gerilme)	1716
	O-H (eğilme)	1433
	C-O (gerilme)	1309
Do-De-K	O-H (kuvetli –H bağı, gerilme)	2963-2850
	C-H (gerilme)	2956
	C-H (gerilme)	2913
	C-H (gerilme)	2847
	C=O (gerilme)	1716
	O-H (eğilme)	1433
	C-O (gerilme)	1309

5.2.2. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin DSC Analizi

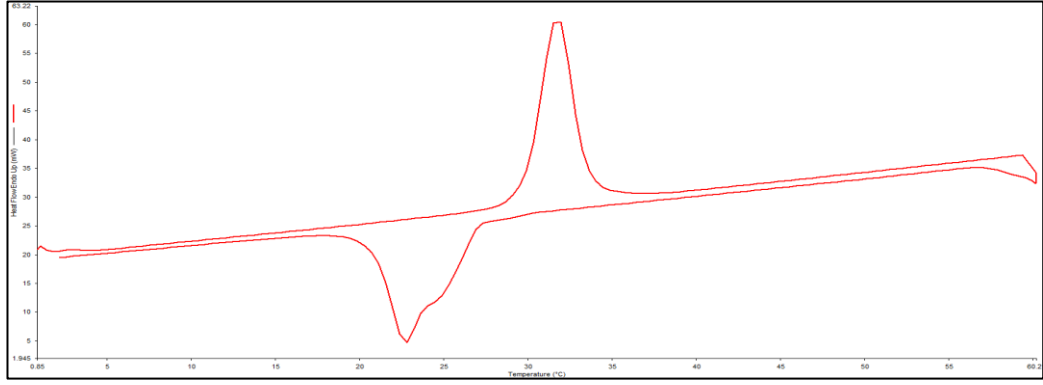
Dokosan-Dekanoik Asit [1:4] ve mikrokapsüllenmiş dokosanın DSC eğrileri sırasıyla Şekil 5.25 ve Şekil 5. 26’da verilmiştir. Dokosan-dekanoik asit ötektiğinin ve mikrokapsüllenmiş dokosan-dekanoik asit ötektiğinin DSC eğrilerinden elde edilen ısı verileri ise Tablo 5.8 ’de özetlenmiştir.



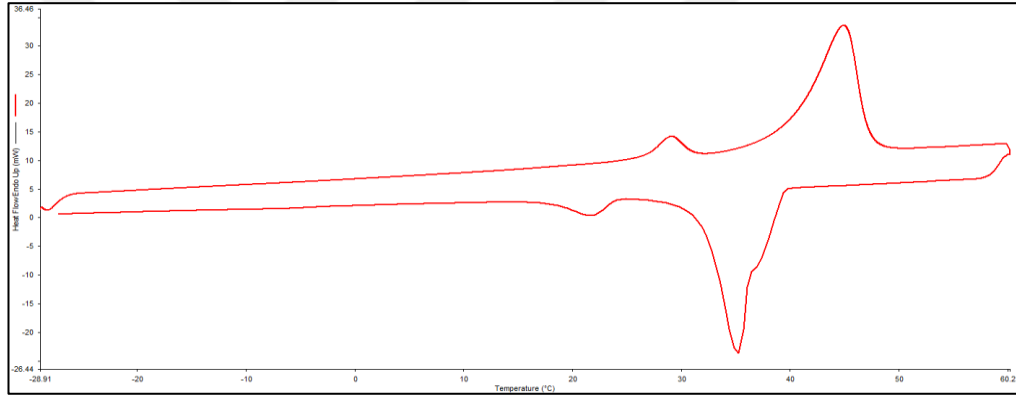
Şekil 5. 23 Saf dokosanın erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 24 Saf dekanoik asitin erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 24 Dokosan ve dekanolik asit ötektik karışımının (DoDe) DSC eğrileri



Şekil 5. 25 Mikrokapsüllenmiş dokosan ve dekanolik asit ötektik karışımının (DoDe-K) DSC eğrileri

Dokosan (Do)-Dekanoik asit (De) karışımının 29,65°C’de erimeye başladığı 34,13°C’de hal değişimini tamamladığı ve bu hal değişim esnasında 123,30 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı tespit edildi. Aynı karışımın 20,77°C’ de donmaya başladığı 27,19°C’de donma hal değişimini gerçekleştirdiği ve bu sıcaklık aralığında 117,12 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlendi. DSC analiz sonuçlarına göre kapsüllenmiş Do-De karışımının 39,74 °C ve 47,72 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 90,14 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 37,26 °C ile 35,28 °C sıcaklıkları arasında donma hal

değişimini tamamladığı bu sırada -93,21 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.24-25). Bu sonuç; mikrokapsülleme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini gösterir. Mikrokapsüllenmiş ve mikrokapsülennmemiş ötektik karışıma ait erime ve donma entalpileri dikkate alındığında entalpi değerlerinin kapsülasyon işlemi sonrasında azaldığı saptandı. Entalpideki bu düşüşün nedeni ise FDM'nin kapsül içindeki kütlece yüzdesinin düşük olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz [78].

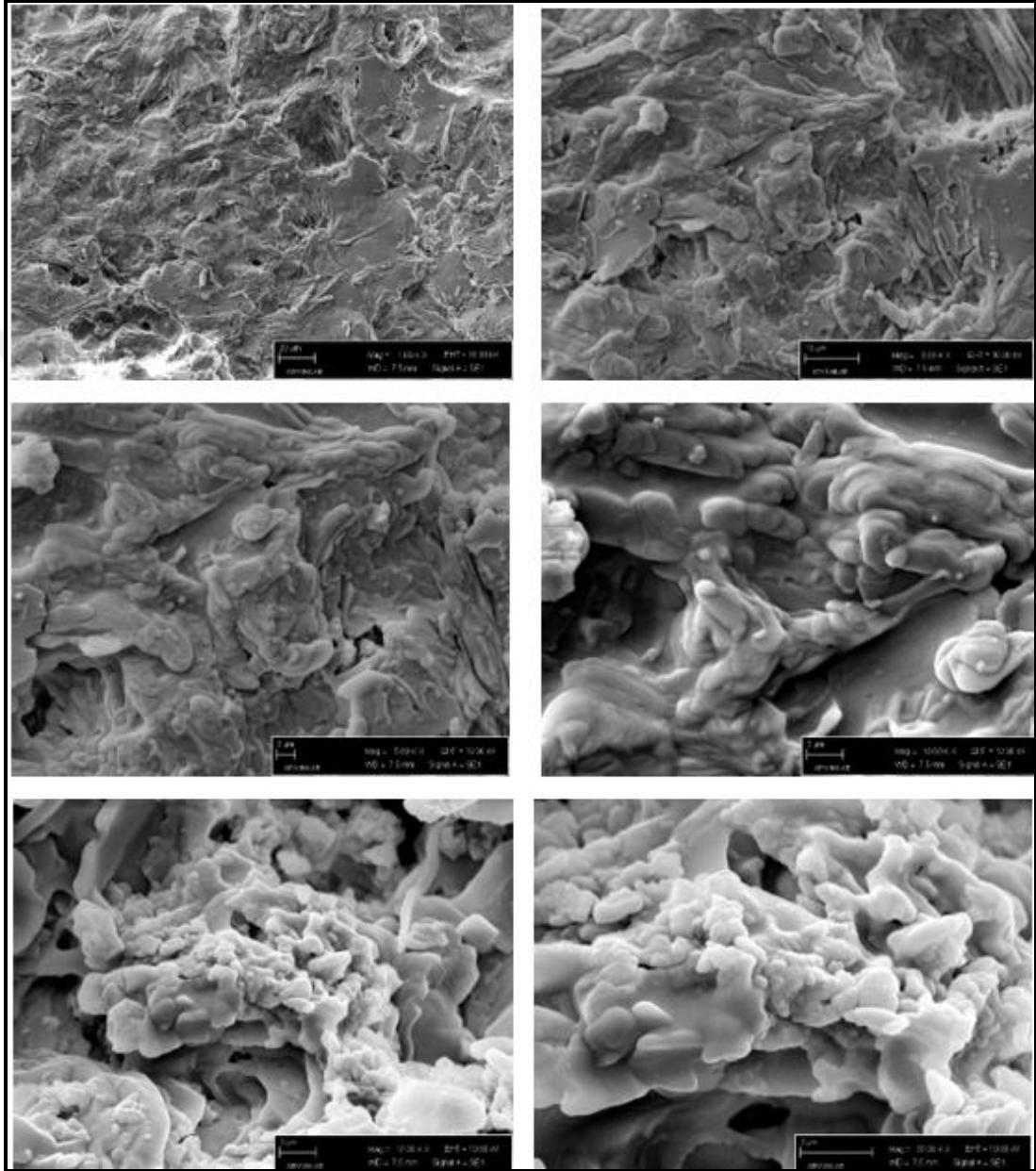
Tablo 5. 8 Saf dokosanın (Do), dekanolik asitin (De), dokosan-dekanolik asit ötektiğinin (Do-De) ve mikrokapsüllünün (DoDe-K) DSC verileri

FDM	Erime Noktası				Donma Noktası			
	Başlangıç (°C)	Pik (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_e (J/g)	Başlangıç (°C)	Pik (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_d (J/g)
Do	43,45	46,12	47,34	215,08	42,83	41,15	39,45	133,99
De	30,77	34,02	36,49	156,75	27,75	25,85	22,94	150,56
DoDe	29,65	31,96	34,13	123,30	27,19	22,83	20,77	117,12
DoDe-K	39,74	44,93	47,72	90,14	37,26	35,28	31,94	-93,21

5.2.3. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin SEM Analizi

Mikrokapsüllenmiş dokosan-dekanoik asitin (DoDe) [1:4] SEM görüntüleri (Şekil 5.26) incelendiğimizde; FDM'nin başarılı bir şekilde kapsüllendiğini tespit ettik. DoDe ötektiğinin erime noktasının düşük olması nedeniyle SEM görüntüleri alınırken meydana gelen sıcaklık artışıyla mikrokapsüllenen yüzeyler net olarak

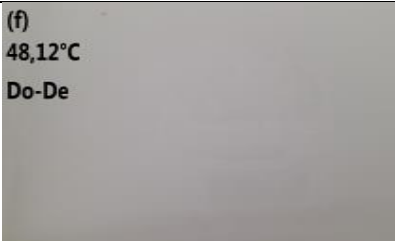
gözlemlenememiştir. Fakat mikrokapsüllenmiş DoDe [1:4] ötektik karışımının şekil stabilite analizleri (Şekil 5.26) mikrokapsüllerin oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 5. 26 Mikrokapsüllenmiş Do-De ötektik karışımının SEM analizi

5.2.4. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin Şekil Stabilize Analizi

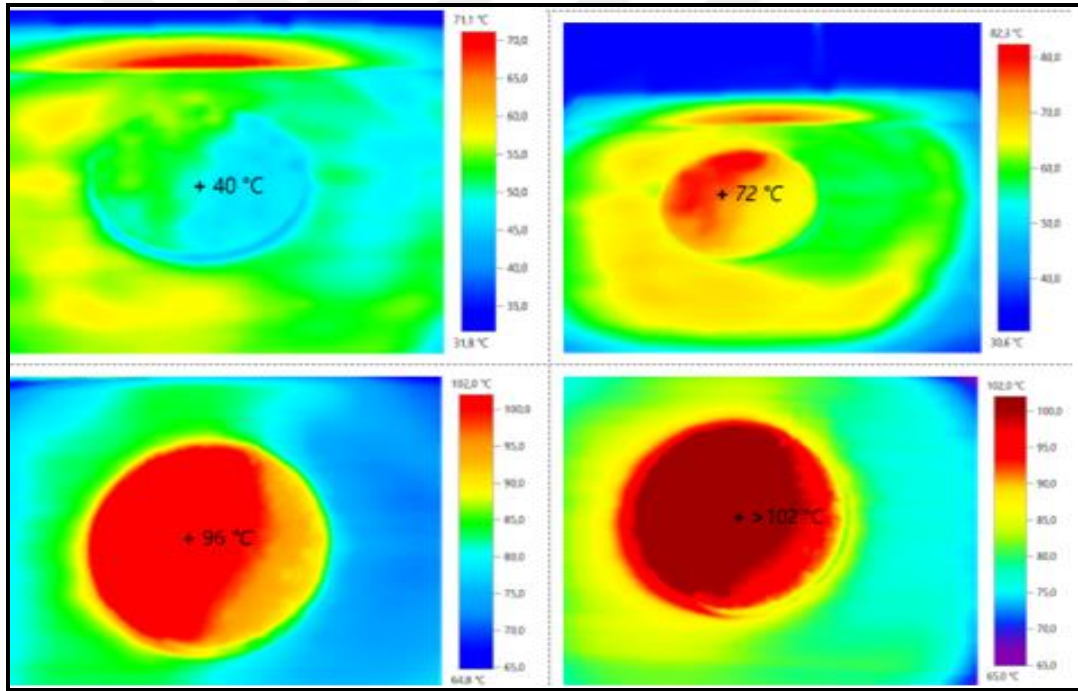
Dokosan-Dekanoik Asit [1:4] (DoDe) ötektik karışımı ve mikrokapsüllenmiş DoDe [1:4] ötektik karışımının şekil stabilize analizi (Şekil 5.27) solar simülatörün ürettiği simüle güneş ışığı altında ısıtılması sonucu elde ettik. Mikrokapsülünmüş DoDe ötektiğinin erime sıcaklığının üzerinde ısıtılması sonucu mikrokapsüllerin yapısını koruyarak FDM sızıntısı göstermediğini tespit ettik. Bu sonuç kapsüllenme işleminin başarılı olduğu ve kapsüllerin ısıya maruz kalması halinde şeklini koruduğunu göstermektedir. DoDe [1:4] ötektik karışımının şekil stabilize görüntüleri incelendiğinde ise ötektiğin erime sıcaklığına ulaşıldığında karışımın tamamen eridiği belirlendi. Karaipekli ve ark. [81] yaptıkları çalışmada mikrokapsüllenmiş FDM'nin erime sıcaklığının üzerinde ısıtıldığı halde FDM'nin sızıntı göstermeyip şeklini koruduğu sonucuna ulaşmışlardır. Elde ettikleri bu sonuçta tez çalışmamızda elde ettiğimiz sonucu desteklemektedir.

Do-De İkili Ötektik	Do-De-K Mikrokapsül
(a) 5,23°C Do-De 	(a) 28,06°C Do-De-K 
(b) 30,89°C Do-De 	(b) 39,86°C Do-De-K 
(c) 33,27°C De-De 	(c) 56,07°C Do-De-K 
(d) 38,69°C Do-De 	(d) 67,81°C Do-De-K 
(e) 44,85°C De-De 	(e) 80,34°C De-De-K 
(f) 48,12°C Do-De 	(f) 94,25°C Do-De-K 

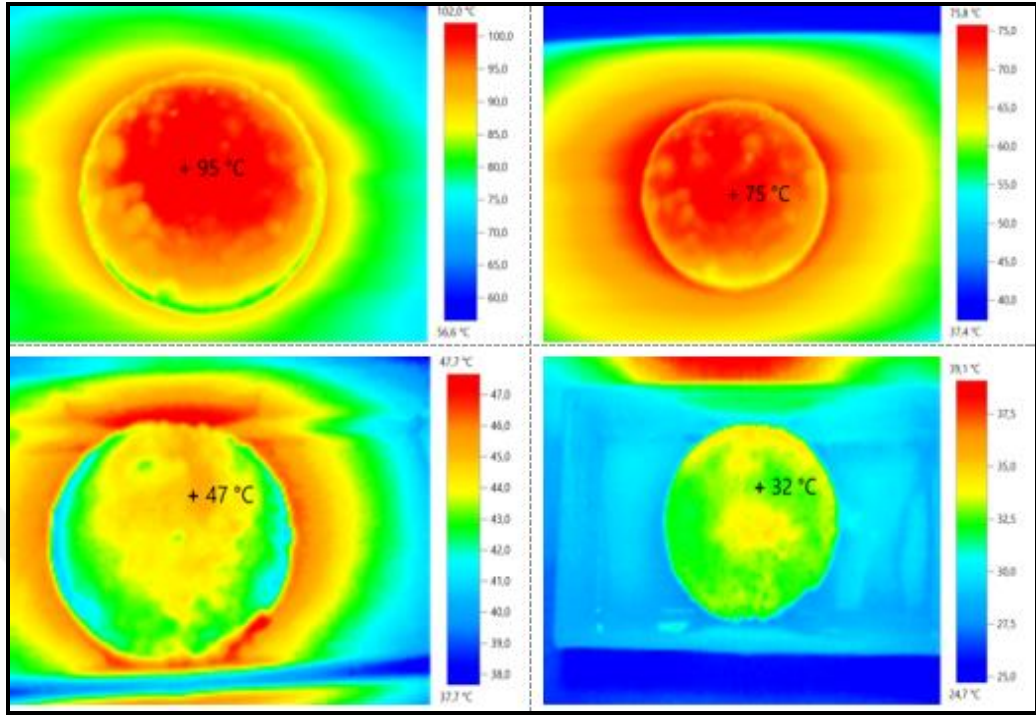
Şekil 5. 27 Dokosan-Dekanoik Asit ötektiğinin ve mikrokapsülünün şekil stabilize analizi

5.2.5. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asitin Termal davranışı

Mikrokapsüllenmiş dokosan-dekanoik asitin [1:4] solar simülatörün ürettiği simüle güneş ışığı altında ısıtılması sonucu termal kamera ile termal davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan kapsüllerin sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği (Şekil 5.28), aynı şekilde soğumanın da yavaş yavaş gerçekleştiği saptandı (Şekil 5.29). Bu sonuç; dokosan-dekanoik asitin mikrokapsülleme işleminin başarılı olduğunu göstermekte idi [88].

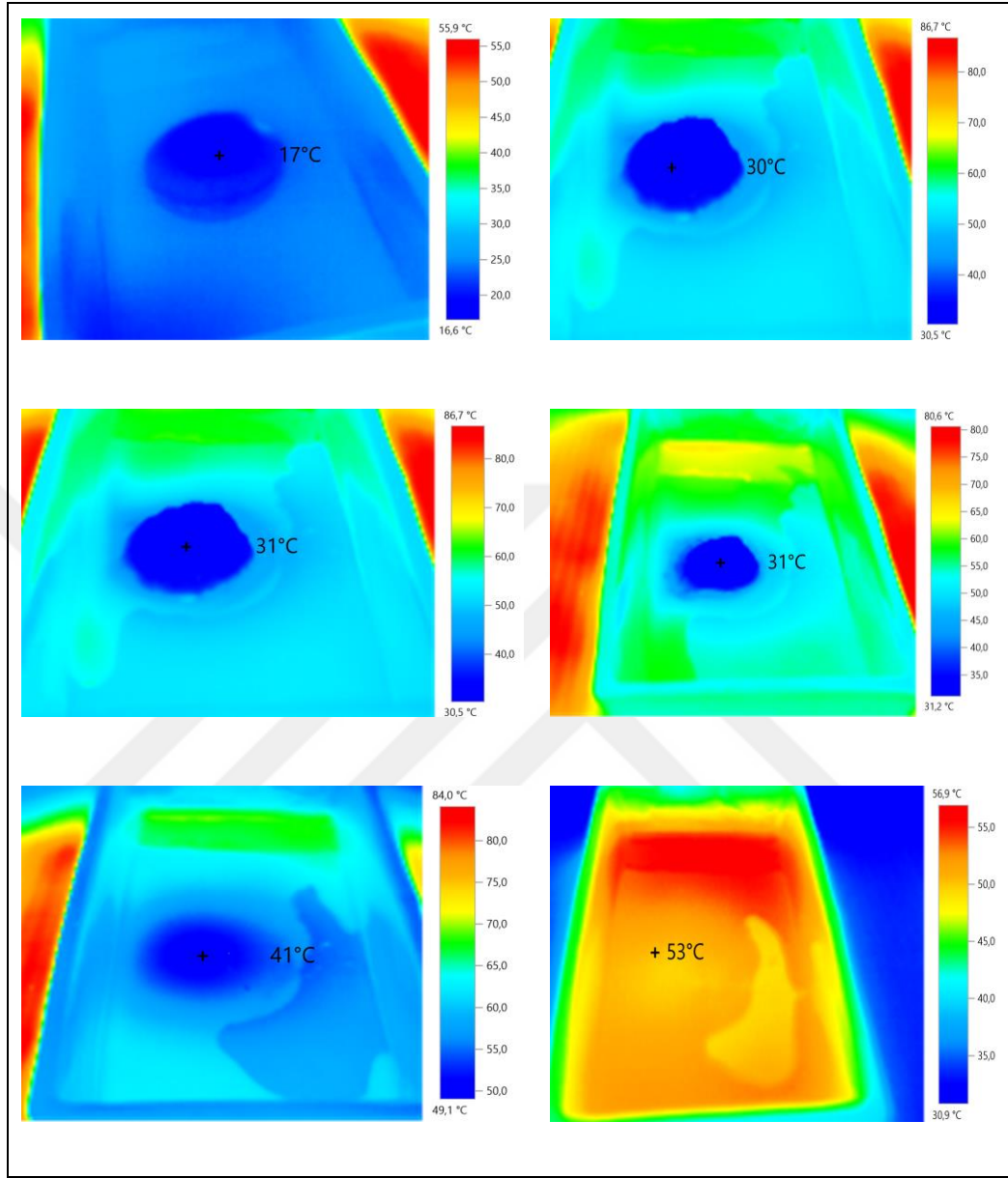


Şekil 5. 28 Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asit karışımının ısınma sürecindeki termal davranışları



Şekil 5. 29 Mikrokapsüllenmiş Dokosan-Dekanoik Asit karışımının soğuma sürecindeki termal davranışı

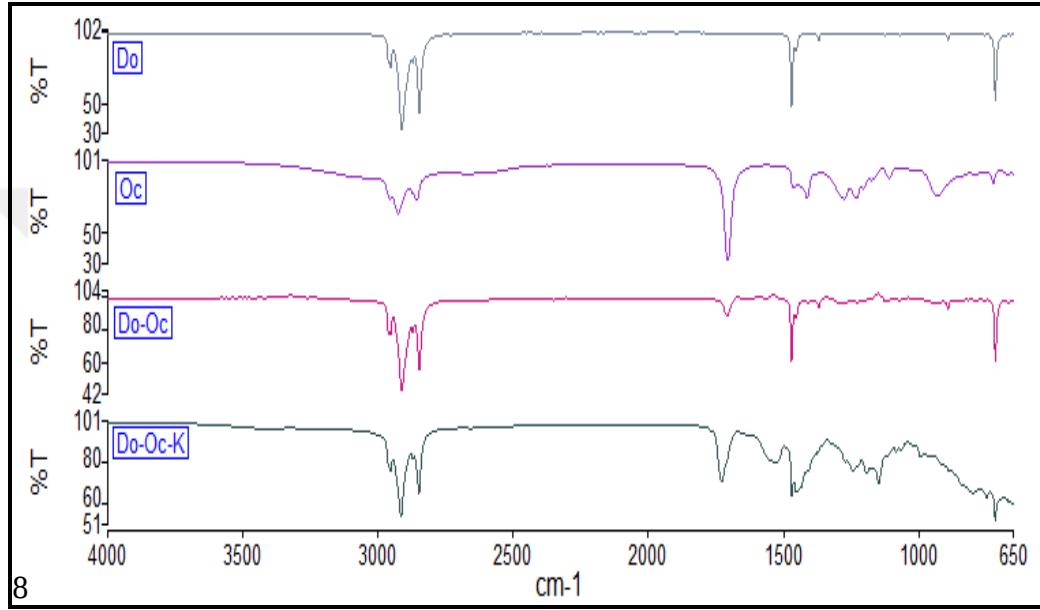
Dokosan-dekanoik asit ötektik karışımının simüle güneş ışığı altında ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan ötektiğin sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği gözlemlendi (Şekil 5.30). Sıcaklığı yükselen FDM'nin akma davranışı gösterdiği gözlemlendi. Ayrıca DoDe ötektik karışımının DSC verilerinden de (Tablo 5.8) elde ettiğimiz 29,65- 34,13 °C erime hal değişimi aralığında FDM'nin sıcaklığını 31°C civarında koruduğu, tamamen erime gösteren bölgelerin sıcaklıkları ise 45°C'den yüksek olduğu gözlemlendi. Literatürden [34], [40], [64], [76], [78], [83] ve tez çalışmamızdan fotovoltaik asistemlerde kullanılan FDM'lerin katı↔sıvı faz değişimleri esnasında sızma davranışı göstermemeleri için mikrokapsüllenmesi gerektiği sonucuna ulaştık.



Şekil 5. 30 Mikrokapsüllenmemiş Dokosan-Dekanoik Asit karışımının ısınma sürecindeki termal davranışı

5.2.6. Mikrokapsüllenmiş Dokosan- n-Oktanoik Asitin FT-IR Analizi

Şekil 5.31’de Dokosan (Do), n-Oktanoik Asit (Ok) ve DoOk [1:4] ötektik karışımının ve kapsülünün FT-IR spektrumları gösterilmiştir.



Şekil 5. 31 Dokosan (Do), n-oktanoik Asit (Ok) ve Do-Ok ötektik karışımının ve kapsülünün (Do-De-K) FT-IR spektrumları

Tablo 5.9’da saf dokosan ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{CH}_3$) ve n-oktanoik asitin ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$) ve DoOk [1:4] ötektik karışımının FT-IR spektrumları ile kıyaslandığında n-oktanoik asite ait olan $\text{C}=\text{O}$ (1716 cm^{-1}) piki hem ötektik dokosan-n-oktanoik asitte hem de mikrokapsüllenmiş ötektik dokosan-n-oktanoik asitte önemli ölçüde değişmediği belirlenmiştir. Saf dokosan ve n-oktanoik asit spektrumlarında -CH gerilme bantlarının sırasıyla $2953\text{-}2871 \text{ cm}^{-1}$ ve $2956\text{-}2871 \text{ cm}^{-1}$ civarında gözlemlendiği tespit edildi. C-H gerilme bantlarının hem ötektik dokosan-n-oktanoik asitte hem de mikrokapsüllenmiş ötektik dokosan-n-oktanoik asitte önemli ölçüde değişmediği saptandı. Yine n-oktanoik asite ait $2963\text{-}2850 \text{ cm}^{-1}$ ve 1309 cm^{-1} de gözlemlenen O-H gerilme ve C-O gerilme piklerinin hem ötektik dokosan-n-oktanoik

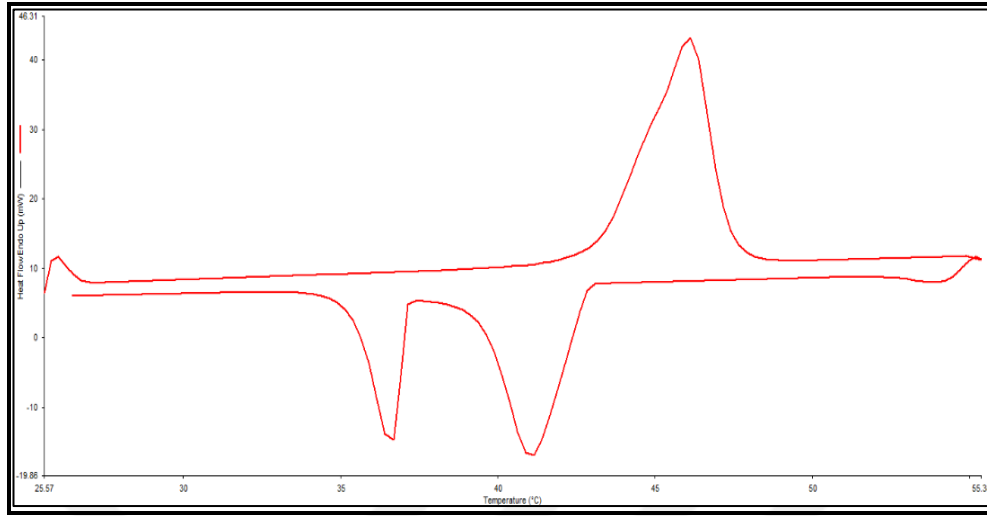
asitte hem de mikrokapsüllenmiş ötektik dokosan-n-oktanoik asitte önemli ölçüde değişmediği belirlendi. FT-IR sonuçlarına göre saf dokosan ve n-oktanoik asitin ötektikleştirme ve mikrokapsülasyon işlemleri sonrasında FDM'lerin kimyasal yapısında bir değişiklik meydana gelmediği tespit edildi.

Tablo 5. 9 Dokosan (Do), n-oktanoik Asit (Ok) ve Do-Ok ötektik karışımının ve kapsülünün (Do-Ok-K) FT-IR spektrumları

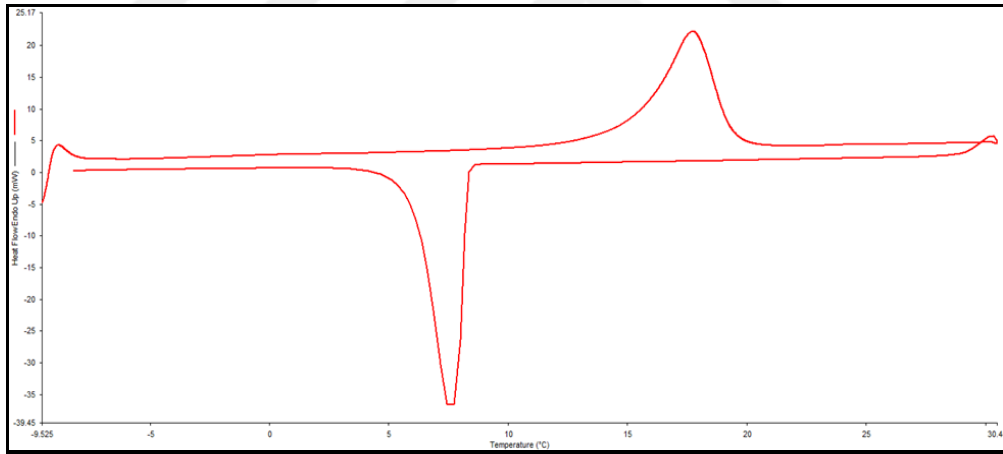
FDM	Pike ait bağın adı	Pik frekansı cm^{-1}
Do	C-H (gerilme)	2953
	C-H (gerilme)	2911
	C-H (gerilme)	2871
	C-H (eğilme-CH ₂)	1470
	C-H (eğilme)	1454
	C-H (eğilme-CH ₃)	1370
Ok	O-H (gerilme)	2963-2850
	C-H (gerilme)	2956
	C-H (gerilme)	2914
	C-H (gerilme)	2871
	C=O (gerilme)	1709
	O-H (eğilme)	1433
	C-O (gerilme)	1309
Do-Ok	O-H (kuvetli –H bağı, gerilme)	2963-2850
	C-H (gerilme)	2954
	C-H (gerilme)	2912
	C-H (gerilme)	2869
	C=O (gerilme)	1709
	O-H (eğilme)	1433
	C-O (gerilme)	1309
Do-Ok-K	O-H (kuvetli –H bağı, gerilme)	2963-2850
	C-H (gerilme)	2954
	C-H (gerilme)	2912
	C-H (gerilme)	2869
	C=O (gerilme)	1716
	O-H (eğilme)	1433

5.2.7. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-n-Oktanoik Asitin DSC Analizi

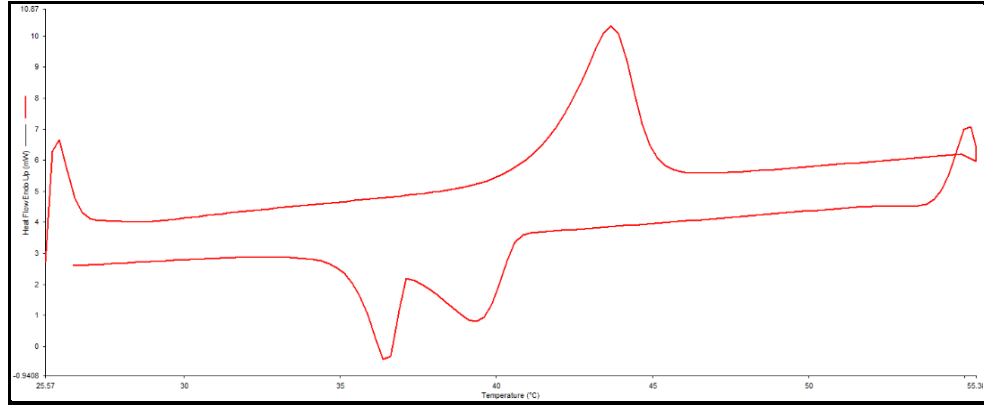
Dokosan (Do)- n-Oktanoik asit (Ok) karışımının (DoOk) 41,27 °C’de erimeye başladığı 45,12 °C’de hal değişimini tamamladığı ve bu hal değişim esnasında 33,53 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı tespit edildi (Şekil 5.34, Tablo 5.10). Aynı karışımın 40,57 °C’de donmaya başladığı 37,88 °C’de donma hal değişimini gerçekleştirdiği ve bu sıcaklık aralığında 10,42 J/g gizli ısı enerji depoladığı gözlemlendi. DSC analiz sonuçlarına göre mikrokapsüllenmiş DoOk karışımının 41,51 °C ve 45,36 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 29,14 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 41,94 °C ile 37,07 °C sıcaklıkları arasında donma hal değişimini tamamladığı bu sırada 6,41 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.35, Tablo 5.10). Saf dokosanın ve dokosan içerikli maddelerin soğutma işleminde iki ekzotermik pik göstermesine karşın, ısıtma işleminde erime için sadece bir endotermik pik gözlemlenmiştir. Böyle iki modlu kristalleşme davranışı, dokosanın tamamen kristalleşmeden önce yarı kararlı bir fazın varlığından kaynaklanmaktadır. Ve bu durum çok sayıda parafin grubunda gözlemlenir [78][79][80]. Mikrokapsüllenmiş ve mikrokapsüllenmemiş ötektik karışıma ait erime ve donma entalpileri dikkate alındığında entalpi değerlerinin kapsülasyon işlemi sonrasında azaldığı saptandı. Entalpideki bu düşüşün nedeni ise FDM’nin kapsül içindeki kütlece yüzdesinin düşük olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz [78].



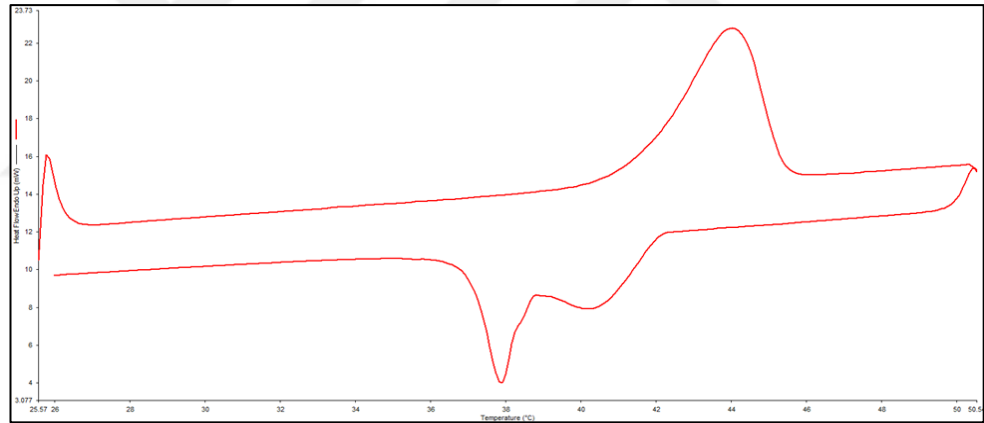
Şekil 5. 32 Saf dokosanın (Do) erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 33 Saf n-oktanoik asitin (Ok) erime donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 34 Dokosan - n-oktanoik asit ötektiğinin erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri



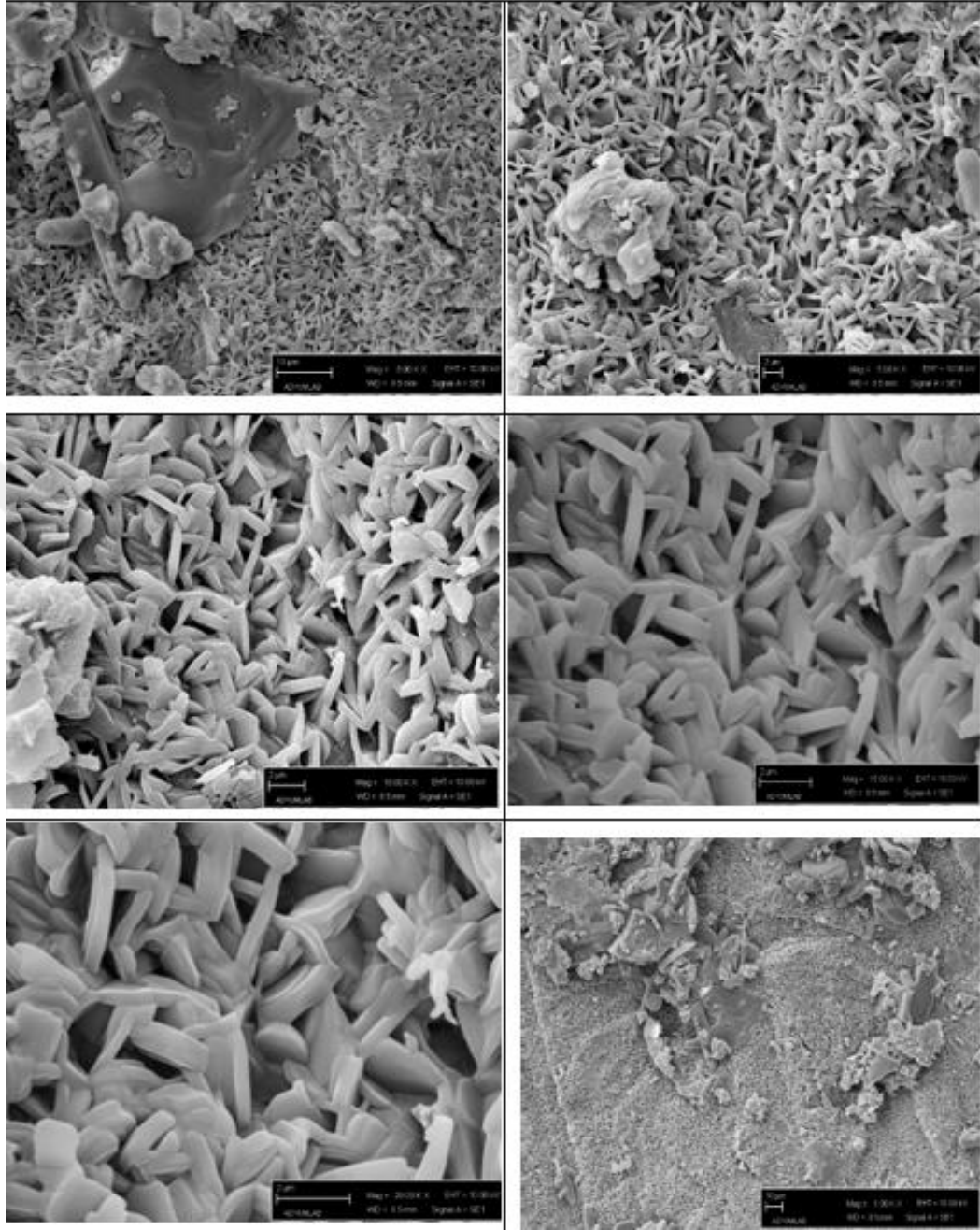
Şekil 5. 35 Mikrokapsüllenmiş dokosan - n-oktanoik asit ötektiğinin erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri

Tablo 5. 10 Saf dokosanın (Do), n-oktanoik asitin (De), dokosan-n-oktanoik asit ötektiğinin (Do-De) ve mikrokaapsülünün (DoDe-K) DSC verileri

		Dokosan	Oktanoik asit	DoOk	DoOk-K
Erime Noktası (°C)	Başlangıç	43,45	15,23	41,27	41,51
	Tepe	46,12	17,23	43,68	44,03
	Bitiş	47,34	19,37	45,12	45,36
	ΔHm (j/g)	215,08	114,45	33,53	29,14
Donma Noktası (°C)	Başlangıç	42,83	8,31	40,57	38,54
	Tepe	41,15	7,72	39,37	37,92
	Bitiş	39,45	6,01	37,88	35,95
	ΔHm (j/g)	133,99	122,21	10,42	6,41
Kristalizasyon Noktası	Başlangıç	37,17	-	37,13	41,94
	Tepe	36,69	-	36,69	40,48
	Bitiş	35,45	-	35,32	39,07
	ΔHm (j/g)	58,90	-	6,42	5,5

5.2.8. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-n-Oktanoik Asitin SEM Analizi

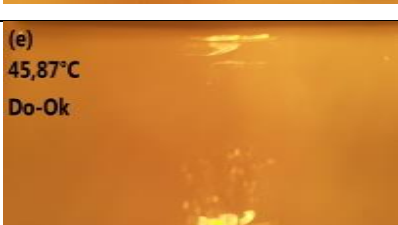
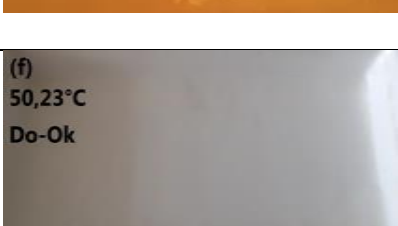
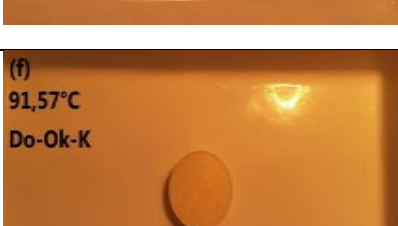
Mikrokapsüllenmiş dokosan-n-oktanoik asitin SEM görüntülerini (Şekil 5.36) incelendiğimizde; FDM'nin iyi tanımlanmış çekirdek/kabuk mikroyapısı ile başarılı bir şekilde kapsüllendiğini tespit ettik. Ayrıca titanyum kabuk malzemesinin, dokosan-n-oktanoik asit karışımının yüzeyinde başarılı bir şekilde üretildiği kanıtlanmıştır. SEM analizi ile mikrokapsüllerin küresel olmayan bir geometriye sahip olduğu ve oldukça düzenli bir dağılım sergilediği görülmüştür.



Şekil 5. 36 Mikrokapsüllenmiş dokosan-n-oktanoik Asitin SEM görüntüleri

5.2.9. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-n-Oktanoik Asitin Şekil Stabilize Davranışı

Şekil 5.37’ de görülen şekil stabilize görüntülerinden mikrokapsüllenmiş FDM 'nin simüle güneş ışığı altında ısıtılması sonucunda mikrokapsüllenmiş dokosan-n-oktanoik asit ötektik karışımının erime sıcaklığının üzerinde FDM sızıntı göstermediği, mikrokapsüllerin yapısını koruduğu sonucuna ulaşabiliriz. Bu sonuç kapsüllenme işleminin başarılı olduğu ve kapsüllerin ısıya maruz kalması halinde şeklini koruduğu göstermektedir. Karaipekli ve ark. yaptıkları çalışmada mikrokapsüllenmiş kompozit FDM’nin erime sıcaklığının üzerinde ısıtılması halinde çekirdeğin sızıntı göstermediğini ve kapsülün yapısını koruduğunu bildirmişlerdir [81].

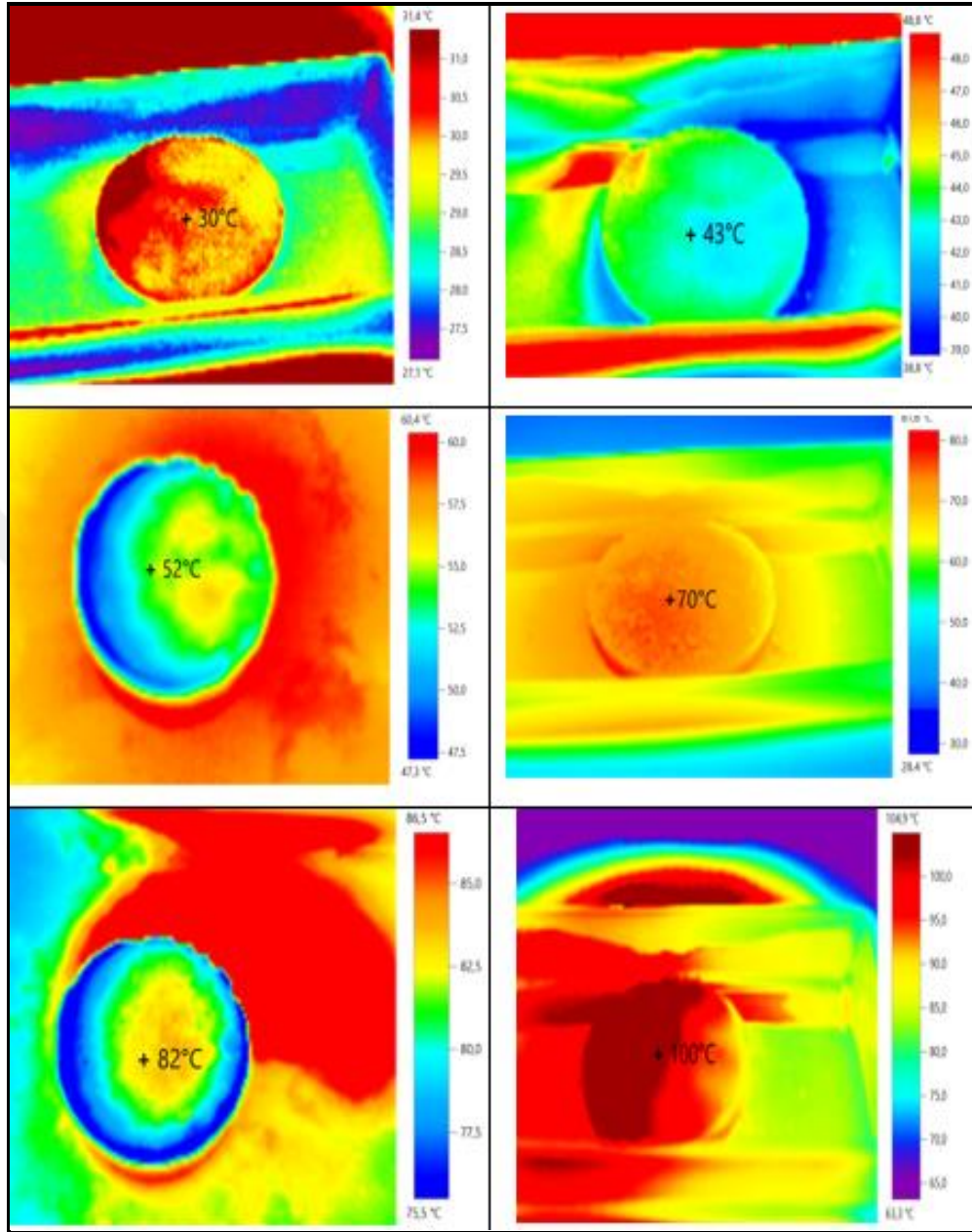
Do-Ok İkili Ötektik	Do-Ok-K Mikro kapsül
(a) 11,25°C Do-Ok 	(a) 25,85°C Do-Ok-K 
(b) 30,81°C Do-Ok 	(b) 37,85°C Do-Ok-K 
(c) 35,01°C Do-Ok 	(c) 42,03°C Do-Ok-K 
(d) 40,73°C Do-Ok 	(d) 59,86°C Do-Ok-K 
(e) 45,87°C Do-Ok 	(e) 72,58°C Do-Ok-K 
(f) 50,23°C Do-Ok 	(f) 91,57°C Do-Ok-K 

Şekil 5. 37 Dokosan-n-Oktanoik Asit ötektiğinin ve kapsülünün şekil stabilize analizi

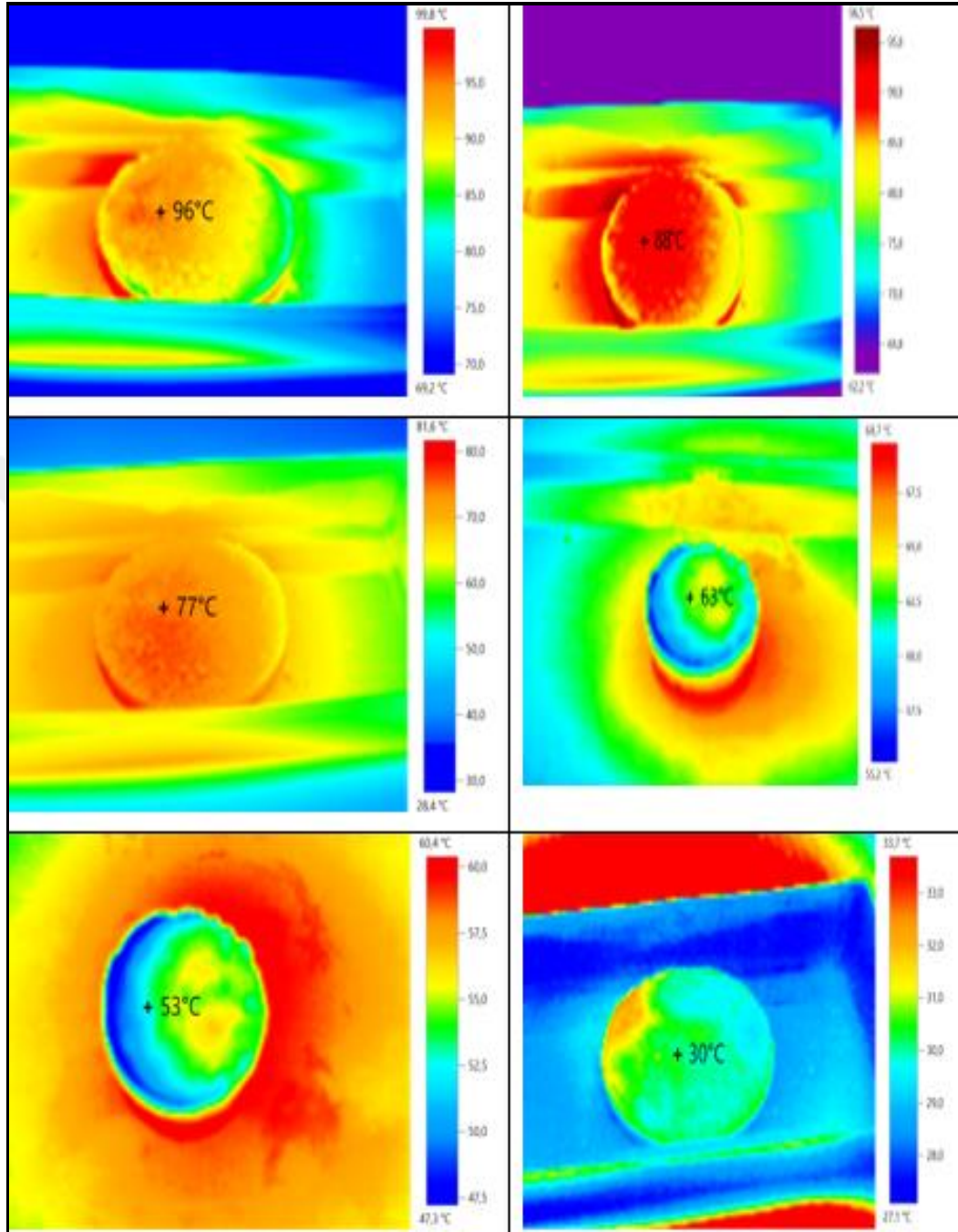
5.2.10. Mikrokapsüllenmiş Dokosan-n-Oktanoik Asitin Termal Davranışı

Mikrokapsüllenmiş dokosan-n-oktanoik asitin simüle güneş ışığı altında ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan kapsüllerin sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği (Şekil 5.38), aynı şekilde soğumanın da yavaş yavaş gerçekleştiği saptandı (Şekil 5.39). Bu sonuç; dokosan-oktanoik asitin mikrokapsülleme işleminin başarılı olduğunu göstermekte idi [88].



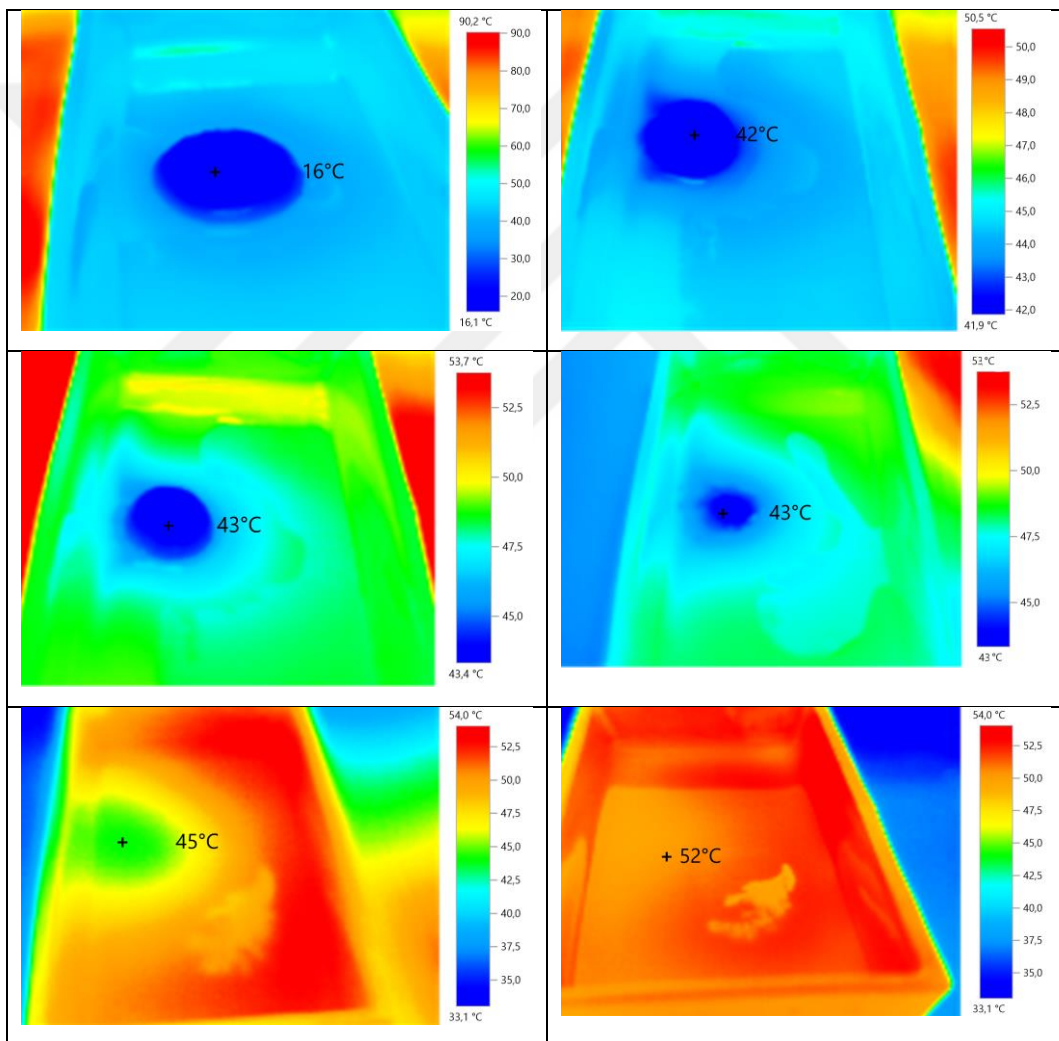


Şekil 5. 38 Mikrokapsüllenmiş dokosan-n-oktanoik asitin ısınma sürecindeki termal davranışı



Şekil 5. 39 Mikrokapsüllenmiş dokosan-n-oktanoik asitin ısınma sürecindeki termal davranışı

Dokosan-n-okanoik asit ötektiğinin güneş ışığı altında solar simülatör yardımıyla (IR lamba) ısıtılması sonucunda davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan ötektiklerin sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği gözlemlendi (Şekil 5.40). Sıcaklığı yükselen kapsüllenmemiş FDM'nin akma davranışı gösterdiği gözlemlendi. Ayrıca Do-Ok ötektik karışımının DSC verilerinden elde ettiğimiz erime hal değişimi aralığında (41,27 - 45,12 °C, Tablo 5.10) sıcaklığını koruduğu tamamen erime gösteren bölgelerin sıcaklıkları ise 45°C'den yüksek olduğu gözlemlendi.

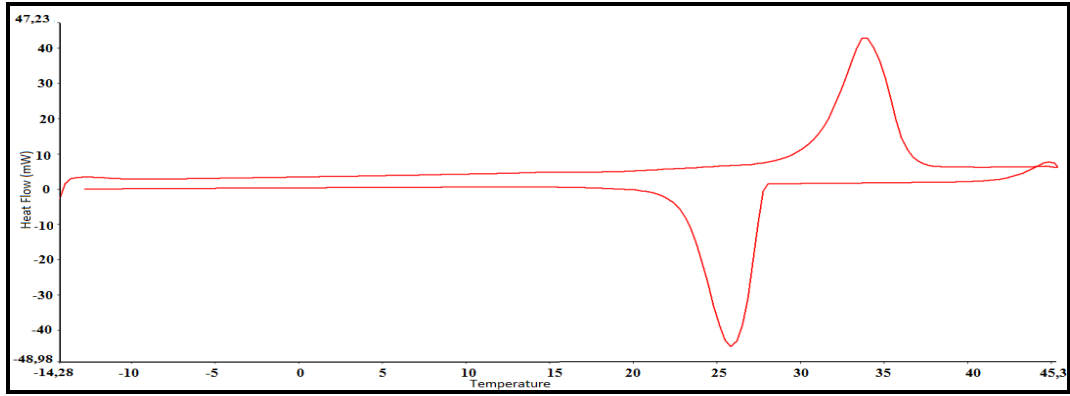


Şekil 5. 40 Dokosan-n-Oktanoik asit ötektik karışımının termal davranışı

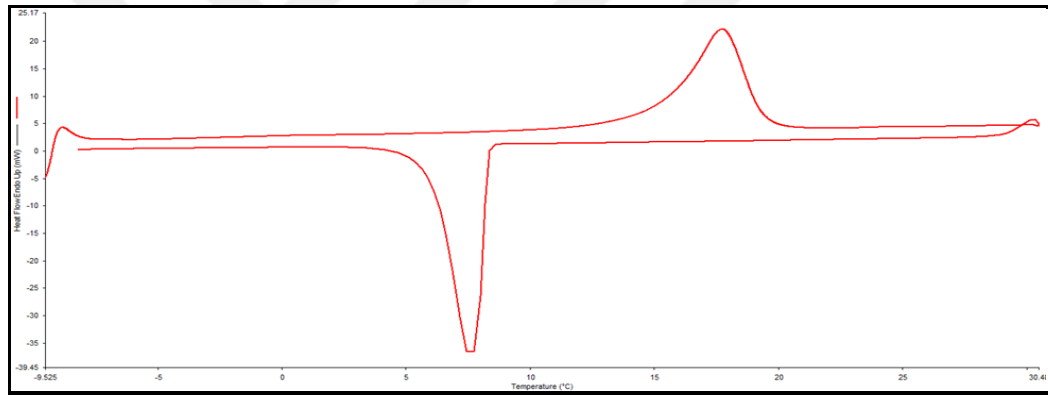
5.2.11. Mikrokapsüllenmiş Dekanoik Asit-n-Oktanoik Asitin DSC Analizi

Saf dekaoik asitin (De), n-oktanoik asitin (Ok), dekanok asit-n-oktanoik asit ötektiğinin (DeOk) ve mikrokapsülünün (DeOk-K) DSC verileri Şekil 5.41-44'te verilmiştir. Dekanoik asit-n-oktanoik asit karışımının 33,37°C'de erimeye başladığı 39,31°C'de hal değişimini tamamladığı ve bu hal değişim esnasında 147,74 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı tespit edildi. Aynı karışımın 27,63°C' de donmaya başladığı 21,06 °C'de donma hal değişimini gerçekleştirdiği ve bu sıcaklık aralığında 145,06 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlendi (Tablo 5.11). Bu sonuç ideal bir ötektik karışım elde ettiğimizi göstermektedir.

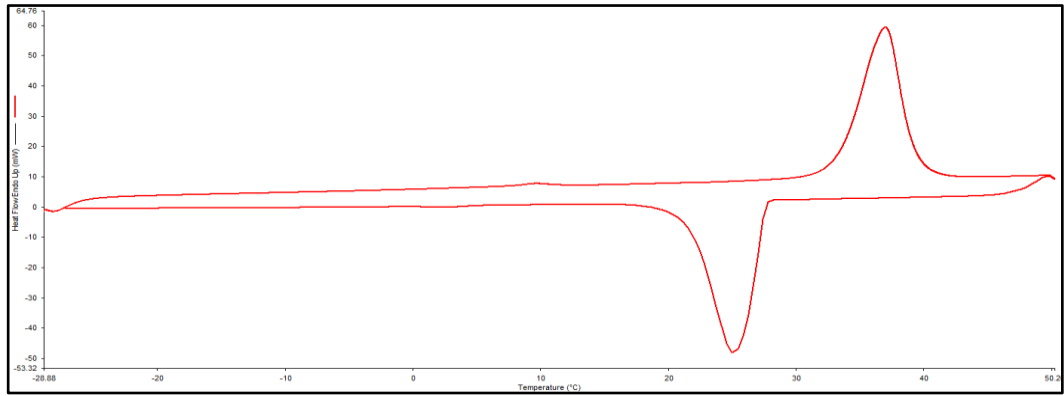
Kapsüllenen dekanok asit-n-oktanoik asit karışımının (Şekil 5.44) DSC eğrisinde erime ve donma piklerinin oluşmadığını tespit ettik. Elde edilen bu verilerden ötektiğin başarılı bir şekilde kapsüllenmediği sonucuna ulaştık.



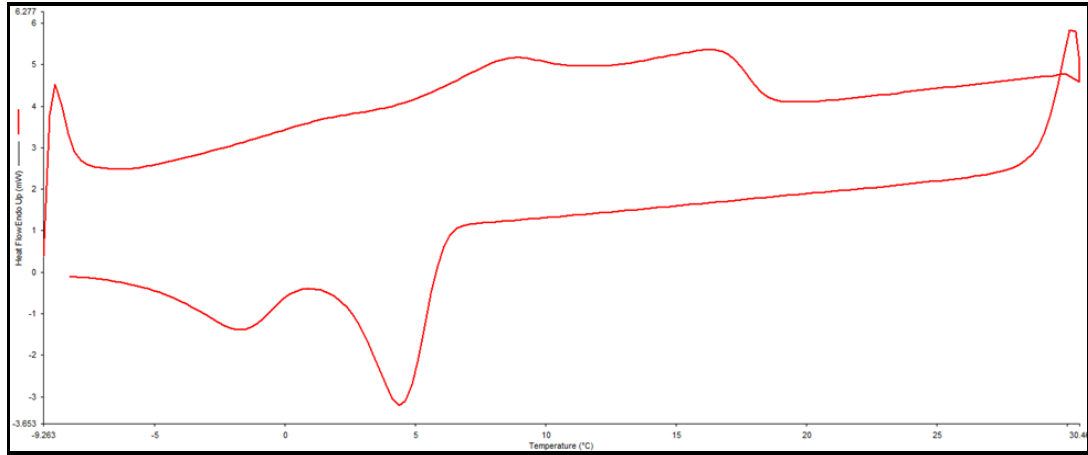
Şekil 5. 41 Saf Dekanoik Asitin erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 42 saf n-oktanoik asitin erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 43 Dekanoik asit-n-oktanoik asit ötektik karışımının erime donma hal değişimine ait DSC eğrileri



Şekil 5. 44 Mikrokapsüllenmiş dekanolik asit -n-oktanik asit ötektığının DSC eğrisi

Tablo 5. 11 Saf dekanolik asitin (De), oktanolik asitin (Ok), dekanolik asit-n-oktanoik asit ötektığının (De-Ok) ve mikrokapsülünün DSC verileri

FDM	Erime Noktası				Donma Noktası			
	Başlangıç (°C)	Pik (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_e (j/g)	Başlangıç (°C)	Pik (°C)	Bitiş (°C)	ΔH_d (j/g)
Do	30,77	34,02	36,49	156,75	27,75	25,85	22,94	150,56
Ok	15,23	17,23	19,37	114,45	8,31	7,72	6,01	- 122,21
Do-Ok	33,37	37,01	39,31	147,74	27,63	25,00	21,65	-145
Do-Ok-K	-	-	-	-	-	-	-	-

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Dokosan, dekanoik asit ve n-oktanoik asitin ikili ötektik karışımının hazırlanması için 5 farklı ötektik oran (1:4, 2:3, 1:1, 3:2, 4:1) belirlendi.

Önerilen tez çalışmasında ilk basamakta dokosan, dekanoik asit, n-oktanoik asit faz değiştiren malzemelerin saf halleri mikrokapsüllendi. Bu mikrokapsülasyon yöntemi için ara yüzey polimerizasyonu kullanıldı. İkinci basamakta ise dokosan-dekanoik asit, dekanoik asit-n-oktanoik asit ve dokosan-n-oktanoik asitlerin farklı oranlarda ikili ötektikleri sentezlenerek DSC analizlerine göre uygun erime-donma sıcaklığına sahip ikili ötektik karışımlar mikrokapsüllendi. Mikrokapsüllenen ikili ötektik karışımları ve oranları sırasıyla; Dokosan-dekanoik asit [1/4], dekanoik asit-n-oktanoik asit [3/2], dokosan-n-oktanoik asittir [1/4]. Dokosanın hem saf hali hem de mikrokapsüllemiş halinin FT-IR spektrumlarının incelenmesi sonucunda benzer dalga boylarında ve benzer pikler verdikleri gözlemlendi. Bu uyumluluğun dokosanın mikrokapsülasyonu işlemi esnasında kimyasal yapı değişikliğine uğramadan kapsüllendiğinin bir göstergesi olduğunu düşünmekteyiz. Saf dokosanın ve mikrokapsüllemiş dokosanın DSC diyagramında soğutma işleminde iki ekzotermik pik göstermesine karşın, ısıtma işleminde erime için sadece bir endotermik pik gözlemledik. 1. pik katılma, 2. pik ise kristalizasyon sıcaklığı olarak saptandı. Böyle iki farklı kristalleşme davranışı, dokosanın tamamen kristalleşmeden önce yarı kararlı bir fazın varlığından kaynaklanmaktadır. Ve bu durum çok sayıda parafin grubunda gözlemlenir [78], [79], [80]. Mikrokapsüllemiş dokosan için erime, donma, kristalizasyon pik sıcaklıkları sırasıyla; 48,69 °C ve 39,37 °C, 35,38°C olarak saptandı. Dokosan için bu değerler sırasıyla 46,12 °C, 41,15 °C, 36,69 °C olarak ölçüldü. Buna göre dokosan ile mikrokapsüllemiş FDM'nin erime, donma, kristalizasyon entalpileri karşılaştırıldığında dokosanın erime ve donma entalpileri sırasıyla 215,08, 133,99, 58,90 J.g⁻¹ iken, mikrokapsüllemiş dokosanın erime entalpisinin; 71,81 J.g⁻¹ ve donma entalpisinin 35,68 J.g⁻¹; kristalizasyon entalpisinin 8,25 J.g⁻¹ olduğu saptandı.

Mikrokapsüllenmiş dokosana ait SEM görüntüleri incelendiğinde; mikrokapsüllerin oluştuğu ve titanyum kabuk malzemesinin, n-doksanın yüzeyinde başarılı bir şekilde üretildiği belirlendi. SEM analizi ile titanyum mikrokapsüllerin iyi tanımlanmış çekirdek/kabuk mikroyapısı ile birlikte küresel bir morfoloji sergilediği görüldü.

Mikrokapsüllenmiş Dokosanın Güneş ışığı altında solar simülatör yardımıyla ısıtılması sonucunda termal kamera ile termal davranışları incelendiğinde; ısıya maruz kalan kapsüllerin sıcaklığının yavaş yavaş yükseldiği (Şekil 5.6), aynı şekilde soğumanın da yavaş yavaş gerçekleştiği saptandı. Elde edilen bu veriler ışığında saf halde mikrokapsüllenen dokosan, dekanolik asit ve n-oktanoik asit içerisinde gizli ısı kapasitelerinin en yüksek olduğu ve morfolojik olarak homojen dağılım gösteren dekanolik asitin mikrokapsülasyonu olduğu belirlendi.

Tezde hazırlanan ötektik karışımlardan elde edilen dokosan, dekanolik asit ve n-oktanoik asidin ikili ötektik karışımlarının mikrokapsülasyonu sonucunda dokosan-n-oktanoik asidin mikrokapsülasyonun en yüksek ısı depolama kapasitesi ile kapsüllendiği belirlendi. Dokosan(Do)-n-Oktanoik asit (Ok) karışımının 41,27 °C’de erimeye başladığı 45,12’de hal değişimini tamamladığı ve bu hal değişim esnasında 33,53 J/g’lık gizli ısı enerjisi depoladığı tespit edildi. Aynı karışımın 40,57 °C’de donmaya başladığı 35,32°C’de donma hal değişimini gerçekleştirdiği ve bu sıcaklık aralığında 1.*Pik* -10,42 J/g, -6,42 J/g gizli ısı enerjisi depoladığı gözlemlendi. DSC analiz sonuçlarına göre kapsüllü Dokosan (Do)-n-Oktanoik asit (Ok) karışımının 41,51 °C ve 45,36 °C sıcaklıkları arasında erime davranışı gösterdiği ve bu aralıkta 29,14 J/g’lık gizli ısı enerjisi depoladığı gözlemlenmiştir. Aynı karışımın 41,94 °C ile 36,03 °C sıcaklıkları arasında donma hal değişimini tamamladığı bu sırada 1.*Pik* -5,59 ve 2.*Pik* -6,41 J/g’lık gizli ısı enerjisi depoladığı gözlemlendi.

Şekil stabilize görüntülerinden Mikrokapsüllenmiş FDM 'nin Güneş ışığı altında solar simülatör yardımıyla (IR lamba) ısıtılması sonucunda dekanolik asitin erime sıcaklığının üzerinde FDM sızıntı göstermediği, mikrokapsüllerin yapısının

korunduğu sonucuna ulaşıldı. Bu sonuç kapsüllenme işleminin başarılı olduğu ve kapsüllerin ısıya maruz kalması halinde şeklini koruduğu göstermektedir.

Ayrıca tez çalışmasında dekanolik-oktanoik asitin mikrokapsülasyon işlemi sonrasında DSC diyagramları incelendiğinde kapsülasyon işleminin başarısız olduğu tespit edilmiştir.

6.2. Öneriler

Artan dünya nüfusu ve fosil yakıtların kontrolsüz tüketiminin beraberinde getirdiği en büyük problem artan enerji ihtiyacının karşılanmasıdır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ilk sırasında yer alan güneş enerjisinin verimli olarak kullanıldığı fotovoltaik sistemler ise en verimli güneş enerjisi kullanım şeklidir. Fotovoltaik sistemlerin beraberinde getirdiği en önemli dezavantaj ise ısınma problemleridir. Sıcaklık değerlerinin yükselmesi fotovoltaik sistemlerde verimliliği düşürmekte ve kullanım süresinin kısılmasına neden olmaktadır. Uygun erime ve donma sıcaklıklarında erirken yüksek miktarda ısı depolayabilen malzemelerin başında Faz Değiştirici Malzemeler gelmektedir. Faz değiştirici malzemelerin en belirgin özelliği istenilen sıcaklık aralığına çalışılabilir olmasıdır.

Tez çalışmasında fotovoltaik sistemlerin soğutulması amacıyla hazırlanan FDM'lerin uygun soğutma kapasitesine sahip olmaları ve FDM'lerin çalışma sıcaklıklarında yüksek oranda ısı absorbe edebilmeleri sebebiyle farklı fotovoltaik uygulamalar için potansiyel olacağı kanaatindeyiz.

KAYNAKLAR

- [1] F. BİROL, *Dünya Enerji Görünümü*. Paris, Fransa, 2015.
- [2] S. Karabulut, “Setil Alkolün İnorganik Esaslı Mikrokapsüllerinin Hazırlanması Ve Faz Değiştirici Malzeme (FDM) Davranışının İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2019.
- [3] A. Abhat, “Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage Materials,” *Sol. Energy*, vol. 30, no. 4, pp. 313–332, 1983.
- [4] R. Domański, M. Jaworski, and M. Rebow, “Thermal energy storage problems,” *J. Power thecnology*, vol. 79, 1995.
- [5] H. S. C. Mahlia, T. M. I., Saktisahdan, T. J., Jannifar, A., Hasan, M. H., Matseelar, “A review of available methods and developments on energy storage; technology update,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 532–545, 2014.
- [6] A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, and D. Buddhi, “Review on thermal energy storage with phase change materials and applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 2, pp. 318–345, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.rser.2007.10.005.
- [7] G. A. Lane, *Solar heat storage; Latent heat materials.*, Technology. Boca Raton, 1986.
- [8] H. H. Öztürk, *Isı Depolama Tekniği*. Ankara: Söz Kesen Matbaacılık, 2008.
- [9] F. Sarhaddi, S. Farahat, H. Ajam, A. Behzadmehr, and M. Mahdavi Adeli, “An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 7, pp. 2328–2339, Jul. 2010, doi: 10.1016/j.apenergy.2010.01.001.

- [10] S. M. Bambrook and A. B. Sproul, "Maximising the energy output of a PVT air system," *Sol. Energy*, vol. 86, no. 6, pp. 1857–1871, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.solener.2012.02.038.
- [11] R. Nasrin, N. A. Rahim, H. Fayaz, and M. Hasanuzzaman, "Water/MWCNT nanofluid based cooling system of PVT: Experimental and numerical research," *Renew. Energy*, vol. 121, pp. 286–300, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.01.014.
- [12] M. S. Y. Ebaid, A. M. Ghrair, and M. Al-Busoul, "Experimental investigation of cooling photovoltaic (PV) panels using (TiO₂) nanofluid in water - polyethylene glycol mixture and (Al₂O₃) nanofluid in water-cetyltrimethylammonium bromide mixture," *Energy Convers. Manag.*, vol. 155, pp. 324–343, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2017.10.074.
- [13] T. M. O. Diallo *et al.*, "Energy performance analysis of a novel solar PVT loop heat pipe employing a microchannel heat pipe evaporator and a PCM triple heat exchanger," *Energy*, vol. 167, pp. 866–888, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2018.10.192.
- [14] A. H. A. Al-Waeli, M. T. Chaichan, K. Sopian, H. A. Kazem, H. B. Mahood, and A. A. Khadom, "Modeling and experimental validation of a PVT system using nanofluid coolant and nano-PCM," *Sol. Energy*, vol. 177, pp. 178–191, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.solener.2018.11.016.
- [15] A. H. A. Al-Waeli *et al.*, "Evaluation of the nanofluid and nano-PCM based photovoltaic thermal (PVT) system: An experimental study," *Energy Convers. Manag.*, vol. 151, pp. 693–708, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.09.032.
- [16] N. Choubineh, H. Jannesari, and A. Kasaeian, "Experimental study of the effect of using phase change materials on the performance of an air-cooled photovoltaic system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 101, pp. 103–111, Mar.

- 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.11.001.
- [17] W. He, J. Zhou, C. Chen, and J. Ji, “Experimental study and performance analysis of a thermoelectric cooling and heating system driven by a photovoltaic/thermal system in summer and winter operation modes,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 84, pp. 41–49, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.04.019.
- [18] R. Ahmadi, F. Monadinia, and M. Maleki, “Passive/active photovoltaic-thermal (PVT) system implementing infiltrated phase change material (PCM) in PS-CNT foam,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 222, 2021.
- [19] C. S. Malvi, D. W. Dixon-Hardy, and R. Crook, “Energy balance model of combined photovoltaic solar-thermal system incorporating phase change material,” *Sol. Energy*, vol. 85, no. 7, pp. 1440–1446, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.solener.2011.03.027.
- [20] A. Kazemian, M. Hosseinzadeh, M. Sardarabadi, and M. Passandideh-Fard, “Experimental study of using both ethylene glycol and phase change material as coolant in photovoltaic thermal systems (PVT) from energy, exergy and entropy generation viewpoints,” *Energy*, vol. 162, pp. 210–223, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.07.069.
- [21] 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.
- [22] H. Y. D. Xiao, Y. Qu, S. Hu, H. Han, Y. Li, J. Zhai, Y. Jiang, “Study on the phase change thermal storage performance of palmitic acid/carbon nanotubes composites,” *Compos. A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 77, pp. 50–55, 2015.
- [23] L. G., H. Y., and R. R., “Review of cold storage materials for air conditioning application,” *Int. J. Refrig.*, vol. 35, no. 8, pp. 2053–2077, 2012, doi:

10.1016/j.ijrefrig.2012.06.003.

- [24] M. S. MERT, M. SERT, and H. H. MERT, “Isıl Enerji Depolama Sistemleri İçin Organik Faz Değiştiren Maddelerin Mevcut Durumu Üzerine Bir İnceleme,” *J. Eng. Sci. Des.*, vol. 6, no. 1, pp. 161–174, 2018, doi: 10.21923.
- [25] F. Bulut, “Palmitik Asit/Dekanoik Asit-Dekanoik Asit/Setil Alkol Ötektik Karışımlarının Hazırlanması Ve Faz Değiştirici Malzeme (FDM) Özelliklerinin İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2020.
- [26] N. Konukçu, “Synthesis And Characterization Of Microencapsulated Phase Change Materials And Its Application In The Heat Exchanger,” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 2019.
- [27] W. Su, J. Darkwa, and G. Kokogiannakis, “Review of solid–liquid phase change materials and their encapsulation technologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 48, pp. 373–391, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.044.
- [28] T. Ma, Z. Li, and J. Zhao, “Photovoltaic panel integrated with phase change materials (PV-PCM): technology overview and materials selection,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 116, no. September, p. 109406, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.109406.
- [29] Y. Lin, G. Alva, and G. Fang, “Review on thermal performances and applications of thermal energy storage systems with inorganic phase change materials,” *Energy*, vol. 165. Elsevier Ltd, pp. 685–708, Dec. 15, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.09.128.
- [30] M. Kenisarin and K. Mahkamov, “Salt hydrates as latent heat storage materials: Thermophysical properties and costs,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 145, no. 3, pp. 255–286, 2016.
- [31] Ö. Lafcı, “Yeni tip katı-katı faz değişim maddeleri olarak Poli(stiren-ko-allilalkol)-graft-yağ asidi Kopolimerlerinin sentezi, karakterizasyonu ve ısı

- enerji depolama özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi,” Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 2012.
- [32] P. Zhang *et al.*, “Effects of Surface Modification on the Suspension Stability and Thermal Conductivity of Carbon Nanotubes Nanofluids,” *Energy Procedia*, vol. 69, pp. 699–705, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.080.
- [33] M. Xing, J. Yu, and R. Wang, “Experimental study on the thermal conductivity enhancement of water based nanofluids using different types of carbon nanotubes,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 88, pp. 609–616, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.05.005.
- [34] C. Cárdenas-Ramírez, F. Jaramillo, and M. Gómez, “Systematic review of encapsulation and shape-stabilization of phase change materials,” *J. Energy Storage*, vol. 30, no. 52, p. 101495, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.101495.
- [35] R. Jacob and F. Bruno, “Review on shell materials used in the encapsulation of phase change materials for high temperature thermal energy storage,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 48, pp. 79–87, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.038.
- [36] 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.
- [37] Z. C.Y. and Z. G.H., “Review on microencapsulated phase change materials (MEPCMs): fabrication, characterization and applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, pp. 3813–32, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.07.019.
- [38] Yanio E. Miliána, Andrea Gutiérreza, M. Grágedaab, and S. Ushak, “A review on encapsulation techniques for inorganic phase change materials and the influence on their ther- mophysical properties, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 73 (2017) 983–999, [https:// doi.org/](https://doi.org/),” doi: 10.1016/j.rser.2017.01.159.

- [39] Y. Ma *et al.*, “Synthesis and characterization of thermal energy storage microencapsulated n-dodecanol with acrylic polymer shell,” *Energy*, vol. 87, pp. 86–94, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.04.096.
- [40] A. Jamekhorshid, S. M. Sadrameli, and M. Farid, “A review of microencapsulation methods of phase change materials (PCMs) as a thermal energy storage (TES) medium,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 31, pp. 531–542, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.12.033.
- [41] S. K. Y. Konuklu, H.O. Paksoy, M. Unal, “Microencapsulation of a fatty acid with Poly(melamine-urea-formaldehyde),” *Energy Convers. Manag.*, vol. 80, pp. 382–390, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.01.042.
- [42] W. Li, X. X. Zhang, X. C. Wang, and J. J. Niu, “Preparation and characterization of microencapsulated phase change material with low remnant formaldehyde content,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 106, pp. 437–442, 2007, doi: 10.1016/j.matchemphys.2007.06.030.
- [43] F. Tang, L. Liu, G. Alva, Y. Jia, and G. Fang, “Synthesis and properties of micro- encapsulated octadecane with silica shell as shape-stabilized thermal energy storage materials,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 160, 2017, doi: 10.1016/j.solmat.2016.10.014.
- [44] S. P. Sánchez-Silva L, Rodríguez JF, Romero A, Borreguero AM, Carmona M, “Microencapsulation of PCMs with a styrene-methyl methacrylate copolymer shell by suspension-like polymerisation,” *Chem. Eng. J.*, vol. 157, pp. 216–222, 2010, doi: 10.1016/j.cej.2009.12.013.
- [45] Arzu KARLI, “Yağ asidi/PEMA kompozit karışımlarının hazırlanması ve gizli ısı enerji depolama özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi,” Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 2012.
- [46] 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.
- [47] A. Karaiepli, “Yağ Asidi Ötektik Karışımları/Yapı Malzemeleri Kompozitlerinin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Isıl Enerji Depolama Performanslarının Belirlenmesi, Doktora Tezi,” Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 2010.
- [48] A. N. Özcan, “Bazı yağ asidi ötektik karışımlarının PMMA polimer kabuk ile mikro-nano boyutlarında kapsüllerin hazırlanması ve ısı depolama özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi,” Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 2015.
- [49] Ç. KIZIL, “Parafin ötektiklerinin polistiren kabuk içinde kapsüllemesi ve ısı depolama özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,” Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 2015.
- [50] X. Zhang, J. Niu, and J. Y. Wu, “Development and characterization of novel and stable silicon nanoparticles-embedded PCM-in-water emulsions for thermal energy storage,” *Appl. Energy*, vol. 238, pp. 1407–1416, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.159.
- [51] B. Sivapalan, M. N. Chandran, S. Manikandan, M. K. Saranprabhu, S. Pavithra, and K. S. Rajan, “Paraffin wax–water nanoemulsion, A superior thermal energy storage medium providing higher rate of thermal energy storage per unit heat exchanger volume than water and paraffin wax,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 162, pp. 109–117, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.01.073.
- [52] A. Sarı, C. Alkan, and A. Karaiepli, “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.
- [53] O. Pascu, R. Garcia-Valls, and M. Giamberini, “Interfacial polymerization of

- an epoxy resin and carboxylic acids for the synthesis of microcapsules,” *Polym. Int.*, vol. 57, no. 8, pp. 995–1006, Aug. 2008, doi: 10.1002/pi.2438.
- [54] 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.
- [55] B. Sumiga, E. Knez, M. Vrtačnik, V. Ferk-Savec, M. Starešinič, and B. Boh, “Production of Melamine-Formaldehyde PCM Microcapsules with Ammonia Scavenger used for Residual Formaldehyde Reduction,” *Acta Chim. Slov.*, vol. 58, no. 1, pp. 14–25, Mar. 2011, [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24061938>.
- [56] S. K. Ghosh, *Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective. In Functional Coatings*. Wiley, 2006.
- [57] D. Saylam Canım and S. Macka Kalfa, “Faz Değiştiren Malzemelerin Bina Kabuğunda Kullanımı,” *DÜMF Mühendislik Derg.*, vol. 12, no. 2, pp. 355–371, Sep. 2020, doi: 10.24012/dumf.779147.
- [58] P. Soares, N., Costa, J.J., Gaspar, A.R., Santos, “Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings’ energy efficiency,” *Energy Build.*, vol. 59, pp. 82–103, 2013.
- [59] K. Azzouz, D. Leducq, and D. Gobin, “Enhancing the performance of household refrigerators with latent heat storage: An experimental investigation,” *Int. J. Refrig.*, vol. 32, no. 7, pp. 1634–1644, Nov. 2009, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2009.03.012.
- [60] G. A. Kılıç, “Endüstriyel Soğutma Uygulamalarında Ötektik Soğutucuların Etüdü ve Parametrelerinin İncelenmesi,” Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 2018.

- [61] Ahmet SARI, “Kimya Lisans Öğrencileri (Kimyagerlik, Kimya Öğretmenliği Ve Kimya Mühendisliği) Araştırma Projesi Eğitimi Çalıştayı 2011),” Çanakkale, 2011.
- [62] P. C. Materials and T. T. Applications, “TEKSTİL VE MÜHENDİS (Journal of Textiles and Engineer) <http://www.tekstilmuhendis.org.tr>,” vol. 2012, no. June, pp. 41–48, 2012, doi: 10.7216/130075992012198606.
- [63] R. Thaib, S. Rizal, T. M. I. Mahlia, and N. Agung, “Case Studies in Thermal Engineering Experimental analysis of using beeswax as phase change materials for limiting temperature rise in building integrated photovoltaics,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 12, no. November 2017, pp. 223–227, 2018, doi: 10.1016/j.csite.2017.12.005.
- [64] C. J. Ho, B. T. Jou, C. M. Lai, and C. Y. Huang, “Performance assessment of a BIPV integrated with a layer of water-saturated MEPCM,” *Energy Build.*, vol. 67, pp. 322–333, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.08.035.
- [65] C. J. Ho, A. O. Tanuwijava, and C.-M. Lai, “Thermal and electrical performance of a BIPV integrated with a microencapsulated phase change material layer,” *Energy Build.*, vol. 50, pp. 331–338, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.04.003.
- [66] C. J. Ho, W.-L. Chou, and C.-M. Lai, “Thermal and electrical performance of a water-surface floating PV integrated with a water-saturated MEPCM layer,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 89, pp. 862–872, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2014.10.039.
- [67] A. Tanuwijava, C. Ho, C.-M. Lai, and C.-Y. Huang, “Numerical Investigation of the Thermal Management Performance of MEPCM Modules for PV Applications,” *Energies*, vol. 6, no. 8, pp. 3922–3936, Aug. 2013, doi: 10.3390/en6083922.
- [68] M. Arıcı, F. Bilgin, S. Nizetich, and A. M. Papadopoulos, “Phase change

- material based cooling of photovoltaic panel : A simplified numerical model for the optimization of the phase change material layer and general economic evaluation,” vol. 189, pp. 738–745, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.057.
- [69] B. Xu and Z. Li, “Paraffin/diatomite/multi-wall carbon nanotubes composite phase change material tailor-made for thermal energy storage cement-based composites,” *Energy*, vol. 72, pp. 371–380, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.05.049.
- [70] C. Alkan, A. Sarı, A. Karaipekli, and O. Uzun, “Preparation, characterization, and thermal properties of microencapsulated phase change material for thermal energy storage,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 93, no. 1, pp. 143–147, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.solmat.2008.09.009.
- [71] J. Shi, X. Wu, R. Sun, B. Ban, J. Li, and J. Chen, “Nano-encapsulated phase change materials prepared by one-step interfacial polymerization for thermal energy storage,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 231, no. January, pp. 244–251, 2019, doi: 10.1016/j.matchemphys.2019.04.032.
- [72] J. Su, X. Wang, S. Wang, Y. Zhao, and Z. Huang, “Fabrication and properties of microencapsulated-paraffin / gypsum-matrix building materials for thermal energy storage,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 55, pp. 101–107, 2012, doi: 10.1016/j.enconman.2011.10.015.
- [73] Y. Liu, H. Liu, and H. Qi, “High efficiency electro- and photo-thermal conversion cellulose nanofiber-based phase change materials for thermal management,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 629, pp. 478–486, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.jcis.2022.08.132.
- [74] A. Sarı *et al.*, “Capric-stearic acid mixture impregnated carbonized waste sugar beet pulp as leak-resistive composite phase change material with effective thermal conductivity and thermal energy storage performance,” *Energy*, vol. 247, p. 123501, May 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.123501.

- [75] C. Li, X. Zhao, and J. Chen, “Diversiform microstructure silicon carbides stabilized stearic acid as composite phase change materials,” *Sol. Energy*, vol. 201, pp. 92–101, May 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.02.102.
- [76] G. Peng, G. Dou, Y. Hu, Y. Sun, and Z. Chen, “Phase Change Material (PCM) Microcapsules for Thermal Energy Storage,” vol. 2020, 2020.
- [77] S. Lu, S. Yao, Q. Chen, and Y. Bai, “Intense red upconversion emission and energy transfer in $\text{Yb}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$,” *J. Lumin.*, vol. 196, no. August 2017, pp. 36–39, 2018, doi: 10.1016/j.jlumin.2017.12.018.
- [78] 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/SiO_2 shell,” *Appl. Energy*, vol. 237, pp. 549–565, 2019.
- [79] B. Jiang, X. Wang, and D. Wu, “Fabrication of microencapsulated phase change materials with $\text{TiO}_2/\text{Fe}_3\text{O}_4$ hybrid shell as thermoregulatory enzyme carriers: A novel design of applied energy microsystem for bioapplications,” *Appl. Energy*, vol. 201, pp. 20–33, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.05.093.
- [80] E. B. Sirota and D. M. Singer, “Phase transitions among the rotator phases of the normal alkanes,” *J. chem. phys*, vol. 101, pp. 10873–10882, 1993.
- [81] A. Karaipekli and A. Sarı, “Development and thermal performance of pumice/organic PCM/gypsum composite plasters for thermal energy storage in buildings,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 149, pp. 19–28, May 2016, doi: 10.1016/j.solmat.2015.12.034.
- [82] Y. Konuklu, M. Unal, and H. O. Paksoy, “Microencapsulation of caprylic acid with different wall materials as phase change material for thermal energy storage,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 120, pp. 536–542, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.solmat.2013.09.035.

- [83] G. Alva, Y. Lin, L. Liu, and G. Fang, “Synthesis , characterization and applications of microencapsulated phase change materials in thermal energy storage : A review,” *Energy Build.*, vol. 144, pp. 276–294, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.03.063.



Yayınlar

Ş. Gürhan Zenbilci, Z. Karagöz Genç, M. Genç. “Nanoconfinement of Phase Change Materials Within Multiwall Carbon Nanotubes: Phase Transition Behaviours and Photo-To-Thermal Energy Storage” *2ND International Conference On Physical Chemistry & Functionalmaterials*, 25-27 June 2019 Cappadocia – Turkey, s. 31.

V. Koç, **Ş. Gürhan Zenbilci**, Z. Karagöz Genç, M. Genç. “Preparation Of Novel Form–Stable Composite Phase Change Materials With Butyl Stearate/Cetyl Alcohol Eutectic For Thermal Storage/Retrieval”, (IMSMATEC’19), June 21-23 2019, Nevşehir, ss. 1339.

Ş. Gürhan Zenbilci, Z. Karagöz Genç, M. Genç. “ A New Phase Change Materials with Enhanced Thermal Conductivity and Shape Stability for Efficient Solar-To-Thermal Energy Conversion and Storage” *2ND International Conference On Physical Chemistry & Functionalmaterials*, 25-27 June 2019 Cappadocia – Turkey, s. 32.