



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ISIL ENERJİ DEPOLAMA KAPASİTESİNE  
SAHİP  
UV IŞINLARIYLA SERTLEŞEBİLEN  
KOMPOZİT YAPILARIN GELİŞTİRİLMESİ**

---

**EMRE BAŞTÜRK**

**DOKTORA TEZİ**

Kimya Anabilim Dalı  
Organik Kimya Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN

**İSTANBUL, 2018**

---



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ISIL ENERJİ DEPOLAMA KAPASİTESİNE**  
**SAHİP**  
**UV IŞINLARIYLA SERTLEŞEBİLEN**  
**KOMPOZİT YAPILARIN GELİŞTİRİLMESİ**

---

**EMRE BAŞTÜRK**  
(720813821)

**DOKTORA TEZİ**  
Kimya Anabilim Dalı  
Organik Kimya Programı

**DANIŞMAN**  
Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN

**İSTANBUL, 2018**

---

**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Öğrencisi Emre BAŞTÜRK'ün "Isıl enerji depolama kapasitesine sahip UV ışınlarıyla sertleşebilen kompozit yapıların geliştirilmesi" başlıklı tez çalışması, 27 Haziran 2018 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri**

Prof.Dr. Memet Vezir KAHRAMAN (Danışman)

Marmara Üniversitesi

Prof.Dr. Nilhan Kayaman APOHAN (Üye)

Marmara Üniversitesi

Prof.Dr. Sevim KARATAŞ (Üye)

Marmara Üniversitesi

Prof.Dr. Nergis ARSU (Üye)

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Hüseyin DELİGÖZ (Üye)

İstanbul Üniversitesi

**ONAY**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 9.7.2018 tarih ve 2018/16-02 sayılı kararı ile Emre BAŞTÜRK'ün Kimya Anabilim Dalı Organik Kimya Programında Doktora derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ



## ÖNSÖZ

2211- C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Doktora Burs Programı ve BAPKO FEN-A-110316-0096 numaralı proje kapsamında yapılan bu doktora tez çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiş olup Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Organik Kimya programında gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında SCI kapsamındaki uluslararası dergilerde 4 makale yayınlanmış ve uluslararası kongrede sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Yüksek Lisans ve doktora eğitimim boyunca engin bilgisinden faydalandığım, öğrencisi olmaktan ve beraber çalışmaktan her zaman onur duyduğum, sadece akademik bilgisi olarak değil insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim ve ayrıca göstermiş olduğu samimiyet, hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli tez danışmanı hocam Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN' a,

Her zaman desteklerini gördüğüm ve bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan hocalarım Prof. Dr. Atilla Güngör'e, Prof. Dr. Nilhan Kayaman Apohan'a, Doç. Dr. Seyfullah Madakbaş'a ve Prof. Dr. Sevim Karataş'a,

Sevgilerini ve desteklerini arkamda her daim hissettiğim, evlatları olmaktan gurur duyduğum bu günlere gelmemde en büyük pay sahipleri olan sevgili anneme, babama, sağduyulu düşünceleri ile motivasyon kaynağım kardeşim Merve'ye, her daim benimle gurur duyan dedeme, neşe kaynağım yakışıklı yeğenim Eren'ime,

Sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

**Mayıs 2018**

**EMRE BAŞTÜRK**



# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	xi
YENİLİK BEYANI .....	xv
SEMBOLLER.....	xvii
KISALTMALAR.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ .....	xxi
TABLO LİSTESİ.....	xxv
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1.Amaç .....	2
<b>2. GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>5</b>
2.1. Dünya Enerji Talebi ve Enerjinin Verimli Kullanılması .....	5
2.2. Enerji Depolama Türleri ve Teknolojileri.....	6
2.2.1.Mekanik enerji depolama .....	6
2.2.2. Manyetik enerji depolama .....	6
2.2.3. Kimyasal enerji depolama .....	7
2.2.4. Isıl enerji depolama (IED).....	7
2.2.4.1. Duyulur ısı depolama sistemleri .....	8
2.2.4.2. Gizli ısı depolama sistemleri .....	9
2.3.Faz Değişim Malzemeleri (FDM).....	10
2.4.Faz Değişim Malzemelerinin Sınıflandırılması .....	11
2.4.1.Tuz hidratlar .....	13
2.4.2. Parafinler .....	15
2.4.3. Yağ alkolleri .....	17
2.4.4. Yağ asitleri .....	18
2.4.5. Polietilen Glikol (PEG) .....	20
2.5. Faz Değişim Malzemelerinin Seçiminde Dikkat Edilecek Ölçütler .....	21
2.5.1. Termal özellikler .....	21
2.5.2. Fiziksel özellikler .....	21
2.5.3. Kinetik özellikler .....	21

2.5.4. Kimyasal özellikler .....	22
2.5.5. Organik ve inorganik faz değişim malzemelerin karşılaştırılması.....	22
2.6. Polimerlerin Isıl Enerji Depolama Sistemlerinde Kullanımı.....	23
2.7. UV-Işınları Etkisi İle Radikal Polimerizasyonu .....	24
2.7.1. UV ışınları ile sertleştirilen sistemlerin bileşenleri .....	24
2.7.1.1. Reaktif oligomerler.....	25
2.7.1.2. Reaktif seyrelticiler.....	26
2.7.1.3. Fotobaşlatıcılar .....	27
2.8. Tiyol-En Polimerizasyonu .....	28
2.9. İç İç Geçmiş Polimer Ağsı Yapılar (IPN).....	30
2.10. Faz Değişim Malzemelerinin Enkapsülasyonu.....	32
2.10.1. Mikroenkapsülasyon .....	33
2.11. Faz Değişim Malzemelerin Kullanım Alanları.....	35
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
3.1. Deneylerde Kullanılan Kimyasal Malzemeler.....	37
3.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar Ve Karakterizasyon Yöntemleri.....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
3.3. Deneysel Çalışmalar .....	50
3.3.1. Soya yağı esaslı fotoçapraz bağlanmış faz değişim malzemelerinin hazırlanması .....	51
3.3.1.1. Epoksidede soya yağının akrilik asit ile akrillenmesi .....	51
3.3.1.2. UV ışınları ile foto çapraz bağlanan ASY-yağ alkolü faz değişim malzemesi formülasyonlarının hazırlanması .....	52
3.3.2. Isıl enerji depolama kapasitesine sahip uv ışınları ile sertleştirilen tiyol-en esaslı faz değişim malzemelerinin hazırlanması .....	54
3.3.2.1. Tiyol-En esaslı faz değişim malzemesi formülasyonlarının hazırlanması .....	54
3.3.3. UV ışınları ile sertleşebilen iç içe geçmiş polimer ağsı yapıları faz değişim malzemelerinin hazırlanması.....	56
3.3.3.1. Hint yağının maleik anhidrit ile modifikasyonu reaksiyonu .....	56
3.3.3.2. UV ışınları ile foto çapraz bağlanan iç içe geçmiş polimerik ağ yapıları faz değişim malzemesi formülasyonlarının hazırlanması .....	57
3.3.4. Mikroenkapsülasyon yöntemi ile metakrillenmiş poli (akrilik asit) esaslı hibrit faz değişim malzemelerinin hazırlanması .....	59

3.3.4.1. Metakrillenmiş poli(akrilik asit) (m-PAA) sentezi ve karakterizasyonu.	59
3.3.4.2. Sol-jel hazırlanması .....	60
3.3.4.3. Mikrokapsül üretim aşamaları .....	60
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	63
4.1. Soya Yağı Esaslı Fotoçapraz Bağlanmış Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması .....	63
4.1.1. Akriillenmiş soya yağının ve UV ışınları sertleştirilmiş faz değişim malzemelerinin (FDM) ATR-FTIR ile yapısal karakterizasyonu .....	63
4.1.2. Oktadekanol, eikosanol ve dokosanol içeren UV ışınları ile sertleştirilmiş faz değişim malzemelerinin (FDM) ısıl enerji depolama kapasitelerinin karakterizasyonu.....	65
4.1.3. Oktadekanol, eikosanol ve dokosanol içeren UV ışınları ile sertleştirilmiş faz değişim malzemelerinin (FDM) termal gravimetrik analizi (TGA).....	70
4.1.4. Oktadekanol, eikosanol ve dokosanol içeren UV ışınları ile sertleştirilmiş faz değişim malzemelerinin (FDM) morfolojik karakterizasyonu (SEM).....	71
4.2. Isıl Enerji Depolama Kapasitesine Sahip Uv Işınları İle Sertleştirilen Tiyol-En Esaslı Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması .....	74
4.2.1. Tiyol-En polimerizasyonu ile sertleştirilmiş yağ alkolü içerikli faz değişim malzemelerinin (FDM) ATR-FTIR ile yapısal karakterizasyonu .....	74
4.2.2. Tiyol-En polimerizasyonu ile sertleştirilmiş yağ alkolü içerikli faz değişim malzemelerinin (FDM) ısıl enerji depolama kapasitelerinin DSC analizi ile karakterizasyonu.....	75
4.2.3. Tiyol-En polimerizasyonu ile sertleştirilmiş yağ alkolü içerikli faz değişim malzemelerinin (FDM) ısıl bozunma davranışlarının TGA analizi ile karakterizasyonu.....	81
4.3. UV Işınları İle Sertleşebilen İç İçe Geçmiş Polimer Ağsı Yapılı (IPN) Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması .....	83
4.3.1. Maleiklenmiş hint yağının ve faz değişim özelliği gösteren iç içe geçmiş polimerik yapıların kimyasal karakterizasyonu .....	83
4.3.2. İç içe geçmiş polimer ağ yapıların faz değişim özelliklerinin DSC analizi ile karakterizasyonu.....	84
4.3.3. Faz değişim özelliği gösteren iç içe geçmiş polimer ağ yapıların ısıl dayanım özelliklerinin TGA analizi ile karakterizasyonu .....	87
4.3.4. Faz değişim özelliği gösteren iç içe geçmiş polimer ağ yapıların morfolojik özelliklerinin SEM analizi ile karakterizasyonu .....	89

4.4. Mikroenkapsülasyon Yöntemi İle Metakrillenmiş Poli (akrilik asit) Esaslı Hibrit Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması .....	92
4.4.1. Metakrillenmiş poli (akrilik asit) ve mikroenkapsüle edilmiş hibrit faz değişim malzemelerinin FT-IR analizi ile kimyasal karakterizasyonu .....	92
4.4.2. Mikroenkapsüle edilmiş hibrit faz değişim malzemelerinin DSC analizi ile ısı depolama özelliklerinin karakterizasyonu.....	93
4.4.3. Mikroenkapsüle edilmiş hibrit faz değişim malzemelerinin TGA analizi ile ısı bozunma özelliklerinin karakterizasyonu.....	97
4.4.4. Mikroenkapsüle edilmiş hibrit faz değişim malzemelerinin SEM analizi ile morfolojik özelliklerinin karakterizasyonu .....	100
<b>5.SONUÇLAR .....</b>	<b>103</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>107</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>119</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>123</b>

## ÖZET

# ISIL ENERJİ DEPOLAMA KAPASİTESİNE SAHİP UV IŞINLARIYLA SERTLEŞEBİLEN KOMPOZİT YAPILARIN GELİŞTİRİLMESİ

Faz değişim malzemeleri (FDM); sabit bir sıcaklıkta faz değişimi göstermeleri, birim hacim başına büyük ölçüde gizli ısı depolama kapasiteleri nedeniyle ısı enerjisi depolama sistemleri için gelecek vaat eden malzemelerdir. Faz değişim malzemeleri bir fazdan diğer faza geçerken, erime ve donma çevrimleri sırasında ısı enerjisi soğuran, depolayan ve yayan malzemelerdir. Faz değişim malzemeleri birçok avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. Faz değişim malzemeleri uygun sıcaklıklarda faz değişimi göstermeleri, yüksek gizli ısıya sahip olmaları gibi avantajlara ve faz değişim sürecinde düşük ısı iletim performansına sahip olmaları, stabil olmamaları ve faz değişimi sırasında akma problemi göstermeleri gibi dezavantajlara sahiptirler. Bu tez çalışmasında, faz değişim malzemelerinin göstermiş olduğu akma problemi, yağ alkollerinin fotoçapraz bağlanmış polimerik sistemler ile kaplanarak ve mikroenkapsüle edilerek çözülmüştür.

Çalışmanın birinci bölümünde, UV ışınları ile sertleştirme tekniği kullanılarak fotoçapraz bağlanmış oktadekanol, eikosanol ve dokosanol esaslı faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Akrillenmiş soya yağı epokside soya ile akrilik asit reaksiyonu ile hazırlanmıştır. UV ışınları ile sertleştirilmiş faz değişim malzemelerinin ısı özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetri ile incelenmiştir. Erime ve donma çevrimlerinde akrillenmiş soya yağı herhangi bir faz değişim özelliği göstermezken, buna karşın yağ alkolu içeren formülasyonlar endotermik ve ekzotermik özellikler göstermişlerdir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, yağ alkolu içeren fotoçapraz bağlanmış tiyol-en esaslı polimerler hazırlanmış ve faz değişim malzemelerinin özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada tiyol-en esaslı polimer matriks akma problemini çözmek için kullanılmıştır.



Çalışmanın üçüncü bölümünde, UV ışınları ile sertleştirilmiş iç içe geçmiş polimer ağı yapıları faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çalışma literatürde bulunmamaktadır. Bu çalışmada, tetradekanol, hekzadekanol ve oktadekanol yağ alkollerini içeren iç içe geçmiş polimer ağı yapıları faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Malzemelerin hazırlanmasında katyonik ve radikalik UV polimerizasyonu kullanılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde, UV ışınları ile sertleştirilen mikroenkapsüle edilmiş organik-inorganik faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Hazırlanan mikro-FDM'lerin yağ alkollerini çekirdek ve metakrilat polimeri ise kabuk kısmını oluşturmuştur. Hazırlama işlemi sırasında sol-gel yöntemi ve UV ışınları ile kütleme teknikleri kullanılmıştır. Hazırlanan formülasyonlarda mikro-FDM'lerin içerisindeki oktadekanol ve eikosanol içerikli çekirdek malzemelerinin yüzdesi arttıkça, erime ve donma entalpi değerleri de artmıştır.

Hazırlanan tüm faz değişim malzemeleri ısı depolama uygulamaları için kullanımı umut vaat etmektedir.

**Mayıs 2018**

**EMRE BAŞTÜRK**



## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF UV-CURABLE COMPOSITE MATERIALS FOR THERMAL ENERGY STORAGE**

Phase change materials (PCMs) are promising materials for thermal energy storage systems due to their capacities to accumulate high latent heat storage per unit volume by phase change at an almost constant temperature. PCMs are being utilized to absorb, collect, and discharge thermal energy during the cycle of melting and freezing, converting from one phase to another. Phase change materials have their own advantages and disadvantages, phase change material has the advantage of a suitable temperature phase transition, a large latent heat, the disadvantage is the phase change process heat transfer performance is relatively poor, unstable, and some liquid phase leakage. In this thesis, leakage problem is minimized by coating and microencapsulation of the fatty alcohols with a photo-crosslinked polymeric system.

In the first chapter, a novel photocrosslinked phase change materials (PCMs) based on octadecanol, eicosanol and docosanol have been prepared by UV technique. Epoxidized soybean oil was reacted with acrylic acid to form acrylated soybean oil. Thermal performances of UV-cured PCMs were investigated by differential scanning calorimeter (DSC). Acrylated soybean oil sample does not exhibit phase change properties during heating and freezing run, while for the formulations containing fatty alcohols, endothermic and exothermic behavior can be observed.

In the second chapter, photo-crosslinked thiol-ene based polymers containing fatty alcohols were prepared and characterized for the purpose of phase change materials (PCMs). The thiol-ene based photo-crosslinked polymer in our study acts as a matrix, which is minimizing leakage.

In the third chapter, a novel UV-cured interpenetrating polymer networked phase change materials (IPN-PCMs), on which no article has been found in the so far published research. Organic-inorganic hybrid interpenetrating polymer networked (IPN) materials containing both cationic and radical sections and IPN-PCMs containing tetradecanol, hexadecanol, and octadecanol were prepared.



In the final chapter, UV-curable microencapsulated organic–inorganic hybrid phase change materials (micro-PCMs) were prepared; the micro-PCMs, which are based on a fatty alcohol core and a methacrylated polyacrylic acid (m-PAA) shell, were prepared by the sol–gel and UV-curing techniques. Polyacrylic acid (PAA) was reacted with glycidylmethacrylate to form methacrylated polyacrylic acid. Phase change properties of UV-cured hybrid micro-PCMs were investigated by differential scanning calorimeter (DSC). An increase in microcapsule content resulted in an increase in the melting and freezing enthalpy of micro-PCMs for both the octedanol and the eicosanol core components.

All the prepared phase change materials have be promising and useful in thermal energy storage applications.

**May 2018**

**EMRE BAŞTÜRK**



## YENİLİK BEYANI

Bu doktora tez çalışması kapsamında, ısıl enerji depolama (IED) kapasitesine sahip UV-ışınları ile sertleştirilebilen yağ alkolü esaslı polimerik yapıda kompozit faz değişim malzemeleri (FDM) hazırlandı. Literatürde, faz değişim malzemeleri polimerik yapılar içine katılmış ancak UV-ışınları sertleştirilen polimerik yapılar içine katılma konusunda neredeyse hiçbir çalışma yoktur. Tez çalışması kapsamında 4 farklı çalışma yapılmıştır. Tez çalışmasının birinci bölümünde, akrillenmiş epoksida soya yağı esaslı ve farklı yağ alkolü içeren formülasyonlar UV ışınları ile serleştirilmiş ve organik faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Tez çalışmasının ikinci bölümünde, tiyol-en fotopolimerizasyonu ile yağ alkolü içerikli kompozit faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Hazırlanan formülasyonlar UV ışınları ile foto çapraz bağlanmıştır. Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, UV ışınları ile foto çapraz bağlanabilen organik-inorganik hibrit faz değişim malzemelerinin sentezi yapılmıştır. Bu çalışmada iç içe geçmiş polimerik yapılar elde edilmiştir. Ağ yapılı iç içe geçmiş polimer matriks içerisine faz değişim özelliği gösterebilen yapılar katılmıştır. Tez çalışmasının son bölümünde, UV ışınları ile foto çapraz bağlanabilen mikroenkapsüle edilmiş faz değişim malzemelerinin sentezi yapılmıştır. Bu çalışmada emülsiyon yöntemi kullanılarak çekirdeğinde yağ alkolü bulunan kabuğunda ise akrilik polimerler bulunan mikrokapsüller sentezlenmiştir.

Bu tez çalışmasının sonuçları, uluslararası konferansta sözlü bildiri olarak sunulmuş ve SCI kapsamındaki dergilerde 4 makale basılmıştır. Basılmış yayınlar; **“Photocrosslinked biobased phase change material for thermal energy storage,(2016)Journal of Applied Polymer Science. 133, 32”**.**“Preparation of thiol-ene based photo-crosslinked polymer as a potential phase change material,(2016) Materials Chemistry and Physics. 177, 521-528”**. **‘A novel uv-cured interpenetrating organic-inorganic hybrid polymer network based phase change materials (ipn-pcm).(2017)Polymer Engineering & Science.DOI: 10.1002/pen.24639”**.**“Preparation and performances of photocrosslinked methacrylated polyacrylic acid based core-shell hybrid phase change materials. Polymer Engineering & Science. DOI: 10.1002/pen.24829”**.

MAYIS, 2018

Prof.Dr. Memet Vezir KAHRAMAN

Emre BAŞTÜRK



## **SEMBOLLER**

**UV** : Ultraviyole ışınları

**T** : Sıcaklık

**T<sub>%5</sub>** : %5 kütle kaybının olduğu sıcaklık

**T<sub>%10</sub>** : %10 kütle kaybının olduğu sıcaklık

**T<sub>%50</sub>** : %50 kütle kaybının olduğu sıcaklık

**T<sub>maks</sub>** : Maksimum kütle kaybının olduğu sıcaklık



## **KISALTMALAR**

<b>IEA</b>	: Uluslararası enerji ajansı
<b>PAA</b>	: Poli (akrilik asit)
<b>FDM</b>	: Faz değişim malzemesi
<b>PEG</b>	: Poli etilen glikol
<b>IPN</b>	: İç içe geçmiş polimerik ağsı yapı
<b>CQ</b>	:Kamforkinon
<b>GOTMS</b>	: (3-Glisidiloksipropil) trimetoksisilan
<b>PPGDE</b>	:Poli (propilen glikol) diglisidil eter
<b>MEMO</b>	:3-(Trimetoksisilil) propilmetakrilat
<b>TMPTA</b>	:Trimetilolpropantriakrilat
<b>SDS</b>	: Sodyum Dodesil Sülfat
<b>PTSA</b>	: p-Toluensülfonik asit
<b>FT-IR</b>	:Fourier transform infrared spektroskopisi
<b>TGA</b>	:Termal gravimetrik analiz
<b>DSC</b>	:Diferansiyel taramalı kalorimetre
<b>SEM</b>	:Taramalı elektron mikroskobu
<b>ESY</b>	: Epokside soya yağı
<b>m-PAA</b>	: Metakrillenmiş poli (akrilik asit)
<b>GMA</b>	: Glisidilmetakrilat



## ŞEKİL LİSTESİ

## SAYFA

Şekil 2.1. 2010-2040 yılları arasında dünya enerji talebi talep edilen enerjinin sağlanacağı kaynakların miktarları	5
Şekil 2.2. Isıl enerji depolama yöntemleri	8
Şekil 2.3. Faz değişim malzemelerinin ısıyı depolama ve yayma çevrimi	10
Şekil 2.4. Isıl enerji depolayabilen faz değişim malzemeleri	12
Şekil 2.5. Faz değişim malzemelerinin özelliklerinin karşılaştırılması	22
Şekil 2.6. UV-ışınları ve ısı ile sertleşebilen yapıların karşılaştırılması	24
Şekil 2.7. UV ışınları sertleştirilen sistem bileşenleri ve formülasyon içerisindeki yüzdeleri	25
Şekil 2.8. UV ışınları ile sertleştirilen sistemlerde kullanılan temel reaktif oligomerlerin kimyasal yapılarını şematik gösterimi	26
Şekil 2.9. Reaktif seyrelticilerin kimyasal yapılarının şematik gösterimi	27
Şekil 2.10. Tiyol-en polimerizasyonunun temel mekanizması	28
Şekil 2.11. Tiyol-en polimerizasyonunda yaygın olarak kullanılan –En monomerleri	29
Şekil 2.12. Tiyol-en polimerizasyonunda yaygın olarak kullanılan tiyoller	29
Şekil 2.13. İç içe geçmiş polimer ağı yapının şematik gösterimi	30
Şekil 2.14. Farklı yapılardaki polimer karışımlarının şematik gösterimi	31
Şekil 2.15. Mikroenkapsülasyon yöntemi hazırlanan kapsüllerin genel görünümü	33
Şekil 2.16. Mikroenkapsülasyon yöntemi hazırlanan kapsüllerin genel çalışma prensibi	34
Şekil 2.17. FDM'lerin ana kullanım alanları	35
Şekil 2.18. Isıl enerji depolama sistemlerinin kullanılabilirdiği alanlar	36
Şekil 3.1. UV-ışınları ile FDM formülasyonlarını sertleştirmek için kullanılan teflon kalıp	49
Şekil 3.2. Epokside soya yağının akrillenme reaksiyonun şeması	51

Şekil 3.3. Akrillenmiş soya yağının temelli FDM hazırlama aşamaları	54
Şekil 3.4. UV ışınları ile sertleştirilen FDM'lerin genel görünümü	54
Şekil 3.5. Tiyo-En polimerizasyon yönteminin şematik gösterimi	55
Şekil 3.6. Hint yağının maleiklenme reaksiyonu mekanizması	56
Şekil 3.7. İç içe geçmiş polimer ağ yapının şematik gösterimi	57
Şekil 3.8. Poliakrilik asidin metakrillenme reaksiyonu şematik gösterimi	59
Şekil 3.9.Sol-Gel hazırlanmasının şematik gösterimi	60
Şekil 3.10.Mikroenkapsülasyon işleminin şematik gösterimi	62
Şekil 4.1.(a) Epokside soya yağı, (b) akrillenmiş soya yağına ait ATR-FTIR Spektrumu	63
Şekil 4.2. UV-ışınları ile kurutulmuş FDM'lerin ATR-FTIR spektrumu (F2) oktadekanol, (F3) eikosanol ve (F4) dokosanol içeren FDM formülasyonları	64
Şekil 4.3. Saf yağ alkollerinin ve UV-ışınları ile sertleştirilmiş FDM'lerin erime ve donma sıcaklıklarının karşılaştırılması	66
Şekil 4.4. UV-ışınları ile sertleştirilmiş FDM'lerin erime ve donma entalpilerinin karşılaştırılması	67
Şekil 4.5. Saf haldeki yağ alkollerinin erime DSC eğrileri	68
Şekil 4.6. Saf haldeki yağ alkollerinin donma DSC eğrileri	68
Şekil 4.7. UV-ışınları sertleştirilmiş kompozit FDM'lerin erime DSC eğrileri	69
Şekil 4.8. UV-ışınları sertleştirilmiş kompozit FDM'lerin donma DSC eğrileri	69
Şekil 4.9.UV-ışınları ile sertleştirilmiş kompozit FDM'lerin TGA eğrileri	70
Şekil 4.10.Yağ alkolü içermeyen F1 formülasyonuna ait SEM görüntüsü	72
Şekil 4.11. Oktadekanol içeren F2 formülasyonuna ait SEM görüntüsü	72
Şekil 4.12. Eikosanol içeren F3 formülasyonuna ait SEM görüntüsü	73
Şekil 4.13. Dokosanol içeren F4 formülasyonuna ait SEM görüntüsü	73
Şekil 4.14. Tiyo-en esaslı FDM'lerin FTIR Spektrumları	

(a) TMPTA / PEGDA/4-SH UV-kurutulmamış	
(b) TMPTA / PEGDA/4-SH (c)TMPTA / PEGDA / 4-SH / Oktadekanol	
(d)TMPTA / PEGDA / 4-SH / Eikosanol ve	
(e)TMPTA / PEGDA / 4-SH / Dokosanol UV-kurutulmuş FDM'ler	75
<b>Şekil 4.15.</b> Yağ alkollerinin erime ve donma sıcaklıklarının karşılaştırılması	77
<b>Şekil 4.16.</b> UV-ışınları ile sertleştirilmiş tiyol-en esaslı FDM'lerin erime ve donma sıcaklıklarının karşılaştırılması	78
<b>Şekil 4.17.</b> UV-ışınları ile sertleştirilmiş tiyol-en esaslı FDM'lerin erime ve donma entalpilerinin karşılaştırılması	79
<b>Şekil 4.18.</b> Tiyol-en esaslı FDM'lerin erime DSC eğrileri	79
<b>Şekil 4.19.</b> Tiyol-en esaslı FDM'lerin donma DSC eğrileri	80
<b>Şekil 4.20.</b> Hazırlanan yağ alkolü katkılı tiyol-en esaslı FDM'lerin TGA eğrileri	82
<b>Şekil 4.21.</b> Hint yağının maleiklenme reaksiyonunun ATR-FTIR analizi ile karakterizasyonu	83
<b>Şekil 4.22.</b> Faz değişim özelliği gösteren iç içe geçmiş polimer yapıların ATR-FTIR spektrumları	84
<b>Şekil 4.23.</b> İç içe geçmiş polimerik FDM'lerin erime DSC termogramları	85
<b>Şekil 4.24.</b> İç içe geçmiş polimerik FDM'lerin donma DSC termogramları	86
<b>Şekil 4.25.</b> İç içe geçmiş polimer ağısı yapıları FDM'lere ve yağ alkollerine ait TGA termogramları	87
<b>Şekil 4.26.</b> P1 numunesine ait farklı büyütme ölçeklerinde SEM görüntüleri	89
<b>Şekil 4.27.</b> Tetradekanol içeren P2 kodlu FDM numunesine ait SEM görüntüsü	90
<b>Şekil 4.28.</b> Hekzadekanol içeren P3 kodlu FDM numunesine ait SEM görüntüsü	91
<b>Şekil 4.29.</b> Oktadekanol içeren P4 kodlu FDM numunesine ait SEM görüntüsü	91
<b>Şekil 4.30.</b> (a) poli (akrilik asit), (b) metakrillenmiş poli (akrilik asit)'e ait ATR-FTIR spektrumu	92
<b>Şekil 4.31.</b> Mikroenkapsüle edilmiş hibrit FDM'lere ait ATR-FTIR spektrumu	93
<b>Şekil 4.32.</b> Mikroenkapsüle edilmiş hibrit FDM'lere ait erime DSC termogramı	95
<b>Şekil 4.33.</b> Mikroenkapsüle edilmiş hibrit FDM'lere ait donma DSC termogramı	96

<b>Şekil 4.34.</b> Saf halde oktadekanol ve oktadekanol çekirdek malzemesi içeren mikrokapsül FDM'lere ait TGA termogramları	98
<b>Şekil 4.35.</b> Saf halde eikosanol ve eikosanol çekirdek malzemesi içeren mikrokapsül FDM'lere ait TGA termogramları	98
<b>Şekil 4.36.</b> Saf halde eikosanol, oktadekanol ve bu yağ alkollerinin ötektik karışımı çekirdek malzemesi içeren mikrokapsül FDM'lere ait TGA termogramları	99
<b>Şekil 4.37.</b> Hazırlanan Mikro-PAA-OD2 numunesine ait SEM görüntüleri	100
<b>Şekil 4.38.</b> Hazırlanan Mikro-PAA-EI2 numunesine ait SEM görüntüleri	101
<b>Şekil 4.39.</b> Hazırlanan Mikro-PAA-OD-EI2 numunesine ait SEM görüntüleri	101

## TABLO LİSTESİ

	<b>SAYFA</b>
<b>Tablo 2.1.</b> Tuz hidratlarına ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri	14
<b>Tablo 2.2.</b> Parafınlere ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri	16
<b>Tablo 2.3.</b> Yağ alkollerine ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri	17
<b>Tablo 2.4.</b> Yağ asitlerine ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri	19
<b>Tablo 2.5.</b> Yağ asidi ötektik karışımlarına ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri	19
<b>Tablo 2.6.</b> PEG'lere ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri	20
<b>Tablo 3.1.</b> Faz değişim özelliği gösteren kompozit malzeme formülasyonları	52
<b>Tablo 3.2.</b> Isıl enerji depolama özelliği Gösteren tiyol-enesaslı FDM Formülasyonları	54
<b>Tablo 3.3.</b> İç içe geçmiş polimer ağ yapı formülasyonunun bileşenlerinin kütlece yüzdeleri (% kütle)	58
<b>Tablo 3.4.</b> Hazırlanan mikrokapsülFDM'lerin kompozisyon tablosu	61
<b>Tablo 4.1.</b> Yağ alkollerinin ve UV-ışınları ile sertleştirilmiş malzemelerin faz değişim sıcaklıklarının ve entalpilerinin analizi	65
<b>Tablo 4.2.</b> UV-ışınları ile sertleştirilmiş kompozitFDM'lerin TGA analizi	71
<b>Tablo 4.3.</b> Yağ alkollerinin ve UV-ışınları ile Sertleştirilmiş tiyol-en esaslı FDM'lerin faz değişim sıcaklık ve entalpilerinin DSC analiz sonuçları	76
<b>Tablo 4.4.</b> Hazırlanan tiyol-en esaslı FDM'lerinTGA analizi	81
<b>Tablo 4.5.</b> İç içe geçmiş polimer ağsı yapıllı FDM'lere ait DSC analizi sonuçları	85
<b>Tablo 4.6.</b> Tüm FDM'lere ve yağ alkollerine ait TGA analizi sonuçları	88
<b>Tablo 4.7.</b> Yağ alkollerine ve hibrit mikrokapsül FDM'lere ait DSC sonuçları	94
<b>Tablo 4.8.</b> Saf haldeki yağ alkolü ve mikrokapsül FDM'lere ait TGA analizi sonuçları	97



## 1.GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde 20. Yüzyıl'dan itibaren başlayan teknolojik ve bilimsel alandaki gelişmeler enerji taleplerini her geçen gün daha hızlı bir şekilde arttırmaktadır. Teknolojik gelişmeler ve en önemli unsur olarak nüfus artışına bağlı olarak enerji arz talep dengesi her gün daha da bozulmaktadır. Hâlihazırda enerji ihtiyacının büyük yüzdesi birincil enerji kaynaklarından (kömür, linyit, petrol, doğalgaz, hidrolik enerji, nükleer enerji) sağlanabilmektedir. Ancak bahsedilen bu birincil enerji kaynakları tükenbilir ve çevre dostu olmayan enerji kaynaklarıdır. Dünya üzerinde ki rezervleri her geçen azalmaktadır. Enerji ihtiyacındaki bu hızlı artışı karşılayabilmek ve mevcut kaynakları daha tasarruflu kullanabilmek amacıyla, depolanması ve tekrar kullanılabilmesi gerekmektedir. Mevcut enerji kaynaklarının tükenme ihtimaline karşılık yenilebilir enerji kaynaklarının ve alternatif enerji kaynaklarının süratle devreye sokulması gerekmektedir. Akademik ve teknoloji çevrelerinde yenilebilir enerji kaynaklarının depolanması için çalışmalar yapılmaktadır.

Isıl enerji depolama, ısı enerjisinin yüksek olduğu zaman aralığında belirli miktarının kimyasal yapılar içerisine hapsedilerek daha sonra kullanılmak amacıyla geçici bir süre depolanmasıdır. Bu özellik ile enerji ihtiyacın olmadığı sürede ısı depolanır ve kullanım gereksinimi doğduğunda depolandığı yerden kullanıma sunulmasıdır. Isı enerji depolanması sağlayan maddeler bu geçiş sürecini sağlamaktadırlar. Son yıllarda verimli ısı enerji depolamak için ısı enerjisinin gizli ısı halinde faz değişim maddeleri tarafından depolanması işlemi üzerine yapılan araştırmalar dünyada ve ülkemizde öncelikli araştırma alanları içinde yerini almıştır.

Isı enerji depolanması üç farklı şekilde yapılmaktadır. Bu yöntemler gizli ısı, duyulur ısı ve kimyasal reaksiyon ısısı şeklinde ısı enerjisinin depolanmasıdır. Tüm bu yöntemler içerisinde, gizli ısı depolama işlemi yüksek depolama verimine sahip olması nedeniyle; ısı enerji depolamada en çok tercih edilen yöntemdir. Gizli ısı depolama işlemi "faz değiştirme ısısı depolama" olarak adlandırılmaktadır. Katı-katı faz değişimi sırasında ısı enerjisi depolayan yapıları faz değişim maddeleri (FDM) olarak isimlendirilmektedir. Faz değişim maddeleri belirli sıcaklık aralığında erime ve donma gösteren maddelerdir. Faz değişim maddeleri belirli sıcaklık aralığında bir fazdan diğer faza geçiş gösterirler. Faz değişim maddeleri bir fazdan diğer faza geçiş yaparken

çevrelerinde ki ısıyı soğurabilen ve depolayabilen, tam tersi faz değişiminde ısıyı tekrar çevreye verebilen yapılardır. Bu işlemlerini belirli çevrimler boyunca devam ettirirler. Faz değişimi sırasında depolanan veya çevreye verilen ısı gizli ısı olarak adlandırılmaktadır.

Faz değişim maddeleri çevrenin ısısının artmasına bağlı olarak çevreden ısıyı alır ve faz değişimine uğrarlar; tam tersi durumda çevre ısısı düşmeye başladığında depoladıkları ısıyı çevreye verirler ve faz değişimini sağlamış olurlar. Faz değişim malzemeleri üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Organik, inorganik ve ötektik karışımlar halindeki faz değişim maddeleridir. Üç grup faz değişim malzemesinin birbirleri üzerinde avantaj ve dezavantajları vardır.

Faz değişim maddeleri birçok alanda kullanımı mevcuttur. Solar enerji depolama sistemlerinde, ısı pompalarında, beyaz eşyaların enerji verimliliğinin sağlanmasında, binalarda ısıtma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca gıda ambalajlarında, organların muhafazasında ve transportunda kullanılmaktadır. Faz değişim malzemelerinden en çok tekstil ürünlerinde termal konforun sağlanmasında yararlanılmaktadır.

### **1.1.Amaç**

Bu tez çalışmasında, UV-ışınları ile sertleştirilebilen yağ alkolü esaslı polimer kompozit faz değişim malzemelerinin hazırlanması amaçlanmıştır. Tez çalışmasının kapsamı içine giren faz değişim malzemeleri olarak organik yapıdaki FDM'ler erime ve donma çevrimlerinde akma problemi göstermektedirler. Bu problemin çözülmesi için organik faz değişim malzemesi olarak yağ alkollerini (tetradekanol, heksadekanol, oktadekanol, eikosanol, dokosanol) UV ışınları ile çapraz bağlanmış polimer ağı yapının içine hapsedilmiştir ve bu şekilde akma problemi aşılması hedeflenmiştir. Tez kapsamında yapılan ilk üç çalışmada yağ alkollerini UV ışınları kürlenebilen akrilat monomerleri içeren formülasyonlar içine katılmış ve sertleştirilmiştir. Bu şekilde organik faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Tez kapsamında yapılan son çalışmada ise farklı yöntem olarak mikroenkapsülasyon yöntemi ile faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Yağ alkollerini çekirdek malzemesi olarak seçilmiş ve kabuk malzemesi olarak polimerik yapı

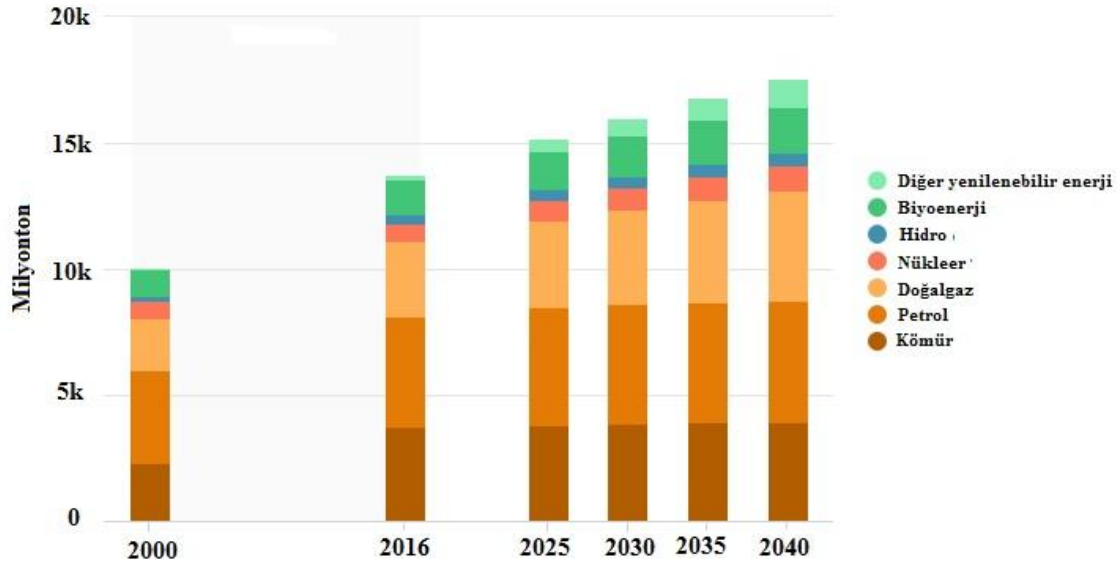
olarak metakrillenmiş PVA kullanılmıştır. Yağ alkolleri metakrillenmiş PVA ile enkapsüle edilmesi amaçlanmıştır.



## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Dünya Enerji Talebi ve Enerjinin Verimli Kullanılması

Günümüzde birincil enerji kaynağı olarak kullanmakta olduğumuz petrol, doğalgaz ve kömür gibi yakıtların dünya üzerindeki rezervleri her geçen gün azalmaktadır ve bu azalmaya bağlı olarak enerji kaynaklarının birim fiyatları hızlı bir şekilde artmaktadır. Ülkelerin teknolojik olarak gelişmesi ve refah seviyelerinin artması enerji talebi ile doğru orantılıdır. Hâlihazırdaki durumda; enerjiye olan talep ile sahip olduğumuz enerji kaynakları arasında bir denge bulunmamaktadır. Bu sebeplerle hızla azalan enerji kaynaklarına karşın; enerji taleplerini karşılamak amacıyla ülkeler alternatif enerji kaynaklarına ve yenilebilir enerji sistemlerine hızlı bir şekilde geçmek istemektedir. Netice olarak akademik ve teknolojik alanlarda enerji, enerjinin verimli kullanılması ve depolanması konularında çok fazla sayıda araştırma çalışmaları yapılmaktadır. Yenilebilir enerji kaynaklarına geçilmek istenmesinin bir diğer nedeni de insan sağlığı ve çevre sorunlarını artmasıdır [1]. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) yapmış olduğu projeksiyon çalışmasında 2000 ile 2040 yılları arasında talep edilen enerji miktarı ve bu enerji talebinin hangi kaynaklardan sağlanacağı Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. 2010-2040 yılları arasında dünya enerji talebi ve talep edilen enerjinin sağlanacağı kaynakların miktarları [1].

## **2.2. Enerji Depolama Türleri ve Teknolojileri**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının hızla kullanımının artmasına bağlı olarak; bu enerji kaynaklarının kapasitesi ve verimliliği yüksek depolama sistemleri ile kontrol edilebilir olması gerekmektedir. Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynağını kullanırken bu bağlı olarak depolama sisteminin de aktif bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Enerji depolama sistemleri genel olarak; kolay uygulanabilir, ekonomik, çevre ve insan sağlığı için tehlike oluşturmayacak yapıda olması gerekmektedir. Depolama sistemlerinin tam potansiyel ile çalışması durumunda yenilenebilir enerji kaynaklarından yüksek oranda verim elde edilecektir. Enerji depolama sistemlerinin faydaları:

- Birim maliyetlerin azalması
- Daha küçük boyutlarda donanım ihtiyacı
- Birincil enerji kaynaklarına ihtiyacın azalması
- Çevre ve insan sağlığına olumlu etki
- Daha güvenli enerji sağlanması
- Sera gazı ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azalması

Birçok enerji depolama sistemi bulunmaktadır. Bu sistemler mekanik, manyetik, kimyasal ve ısı enerji depolama sistemleridir [2,3].

### **2.2.1.Mekanik enerji depolama**

Bir malzeme üzerine bir kuvvet uygulandığında bir iş oluşmakta ve enerji ortaya çıkmaktadır. Bu enerji iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunlar potansiyel ve hareket (kinetik) enerjileridir. Bu enerjilere mekanik enerji denmektedir ve birbirlerine, ısı ve elektrik enerjisine dönüşebilmektedirler. Mekanik enerjinin depolanması bu dönüşümler sayesinde sağlanmaktadır [4].

### **2.2.2. Manyetik enerji depolama**

Halka şeklinde sarılmış süper iletken tellerden oluşan, yer altına kurulmuş bir bobinden oluşan sistem ile manyetik enerji depolanabilmektedir. Bu sisteme fazla elektrik verilir ve her daim kullanıma hazır olarak depolanır. Bu şekilde manyetik alan oluşturularak enerji depolanması sağlanır ve deşarj edilerek sisteme tekrar verilebilmektedir [5].

### **2.2.3. Kimyasal enerji depolama**

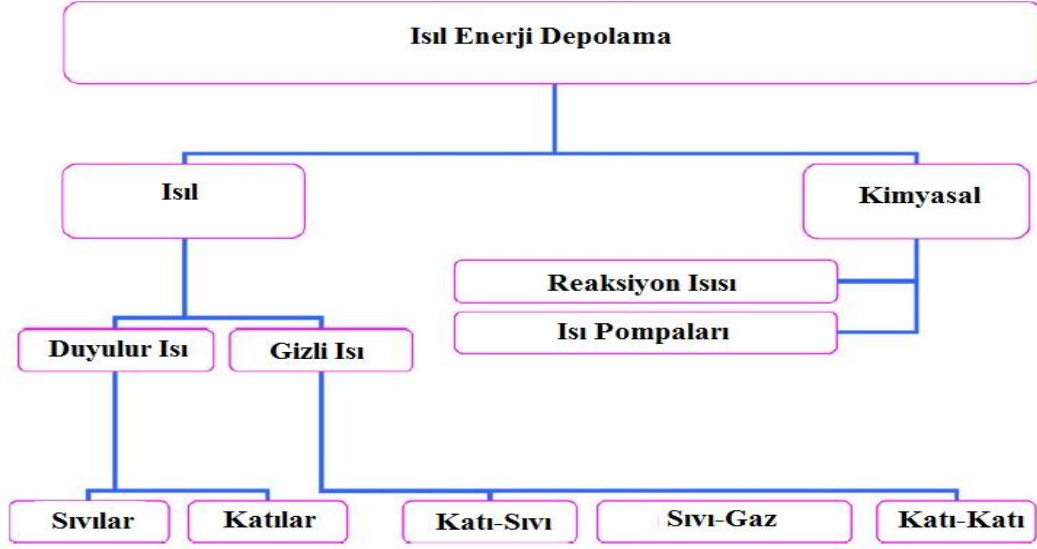
Kimyasal bağlar üzerinden bileşiklerde depolanan enerji; kimyasal enerji depolama sistemlerinde kullanılmaktadır. Enerji kimyasal reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır. En çok hidrojen ve amonyak ile kimyasal enerji depolanmaktadır. Gaz halinde bulunan bu kimyasal yapılar; depolanır, taşınır ve yakılarak depoladığı enerji açığa çıkarılır [3].

### **2.2.4. Isıl enerji depolama (IED)**

Enerji talebinin her geçen gün hızlı bir şekilde artması ve birincin enerji kaynaklarının tükenebilir olmaları sebebiyle yenilebilir enerji kaynaklarının kullanıma ve bunların depolama teknolojilerine yönelik çalışmalar hız kazanmaktadır. Bu bağlamda; ısıl enerji depolama konusunda akademik ve teknoloji çevrelerinde araştırmalar yapılmaktadır. Isıl enerjinin arz ve talebi arasındaki boşluk ısıl enerji depolama sistemlerinin devreye girmesi ile kapatılacaktır. Bu açıdan bakıldığında ısıl enerji depolama sistemleri enerji taleplerinin karşılanması açısından büyük önem arz etmektedir [6].

Enerji tüketimlerini azaltmak, atık ısı kaynaklarının kullanımını sağlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını daha verimli kullanmak için ısıl enerji depolama sistemlerinden büyük ölçüde yararlanılmaktadır. Isıl enerji depolama sistemlerinde ısının fazla olduğu süreçlerde ısı depolanır ve ihtiyaç olması durumunda bu enerji tekrar kullanılabilir hale getirilir. Isıl enerji depolama sistemleri genel olarak ısıl enerjinin yüksek ve düşük sıcaklıkta geçici olarak depolanabildiği sistemler olarak tanımlanabilir [7].

Maddeyi oluşturan atom ve moleküllerin sahip oldukları potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamına ısıl enerji denilmektedir. Isıl enerji malzemelerin soğutulması, ısıtılması, eritilmesi, dondurulması ve buharlaştırılması sırasında depolanabilmektedir ve bu prosesler esnasında tersinir olarak ısı depolanır ve tekrar kullanılabilir. Isıl enerji üç şekilde depolanabilmektedir. Bunlar ısının kimyasal reaksiyonlar sırasında, duyulur ve gizli ısı şeklinde depolanması olarak ortaya çıkmaktadır [8]. Isıl enerji depolama sistemlerinin genel teknikleri Şekil 2.2’de verilmektedir.



Şekil 2.2. Isıl enerji depolama yöntemleri.

#### 2.2.4.1. Duyulur ısı depolama sistemleri

Katı ya da sıvı halde bulunan bir maddenin sıcaklığının yükseltilmesi ile malzemede herhangi bir faz değişimi olmadan ısı enerjisinin depolanmasına duyulur ısı depolama denilmektedir. Bu depolama sisteminde ısı depolanma ve tekrar kullanılma süreçlerinde malzemenin sıcaklığı değişmektedir. Su yüksek ısı depolama kapasitesine sahip olması ve ucuz olması nedeniyle en önemli duyulur ısı depolama sistemi bileşenidir. Duyulur ısı depolama sisteminde depolanan ısı miktarı Eşitlik 1.1'e göre hesaplanabilmektedir.

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

Eşitlik 1.1.

Burada;

- Q : Depolanan ısı miktarı (J),
- M : Depolama malzemesinin kütlesi (kg),
- $C_p$  : Sabit basınçtaki özgül ısı (J/kg.K)
- $\rho$  : Depolama malzemesinin yoğunluğu (g/ml)
- $T_{s-i}$  : Depolama malzemesinin ilk ve son sıcaklığı (K)

### 2.2.4.2. Gizli ısı depolama sistemleri

Isıl enerjinin en etkili ve verimli bir şekilde depolanması gizli ısı depolama sistemleri ile sağlanabilmektedir. Bu sistemde ısı enerjisi depolama malzemesinin sıcaklığı sabit tutularak faz değiştirmesi sonucunda depolanabilmektedir. Gizli ısı depolama sistemlerinde depolama malzemesi katı-katı, katı-sıvı ve sıvı-gaz faz değişimlerinde ısıyı depolar ya da sisteme tekrar geri verir. Gizli ısı depolama sistemlerinde genellikle hacim değişiminin düşük olduğu katı-katı ve katı-sıvı faz değişimi gösteren malzemeler depolama malzemesi olarak seçilmektedir. Isıl enerji depolama sistemlerinde ısının gizli ısı olarak depolanması faz değişim malzemeleri (FDM) ile sağlanabilmektedir. Gizli ısı depolama sisteminde depolanan ısı miktarı Eşitlik 1.2'e göre hesaplanabilmektedir [9].

$$Q = \int_{T_0}^{T_s} mC_p dT + \Delta H_E + \int_{T_e}^{T_s} mC_p dT = m \left[ H_E + C_k(T_e - T_i) + C_s(T_s - T_e) \right]$$

**Eşitlik 1.2.**

Burada;

- Q : Depolanan ısı miktarı (J),  
C<sub>k</sub> ve C<sub>s</sub> : Katı ve sıvı fazın sabit basıncındaki özgül ısıları(J/kgK),  
C<sub>p</sub> : Sabit basıncındaki özgül ısı (J/kg.K)  
H<sub>E</sub> : Depolama malzemesinin erime gizli ısısı (J/kg)  
T<sub>e-s</sub> : Depolama malzemesinin erime ve son sıcaklığı (K)  
T<sub>0</sub> : Başlangıç sıcaklığı (K)

Bu eşitlikteki birinci ve üçüncü terim FDM'nin duyulur ısisını, ikinci terimise, erime gizli ısisını ifade etmektedir [10].

### 2.3.Faz Değişim Malzemeleri (FDM)

Faz değişim malzemeleri (FDM); faz değiştirme sıcaklık aralığı olarak bilinen belirli sıcaklık aralığında bir fazdan diğer faza geçerken ortamdaki ısıyı depolayabilen ya da tam tersi durumda depoladığı ısı enerjisini tekrar ortama geri verebilen maddelere denilmektedir. FDM'ler erime çevrimlerinde ısıyı soğurur ve donma çevriminde ise depoladığı ısıyı tekrar ortama yaymaktadır. En çok kullanılan ve en önemli gizli ısı depolayıcı malzemeler FDM'lerdir. Farklı erime, donma sıcaklıklarına ve erime, donma entalpilerine sahip faz değişim malzemeleri bulunmaktadır [11-13].



Şekil 2.3. Faz değişim malzemelerinin ısıyı depolama ve yayma çevrimi.

Erime ve donma çevrimlerinde faz değişim malzemelerinin çevresinin sıcaklığı genellikle sabit kalmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı faz değişim malzemeleri yalıtım amacıyla kullanımları söz konusu olabilmektedir. Ancak bu yalıtım özelliklerini faz değişim malzemeleri sadece faz değişimi yaptıkları sıcaklık aralığında ve faz değişiminin tamamlanması süresince sağlayabilmektedir. Faz değiştirme işlemi sona erdiğinde yalıtım etkisi de sona erecektir [14].

Faz değişim malzemelerinin erime ve donma çevrimleri sırasında büyük miktarda gizli ısı depoluyor ve yayıyor olmaları, bu malzemelerin akademik ve teknolojik çevrelerde yoğun ilgi görmesinin sebepleridir. 1971 yılında NASA tarafından yayınlanan “Phase Change Materials Handbook” isimli rapor kitabında birçok faz değişim malzemesinden bahsedilmiştir. Tüm bu malzemelerin faz değiştirme sıcaklıkları ve entalpileri farklı kategoriler altında incelenmiştir [15].

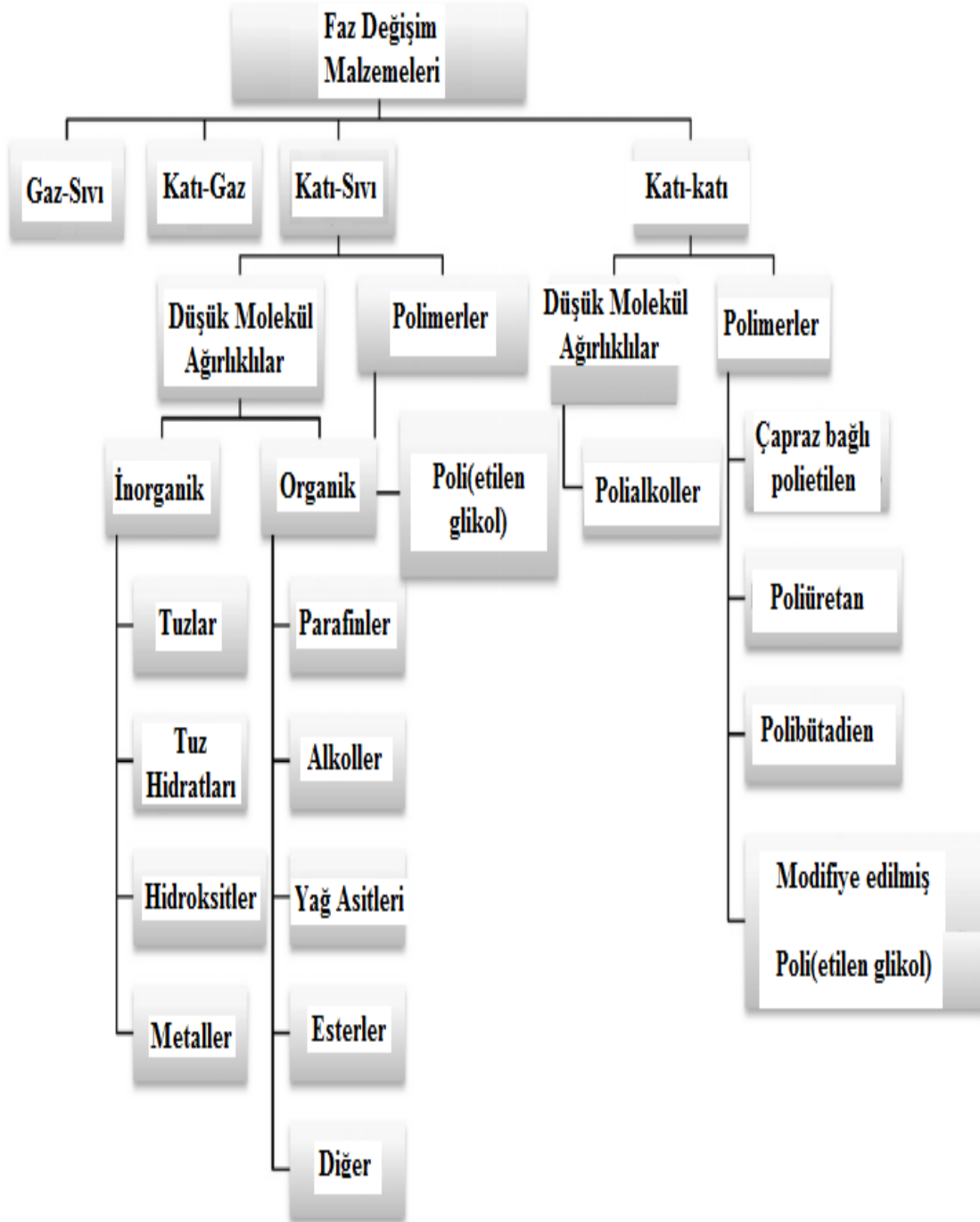
#### **2.4.Faz Değişim Malzemelerinin Sınıflandırılması**

40 yılı aşkın yapılan akademik ve teknolojik çalışmalar sonucunda farklı kategorilerdeki kimyasal yapıda beş yüzden fazla faz değişim malzemesi bulunmaktadır. Tüm bu malzemeler farklı sıcaklık aralıklarında faz değişimi göstermektedir ve ayriyeten birim kütle başına depolayabildikleri ısı enerjisi miktarı birbirinden farklıdır. Bu çeşitlilik sebebiyle faz değişim malzemeleri farklı alanlarda kullanıma sahiptirler [16,17]. Faz değişim malzemeleri faz değiştirme sıcaklık aralıklarına bağlı olarak üç ana gruba ayrılırlar [18]. Bu gruplar;

- Düşük sıcaklık FDM’leri : Faz değişim sıcaklığı 15 °C altında olanlar,
- Orta sıcaklık FDM’leri : Faz değişim sıcaklığı 15-90 °C aralığında olanlar,
- Yüksek sıcaklık FDM’leri : Faz değişim sıcaklığı 90 °C üstünde olanlar.

Faz değişim malzemeleri faz geçişlerine göre de dört farklı grupta incelenmektedir. Bunlar; gaz-sıvı, katı-gaz, katı-sıvı, katı-katı faz geçişi ile ısıl enerji depolayabilen faz değişim malzemeleridir. Isıl enerji depolama sistemleri içinde katı-gaz ve sıvı-gaz faz geçişi gösteren FDM’lerin kullanımı kısıtlıdır. Bu faz geçişlerinde büyük hacim değişimleri oluşmaktadır ve bu sebeple kullanımı kısıtlıdır [19]. Bu faz geçişlerine karşılık katı-katı ve katı-sıvı faz geçişlerinde hacim artışı yaklaşık %10 mertebesindedir [20]. Katı-katı faz değiştiren malzemelerde kimyasal yapılar bir fazdan diğer faza geçerken ve ısı depolarken kristalin yapılarında değişim meydana gelmektedir. Kristal yapılarının değişimi sonucunda ısı depolama işlemini gerçekleştirmektedirler. Katı- katı faz değişi mi ile katı-sıvı faz değişimi karşılaştırıldığında katı-katı faz değişimi sırasında soğurulan ısı enerjisi katı-sıvı faz değişimi soğurulan ısı enerjisinden daha düşüktür [21]. Ancak katı-sıvı faz değişimi gösteren yapılar akma problemi göstermektedirler. Bu

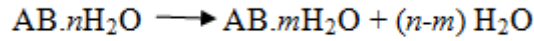
grup FDM'lerin bu sorunları çözmek amacıyla farklı yöntemler uygulanmaktadır [22]. Faz değişim malzemelerinin sınıflandırılması Şekil 2.4'de yapılmaktadır.



Şekil 2.4. Isıl enerji depolayabilen faz değişim malzemeleri [23].

### 2.4.1.Tuz hidratlar

$AB.nH_2O$  formülü ile karakterize edilen yapılar tuz hidratları olarak adlandırılmaktadır. Faz değişim özelliği gösteren bu yapıdaki inorganik tuzlar kimyasal yapılarında kristalize su içermektedirler [24]. Tuz hidratlar farklı sıcaklık aralıklarında faz değişim gösterir ve bu sıcaklık aralıklarında ısıl enerji depolarlar [25]. Tuz hidratları aşağıda gösterilen tepkimelere göre yapılarındaki kristalin su molekülü sayesinde ısıl enerji depolarlar.



Erime davranışlarına göre tuz hidratları 3 farklı grupta sınıflandırılmaktadır. Bu gruplar;

- Uyumlu erime davranışı gösteren tuz hidratları : Erime sıcaklığındaki tuz hidrat suyunda çözünenler;
- Uyumlu erime davranışı göstermeyen tuz hidratları: Erime sıcaklığındaki tuz hidrat suyunda kısmen çözünenler;
- Yarı uyumlu erime davranışı gösteren tuz hidratları : Erime sıcaklığında tuz çok az kısmı hidrat tuzunda çözünür ve katı ile sıvı form denge halindedir [26].

Tuz hidratı olarak faz değişim özelliği gösteren bu malzemeler yüksek faz değişim entalpilerine sahiptirler ancak birçoğu erime sıcaklıklarında uygun çözünme davranışı göstermezler. Erime sırasında oluşan hidrat suyu tuz çözmek için yeterli gelmemektedir. Bu maddelerin FDM olarak kullanılmaları sırasında karşılaşılan en büyük problem düzensiz erime davranışı göstermeleridir. Erime esnasında yoğunluk farkından dolayı katı faz depolama kabının alt kısmında birikir. Bu nedenle özel önlemler alınmazsa donma işlemi süresince katı faz gerçek tuz hidratı oluşturmak için doygun çözelti ile birleşemez. Tuz hidratların kullanımı sırasında karşılaşılan diğer bir problem, sıvı tuz hidratın aşırı soğumasına neden olan düşük çekirdekleşebilme özelliğidir. Uygun önlemler alınarak aşırı soğuma önlenabilir ya da azaltılabilir [27,28]. Tablo 2.1’de bazı tuz hidratların ısıl-fiziksel özellikleri verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Tuz hidratlarına ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri [29].

<b>Tuz Hidratları</b>	<b>Erime Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Erime Entalpisi (J/g)</b>
LiClO <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	8	253
KF·4H <sub>2</sub> O	18.5–19	231
Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	25.3	125.9
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	28.0–30.0	190–200
LiNO <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	30	256
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	34	256
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	33	247
NaCH <sub>3</sub> COO·3H <sub>2</sub> O	55.6–56.5	237–243
CaBr <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	34	115.5
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	35–45	279.6
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	36	146.9
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	45.5	
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	54	
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	48–55	201
Na(CH <sub>3</sub> COO)·3H <sub>2</sub> O	58	226
Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	59.5	
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	68.1	
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	69.0	
Na <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	70	184
Ba(OH) <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O	78	266
(NH <sub>4</sub> )Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	95	269
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	117	169
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	89.3	150

## 2.4.2. Parafinler

$C_nH_{2n+2}$  genel formülü ile verilen doymuş kimyasal yapılara parafinler denilmektedir. Parafinler düz zincirli ve dallanmış yapı halinde bulunmaktadırlar. Mumsu yapıya sahiptirler. Parafinler toksik olmayan, ekonomik, tedarik edilmeleri kolay olan yüksek ısı enerji depolama kapasitesine sahip organik faz değişim malzemeleridir. Parafinlerde karbon atomu sayısı arttıkça yani zincir büyüdükçe erime ve donma sıcaklıkları yükselmekte ve ısı enerji depolama kapasiteleri artmaktadır. Parafinler erime ve donma çevrimlerinde ısıyı depolama ve tekrar yayma hızları da düşüktür. 5 karbon ile 15 karbon atomuna sahip parafinler sıvı halde, daha yüksek karbon atomlular vaks yapısındadır ve erime sıcaklıkları 23 ila 67 °C arasında değişmektedir [30-35]. Tablo 2.2’de parafinlerin erime sıcaklıkları ve entalpileri verilmektedir. Yüksek ısı enerji depolama kapasitesi gibi avantajlarına rağmen parafinler; kolayca yanma, faz değişiminde büyük hacim değişimleri göstermeleri ve ısı iletkenliklerinin düşük olması gibi dezavantajlara sahiptirler. Tüm organik faz değişim malzemelerinde görülen akma problemi parafinlerde de ortaya çıkmaktadır [22].

Organik faz değişim malzemelerinde akma problemini çözmek için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler polimer yapı içerisine organik FDM’lerin katılarak hapsedilmesi ve mikroenkapsülasyon yöntemleri ile paketlenmesidir [36].

Chen ve Wolcott yaptıkları çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen, düşük yoğunluklu polietilen ve düz zincirli düşük yoğunluklu polietilen içerisine farklı oranlarda 18 karbon atomuna sahip oktadekan katmışlardır. Bu şekilde oktadekanın akma problemini çözmeye çalışmışlar ve DSC analizleri ile ısı enerji depolama kapasitelerinin ölçümü yapılmıştır. Yapılan çalışmada 3 farklı polietilen içerisine katılan oktadekanın erime noktasını düşürdüğü görülmektedir [37].

Tang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada oktadekan süspansiyon polimerizasyonu ile oktadesilmetakrilat – metakrilik asit kopolimeri ile mikroenkapsüle edilmiştir. Bu çalışmada oktadekan faz değişim malzemesi çekirdek malzemesi olarak alınmış ve kabuk malzemesi olarak da kopolimer kullanılmıştır. Bu şekilde organik FDM polimer içinde paketlenmiş ve akma problemi ortadan kaldırılmıştır [38].

**Tablo 2.2.**Parafinlere ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri [39].

<b>Parafinler</b>	<b>Karbon Atomu Sayısı</b>	<b>Erime Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Erime Entalpisi (J/g)</b>
<b>Tetradekan</b>	14	6	228
<b>Pentadekan</b>	15	10	206
<b>Hekzadekan</b>	16	19	225
<b>Heptadekan</b>	17	22	160-215
<b>Oktadekan</b>	18	28	200-250
<b>Nonadekan</b>	19	32	220
<b>Eikosan</b>	20	37	250
<b>Heneikosan</b>	21	40	213
<b>Dokosan</b>	22	44	250
<b>Trikosan</b>	23	48	235
<b>Tetrakosan</b>	24	51	255
<b>Pentakosan</b>	25	54	238
<b>Hekzakosan</b>	26	56	256
<b>Heptakosan</b>	27	59	235
<b>Oktakosan</b>	28	41	255
<b>Nonakosan</b>	29	63	240
<b>Trikontan</b>	30	65	255

### 2.4.3. Yağ alkolleri

Genel formülleri  $CH_3(CH_2)_nOH$  şeklinde olan yağ alkolleri, ısı enerji depolama sistemlerinde organik faz değişim malzemesi olarak kullanılmaktadırlar [22]. Yağ alkolleri parafinlerden farklı olarak monoalkol grupları içermektedirler. Düşük karbon sayılı yağ alkolleri oda şartlarında sıvı halde iken, 11 ve üzeri karbon atomuna sahip yağ alkolleri katı halde bulunurlar. Yağ alkolleri kimyasal olarak yağ asitlerinden elde edilmektedirler. Isıl enerji depolama sistemlerinde kullanılmalarında yüksek ısı depolama ve yayma kapasitelerine sahiptirler. Yağ alkollerinde karbon atomu sayısı arttığında erime ve donma sıcaklıkları yükselmektedir. Ayriyeten alkil zincirindeki karbon atomu sayısı arttıkça birim kütlede erime ve donma entalpileri de artmaktadır [40]. Tablo 2.3’de bazı yağ alkollerinin ısı enerji depolama sıcaklık ve entalpileri verilmektedir.

**Tablo 2.3.** Yağ alkollerine ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri.

<b>Parafinler</b>	<b>Karbon Atomu Sayısı</b>	<b>Erime Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Erime Entalpisi (J/g)</b>
<b>Tetradekanol</b>	14	35-39	241
<b>Hekzadekanol</b>	16	48-50	250
<b>Oktadekanol</b>	18	56-59	254
<b>Eikosanol</b>	20	62-65	260
<b>Dokosanol</b>	22	65-72	269

Ancak tüm organik faz değişim malzemelerinde olduğu gibi yağ alkolleri içeren ısı enerji depolama sistemleri de ısınma çevrimlerinde akma problemi oluşturmaktadırlar. Bu durum, depolama malzemesinin kaybına ve ısı enerji depolama veriminin düşmesine neden olmaktadır. Bu sebeple yağ alkollerinin ısı enerji depolama verimlerini arttırmak ve akma problemlerini çözmek amacıyla polimer matrisler içerisine hapsedilmesi ve kapsüle edilerek paketlenmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır [41].

Baştürk ve Kahraman 2016 yılında yaptıkları çalışmada UV-ışınları ile çapraz bağlanabilen polimerik yapı içerisine oktadekanol, eikosanol ve dokosanol gibi farklı sayıda karbon atomuna sahip yağ alkollerini katmışlardır. Bu çalışmada akrilatmonomerleri içeren formülasyona organik FDM'ler katılmış ve UV-ışınları ile sertleştirilmiştir. UV ışınları ile sertleşen çapraz bağlı polimerik yapılar yağ alkollerinin akma problemini çözmüştür [42].

#### **2.4.4. Yağ asitleri**

Genel formülleri  $CH_3(CH_2)_{2n}COOH$  şeklinde gösterilen ve parafın, yağ alkolü gibi organik FDM'ler ile benzer ısı enerji depolama karakteristiği gösteren organik faz değişim malzemeleridir [43,44]. Yağ asitleri, trigliserit adı verilen yağlardan elde edildiklerinden dolayı bu adı taşırlar. Yağ alkollerine benzer şekilde yağ asitleri bir uçlarında metil grubu diğer uçlarında ise karboksilik asit grubu içerirler. Yağ asitleri hayvansal ve bitkisel kaynaklardan elde edilirler. Yağ asitlerinin karbon sayıları arttıkça erime sıcaklıkları artar, erime entalpileri artar, viskoziteleri artar ve oda sıcaklığında düşük karbon sayılı olanlar sıvı halde yüksek karbon sayılı olanlar ise katı halde bulunurlar [45]. Yağ asitleri parafınler ile karşılaştırıldığında yüksek gizli ısı depolama kapasitesine sahiptirler. Erime ve donma çevrimlerinde uzun süreler boyunca aynı ısı enerji depolama özelliklerini korurlar. Ancak yağ asitleri parafınlere göre daha pahalı, koroziftirler. Yağ asitleri ısı enerji depolama sistemlerinde ayrı ayrı kullanılabilirdikleri halde, yağ asidi karışımları halinde yani organik ötektik karışımlar halinde de kullanılmaktadır. Faz değişim malzemesi olarak ısı enerji depolama sistemlerinde kullanılan yağ asitleri ve yağ asidi ötektik karışımları sırasıyla Tablo 2.4'de ve 2.5'de verilmektedir.

**Tablo 2.4.** Yağ asitlerine ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri [46-50].

<b>Yağ asidi</b>	<b>Karbon Atomu Sayısı</b>	<b>Erime Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Erime Entalpisi (J/g)</b>
<b>Kaprilik asit</b>	8	16	148
<b>Kaprik asit</b>	10	31	163
<b>Laurik asit</b>	12	43	180-210
<b>Miristik asit</b>	14	52	190-205
<b>Palmitik asit</b>	16	62	203-210
<b>Stearik asit</b>	18	70	222
<b>Arakhidik asit</b>	20	74	227
<b>Undesilanik asit</b>	22	25	141

**Tablo 2.5.** Yağ asidi ötektik karışımlarına ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri [50-55].

<b>Yağ asidi</b>	<b>İçerikler (kütlece %)</b>	<b>Erime Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Erime Entalpisi (J/g)</b>
<b>Kaprik asit/Laurik asit</b>	45/55	17-21	143
<b>Kaprik asit/ Palmitik asit</b>	76.5/23.5	22	171
<b>Laurik asit/Miristik asit</b>	66/34	34	167
<b>Laurik asit/Palmitik asit</b>	69/31	35	166
<b>Laurik asit/ Stearik asit</b>	75.5/24.5	37	182
<b>Miristik asit/ Palmitik asit</b>	58/42	43	170
<b>Miristik asit/ Stearik asit</b>	64/36	44	182
<b>Miristik asit/ Stearik asit</b>	67.7/34.3	51	162
<b>Palmitik asit/ Stearik asit</b>	64.2/35.8	52	182

#### 2.4.5. Polietilen Glikol (PEG)

Polietilen glikoller; oksietilen  $(-O-CH_2-CH_2)_n$  tekrarlayan grubu içeren ısı enerjisi depolama kapasitesine sahip polimerik faz değişim malzemeleridir. PEG'ler hidroksil sonlu yarı-kristalin polimerlerdir. Su bazlı boyalarda, tekstil endüstrisinde, kağıt kaplamada ve ilaçlarda çözücü olarak kullanılır. Yüksek kristalin yapıya ve yüksek ısı enerjisi depolama kapasitesine sahip olduklarından faz değişim malzemesi olarak kabul edilirler [56].

Polietilen glikoller düşük molekül kütlelerinde oda sıcaklığında sıvı halde, molekül ağırlığı artışıyla birlikte katı formda bulunurlar. Polietilen glikollerin molekül kütlelerinin artışıyla birlikte erime sıcaklıkları ve erime entalpileri artmaktadır [57]. PEG'lerin erime noktaları 4 ila 70 °C arasında değişmektedir. Erime entalpileri ise 117-174 J/g aralığındadır [58]. Farklı molekül ağırlıklı PEG'lerin erime sıcaklıkları ve entalpileri Tablo 2.6'da verilmektedir.

**Tablo 2.6.** PEG'lere ait faz değişim sıcaklıkları ve entalpileri [59-62].

Polimer	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Entalpisi (J/g)
PEG 400	4.2	118
PEG 600	12.5	129
PEG 1000	40	169
PEG 3400	63.4	167
PEG 10000	66	172
PEG 20000	68	160
PEG 35000	69	167
PEG 100000	67	176
PEG 1000000	70	174

## **2.5. Faz Değişim Malzemelerinin Seçiminde Dikkat Edilecek Ölçütler**

Isıl enerji depolama sistemlerinde kullanılacak faz değişim malzemelerinin belirli özellik ve ölçütleri içermesi gerekmektedir. Bir malzemenin gizli ısı depolama malzemesi olarak kullanılabilmesi için erime ve donma sıcaklıklarının uygulama alanına yönelik olması, birim kütlede istenilen entalpi değerlerini sağlaması, uzun süreli kullanımlarda performansını devam ettirmesi, ucuz olması, toksik olmaması, kimyasal kararlılık göstermesi ve yanıcı özellik göstermemesi gerekmektedir. Bu amaçla maddeler karşılaştırmalı olarak analiz edilmeli ve uygulama alanına yönelik malzeme seçimi yapılmalıdır. FDM'lerden genel olarak istenen özellikler aşağıda sıralanmaktadır [63-65].

### **2.5.1. Termal özellikler**

- Uygulama alanına yönelik erime sıcaklığına sahip olması,
- Birim kütlede yüksek gizli ısı depolama kapasitesine sahip olması,
- Her fazda yüksek ısıl iletkenliğe sahip olması.

### **2.5.2. Fiziksel özellikler**

- Faz değişiminde küçük hacim değişimine sahip olması,
- Çalışma sıcaklığında düşük buhar basıncına sahip olması,
- Yeterli faz dengesini sağlaması,
- Yeterli erime özelliği göstermesi,
- Yüksek yoğunlukta olması gerekmektedir.

### **2.5.3. Kinetik özellikler**

- Donma aşamasında hızlı soğuma göstermemesi,
- Yüksek çekirdekleşme etkisi göstermesi,
- Yeterli miktarda kristal yapı içermesi gerekmektedir.

#### 2.5.4. Kimyasal özellikler

- Uzun süreler boyunca kimyasal kararlılığını koruması,
- Donma ve erime çevrimlerinde dönüşümün tam sağlanması,
- Korozif etki göstermemeli,
- Kullanılacağı malzemelerle uygunluk göstermeli
- Toksik, yanıcı ve patlayıcı olmaması gerekmektedir.

#### 2.5.5. Organik ve inorganik faz değişim malzemelerin karşılaştırılması

Faz Değişim Malzemesi	Avantajları	Dezavantajları
<b>Tuz Hidratları</b>	Düşük maliyet ve kolay bulunabilme Yüksek ısı iletkenlik Yüksek erime gizli ısısı Küçük hacim değişimi	Faz ayrımı gösterme Aşırı soğuma Korozif
<b>Parafinler</b>	Faz ayrımı oluşmaz Kimyasal olarak kararlı Aşırı soğuma göstermez Yüksek erime gizli ısısı Düşük maliyet Düşük buhar basıncı Küçük hacim değişimi	Isıl iletkenlik düşük Yanıcı Sabit erime sıcaklığına sahip değil
<b>Yağ asitleri</b>	Yüksek erime gizli ısısı Aşırı soğuma göstermez Kimyasal olarak kararlı Küçük hacim değişimi	Isıl iletkenlik düşük Yüksek maliyet

Şekil 2.5. Faz değişim malzemelerinin özelliklerinin karşılaştırılması.

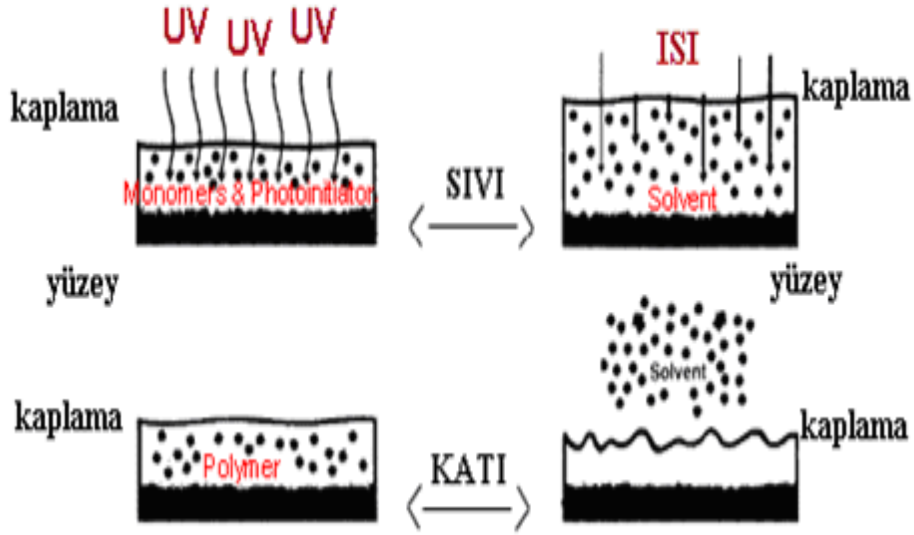
## 2.6. Polimerlerin Isıl Enerji Depolama Sistemlerinde Kullanımı

Polimerler; hafif, ucuz, mekanik özellikleri yeterli, kolay şekillendirilebilen, değişik amaçlarla kullanıma uygun, dekoratif, kimyasal açıdan inert ve korozyona uğramayan maddelerdir. Bu üstün özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanımları mevcuttur [66]. Polimerler ısı enerji depolama sistemlerinde faz değişim malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi faz değişim malzemelerinin en büyük problemi faz değişimi sırasında akma problemi yaratmalarıdır. Akma problemi nedeniyle madde kayıpları yaşanmakta, çevresel sorunlar ortaya çıkmakta ve en önemlisi de ısı enerji depolama veriminin düşmesidir. Polimerler bu sorunun çözümünde kullanılabilecek en önemli malzeme sınıfıdır. FDM'lerde akma probleminin çözümü iki şekilde çözümlenebilmektedir. FDM'ler polimer bir matriks içerisine katılarak kompozit hibrit yapılar oluşturulmaktadır ya da mikroenkapsülasyon yöntemi ile FDM'ler mikro boyutta polimer kabuklar içerisinde enkapsüle edilerek paketlenmektedir [67,68].

Polimerizasyon reaksiyonları, monomer adı verilen küçük moleküllerin bir araya gelerek yinelenen birimlerden oluşan polimer moleküllerini oluşturduğu reaksiyonlardır. Polimerler kondenzasyon ve katılma polimerizasyonu ile sentezlenebilmektedir. Kondenzasyon polimerizasyonunda  $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-NH_2$  ve  $COCl$  gibi fonksiyonel gruplar içeren monomerler kondenzasyon reaksiyonuna girerek küçük bir molekül kaybı ile polimer moleküllerini oluştururlar. Katılma polimerizasyonu çift bağların açılması ile yürür ve zincir reaksiyonları ile devam etmektedir. Katılma polimerizasyonu mekanizması, çifte bağların açılması ile oluşan aktif merkezlere yeni monomerlerin katılması esasına dayanır. Katılma polimerizasyonun da aktif merkez bir anyon, kation ya da serbest radikal olabilmektedir. Katılma polimerizasyonun da aktif merkez birçok yöntemle oluşturulmaktadır. Bu yöntemlerden biride UV ışınları ile aktif merkezin oluşturulup polimerizasyonun devam ettirilmesidir [69,70]. Faz değişim malzemeleri katılma polimerizasyonu ile oluşturulan polimer matriksler içerisine hapsedilerek kullanılmaktadır [42]. Bu yöntemler; UV ışınları etkisi ile radikal polimerizasyonu, tiyol-en polimerizasyonu, kationik ve radikalik aktif merkezleri bünyesinde içeren iç içe geçmiş yapıların UV ışınları sertleştirilmesidir.

## 2.7. UV-Işınları Etkisi İle Radikal Polimerizasyonu

UV ışınları ile sertleştirilen malzemeler, serbest radikal fotopolimerizasyonu ile hazırlanırlar. Sıvı halde bulunan malzeme belirli dalga boyunda ve enerjide UV ışımına maruz bırakılır ve serleşmesi sağlanır. Polimerizasyon işlemi serbest radikaller ya da kationik iyonlar üzerinden yürüyebilir. UV ışımına maruz bırakılan malzeme tamamen katı halde, yüksek molekül ağırlıklı, çapraz bağlı yapıdadır. Sertleştirilen malzeme içerisinde bulunan yapılar tamamen polimerleşmiş haldedir [71].



Şekil 2.6. UV-ışınları ve ısı ile sertleşebilen yapıların karşılaştırılması [72].

### 2.7.1. UV ışınları ile sertleştirilen sistemlerin bileşenleri

UV ışınları ile sertleştirilen sistemlerde muhakkak bulunması gereken üç temel öge vardır. Bunlar;

- Reaktif oligomerler,
- Çapraz bağlamayı arttırıcı ve viskozite düşürücü olarak kullanılan reaktif seyrelticiler,
- Fotobaşlatıcılar.

Bu bileşenlerin dışında sisteme amaca yönelik başka katkılar da katılabilmektedir. Bunlar; pigmentler, yapışma arttırıcı katkılar, yumuşatıcılar, yanma dayanımı arttırıcı katkılar, yüzey enerjisi düşürücü katkılar ve boyalar katılabilir [73]. UV ışınları ile sertleştirilen formülasyonda tüm bileşenlerin yüzde oranları Şekil 2.7’de verilmektedir.

<b>Bileşenler</b>	<b>Kütlece Yüzde</b>	<b>Formülasyondaki İşlevi</b>
Fotobaşlatıcı	1-3	Serbest radikal ya da kationik başlatıcı
Reaktif seyreltici	15-60	Film oluşumu ve viskozite kontrolü
Reaktif oligomerler	25-90	Film oluşumu ve temel özellikler
Katkı ve dolgu malzemeleri	1-50	Surfaktanlar, pigmentler
Işık kaynağı	-	Enerji gereksinimi

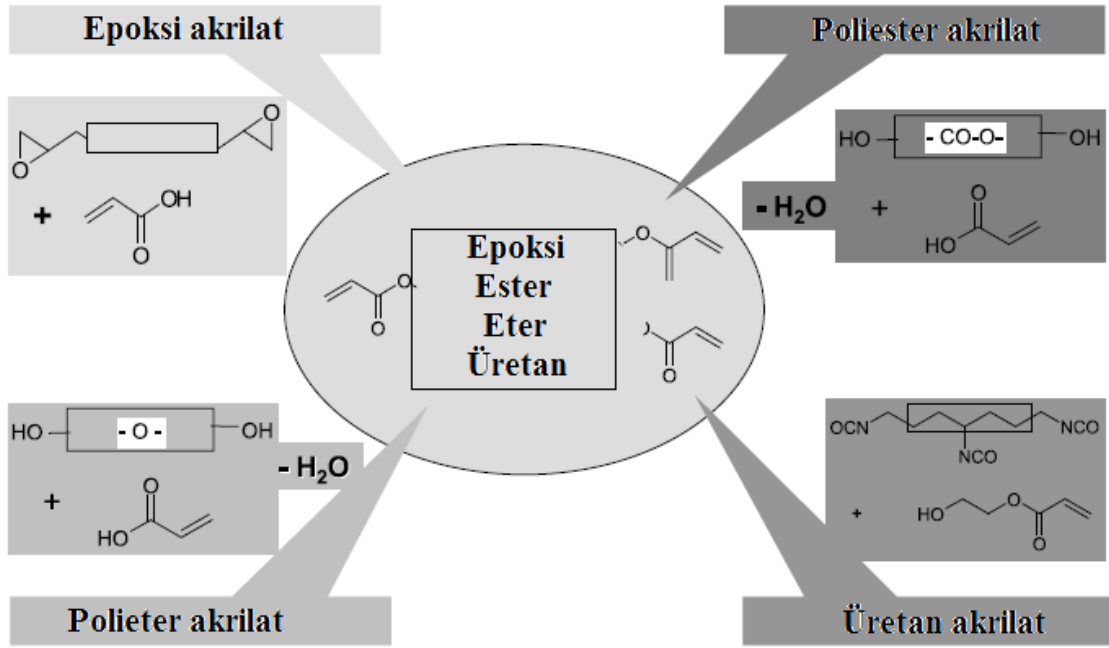
**Şekil 2.7.** UV ışınları sertleştirilen sistem bileşenleri ve formülasyon içerisindeki yüzdeleri [74].

### **2.7.1.1. Reaktif oligomerler**

UV ışınları sertleştirilen sistemlerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini belirleyen ve sistemin ana bileşeni olan reaktif oligomerlerdir. Reaktif oligomerler orta derecede molekül ağırlığına sahip yapılardır. Genel olarak sekiz ana grupta sınıflandırılmaktadır [75]. Bunlar;

- Epoksi oligomerler
- Tiyol-en oligomerler
- Doymamış poliester/stiren oligomerler
- Akrillenmiş poliesterler
- Akrillenmiş epoksitler
- Akrillenmiş polieterler
- Akrillenmiş akrilikler
- Akrillenmiş poliüretanlar

Reaktif oligomerlere ait genel kimyasal yapılar Şekil 2.8’de verilmektedir.



**Şekil 2.8.** UV ışınları ile sertleştirilen sistemlerde kullanılan temel reaktif oligomerlerin kimyasal yapılarını şematik gösterimi.

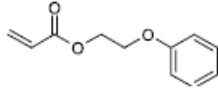
### 2.7.1.2. Reaktif seyrelticiler

UV ışınları ile sertleştirilen sistemlerde ana omurgayı reaktif oligomerler oluşturmaktadır, ancak aşağıdaki nedenlerden dolayı reaktif seyrelticiler ile beraber kullanılmaları gerekmektedir [76].

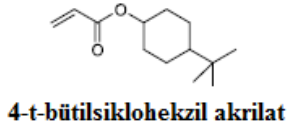
- Oligomerler yüksek viskoziteye sahip yapılardır ve bu nedenle uygulanmaları sırasında sorunlar ortaya çıkmaktadır.
- Oligomerler düşük çapraz bağ oluşturma yapısında bulduklarından dolayı yapıda çapraz bağlanmayı artırıcı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu nedenlerle, sistemin viskozitesinin düşürülmesi ve çapraz bağ yoğunluğunun artırılması için sisteme belirli miktarlarda reaktif seyreltici katılmaktadır. Sisteme tek ve çok fonksiyonlu reaktif seyrelticiler katılmaktadır. Tek fonksiyonlu monomerler olarak; fenoksiakrilat, etoksietilakrilat, metoksietilakrilat, izobornilakrilat, N-vinilpirolidon, vinil asetat, 2-etilhekzil akrilat katılabilir. Çok fonksiyonlu monomerler olarak; dietilenglikoldimetakrilat, 1,6-hekzandiol diakrilat, trimetilolpropantriakrilat katılabilir. Reaktif seyrelticilere ait genel kimyasal yapılar Şekil 2.9’de verilmektedir.

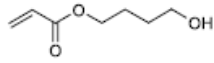
### Monofonksiyonel



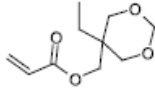
Fenoksietil akrilat



4-t-bütilsikloheksil akrilat

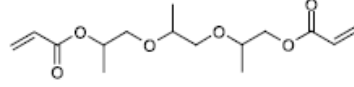


Bütandiol-mono-akrilat

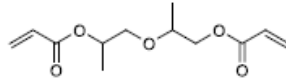


Trimetilolpropanformal akrilat

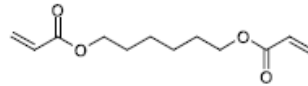
### Difonksiyonel



Tripropilenglikol diakrilat

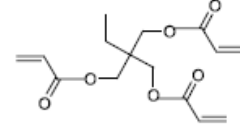


Dipropilenglikol diakrilat

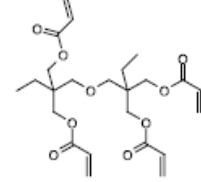


Hekzandiol diakrilat

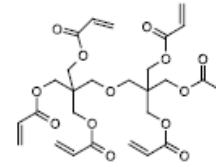
### Multifonksiyonel



Trimetilolpropan triakrilat



Di-trimetilolpropan tetraakrilat



Dipentaerit-penta/hekza akrilat

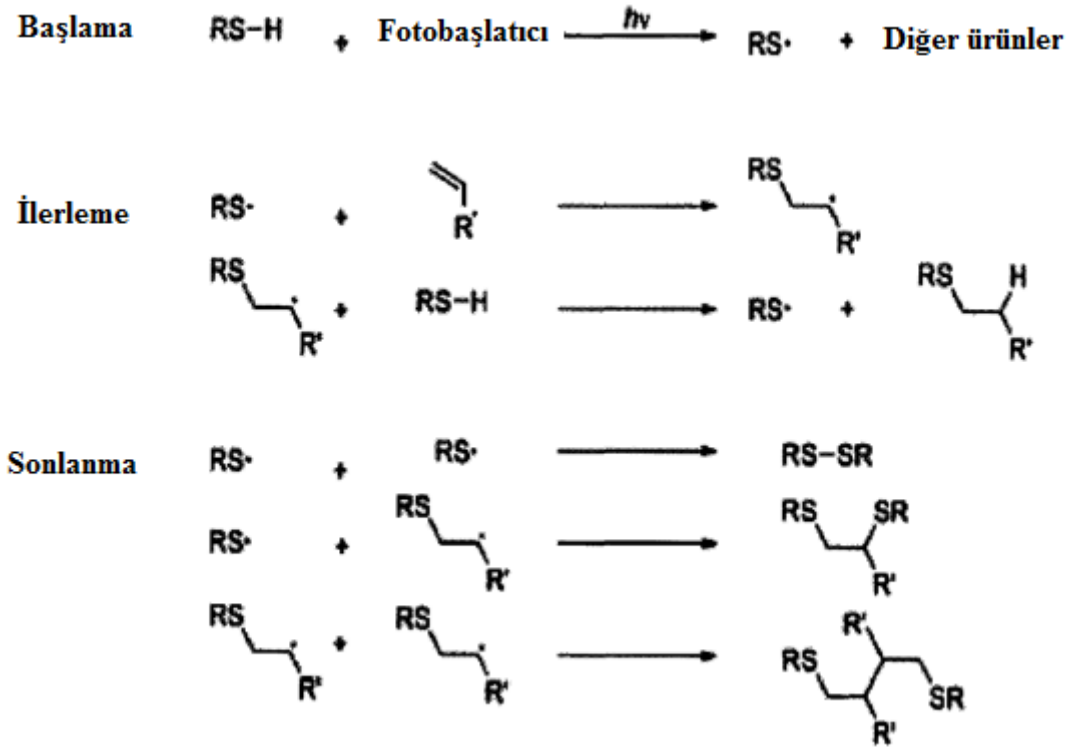
Şekil 2.9. Reaktif seyrelticilerin kimyasal yapılarının şematik gösterimi.

#### 2.7.1.3. Fotobaşlatıcılar

Fotokimyasal polimerizasyon; mekanizmaya ve kullanılan fotobaşlatıcı türüne göre serbest radikal polimerizasyonu ve katyonik polimerizasyon olmak üzere 2 ana başlık altında toplanır. Serbest radikal polimerizasyonunda fotobaşlatıcı molekülü UV ışınlarıyla parçalanarak serbest radikaller oluşturur ve polimerizasyon radikalik mekanizma ile gerçekleşir. UV ışınlarıyla başlayan katyonik polimerizasyonda ise genellikle onyum tuzları başlatıcı olarak kullanılır [77].

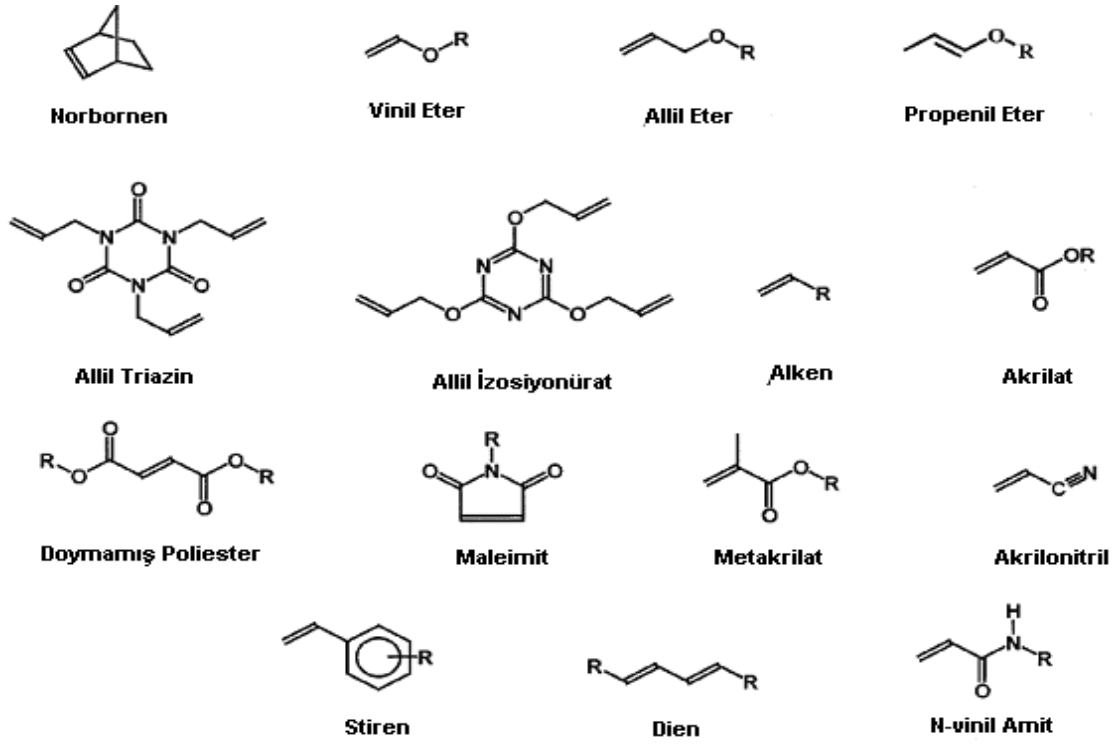
## 2.8. Tiyol-En Polimerizasyonu

Tiyol-en polimerizasyonu tiyol radikalleri üzerinden yürüyen bir fotopolimerizasyon sistemidir. İlk olarak 1960yılı sonlarında W.R.Grace firmasının yapmış olduğu araştırmalar sonucunda bulunmuştur [78]. Tiyol-en polimerizasyonu akrilat monomerleri üzerinden polimerleşen sistemin aksine oksijenin yapmış olduğu inhibisyonundan etkilenmemektedir.

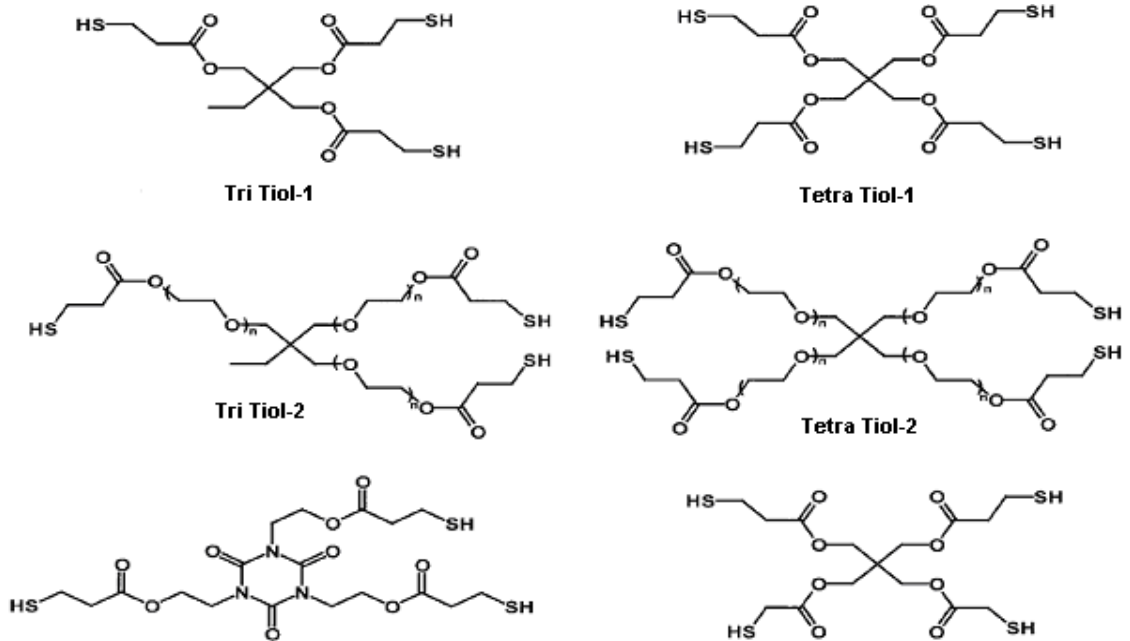


Şekil 2.10.Tiyol-en polimerizasyonunun temel mekanizması.

Tiyol-en polimerizasyonu mekanizması Şekil 2.10'a göre ilerlemektedir. Foto başlatıcının UV-ışınları ile parçalanması sonucunda tiyol radikalleri oluşmaktadır. Oluşan tiyol radikalleri "En" grubunun çifte bağına katılmaktadır. Çifte bağa katılan tiyol radikali aktif merkezini "En" grubu üzerine taşımaktadır. Polimerizasyon bu şekilde ilerleyerek çapraz bağlı polimer yapıyı oluşturur. Sistemde elektronca zengin "En" grubu içeren monomerler ve en az iki -SH fonksiyonel grubu içeren tiyoller bulunmaktadır [79].



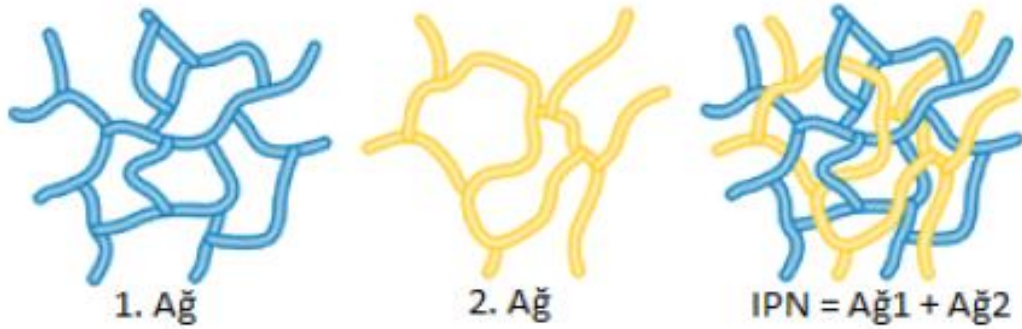
Şekil 2.11. Tiyol-en polimerizasyonunda yaygın olarak kullanılan –En monomerleri.



Şekil 2.12. Tiyol-en polimerizasyonunda yaygın olarak kullanılan tiyoller.

## 2.9. İç İçe Geçmiş Polimer Ağsı Yapılar (IPN)

İç içe geçmiş polimer ağsı yapılar, iki veya daha fazla sayıda polimerik yapının birbiri içerisine nüfus ettiği ve birbirlerine kimyasal olarak bağlandığı sistemlerdir. IPN sistemlerinde aynı ortam içerisinde farklı monomerlerden farklı polimerizasyon teknikleri ile polimerler sentezlenir ve aynı sırada bu iki polimer sistemi birbirine çapraz bağlanır [80].

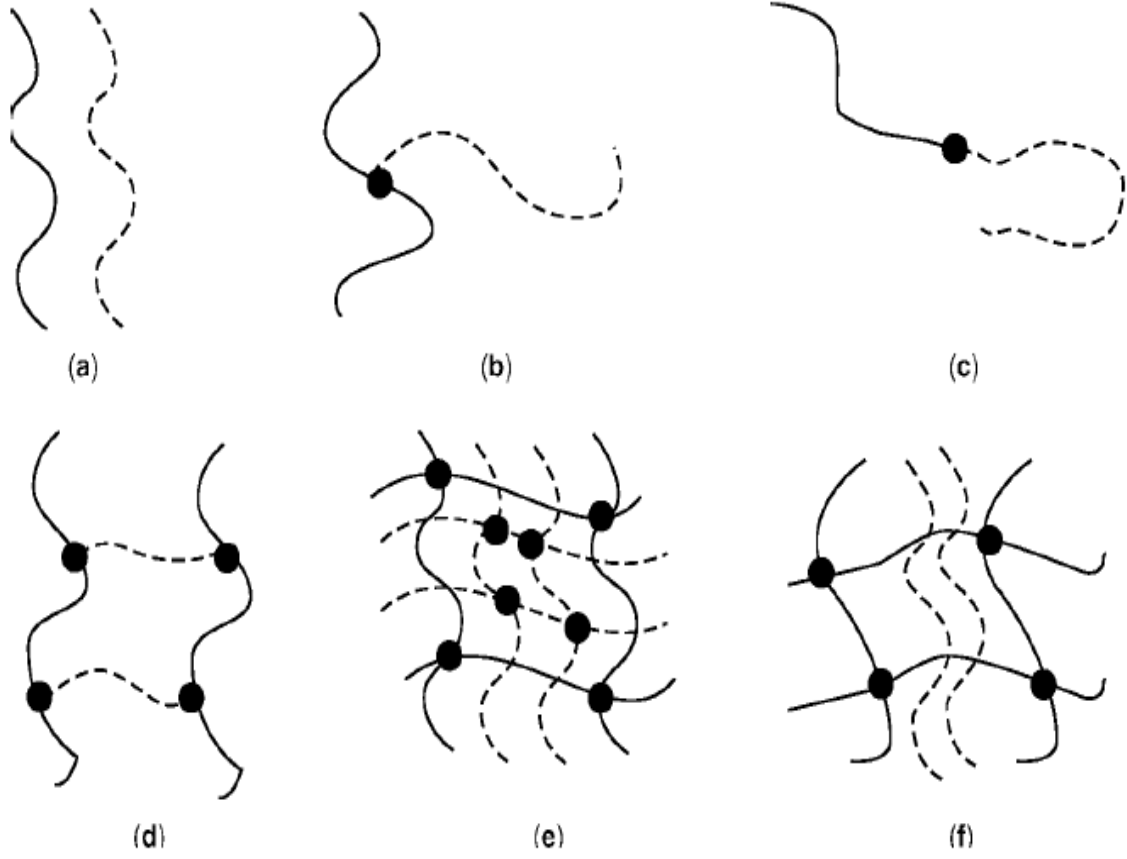


Şekil 2.13. İç içe geçmiş polimer ağsı yapının şematik gösterimi.

En az iki veya daha fazla polimer yapısının birbiri içerisinde fiziksel olarak karıştırılması polimer karışımları elde edilmektedir. Farklı tür polimer moleküllerini karıştırmak için farklı yöntemler vardır. Şekil 2.14'de IPN'lerin de içinde olduğu bu yöntemlerin bazılarını göstermektedir.

- (a) formunda, iki polimer kendi aralarında kimyasal reaksiyona girmeden sadece fiziksel olarak karıştırılmaktadır. Bu formda karışım polimer yapısını oluşturmuşlardır.
- (b) formunda, bir polimer yapısı diğer polimer yapısına kimyasal reaksiyona girmiş ve graft olarak polimer yapısına bağlanmıştır.
- (c) formunda, bir polimer yapısı diğer polimerin ucuna eklenerek blok kopolimer yapısını oluşturmuştur. Bu formada da kimyasal reaksiyon mevcuttur.
- (d) formunda, AB-graft kopolimer elde edilmektedir.
- (e) formu, iç içe geçmiş polimer ağsı yapıyı göstermektedir. Bu sistemde bir monomer diğer polimer yapı içersine polimerize olmaktadır.

- (f) formunda, bir polimer yapısı çapraz bağlıdır, diğer polimer yapısı ise lineer yapıdadır. Bu sisteme yarı-IPN denilmektedir.



**Şekil 2.14.**Farklı yapılarıdaki polimer karışımlarının şematik gösterimi.

Bu nedenle, bir IPN'in tanımı en az birinin sentezlendiği ve/veya aynı anda diğerine çapraz bağlarla bağlandığı, iki veya daha fazla polimer ağının bir kombinasyonudur. (a) (b) ve (c) kompozisyonları termoplastik yani sıcaklık ile akışkan hale gelebilen yapılarıdır. (d) (e) ve (f) kompozisyonlarına ise termoset adı verilir çünkü ısıtıldıklarında akışkan hale geçmezler [81].

## 2.10. Faz Değişim Malzemelerinin Enkapsülasyonu

Isıl enerji depolama sistemlerinde kullanılan faz değişim malzemeleri hava bileşenleri ile tepkime verebilen, korozif, toksik veya yanıcı formlarda olabilmektedir. Bunlara ek olarak belki de organik faz değişim malzemeleri için en büyük problem faz değişimi sırasında akma davranışı göstermeleridir [82]. FDM'lerin bu olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak, akma problemlerine çözüm bulmak amacı ile enkapsüle edilmeleri gerekmektedir. Enkapsülasyon işleminde sıkıca paketlenmiş olan FDM'ler daha iyi ısı enerji depolayabilen bir yapı haline gelmektedirler [83,84]

Metal ve polimer malzemeler kullanılarak faz değişim malzemeleri kapsüllenebilirler. Metal: Metaller kullanılarak kapsüllemenin maliyeti yüksektir. Bazı FDM'ler koroziftir ve metal kaplara zarar verdikleri için çekirdek maddeden zarar görmeyen metaller kullanılmalıdır. Metal depolayıcılardaki korozyon problemlerinden dolayı, polimer yapılar içerisinde FDM'lerin depolanması daha uygun bir yöntemdir.

FDM depolayıcı olarak kullanılacak malzemelerin şu özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bunlar;

- Kimyasal olarak dayanıklı, esneklik sağlayan, korozyona dirençli ve ısı kararlılığına sahip,
- FDM'yi dış ortama karşı mekanik ve kimyasal olarak koruyan, reaktivitesi düşük,
- Yüksek derece ısı transferi sağlayıcı yüzeye sahip,
- Yapısal olarak kararlı ve kolay kullanılabilir olmalıdırlar.

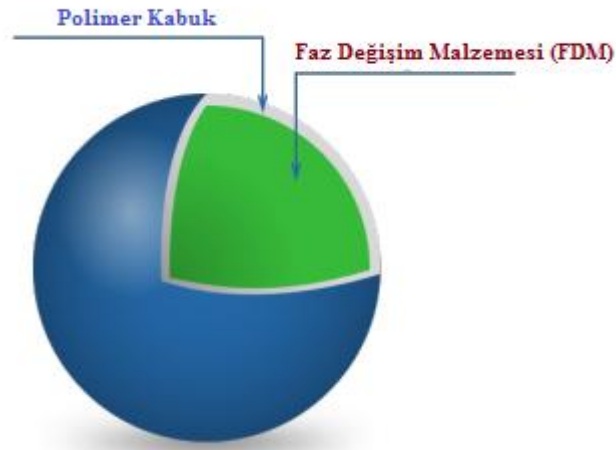
FDM'ler polimer maddeler içerisinde iki şekilde depolanabilirler. Bunlar;

- Makrokapsülleme
- Mikrokapsülleme yöntemidir.

Bu yöntemlerin karşılaştırılması yapıldığında mikrokapsülasyon yöntemi makrokapsülasyon yöntemine göre daha kullanışlı ve avantajlı bir yöntemdir.

### 2.10.1. Mikroenkapsülasyon

Mikroenkapsülasyon işlemi, faz değişim özelliği gösteren bir maddenin çekirdek materyali olarak polimer kabuk yapısı ile kapsüllenmesidir. Bu işlemle üretilen kapsüllerin tanecik boyutları mikrometre seviyelerindedir. Enkapsülasyon yöntemi ile üretilen mikrokapsüllerin genel görünümü Şekil 2.15’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.15.** Mikroenkapsülasyon yöntemi hazırlanan kapsüllerin genel görünümü.

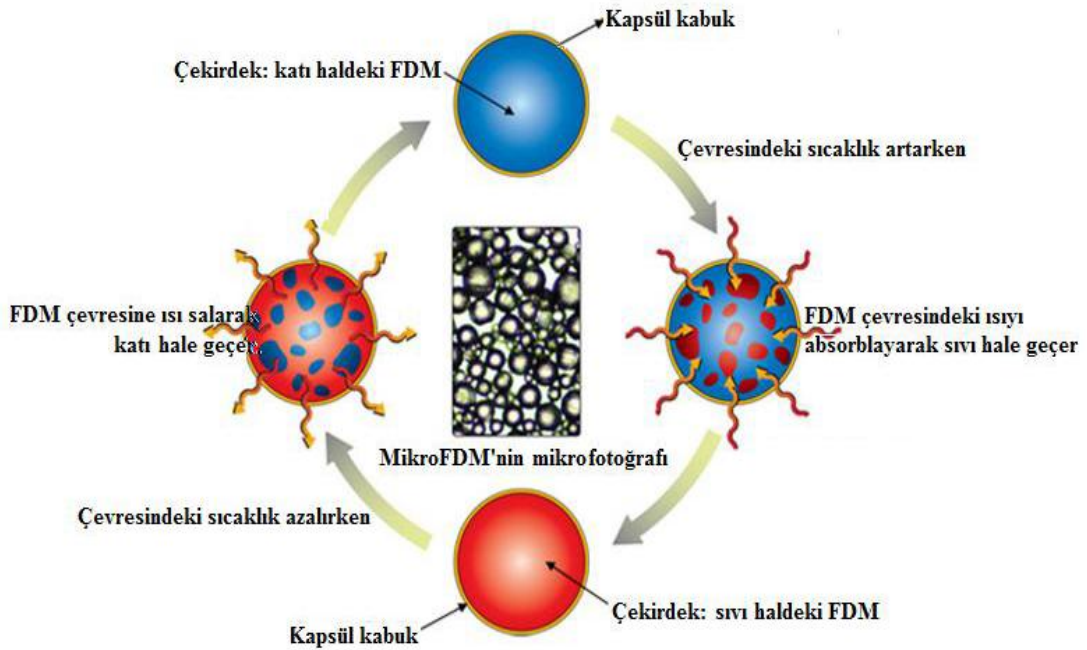
Faz değişim malzemeleri faz değiştirme sıcaklıklarında akma problemi göstermeleri sebebiyle mikroenkapsüle edilmeleri gerekmektedir. Mikroenkapsülasyon işleminde çekirdek malzemesi olarak parafin türevleri, yağ asitleri, yağ alkolleri ve PEG’ler kullanılmaktadır [85]. FDM’lerin kapsüllenmesinde kabuk materyali olarak farklı kimyasal yapılarda polimerler kullanılmaktadır. Faz değişim malzemeleri düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemelerdir, bu malzemeler mikroenkapsüle edildiklerinde ısı iletim katsayılarının artması gibi avantajlar sağlanabilmektedir. Ek olarak mikroenkapsüle edilmiş FDM’lerde yüzey-hacim oranının artmasına bağlı olarak ısı transfer özellikleri de geliştirilmektedir [86].

Hazırlanan mikroFDM’lerin sahip olması gereken özellikler;

- Mikrokapsül boyutunun 100 mikron ve altı olmalıdır,
- Tüm mikrokapsül taneciklerinin benzer boyutlar olması, üniform olması,
- Hazırlanan mikrokapsülün mekanik ve fiziksel dayanımının yüksek olması,

- Çekirdek/duvar oranının belirlenen düzeyde sağlanabilmesi
- Çekirdek madde hacminin mümkün olduğunca fazla olması,
- Kullanılan kabuk malzemenin dayanıklı olması,
- Faz değişim sıcaklık aralığında akma problemi göstermemesi,
- Kullanılan kabuk malzemesinin ısıyı iyi iletmesi gerekmektedir.

MikroFDM çalışma prensibi Şekil 2.16'da yer almaktadır. Kapsülennmiş olan katı FDM, çevresindeki sıcaklık artışı ile ısıyı absorblar ve sıvı hale geçer. Daha sonra sıvı haldeki FDM, çevresindeki sıcaklığın azalması ile tekrar katı forma dönüşür. Bu döngü ile birlikte mikroFDM enerji depolar, ihtiyaç halinde depoladığı bu enerjiyi ortama verir.



**Şekil 2.16.** Mikroenkapsülasyon yöntemi hazırlanan kapsüllerin genel çalışma prensibi [87].

## 2.11. Faz Değişim Malzemelerin Kullanım Alanları

Günümüzde akademik ve teknolojik alanlarda yapılan çalışmalar sonucunda ısı enerjisi depolama alanlarında kullanılabilecek birçok malzeme bulunmaktadır. Halihazırda kullanılan malzemeler uygun faz değişim sıcaklığına ve entalpisine sahip, kimyasal ve mekanik olarak dayanıklı yapılardır. Ancak ısı enerjisi depolama alanlarında kullanılmak üzere yeni tip FDM'lerin geliştirilmesi konusunda çalışmalar sürmektedir. Yapılan çalışmalarda yeni tip FDM'ler hazırlanırken bu malzemelerin ısı enerjisi depolama verimlerinin artırılmasına, akma problemlerinin giderilmesi ile ilgilidir. Şekil 2.17'de FDM'lerin uygulama alanları liste halinde verilmektedir.

1	Soğutma: Kurulu gücün azaltılması
2	Gıda, şarap ve süt ürünlerinin soğuk tutulması
3	Motorların soğutulması: elektrikli ve içten yanmalı motorlar
4	Isınma ve kullanma sıcak suyu
5	Tıbbi uygulamalar: Kan, ilaç, vb. taşınması
6	Binalarda pasif ısı depolama
7	Yaşam ortamlarında sıcaklığın sabit tutulması
8	Kimyasal reaksiyonlarda ekzotermik piklerin etkisinin azaltılması
9	Güneş enerjisinin termal depolanması
10	Arabalarda termal konfor
11	Elektrikli aletlerin termal korunması
12	Uzay mekiği termal uygulamaları
13	Sıcak ve soğuk iklim kıyafetler

Şekil 2.17. FDM'lerin ana kullanım alanları [88].



Sıcak gıda ürünlerinin taşınmasında ve muhafazasında



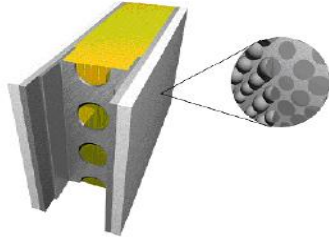
Elektronik cihazların Soğutulmasında



Sağlık uygulamalarında kan numuneleri ve organ taşınacılığı



Çeşitli tekstil türlerinde



Binaların ısıtılması ve soğutulması işlemlerinde



İnşaat sektöründe yalıtım amacıyla



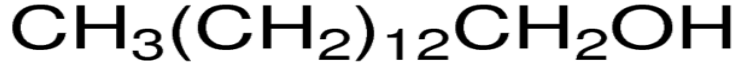
Seraların iklimlendirilmesinde

**Şekil 2.18.** Isıl enerji depolama sistemlerinin kullanılabildiği alanlar [89,90].

### 3.MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Deneylerde Kullanılan Kimyasal Malzemeler

##### Tetradekanol



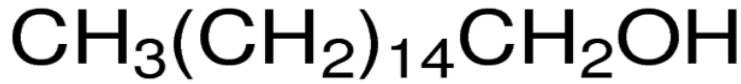
Üretici Firma :Alfa Aesar

Kapalı Formülü : C<sub>14</sub>H<sub>30</sub>O

Molekül Ağırlığı : 214,39 g/mol

Erime Noktası : 35-39 °C

##### Hekzadekanol



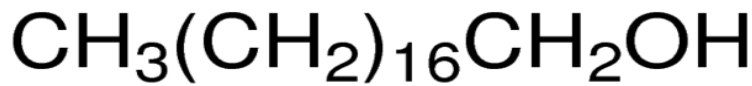
Üretici Firma :Alfa Aesar

Kapalı Formülü : C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>O

Molekül Ağırlığı : 242,44 g/mol

Erime Noktası : 48-50 °C

##### Oktadekanol



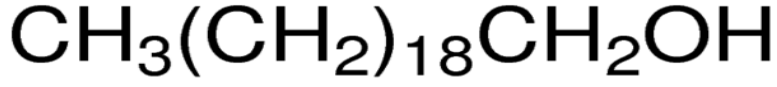
Üretici Firma :Alfa Aesar

Kapalı Formülü : C<sub>18</sub>H<sub>38</sub>O

Molekül Ağırlığı : 270,49 g/mol

Erime Noktası : 56-59 °C

### Eikosanol



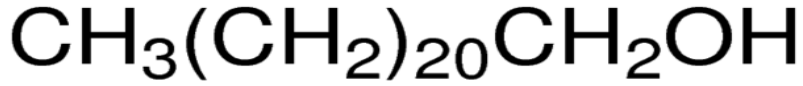
Üretici Firma :Alfa Aesar

Kapalı Formülü :  $\text{C}_{20}\text{H}_{42}\text{O}$

Molekül Ağırlığı : 298,55 g/mol

Erime Noktası : 62-65°C

### Dokosanol



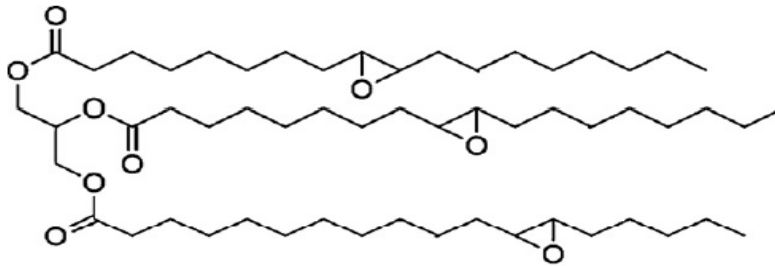
Üretici Firma :Alfa Aesar

Kapalı Formülü :  $\text{C}_{22}\text{H}_{46}\text{O}$

Molekül Ağırlığı : 326,60 g/mol

Erime Noktası : 65-72°C

### Epokside Soya Yağı



Üretici Firma :İldeş Kimya

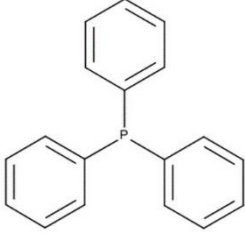
Molekül Ağırlığı : 326,60 g/mol

Yoğunluk (20 °C'de) : 0.994 g/cm<sup>3</sup>

Kaynama Noktası : 150°C

Epoksi İçeriği : 4,13 mol/kg

### **Trifenilfosfin**



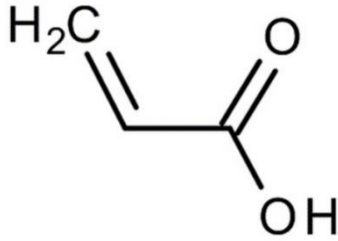
Üretici Firma :Sigma Aldrich

Kapalı Formülü : (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>P

Molekül Ağırlığı : 262,29 g/mol

Erime Noktası : 79-81°C

### **Akrilik Asit**



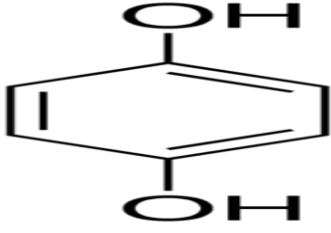
Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü : CH<sub>2</sub>=CHCOOH

Molekül Ağırlığı : 72,06 g/mol

Erime Noktası : 13°C

### Hidrokinon



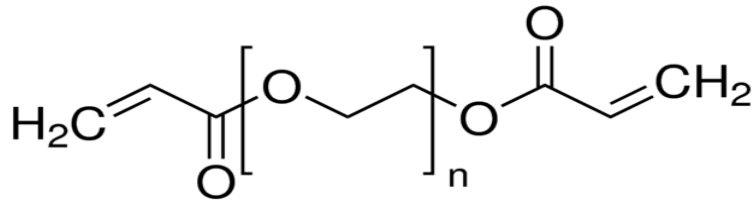
Üretici Firma : Merck

Kapalı Formülü :  $C_6H_4-1,4-(OH)_2$

Molekül Ağırlığı : 110.11 g/mol

Erime Noktası : 172-175 °C

### Poli etilen glikol diakrilat



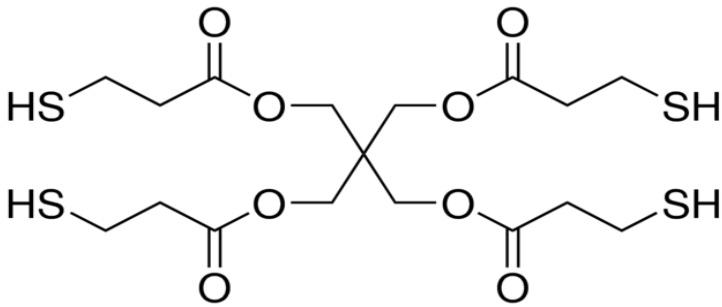
Üretici Firma : Sigma Aldrich

Ortalama  $M_n$  : 575 g/mol

Yoğunluk (25 °C) : 1.12 g/mL

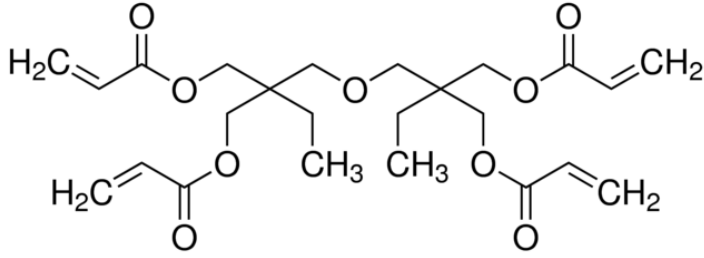
Viskozite (25 °C) : 57 cP

### Pentaeritritoltetrakis(merkaptopropiyonat)



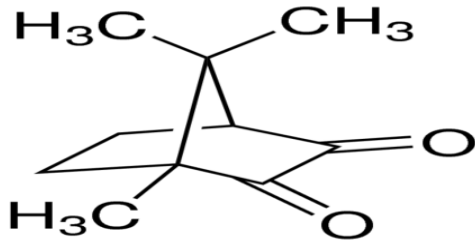
Üretici Firma : Sigma Aldrich  
Kapalı Formülü :  $(\text{HSCH}_2\text{CH}_2\text{COOCH}_2)_4\text{C}$   
Molekül Ağırlığı : 488,66 g/mol  
Yoğunluk (25 °C) : 1.28 g/mL

**Di(trimetilolpropan) tetraakrilat**



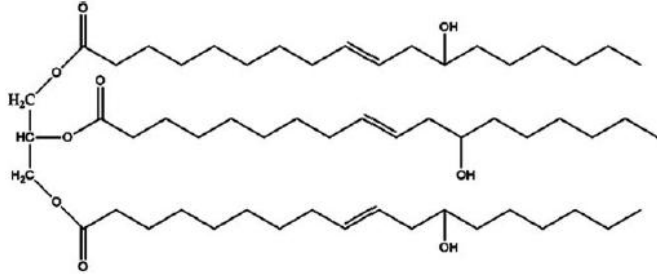
Üretici Firma : Sigma Aldrich  
Kapalı Formülü :  $[(\text{H}_2\text{C}=\text{CHCO}_2\text{CH}_2)_2\text{C}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CH}_2]_2\text{O}$   
Molekül Ağırlığı : 466,52 g/mol  
Yoğunluk (25 °C) : 1.101 g/mL

**Kamforkinon (CQ)**



Üretici Firma : Sigma Aldrich  
Kapalı Formülü :  $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_2$   
Erime Noktası : 197-203°C

## Hint Yağı



Üretici Firma : Sigma Aldrich

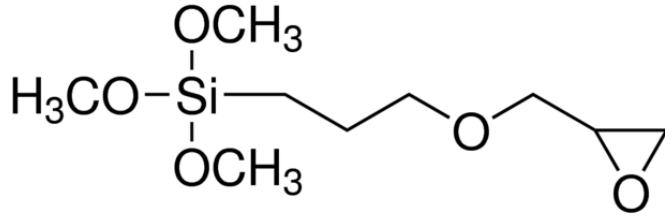
Renk : Açık sarı

Erime Noktası : -10 °C

Kaynama Noktası : 313 °C

Yoğunluk (25 °C) : 0.95 g/mL

## (3-Glisidiloksipropil) trimetoksisilan (GOTMS)



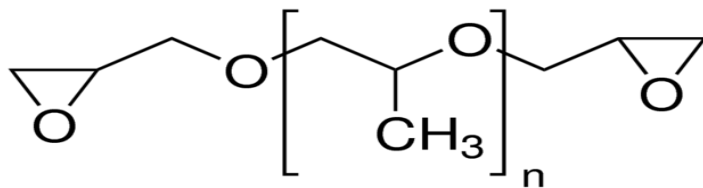
Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü : C<sub>9</sub>H<sub>20</sub>O<sub>5</sub>Si

Molekül Ağırlığı : 236,34 g/mol

Yoğunluk (25 °C) : 1.07 g/mL

## Poli (propilen glikol) diglisidil eter (PPGDE)

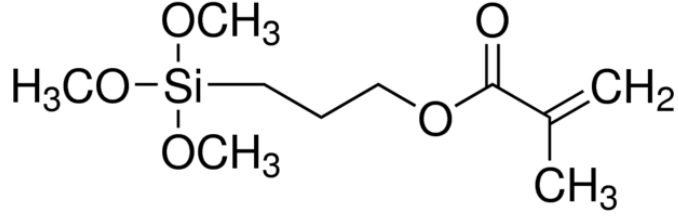


Üretici Firma : Sigma Aldrich

Ortalama  $M_n$  : 640 g/mol

Yoğunluk (25 °C) : 1.06 g/mL

**3-(Trimetoksisilil) propilmetakrilat (MEMO)**



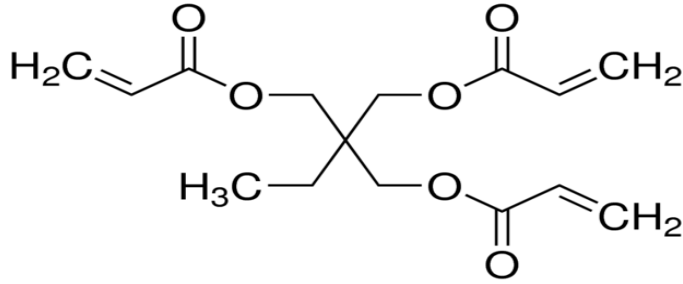
Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü :  $H_2C=C(CH_3)CO_2(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$

Molekül Ağırlığı : 248,35 g/mol

Yoğunluk (25 °C) : 1.045 g/mL

**Trimetilolpropantriakrilat (TMPTA)**



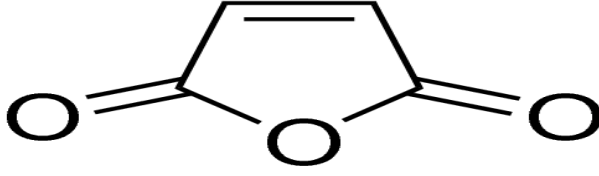
Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü :  $(H_2C=CHCO_2CH_2)_3CC_2H_5$

Molekül Ağırlığı : 296,32 g/mol

Yoğunluk (25 °C) : 1.1 g/mL

### Maleik anhidrit



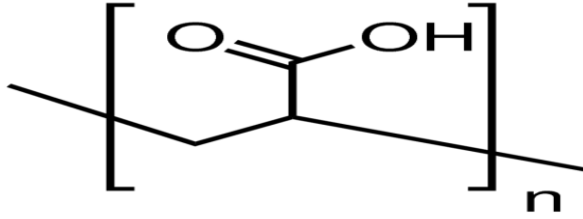
Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü : C<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Molekül Ağırlığı : 98,06 g/mol

Erime Noktası : 51-56 °C

### Poli (Akrilik Asit)

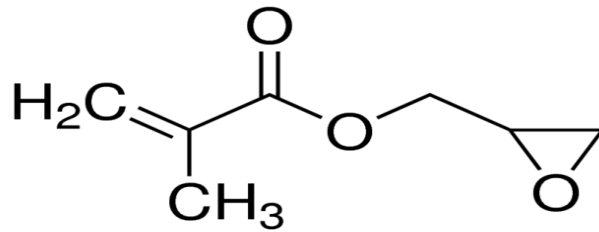


Üretici Firma : Sigma Aldrich

Ortalama Mv : 450000 g/mol

Camsı geçiş sıcaklığı : 106 °C

### Glisidil Metakrilat



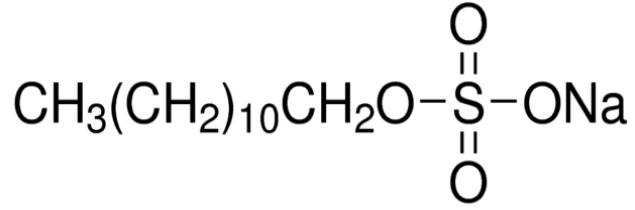
Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü : C<sub>7</sub>H<sub>10</sub>O<sub>3</sub>

Molekül Ağırlığı : 142,15 g/mol

Yoğunluk (25 °C) : 1.042 g/mL

### Sodyum Dodesil Sülfat (SDS)



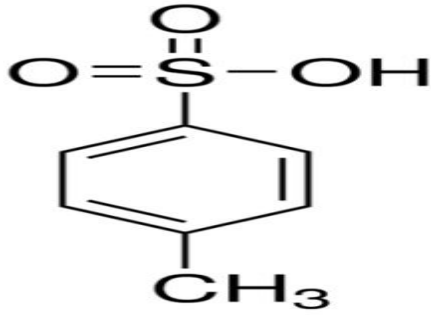
Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü :  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$

Molekül Ağırlığı : 288,38 g/mol

Erime Noktası : 204-207 °C

### p-Toluensülfonik asit (PTSA)



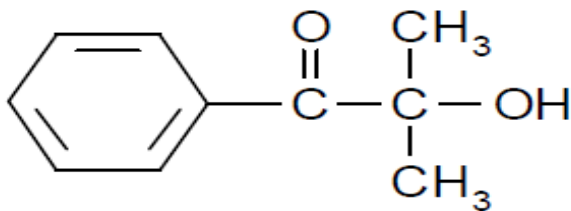
Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü :  $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$

Molekül Ağırlığı : 190,22 g/mol

Erime Noktası : 103-106 °C

### Darocure 1173



Üretici Firma : Ciba Specialty Chemicals

Açık Kimyasal İsmi : 2-Hidroksi-2-metil-1-fenil-propan-1-on

Molekül Ağırlığı : 164,2 g/mol

### **Hidroklorik Asit**

Üretici Firma : Sigma Aldrich

Molekül ağırlığı : 36,5 g/mol

Kapalı formülü : HCl

### **Sodyum Klorür**

Üretici Firma : Sigma Aldrich

Molekül ağırlığı : 58,44 g/mol

Kapalı formülü : NaCl

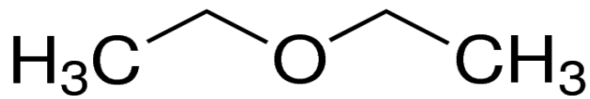
### **Magnezyum Sülfat**

Üretici Firma : Sigma Aldrich

Molekül ağırlığı : 120,37 g/mol

Kapalı formülü : MgSO<sub>4</sub>

### **Dietil Eter**

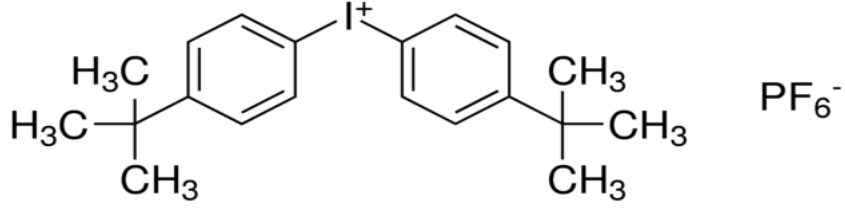


Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü : (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>O

Molekül ağırlığı : 74,12 g/mol

**Bis (4-terciyel-bütilfenil) idoniumhekzaflorofosfat**



Kullanım Amacı : Katyonik fotobaşlatıcı olarak kullanılmıştır.

Üretici Firma : Sigma Aldrich

Kapalı Formülü :C<sub>20</sub>H<sub>26</sub>F<sub>6</sub>IP

Molekül ağırlığı : 538,29 g/mol

## **3.2. DeneYlerde Kullanılan Cihazlar Ve Karakterizasyon Yöntemleri**

### **FT-IR Spektrofotometre (FT-IR)**

Sentezi yapılan malzemelerin kimyasal yapıları Perkin–Elmer Spectrum 100 ATR-FTIR spektrofotometre cihazı ile karakterize edilmiştir. FT-IR spektrumlar 400-4000 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralığında kaydedildi.

### **Termal Gravimetrik Analiz Cihazı (TGA)**

Her bir çalışma sonucunda elde edilen FDM malzemelerin termo-oksidatif kararlılık testleri, Perkin Elmer Pyris 1 model TGA cihazı ile yapılmıştır. Ölçümler azot atmosferinde 30°C-750°C sıcaklık aralığında 10 °C/dak ısıtma hızıyla yapılmıştır.

### **Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)**

Isıl enerji depolama kapasitesine sahip farklı kimyasal içerikli FDM malzemelerin hem erime, donma sıcaklıklarını hem de erime, donma entalpilerini belirlemek amacıyla Perkin Elmer Pyris Diamond markalı DSC cihazı kullanıldı.

### **Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)**

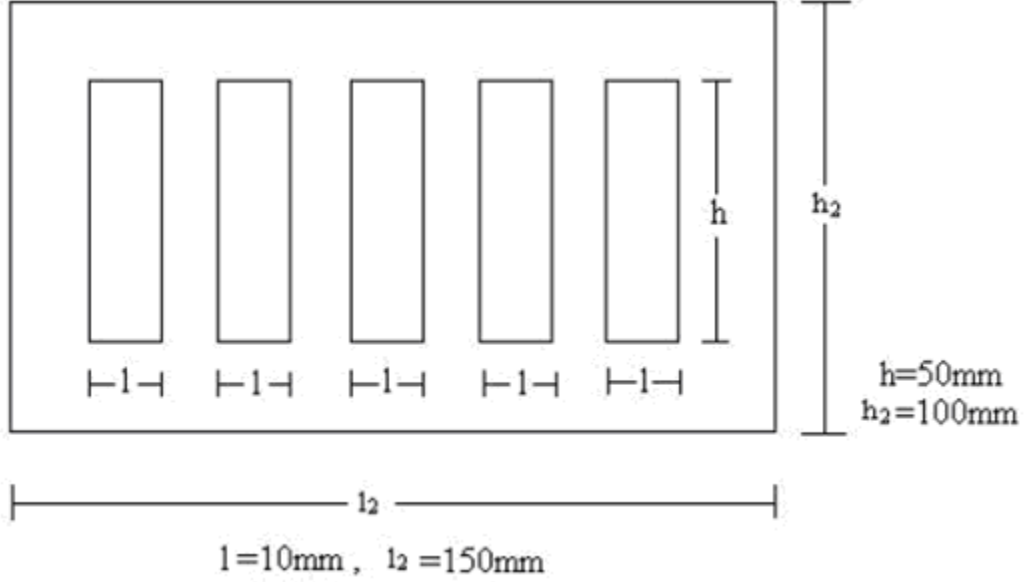
Farklı FDM içerikli kompozisyonlarda ısıl enerji depolama kapasitesine sahip kimyasal yapıların çarpaz bağlı polimerik yapı içerisinde dağılım özellikleri Phillips XL 30 ESEM-FEG cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz işlem öncesinde polimerik yapılar altın ile kaplandı ve SEM ile yüzey ve kırık yüzey incelemeleri gerçekleştirildi.

### **UV Lambası**

Çalışmalarda hazırlanan tüm polimerik yapıların çarpaz bağlama işlemi UV lambası kullanılarak yapılmıştır. Tüm çalışmalarda kuvars camdan, yüksek basınçlı cıva ark tüplü ve tungsten filamentten yapılmış Osram firmasına ait Ultrawit 300 markalı, 300 Watt gücünde UV lambası kullanıldı.

### **Teflon Kalıp**

Şekil 3.1 de görülen 150 mm x 100 mm x 5 mm ebatlarındaki teflon kalıp üzerinde 50 mm x 10 mm x 1 mm ebatlarında bölmeler mevcuttur. Bu kalıp bölmelerine hazırlanan FDM formülasyonları dökülerek UV-ışınları ile sertleştirmek için tasarlanmıştır.



**Şekil 3.1.** UV-ışınları ile FDM formülasyonlarını sertleştirmek için kullanılan teflon kalıp.

### 3.3. Deneysel Çalışmalar

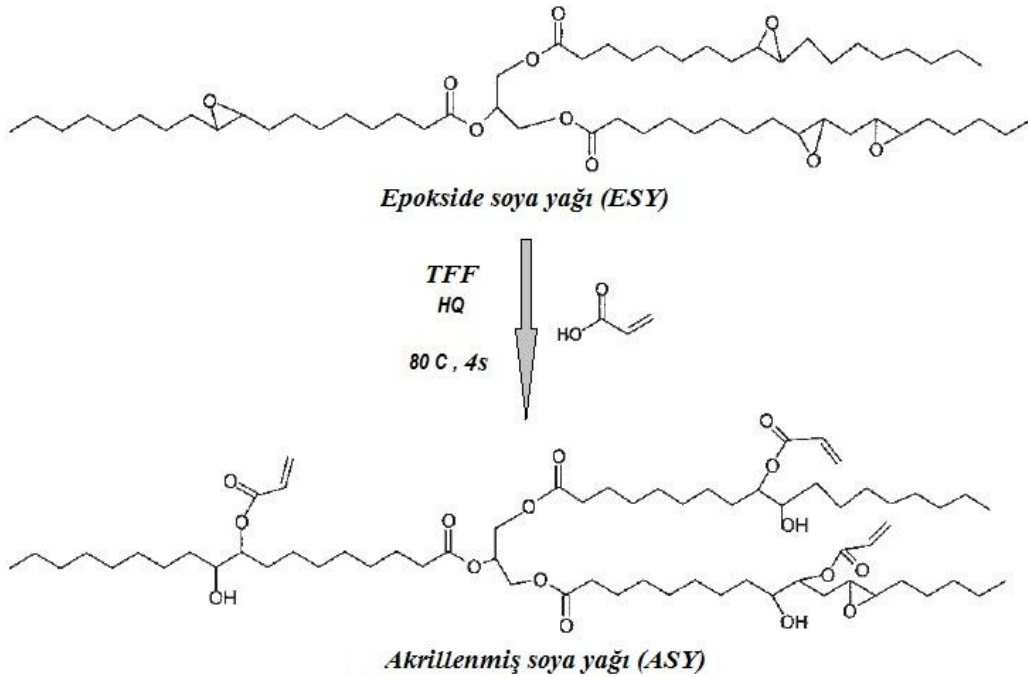
Tez kapsamında 4 farklı deneysel çalışma yapılmıştır ve yapılan çalışmalar aşağıdaki sıralama ile sunulacaktır;

- 1.çalışmada epokside soya yağı akrilik asit ile akrillenmiştir. Akrillenmiş soya yağı ve farklı yağ alkollerini içeren 4 farklı formülasyon hazırlanmıştır. Hazırlanan formülasyonlar UV ışınları ile foto çapraz bağlanmıştır. Çapraz bağlanmış faz değişim özelliği gösterebilen serbest filmlerin termal ve ısı enerji depolama kapasitesi değerleri karakterize edilmiştir. Çalışma madde (3.3.1.) ‘de sunulmuştur.
- 2.çalışmada tiyol-en fotopolimerizasyonu ile faz değişim özelliği gösterebilen yağ alkollerini içeren 4 farklı formülasyon hazırlanmıştır. Hazırlanan formülasyonlar UV ışınları ile foto çapraz bağlanmıştır. Hazırlanan serbest filmlerin ısı enerji depolama kapasite değerleri diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ile analiz edilmiştir. Çalışma madde (3.3.2.) ‘de sunulmuştur.
- 3.çalışmada UV ışınları ile foto çapraz bağlanabilen organik-inorganik hibrit faz değişim malzemelerinin sentezi yapılmıştır. Bu çalışmada iç içe geçmiş polimerik yapılar elde edilmiştir. 2 farklı monomerik yapı hem radikalik hem de katyonik UV polimerizasyonu ile polimerleştirilmiştir. Ağ yapılı polimer matriks içerisine faz değişim özelliği gösterebilen yapılar katılmıştır. Çalışma madde (3.3.3.) ‘de sunulmuştur.
- 4.çalışmada UV ışınları ile foto çapraz bağlanabilen mikroenkapsüle edilmiş faz değişim malzemelerinin sentezi yapılmıştır. Bu çalışmada emülsiyon yöntemi kullanılarak çekirdeğinde yağ alkolü bulunan kabuğunda ise akrilik polimerler bulunan mikrokapsüller sentezlenmiştir. Hazırlanan mikrokapsüller faz değişim özelliği gösterebilen yapıdadır. Çalışma madde (3.3.4.) ‘de sunulmuştur.

### 3.3.1. Soya yağı esaslı fotoçapraz bağlanmış faz değişim malzemelerinin hazırlanması

#### 3.3.1.1. Epokside soya yağının akrilik asit ile akrillenmesi

1. çalışmada epokside soya yağının (ESY) akrillenmesi için akrilik asit kullanılmıştır. Bu reaksiyon ilgili literatür kullanılarak yapılmıştır [91].100ml'lik üç boyunlu balon içerisine 30 gr epokside soya yağı, 0,3 gr trifenilfosfinoksit ve 0,005 g hidrokinon eklenmiştir. Tüm kimyasalların çözünmesi sağlandıktan sonra damlatma hunisi ile 10,67 g akrilik asit sisteme damla damla eklenmiştir. Akrilik asitin eklenmesi yaklaşık 1 saat içinde gerçekleştirildi. Reaksiyon mekanik karıştırıcı ile 4 saat boyunca 80 °C'de karıştırıldı. Reaksiyon sonucunda elde edilen ürün vizkos sıvı halde idi. Reaksiyonun yürüyüşü, belirli zamanlarda reaksiyon ortamından alınan örneklerde, epoksi grubunun akrilik asitle olan reaksiyonu ATR-FTIR spektrumundan takip edilerek izlenmiştir. Akrillenmiş soya yağının (ASY) reaksiyonu Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.2. Epokside soya yağının akrillenme reaksiyonun şeması.

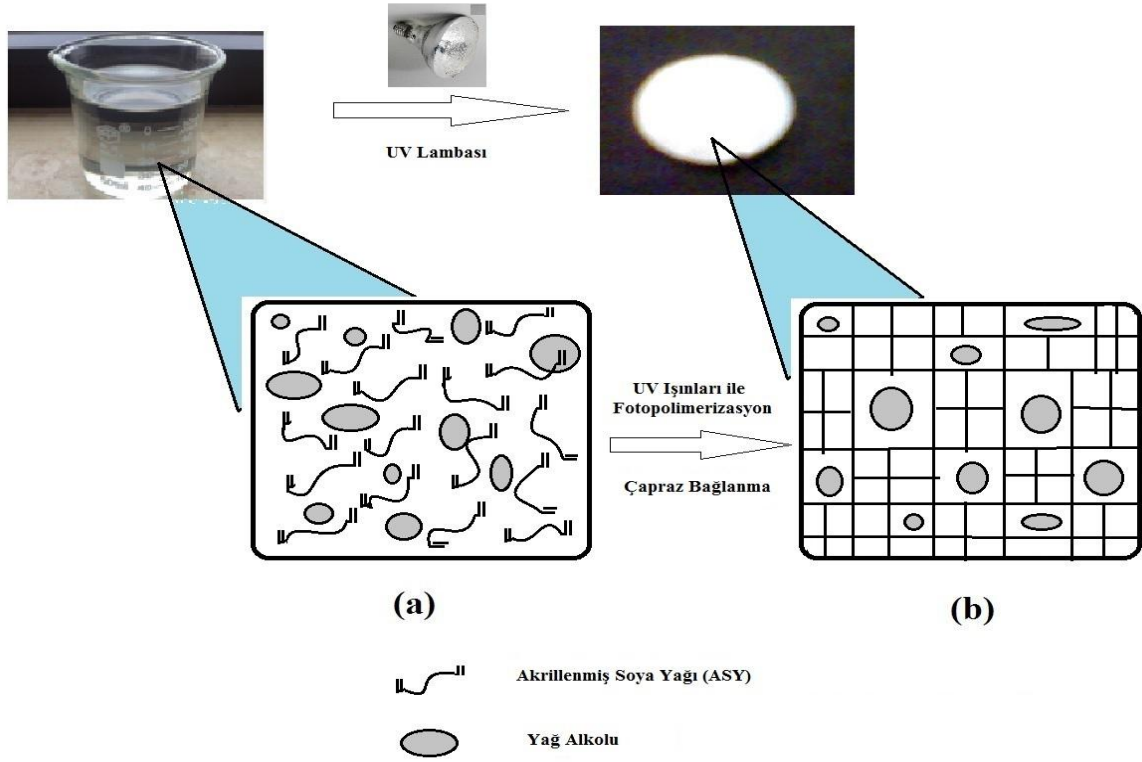
### 3.3.1.2. UV ışınları ile foto çapraz bağlanan ASY-yağ alkolü faz değişim malzemesi formülasyonlarının hazırlanması

Çapraz bağlı kompozitFDM'leri hazırlamak için akrillenmişepokside soya yağının içerisine farklı karbon sayısına sahip yağ alkollerini (Oktadekanol (18 karbon), Eikosanol (20 karbon),Dokosanol (22 karbon)) ve fotobaşlatıcı olarak Darocure 1173 katılarak UV ışınları ile kuruyabilen çeşitli faz değişim malzemeleri hazırlandı. Belirli miktarlarda AESO ve yağ alkolü içeren bu formülasyonlar toplam madde miktarı 0.75 g olacak şekilde birbirleriyle karıştırıldı. Hazırlanan formülasyonlardaki yağ alkollerinin eritilmesi için karışımlar 80 °C'deki vakum etüvünde 5 dk süreyle tutuldu.Tablo3.1'de hazırlanan FDM'lerin kompozisyonları görülmektedir.

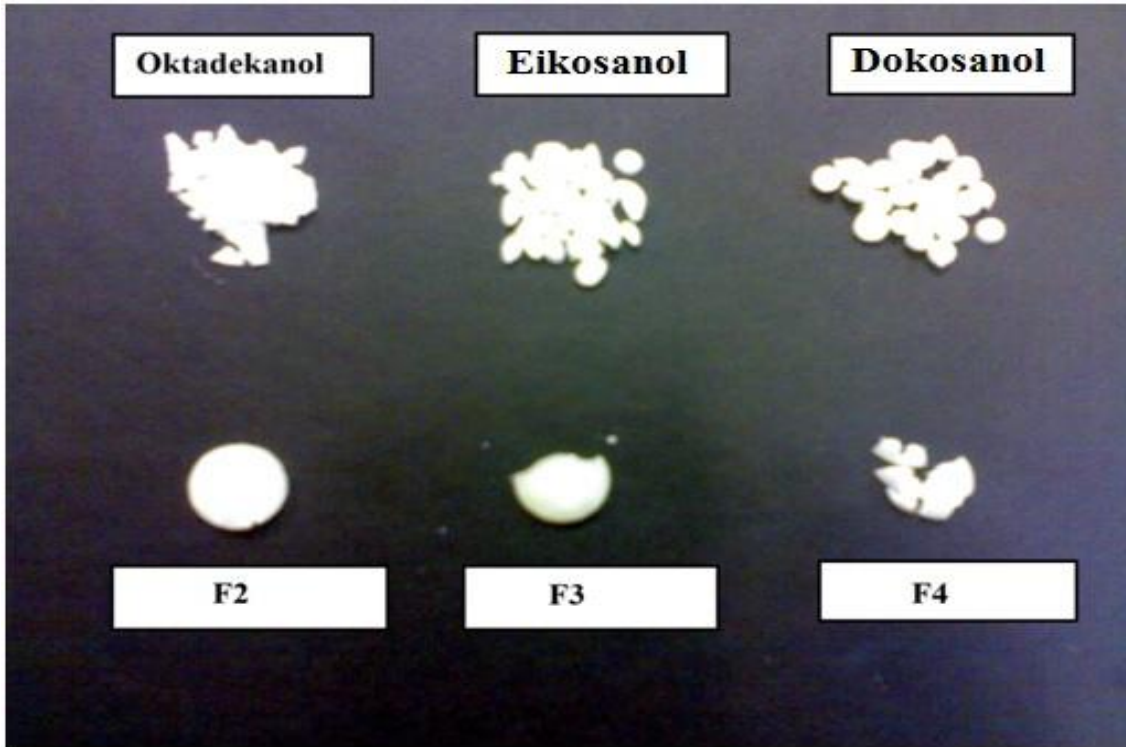
**Tablo 3.1.** Faz değişim özelliği gösteren kompozit malzeme formülasyonları.

<b>FDM Örnekleri</b>	<b>ASY (g)</b>	<b>Oktadekanol (g)</b>	<b>Eikosanol (g)</b>	<b>Dokosanol (g)</b>	<b>Darocure 1173 (g)</b>
F1	0,50	-	-	-	0,015
F2	0,50	0,25	-	-	0,023
F3	0,50	-	0,25	-	0,023
F4	0,50	-	-	0,25	0,023

Hazırlanan sıvı formdaki formülasyonlar teflon kalıplar üzerine dökülmüştür. Teflon kalıp üzerine poliester film örtülerek UV ışığı altında 180 saniye boyunca bekletilmiştir. UV ışınları ile foto çapraz bağlanma işlemi Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi faz değişim özelliği ile ısı enerjisi depolayabilen yağ alkollerini çapraz bağlı polimerik matriks içerisinde hapsedilmiş durumdadır. UV ışınları ile çapraz bağlanmış yapıdaki FDM'lerin görüntüsü Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Akrillenmiş soya yağının temel FDM hazırlama aşamaları.



Şekil 3.4. UV ışınları ile sertleştirilen FDM'lerin genel görünümü.

### 3.3.2. Isıl enerji depolama kapasitesine sahip uv ışınları ile sertleştirilen tiyol-en esaslı faz değişim malzemelerinin hazırlanması

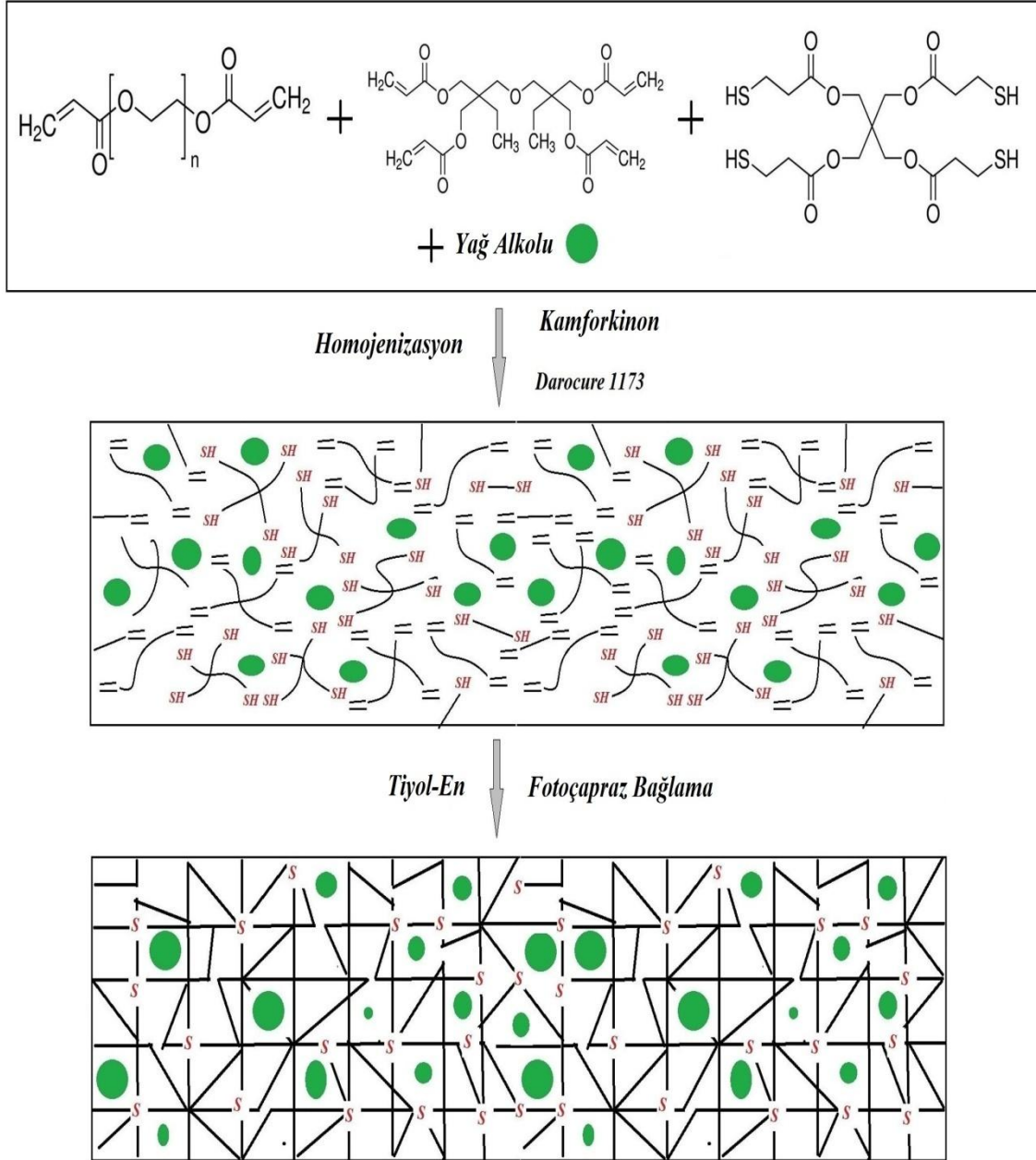
#### 3.3.2.1. Tiyol-En esaslı faz değişim malzemesi formülasyonlarının hazırlanması

Pentaerythritoltetrakis(3-mercaptopropionate)(4SH), polietilenglikol diakrilat (PEGDA), di(trimetilolpropan) tetraakrilat (TMPTA), farklı karbon sayısına sahip yağ alkolleri (Oktadekanol (18 karbon), Eicosanol (20 karbon), Docosanol (22 karbon)) ve fotobaşlatıcı olarak Darocure 1173 ve kamforkinon (CQ) katılarak UV ışınları ile kuruyabilen çeşitli faz değişim malzemeleri hazırlandı. Hazırlanan formülasyonlardaki yağ alkollerinin eritilmesi için karışımlar 80 °C'deki vakum etüvünde 5 dk süreyle tutuldu. Tablo 3.2'de hazırlanan FDM'lerin kompozisyonları görülmektedir.

**Tablo 3.2.** Isıl enerji depolama özelliği gösteren tiyol-enesaslı FDM formülasyonları.

Örnekler	PEGDA (mmol)	TMPTA (mmol)	4-SH (mmol)	CQ (mmol)	Darocure1173 (mmol)	Yağ Alkolu (g)
TMPTA / PEGDA/4-SH	0.52	1.50	1.75	0.09	0.09	-
TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Oktadekanol	0.52	1.50	1.75	0.09	0.09	0.5
TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Eikosanol	0.52	1.50	1.75	0.09	0.09	0.5
TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Dokosanol	0.52	1.50	1.75	0.09	0.09	0.5

Hazırlanan formülasyonlar teflon kalıplar üzerine dökülmüştür. Teflon kalıp üzerine poliester film örtülerek UV ışığı altında 180 saniye boyunca bekletilmiştir. UV ışınları ile foto çapraz bağlanma işlemi sonucunda oluşan ağsı yapı şematik olarak Şekil 3.5’de gösterilmektedir.

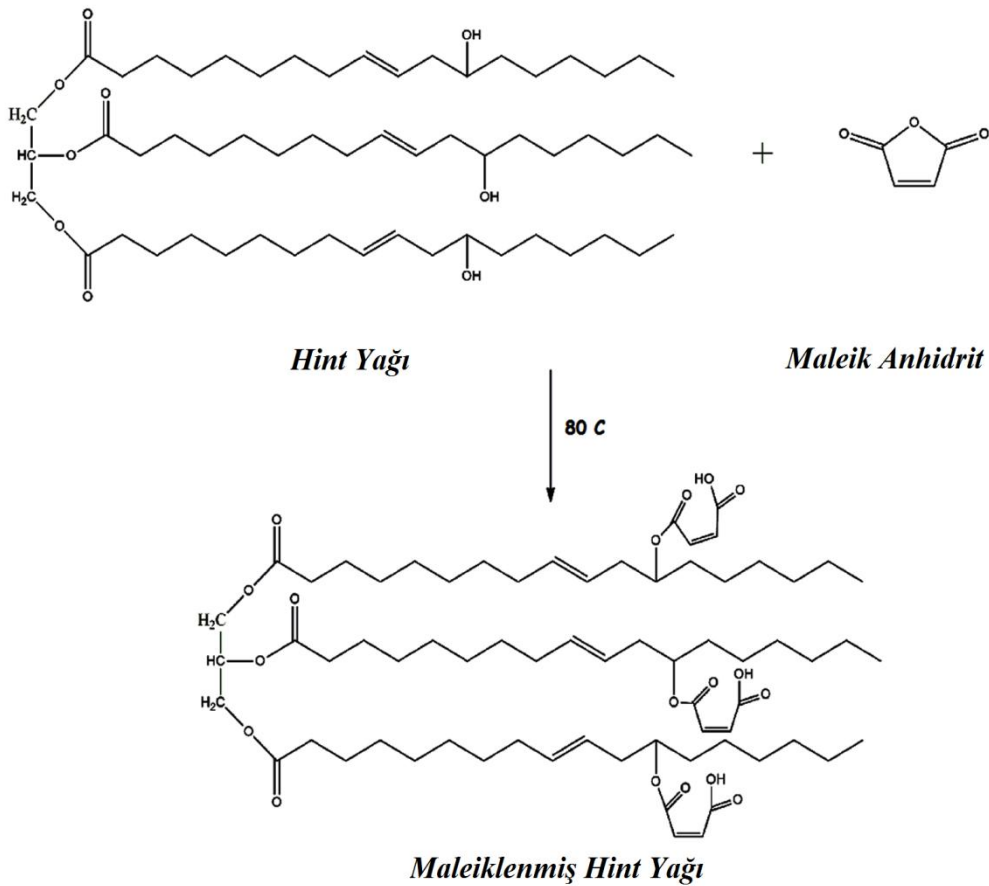


Şekil 3.5. Tiyol-En polimerizasyon yönteminin şematik gösterimi.

### 3.3.3. UV ışınları ile sertleşebilen iç içe geçmiş polimer ağı yapılı faz değişim malzemelerinin hazırlanması

#### 3.3.3.1. Hint yağının maleik anhidrit ile modifikasyonu reaksiyonu

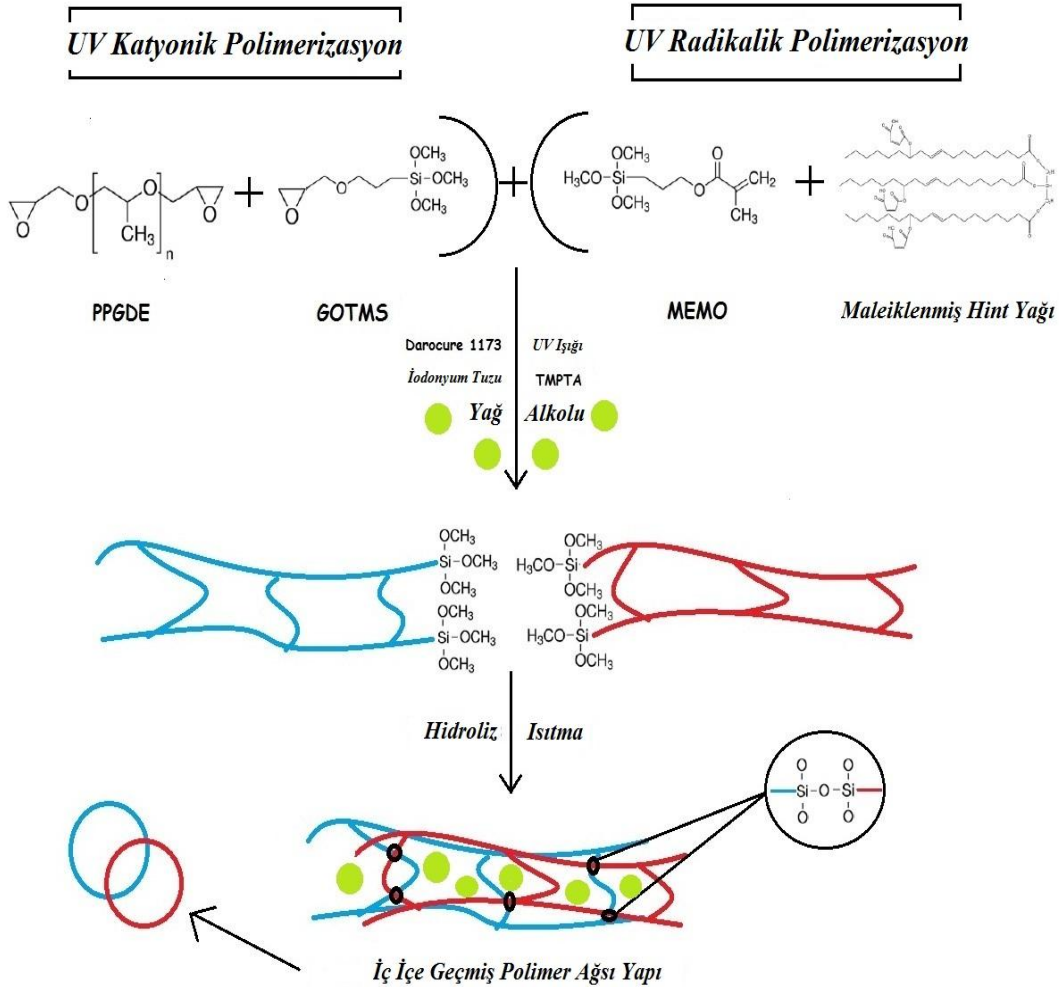
Bu çalışmada hint yağının maleik anhidrit ile reaksiyonu ilgili literatür kullanılarak yapılmıştır [92]. 100 ml'lik üç boyunlu balon içerisine 10 gr hint yağı ve 6,7 g maleik anhidrit eklenmiştir. Reaksiyon mekanik karıştırıcı ile 5 saat boyunca 80°C'de karıştırıldı. Reaksiyon sonucunda elde edilen ürün içerisinde reaksiyona girmemiş olan maleik anhidriti uzaklaştırmak için ürün sıcak NaCl çözeltisi ile yıkanmıştır. Elde edilen ürün dietil eter de çözüldü ve susuz magnezyum sülfat ile kurutuldu. Reaksiyonun yürüyüşü, ATR-FTIR spektrumundan takip edilerek izlenmiştir. Maleiklenmiş hint yağının reaksiyonu Şekil 3.6 'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Hint yağının maleiklenme reaksiyonu mekanizması.

### 3.3.3.2. UV ışınları ile foto çapraz bağlanan iç içe geçmiş polimerik ağ yapılı faz değişim malzemesi formülasyonlarının hazırlanması

Organik-inorganik hibrit FDM'lerin formülasyonu hem katyonik hem de radikalik polimerleşebilen bileşenleri içermektedir. Bu çalışmada; formülasyon içerisinde bulunan katyonik ve radikalik gruplar UV ışınları ile polimerleşebilmektedir. Katyonik ve radikalik gruplar polimerleştiğinde bu iki ağ yapısı belirli fonksiyonel gruplar üzerinden birbirine bağlanabilmekte ve iç içe geçmiş polimer ağ yapısını oluşturmuşlardır. İç içe geçmiş polimer ağ yapısının içerisinde faz değişim özelliği gösterebilen yağ alkollerini hapsolmuş durumdadırlar. Katyonik ve radikalik polimerleşme sonucunda oluşan iç içe geçmiş ağ yapısı Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. İç içe geçmiş polimer ağ yapısının şematik gösterimi.

Bu formülasyonu hazırlamak için maleiklenmiş hint yağı, (3-glisidiloksipropil) trimetoksisilan (GOTMS), poli (propilen glikol) diglisidil eter (PPGDE), trimetilolpropantriakrilat (TMPTA), 3-(trimetoksisilil) propilmetakrilat (MEMO), Darocure 1173, katyonik foto başlatıcı olarak iodyum tuzu ve karbon sayısına sahip yağ alkolleri Tetradekanol (14 karbon), Hekzadekanol (16 karbon), (Oktadekanol (18 karbon)katılarak UV ışınları ile kuruyabilen çeşitli faz değişim malzemeleri hazırlandı. Hazırlanan formülasyonlardaki yağ alkollerinin eritilmesi için karışımlar 80 °C'deki vakum etüvünde 5 dk süreyle tutuldu. Hazırlanan formülasyonlar UV-ışığı altında 180 saniye boyunca tutulmuş ve katı halde polimerik ağ yapılı faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır.Tablo3.3'de hazırlanan FDM'lerin kompozisyonları görülmektedir.

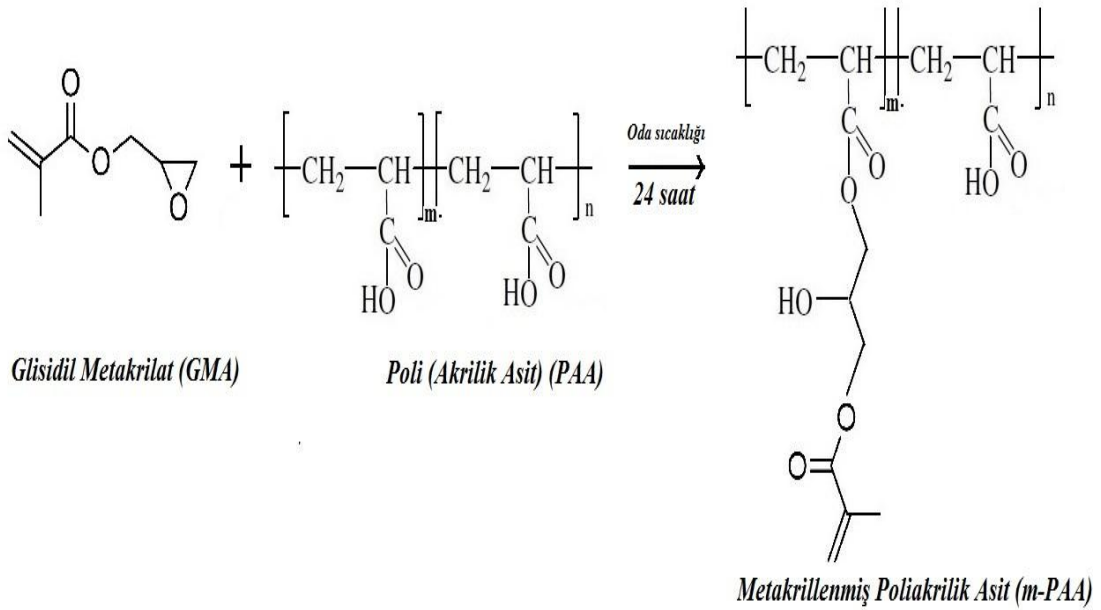
**Tablo 3.3.** İç içe geçmiş polimer ağ yapı formülasyonunun bileşenlerinin kütlece yüzdeleri (% kütle).

<b>ÖRNEKLER</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>GOTMS</b>	20	20	20	20
<b>PPGDE</b>	20	20	20	20
<b>Maleiklenmiş Hint Yağı</b>	10	10	10	10
<b>MEMO</b>	20	20	20	20
<b>TMPTA</b>	30	30	30	30
<b>İodyum Tuzu</b>	3	3	3	3
<b>Darocure 1173</b>	3	3	3	3
<b>Tetradekanol</b>	-	50	-	-
<b>Hekzadekanol</b>	-	-	50	-
<b>Oktadekanol</b>	-	-	-	50

### 3.3.4. Mikroenkapsülasyon yöntemi ile metakrillenmiş poli (akrilik asit) esaslı hibrit faz değişim malzemelerinin hazırlanması

#### 3.3.4.1. Metakrillenmiş poli(akrilik asit) (m-PAA) sentezi ve karakterizasyonu

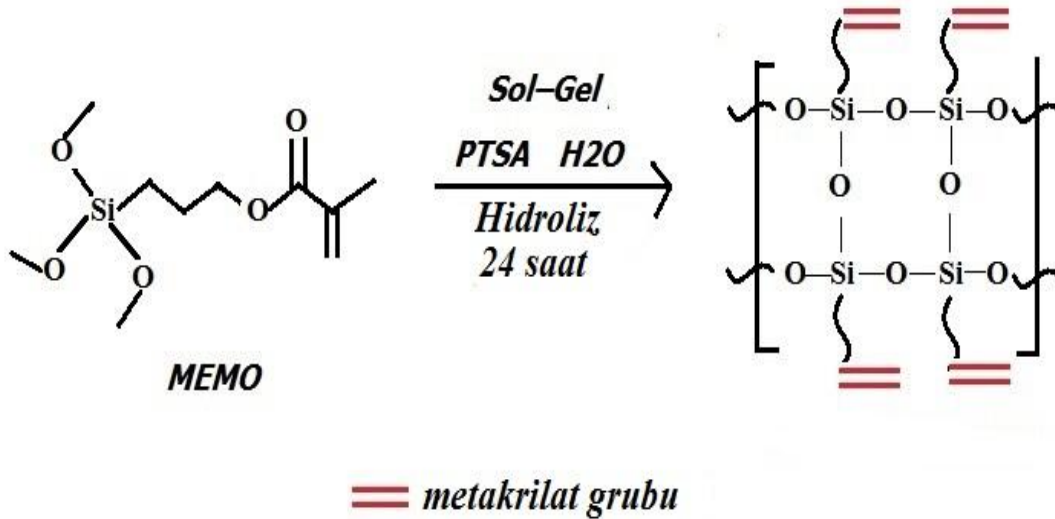
250 ml'lik 3 boyunlu balon, manyetik karıştırıcı, damlatma hunisi ve azot girişinden oluşan reaksiyon düzeneği kuruldu. Tüm reaksiyon düzeneği bek alevi ile kurutulurken ortamdaki nemin reaksiyonları olumsuz yönde etkilemesi engellendi. Balon içerisine azot atmosferi altında 10 g PAA ve 90 ml destile su yüklendi. Reaksiyon sıcaklığı 80 °C ye çıkarılarak PAA'nın tamamen çözünmesi sağlandı. Homojen bir karışım elde edilince reaksiyon düzeneği alüminyum folyo ile sarılarak istenmeyen yan reaksiyonların oluşması engellendi. Çözelti içerisindeki toplam karboksilik asit grubu sayısının %100'ü metakrilat gruplarıyla modifiye edilecek eş değer kütlede glisidilmetakrilat (GMA) azot atmosferi altında kontrollü bir şekilde eklendi. Ekleme işlemi bittikten sonra karıştırma işlemine 30 dakika daha devam edildi. Reaksiyon 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Ürün viskoz sıvı halde elde edilmiştir. Şekil 3.8'de m-PAA sentezi verilmiştir. Reaksiyonun yürüyüşü, belirli zamanlarda reaksiyon ortamından alınan örneklerde, esterleşme reaksiyonu ATR-FTIR spektrumundan takip edilerek izlenmiştir.



Şekil 3.8. Poliakrilik asidin metakrillenme reaksiyonu şematik gösterimi.

### 3.3.4.2.Sol-jel hazırlanması

Mikrokapsül malzemesinin kabuk kısmında kullanılmak üzere sol-jel hazırlanmıştır. Bu amaçla kahverengi 50 mL'lik bir şişede 0.012 mol (2.98 g) 3-metakriloksipropiltrimetiloksisilan (MEMO), 0.024 mol (0,43 g) deiyonize su, 0.012 mol (0,55 g) etanol karıştırılmış ve ortamın pH'ı 2 olana kadar p-toluensülfonik asit (~0.002 g gram) ilave edilmiş ve 12 saat süresince oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda karıştırılarak homojonize edilmiştir. Şekil 3.9'da sol-gel hazırlanması verilmiştir.



Şekil 3.9. Sol-Gel hazırlanmasının şematik gösterimi.

### 3.3.4.3. Mikrokapsül üretim aşamaları

2 farklı yağ alkolu içeren metakrillenmiş poli (akrilik asit) esaslı hibritmikrokapsülerin üretimi su içerisinde yağ emülsiyonu metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikrokapsül üretimi sırasında mekanik karıştırıcı 2000 dev/dak hızında çalışılmıştır. Mikrokapsül üretimi iki aşamada tamamlanmıştır. Mikrokapsül hazırlanmasında oktadekanol ve eikosanol yağ alkolleri kullanılmıştır.

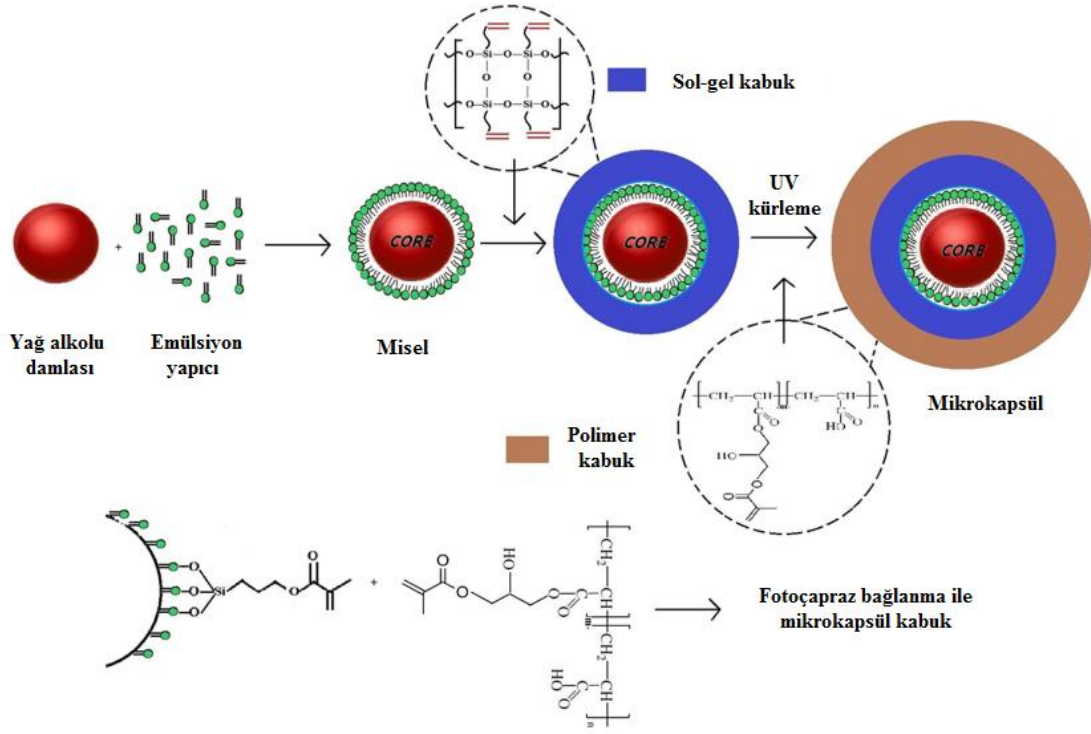
**1. Aşama:** 300 ml deionize su, 30 g yağ alkolu (FDM) ve 2 g SDS (yüzey aktif madde) ile karıştırılarak emülsiyon oluşturulmuştur. Yukarıdaki karışım, her iki yağ alkolu için ayrı ayrı erime sıcaklığında tüm yağ alkolu eriyinceye kadar karıştırılmıştır.

**2. Aşama:** Sentezi yapılan metakrillenmiş PAA, sol-gel, enkapsülasyonu yapılmış farklı karbon sayısına sahip yağ alkolleri (Oktadekanol (18 karbon), Eikosanol (20 karbon), ve fotobaşlatıcı olarak Darocure 1173 katılarak UV ışınları ile kuruyabilen çeşitli çeşitli faz değişim malzemeleri hazırlandı. Tablo 3.4' de hazırlanan FDM'lerin kompozisyonları görülmektedir.

**Tablo 3.4.** Hazırlanan mikrokapsülFDM'lerin kompozisyon tablosu.

<b>Örnekler</b>	<b>PAA-g-GMA (g)</b>	<b>OD (g)</b>	<b>EI (g)</b>	<b>Sol-gel (g)</b>	<b>Darocure 1173 (g)</b>
<b>Micro-PAA-OD1</b>	2	1	-	0,3	0,06
<b>Micro-PAA-OD2</b>	2	2	-	0,4	0,06
<b>Micro-PAA-EI1</b>	2	-	1	0,3	0,06
<b>Micro-PAA-EI2</b>	2	-	2	0,4	0,06
<b>Micro-PAA-OD-EI1</b>	2	0,5	0,5	0,3	0,06
<b>Micro-PAA-OD-EI2</b>	2	1	1	0,4	0,06

Hazırlanan mikrokapsül FDM'lerin şematik gösterimi Şekil 3.10'da yapılmaktadır.



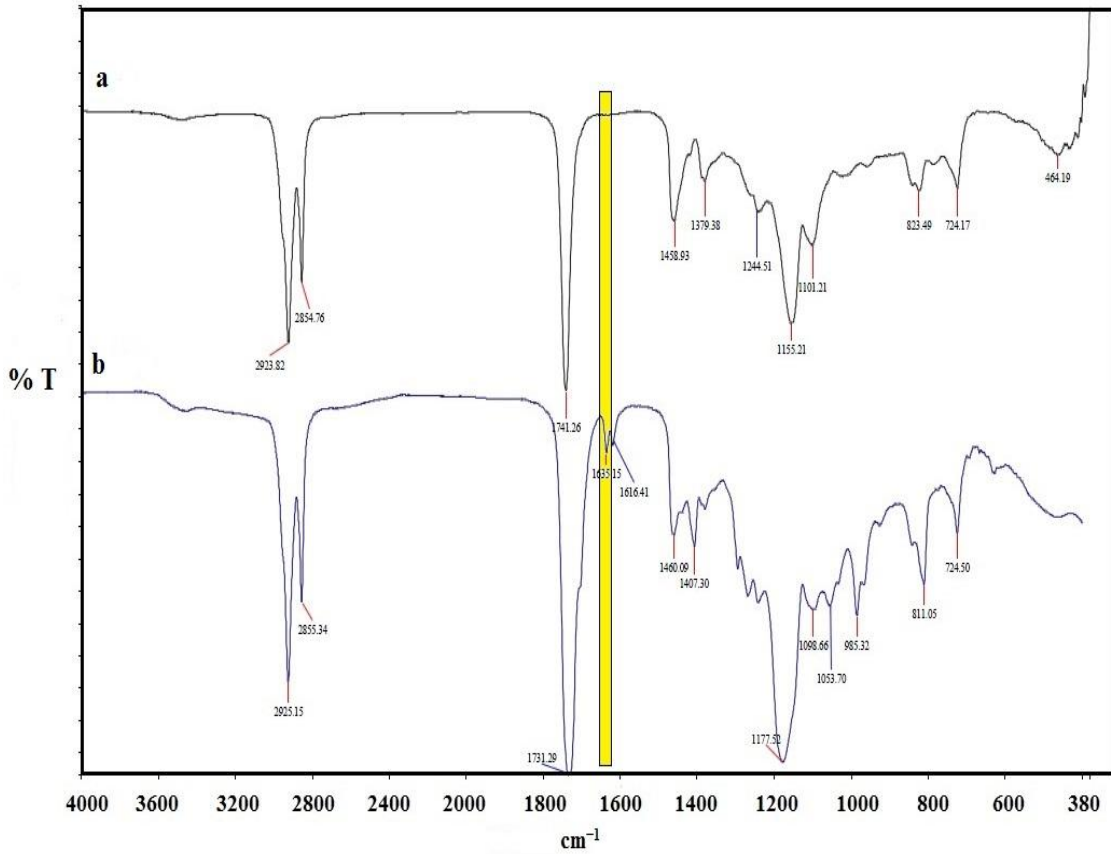
Şekil 3.10. Mikroenkapsülasyon işleminin şematik gösterimi.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1.Soya Yağı Esaslı Fotoçapraz Bağlanmış Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması

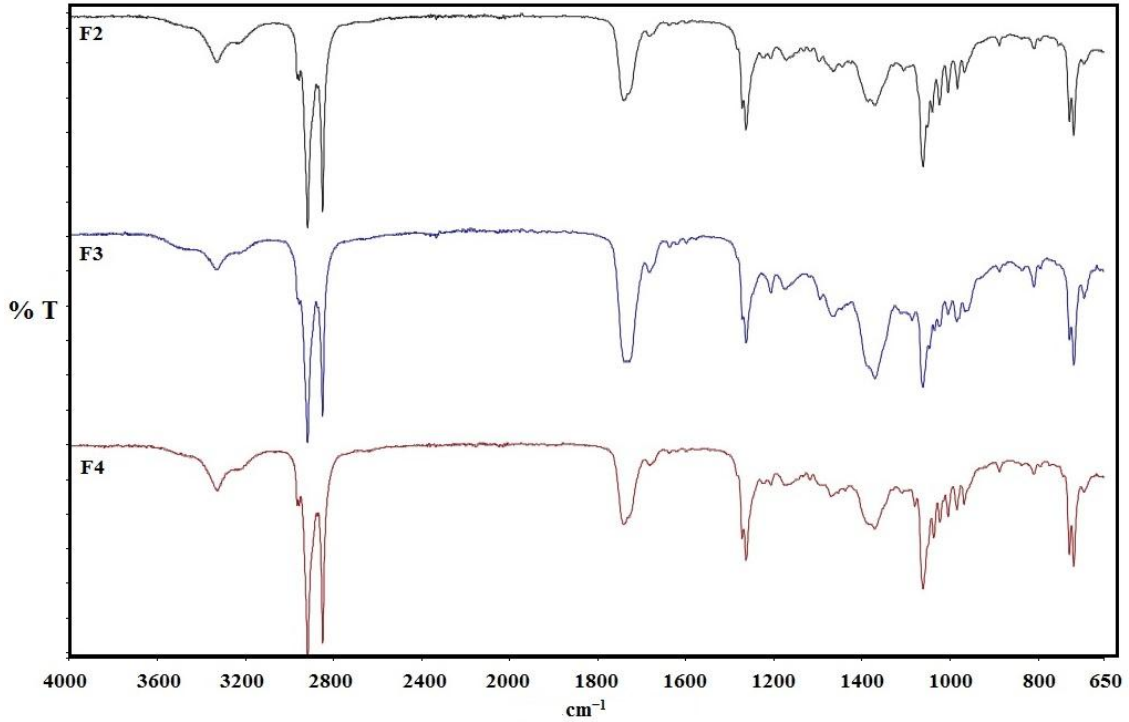
#### 4.1.1. Akrillenmiş soya yağının ve UV ışınları sertleştirilmiş faz değişim malzemelerinin (FDM) ATR-FTIR ile yapısal karakterizasyonu

Soya yağının akrillenmesi reaksiyonu için akrilik asit kullanılmıştır. Soya yağının reaksiyonu ATR-FTIR spektroskopileri ile karakterize edilmiştir. Soya yağının akrillenme reaksiyonuna ait ATR-FTIR spektrumları Şekil 4.1’de görülmektedir. Şekil 4.1’de (a) epokside soya yağı, (b) akrillenmiş soya yağına ait ATR-FTIR spektrumları verilmiştir. Şekil 4.1’de ki (a) spektruma bakıldığında epoksi grubuna ait olan ve epokside soya yağında  $835\text{ cm}^{-1}$ ’de [91,92] gözlenen band reaksiyonun tamamlanması ile Akrillenmiş soya yağına ait (b) spektrumunda görülmemektedir.



Şekil 4.1.(a) Epokside soya yağı, (b) akrillenmiş soya yağına ait ATR-FTIR spektrumu.

Soya yağına akrillenmesi reaksiyonu sonucunda akrilat grubunu üzerinde bulunduran ve UV ışınları ile etkileşip çapraz bağlı polimer ağ yapısını oluşturabilecek olan akrillenmiş soya yağı sentezlenmiştir. Sentezi yapılan akrillenmiş soya yağından UV ışınları ile foto çapraz bağlanabilen 3 farklı formülasyon hazırlanmıştır. Hazırlanan formülasyonlar içerisinde faz değişim özelliği sayesinde ısı enerjisi depolayabilen yağ alkolleri bulunmaktadır. Bu yağ alkolleri 18,20 ve 22 karbon sayısına sahip oktedekanol, eikosanol ve dokosanoldur. UV ışınları ile sertleştirilen FDM formülasyonlarının ATR-FTIR analizi ile yapısal karakterizasyonları yapılmıştır. Hazırlanan FDM'lere ait ATR-FTIR spektrumları Şekil 4.2'de görülmektedir. Şekil 4.2'de (a) epokside soya yağı, (b) akrillenmiş soya yağına ait ATR-FTIR spektrumları verilmiştir.



**Şekil 4.2.** UV-ışınları ile kurutulmuş FDM'lerin ATR-FTIR spektrumu (F2): oktedekanol, (F3) eikosanol ve (F4) dokosanol içeren FDM formülasyonları.

Şekil 4.2 'de ki FTIR spektrumu incelendiğinde tüm spektrumlarda olan 3327, 2916, 2848, 1470, 1370 ve 1040 cm<sup>-1</sup>'deki bandlar yağ alkollerine ait olan karakteristik piklerdir [93]. ATR-FTIR spektrumu incelendiğinde 3327 cm<sup>-1</sup>'de yağ alkollerinin (-OH) gruplarına ait gerilme piki, 2850 cm<sup>-1</sup>, 2916 cm<sup>-1</sup> ve 2950 cm<sup>-1</sup> de simetrik ve asimetrik yağ alkolü alkil zinciri (-C-H) gruplarına ait pikleri gözlemlenmektedir. Yağ

alkollerini içeren UV ışınları ile sertleştirilmiş FDM numuneleri katı formda serbest filmler halinde elde edilmiştir. Hazırlanan formülasyonlar UV-ışınları ile kurutulduktan sonra -C=C- grubunun  $1635\text{ cm}^{-1}$  [94] de verdiği gerilme titreşim bandı kaybolmuştur.

#### 4.1.2. Oktadekanol, eikosanol ve dokosanol içeren UV ışınları ile sertleştirilmiş faz değişim malzemelerinin (FDM) ısı enerjisi depolama kapasitelerinin karakterizasyonu

UV ışınları ile sertleştirilen soya yağı esaslı 3 farklı yağ alkolü içeren faz değişim malzemelerinin erime, donma sıcaklıkları ve erime, donma entalpileri diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ile karakterize edilmiştir. Tablo 4.1’de saf haldeki oktadekanol, eikosanol, dokosanol, F2, F3, F4 kodlu FDM’lere ait erime, donma sıcaklıkları ve erime, donma entalpileri verilmektedir.

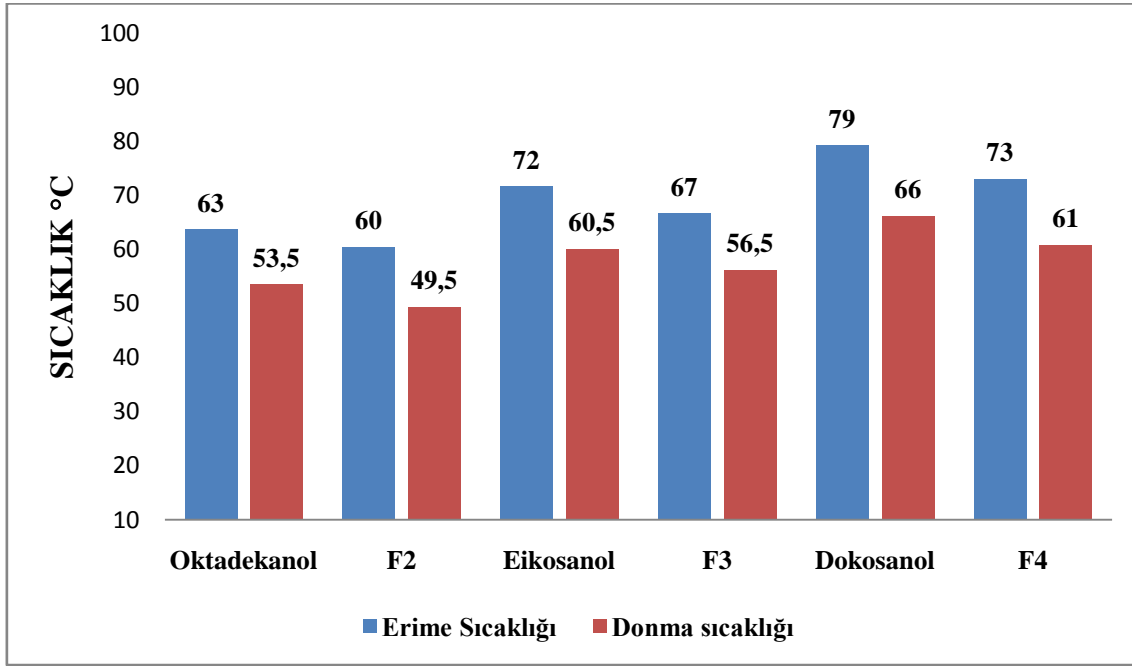
**Tablo 4.1.** Yağ alkollerinin ve UV-ışınları ile sertleştirilmiş malzemelerin faz değişim sıcaklıklarının ve entalpilerinin analizi.

Örnek	Erime noktası (°C)	Erime gizli ısısı (J/g)	Donma noktası 1. (°C)	2.Donma noktası 2. (°C)	Donma gizli ısısı (J/g)
<b>Oktadekanol</b>	63	254	51	56	-245
<b>Eikosanol</b>	72	260	58	63	-249
<b>Dokosanol</b>	79	268	64	68	-263
<b>F1</b>	-	-	-	-	-
<b>F2</b>	60	30	45	54	-18
<b>F3</b>	67	46	54	59	-41
<b>F4</b>	73	68	60	62	-70

Yapılan analizin amacı; yağ alkollerinin saf hallerinde göstermiş oldukları faz değişim özelliklerinin çapraz bağlanmış polimerik sistem içerisindeki durumlarıyla karşılaştırmaktır. DSC ısı analizleri, saf yağ alkollerini ve hazırlanan FDM’ler için 0-90 °C aralığında ve 10 °C/dakika ısıtma hızında yapıldı. DSC analizi ile bulunan termogramlarda erime ve donma piklerinin maksimum noktaları FDM’ler için erime ve

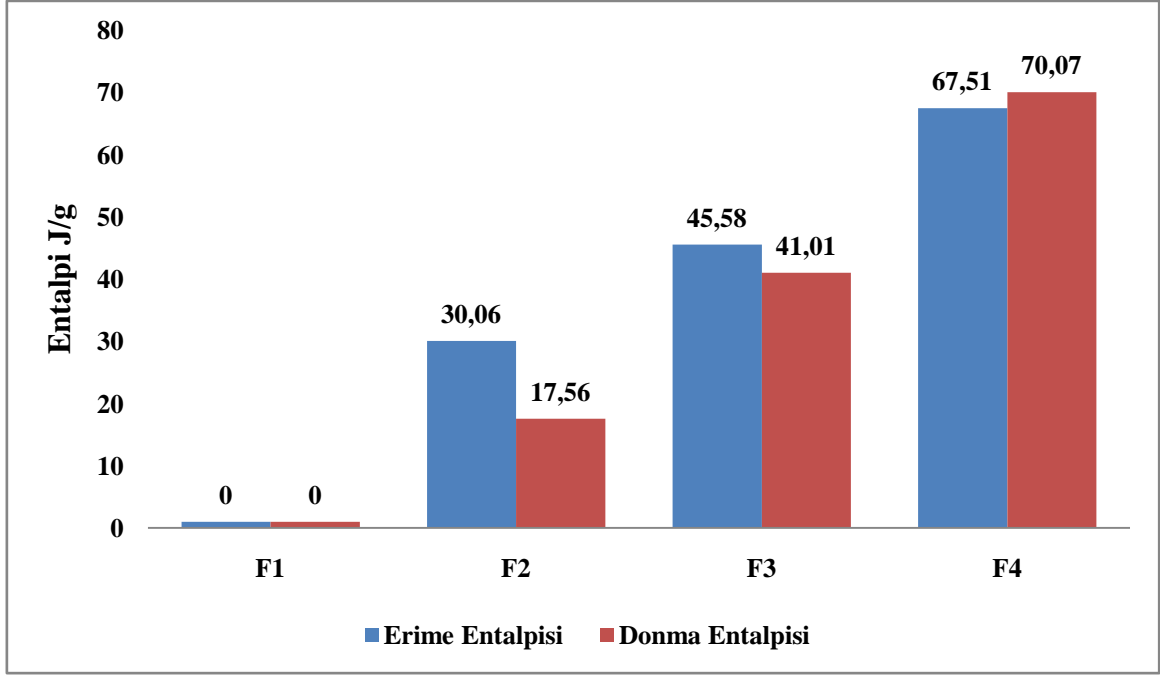
donma sıcaklık değerleri olarak alınmıştır. FDM'lere ait erime ve donma entalpileri DSC termogramlarında ki erime ve donma piklerinin altındaki alanın integrasyonu ile belirlendi.

Soya yağı esaslı 3 farklı alkil zinciri sayısına sahip yağ alkolü içeren UV formülasyonları için Şekil 4.3'de erime, donma sıcaklıklarının ve Şekil 4.4'de ise erime, donma entalpilerinin karşılaştırılması grafiksel olarak yapılmıştır.



Şekil 4.3.Saf yağ alkollerinin ve UV-ışınları ile sertleştirilmiş FDM'lerin erime ve donma sıcaklıklarının karşılaştırılması.

Tablo 4.1 ve Şekil 4.3'de görüldüğü gibi saf haldeki yağ alkollerinin erime ve donma noktaları UV ışınları ile serleştirilen FDM'lere daha yüksektir. Erime sıcaklıklarında sırayla, F2 için; 3 °C, F3 için; 5 °C ve F4 için; 6 °C azalmıştır. Donma sıcaklıklarında ise sırayla, F2 için; 4 °C, F3 için; 4 °C ve F4 için; 5 °C azalmıştır. Yapılan literatür çalışmalarında; organik faz değişim malzemelerinde yani ısıl enerji depolayan kimyasal yapılarda alkil gruplarının artması ile FDM'lerin erime, donma sıcaklıkları ve erime, donma entalpileri doğru orantılı olarak artmaktadır [95,96]. Bu çalışmada DSC termogramlarından alınan sonuçlar literatür ile paralel sonuçlar vermektedir.

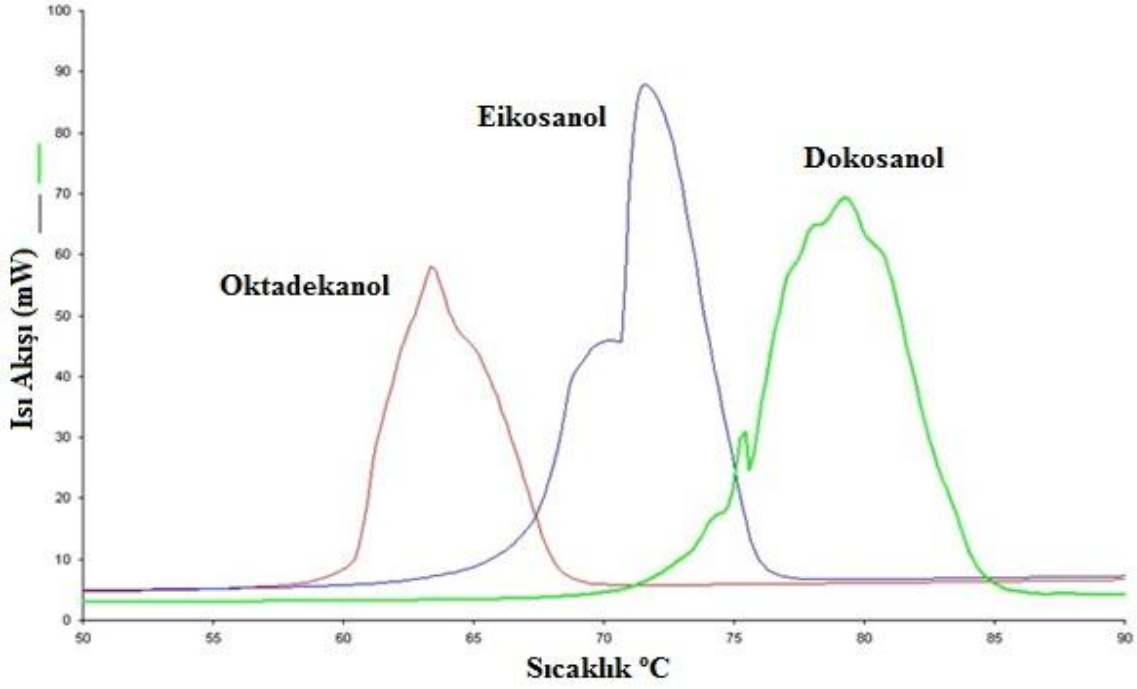


**Şekil 4.4.**UV-ışınları ile sertleştirilmiş FDM'lerin erime ve donma entalpilerinin karşılaştırılması.

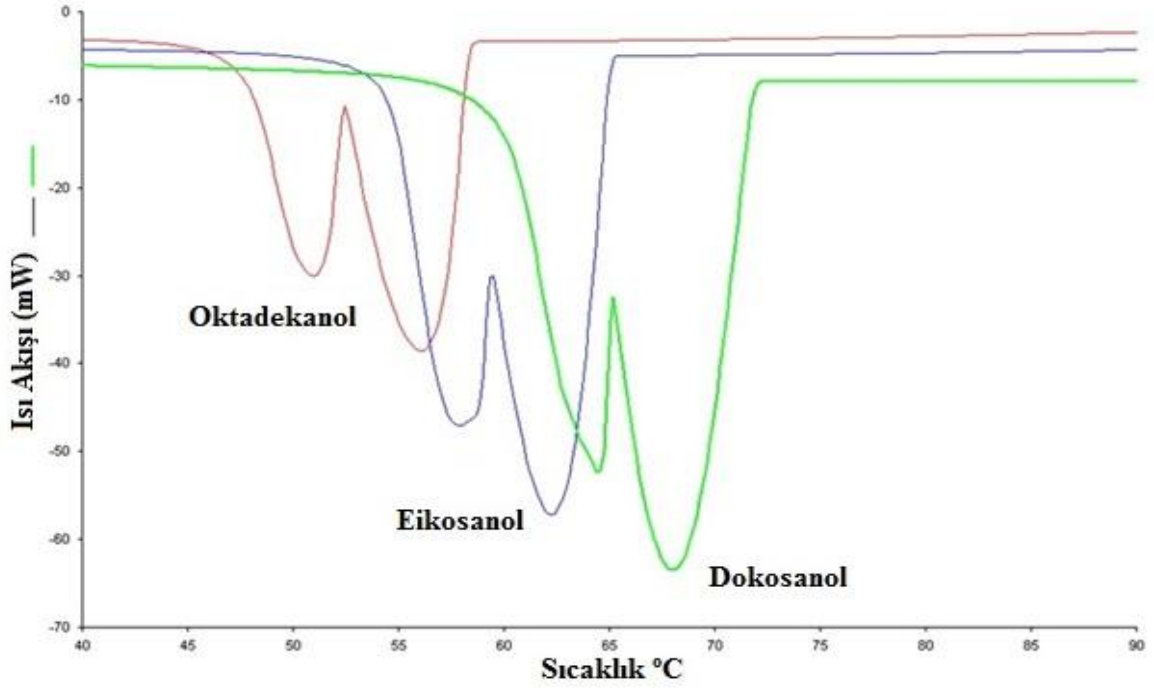
Ayrıca, her bir FDM için DSC ile belirlenen erime ve donma entalpi değerleri F2, F3 ve F4 formülasyonları içeriğinde bulunan yağ alkollerinin karbon sayısının artışıyla birlikte artmaktadır [97]. F1 formülasyonu içerisinde yağ alkolü içeriği bulunmadığından erime ve donma entalpi değeri göstermemektedir.

UV ışınları ile sertleştirilmiş FDM numunelerinin erime ve donma sıcaklık değerleri göz önüne alındığında aradaki farklar yaklaşık 10 °C aralığındadır. Erime ve donma entalpileri karşılaştırıldığında tüm formülasyonların F2 formülasyonu haricinde çevreden alınan ısı enerjisinin soğuma aşamasında tekrar çevreye verildiği görülmektedir. Faz değişim özelliği gösterebilen yağ alkollerinin formülasyon içerisindeki yüzde oranları ile entalpi değerleri birbirine paralellik göstermektedir. Tablo 4.1, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de görüldüğü gibi malzemeler 60 ila 73°C aralığında erime sıcaklığına, 30 ila 68 J/g aralığında erime entalpisine ve 50 ila 61 °C aralığında donma sıcaklığına, 18 ila 70 J/g aralığında donma entalpisine sahip oldukları görülmektedir. Bu çalışmada hazırlanan organik FDM'ler literatür sonuçlarında elde edilen entalpi değerleri ile uygunluk göstermektedir. Hazırlanan yeni FDM malzemeler ısı depolama işlemlerinde kullanılabilir yapıdadırlar.

Oktadekanol, eikosanol ve dokosanolle ait erime ve donma DSC eğrileri sırasıyla Şekil 4.5 ve 4,6'da verilmiştir.

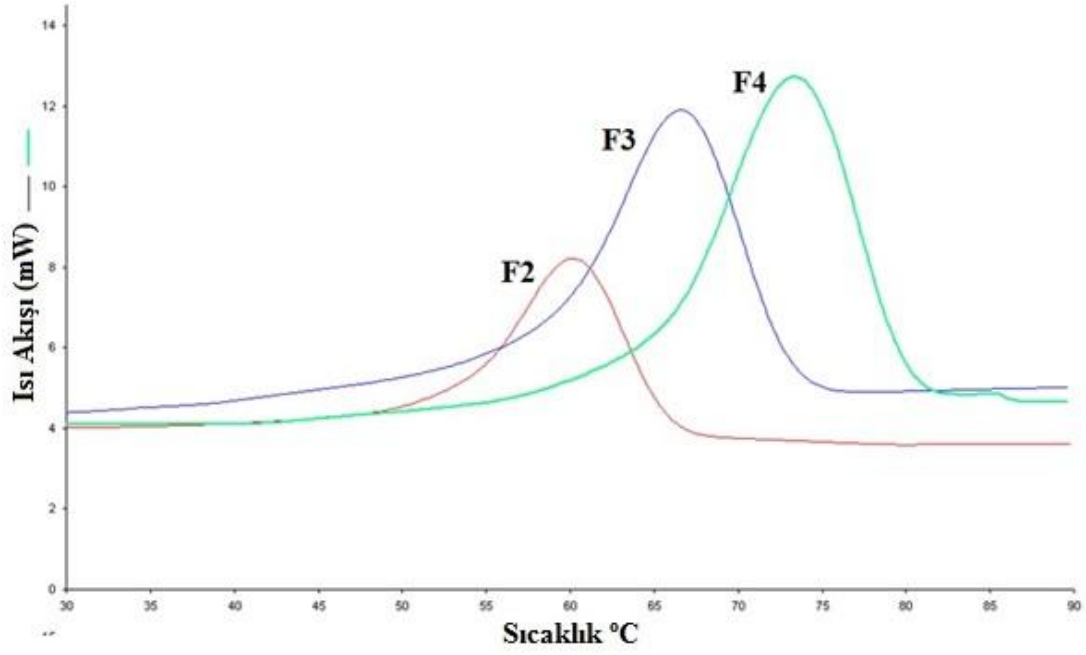


Şekil 4.5. Saf haldeki yağ alkollerinin erime DSC eğrileri.

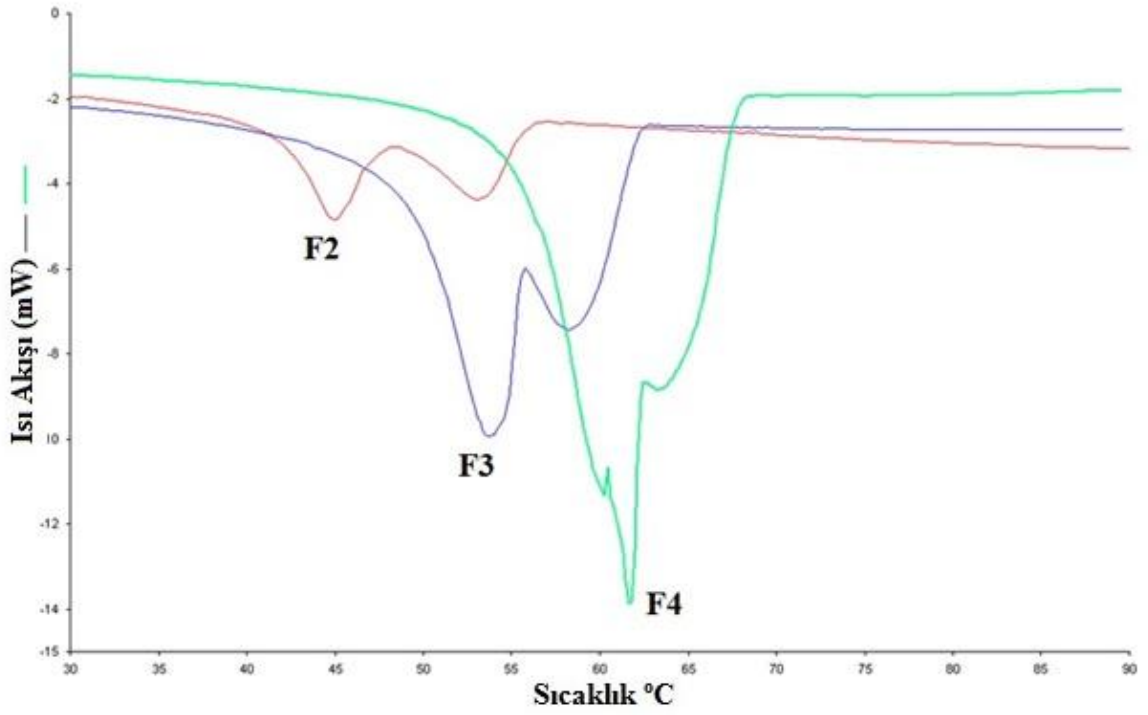


Şekil 4.6. Saf haldeki yağ alkollerinin donma DSC eğrileri.

F2, F3 ve F4 formülasyonlarına ait erime ve donma DSC eğrileri sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8'de verilmiştir.



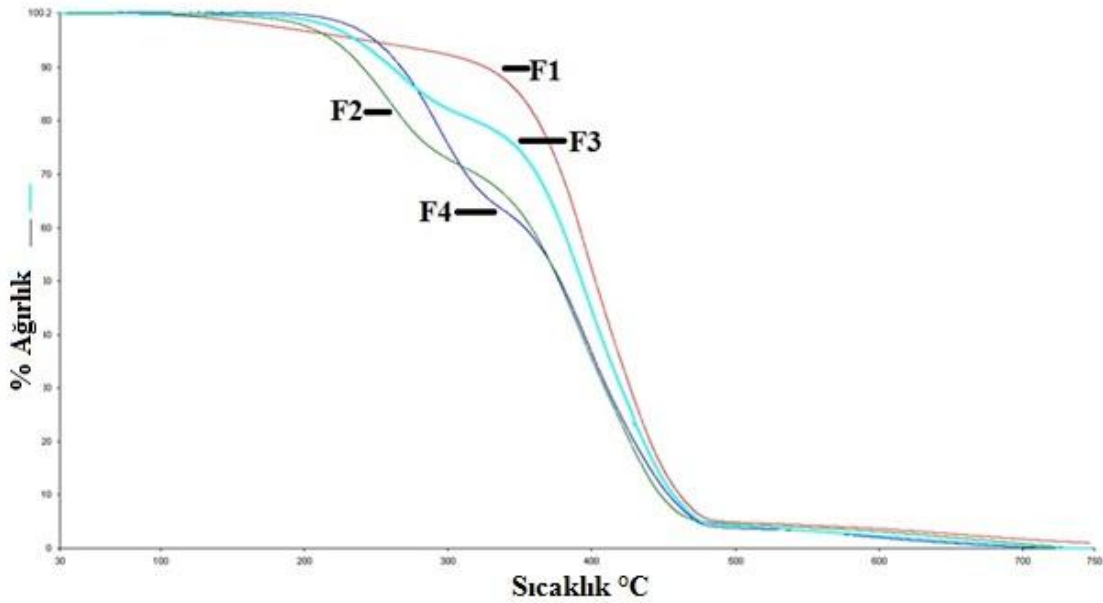
Şekil 4.7. UV-ışınları sertleştirilmiş kompozit FDM'lerin erime DSC eğrileri.



Şekil 4.8. UV-ışınları sertleştirilmiş kompozit FDM'lerin donma DSC eğrileri.

#### 4.1.3. Oktadekanol, eikosanol ve dokosanol içeren UV ışınları ile sertleştirilmiş faz değişim malzemelerinin (FDM) termal gravimetrik analizi (TGA)

FDM'lerin termal oksidatif kararlılıklarını belirlemek için TGA tekniği kullanıldı. Numuneler TGA cihazında 30 °C'den 750 °C'ye 10 °C/dakika hızla azot atmosferi altında ısıtılarak Şekil 4.9'da verilen termogramlar elde edildi. Elde edilen veriler Tablo 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. UV-ışınları ile sertleştirilmiş kompozit FDM'lerin TGA eğrileri.

Faz değişim malzemelerinin kullanım alanlarının belirlenmesinde ısı bozunma sıcaklıklarının bilinmesi ve hangi sıcaklık aralığında ne tür davranışlar gösterdiğinin belirlenmesi gerekmektedir. TGA analizi ile FDM'lerin bu özellikleri araştırılmaktadır. Yüksek sıcaklık ortamında kullanılacak olan FDM'lerin bu sıcaklıkların üzerinde ısı bozunma göstermesi gerekmektedir [98]. Elde edilen sonuçlar bütün FDM'lerin 200 °C'nin üzerinde ağırlık kaybetmeye başladığını göstermektedir. Tüm FDM'lerin %5'lik kütle kayıpları 220 ile 250 °C arasında, maksimum kütle kayıpları ise 270 ile 280 °C aralığında olduğu görülmektedir. Yağ alkolü eklenmemiş olan F1 formülasyonun % 5 ve % 10 kütle kayıpları sırasıyla 248 ve 327 °C'de gerçekleşmiştir. TGA eğrilerine bakıldığında; 260 ila 280°C aralığında formülasyon içerisinde bulunan yağ alkollerinin bozunması gerçekleşmiştir. 400-440 °C aralığında çapraz bağlı polimer matriksin

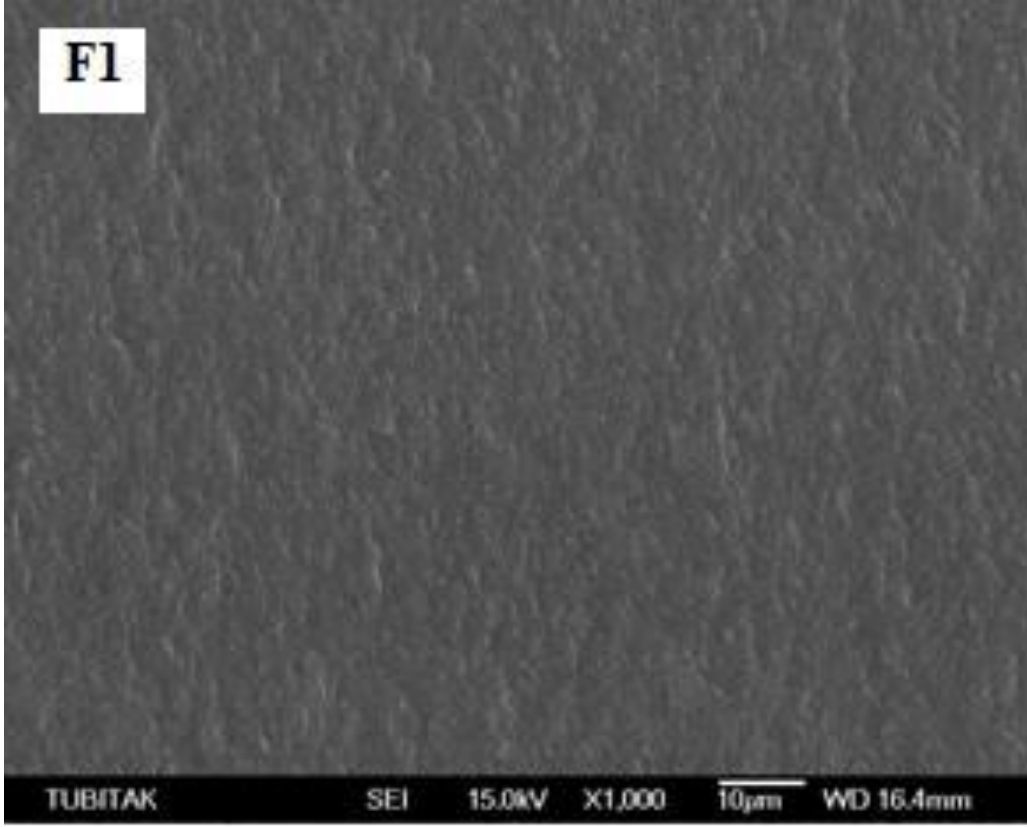
bozunması gerçekleşmiştir. F1 temel formülasyonu üzerine 3 farklı yağ alkolü eklendikçe % 5 ve % 10 kütle kayıpları daha düşük sıcaklıklara kaymaktadır. Ancak yağ alkollerinin karbon sayıları arttıkça bozunma sıcaklıkları da artma eğilimi göstermiştir. Elde edilen sonuçlar ASY içerisine yağ alkollerini katıldıkça termal dayanımları az miktarda azalmaktadır. 750 °C’de kalan kül miktarları F1, F2, F3 ve F4 için sırasıyla %1,02, 0,05, 0,07 ve 0,10 oranlarındadır. Hazırlanan FDM malzemeler ısıl enerji depolama işlemlerinde kullanılabilir.

**Tablo 4.2.**UV-ışınları ile sertleştirilmiş kompozit FDM’lerin TGA analizi.

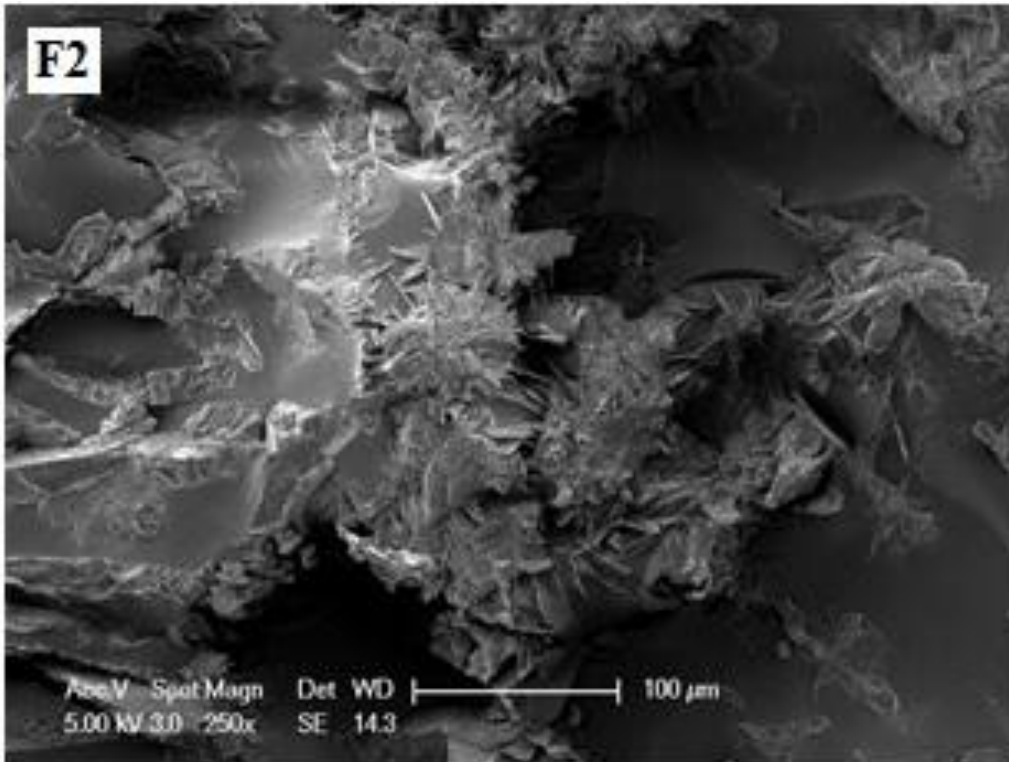
Örnek	T <sub>%5</sub> (°C)	T <sub>%10</sub> (°C)	Maksimum Kütle Kaybı (°C)	Kül (%)
F1	248	327	385	1,02
F2	221	240	268	0,05
F3	237	261	272	0,07
F4	249	267	273	0,10

#### 4.1.4. Oktadekanol, eikosanol ve dokosanol içeren UV ışınları ile sertleştirilmiş faz değişim malzemelerinin (FDM) morfolojik karakterizasyonu (SEM)

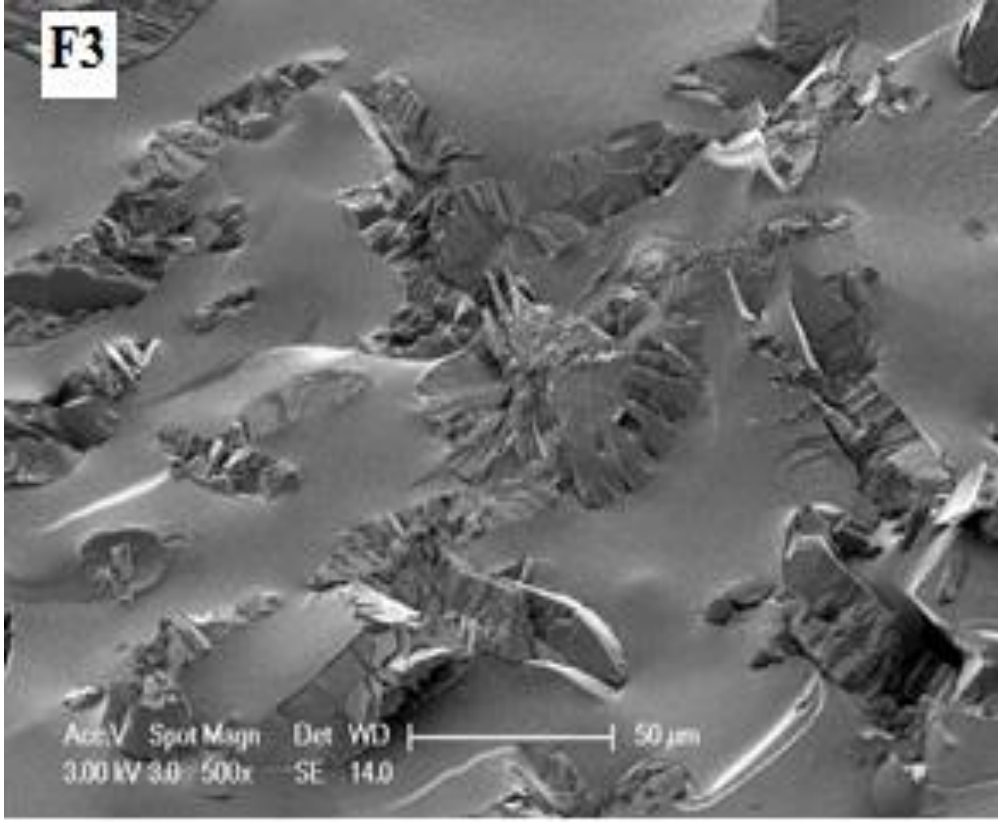
Karışım membranların morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile detaylı olarak incelenmiştir. F1, F2, F3 ve F4 formülasyonlarından hazırlanan FDM’lerin SEM fotoğrafları Şekil 4.10’dan 4.13’e kadar gösterilmiştir. Formülasyonlara katılan yağ alkollerini polimerik yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.10 incelendiğinde F1 formülasyonu içerisine yağ alkolü katılmamıştır ve SEM görüntüsüne bakıldığında polimer yüzeyin pürüzsüz ve homojen bir görünümündedir. Ancak yapı içerisine yağ alkollerinin katılması ile F2, F3 ve F4 formülasyonlarında homojen yapı bozulmuştur. Yağ alkollerini yapı içerisine gömülü durumdadır.



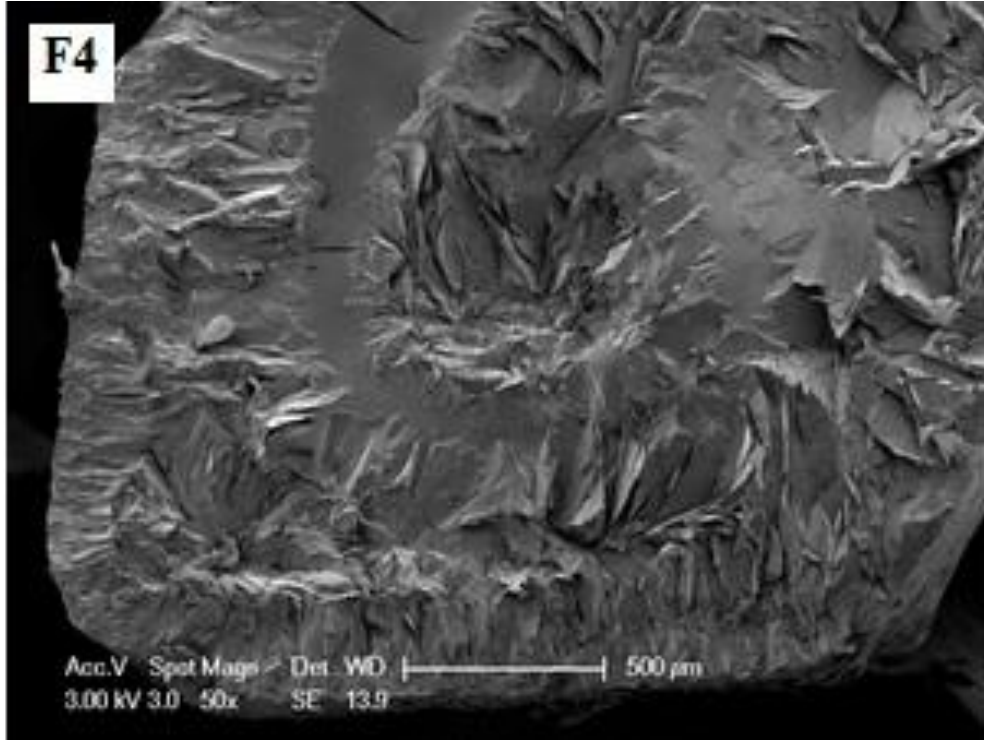
Şekil 4.10. Yağ alkolü içermeyen F1 formülasyonuna ait SEM görüntüsü.



Şekil 4.11. Oktadekanol içeren F2 formülasyonuna ait SEM görüntüsü.



Şekil 4.12.Eikosanol içeren F3 formülasyonuna ait SEM görüntüsü.



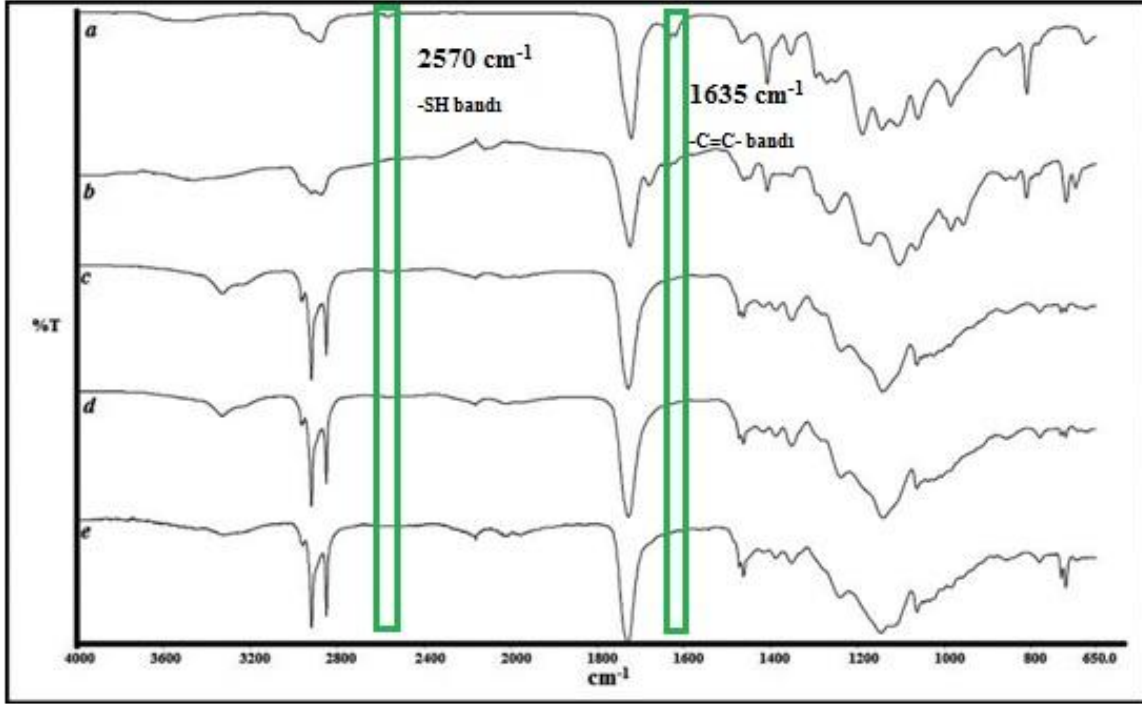
Şekil 4.13.Dokosanol içeren F4 formülasyonuna ait SEM görüntüsü.

## 4.2. Isıl Enerji Depolama Kapasitesine Sahip Uv Işınları İle Sertleştirilen Tiyol-En Esaslı Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması

### 4.2.1. Tiyol-En polimerizasyonu ile sertleştirilmiş yağ alkolü içerikli faz değişim malzemelerinin (FDM) ATR-FTIR ile yapısal karakterizasyonu

UV-ışınları ile sertleştirilen tiyol-en esaslı FDM'ler, serbest film olarak elde edilmiştir. Bu sırada tam kurumanın gerçekleşmesi ATR-FTIR ile izlenmiştir. Şekil 4.14'de (a) UV ışınları ile sertleştirilmemiş formülasyon, (b) UV ışınları ile sertleştirilmiş TMPTA / PEGDA/4-SH formülasyona ait ATR-FTIR spektrumları verilmiştir. Şekil 4.14'deki (a) spektrumuna bakıldığında tiyol grubuna ait  $2570\text{ cm}^{-1}$  [99] ve akrilat grubuna ait olan  $1635\text{ cm}^{-1}$  bandlar; formülasyon UV-ışınları ile kurutulduktan sonra  $\text{-C=C-}$  grubunun ve  $\text{-SH}$  gruplarının verdiği gerilme titreşim bandları kaybolmuştur.

Tiyol-en esaslı UV ışınları ile foto çapraz bağlanabilen 3 farklı formülasyon hazırlanmıştır. Hazırlanan formülasyonlar içerisinde faz değişim özelliği sayesinde ısı enerjisi depolayabilen yağ alkollerini bulunmaktadır. Bu yağ alkollerini 18, 20 ve 22 karbon sayısına sahip oktedekanol, eikosanol ve dokosanoldur. Hazırlanan FDM'lere ait ATR-FTIR spektrumları Şekil 4.14 (c,d,e) 'de görülmektedir. Şekil 4.14'de (c) TMPTA / PEGDA / 4-SH / Oktadekanol, (d) TMPTA / PEGDA / 4-SH / Eikosanol ve (e) TMPTA / PEGDA / 4-SH / Dokosanol formülasyonlarına ait ATR-FTIR spektrumları verilmiştir. Şekil 4.14 (c,d,e)'de ki FTIR spektrumu incelendiğinde tüm spektrumlarda olan 2916, 2850, 1470, 1370 ve  $1040\text{ cm}^{-1}$  deki bandlar yağ alkollerine ait olan karakteristik piklerdir. ATR-FTIR spektrumu incelendiğinde  $3320\text{ cm}^{-1}$ 'de yağ alkollerinin ( $\text{-OH}$ ) gruplarına ait gerilme piki,  $2850\text{ cm}^{-1}$ ,  $2916\text{ cm}^{-1}$  ve  $2950\text{ cm}^{-1}$  de simetrik ve asimetrik yağ alkolü alkil zinciri ( $\text{-C-H}$ ) gruplarına ait pikleri gözlemlenmektedir. Şekil 4.14'de ki tüm spektrumlar incelendiğinde (a) spektrumu hariç diğer hepsinde UV ışınları ile sertleştirme işlemi gerçekleştirildiği için tiyol ve akrilat bantları gözlemlenmemektedir.



**Şekil 4.14.** Tiyol-en esaslı FDM'lerin FTIR Spektrumları (a) TMPTA / PEGDA/4-SH UV-kurutulmamış (b) TMPTA / PEGDA/4-SH (c) TMPTA / PEGDA / 4-SH / Oktadekanol (d) TMPTA / PEGDA / 4-SH / Eikosanol ve (e) TMPTA / PEGDA / 4-SH / Dokosanol UV-kurutulmuş FDM'ler.

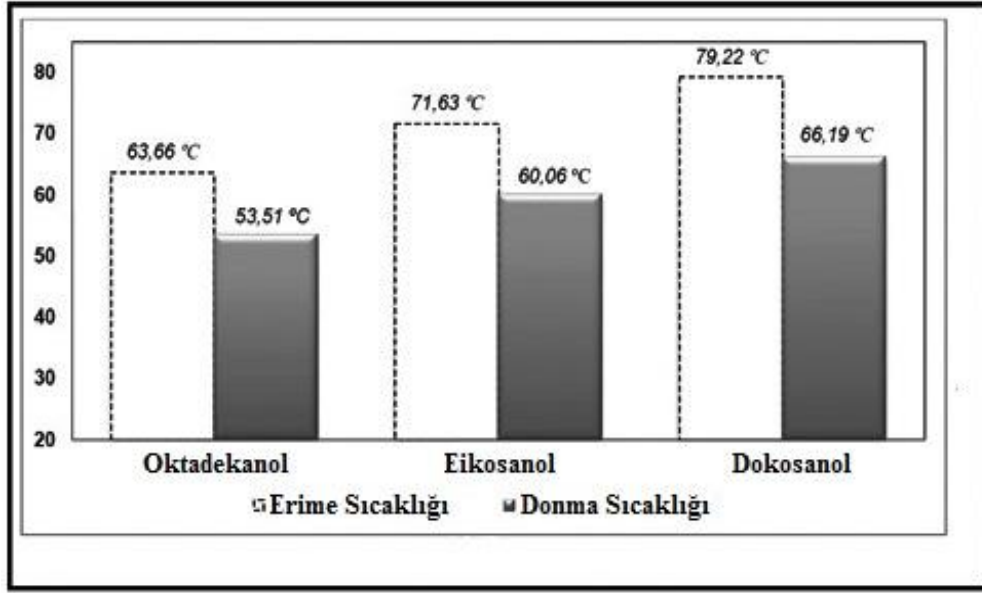
#### 4.2.2. Tiyol-En polimerizasyonu ile sertleştirilmiş yağ alkolu içerikli faz değişim malzemelerinin (FDM) ısı enerji depolama kapasitelerinin DSC analizi ile karakterizasyonu

DSC ısı analizleri, saf yağ alkolleri ve hazırlanan tiyol-en FDM'leri için 0-100°C aralığında ve 10°C/dakika ısıtma hızında yapıldı. Tiyol-en FDM'ler için erime, donma sıcaklığı ve erime, donma entalpi değerleri belirlendi. Hazırlanan tüm FDM'lerin ve saf haldeki yağ alkollerinin tüm ısı enerji depolama dataları Tablo 4.3'de, yağ alkölü ve hazırlanan numunelerin karşılaştırmalı sıcaklık ve entalpi değerleri Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'de verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Yağ alkollerinin ve UV-Işınları ile Sertleştirilmiş tiyol-en esaslıFDM'lerin faz değişim sıcaklık ve entalpilerinin DSC analiz sonuçları.

Örnekler	Erime		Donma		
	Sıcaklık (°C)	Erime Entalpisi (J/g)	Sıcaklık (°C)	Donma Entalpisi (J/g)	
<b>Oktadekanol</b>	63,66	253,92	50,81	56,20	-244,79
<b>Eikosanol</b>	71,63	259,97	57,52	62,59	-249,31
<b>Dokosanol</b>	79,22	268,36	64,41	67,97	-262,51
<b>TMPTA / PEGDA/4-SH</b>	-	-	-	-	-
<b>TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Oktadekanol</b>	57,48	61,94	26,89	35,50	-20,45
<b>TMPTA/ PEGDA/4-SH/ Eikosanol</b>	62,32	67,95	34,35	42,09	-22,94
<b>TMPTA/ PEGDA/ 4-SH/ Dokosanol</b>	71,98	42,59	47,61	67,21	-38,92

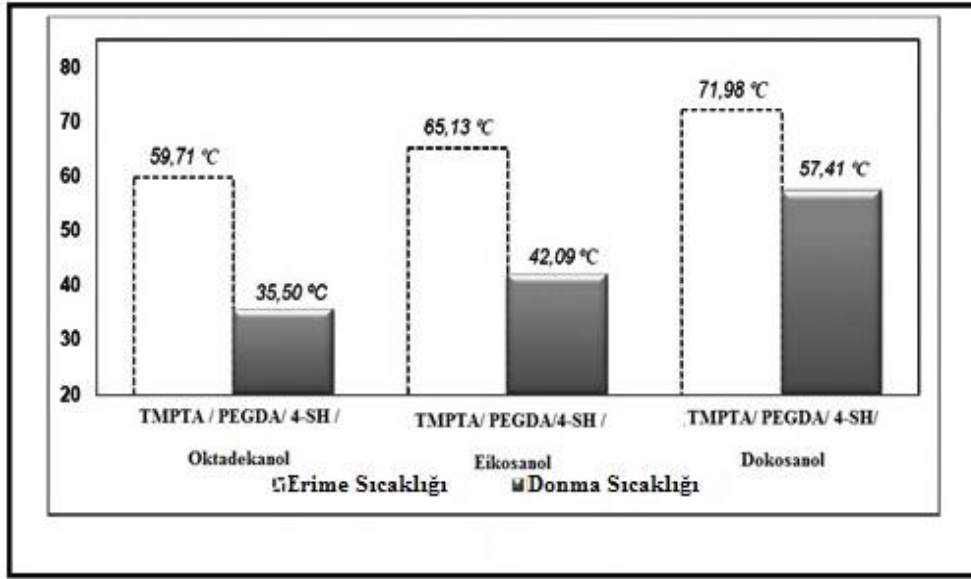
Şekil 4.15 incelendiğinde, saf haldeki yağ alkollerinin erime ve donma sıcaklıklarının erime ve donma sıcaklıklarına bağlı olarak artmaktadır [100]. Oktadekanol, eikosanol ve dokosanol için erime sıcaklık değerleri sırasıyla 63,66 °C, 71,63 °C, 79,22 °C; donma sıcaklık değerleri ise 53,51 °C, 60,06 °C, 66,19 °C'dir. Saf yağ alkollerinde erime ile donma sıcaklıkları arasında yaklaşık 10 °C fark bulunmaktadır. Erime sıcaklık değerleri donma sıcaklık değerlerine daha yüksektir.



Şekil 4.15. Yağ alkollerinin erime ve donma sıcaklıklarının karşılaştırılması.

Şekil 4.16 incelendiğinde, görüldüğü gibi saf haldeki yağ alkollerinin erime ve donma noktaları yeni hazırlanan tiyol-en esaslı FDM'lere göre daha yüksektir. Hazırlanan formülasyonlar içinde kullanılan yağ alkolünün zincir uzunluğu arttıkça FDM'lerin erime, donma sıcaklıkları ve entalpileri artmaktadır [101,102].

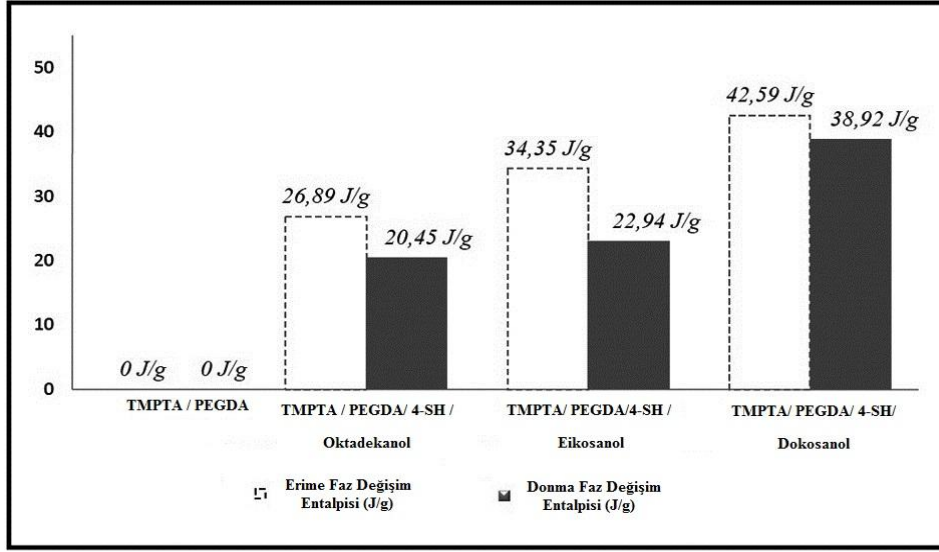
Yağ alkolü içermeyen TMPTA/PEGDA/4-SH numunesi erime, donma sıcaklıklarına ve erime, donma entalpisine sahip değildir. TMPTA/PEGDA/4-SH/Oktadekanol için erime ve donma sıcaklık değeri 59,71-35,50°C; TMPTA/PEGDA/4-SH/Eikosanol için 65,13-42,09 59,71-35,50 °C ve TMPTA/PEGDA/4-SH/Dokosanol için erime ve donma sıcaklıklar değeri 71,98-57,41 °C. Erime ve donma sıcaklıklarının karşılaştırılması yapıldığında donma sıcaklıkları erime sıcaklık değerlerinden yaklaşık 25 °C düşük olduğu görülmektedir.



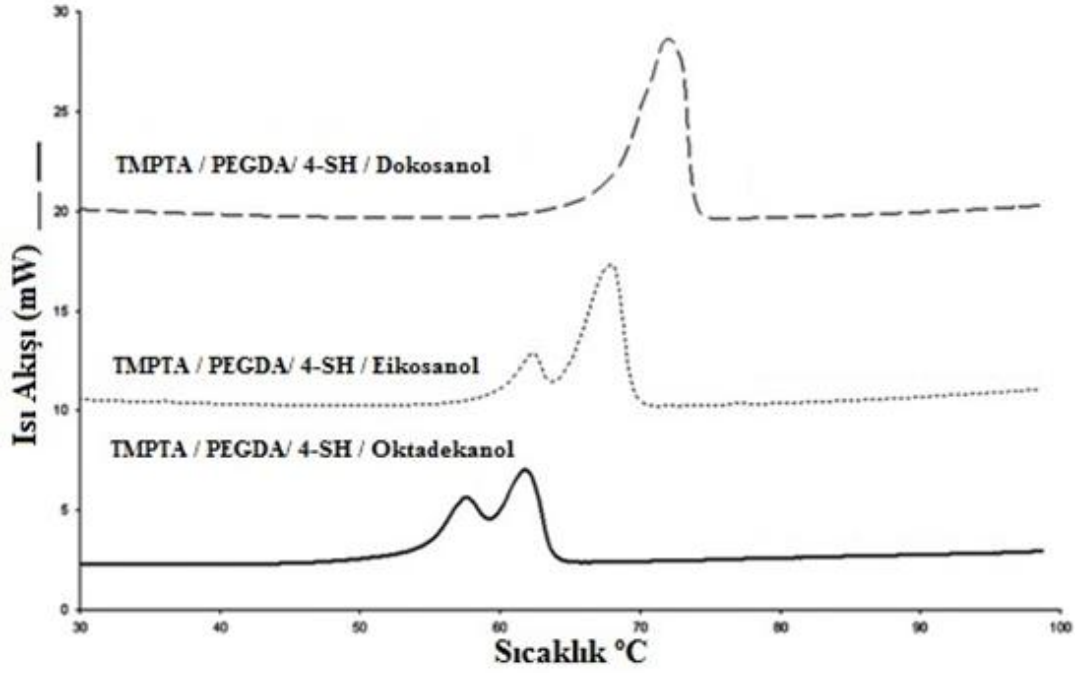
**Şekil 4.16.** UV-ışınları ile sertleştirilmiş tiyol-en esaslı FDM'lerin erime ve donma sıcaklıklarının karşılaştırılması.

FDM'lere ait erime ve donma entalpi değerleri 4.17'de toplu olarak verilmektedir. Şekil 4.18'de FDM'lerin erime DSC termogramları ve 4.19'da donma DSC termogramları toplu olarak verilmiştir. Erime entalpi değerleri 26,89 J/g değerinden 42,59 j/g değerine yükseliş göstermiştir. Numunelerin içerdiği yağ alkolü çeşidi değişikçe erime entalpi değerleri de farklılaşmaktadır.

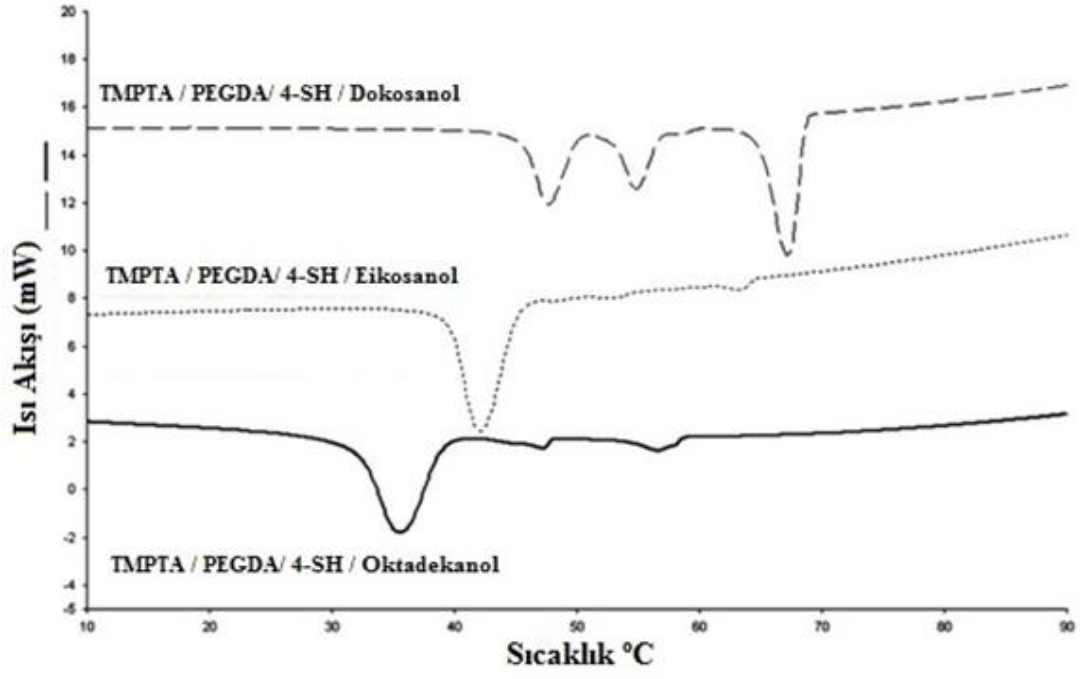
FDM'lere ait donma termogramları incelendiğinde TMPTA/PEGDA/4-SH/Oktadekanol numunesi için donma entalpi değeri 20,45 J/g, TMPTA/PEGDA/4-SH/Eikosanol için 22,94 J/g ve TMPTA/PEGDA/4-SH/Dokosanol için donma entalpi değeri 38,92 J/g değerindedir. Erime ve donma entalpi değerleri karşılaştırıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.17. UV-ışınları ile sertleştirilmiş tiyol-en esaslı FDM'lerin erime ve donma entalpilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.18. Tiyol-en esaslı FDM'lerin erime DSC eğrileri.



Şekil 4.19. Tiyo-en esaslı FDM'lerin donma DSC eğrileri.

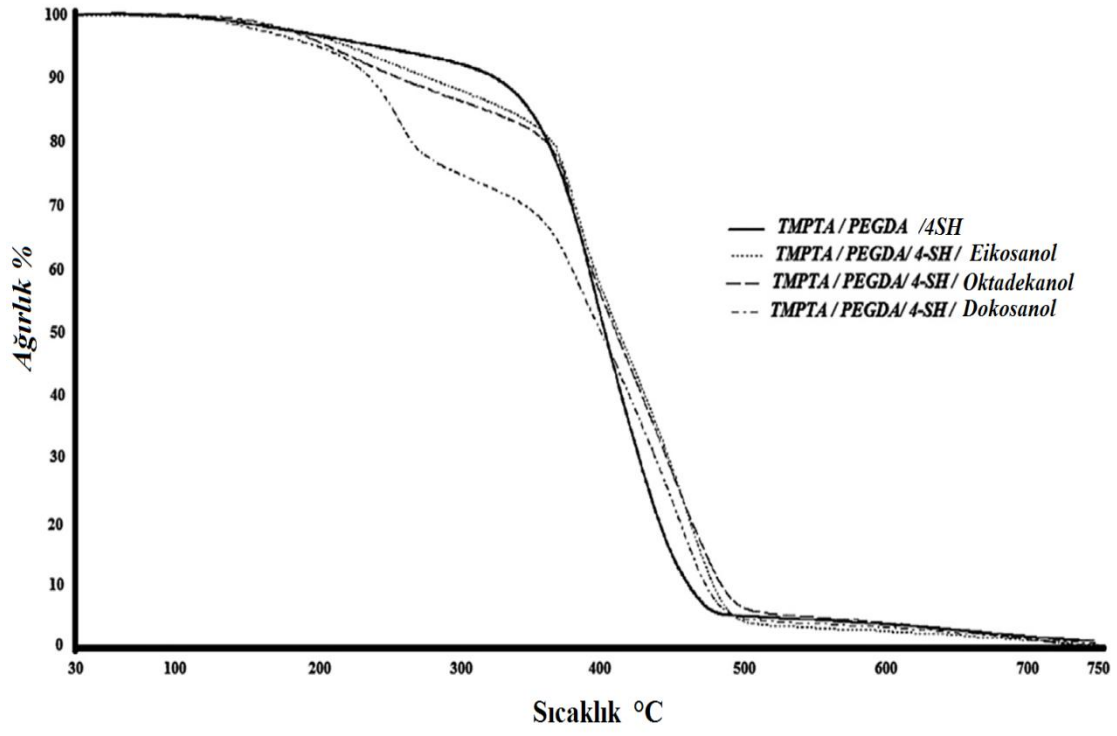
### 4.2.3. Tiyol-En polimerizasyonu ile sertleştirilmiş yağ alkolu içerikli faz değişim malzemelerinin (FDM) ısıl bozunma davranışlarının TGA analizi ile karakterizasyonu

Tiyol-en esaslı FDM'lerin ısıl kararlılıklarını belirlemek için TGA tekniği kullanıldı. Numuneler TGA cihazında 30 °C'den 750 °C'ye 10 °C/dakika hızla azot atmosferi altında ısıtılarak Şekil 4.20'de verilen termogramlar elde edildi. Elde edilen veriler Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.4.**Hazırlanan tiyol-en esaslı FDM'lerin TGA analizi.

Örnekler	Maksimum Kütle Kaybı (°C)	Kül Miktarı (%)
TMPTA / PEGDA/4-SH	400	1.02
TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Oktadekanol	413	0.04
TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Eikosanol	415	0.37
TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Dokosanol	419	0.63

Elde edilen sonuçlar bütün FDM'lerin 200°C'nin üzerinde ağırlık kaybetmeye başladığını göstermektedir. Tüm FDM'lerin maksimum kütle kayıpları ise 400 ile 430 °C aralığında olduğu görülmektedir. Yağ alkolü içeren numuneler benzer ısıl bozunma karakteri göstermektedirler. Oktadekanol içeren numune 431 °C'de, eikosanol içeren numune 415 °C'de ve dokosanol içeren FDM ise 419 °C'de maksimum bozunma göstermiştir. Tüm numuneler için 750 °C'deki kül miktarları TMPTA / PEGDA/4-SH için 1,02 g; TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Oktadekanol için 0,04g; TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Eikosanol için 0,37 g ve TMPTA / PEGDA/ 4-SH / Dokosanol için 0,63 g değerindedir. FDM'ler inorganik yapılar içermediği için yüksek kül miktarına sahip değildiler.

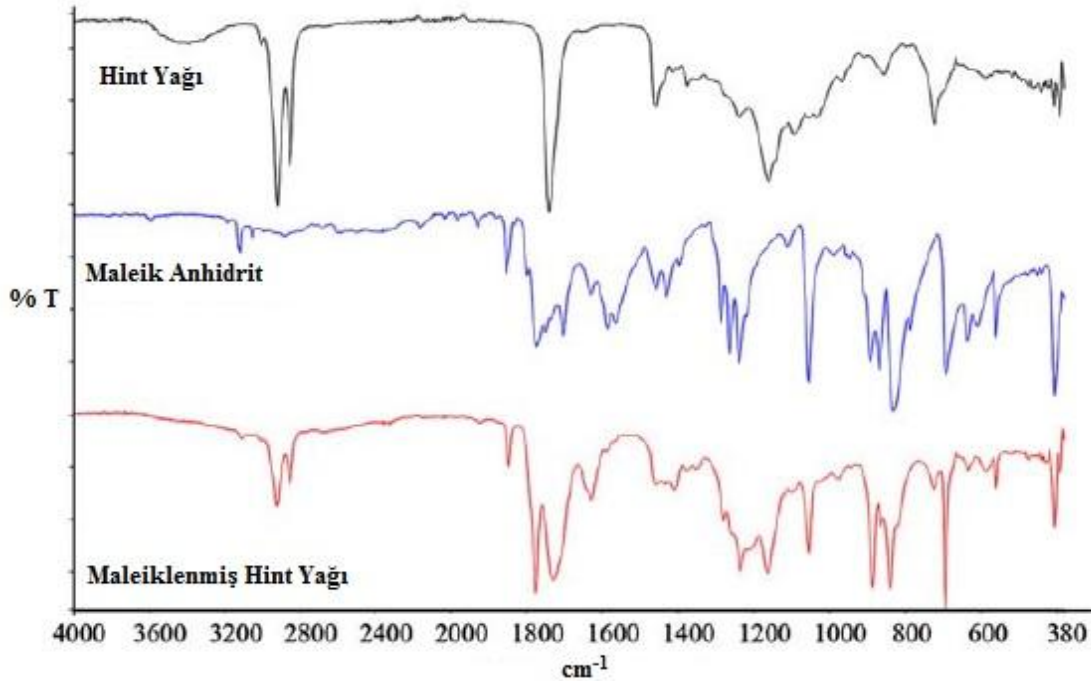


Şekil 4.20. Hazırlanan yağ alkolü katkılı tiyol-en esaslı FDM'lerin TGA eğrileri.

### 4.3. UV Işınları İle Sertleşebilen İç İçe Geçmiş Polimer Ağsı Yapılı (IPN) Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması

#### 4.3.1. Maleiklenmiş hint yağının ve faz değişim özelliği gösteren iç içe geçmiş polimerik yapıların kimyasal karakterizasyonu

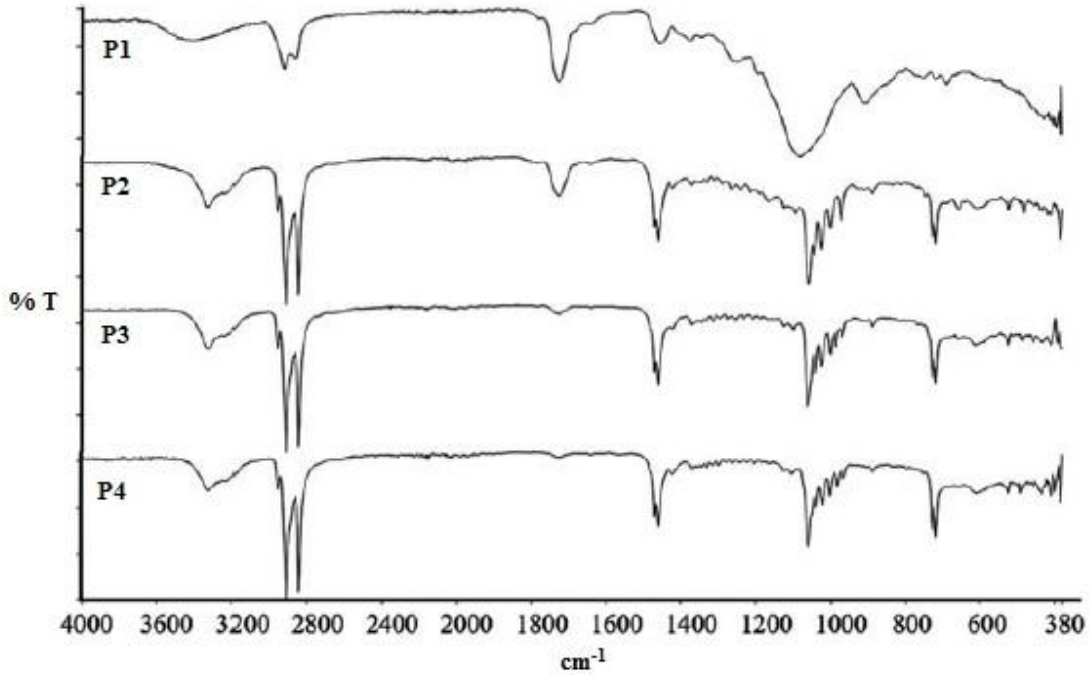
UV ışınları ile sertleştirilen formülasyon içerisine katılacak olan maleiklenmiş hint yağının sentezi hint yağı ile maleik anhidritin reaksiyonu ile elde edilmektedir. Maleiklenmiş hint yağının yapı aydınlatması FT-IR spektroskopisi yöntemi ile yapıldı. Şekil 4.20’de hint yağı, maleik anhidrit ve maleiklenmiş hint yağına ait FT-IR spektrumları verilmektedir. Hint yağının maleiklenmesi reaksiyonu reaksiyon ilerlemesine bağlı olarak üründe maleik anhidrit piklerinin oluşmaya başlaması ile izlenmiştir. Sentezi yapılan üründe 1778 ve 1850  $\text{cm}^{-1}$  de asimetric ve simetric karbonil (C=O) pikleri oluşmuştur. Üründe C=C çift bağına ait titreşimler 1630  $\text{cm}^{-1}$  de oluşmuş ve hint yağındaki 3400  $\text{cm}^{-1}$  de ki hidroksil -OH bandı kaybolmuştur [91].



Şekil 4.21. Hint yağının maleiklenme reaksiyonunun ATR-FTIR analizi ile karakterizasyonu.

Şekil 4.22’de hazırlanan organik-inorganik IPN faz değişim malzemelerinin FT-IR spektrumu verilmektedir. FT-IR spektrumunda UV ışınları ile sertleştirme işlemi

sonucunda  $1630\text{ cm}^{-1}$  ve  $810\text{ cm}^{-1}$  görülen çift bağ bantları kaybolmuştur. Bu bağların kaybolması formülasyon içerisinde bulunan tüm akrilat gruplarının polimerize olduğunu göstermektedir. Burada iç içe geçmiş polimer sistemini oluşturan radikalik polimerleşen kısım tamamen kürlenmiştir [103].  $3056\text{ cm}^{-1}$  görülen epoksi gruplarına ait olan bant UV ışınları ile sertleştirme işleminden sonra kaybolmuştur bu sonuçta katyonik polimerleşmenin tamamlandığını göstermektedir [104]. İç içe polimer sistemin bölümlerinden olan katyonik ve radikalik kısımları birbirine kimyasal olarak bağlama sol-gel yöntemi ile yapılmıştır. Sol-gel sistemine ait olan Si-O-Si bağına ait bantlar  $1061$ ,  $888$  ve  $436\text{ cm}^{-1}$  görülmektedir [105]. Bu bantların ortaya çıkışı ile katyonik ve radikalik polimerleşen bölümler birbirine kimyasal olarak bağlanması kanıtlanmıştır.



**Şekil 4.22.** Faz değişim özelliği gösteren iç içe geçmiş polimer yapıların ATR-FTIR spektrumları.

#### **4.3.2. İç içe geçmiş polimer ağ yapıların faz değişim özelliklerinin DSC analizi ile karakterizasyonu**

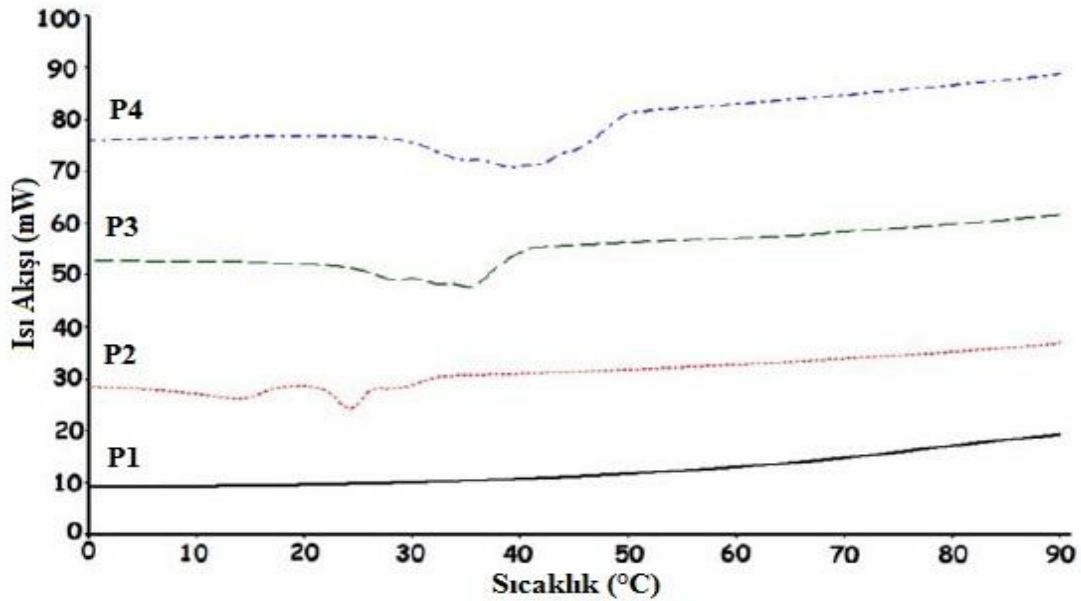
Faz değişim malzemeleri ısı depolama sistemlerinde kullanılmaları için ısı dayanımlarının yüksek, kimyasal olarak etkileşimi düşük ve birim hacimde yüksek ısı

enerji depolama ve yayma kapasitesine sahip olmaları gerekmektedir [106]. Tüm iç içe geçmiş polimer FDM'lerin ısıl analizleri DSC ile yapılmıştır. Tüm FDM'lere ait ısıl erim, donma sıcaklıkları ve entalpileri toplu olarak Tablo 4.5'da verilmiştir.

**Tablo 4.5.** İç içe geçmiş polimer ağısı yapıları FDM'lere ait DSC analizi sonuçları.

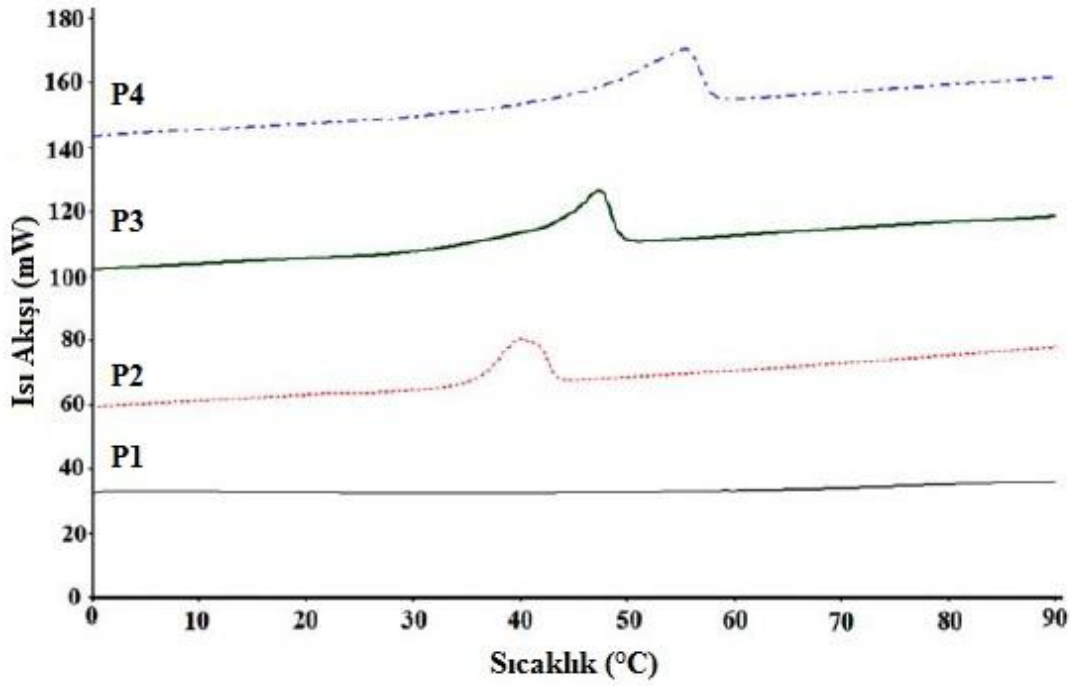
Örnekler	Erime		Donma	
	$T_e$ (°C)	$\Delta H_e$ (J/g)	$T_d$ (°C)	$\Delta H_d$ (J/g)
P1	-	-	-	-
P2	40,08	39,48	24,53	-23,66
P3	47,34	61,13	35,81	-38,31
P4	55,38	71,02	42,15	-58,19

Şekil 4.23'de tüm FDM'lerin erime termogramları verilmektedir. P1 formülasyonu yağ alkolü içermeyen IPN yapısıdır, P2, P3 ve P4 ise yağ alkolü içeren iç içe geçmiş polimer ağısı yapıları FDM'lerdir. Termogramlar incelendiğinde P1 formülasyonu yağ alkolü içermemesi nedeni ile bu sıcaklık aralığında herhangi bir erime piki göstermemektedir. P2 formülasyonu içerisinde tetradekanol, P3 hegzadekanol ve P4 formülasyonu oktedekanol içermektedir



**Şekil 4.23.** İç içe geçmiş polimerik FDM'lerin erime DSC termogramları.

Bu FDM formülasyonlara ait erime sıcaklık ve entalpileri sırasıyla şu şekildedir. P2 formülasyonu 40,08 °C, P3 formülasyonu 47,34 °C ve P4 formülasyonu 55,38 °C erime sıcaklığına sahiptir. Erime entalpileri ise sırasıyla P2 formülasyonu 39,48 J/g, P3 formülasyonu 61,13 J/g ve P4 formülasyonu 71,02 J/g 'dir. Bu formülasyonda görüldüğü gibi yağ alkolünün karbon sayısı arttıkça erime sıcaklık ve entalpileri artmaktadır.



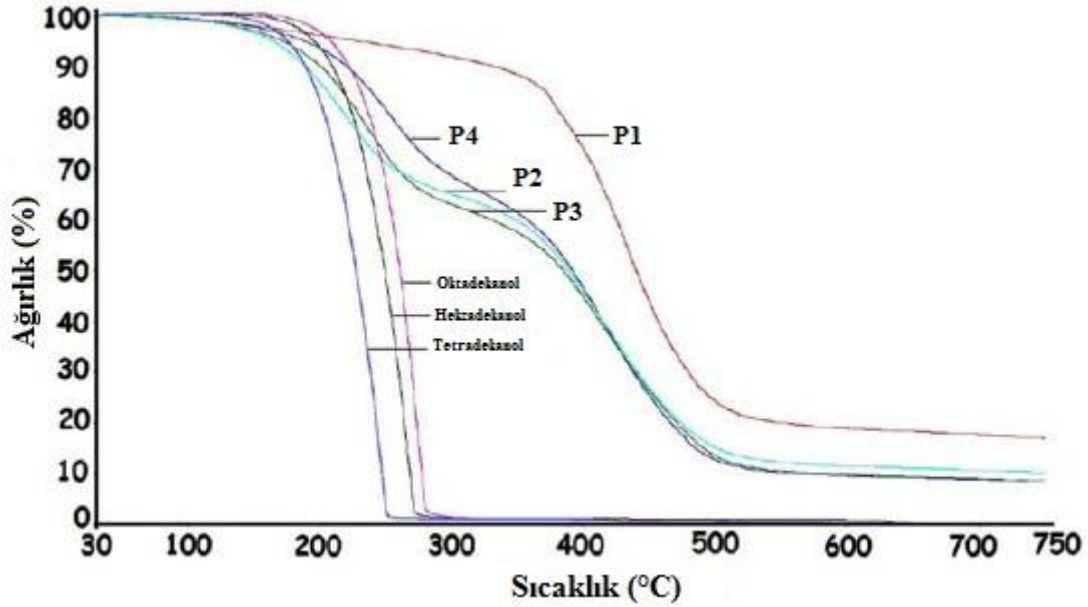
Şekil 4.24. İç içe geçmiş polimerik FDM'lerin donma DSC termogramları.

Şekil 4.24'de ise FDM'lere ait donma termogramları verilmektedir. FDM'lere ait donma sıcaklık ve entalpileri sırasıyla şu şekildedir. P2 formülasyonu 24,53 °C, P3 formülasyonu 35,81 °C ve P4 formülasyonu 42,15 °C donma sıcaklığına sahiptir. Donma entalpileri ise sırasıyla P2 formülasyonu 23,66 J/g, P3 formülasyonu 38,31 J/g ve P4 formülasyonu 58,19 J/g 'dir. Şekil 4.24'de görüldüğü gibi yağ alkolü içermeyen P1 formülasyonu ekzotermik pik göstermemektedir.

Tüm erime ve donma termogramları incelendiğinde FDM'lerin erime sıcaklıkları donma sıcaklıklarından da yüksektir. Erime ve donma entalpileri karşılaştırıldığı zaman ise erime entalpi değerlerinin donma entalpi değerlerinden yaklaşık 15 J/g fazla olduğu görülmektedir.

### 4.3.3. Faz değişim özelliği gösteren iç içe geçmiş polimer ağ yapıların ısıl dayanım özelliklerinin TGA analizi ile karakterizasyonu

Tüm FDM'lerin ve yağ alkollerinin termal davranışları TGA analizi ile belirlendi. Tüm numuneler TGA cihazında 30 °C'den 750°C'ye 10 °C/dk hızla 2 bar azot atmosferi altında ısıtılarak Şekil 4.25.'deki termogramlar elde edildi. Bu doğrultuda FDM'lerin termal kararlılıklarını değerlendirmek için %5, %10 ve maksimum kütle kaybının meydana geldiği sıcaklıklar ile 750 °C'de geriye kalan % kül miktarı dikkate alındı. Elde edilen veriler Tablo 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.25. İç içe geçmiş polimer ağsı yapılı FDM'lere ve yağ alkollerine ait TGA termogramları.

Şekil 4.25'deki termogramlar ve Tablo 4.6 incelendiğinde yağ alkollerini benzer ısıl bozunma davranışı göstermektedirler. Yağ alkollerini 180 ile 280 °C aralığında tamamen bozunmaktadır. Yağ alkollerinin bozunması tek aşamada gerçekleşmektedir. Yağ alkollerini kendi aralarında karşılaştırıldığında karbon sayısı fazla yağ alkollerini daha yüksek bozunma sıcaklığına sahiptir. P1 formülasyonu yağ alkolü içermeyen formülasyondur ve en iyi ısıl dayanım özelliğine sahiptir. 230 °C sıcaklıkta bozunmaya başlamakta ve 270 ile 470 °C sıcaklık aralığında tamamen bozunmaktadır. P1'e ait termogramı tek bir bozunma karakterine sahiptir. Yağ alkolü içeren FDM'ler

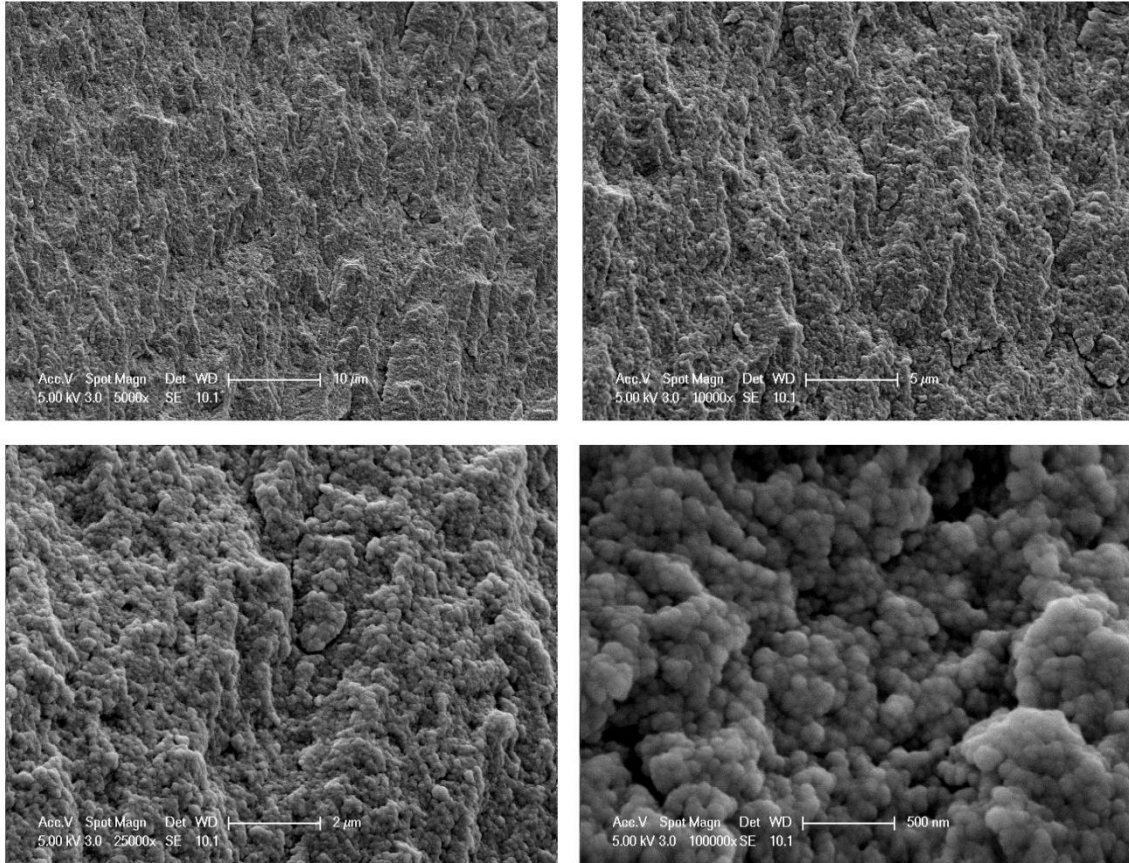
incelendiğinde benzer bozunma davranışına sahiptirler. P2, P3 ve P4 numuneleri iki aşamalı bozunma göstermektedirler. İlk aşama bozunma 170 ile 270 °C sıcaklık aralığında gerçekleşmekte, ikinci aşama bozunma ise 270 ile 470 °C aralığında gerçekleşmiştir. İlk aşama bozunma yağ alkollerinin degradasyona uğradığı sıcaklık aralığıdır. İkinci bozunma aşamasında ise polimer ana zinciri tamamen degradasyona uğramıştır. Kül miktarlarının karşılaştırılması yapıldığında yağ alkollerini tamamen organik yapıda olduklarında 750 °C de kül bırakmamışlardır. Diğer formülasyon sol-gel içeriğine sahip olduklarından kül miktarları bulunmaktadır. Formülasyonlardaki sol-gel miktarı arttıkça FDM'lerin kül miktarları artmıştır. Tüm TGA sonuçları incelendiğinde ısı enerjisi depolama özelliği gösteren yağ alkollerini düşük ısı dayanımı göstermektedirler. Eğer yağ alkollerini çapraz bağlı polimer yapılar içinde hapsedilirse ya da kaplanırsa FDM'lerin ısı dayanım özellikleri artmaktadır. Bu sonuçlar göstermektedir ki hazırlanan malzemelerin ısı dayanımları artırılmış ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanımı uygundur.

**Tablo 4.6.** Tüm FDM'lere ve yağ alkollerine ait TGA analizi sonuçları.

Örnekler	T <sub>%5</sub> (°C)	T <sub>%10</sub> (°C)	T <sub>maks</sub> (°C)	Kül Miktarı (%)
<b>Tetradekanol</b>	172	183	217	0
<b>Hekzadekanol</b>	188	202	238	0
<b>Oktadekanol</b>	206	219	256	0
<b>P1</b>	235	331	440	16,8
<b>P2</b>	165	189	388	10,2
<b>P3</b>	173	200	383	8,4
<b>P4</b>	189	220	391	8,4

#### 4.3.4. Faz değişim özelliği gösteren iç içe geçmiş polimer ağı yapıların morfolojik özelliklerinin SEM analizi ile karakterizasyonu

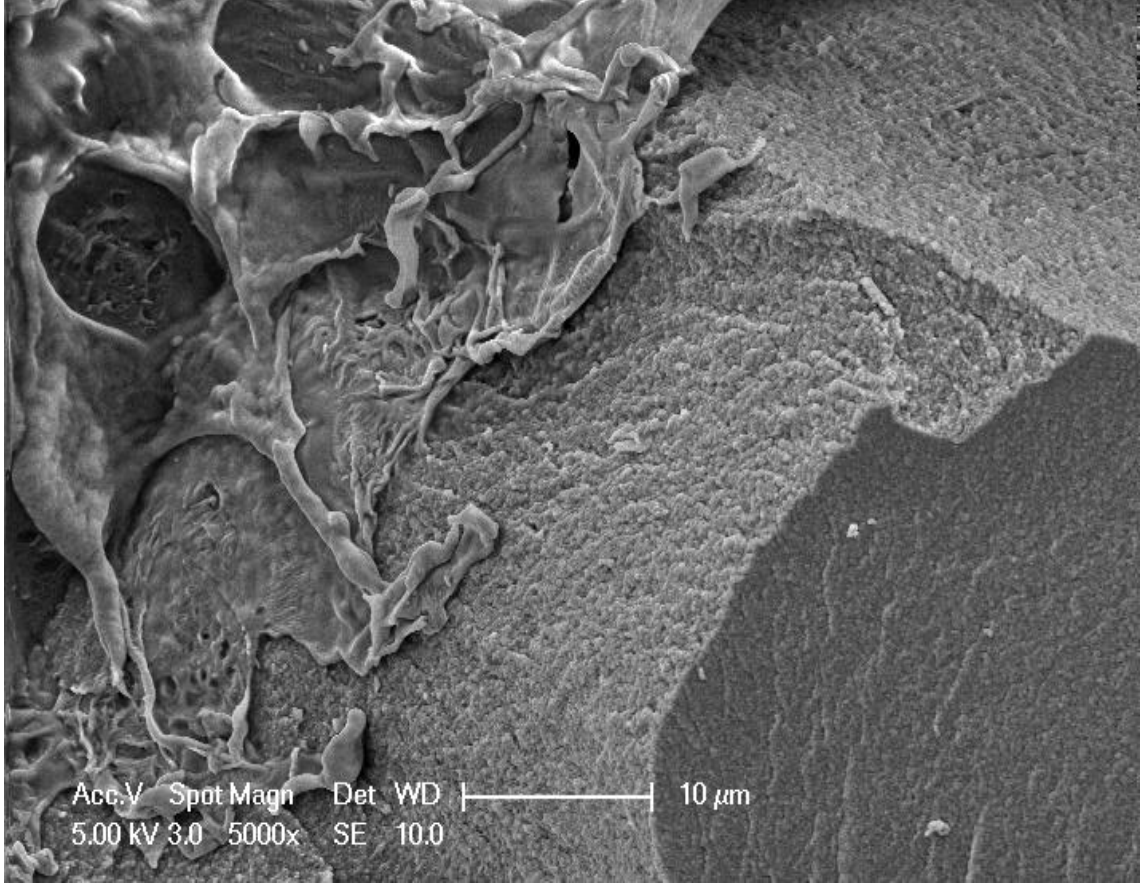
Faz değişim malzemelerinin ve iç içe geçmiş polimer ağı yapıları numunelerinin morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile detaylı olarak incelenmiştir. P1 numunesine ait SEM görüntüleri 4.26'da verilmiştir. Görüntüler farklı büyütme oranlarında ve numunelerin kırık yüzeylerinden alınan görüntülerdir. P1 numunesi sadece iç içe geçmiş polimer ağı yapısının olduğu formülasyondur. Şekil 4.26'daki SEM görüntüsü incelendiğinde polimer yüzeyin de homojen şekilde bir dağılım görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde boncuksu bir yapıya sahip olunduğu görülmektedir.



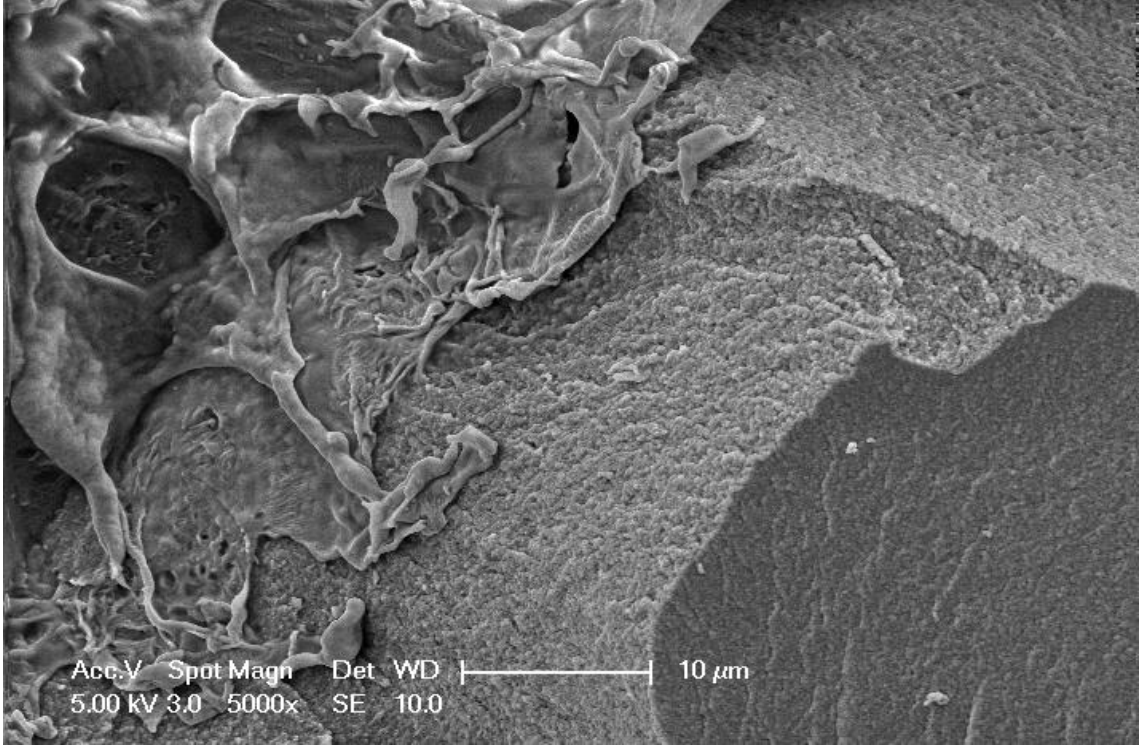
Şekil 4.26. P1 numunesine ait farklı büyütme oranlarında SEM görüntüleri.

Tetradekanol, heksadekanol ve oktadekanol içeren P2, P3 ve P4 kodlu FDM'lerin SEM fotoğrafları Şekil 4.27, 4.28 ve 4.29'da sırasıyla gösterilmektedir. Tüm üç

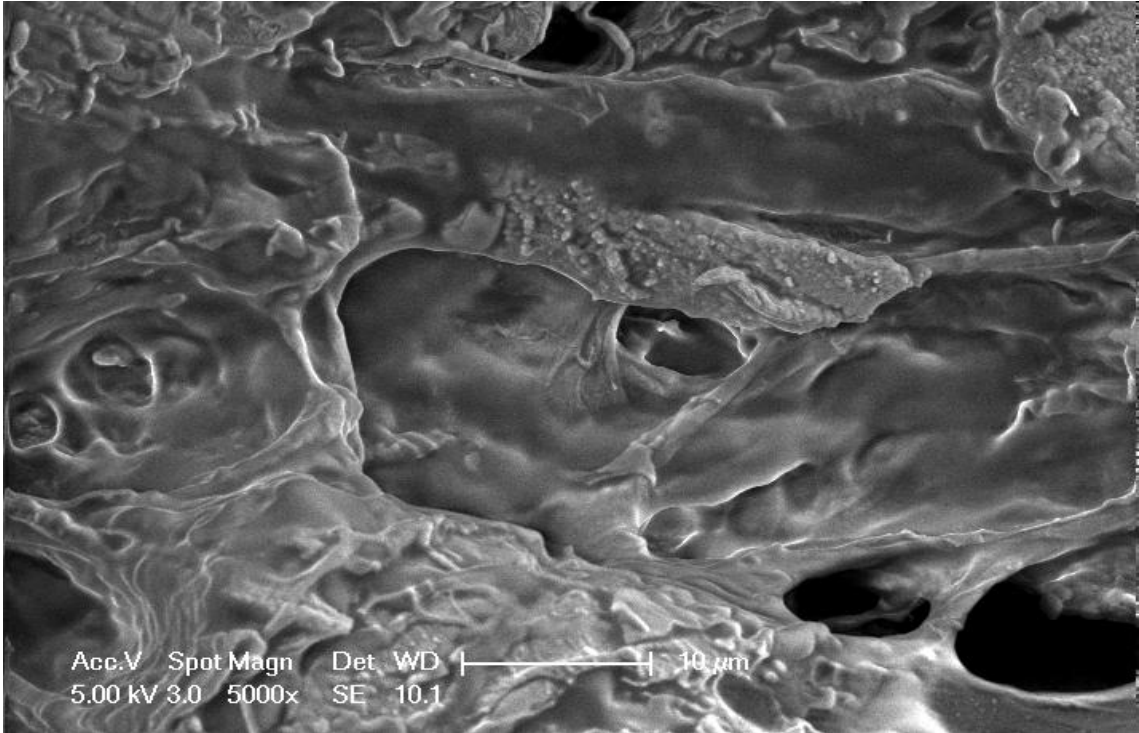
formülasyonda da yapı içerisinde yağ alkollerinin katılması ile formülasyonlarında homojen yapı bozulmuştur. SEM görüntüleri kırık yüzeylerden çekilmiştir. Yağ alkolleri polimer matriks yapı içerisinde gömülü durumdadır.



**Şekil 4.27.** Tetradekanol içeren P2 kodlu FDM numunesine ait SEM görüntüsü.



**Şekil 4.28.** Hekzadekanol içeren P3 kodlu FDM numunesine ait SEM görüntüsü.

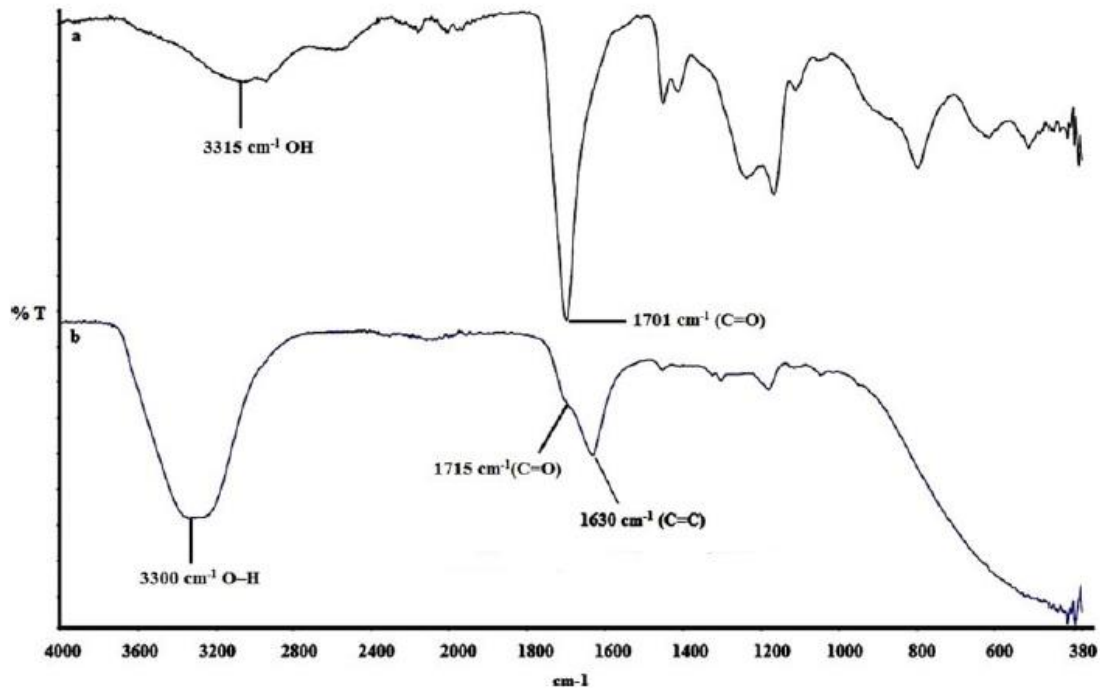


**Şekil 4.29.** Oktadekanol içeren P4 kodlu FDM numunesine ait SEM görüntüsü.

#### 4.4. Mikroenkapsülasyon Yöntemi İle Metakrillenmiş Poli (akrilik asit) Esaslı Hibrit Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması

##### 4.4.1. Metakrillenmiş poli (akrilik asit) ve mikroenkapsüle edilmiş hibrit faz değişim malzemelerinin FT-IR analizi ile kimyasal karakterizasyonu

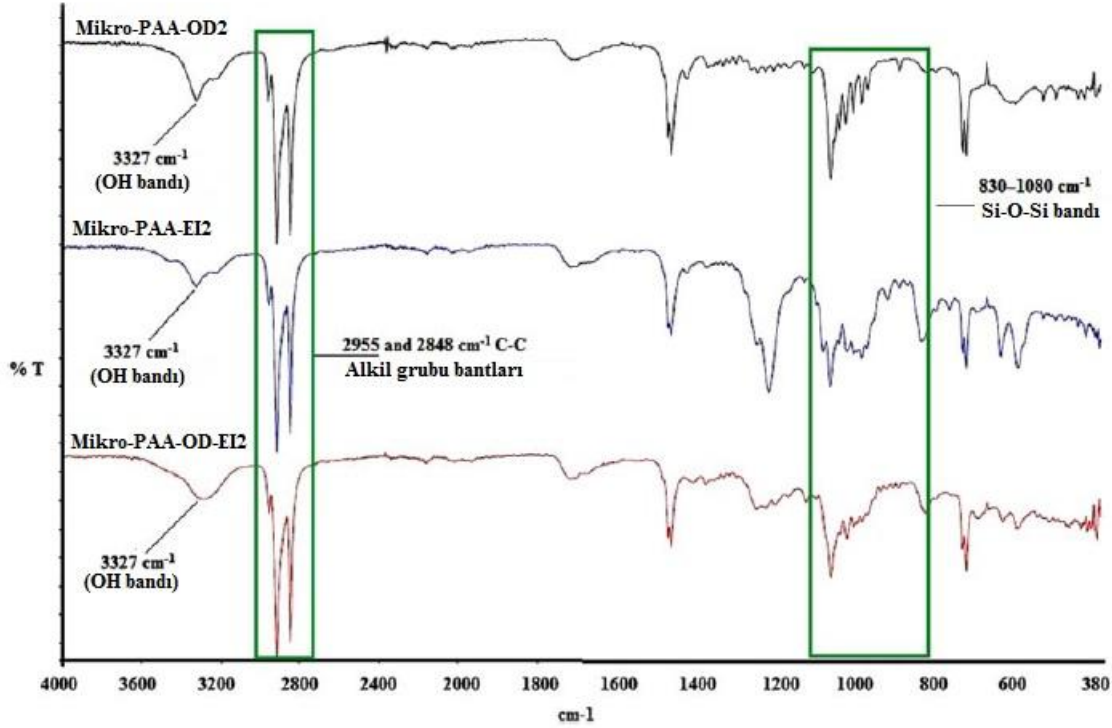
Metakrillenmiş poli (akrilik asit) poli (akrilik asit) ile metakrilik asit reaksiyonu sonucunda hazırlanmıştır. Metakrillenmiş poli (akrilik asit) mikrokapsül FDM'lerde UV ışınları ile kürlenebilen kabuk malzemesi olarak kullanılmıştır. Senteze ait FT-IR spektrumu Şekil 4.30'da verilmiştir. Şekil 4.30 (b)'de ortaya çıkan  $1715\text{ cm}^{-1}$  (C=O) ve  $1630\text{ cm}^{-1}$  (C=C) [107] bantlar reaksiyonun gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 4.30.(a) poli (akrilik asit), (b) metakrillenmiş poli(akrilik asit)'e ait ATR-FTIR spektrumu.

Şekil 4.31'de verilen ATR-FTIR spektrumu incelendiğinde  $3327\text{ cm}^{-1}$ 'de yağ alkollerinin (-OH) gruplarına ait gerilme piki,  $2955\text{ cm}^{-1}$ ,  $1472\text{ cm}^{-1}$  ve  $1374\text{ cm}^{-1}$  deki karakteristik yağ alkolü pikleri gözlemlenmektedir.  $2848\text{ cm}^{-1}$  bant yağ alkollerine ait alkil grup piklerini göstermektedir. Spektrumdaki  $830\text{-}1080\text{ cm}^{-1}$  deki bantlar Si-O-Si [107] grubuna ait karakteristik piklerdir. Malzemeler UV ışınları ile kürlleme işleminden

sonra  $1630\text{ cm}^{-1}$  bulunan bant bulunmamaktadır. Bu şekilde kabuk malzemesinin çekirdek malzemesi ile kimyasal bağlanmayı tamamen sağlamıştır.



Şekil 4.31. Mikroenkapsüle edilmiş hibrit FDM'lere ait ATR-FTIR spektrumu.

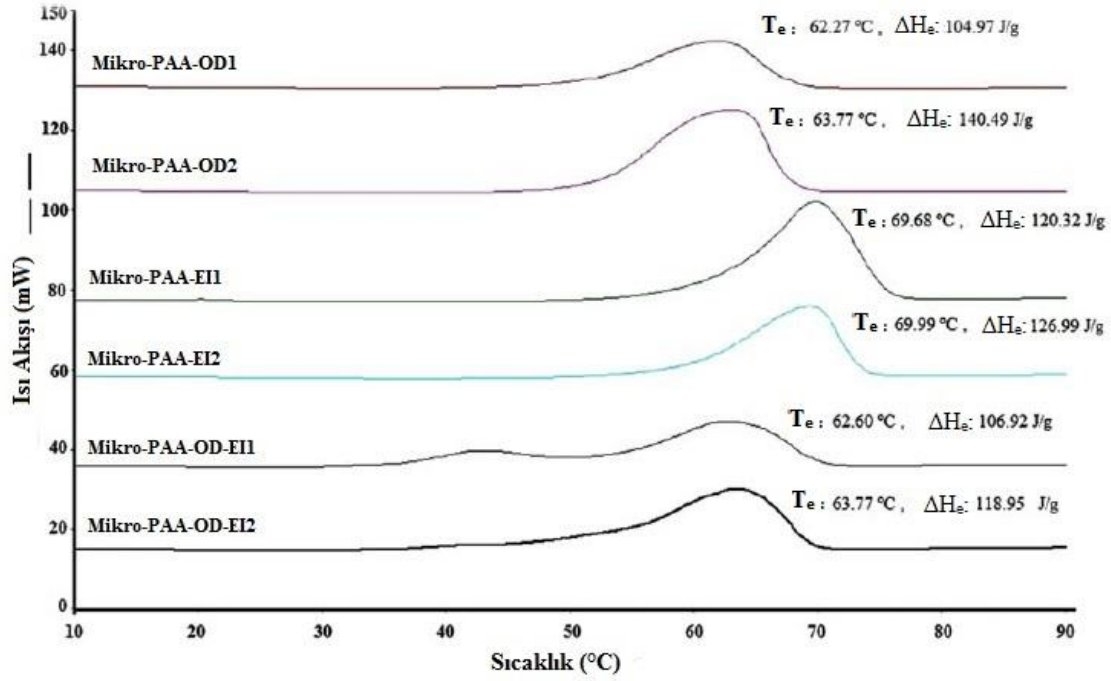
#### 4.4.2. Mikroenkapsüle edilmiş hibrit faz değişim malzemelerinin DSC analizi ile ısı enerji depolama özelliklerinin karakterizasyonu

Şekil 4.32'de hibrit mikrokapsül FDM'lere ait erime DSC termogramları verilmektedir. Şekil 4.32 ve Tablo 4.7 incelendiğinde, erime sıcaklıkları Mikro-PAA-OD1 için  $62,27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Mikro-PAA-OD2 için  $63,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Mikro-PAA-EI1 için  $69,68\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Mikro-PAA-EI2 için  $69,99\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Mikro-PAA-OD-EI1 için  $62,60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve Mikro-PAA-OD-EI2 için  $63,77\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu belirlenmiştir. Hazırlanan mikrokapsül FDM'lerin oktadekanol çekirdek malzemesi içerenleri ortalama  $63\text{ }^{\circ}\text{C}$  erime sıcaklığına sahiptir. Oktadekanol saf halde iken  $63\text{ }^{\circ}\text{C}$  erime sıcaklığı göstermektedir. Bu sonuca göre oktadekanol içeren mikrokapsül erime sıcaklığında değişiklik meydana gelmemiştir. Hazırlanan mikrokapsül FDM'lerin eikosanol çekirdek malzemesi içerenleri ortalama  $69\text{ }^{\circ}\text{C}$  erime sıcaklığına sahiptir. Eikosanol saf halde iken  $71\text{ }^{\circ}\text{C}$  erime sıcaklığı göstermektedir. Bu sonuca göre eikosanol içeren mikrokapsül erime sıcaklığında  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik azalma meydana

gelmiştir. Çekirdek malzemesi olarak oktadekanol ve eikosanol ötektik karışımı hazırlandığında erime sıcaklığının 63 °C olduğu bulunmuştur. Bu sonuca göre mikrokapsülün daha çok oktadekanol karakteri göstermektedir.

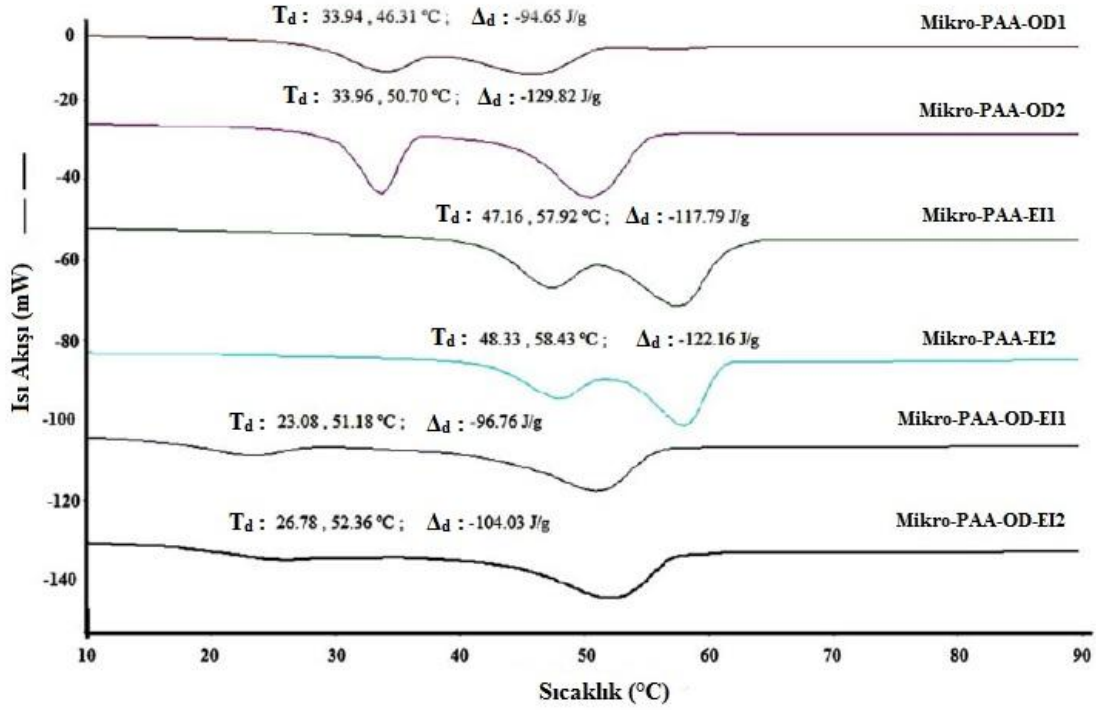
**Tablo 4.7.** Yağ alkollerine ve hibrit mikrokapsül FDM'lere ait DSC sonuçları.

Örnekler	Erime		Donma		
	$T_e$ (°C)	$\Delta H_e$ (J/g)	$T_d$ (°C)	$\Delta H_d$ (J/g)	
<b>Oktadekanol</b>	63,66	253,92	50,81	56,20	-244,79
<b>Eikosanol</b>	71,63	259,97	57,52	62,59	-249,31
<b>Metakrillenmiş-PAA</b>	-	-	-	-	-
<b>Mikro-PAA-OD1</b>	62,27	104,97	33,94	46,31	-94,65
<b>Mikro-PAA-OD2</b>	63,77	140,49	33,96	50,70	-129,82
<b>Mikro-PAA-EI1</b>	69,68	120,32	47,16	57,92	-117,79
<b>Mikro-PAA-EI2</b>	69,99	126,99	48,33	58,43	-122,16
<b>Mikro-PAA-OD-EI1</b>	62,60	106,92	23,08	51,18	-96,76
<b>Mikro-PAA-OD-EI2</b>	63,77	118,95	26,78	52,36	-104,03



Şekil 4.32. Mikroenkapsüle edilmiş hibrit FDM'lere ait erime DSC termogramı.

Şekil 4.33'de hibrit mikroenkapsül FDM'lere ait donma DSC termogramları verilmektedir. Şekil 4.33 ve Tablo 4.7 incelendiğinde, FDM'ler iki farklı donma sıcaklığına sahiptirler. Ortalama donma sıcaklıkları Mikro-PAA-OD1 için 40,13 °C; Mikro-PAA-OD2 için 42,33 °C; Mikro-PAA-EI1 için 52,54 °C; Mikro-PAA-EI2 için 53,38 °C; Mikro-PAA-OD-EI1 için 37,13 °C ve Mikro-PAA-OD-EI2 için 39,57 °C olduğu belirlenmiştir. Hazırlanan mikroenkapsül FDM'lerin oktadekanol çekirdek malzemesi içerenleri ortalama 41 °C donma sıcaklığına sahiptir. Oktadekanol saf halde iken 53 °C erime sıcaklığı göstermektedir. Bu sonuca göre oktadekanol içeren mikroenkapsül donma sıcaklığında 12 °C'lik azalma meydana gelmemiştir. Hazırlanan mikroenkapsül FDM'lerin eikosanol çekirdek malzemesi içerenleri ortalama 53 °C donma sıcaklığına sahiptir. Eikosanol saf halde iken 60 °C donma sıcaklığı göstermektedir. Bu sonuca göre eikosanol içeren mikroenkapsül erime sıcaklığında 7 °C'lik azalma meydana gelmiştir.



**Şekil 4.33.** Mikroenkapsüle edilmiş hibrit FDM'lere ait donma DSC termogramı.

Şekil 4.32 incelendiğinde erime entalpileri Mikro-PAA-OD1 için 104,97 J/g; Mikro-PAA-OD2 için 140,49 J/g; Mikro-PAA-EI1 için 120,32 J/g; Mikro-PAA-EI2 için 126,99 J/g; Mikro-PAA-OD-EI1 için 106,92 J/g ve Mikro-PAA-OD-EI2 için 118,95 J/g olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.33 incelendiğinde donma entalpileri Mikro-PAA-OD1 için 94,65 J/g; Mikro-PAA-OD2 için 129,82 J/g; Mikro-PAA-EI1 için 117,79 J/g; Mikro-PAA-EI2 için 122,16 J/g; Mikro-PAA-OD-EI1 için 96,76 J/g ve Mikro-PAA-OD-EI2 için 104,03 J/g olduğu belirlenmiştir.

Hazırlanan mikrokapsül FDM'lerin erime entalpi değerlerinin donma entalpi değerlerinden yaklaşık 10 J/g fazla olduğu belirlenmiştir. Saf haldeki yağ alkollerinin erime ve donma entalpi değerleri mikrokapsül içerisinde enkapsüle olma derecelerine bağlı olarak yüzde elli oranında azalmıştır.

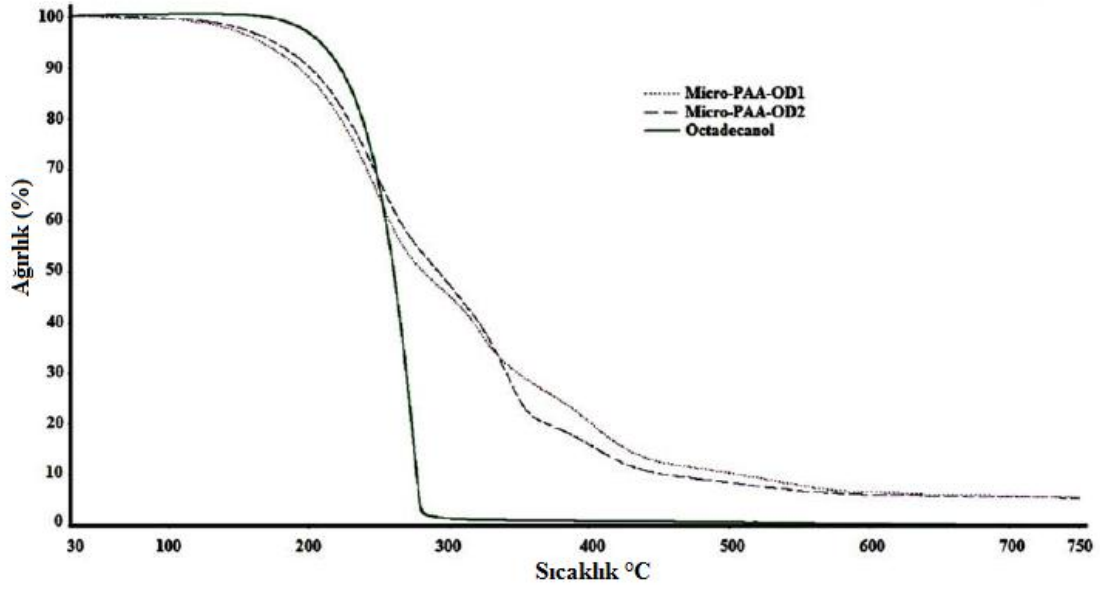
#### 4.4.3. Mikroenkapsüle edilmiş hibrit faz değişim malzemelerinin TGA analizi ile ısı bozunma özelliklerinin karakterizasyonu

Tüm mikrokapsül FDM'lerin ve yağ alkollerinin termal davranışları TGA analizi ile belirlendi. Tüm numuneler TGA cihazında 30 °C'den 750°C'ye 10 °C/dk hızla 2 bar azot atmosferi altında ısıtılarak Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'deki termogramlar elde edildi. Bu doğrultuda mikrokapsül FDM'lerin saf haldeki oktadekanol ve eikosanolun termal kararlılıklarını değerlendirmek için %5, %10 ve %50 kütle kaybının meydana geldiği sıcaklıklar ile 750 °C'de geriye kalan % kül miktarı dikkate alındı. Elde edilen veriler Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

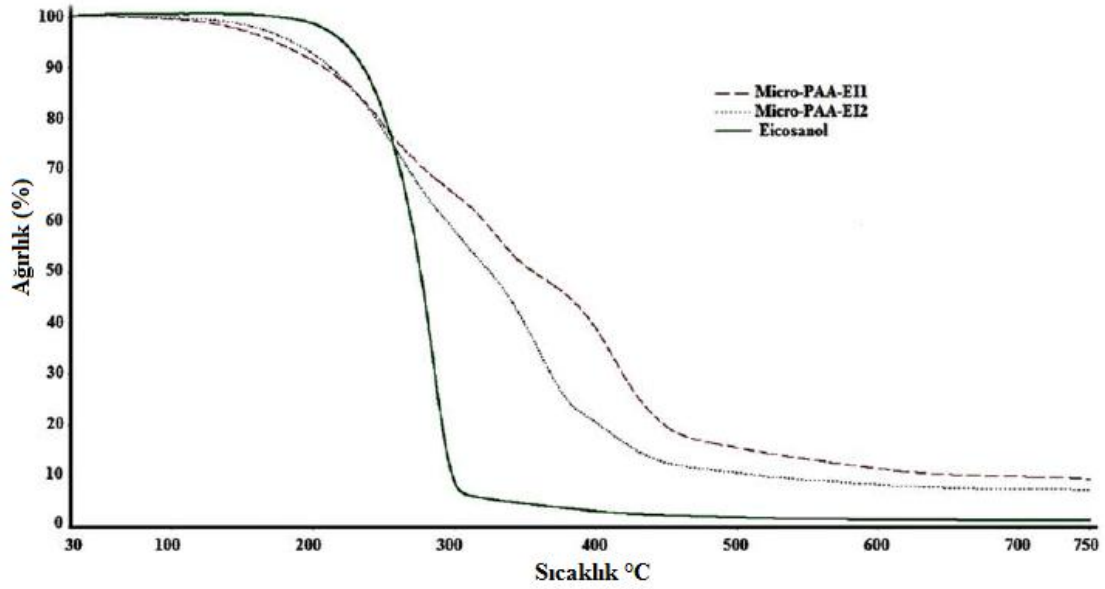
**Tablo 4.8.** Saf haldeki yağ alkolü ve mikrokapsül FDM'lere ait TGA analizi sonuçları.

Örnekler	T <sub>%5</sub> (°C)	T <sub>%10</sub> (°C)	T <sub>%50</sub> (°C)	Kül Miktarı (%)
<b>Oktadekanol</b>	206	219	256	0
<b>Eikosanol</b>	220	235	275	0
<b>Mikro-PAA-OD1</b>	165	194	281	5,50
<b>Mikro-PAA-OD2</b>	176	202	292	5,36
<b>Mikro-PAA-EI1</b>	173	208	355	9,31
<b>Mikro-PAA-EI2</b>	187	212	325	7,12
<b>Mikro-PAA-OD-EI1</b>	160	186	296	6,23
<b>Mikro-PAA-OD-EI2</b>	176	205	302	6,04

Şekil 4.34'de oktadekanol ve oktadekanol çekirdek malzemeli mikrokapsül FDM'lerin TGA termogramları verilmiştir. Mikrokapsüllerin %5 ve %10 kütle kayıpları saf haldeki oktadekanolun değerleri ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak %50'lik kütle kaybına bakıldığında mikrokapsül FDM'ler daha iyi ısı dayanım göstermektedirler. 750 °C deki Mikro-PAA-OD1 için %5,50; Mikro-PAA-OD2 için %5,36'dır.



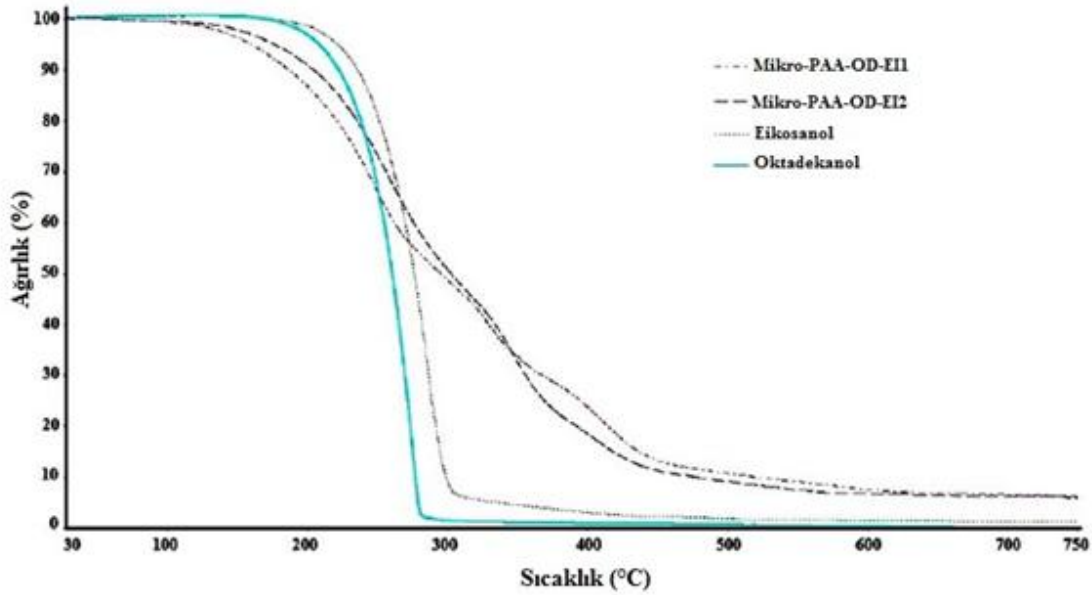
Şekil 4.34.Saf halde oktadekanol ve oktadekanol çekirdek malzemesi içeren mikrokapsül FDM'lere ait TGA termogramları.



Şekil 4.35.Saf halde eikosanol ve eikosanol çekirdek malzemesi içeren mikrokapsül FDM'lere ait TGA termogramları.

Şekil 4.35’de eikosanol ve eikosanol çekirdek malzemeli mikrokapsül FDM’lerin TGA termogramları verilmiştir. Mikrokapsüllerin %5 ve %10 kütle kayıpları saf haldeki oktadekanolün değerleri ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak %50’lik kütle kaybına bakıldığında mikrokapsül FDM’ler daha iyi ısıl dayanım göstermektedirler. 750 °C deki Mikro-PAA-EI1 için % 9,31; Mikro-PAA-EI2 için % 7,12’dir.

Şekil 4.36’de eikosanol, oktadekanol yağ alkollerini ve bu yağ alkollerinin ötektik karışımı çekirdek malzemeli mikrokapsül FDM’lerin TGA termogramları verilmiştir. Mikrokapsüllerin %50’lik kütle kaybına bakıldığında mikrokapsül FDM’ler daha iyi ısıl dayanım göstermektedirler. 750 °C deki Mikro-PAA-OD-EI1 için %6,23; Mikro-PAA-OD-EI2 için % 6,04’dür.

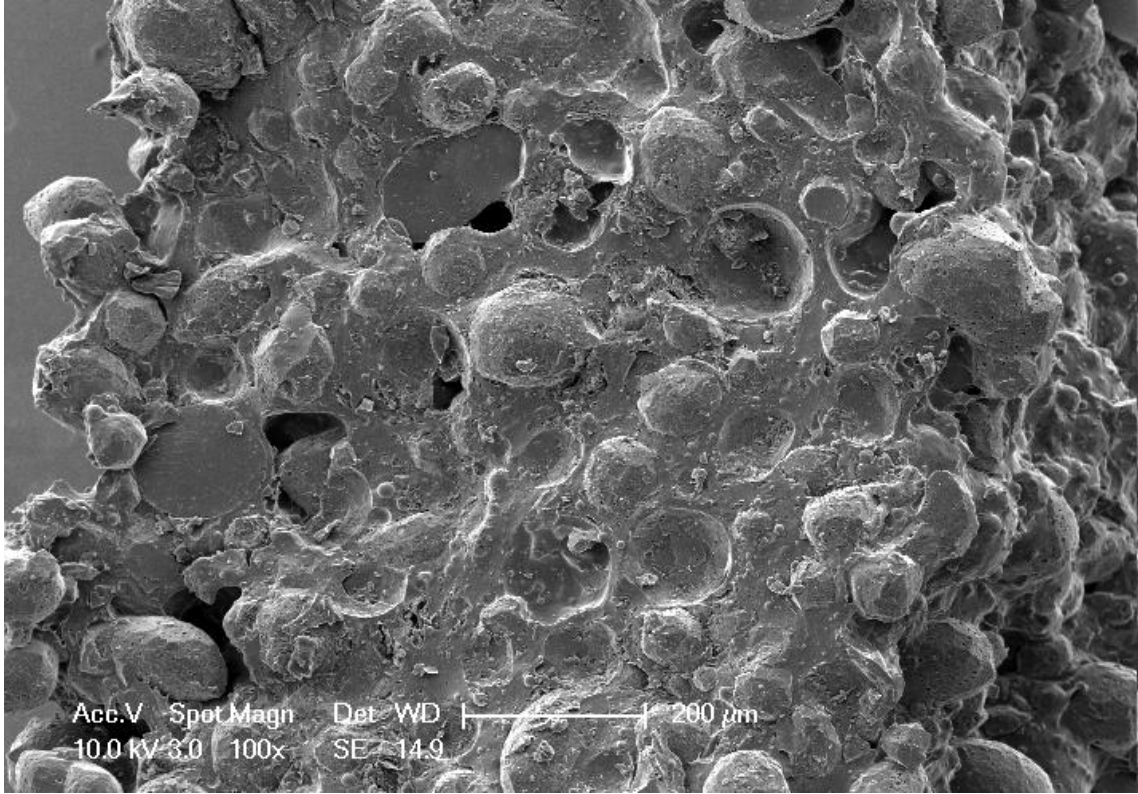


Şekil 4.36. Saf halde eikosanol, oktadekanol ve bu yağ alkollerinin ötektik karışımı çekirdek malzemesi içeren mikrokapsül FDM’lere ait TGA termogramları.

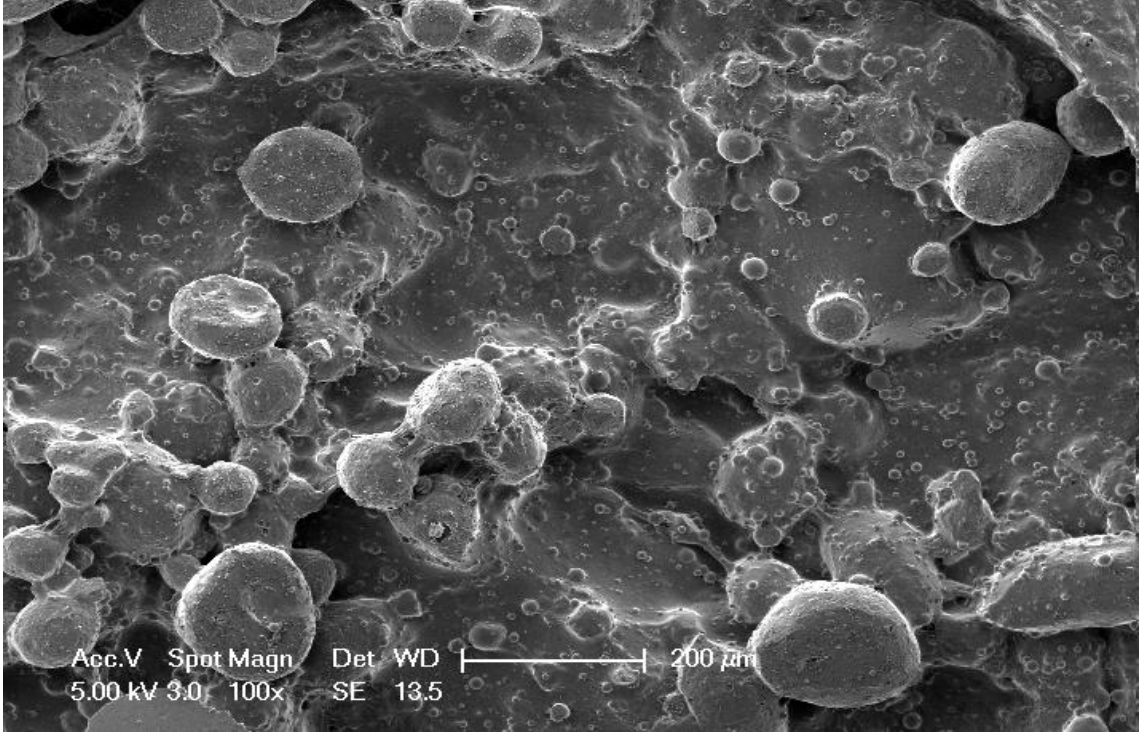
#### 4.4.4. Mikroenkapsüle edilmiş hibrit faz değişim malzemelerinin SEM analizi ile morfolojik özelliklerinin karakterizasyonu

Hazırlanan mikroenkapsül FDM'lerin küresel yüzeyleri ve kapsül boyutları ile ilgili morfolojik özellikleri için taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri de alınmıştır. Yapılan çalışmada hazırlanan mikroenkapsül FDM'lerin SEM görüntüleri Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da verilmiştir.

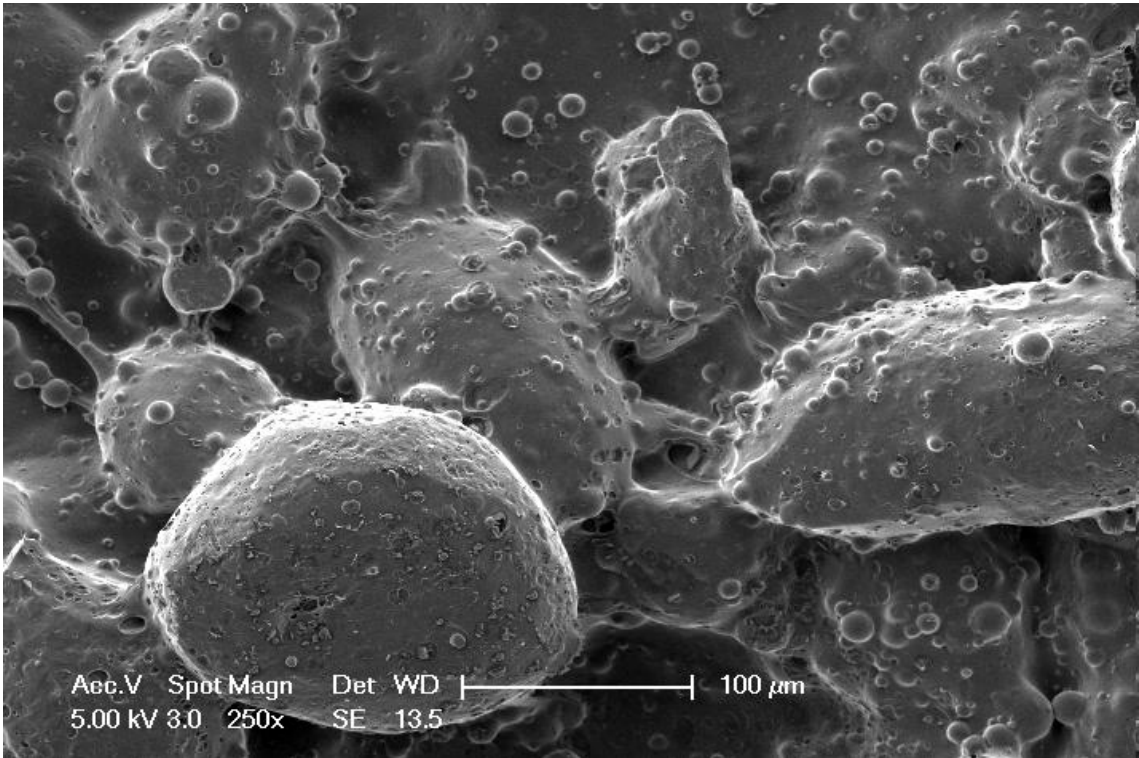
Tüm SEM görüntüleri incelendiğinde yağ alkolü çekirdek malzemelerinin polimer matrisi içerisinde dispers olduğu görülmektedir. Mikroenkapsüllerin boyutları 100-150 mikron arasında değişmektedir.



Şekil 4.37. Hazırlanan Mikro-PAA-OD2 numunesine ait SEM görüntüleri.



**Şekil 4.38.** Hazırlanan Mikro-PAA-EI2 numunesine ait SEM görüntüleri.



**Şekil 4.39.** Hazırlanan Mikro-PAA-OD-EI2 numunesine ait SEM görüntüleri.



## 5.SONUÇLAR

Bu tez kapsamında farklı yağ alkolleri içerikli UV ışınları ile sertleşebilen polimer materyal temelli faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Toplam dört farklı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların ilk üçünde UV ışınları ile sertleşebilen polimer matrisine içersine faz değişim malzemeleri gömülmüş ve faz değişim sıcaklık aralığında ortaya çıkan akma problemi çözülmeye çalışılmıştır. Son çalışmada ise faz değişim malzemesi olarak yağ alkolleri polimer kabuk içerisinde enkapsüle edilmiştir. Bu çalışmada mikrokapsül faz değişim malzemeleri hazırlanmıştır. Tüm çalışmalarda hazırlanan FDM numunelerinin ısıl enerji depolama kapasiteleri, erime, donma sıcaklıkları ve entalpileri diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ile karakterize edilmiştir. Sentezi yapılan reçineler ATR-FTIR spektrofotometresi ile analiz edilmiştir. Malzemelerin ısıl dayanım özellikleri TGA, morfolojik özellikleri SEM analizi ile karakterize edilmiştir. Yapılan çalışmalara aşağıda ayrı başlıklar altında anlatılmaktadır.

### *Soya Yağı Esaslı Fotoçapraz Bağlanmış Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar*

- Bu çalışmada ilk olarak epokside soya yağı akrilik asit ile reaksiyona sokulmuş ve akrillenmiş soya yağı sentezi yapılmıştır. Akrillenmiş soya yağının karakterizasyonu ATR-FTIR ile yapılmıştır.Yeni sentezlenen malzemede  $1635\text{ cm}^{-1}$  deki C=C çift bağına ait piklerin ortaya çıkışı ve epoksi gruplarına ait olan  $825\text{ cm}^{-1}$  piklerin kayboluşu bize reaksiyonun tamamalandığını göstermiştir.
- Sentezi yapılan akrillenmiş soya yağı ile yağ alkollerini içeren UV ışınları ile sertleştirilebilen dört ayrı formülasyon hazırlanmıştır. Bu formülasyonlardan birincisinde yağ alkolü yoktur ve diğer üç formülasyonda oktadekanol, eikosanol ve dokosanol bulunmaktadır. Bu formülasyonların hepsi UV ışınları ile sertleştirilmiş ve katı halde numuneler elde edilmiştir.
- UV ışınları ile sertleştirilen formülasyonların DSC analizi ile erime, donma sıcaklıkları ve entalpileri hesaplanmıştır.
- Hazırlanan numuneler için erime sıcaklıkları yağ alkollerinin saf ahaldeki haldeki durumları ile karşılaştırıldığında yaklaşık  $3-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  daha az oldukları görülmüştür.Erime entalpileri karşılaştırıldığında yağ alkolünün saf haldeki entalpi değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.Ancak UV ışınları ile

sertleştirilmiş numunler içinde yağ alkolunun kütlece yüzdesi ne kadar ise o değere yakın bir entalpi göstermişlerdir.

- Yağ alkolleri saf hallerinde iki farklı sıcaklık değerinde donma göstermektedirler. Erime sıcaklıklarında olduğu gibi donma sıcaklıklarında yağ alkollerinin saf hallerindeki kıyasla daha düşüktür. Ayrıyeten donma sıcaklık değerleri erime sıcaklık değerlerinden daha düşüktür. Bu durum literatür ile uyum göstermektedir.
- Hazırlanan FDM'lerin ısı dayanım özellikleri Tga ile analiz edilmiştir. TGA analizi sonucunda hazırlanan FDM'lerin ısı dayanımları yağ alkollerinin saf hallerine göre yüksektir. Bu şekilde FDM'lerin ısı dayanım özellikleri geliştirilmiştir.
- Hazırlanan FDM'lerin morfolojik analizleri SEM ile yapılmıştır. FDM'lerin polimer matrisi içerisinde dispers oldukları görülmektedir.

#### *Isıl Enerji Depolama Kapasitesine Sahip UV Işınları İle Sertleştirilen Tiyol-En Esaslı Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar*

- Bu çalışmada üç farklı yağ alkolü içeren tiyo-en polimerizasyonu ile sertleştirilen formülasyonlar hazırlanmıştır. Tiyol-en temelli faz değişim malzemeleri literatürde bulunmamaktadır.
- Bu çalışmada da dört farklı formülasyon hazırlanmış, birinci formülasyon yağ alkolü içermeyen formülasyondur. Bu formülasyon ile hazırlanan numuneler endotermik ve ekzotermik pikler göstermemektedir. Ancak formülasyonlara yağ alkolleri katıldığında erime, donma pikleri vermektedirler.
- Hazırlanan numunelerin erime entalpi değerleri 25 ile 52 J/g değerleri arasında bulunmaktadır.
- Hazırlanan numunelerin donma entalpi değerleri 17 ile 49 J/g değerleri arasında bulunmaktadır.
- Organik faz değişim malzemesi olan yağ alkolleri faz değişimi sırasında akma problemine sebep olmaktadır. Tezin tüm çalışmalarında olduğu gibi bu çalışmada da akma problemi yağ alkolünün polimer matrisi içine gömülmesi ile çözülmüştür.

- Hazırlanan FDM'ler ısı enerji depolama uygulamaları için potansiyel kullanıma sahiptir.

*UV Işınları İle Sertleşebilen İç İçe Geçmiş Polimer Ağsı Yapılı (IPN) Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar*

- Bu çalışmada hem radikalik hem de katyonik polimerleşen sistemleri beraber içeren iç içe geçmiş polimer ağsı yapı hazırlanmıştır.
- Radikalik kısımda polimerleşebilen maleiklenmiş hint yağı sentezi yapılmıştır. Sentez işlemi ATR-FTIR ile takip edilmiştir. C=C çift bağına ait  $1630\text{ cm}^{-1}$  de oluşan bant reaksiyonun tamamen gerçekleştiğini göstermektedir.
- Hazırlanan FDM'lerin erime entalpileri 40 ile 71 J/g aralığındadır. Donma entalpileri ise 23 ile 58 J/g aralığındadır.
- Formülasyon içerisindeki yağ alkolünün karbon sayısı arttıkça erime ve donma entalpi değerleri artmaktadır.
- Yağ alkollerinin saf hallerinde ısı dayanım özellikleri zayıftır. Ancak iç içe geçmiş polimer sisteminde FDM'lerin ısı dayanım özellikleri artmıştır. Yağ alkollerini maksimum kütle kayıplarını 217 ile 256 °C aralığında gösterirken, aynı yağ alkollerini hazırlanmış polimerik FDM'ler 390 °C'e kadar ısı dayanım göstermektedir. Isı dayanım değerinin artması formülasyonda bulunan sol-gel içeriğine bağlıdır.
- İç içe geçmiş polimer ağsı yapılı FDM'ler homojen ve boncuksuz yapıya sahiptirler.

*Mikroenkapsülasyon Yöntemi İle Metakrillenmiş Poli (akrilik asit) Esaslı Hibrit Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar*

- Bu çalışmada iki farklı yağ alkolü mikroenkapsüle edilerek faz değişimleri sırasında ortaya çıkan akma problemi çözülmeye çalışılmıştır.
- Mikrokapsül FDM'ler hazırlanırken çekirdek malzemesi olarak oktadekanol ve eikosanol kullanılmıştır. Kabuk malzemesi olarak UV ışınları ile sertleşebilecek karakterde olan metakrillenmiş poli (akrilik asit) sentezi yapılmıştır.
- Metakrillenmiş poli (akrilik asit) poli (akrilik asit) ile metakrilik asit reaksiyonu ile hazırlanmıştır. Reaksiyon ilerleyişi ATR-FTIR analizi ile takip edilmiştir.

1630 ve 1715  $\text{cm}^{-1}$  de oluşan pikler metakrilleme reaksiyonunun başarı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

- Hazırlanan mikrokapsül FDM'lerin erime entalpileri 104 ile 127 J/g aralığında bulunmaktadır. Donma entalpi değerleri ise 95 ile 130 J/g aralığındadır. Sonuçlar literatür ile uyumluluk göstermektedir.
- FDM formülasyonları içerisinde bulunan sol-gel miktarı arttıkça malzemelerin ısı dayanımları artmıştır.
- Hazırlanan FDM'lerin SEM görüntüleri incelendiğinde mikrokapsül FDM'lerin 100-150 mikron büyüklüğüne sahip olduğu görülmektedir.

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda hazırlanan FDM'ler ısı enerjisi depolama sistemlerinde kullanılacak yapıdadırlar. Organik faz değişim malzemelerinin en büyük problemi olan faz değişimi sırasında ortaya çıkan akma problemi UV ışınları ile sertleştirilen polimer sistemler içerisine FDM'lerin hapsedilmesi veya mikroenkapsüle edilmesi ile çözümlenebilmektedir.

Bu doktora tezi kapsamında yapılan çalışmalardan SCI kapsamındaki uluslararası dergilerde 4 makale yayınlanmıştır. Uluslar arası kongrede tez çalışması sözlü olarak sunulmuştur.

1. Photocrosslinked biobased phase change material for thermal energy storage. Emre BAŞTÜRK, Memet Vezir KAHRAMAN. (2016).Journal of Applied Polymer Science. Cilt 133. sf 32.
2. Preparation of thiol-ene based photo-crosslinked polymer as a potential phase change material. Emre BAŞTÜRK, Duygu YÜKSEL DENİZ, Memet Vezir KAHRAMAN. (2016).Materials Chemistry and Physics. Cilt 177. sf 521-528.
3. A novel uv-cured interpenetrating organic-inorganic hybrid polymer network based phase change materials (ipn-pcm).Emre BAŞTÜRK, Duygu YÜKSEL DENİZ, Ferhat ŞEN, Memet Vezir KAHRAMAN. (2017). Polymer Engineering & Science. (DOI: 10.1002/pen.24639).
4. Preparation and performances of photocrosslinked methacrylated polyacrylic acid based core-shell hybrid phase change materials. Emre BAŞTÜRK, Memet Vezir KAHRAMAN. (2018).Polymer Engineering & Science.(DOI: 10.1002/pen.24829).

## KAYNAKLAR

- [1] <https://www.iea.org/weo/> (21.04.2018)
- [2] Lefebvre, D., Tezel, F. H. (2017). A review of energy storage technologies with a focus on adsorption thermal energy storage processes for heating applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 116-125.
- [3] Kozak, M., Kozak, M. (2012). Enerji depolama yöntemleri. *SDU International Technologic Science*, 4, 17-29.
- [4] Huggins, A.R. (2010). *Energy Storage Fundamentals, Materials and Applications*. Stanford, CA.
- [5] Zhang, Z.C., Ooi, B.T. (1993). Multimodular current-source SPWM converters for a superconducting magnetic energy storage system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 8 (3), 250-256.
- [6] Dincer, I., Rosen M.A. (2002). *Thermal energy storage: systems and applications*. Chichester, England: Wiley.
- [7] Baylin, F. (1979). *Low temperature thermal energy storage: a state of the artsurvey*. Report no. SERI/RR/-54-164. Golden, Colorado, USA: Solar Energy Research Institute.
- [8] Fernandes, D., Pitié, F., Cáceres, G., Baeyens, J. (2012). Thermal energy storage: how previous findings determine current research priorities. *Energy*, 39, 246–257.
- [9] Farid, M.M., Khudhair, A.M., Razack, S.A.K., Al-Hallaj, S. (2004). A review on phase change energy storage: materials and applications. *Energy Conversion and Management*, 1597–1615.
- [10] Lane, G.A. (1985). *Solar heat storage: latent heat materials*. Technology, vol. 2. Boca Raton, USA: CRC Press.
- [11] Abhat, A. (1983). Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Solar Energy*, 30, 313-332.
- [12] Mondal, S. (2008). Phase Change Materials for Smart Textiles-An Overview. *Applied Thermal Engineering*, 28, 1536-1550.
- [13] Cunha, J.P., Eames, P. (2016). Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials – A review. *Applied Energy*, 177, 227-238.

- [14] Kenisarin, M., Mahkamov, K. (2016). Passive thermal control in residential buildings using phase change materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 371-398.
- [15] Hale, D. V., Hoover, M. J., O'Neill, M. J. (1971). *Phase change materials handbook*, Lockheed Missiles and Space Co.; Research and Engineering Center.; Huntsville, Alabama, United States.
- [16] Zalba, B., Marín, J.M., Cabeza, L.F., Mehling, H. (2003). Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*, 23 (3), 251-283.
- [17] Agyenim, F., Hewitt, N., Eames, P., Smyth, M. (2010). A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2), 615-628.
- [18] Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318-345.
- [19] Kenisarin, M., Mahkamov, K. (2007). Solar energy storage using phase change materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11,1913–1965.
- [20] Liu, M., Saman, W., Bruno, F. (2012). Review on storage materials and thermal performance enhancement techniques for high temperature phasechange thermal storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (4), 2118-2132.
- [21] Karaipekli, A. (2010) Yağ Asidi Ötektik Karışımları/Yapı Malzemeleri Kompozitlerinin Hazırlanması, Karakterizasyonu Ve Isıl Enerji Depolama Performanslarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, Türkiye, 14-20.
- [22] Baştürk, E., Deniz Yüksel, D., Kahraman, M.V. (2016). Preparation of thiol-ene based photo-crosslinked polymer as a potential phase change material. *Materials Chemistry and Physics*, 177, 521-528.
- [23] Abuelnuor, A.A.A., Omara, A.A.M., Saqr, K.M., Elhag, I.H.I. (2018). Improving indoor thermal comfort by using phase change materials: A review. *International Journal of Energy Research*, 42 (6), 2084-2103.

- [24] Ryu, H.W., Woo, S.W., C Shin, B.C., Kim, S.D. (1992). Prevention of supercooling and stabilization of inorganic salt hydrates as latent heat storage materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 27 (2), 161-172.
- [25] Kenisarin, M., Mahkamov, K. (2016). Salt hydrates as latent heat storage materials: Thermophysical properties and costs. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 145 (3), 255-286.
- [26] Donkers, P.A.J., Sögütoglu, L.C., Huinink, H.P., Fischer, H.R., Adan, O.C.G. (2017). A review of salt hydrates for seasonal heat storage in domestic applications. *Applied Energy*, 199, 45-68.
- [27] Rammelberg, H.U., Osterland, T., Priehs, B., Opel, O., Ruck, W.K.L. (2016). Thermochemical heat storage materials – Performance of mixed salt hydrates. *Solar Energy*, 136, 571-589.
- [28] Shukla, A., Buddhi, D., Sawhney, R.L. (2008). Thermal cycling test of few selected inorganic and organic phase change materials. *Renewable Energy*, 33 (12), 2606-2014.
- [29] Mohamed, S.A., Al-Sulaiman, F.A., Ibrahim, N.I., Zahir, H., Al-Ahmed, A., Saidur, R., Yılbaş, B.S., Sahin, A.Z. (2017). A review on current status and challenges of inorganic phase change materials for thermal energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1072-1089.
- [30] Sun, Z., Kong, W., Zheng, S., Frost, R.L. (2013). Study on preparation and thermal energy storage properties of binary paraffin blends/opal shape-stabilized phase change materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 117, 400-407.
- [31] Li, X., Sanjayan, J.G., Wilson, J.L. (2014). Fabrication and stability of form-stable diatomite/paraffin phase change material composites. *Energy and Buildings*, 76, 284-294.
- [32] Chen, F., Wolcott, M. (2015). Polyethylene/paraffin binary composites for phase change material energy storage in building: A morphology, thermal properties, and paraffin leakage study. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 137, 79-85.
- [33] Lv, P., Liu, C., Rao, Z. (2016). Experiment study on the thermal properties of paraffin/kaolin thermal energy storage form-stable phase change materials. *Applied Energy*, 182, 475-487.

- [34] Zhang, Q., Cui, K., Feng, J., Fan, J., Li, L., Wu, L., Huang, Q. (2015). Investigation on their covering performance of olefin block copolymer/hexadecane form stable phase change materials with shape memory properties. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 132, 632-639.
- [35] Liang, S., Li, Q., Zhu, Y., Chen, K., Tian, C., Wang, J., Bai, R. (2015). Nanoencapsulation of n-octadecane phase change material with silica shell through interfacial hydrolysis and polycondensation in miniemulsion. *Energy*, 93, 1684-1692.
- [36] Chen, Y., Zhao, L., Shi, Y. (2017). Preparation of polyvinyl chloride capsules for encapsulation of paraffin by coating multiple organic/inorganic layers. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 77, 177-186.
- [37] Chen, F., Wolcott, M.P. (2014). Miscibility studies of paraffin/polyethylene blends as form stable phase change materials. *European Polymer Journal*, 52, 44-52.
- [38] Tang, X., Li, W., Zhang, X., Shi, H. (2014). Fabrication and characterization of microencapsulated phase change material with low supercooling for thermal energy storage. *Energy*, 68, 160-166.
- [39] Paris, J., Falardeau, M., Villeneuve, C. (1993). Thermal storage by latent heat: a viable option for energy conservation in buildings. *Energy Sources*, 15, 85-93.
- [40] Baştürk, E., Kahraman, M.V. (2018). Thermal and phase change material properties of comb-like polyacrylic acid-grafted-fatty alcohols. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 276-282.
- [41] Baştürk, E., Deniz Yüksel, D., Kahraman, M.V. (2017). A novel UV-cured interpenetrating organic-inorganic hybrid polymer network based phase change materials (IPN/PCM). *Polymer Engineering & Science*.
- [42] Baştürk, E., Kahraman, M.V. (2016). Photocrosslinked biobased phase change material for thermal energy storage. *Journal of Applied Polymer Science*, 133, 32.
- [43] Li, M., Kao, H., Wu, Z., Tana, J. (2011). Study on preparation and thermal property of binary fatty acid and the binary fatty acids/diatomite composite phase change materials. *Applied Energy*, 88 (5), 1606-1612.
- [44] Yuan, Y., Zhang, N., Tao, W., Cao, X., He, Y. (2014). Fatty acids as phase change materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 482-498.

- [45] Akçay, M. (2006) Isıl Enerji Depolama Amaçlı Bazı Polimer/Yağ Asidi Karışımlarının Hazırlanması Ve Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, Türkiye, 15-19.
- [46] Li, M., Wu, Z., Kao, H. (2011). Study on preparation, structure and thermal energy storage property of capric–palmitic acid/attapulgitite composite phase change materials. *Applied Energy*, 88 (9), 3125-3132.
- [47] Chen, Z., Shan, F., Cao, L., Fang, G. (2012). Synthesis and thermal properties of shape-stabilized lauric acid/activated carbon composites as phase change materials for thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 102, 131-136.
- [48] Yang, X., Yuan, Y., Zhang, N., Cao, X., Liu, C. Preparation and properties of myristic–palmitic–stearic acid/expanded graphite composites as phase change materials for energy storage. *Solar Energy*, 99, 259-266.
- [49] Wanga, J., Xie, H., Xin, Z., Li, Y., Chen, L. (2010). Enhancing thermal conductivity of palmitic acid based phase change materials with carbon nanotubes as fillers. *Solar Energy*, 84 (2), 339-344.
- [50] Jiao, C., Ji, B., Fang, D. (2012). Preparation and properties of lauric acid–stearic acid/expanded perlite composite as phase change materials for thermal energy storage. *Materials Letters*, 67 (1), 352-354.
- [51] Khudhair, A.M., Farid, M.M. (2004). A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 45, 263–275.
- [52] Keles, S., Kaygusuz, K., Sari, A. (2005). Lauric and myristic acids eutectic mixture as phase change material for low-temperature heating applications. *International Journal of Energy Research*, 29, 857–870.
- [53] Cai, Y., Xu, X., Gao, C., Bian, T., Qiao, H., Wei, Q. (2012). Structural morphology and thermal performance of composite phase change materials consisting of capric acid series fatty acid eutectics and electrospun polyamide6 nanofibers for thermal energy storage. *Materials Letters*, 89, 43-46.
- [54] Cai, Y., Zong, X., Zhang, J., Hu, Y., Wei, Q., He, G., Wang, X., Zhao, Y., Fong, H. (2013). Electrospun nanofibrous mats absorbed with fatty acid eutectics as an innovative type of form-stable phase change materials for storage and retrieval of thermal energy. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 109, 160-168.

- [55] Cao, L., Tang, Y., Fang, G. (2015). Preparation and properties of shape-stabilized phase change materials based on fatty acid eutectics and cellulose composites for thermal energy storage. *Energy*, 80, 98-103.
- [56] Feng, L., Zheng, J., Yang, H., Guo, Y., Li, W., Li, X. (2011). Preparation and characterization of polyethylene glycol/active carbon composites as shape-stabilized phase change materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(2), 644-650.
- [57] Yang, J., Tang, L.S., Bao, R.Y., Bai, L., Liu, Z.Y., Yang, W., Xie, B.H., Yang, M.B. (2017). Largely enhanced thermal conductivity of poly (ethylene glycol)/boron nitride composite phase change materials for solar-thermal-electric energy conversion and storage with very low content of graphene nanoplatelets. *Chemical Engineering Journal*, 315, 481-490.
- [58] Feng, L., Zhao, W., Zheng, J., Frisco, S., Song, P., Li, X. (2011). The shape-stabilized phase change materials composed of polyethylene glycol and various mesoporous matrices (AC, SBA-15 and MCM-41). *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95 (12), 3550-3556.
- [59] Qi, G.Q., Liang, C.L., Bao, R.Y., Liu, Z.Y., Yang, W., Xie, B.H., Yang, M.B. (2014). Polyethylene glycol based shape-stabilized phase change material for thermal energy storage with ultra-low content of graphene oxide. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 123, 171-177.
- [60] Zhang, L., Zhang, P., Wang, F., Kang, M., Li, R., Mou, Y., Huang, Y. (2016). Phase change materials based on polyethylene glycol supported by graphene-based mesoporous silica sheets. *Applied Thermal Engineering*, 101, 217-223.
- [61] Fang, Y., Kang, H., Wang, W., Liu, H., Gao, X. (2010). Study on polyethylene glycol/epoxy resin composite as a form-stable phase change material. *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2757-2761.
- [62] Qian, T., Li, J., Ma, H., Yang, J. (2015). The preparation of a green shape-stabilized composite phase change material of polyethylene glycol/SiO<sub>2</sub> with enhanced thermal performance based on oil shale ash via temperature-assisted sol-gel method. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 132, 29-39.
- [63] Canik, G. (2009) Asit-Amin Kondenzasyonu İle Sentezlenen Yeni Nesil Faz Değişim Malzemeleri Ve Fizikokimyasal Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi,

Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye, 10-12.

- [64] Eroğlu, R. (2011) Bazı Eritritol-Yağ Asidi Esterlerinin Sentezi, Kimyasal Karakterizasyonu, Enerji Depolama Özelliklerinin Ve Isıl Güvenilirliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye, 18-22.
- [65] Biçer, A. (2009) Bazı Yağ Asidi Esterlerinin Sentezi, Karakterizasyonu Ve Enerji Depolama Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye, 7-10.
- [66] A.K.Pandey, A.K., Hossain, M.S., Tyagi, V.V., Rahim, N., Selvaraj, J.A.L., Sari, A. (2018). Novel approaches and recent developments on potential applications of phase change materials in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82 (1), 281-323.
- [67] Su, W., Darkwa, J., Kokogiannakis, G. (2017). Development of microencapsulated phase change material for solar thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering*, 112, 1205-1212.
- [68] Nomura, T., Sheng, N., Zhu, C., Saito, G., Hanzaki, D., Hiraki, T., Akiyama, T. (2017). Microencapsulated phase change materials with high heat capacity and high cyclic durability for high-temperature thermal energy storage and transportation. *Applied Energy*, 188, 9-18.
- [69] Mülazim, Y., Kahraman, M.V., Apohan Kayaman, N., Kızıldaş, S., Güngör, A. (2010). Preparation and characterization of UV-curable, boron-containing, transparent hybrid coatings. *Journal of Applied Polymer Science*, 120 (4), 2112-2121.
- [70] Mülazim, Y., Çakmakçı, E., Kahraman, M.V. (2011). Preparation of photo curable highly hydrophobic coatings using a modified castor oil derivative as a sol-gel component. *Progress in Organic Coatings*, 72 (3), 394-401.
- [71] Bayramoğlu, G. (2009) İzosiyanatoetil Metakrilat Modifiye, Biyoparçalanabilir, Enjekte Edilebilir, Uv Işınları İle Hazırlanan Biyopolimerlerin Sentezi Ve Hücre Kültür Çalışmaları. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 33-35.

- [72] Mülazım, Y. (2011) Uv Işınlarıyla Sertleşebilen Hidrofobik Ve Oleofobik Kaplamaların Geliştirilmesi Ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 30-31.
- [73] Altıntaş, Z. (2008) Maleid İmid Modifiye Reçinelerin Sentezi Ve Kaplama Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 16-21.
- [74] Gündüz, N. (1998). Synthesis And Photopolymerization Of Novel Dimethacrylates. Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, USA, 17-20.
- [75] Schwalm, R. (2006) UV Coatings, Basics, Recent Developments and New Applications, 1st Edition, Elsevier Science, Ludwigshafen, Germany.
- [76] Nabeth, B., Gerard, J.F., Pascault, J.P. (1996). Dynamic mechanical properties of UV-curable polyurethane acrylate with various reactive diluents. Journal of Applied Polymer Science, 60 (12), 2113-2123.
- [77] Allen, N.S. (1996). Photoinitiators for UV and visible curing of coatings: Mechanisms and properties. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 100 (1-3), 101-107.
- [78] Baştürk, E., Oktay, B., Kahraman, M.V. (2015). Dual-crosslinked thiol-ene/sol gel hybrid electrospun nanowires: preparation and characterization. Journal of Polymer Research, 22, 133-139.
- [79] Baştürk, E., Oktay, B., Kahraman, M.V., Kayaman Apohan, N. (2013). UV cured thiol-ene flame retardant hybrid coatings. Progress in Organic Coatings, 76 (6), 936-943.
- [80] Becer, B. (2014) Alfa Silanlar İle İç İç Geçmiş Polimerik Ağ (IPN) yapıların Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye, 3-20.
- [81] Wang, J.J., Liu, F. (2012). UV-curing of simultaneous interpenetrating network silicone hydrogels with hydrophilic surface. Polymer Bulletin, 69 (6), 685-697.
- [82] Paloma, J.G., Martínez, M., Cabeza, L.F., Fernández, I. (2016). Types, methods, techniques, and applications for microencapsulated phase change materials (MPCM): A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 1059-1075.

- [83] Alva, G., Lin, Y., Liu, L., Fang, G. (2017). Synthesis, characterization and applications of microencapsulated phase change materials in thermal energy storage: A review. *Energy and Buildings*, 144, 276-294.
- [84] Jacob, R., Bruno, F. (2015). Review on shell materials used in the encapsulation of phase change materials for high temperature thermal energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 79-87.
- [85] Jurkowska, M., Szczygieł, I. (2016). Review on properties of microencapsulated phase change materials slurries (mPCMS). *Applied Thermal Engineering*, 98, 365-373.
- [86] Zhao, W. (2013) Characterization of Encapsulated Phase Change Materials for Thermal Energy Storage. PhD Thesis, Lehigh University, Bethlehem, USA, 3-8.
- [87] Arslan, A. (2015) Isıl Enerji Depolama Özellikli Poli (Metil Metakrilat-Ko-Akrilonitril) Mikrokapsüllerinin Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye, 21-24.
- [88] Aydın, A.A. (2010) The Synthesis And Thermal Properties Of Novel Organic Phase Change Materials. PhD Thesis, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, İstanbul, Türkiye, 7-9.
- [89] Mondal, S. (2008). Phase change materials for smart textiles – An overview. *Applied Thermal Engineering*, 28 (11–12), 1536-1550.
- [90] Sharma, R.K., Ganesan, P., Tyagi, V.V., Metselaar, H.S.C., Sandaran, S.C. (2015). Developments in organic solid–liquid phase change materials and their applications in thermal energy storage. *Energy Conversion and Management*, 95, 193–228.
- [91] Baştürk, E., İnan Yılmaz, T., Güngör A. (2013). Flame retardant UV-curable acrylated epoxidized soybean oil based organic–inorganic hybrid coating. *Progress in Organic Coatings*, 76 (6), 985-992.
- [92] Echeverria, D.A., Cadiz, V., Ronda, J.C., Rios, L.A. (2012). Synthesis of elastomeric networks from maleated soybean-oil glycerides by thiol-ene coupling. *European Polymer Journal*, 48 (12), 2040-2049.
- [93] Wang, X., Lu, E., Lin, W., Wang, C. (2000). Micromechanism of heat storage in a binary system of two kinds of polyalcohols as a solid–solid phase change material. *Energy Conversion and Management*, 41(2), 135-144.

- [94] Kahraman, M. V., Bayramoglu, G., Boztoprak, Y., Güngör, A., Apohan, N. K. (2009). Synthesis of fluorinated/methacrylated epoxy based oligomers and investigation of its performance in the UV curable hybrid coatings. *Progress in Organic Coatings*, 66 (1), 52-58.
- [95] Chen, C., Wang, L., Huang, Y. (2008). Morphology and thermal properties of electrospun fatty acids/polyethylene terephthalate composite fibers as novel form-stable phase change materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92 (11), 1382-1387.
- [96] Aydın, A.A., Okutan, H. (2011). High-chain fatty acid esters of myristyl alcohol with odd carbon number: Novel organic phase change materials for thermal energy storage-2. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95 (8), 2417-2423.
- [97] Tumirah, K., Hussein M.Z., Zulkarnain Z., Rafeadah R. (2014). Nano-encapsulated organic phase change material based on copolymer nanocomposites for thermal energy storage. *Energy*, 66, 881-890.
- [98] Qian, Y., Wei, P., Jiang, P., Liu, J. (2012). Preparation of halogen-free flame retardant hybrid paraffin composites as thermal energy storage materials by in-situ sol-gel process. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 107, 13-19.
- [99] Çakmakçı, E., Mülazim, Y., Kahraman, M.V., N.K. Apohan Kayaman N. (2011). Flame retardant thiol-ene photocured coatings. *Reactive and Functional Polymers*, 71(1), 36-41.
- [100] Chen, C., Liu, W., Wang, Z., Peng, K., Pan, W., Xie, Q. (2015). Novel form stable phase change materials based on the composites of polyethylene glycol/polymeric solid-solid phase change material. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 134, 80-88.
- [101] Xu, B., Li, Z. (2013). Paraffin/diatomite composite phase change material incorporated cement-based composite for thermal energy storage. *Applied Energy*, 105, 229-237.
- [102] Luyt, A.S., Krupa, I. (2009). Phase change materials formed by uv curable epoxy matrix and Fischer-Tropsch paraffin wax. *Energy Conversion and Management*, 50(1), 57-61.

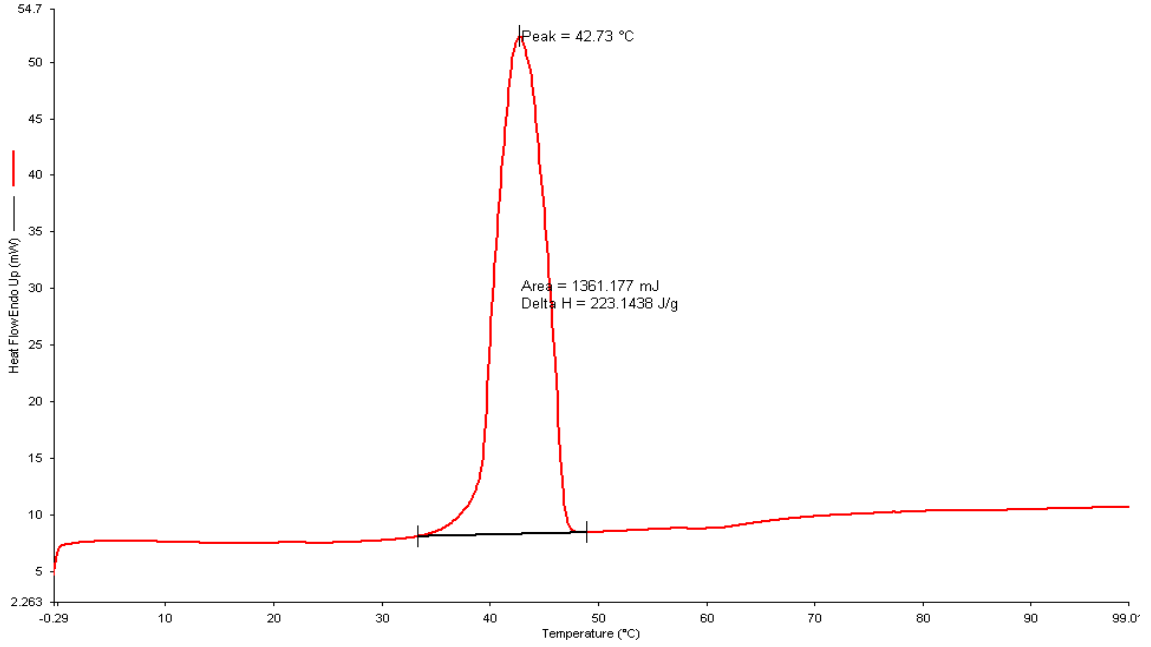
- [103] Şen, F., Kahraman, M.V. (2014). Hybrid dual-curable cyanate ester/boron phosphate composites via sequential thiol-ene photopolymerization and thermal polymerization. *Progress in Organic Coatings*, 77 (6), 1053-1062.
- [104] Nikolic, G., Zlatkovic, S., Cakic, M., Cakic, S., Lacnjevac, C., Rajic, Z. (2010). Fast Fourier Transform IR Characterization of Epoxy GY Systems Crosslinked with Aliphatic and Cycloaliphatic EH Polyamine Adducts. *Sensors*, 10(1), 684-696.
- [105] Luna-Lopez, J.A., Carrillo-Lopez, J., Aceves-Mijares, M., Morales-Sanchez, A., Falcony, C. (2009). FTIR and photoluminescence of annealed silicon rich oxide films. *Superficies y Vacío*, 22 (1).
- [106] Chen, Z., Shan, F., Cao, L., Fang, G. (2012). Synthesis and thermal properties of shape-stabilized lauric acid/activated carbon composites as phase change materials for thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 102, 131-136.
- [107] Güngör, A., Kayaman-Apohan, N., Mert, A., Kahraman, M.V. (2008). Preparation and characterization of light curable hybrid coating: Its potential application for dental restorative material. *Journal of Polymer Research*, 15(5), 389–395.



## EKLER

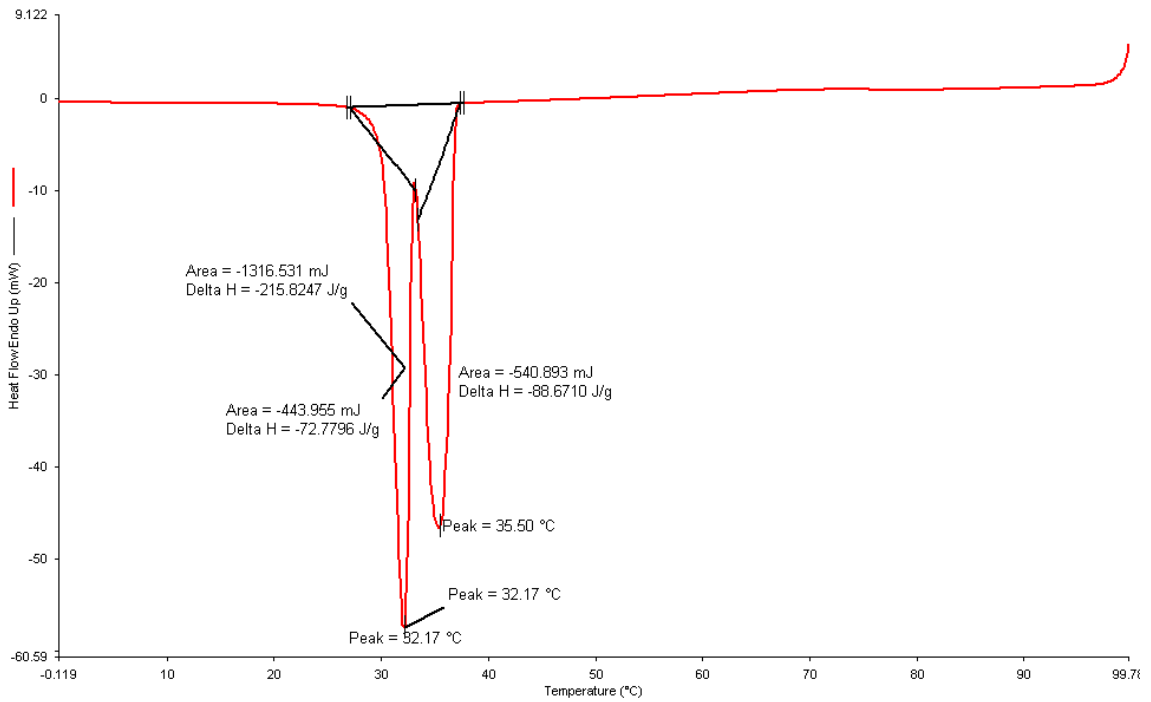
### Ek-1 Şekil 1.

#### Tetradekanola ait erime DSC spektrumu



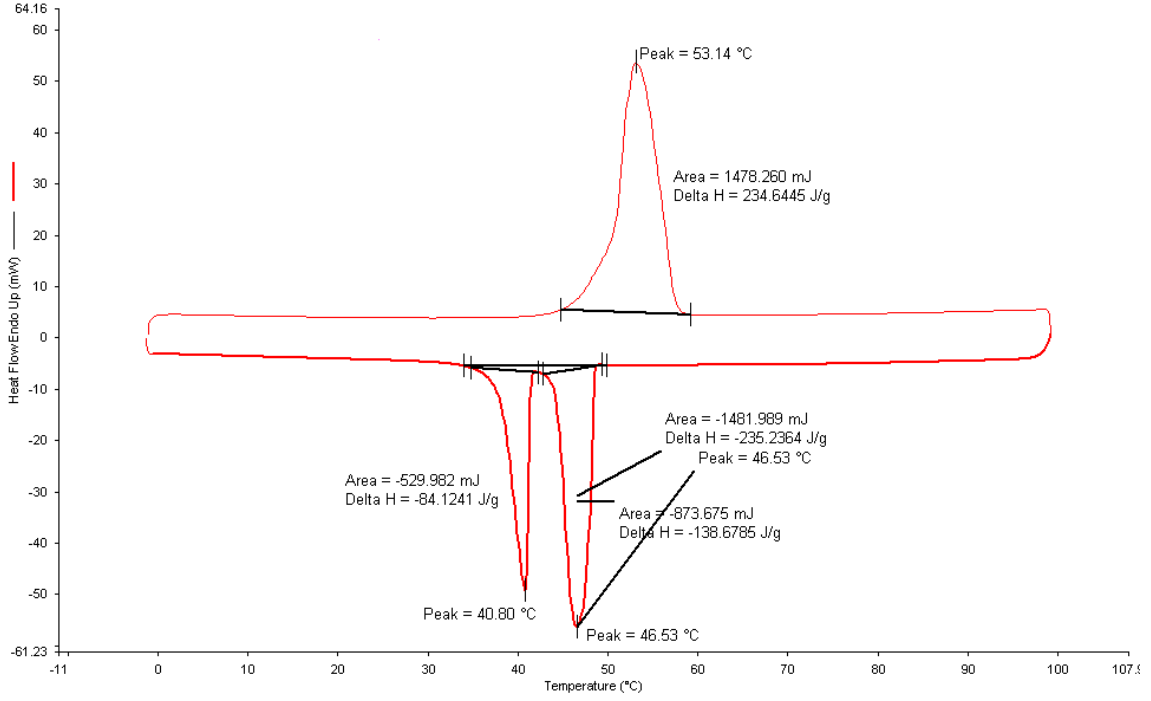
### Ek-1 Şekil 2.

#### Tetradekanola ait donma DSC spektrumu



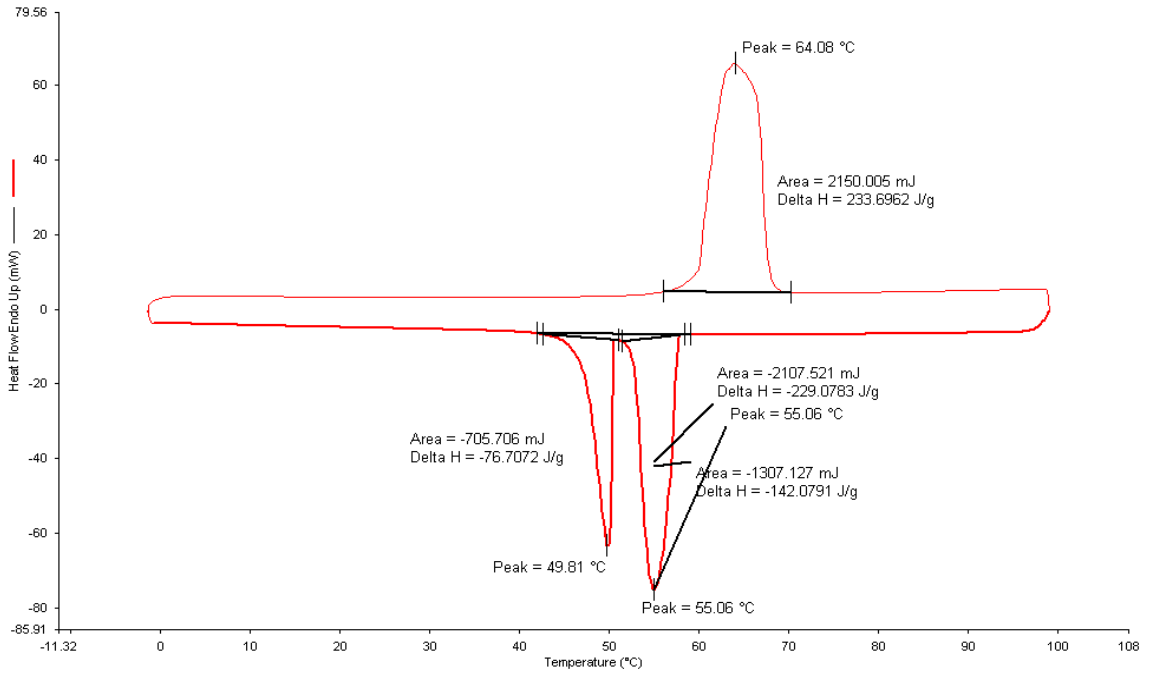
### Ek-1 Şekil 3.

Hekzadekanola ait erime ve donma DSC spektrumu



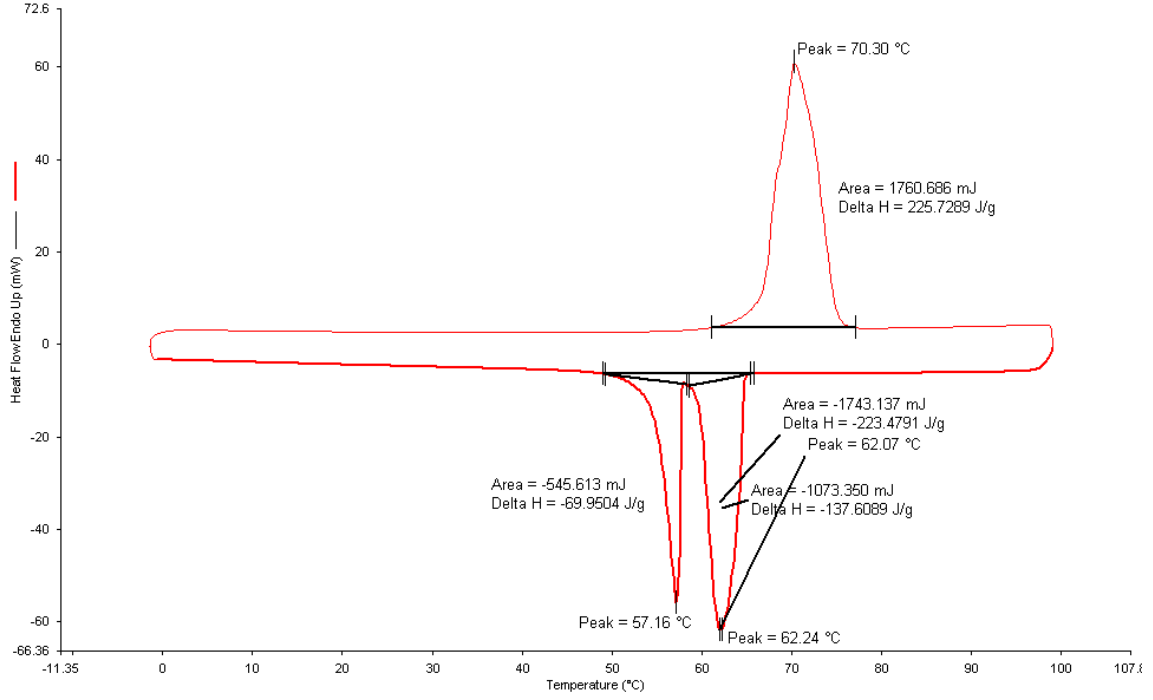
### Ek-1 Şekil 4.

Oktadekanola ait erime ve donma DSC spektrumu



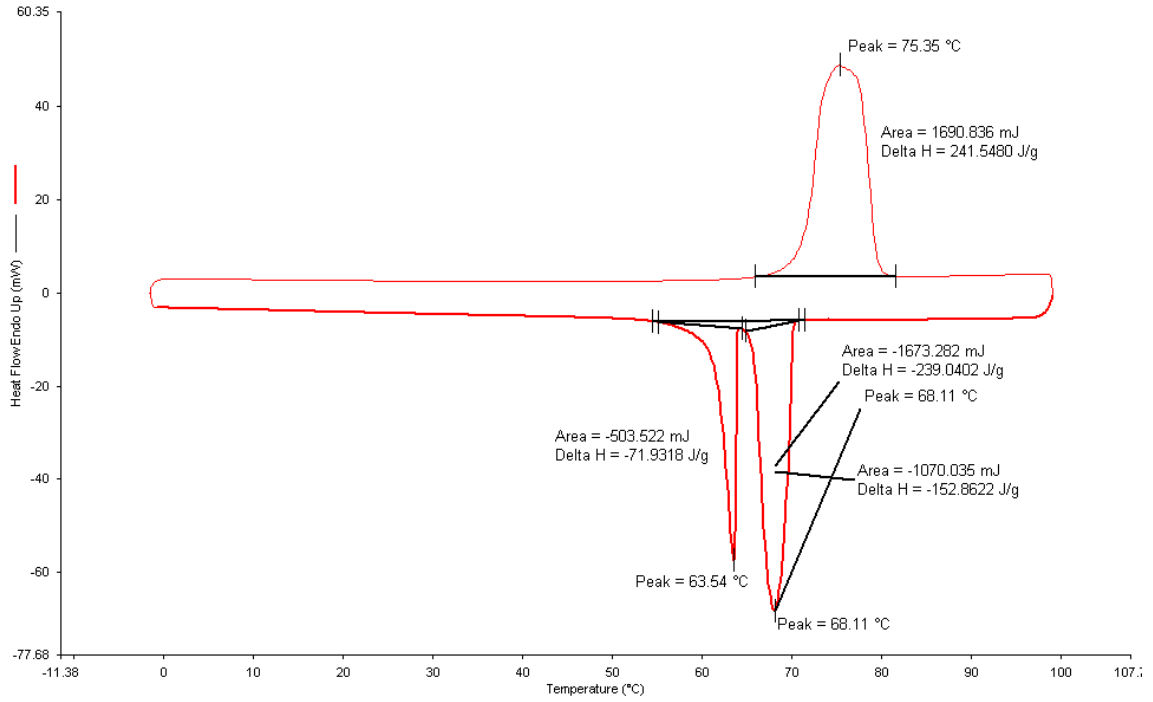
### Ek-1 Şekil 5.

Eikosanole ait erime ve donma DSC spektrumu



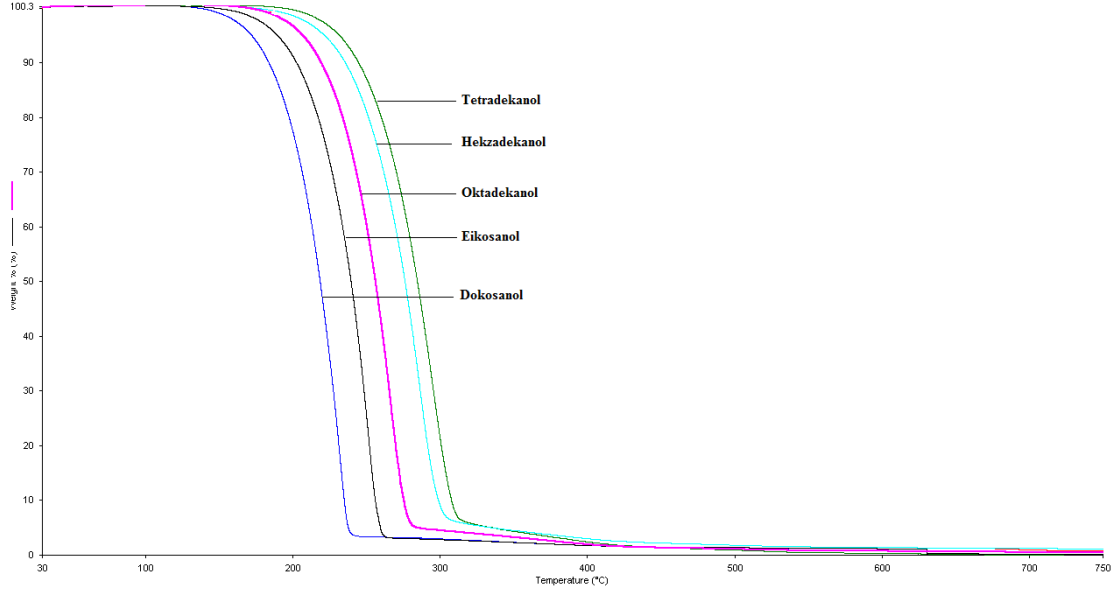
### Ek-1 Şekil 6.

Dokosanole ait erime ve donma DSC spektrumu



## Ek-1 Şekil 7.

Yağ alkollerine ait TGA termogramları



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Emre BAŞTÜRK  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Kocaeli – 11/04/1985  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-Posta** : emrebasturk\_41@hotmail.com

### Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Sayısal	Merkez Bankası Derince Anadolu Lisesi	2003
Üniversite	Kimya	Kocaeli Üniversitesi	2009
Y.Lisans	Organik Kimya	Marmara Üniversitesi	2012

### İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010-2012	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi	110T143 nolu TÜBİTAK proje bursiyeri
2014-2014	ECE BOYA Kimya San. Tic. A.Ş	Proje Mühendisi
2015-2017	VECHEM Kimya San. Tic. A.Ş	Ar-Ge Mühendisi
2017-	KİMTEKS Poliüretan San. Tic. A.Ş	Ar-Ge Sorumlusu

## Bilimsel Eserler

### Yüksek Lisans Tezi

Çapraz Bağlı PVA/B Hibrit Nanofiberlerin Elektrospin Yöntemiyle Hazırlanması ve Karakterizasyonu

(Danışman: Doç. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN)

### A. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- [1] BAŞTÜRK EMRE,KAHRAMAN MEMET VEZİR (2012). *Thermal and Morphological Properties of PVA/4-Vinylbenzene boronic acid Hybrid Nanofibrous*. Polymer composite.Cilt 33. sf 829-837.
- [2] BAŞTÜRK EMRE, Demir SERAP, Danış ÖZKAN, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2012).*Immobilization of amylase onto crosslinked electrospun (PVA/PAA) nanofibrous membrane*. Journal of Applied Polymer Science Cilt 127. sf 349-355.
- [3] BAŞTÜRK EMRE, OKTAY BURCU, KAHRAMAN MEMET VEZİR, APOHAN KAYAMAN NİLHAN (2013). *Uv cured thiol-ene flame retardant hybrid coatings*. Progress in Organic Coating. Cilt 76. sf 936-943.
- [4] BAŞTÜRK EMRE, İNAN YILMAZ TÜLAY, GÜNGÖR ATILLA (2013). *Flame retardant uv-curable acrylated epoxidized soybean oil based organic-inorganic hybrid coating*. Progress in Organic Coating. Cilt 76. sf 985-992.
- [5] OKTAY BURCU, BAŞTÜRK EMRE, APOHAN KAYAMAN NİLHAN, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2013).*Highly porous starch/poly(ethylene-alt-maleic anhydride) composite nanofiber mesh*. Polymer composite. Cilt 34. sf 1321-1324.
- [6] BAŞTÜRK EMRE, ÇAĞLAR DÖNDÜ, OKTAY BURCU, KAHRAMAN MEMET VEZİR(2014). *Preparation and evaluation of linseed oil based alkyd paints*. Progress in Organic Coating. Cilt 77. sf 81-86.
- [7] SEDEN MERVE, BAŞTÜRK EMRE, İNAN YILMAZ TÜLAY, APOHAN KAYAMAN NİLHAN, GÜNGÖR ATILLA (2014).*Synthesis and fuel cell*

*characterization of blend membranes from phenyl phosphine oxide containing flourinated novel polymers. Journal of Power Sources. Cilt 271. sf 465-479.*

- [8] BAŞTÜRK EMRE, ŞEN FERHAT, KAHRAMAN MEMET VEZİR, MADAKBAŞ SEYFULLAH (2015). *Bisphenol A (BADCy) / Bisphenol P (BPDCy) cyanate ester / colemanite composites: synthesis and characterization. Polymer Bulletin. Cilt 72. sf 1611-1623.*
- [9] BAŞTÜRK EMRE, OKTAY BURCU, KAHRAMAN MEMET VEZİR(2015). *Dual-crosslinked thiol-ene/sol gel hybrid electrospun nanowires: Preparation and characterization. Journal of Polymer Research. Cilt 22. sf 133-139.*
- [10] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2015). *Thermal and morphological characterization of pva based phenylboronic acid hybrid nanofibers: the effect of experimental parameters on the nanofiber diameter. Polymer Science Series A.Cilt 57. sf 845-850.*
- [11] BAŞTÜRK EMRE, MADAKBAŞ SEYFULLAH, KARADOĞAN BETÜL, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2016). *Preparation and thermal properties of polyethylene terephthalate/ Huntite-Hydromagnesite composites.Polymer Composite. Cilt 37. sf 3275-3279.*
- [12] ŞEN FERHAT, BAŞTÜRK EMRE, KARADOĞAN BETÜL, MADAKBAŞ SEYFULLAH, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2016).*Effect of barium titanate on the thermal, morphology, surface and mechanical properties of the thermoplastic polyurethane barium titanate composites. Polymer-Plastics Technology and Engineering. Cilt 55.sf1325-1331.*
- [13] BAŞTÜRK EMRE, MADAKBAŞ SEYFULLAH, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2016).*Preparation and characterization of thermoplastic polyurethane / barium metaborate composites.Materials Research. Cilt 18. sf 434-439.*
- [14] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2016).*Photocrosslinked biobased phase change material for thermal energy storage.Journal of Applied Polymer Science. Cilt 133. sf 32.*
- [15] BAŞTÜRK EMRE, DENİZ YÜKSEL DUYGU, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2016).*Preparation of thiol-ene based photo-crosslinked polymer as a potential phase change material. Materials Chemistry and Physics. Cilt 177. sf 521-528.*

- [16] BAŞTÜRK EMRE, ŞEN FERHAT, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2016). *Enhanced thermal and hydrophobic surface properties of shape-stabilized nanodiamond/fatty alcohol grafted poly(ethylene-alt-maleic anhydride) composite phase change materials*. Polymer Composite. doi.org/10.1002/pc.24145
- [17] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2017). *Thermal and phase change material properties of comb-like polyacrylic acid-grafted-fatty alcohols*. Polymer-Plastics Technology and Engineering.
- [18] BAŞTÜRK EMRE, ÇAKMAKÇI EMRAH, MADAKBAŞ SEYFULLAH, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2017). *Surface and proton conductivity properties of electrospun poly(vinyl butyral)/polyaniline nanofibers*. Advances in Polymer Technology. doi.org/10.1002/adv.21836.
- [19] ŞEN FERHAT, UZUNSOY İREM, ÇAKMAKÇI EMRAH, BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2017). *Preparation and characterization of antimicrobial agent free polyelectrolyte films for food packaging materials*. Carbohydrate Polymers. Cilt 170. sf 264-270.
- [20] BAŞTÜRK EMRE, DENİZ YÜKSEL DUYGU, ŞEN FERHAT, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2017). *A novel uv-cured interpenetrating organic-inorganic hybrid polymer network based phase change materials (ipn-pcm)*. Polymer Engineering & Science. DOI: 10.1002/pen.24639.
- [21] ŞEN FERHAT, MADAKBAŞ SEYFULLAH, BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2017). *Thermal and physical properties of thermoplastic polyurethane colemanite composites*. The Polymer Society of Korea. Basım aşamasında.
- [22] OKTAY BURCU, BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR, APOHAN KAYAMAN NİLHAN (2017). *Preparation and thermal properties of alkoxy silane functionalized polyether sulfone/ well-defined poly(trimethoxysilyl)propyl methacrylate)based hybrid materials*. Polymer Engineering & Science. DOI: 10.1002/pen.24714.
- [23] TOPÇU GÖKHAN, BAŞTÜRK EMRE, KARATAŞ SEVİM (2018). *Effects of Perfluoro Modified Sol-Gel Additive on UV-Curable Phosphorus Containing*

*Urethane Acrylate Coatings*. Journal of Vinyl and Additive Technology. DOI 10.1002/vnl.21616.

- [24] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2018). *Preparation and performances of photocrosslinked methacrylated polyacrylic acid based core-shell hybrid phase change materials*. Polymer Engineering & Science. DOI: 10.1002/pen.24829.
- [25] OKTAY BURCU, BAŞTÜRK EMRE, APOHAN KAYAMAN NİLHAN, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2018). *Thiol-yne photo-clickable Electrospun Phase Change Materials for Thermal Energy Storage*. Reactive and Functional Polymers. Basım aşamasında.

## B. Diğer Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- [1] OKTAY BURCU, BAŞTÜRK EMRE, APOHAN KAYAMAN NİLHAN, KAHRAMAN MEMET VEZİR (2017). Preparation and modification of polyethersulfone-based hybrid materials. Society of Plastics Engineers (SPE). doi.org/10.2417/spepro.006994.
- [2] KAHRAMAN MEMET VEZİR, BAŞTÜRK EMRE, OKTAY BURCU (2014). *Electrospinning of highly porous biopolymer membranes*. Society of Plastics Engineers (SPE). doi.org/10.2417/spepro.004950.
- [3] SEDEN MERVE, BAŞTÜRK EMRE, İNAN YILMAZ TÜLAY, APOHAN KAYAMAN NİLHAN, GÜNGÖR ATILLA(2012). *New SPEEK Poly(Arylene Ether) Blend-nanocomposite Membranes Via Sol-gel Method*. Procedia Engineering. Cilt 44. sf 1840 –1841

### C. Ulusal ve uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

#### Ulusal

- [1] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR. *Elektrospin yöntemiyle poli(vinil alkol) -fenil boronik asit hibrit nanofiberin hazırlanması ve karakterizasyonu*. 1.Ulusal Nanoteknoloji Kongresi (17-18 Haziran 2011 ) İstanbul / TÜRKİYE. Poster sunumu yapıldı.
- [2] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR. *Fabrication and characterization of PVA/4-vinyl phenyl boronic acid hybrid nanofiber*.7th Nanoscience and Nanotechnology Conference (27 June–1 July 2011) İstanbul/TÜRKİYE.Poster sunumu yapıldı.
- [3] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR, DANIŞ ÖZKAN, DEMİR SERAP.*Alfa-amilaz enziminin çapraz bağlı polivinil alkol / poliakrilik asit nanofiber destek materyali üzerine kovalent immobilizasyonu*. 3.Fiziksel Kimya Günleri (12-15 Temmuz 2012 ) Balıkesir/TÜRKİYE. Poster Sunumu Yapıldı.
- [4] İNAN YILMAZ TÜLAY, YILDIZ EMEL, BAŞTÜRK EMRE, DOĞAN HACER, GÜNGÖR ATILLA, EKEN KORAY.*UV ışınları ile sertleşebilen polietereterketon esaslı akrilik oligomerlerin sentezi ve göz içi lens uygulamalarında kullanımı*. 4. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi (5-8 Eylül 2012 ) Çanakkale/TÜRKİYE. Poster Sunumu yapıldı.
- [5] BAŞTÜRK EMRE, SEDEN MERVE, İNAN YILMAZ TÜLAY, GÜNGÖR ATILLA. *Polimer elektrolit yakıt pilleri (peyp) için sülfonlu polietereterketon (speek)/ polietersülfid blend membranların hazırlanması ve karakterizasyonu*. 4. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi (5-8 Eylül 2012 ) Çanakkale/TÜRKİYE. Poster Sunumu yapıldı.
- [6] ÇAĞLAR DÖNDÜ, BAŞTÜRK EMRE, OKTAY BURCU, KAHRAMAN MEMET VEZİR.*Preparation and evaluation of linseed oil based alkyd paints*.Paintistanbul 2012 Fuar ve Kongresi (13-15 Eylül 2012) İstanbul/TÜRKİYE. Poster sunumu yapıldı.
- [7] OKTAY BURCU, BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR, APOHAN KAYAMAN NİLHAN. *UV cured thiol ene flame retardant hybrid*

- coatings*. Paintistanbul 2012 Fuar ve Kongresi (13-15 Eylül 2012) İstanbul/TÜRKİYE. Poster sunumu yapıldı.
- [8] İNAN YILMAZ TÜLAY, BAŞTÜRK EMRE, GÜNGÖR ATILLA.*Flame retardant uv-curable acrylated epoxidized soybean oil based organic-inorganic hybrid coating*. Paintistanbul 2012 Fuar ve Kongresi (13-15 Eylül 2012) İstanbul/TÜRKİYE. Sözlü sunum yapıldı.
- [9] İNAN YILMAZ TÜLAY, SEDEN MERVE, BAŞTÜRK EMRE, APOHAN KAYAMAN NİLHAN, GÜNGÖR, ATILLA.*Uv induced flourinated peek (polyetheretherketone)/ sol-gel hybrid coating*. Paintistanbul 2012 Fuar ve Kongresi (13-15 Eylül 2012) İstanbul/TÜRKİYE. Poster sunumu yapıldı.
- [10] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR.*Akrillenmiş soya yağı esaslı organik faz değişim malzemelerinin sentezi ve ısı enerjisi depolama kapasitelerinin belirlenmesi*. 3.Ulusal Organik Kimya Kongresi (05-08 Eylül 2016) Trabzon/TÜRKİYE. Poster sunumu yapıldı.
- [11] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR.*Isıl enerji depolayabilen polimer nanofiberlerin hazırlanması ve akıllı tekstil ürünlerinde kullanımı*. Marmara Üniversitesi 3.İnovasyon ve Proje Pazarı (17 Kasım 2016) İstanbul/TÜRKİYE. Poster sunumu yapıldı.

## Uluslararası

- [1] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR.*Preparation and characterization of phenylboronic acid/pva hybrid nanofibers by electrospinning*.17th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials. (11-17 Eylül 2011). İstanbul /TÜRKİYE Poster Sunumu Yapıldı.
- [2] SEDEN MERVE,BAŞTÜRK EMRE,İNAN YILMAZ TÜLAY, APOHAN KAYAMAN NİLHAN, GÜNGÖR, ATILLA.*New speek / poly(arylene ether ) blend-nanocomposite membranes via sol-gel method*. EUROMEMBRANE 2012 (23-27 Eylül 2012) London/İNGİLTERE . Poster sunumu yapıldı.
- [3] EKER DİNÇER,BAŞTÜRK EMRE,KAHRAMAN MEMET VEZİR.*Ahşap koruyucu boya ve vernik uygulamaları için yangına dayanıklı polyester bağlayıcı sistemlerinin geliştirilmesi*. 1.Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve

- Tasarım Kongresi (13-14 Kasım 2015) Kocaeli/TÜRKİYE. Poster sunumu yapıldı.
- [4] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR. *Soybean oil based phase change material for thermal energy storage*. ICAPE 2016 18th International Conference on Applications of Polymer Engineering (12-13 Mayıs 2016) Amsterdam/Hollanda. Poster sunumu yapıldı.
- [5] KAHRAMAN MEMET VEZİR, BAŞTÜRK EMRE. *Uv-curable microencapsulated organic-inorganic hybrid phase change materials*. 3rd International Conference on New Trends in Chemistry. (28–30 Nisan 2017) Helsinki/Finlandiya. Poster sunumu yapıldı.
- [6] ALEV BURCİN, BAŞTÜRK EMRE, YARAT AYŞEN, KAHRAMAN MEMET VEZİR. *Covalent immobilization of urease enzyme on poly(vinyl butyral)/poly(acrylic acid) (PVB/PAA) nanofibers*. 3.Uluslararası İlaç ve Eczacılık Kongresi (İVEK2017) (26-29 Nisan 2017) İstanbul/TÜRKİYE. Poster sunumu yapıldı.
- [7] BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR. *Preparation and thermal characterization of microencapsulated fatty alcohols as phase change materials with photocrosslinked polymer shell*. EastWest Chemistry Conference. (12–14 Ekim 2017) Üsküp/Makedonya. Sözlü sunum yapıldı.
- [8] OKTAY BURCU, BAŞTÜRK EMRE, KAHRAMAN MEMET VEZİR, APOHAN KAYAMAN NİLHAN. *Preparation Of Polyethersulfone/ Poly(Trimethoxysilyl)Propyl Methacrylate) Composites*. EastWest Chemistry Conference. (12–14 Ekim 2017) Üsküp/Makedonya. Poster sunumu yapıldı.

## **D. Projelerde Yaptığı Görevler**

### **Araştırmacı Olarak Görev Aldığı Projeler**

- [1] “Isıl Enerji Depolama Kapasitesine Sahip Polimerik Faz Değişim Malzemelerinin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu” Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri, A tipi Bağımsız Araştırma Projesi.
- [2] “İnsan Sağlığı Ve Çevreye Duyarlı Universal Mat Ve Parlak Lak Emülsiyonların Geliştirilmesi” 7160031 proje numaralı TÜBİTAK 1507-TÜBİTAK KOBİ Ar-Ge Başlangıç Destek Programı projesi.
- [3] “Deri yumuşatma prosesi için; su geçirmeyen, nefes alabilen ve mineral yağ içermeyen modifiye edilmiş yağ esterlerinin geliştirilmesi” 3160860 proje numaralı TÜBİTAK 1501-Sanayi Ar-Ge Programı projesi.

### **E. Patentler**

- [1] Polielektrolit yapıda antimikrobiyal gıda ambalaj malzemesi ve bahsedilen malzemenin üretim metodu. Ferhat ŞEN, Emre BAŞTÜRK, Memet Vezir KAHRAMAN. Patent No: TR 2015 03344 B

### **F. Belgeler, Ödüller ve Burslar**

- [1] Kocaeli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009 Eğitim-Öğretim Yılları Onur Öğrencisi.
- [2] Kocaeli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü “ Kimya Bölüm Üçüncüsü ” olarak mezun oldu.
- [3] “Polimer elektrolit membranlı yakıt pili uygulamaları için poli (arilen eter) esaslı membranların hazırlanması” 110T143 numaralı Tübitak 1001 projesi bursiyeri.(01/10/2010-01/10/2012)
- [4] TÜBİTAK 2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Doktora Tez Bursiyeri. (01/10/2015- 12/01/2018)