



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ



VÜCUT SICAKLIĞI CİVARINDA ÇALIŞAN FAZ DEĞİŞTİRİCİ

MATERYAL-POLİLAKTİK ASİT HİBRİT YAPISININ

HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZE EDİLMESİ

İsmail Cem SANCAK

Kimya Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**VÜCUT SICAKLIĞI ÇEVRESİNDE ÇALIŞAN FAZ DEĞİŞTİRİCİ
MATERYAL -POLİLAKTİK ASİT HİBRİT YAPISININ
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZE EDİLMESİ**

İsmail Cem SANCAK

Kimya Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 31/07/2019

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Ayhan ORAL

ÇANAKKALE

İsmail Cem SANCAK tarafından Doç. Dr. Ayhan ORAL yönetiminde hazırlanan ve 31/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Vücut Sıcaklığı Civarında Çalışan Faz Değiştirici Materyal-Poliaktik Asit Hibrit Yapısının Hazırlanması Ve Karakterize Edilmesi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kimya Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Doç. Dr. Ayhan ORAL

.....

Başkan

Prof. Dr. Yusuf DİLGİN

.....

Üye

Prof. Dr. Kasım OCAKOĞLU

.....

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2018-2678

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

İsmail Cem SANCAK

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ayhan ORAL' a teőekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans dönemimdeki zaman süresince bana kazandırdıkları bilgilerden ve diğer tüm desteklerinden dolayı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümündeki bütün hocalarıma teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasındaki yardımlarından ötürü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Kimya Bölümü Polimerik Malzeme Araştırma Laboratuvarı alışanları İhsan BAŐARAN ve Mert AKGÜN' e teşekkür ederim.

Çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen, bana her koşulda destek olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Gamze EMİR' e ve Necip YILDIRIM' a ve her koşulda yanımda olan aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İsmail Cem SANCAK
anakkale, TEMMUZ 2019

SİMGELER VE KISALTMALAR

PLA	Poli (Laktik Asit)
FDM	Faz değiştirici materyal
PED	PLA/Eikosan film
PEF	PLA/Eikosan lif
PEG	Polietilen glikol
DCM	Diklorometan
DMF	Dimetilformamid
THF	Tetrahidrofuron
Kg	Kilogram
g	Gram
°C	Santigrat derece
T _g	Camsı geçiş sıcaklığı
mL	Mililitre
%	Yüzde oranı
MPa	Megapaskal
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetri
DMA	Dinamik mekanik analiz
TGA	Termogravimetrik analiz

ÖZET

VÜCUT SICAKLIĞI ÇIVARINDA ÇALIŞAN FAZ DEĞİŞTİRİCİ MATERYAL-POLİLAKTİK ASİT HİBRİT YAPISININ HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZE EDİLMESİ

İsmail Cem SANCAK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ayhan ORAL

31/07/2019, 76

Faz değıştirici materyaller son yıllarda hızla gelişmektedir. Bu nedenle günümüzde farklı polimer çeşitleriyle kompozit materyaller hazırlanarak birçok alanda kullanılmaktadır. Katma değeri yüksek biyomedikal ürünler üretebilmek için bu konudaki çalışmalar gittikçe doğal ürünlere doğru yönelmeye başlamaktadır. Burada kullanılan bileşenlerin doğal olmasının biyoyumluluk ve biyobozunurluk gibi avantajları nedeniyle, bu ürünler daha önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada faz değıştirici materyallerden Eikosan ile biyobozunurluğa sahip bir biyopolimer olan Poli(laktik asit) kullanılarak, faz değıştiren madde içeren hibrit yapının geliştirilmesi hedeflenen film ve lif örneklerinden polimer kompozitler hazırlanmıştır. Bu amaçla çözelti dökme ve elektro eğirme yöntemlerini kullanarak; Poli(laktik asit) matrisine %50, %40, %30, %20, %10, %5, %2,5, %1'lik oranlarda ilave edilen Eikosan ile hazırlanan bu kompozitlerin SEM, DSC, DMA, TGA ve Polarize Optik Mikroskop teknikleri kullanılarak karakterizasyonu tamamlanmıştır. Bu örneklerin termal ve mekanik özellikleri incelenerek elde edilen film ve liflerin uygulama alanları konusunda değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: FDM, Eikosan, Poli (Laktik Asit), Kompozit, Nanolif

ABSTRACT

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF PHASE CHANGING MATERIAL-POLYLACTIC ACID HYBRID MATERIAL WORKING AT NEARLY OF BODY TEMPERATURE

İsmail Cem SANCAK

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis in Chemistry

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ayhan ORAL

31/07/2019, 76

Phase change materials have been developing rapidly in recent years and have a large number of application areas. In this area, composite materials with different polymer types are prepared and used in many fields today. In order to be able to produce high value-added biomedical products, studies in this area are increasingly beginning to shift towards natural products. The naturalness of the ingredients used here makes these products important because of their advantages such as biocompatibility and biodegradability. In this study, polymer composites were prepared as fiber film samples which we aimed to develop a hybrid structure containing phase-changing material by using the phase-change material Eicosane and a commercialized biopolymer Poly (lactic acid). For this purpose, by using solution casting and electrospinning methods, composites were prepared with 50%, 40%, 30%, 20%, 10%, 5%, 2.5%, and 1% of Eicosane which were added to Poli (lactic acid) matrix and the composites characterization have been completed via SEM, DSC, DMA, TGA and Polarized Optical Microscopy techniques. The thermal and mechanic properties of these samples were examined and application areas of the films and fiber were evaluated.

Keywords: PCMs, Eicosane, Poly (Lactic Acid), Composites, Nanofibers

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1. Polimerler	2
1.1.1. Biyopolimerler.....	3
1.1.2. Poli(Laktik Asit).....	4
1.2. Enerjinin Depolanması ve Depolama Yöntemleri	5
1.2.1. Termal Enerji Depolama.....	6
1.2.2. Duyulur Isı Enerji Depolama	7
1.2.3. Gizli Isı Enerji Depolama	9
1.3. Faz Değiştirici Materyaller.....	10
1.3.1. Faz Değiştirici Materyallerin Sınıflandırılması.....	11
1.3.2. İnorganik Faz Değiştirici Materyaller	12
1.3.3. Organik Faz Değiştirici Materyaller.....	13
1.3.4. Parafinler	14
1.3.5. Parafin Olmayanlar	15
1.3.6. Ötektik Faz Değiştirici Materyaller	16
1.3.7. Yağ Asidi Ötektik Karışımlar	16
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Materyal.....	21
3.1.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar Maddeler	21
3.1.2. Kullanılan Cihazlar ve Aletler.....	22
3.2. Yöntem.....	22

3.2.1. Film ve Liflerin Üretimi.....	22
3.2.2. Çözelti Dökme Yöntemiyle Filmlerin Hazırlanması.....	22
3.2.3. Elektro Eğirme Yöntemiyle Liflerin Hazırlanması	25
3.3. Filmler ve Liflerin Karakterizasyonu	27
3.3.1. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) Analizi	27
3.3.2. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi	27
3.3.3. Polarize Optik Mikroskop Analizi.....	28
3.3.4. TGA (Termogravimetrik Analiz)	31
3.3.5. DMA (Dinamik Mekanik Analiz)	31
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	32
4.1. DMA (Dinamik Mekanik Analiz) Sonuçları.....	32
4.2. TGA (Termogravimetrik Analiz) Sonuçları.....	43
4.3. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) Analiz Sonuçları.....	54
4.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analiz Sonuçları	59
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Katılma polimerizasyonu (Bayrak, 2015).....	2
Şekil 1.2. Laktik asitin kondenzasyon polimerizasyonu (Karagöz, 2014).....	2
Şekil 1.3. Termal enerjinin şarj-deşarj prensibi (Dinçer ve Rosen, 2002).....	6
Şekil 1.4. Isı depolamada kullanılan yöntemler (Abhat, 1983).....	7
Şekil 1.5. Duyulur - Gizli ısı depolama sıcaklık-ısı grafiği (Sarı ve ark., 2005).....	9
Şekil 3.1. PLA formülü	21
Şekil 3.2. Eikosan formülü	21
Şekil 3.3. PLA - Eikosan film örnekleri; (a) PED-0, (b) PED-1 (c) PED-2, (d) PED-3,.....	24
(e) PED-4, (f) PED-5, (g) PED-6, (h) PED-7, (i) PED-8	24
Şekil 3.4. Elektro eğirme cihazı; (a) Polimer çözeltisi, (b) Yüksek voltaj güç kaynağı, (c) İğne ucunda damlacığın aldığı koni formu, (d) Toplayıcı üzerinde oluşan nano lifli yüzey, (e) Elektro eğirme cihazı.....	26
Şekil 3.5. Polarize optik mikroskop lif sonuçları; (a)PEF-0, (b)PEF-1, (c)PEF-2, (d) PEF-3	28
Şekil 3.6. Polarize optik mikroskop film sonuçları; (a) PED-0, (b) PED-1, (c) PED-2,.....	29
(d) PED-3, (e) PED-4, (f) PED-5, (g) PED-6, (h) PED-7, (i) PED-8	29
Şekil 4.1. PED-0 DMA diyagramı	32
Şekil 4.2. PED-1 DMA diyagramı	33
Şekil 4.3. PED-2 DMA diyagramı	33
Şekil 4.4. PED-3 DMA diyagramı	34
Şekil 4.5. PED-4 DMA diyagramı	34
Şekil 4.6. PED-5 DMA diyagramı	35
Şekil 4.7. PED-6 DMA diyagramı	35
Şekil 4.8. PED-7 DMA diyagramı	36
Şekil 4.9. PED-8 DMA diyagramı	36
Şekil 4.10. PLA/Eikosan film depolama modülü karşılaştırma.....	37
Şekil 4.11. PLA/Eikosan film kayıp modülü karşılaştırma	38
Şekil 4.12. PEF-0 DMA diyagramı.....	39
Şekil 4.13. PEF-1 DMA diyagramı.....	40
Şekil 4.14. PEF-2 DMA diyagramı.....	40
Şekil 4.15. PEF-3 DMA diyagramı.....	41
Şekil 4.16. PLA/Eikosan lif depolama modülü karşılaştırma.....	41
Şekil 4.17. PLA/Eikosan lif kayıp modülü karşılaştırma	42
Şekil 4.18. PED-0 TGA termogramı	45
Şekil 4.19. PED-1 TGA termogramı	46
Şekil 4.20. PED-2 TGA termogramı	46
Şekil 4.21. PED-3 TGA termogramı	47
Şekil 4.22. PED-4 TGA termogramı	47
Şekil 4.23. PED-5 TGA termogramı	48
Şekil 4.24. PED-6 TGA termogramı	48
Şekil 4.25. PED-7 TGA termogramı	49
Şekil 4.26. PED-8 TGA termogramı	49
Şekil 4.27. PLA/Eikosan film TGA karşılaştırma	50
Şekil 4.28. PLA/Eikosan DTG film TGA karşılaştırma.....	50
Şekil 4.29. PEF-0 TGA termogramı.....	51
Şekil 4.30. PEF-1 TGA termogramı.....	51
Şekil 4.31. PEF-2 TGA termogramı.....	52

Şekil 4.32. PEF-3 TGA termogramı.....	52
Şekil 4.33. PLA/Eikosan lif TGA karşılaştırma	53
Şekil 4.34. PLA/Eikosan DTG TGA lif karşılaştırma.....	53
Şekil 4.35. PED-2 DSC termogramı	55
Şekil 4.36. PED-3 DSC termogramı	55
Şekil 4.37. PED-4 DSC termogramı	56
Şekil 4.38. PED-4 DSC termogramı	56
Şekil 4.39. PED-5 DSC termogramı	57
Şekil 4.40. PED-5 DSC termogramı	57
Şekil 4.41. PED-6 DSC termogramı	58
Şekil 4.42. PED-7 DSC termogramı	58
Şekil 4.43. PED-8 DSC termogramı	59
Şekil 4.44. Saf Eikosan DSC termogramı	59
Şekil 4.45. PEF-1 örneğinin SEM görüntüleri (x15000 x1500)	60
Şekil 4.46. PEF-2 örneğinin SEM görüntüleri (x15000 x500 x1500)	62
Şekil 4.47. PEF-3 örneğinin SEM görüntüleri (x1500 x500 x5000)	64
Şekil 4.48. PEF-4 örneğinin SEM görüntüleri (x1500 x5000).....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Polimerlerin sınıflandırılması.....	3
Çizelge 1.2. Enerji depolama yöntemleri	5
Çizelge 1.3. Duyulur ısı depolama malzemelerinin özellikleri	8
Çizelge 1.4. Organik ve inorganik maddelerin ısı depolamaların karşılaştırılması	10
Çizelge 1.5. Faz değiştirici materyallerin sınıflandırılması.....	12
Çizelge 1.6. Faz değiştirici materyaller için kullanılan bazı tuz hidratlar	13
Çizelge 1.7. Parafinin avantajları ve dezavantajları.....	14
Çizelge 1.8. Parafinlerin gizli ısı kapasiteleri	15
Çizelge 1.9. Yağ asitlerini erime noktası ve erime gizli ısıları.....	16
Çizelge 3.1. Film üretimi için yapılan çalışmalar	23
Çizelge 3.2. Lif üretimi için yapılan çalışmalar	27
Çizelge 4.1. Film T_g sonuçları	39
Çizelge 4.2. Lif T_g sonuçları.....	43
Çizelge 4.3. TGA lif sonuçları.....	44
Çizelge 4.4. TGA film sonuçları.....	44
Çizelge 4.5. PLA/Eikosan kompozit filmlerin T_k , ΔH_k , T_e , ΔH_e , değerleri.....	54

BÖLÜM 1

GİRİŞ

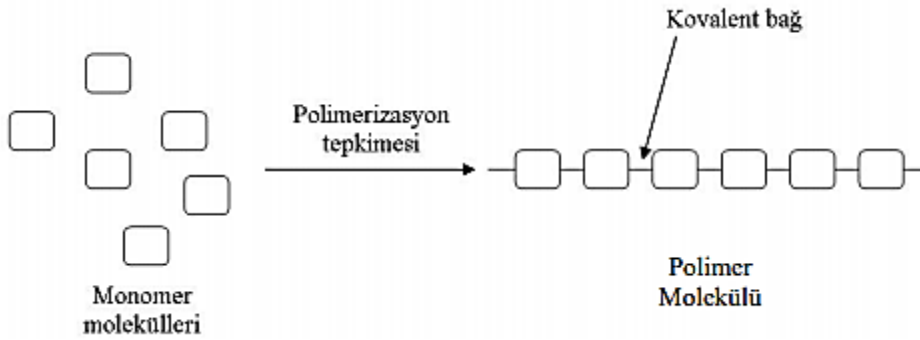
Enerji kelimesi aslen Yunanca bir kelimedir. Energeia olarak bilinen kelimedede ‘en’ iç anlamına gelirken, ‘ergon’ ise iş anlamına gelmektedir. Kısaca enerji, sistemin iş yapabilme yetisine denir (B. Encyclopedia). Canlılığın devam etmesi için bütün varlıkların kendilerine yetecek kadar enerji elde etmeleri gereklidir. Böylelikle işlenebilir ve yaşamsal fonksiyonları sürdürebilirler. İnsanlar haricindeki bütün canlılar, enerjiyi sadece aldıkları besinlerden temin ederken, insanlar ise besinlerle alınan enerjinin yanında, yaşamsal konforlarını artırmak için alternatif enerji kaynaklarını da kullanmışlardır (İnan ve ark., 2002; Demircioğlu, 2003).

Son zamanlarda Dünyada kullanılan enerjinin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilen kaynaklardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtlardan elde edilen enerji kaynakları yenilenemeyen enerjilerdir. Atmosfere salınımları sonucunda CO₂, SO₂, NO₂ ve NO gibi zehirli gazların salınımı gerçekleşirken, asit yağmurlarına, ozon tabakasında zarar görülmesine ve küresel ısınmaya neden olmaktadır (Nordell, 2003). Bu yüzden fosil yakıtlarından elde edilen enerji ihtiyacını azaltmak için yenilenebilir özellik gösteren güneş, rüzgâr gibi temiz enerji kaynaklarından yararlanılarak alternatif yöntemler kullanılmalıdır. Ne yazık ki bu alternatif enerji kaynaklarının birçoğu süreklilik göstermemektedir. Bu sebeple var olan enerjinin depo edilip gerekli durumlarda tekrardan kullanılması büyük önem taşımaktadır. Enerjinin depo edilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri de termal enerji depolama yöntemleridir. Bu yöntem kullanılarak sıcaklık farklarından elde edilen ısı, depo edilip gerektiği zaman tekrardan kullanılabilir ve böylelikle enerjinin sürekli olarak kullanılma imkânı elde edilebilmektedir (Abhat, 1983; Dinçer ve Rosen, 2002; Mazman, 2006).

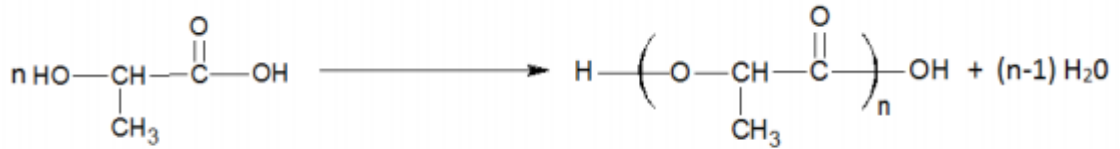
Bu tez çalışmasında, enerji depolamada kullanılan faz değiştirici materyallerden Eikosan ile yüksek biyobozunurluğa sahip bir biyopolimer olan Poli(laktik asit) (PLA) kullanılmıştır. Hazırlanan hibrit yapının, çözelti dökme ve elektro eğirme yöntemleri ile elde edilen film ve lif örneklerinin karakterizasyonu yapılarak mekanik ve kimyasal özelliklerindeki değişim ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

1.1. Polimerler

Polimerler çok sayıda küçük moleküllerin kimyasal bağlarla birbirine bağlanarak oluşturduğu büyük moleküllerdir. Monomer adı verilen bu küçük moleküllerin polimerizasyon reaksiyonu sonucu oluşan polimerler, büyük molekül ağırlığına sahip yapılardır (Saçak, 1998). Polimerler sentez yöntemlerine göre ikiye ayrılır. Şekil 1.1’ de katılma polimerleşmesinin şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 1.2’ de ise laktik asitten polilaktik asit eldeyle kondenzasyon polimerleşmesi örnek olarak verilebilir.



Şekil 1.1. Katılma polimerizasyonu (Bayrak, 2015)

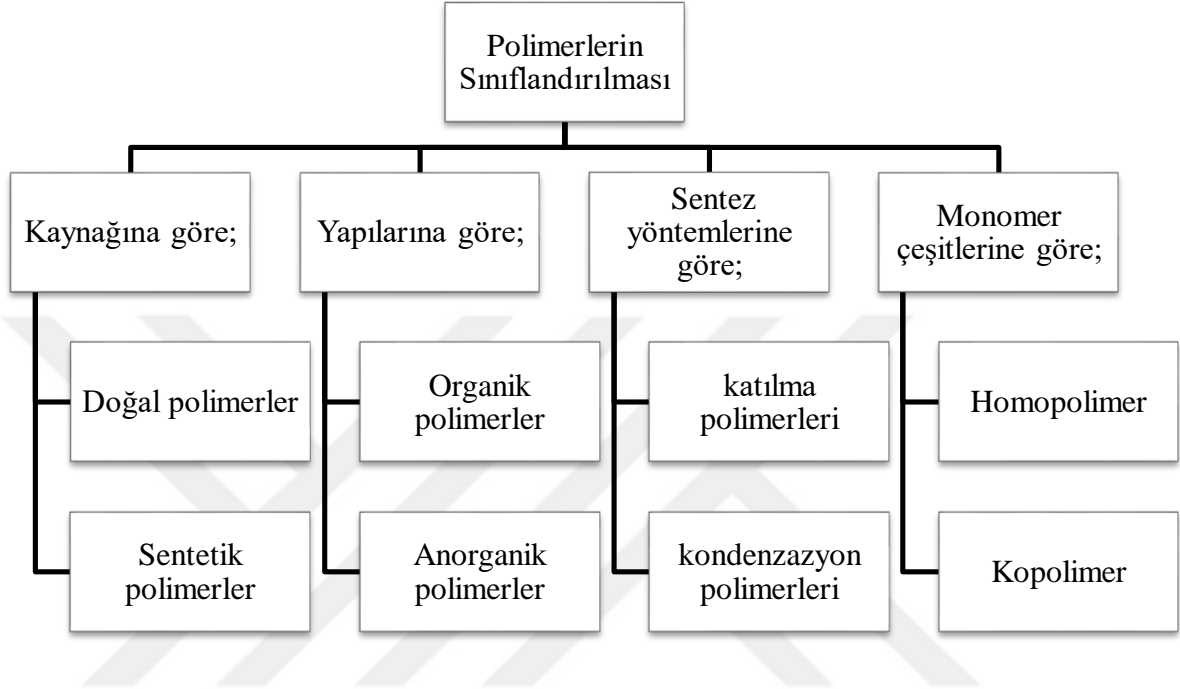


Şekil 1.2. Laktik asitin kondenzasyon polimerizasyonu (Karagöz, 2014)

Polimerler şekillendirilmesi kolay, hafif, ekonomik, pek çok alanda kullanılabilen ve kimyasal olarak aktif özellik göstermeyen, korozyona dayanıklı maddelerdir. Bu nedenle polimerlerden sadece kimya alanında değil, endüstri, makine, tıp, biyofizik ve tekstil gibi pek çok alanda faydalanılmaktadır. Polimer terimi, 1920’ de bazı moleküllerin daha büyük olduğunu ileri süren Staudinger’ in hipotezlerinin on yıl sonra kabulüyle bilim dünyasına girmiştir. Bu aşamadan sonra kimya alanında polimerler yoğun biçimde çalışılmış ve pek çok polimer sentezlenerek günlük hayatta yerini alarak, çelik, seramik gibi ürünlerden daha yaygın kullanılmaya başlamıştır (Yalçınkaya, 2008).

Polimerler kendi içinde kaynağına, yapılarına, monomer çeşitlerine ve sentez yöntemine göre çeşitli kategorilere ayrılabilir. Çizelge 1.1’ de polimerlerin sınıflandırılması gösterilmiştir (Yılmaz, 2013).

Çizelge 1.1. Polimerlerin sınıflandırılması



Günümüzde birçok polimer türü geniş bir uygulama alanında, çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bunların en önemlilerinden biri biyopolimerlerdir (Ece ve ark., 1999; Güngör ve Ece, 1999).

1.1.1. Biyopolimerler

Biyopolimerler, monosakkaritlerin bir araya gelerek bağ oluşturması sonucu meydana gelen polisakkaritlerin bağlanmasıyla oluşur (Sonebi, 2006). Canlı organizmalardan üretilmiş olup çok farklı çeşitlerde polimerler oluşturabilirler (Mohanty ve ark., 2005). Biyopolimerler doğada biyolojik olarak parçalanma özelliğine sahiptirler ve parçalanması sonucu daha az zararsız kabul edilen CO₂ ve H₂O gibi bileşikler oluştururlar. Biyopolimerlerin, geri dönüştürülebilme, biyobozunurluğu ve biyoyuumluluğu yüksektir. Doğal yapılar olmaları nedeniyle antibakteriyel etki gösterirler. (Schiffman ve Schauer, 2008)

Biyopolimerler kaynağına ve üretim şekline göre üç gruba ayrılır. Bunlar;

1) Ortam koşulları ayarlanarak mikroorganizmalar tarafından elde edilen biyopolimerler; bunlara örnek olarak polihidroksibütirat ve kopolimeri gibi polimerler verilebilir.

2) Doğal biyopolimerler; kimyasal özelliğinden herhangi bir değişim yapılmadan basit ayırma yöntemleriyle elde edilen selüloz, zein, kalojen gibi polimerler örnek verilebilir.

3) Sentetik biyopolimerler; biyo kökenli kaynaklardan kimyasal yöntemler kullanılarak elde edilen alifatik poliesterlerdir (Tıhminlioğlu ve ark., 2010). Yüksek biyobozunurluğa sahip özellikler gösteren sentetik biyopolimerlere, poli(kaprolaktan), polianhidrit ve poli(laktik asit) örnek verilebilir (Savaşçı ve ark., 1998).

1.1.2. Poli(Laktik Asit)

Biyouyumlu özellikler gösteren polimerler üzerine yapılan çalışmalar son zamanlarda giderek yaygınlaşmaktadır (Sawyer, 2003; Henton ve ark., 2005). Bu konuda en fazla çalışma örneği bulunan polimerlerden birisi de poli(laktik asit) tir. Poli (laktik asit) PLA, ilk olarak Carothers tarafından 1932 yılında keşfedilmiştir. Laktik asit, mısır nişastasından elde edilen bir fermantasyon işlemi ile sentezlenir. Şeker pancarı, nişasta, mısır vb. gibi kaynaklardan elde edilen PLA yenilenebilir, biyobozunurluğu yüksek doğal polimer olarak umut vadeden bir poliesterdir. PLA' nın bütün biyobozunur polimerler arasında uyumluluk, emilebilirlik ve yüksek mukavemet gibi üstün özellikleri vardır (Jamshidian ve ark., 2010).

Son 10 yıl içinde ambalaj sektöründe (Lehermeier ve ark., 2001), plastik, havacılık, otomotiv gibi sektörlerde, ekonomik ve çevresel faktörlerde PLA' nın biyobozunur özelliklerinden ötürü sürdürülebilir sonuçlar alınmaktadır (Carrasco ve ark., 2010). Bu avantajının yanında PLA' nın mekanik ve kimyasal özelliklerinden daha da üstün özellikler kazanılması amacıyla kompozitler de oluşturulabilir.

Kompozitlerde malzemeleri bir arada tutma görevi matris malzemelerindir. Kompozit malzemeler takviye edilen matris tiplerine göre metal, seramik ve polimer kompozitler olarak üç grupta incelenir. Bu gruptaki polimer kompozitler avantajları nedeniyle pek çok alanda yaygın olarak kullanılır. Bileşen oranları belirlenerek mekanik, termal ve kimyasal özellikleri üstün polimerler elde edilebilir. Kompozit polimerlerin elde edildiği maddeler farklı veya aynı gruptan olabilir. Bu nedenlerle polimerlerin bir araya getirilmesi basit ve ekonomik bir yöntem olduğundan kullanımı kolaydır ve otomobil, uçak,

uzay aracı, ambalaj, plastik endüstrileri ve biyomedikal alanlarda yaygın olarak tercih edilir (Parameswaranpillia ve ark., 2014; Wang ve ark., 2011; Bar ve ark., 2015).

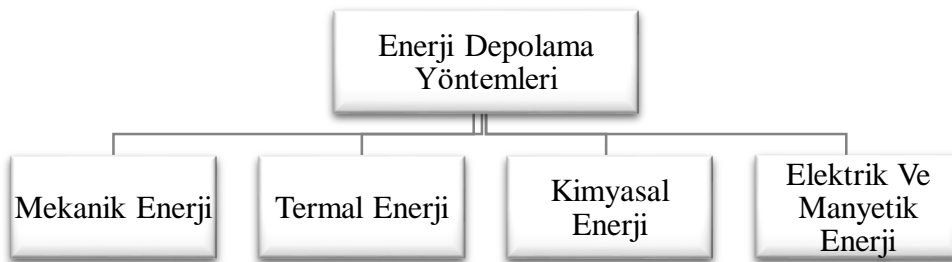
1.2. Enerjinin Depolanması ve Depolama Yöntemleri

Günümüzde dünya enerji pazarı çok geniş yer kapsamaktadır. Bunla ilgili yapılan çalışmalar gelişmiş ülkelerde milyar doların üstündedir, bu da gelecek zamanda enerjinin ne kadar büyük bir öneme sahip olacağını göstermektedir. Bu bağlamda dünyanın üstünde yoğun olarak çalıştığı konular enerjinin üretimi, dönüştürülmesi, işlenmesi ve depo edilmesi olarak belirtilebilir. Enerji depolama, temel olarak var olan enerjinin, daha sonra tekrar kullanabilmek için, başka bir enerji çeşidine dönüştürülmesi ve ihtiyaç halinde depo edilen enerjinin tekrardan geri kazanılmasıdır. Enerjinin depo edilmesinde yüksek verim elde edilmesi, güvenli ve maliyetinin düşük olması önemli faktörlerdir (TÜBİTAK, 2003; Abhat, 1987; Zalba ve ark., 2003).

Enerji depolamanın, toplumsal ihtiyaçların daha yüksek verimle karşılanması, binaların ısıtma ve soğutma sistemleri, sanayide atık olarak kullanılan enerjinin değerlendirilmesi, tehlikesiz ısının kullanılmasının sağlanması gibi birçok alanda önemli katkıları vardır (Dinçer ve Rosen, 2002). Depolanan enerjinin uygun zamanda etkili ve yaygın kullanılmasında verimli, ekonomik, güvenli bir enerji depolama metodu kullanılmalıdır (Abhat, 1983).

Mekanik enerji, termal enerji, kimyasal enerji ve elektrik enerjisi ile manyetik enerji olmak üzere dört çeşit enerji depolama yöntemi vardır. Bu depolama yöntemlerini birbirinden farklı kılan özellikleri birim hacimde depolayabildikleri enerji miktarlarıdır. Çizelge 1.2’de sözü edilen enerji depolama sistemlerinin alt grupları verilmiştir (Arslan, 1993).

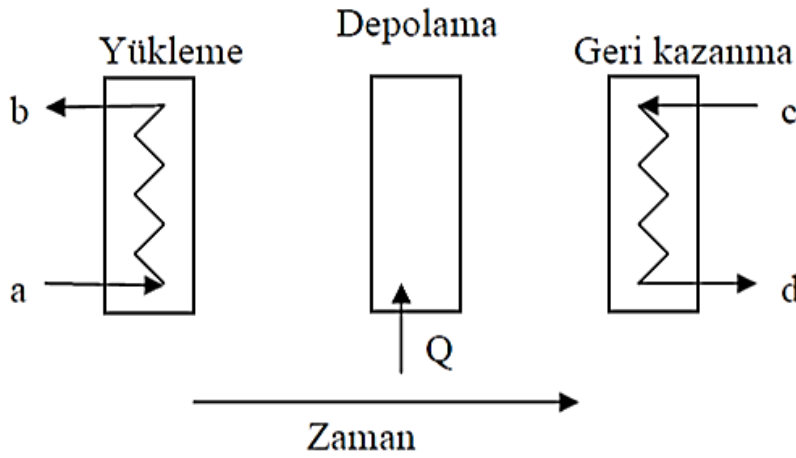
Çizelge 1.2. Enerji depolama yöntemleri



Bu enerji depolama yöntemlerinden en yaygın ve avantajlı olanlardan biri termal enerji depolama sistemleridir. Termal enerji depolama sistemlerinde ozon tabakasına zarar veren kloroflorokarbonlara (CFC) ihtiyaç duyulmadan ısıtma-soğutma sağlanabilmektedir. Böylelikle elektriğe duyulan ihtiyaç azalmaktadır (Özonur, 2004).

1.2.1. Termal Enerji Depolama

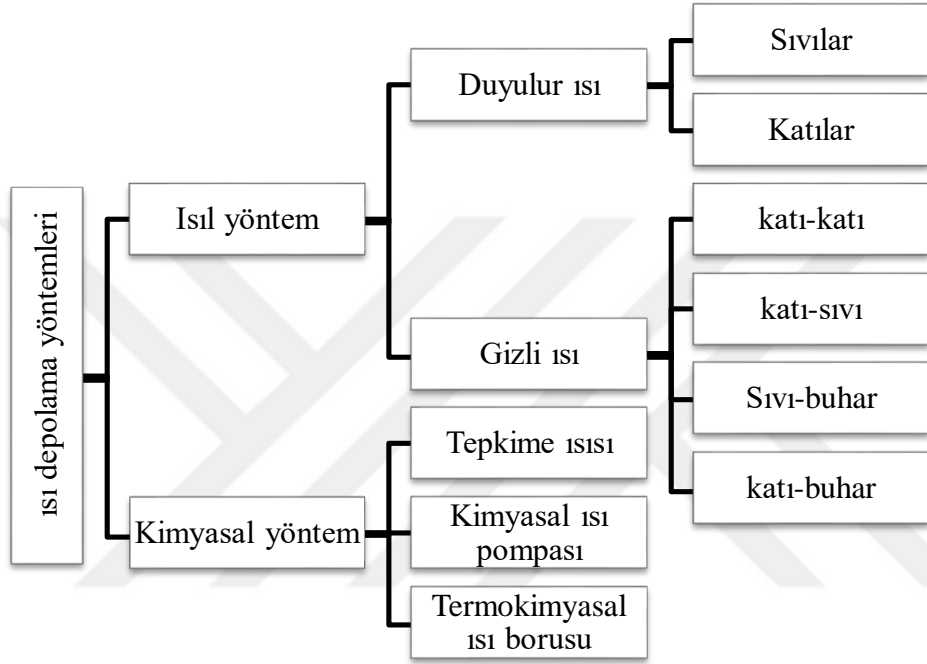
Maddeyi bir araya getiren küçük moleküllerin ve atomların potansiyel ve kinetik enerjileri toplamına termal (ısı) enerji denir. Moleküler ve atomik titreşimler sonucunda maddede termal enerji oluşur. Oluşan bu enerjinin aktarımı, sıcaklık farkından ısı aktarımıyla sağlanır. Bu ısı aktarımıyla termal enerji depolama gerçekleşmiş olur (Dikici, 2004). Termal enerji depolama sistemlerinin ana prensibi depolama sistemine enerji sağlanması, elde edilen bu enerjinin depo edilmesi ve uygun zamanda tekrardan kullanılma mantığına dayalıdır. Kısaca bu sistem enerjinin yüklenmesi (şarj), depo edilmesi ve tekrardan geri kazanılması (deşarj) mantığıyla çalışır. Şekil 1.3' te bu prensip gösterilmiştir (Dinçer ve Rosen, 2002).



Şekil 1.3. Termal enerjinin şarj-deşarj prensibi (Dinçer ve Rosen, 2002).

Termal enerji depolama sistemlerinde ilk öne çıkan güneş enerjisi sistemidir. Güneş enerjisi fosil yakıtların aksine kalıcılığa sahip değildir. Güneş enerjisi sistemleri, sürdürülebilirliği sağlamak için termal enerji depolama ile birleştirilir. Bu sistemler düşük veya yüksek sıcaklıklarda daha sonra kullanılmak üzere enerji depolama sağlar. Örneğin, termal enerji sistemlerinin güneş enerjisi ile birlikte kullanılması sonucunda gündüz depoladığı enerji gece tekrardan kullanılır (Uzun, 2012).

Bu prosedür sürdürülebilir enerji kullanımı sağlayabilir. Mevcut enerji sistemlerinin sürdürülebilir, verimli, ekonomik ve çevre dostu kullanımı için termal enerji depolama şarttır (Dinçer ve Rosen, 2002). Termal enerji depolamada enerji, depolama ortamının iç enerjisini duyulur ısı, gizli ısı, termokimyasal ısı veya bunların bir kombinasyonu ile değiştirerek depolayabilir (Sharma ve ark., 2009). Şekil 1.4’ te termal enerji depolama yöntemleri alt gruplar halinde gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Isı depolamada kullanılan yöntemler (Abhat, 1983).

Isıtma veya soğutma uygulamaları için tercih edilen yaygın termal enerji depolama teknikleri, duyulur ısı ve gizli ısı depolama olarak tarif edilebilir (Abhat, 1983).

1.2.2. Duyulur Isı Enerji Depolama

Maddenin sıcaklık değişimine göre açığa çıkan enerjiye veya maddenin aldığı enerjiye duyulur ısı denir (Akçay, 2006). Isıl enerji katı veya sıvı hallerdeki maddelerin sıcaklık değişimiyle depo edilir. Diğer bir deyişle maddenin sıcaklığının yükseltilmesiyle ısı depolanması anlamına gelir. Duyulur ısı depolamada katı olarak çakıl taşı, toprak, kaya gibi materyaller, sıvı olarak ise genellikle su, etilen glikol ve bazı alkoller kullanılmaktadır (Paksoy, 1992). Duyulur ısı depolamada kullanılan bazı katı ve sıvıların sabit bir sıcaklıktaki özellikleri çizelge 1.3’ te belirtilmiştir (Günerhan, 2004). Bu özelliklerden faydalanarak duyulur ısı depolama kapasitesi davranışları incelenebilir.

Çizelge 1.3. Duyulur ısı depolama malzemelerinin özellikleri

Materyal	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı iletim kat.(W/mK)	Özgül ısı (J/kg K)	Isı yayılım katsayısı (10 ⁻⁶ m ² /s)	Isı kapasitesi (106 J/m ³ K)
Odun	721	0,159	1260	0,17	0,91
Beton	1600	0,790	840	0,59	1,34
Ateş tuğlası	1920	0,900	790	0,59	1,52
Cam	2710	0,760	837	0,33	2,27
Alüminyum	2702	237,000	903	97,13	2,44
Karbon çeliği	78,54	60,500	434	17,75	3,41
Saf demir	7870	80,200	447	22,80	3,52
Çakıl taşı	2050	1,730	1840	0,46	3,77
Su	996	0,615	4178	0,15	4,16

Depolanacak ısının miktarı ortamın ısı kapasitesi, sıcaklık değişim miktarı ve depolama materyal miktarına göre belirlenir. Duyulur ısıyı bulmak için aşağıdaki eşitlikten yararlanılabilir:

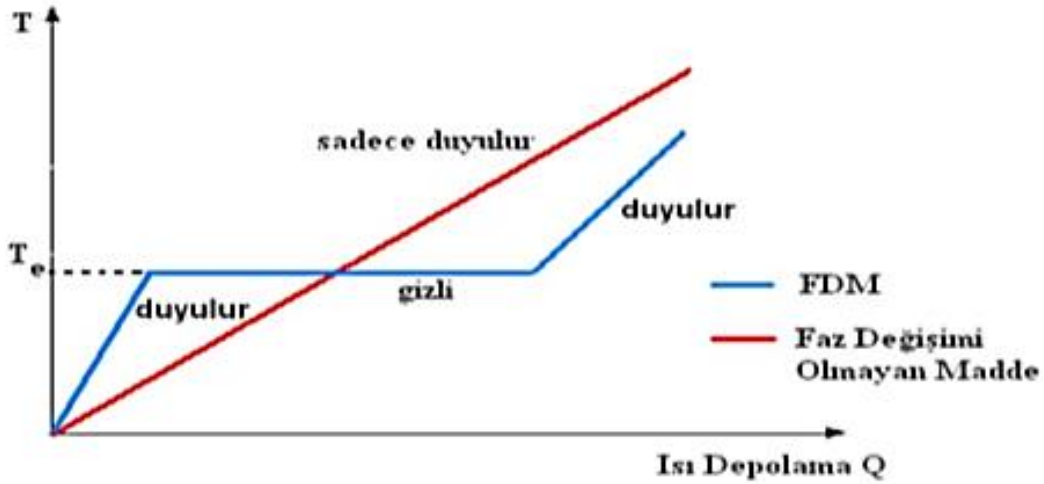
$$Q = m.C_p. \Delta T = V.p.C_p.(T_2 - T_1) \quad (1.1)$$

Buradaki eşitlikte V maddenin hacmini, p maddenin yoğunluğunu, C_p değeri de maddenin özgül ısısını gösterir. Depo edilen ısıyı bulmada m kütleyle sahip madde, T₂ sıcaklığına çıkartıldığında depo edilen ısının miktarının fazla olması için yoğunluk ve özgül ısı değerlerinin yüksek olması gerekir (Arda, 2006).

Duyulur ısının, sıcaklık değişimi sonucu alınıp verilen enerjinin depolanmasında kullanılan maddenin kimyasal özelliklerinde bir değişim olmaksızın, geri kazanımı ve tekrarlanabilirliği yüksek ve uzun ömürlü olması önemli avantajlarından. Diğer yandan, enerji alışverişlerinde ısı kaybı meydana gelmesi ve bu yüzden izolasyon gerektirmesi, depo edilen hacmin yüksek olması ise dezavantajları olarak söylenebilir (Mazman ve ark., 2002; Mazman, 2006). Duyulur ısı dışında termal depolama yöntemlerinin en avantajlılarından biri ise gizli ısı enerji depolamadır.

1.2.3. Gizli Isı Enerji Depolama

Maddelerin faz değişimleri veya durum değişiklikleri gizli ısı depolama ile açıklanır. Termal enerji depolama tekniklerinden biri olan gizli ısı, sabit bir sıcaklıkta veya belirli bir sıcaklık aralığındaki maddelerde faz değiştirme sürecinde, iç enerji değişiminin depolanması veya serbest bırakılmasına bağlı olarak değişir. Kısaca gizli ısı, maddenin faz değişimi esnasında aldığı ya da verdiği ısı şeklinde tanımlanabilir (Sarı, 2000). Şekil 1.5' te sabit sıcaklıkta faz değişimi gözlenen gizli ısı depolama grafiği verilmiştir.



Şekil 1.5. Duyulur - Gizli ısı depolama sıcaklık-ısı grafiği (Sarı ve ark., 2005)

Genel olarak gizli ısı depolama yöntemlerindeki faz değişimleri katı-katı, katı-sıvı, katı-buhar, sıvı-sıvı, sıvı-buhar şeklinde beş kategoride incelenmektedir (Wang ve ark., 2000b). Faz geçiş yöntemlerinden en sık kullanılanı katı-sıvı yöntemidir. Çünkü diğer faz değişim yöntemlerine göre uygulanabilirliği en avantajlı olanıdır (Farid ve ark., 2004). Bunun yanında sıvı-gaz ve katı-gaz faz değişim yöntemlerinin gizli ısı tutma kapasitesi yüksek olmasına rağmen, gazlarda oluşan hacim değişimi dezavantaj oluşturmaktadır.

Gizli ısı depolama yönteminin diğer metotlara göre daha çok tercih edilmesinin en belirgin sebepleri, duyulur ısıya göre daha fazla depolama kapasitesine sahipken daha az ısı deposu alanı gerektirmesidir.

Aynı zamanda depolama veya enerji dönüşümü maliyetinin düşük olması, yüksek enerji gerektiren uygulamalarda kullanılabilmesi, kısa sürede depolama kolaylığı sağlaması, sınırlı ya da sabit sıcaklık aralıklarında depolamaya elverişli olması gibi avantajlar da sağlamaktadır (Abhat, 1983; Hasnain, 1998b).

Çizelge 1.4' te kaya ve su kullanılarak duyulur ısı depolama yöntemi, organik ve inorganik bileşikler kullanılarak da maddelerin gizli ısı kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1.4. Organik ve inorganik maddelerin ısı depolamaların karşılaştırılması

Termofiziksel özellikler	Kaya	Su	Organik FDM	İnorganik FDM
Yoğunluk(kg/m ³)	2240	1000	800	1600
Özgül ısı(kj/kg.K)	1,0	4,2	2,0	2,0
Gizli ısı(kj/kg)	-	-	190	230
Gizli ısı(kj/m ³)	-	-	152	368
10 ⁶ j enerji depolamak için gerekli hacim(kg)	67	16	5,26	4,35
10 ⁶ j enerji depolamak için gerekli hacim(m ³)	30	16	6,6	2,7
Bağlı kütle	15	4	1,25	1
Bağlı hacim	11	6	2,5	1

Gizli ısı enerji depolama, faz değişim maddeleri (FDM) ile gerçekleşir. Maddenin katı halden sıvı hale geçişinde ısı enerji değişimi meydana gelir ve bu durum faz değişimi olarak tanımlanır. Isı transferinin ilk aşamasında FDM' ler sabit bir sıcaklıkta ısı alır ve ısıyı geri bırakır. FDM' lerin ısı depolama kapasiteleri duyulur ısı depolama maddelerine göre 14 kata kadar çıkabilmektedir. Aynı zamanda FDM' lerin daha kolay elde edilmesi, uygulama alanlarının daha geniş olması ve ekonomik avantajları nedeniyle bu maddeler daha çok tercih edilmektedir (Abhat, 1983).

1.3. Faz Değiştirici Materyaller

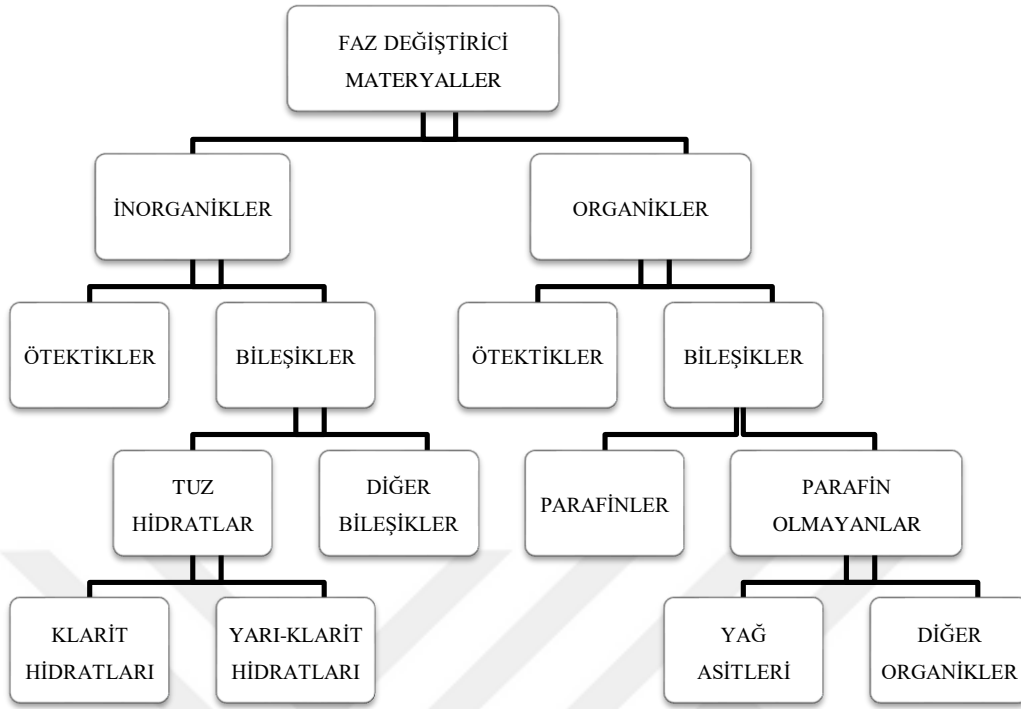
Belli sıcaklık aralığında fazlarını değiştirme özelliğine sahip materyallere faz değiştirici maddeler (FDM) denir. FDM' lerin en önemli özelliği gizli ısı depolama yeteneklerinin olmasıdır. Gizli ısı depolama metotlarından katı-sıvı faz değiştirme yöntemi FDM' ler de en çok tercih edilen yöntemdir. Katı – sıvı faz değişimlerinde ortamdan alınan ısı enerjisiyle katı fazdan sıvı faza geçişte, faz geçiş sıcaklığına ulaşıldığında depolanan gizli ısı maddeyi katı fazdan sıvı faza getirmeye başlar. Erime işlemi tamamen bitene kadar sıcaklık değişmez (Garg ve ark., 1985; Hasnain, 1998a).

Maddenin faz değişim esnasında, buldukları ortamın sıcaklığı FDM' lerin sıcaklığından fazla ise maddeler dışarıdan ısı alır. Ortamın sıcaklığının azalması durumunda ise katı faza geri dönerken aldığı ısıyı serbest bırakır. Bu sürekli tekrar eden dönüşüm (şarj-deşarj) ortam sıcaklığını da etkileyerek binaların ısı yalıtımında, tekstil malzemelerinde, gıda taşınmasında ve medikal alanlarda enerji tasarrufu amacıyla yaygın olarak kullanılır (Baetensa ve ark., 2010; Özönur, 2004).

1.3.1. Faz Değiştirici Materyallerin Sınıflandırılması

Faz değiştirici materyaller, faz değişimi sıcaklığı, termal ısı iletkenliği ve depoladıkları gizli ısı kapasitesine göre değerlendirilir. Sentetik ve doğal olmak üzere tespit edilen 500' den fazla FDM bulunur. Bilinen faz değiştirici malzemelerin sıcaklık aralıkları ve kapladıkları ısı depolama alanları birbirlerinden farklılık gösterir. FDM' ler kimyasal yapılarına göre organik bileşikler, anorganik bileşikler ve ötektik karışımlar olarak sınıflandırılabilir. Biyomedikal ürünlerde ve tekstil malzemelerinde, vücut sıcaklığına en yakın olduğu için, erime sıcaklığı olarak 15-38 °C arasındaki organik FDM' ler daha çok tercih edilmektedir (Alay, 2010). Enerji depolamada kullanılan malzemeleri Çizelge 1.5' teki gibi sınıflandırabiliriz (Mazman, 2006).

Çizelge 1.5. Faz değiştirici materyallerin sınıflandırılması



1.3.2. İnorganik Faz Değiştirici Materyaller

İNorganik faz değiştirici materyaller, tuzlar, alaşımlar ve tuz hidratlar olarak sınıflandırılabilir. En çok kullanım alanı olan inorganik FDM' ler ise tuz hidratlar ve ötektik karışımlarıdır (Lane,1983; Verma ve ark., 2008). Tuz hidratların yapıları inorganiktir ve kristal yapılarında barındırdıkları 'n mol' su ile tanımlanır (Önder ve Sarier, 2006). Faz değiştirici madde olarak geniş kullanım özelliklerine sahip olan tuz hidratlar düşük maliyetleri, kolay temin edilmeleri ve zehirli özellik göstermemesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmıştır (Lane,1989).

Organik faz değiştirici materyallere göre ısı tutma kapasitesi daha yüksektir. Isınma ve soğuma çevrimlerinin daha fazla olmasına rağmen erime ısılarını sabit değerde korurlar, yüksek ısıl iletkenliğe sahiptirler ve depolama sistemlerinde hacim değişimleri daha küçüktür. Bu özelliğinden dolayı depolama yeri olarak daha avantajlı özelliklere sahiptir (Sharma, 2009). Dezavantajları olarak ise çekirdekleşme özelliklerinin zayıf olması nedeniyle donma halinde aşırı soğuma durumu gözlenir. Bu durumda maddelerin ergimelerindeki düzensizlikten dolayı faz ayrımı gösterirler. Metallerle karşı aşındırıcı özellik gösterebilirler (Ahbat, 1983; Özonur, 2004; Bruno, 2005; Ayçay, 2006; Karaipekli, 2006; Yılmaz, 2008). Çizelge 1.6' da bazı tuz hidratların özellikleri verilmiştir (Mazman, 2006).

Çizelge 1.6. Faz değiştirici materyaller için kullanılan bazı tuz hidratlar

Tuz hidratları	Ergime sıcaklığı	Ergime ısısı	Yoğunluk(kg/dm ³)	Özgöl ısısı
CaCl ₂ .6H ₂ O	29,7	171	1,710	1,45
NaSO ₄ .10H ₂ O	32,4	254	1,485	1,93
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	48,0	201	1,730	1,46
NaHPO ₄ .12H ₂ O	35,0	281	1,520	1,70
Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	36,4	147	2,065	1,34
Ba(OH) ₂ .6H ₂ O	78,0	267	2,180	1,17
Mg.Cl ₂ .8H ₂ O	116,0	165	1,570	1,72

1.3.3. Organik Faz Değiştirici Materyaller

Organik faz değiştirici maddeler, Ötektik FDM'ler ve Bileşik (Karışım) FDM'ler olmak üzere iki gruba ayrılır. Karışım FDM'ler de kendi arasında parafin ve parafin olmayanlar (yağ asitleri vb.) olarak sınıflandırılabilir. Organik FDM'ler kimyasal özellikleri bakımından kararlı ve kullanım süreleri fazladır. Bu tür FDM'lerde aşırı miktarda soğuma, faz ayrımı gibi olumsuz sonuçlara çok rastlanmaz. Aşındırıcı özellik göstermezler. Depolama alanında değişme olmadan tekrarlanabilme, ergime ve aşırı soğumaya uğramadan donabilme ve kendi kendilerine kristalleşme performansları diğer maddelere göre üstün özellikleridir. Organik FDM'ler arasında en çok kullanılan parafinlerdir (Feldman ve ark., 1986 ; Bugaje, 1997).

1.3.4. Parafinler

Parafinler ham petrol rafinasyonundan elde edilen renksiz, kokusuz, mumsu özelliklere sahip doymuş hidrokarbonlardır. Kapalı formülleri C_nH_{2n+2} şeklindedir. Düz zincirli yapıda olan parafinlerin karbon zincirindeki uzunlukları arttıkça faz değişim entalpileri ve erime sıcaklıkları artar (Mehling ve Cabeza, 2008). Alkanların ilk dört grubu (metan, etan, propan, bütan) oda koşullarında gaz fazında, karbon sayısı 5 ve 15 arasındakiler sıvı, karbon sayısı 15 den büyük olanlar ise katı fazlarında bulunur. Organik ısı depolama malzemesi olarak en fazla kullanılan parafin waxlardır (Hale ve ark., 1971; Lane, 1983).

Parafinlerin katı-sıvı faz değişimleri arasında hacim değişimi gözlemlenir. Depo alanı da bu hacim değişimine göre değerlendirilmelidir. Yüksek ısı depolama alanına sahip oluşu (inorganik maddelere göre düşüktür) ve ergime sıcaklığının geniş bir alan kaplaması üstün özellikleridir. Çizelge 1.7' de parafinlerin ayrıntılı olarak avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir (Yazıcı, 2013).

Çizelge 1.7. Parafinin avantajları ve dezavantajları

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
<ul style="list-style-type: none">• Kimyasal olarak kararlı yapıdadırlar.• Maliyetleri düşüktür ve temin etmek kolaydır.• Gizli ısı kapasiteleri yüksektir• Katı-sıvı faz geçişlerinde büyük faz değişimi göstermezler.• Erime noktası geniş bir yelpaze kaplar.• Toksik ve tahriş edici özellikte değildir.• Tehlikesiz özellik gösterdiklerinden geri dönüştürülebilirler.	<ul style="list-style-type: none">• Yanıcı özellik gösterirler.• Büyük yüzey alanı gerektirmeleri• Erime sıcaklıkları sabit değildir.• Katı hallerindeki gözenekli yapısından dolayı ısı iletkenlikleri çok yüksek değildir.

Çizelge 1.7’de de görüldüğü gibi en önemli avantajlarından biri geniş erime noktası ve gizli ısı tutma kapasitesidir. Çizelge 1.8’ da ise bazı parafinlerin erime noktası ve erime gizli ısı kapasiteleri verilmiştir (Lafçı, 2012).

Çizelge 1.8. Parafinlerin gizli ısı kapasiteleri

Karbon Atom sayısı	Erime noktası (°C)	Erime gizli ısı (kJ/kg)
14	5,5	228
15	10	205
16	16	237
17	21,7	213
18	28	244
19	32	222
20	36,7	246
21	40,2	200
22	44	249
23	47,5	232
24	50,6	255
25	49,4	238
26	56,3	256
27	58,8	236
28	61,6	253
29	63,4	240
30	65,4	251
31	68	242
32	69,5	170
33	73,9	268
34	75,9	269

1.3.5. Parafin Olmayanlar

Esterler, alkoller, yağ asitleri ve glikoller parafin olmayan maddelere örnek gösterilebilir. Parafin olmayan maddeler gizli ısı depolama alanları olarak en geniş maddelerdir (Abhat, 1983). Parafin olmayan FDM’ ler birbirine yakın özellikler göstermeyip her biri kendine özgü özellikler göstermektedir. Bunların ısıl iletkenliği düşüktür ve az miktarda zehirlenme özelliği vardır. Yanıcı özellikte olan bu maddeler yüksek sıcaklıklarda tutulmamalıdır (Keleş, 2003).

1.3.6. Ötektik Faz Değiştirici Materyaller

Ötektik faz değiştirici maddeler kristallenme boyunca bir araya gelen kristallerden oluşan karışımın, faz ayrımı olmadan eriyen ya da katılaşan minimum erime noktalı karışımlardır (Lane,1983; Sarı, 2005; Sharma ve Sagara, 2005). Ötektik karışımlar arasında en fazla kullanılanı yağ asidi ötektik karışımlardır (Akçay, 2006).

1.3.7. Yağ Asidi Ötektik Karışımlar

Yağ asitlerinin genel kimyasal formülleri $CH_3(-CH_2-)_{2n}.COOH$ olarak gösterilir. Yağ asitlerinin diğer faz değiştiriciler arasında en iyi olduğu belirtilebilir. Parafinlere göre yüksek ısı tutma kapasitesine sahiptirler (Abhat, 1983). Katı- sıvı faz geçişlerinde aşırı soğuma davranışı göstermeden tekrarlanabilirler (Herrick ve Golibersuch, 1978). Bitkisel ve hayvansal yağlar faz değiştirici materyal olarak kullanılabilir. Yemeklerimizde kullanılan yağlarda ve soya yağlarında yağ asitleri yüksek oranda bulunurlar (palmitik, oleik, lineoleik ve sterit asit vb.) (Cedeno ve ark., 2001). Diğer FDM' lere göre önemli olumsuz özellikleri; parafinlere göre 2-3 kat daha pahalı olmaları ve az miktarda da olsa tahriş edici özellikler göstermeleridir. Ayrıca inorganik ve organik faz değiştirici materyallere göre farklı bir seğenek kaynağı olarak da gösterilir (Suppes ve ark., 2003). Bazı önemli yağ asitlerini gizli ısı depolama kapasiteleri çizelge 1.9' da verilmiştir (Lafçı, 2012).

Çizelge 1.9. Yağ asitlerini erime noktası ve erime gizli ısıları

Madde	Formül	Erime noktası (°C)	Gizli ısı (kJ/kg)
Polietilenglikol	$H(OC_2H_2)_n.OH$	20-25	146
Kaprik asit	$CH_3(CH_2)_8.COOH$	36	152
Elatik asit	$C_8H_7C_9H_{16}.COOH$	47	218
Laurik asit	$CH_3(CH_2)_{10}.COOH$	49	178
Pentadekanoik asit	$CH_3(CH_2)_{13}.COOH$	52,5	178
Tristearin	$(C_{17}H_{35}COO)_3C_3H_5$	56	191
Miristik asit	$CH_3(CH_2)_{12}.COOH$	58	199
Palmitik asit	$CH_3(CH_2)_{14}.COOH$	55	163
Stearik asit	$CH_3(CH_2)_{16}.COOH$	69,4	199
Metil Fumarat	$(CHCO_2NH_3)_2$	102	242

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında vücut sıcaklığı civarında faz değiştirici özellik gösteren Eioksan ile biyobozunurluğa sahip biyopolimerlerden biri olan PLA bir araya getirilmiştir. Hazırlanan kompozit çözülden, elektro eğirme ve çözelti dökme yöntemleri kullanılarak, elde edilen film ve nanolif örneklerinin karakterizasyonu yapılarak, PLA' nın termal ve mekanik özelliklerindeki değişim irdelenmiştir. Buna yönelik bir literatür taraması yapılmıştır.

Biyonanokompozitler, malzeme bilimi, nanoteknoloji ve biyoloji gibi alanlarda önemli uygulamaların bir araya getirilerek oluşturdukları ürünlerdir. Biyopolimerlerden elde edilen nanokompozitlerin termal, mekanik ve bariyer gibi özelliklerinde değişimler ve gelişimler gözlenebilir (Ruiz-Hitzky ve ark., 2005). Nanoteknolojik yöntemler kullanılarak çapı mikronun da altında olan lifler elde edilir. Oluşan bu lifler, nanolif olarak isimlendirilir. Nanoliflerin elde edilmesinde en önemli nanolif üretim metotlarından biri elektro eğirme metodudur. Bu yöntemle elde edilen lif örneklerinde küçük çap boyutlarında geniş yüzey alanı imkânı gözlenebilir. Bu yüzden geniş bir uygulama alanına sahiptirler (Shin ve ark., 2001; Li ve ark., 2006; Qin ve Wang, 2006). Bu doğrultuda, elektro eğirme yöntemi ile, PLA ve farklı maddeler kullanılarak hazırlanan kompozit karışımlardan elde edilen nanoliflerin termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Joon ve ark. (2007) elektro eğirme yöntemini kullanarak, Poli (L laktik- D laktik asit) (PLDLA)' ten lifler elde etmişlerdir. Elde edilen liflerde çözücü sistemi olarak kloroform kullanmışlardır. Elektro eğirme yönteminde kullanılan parametre değerleri ise 8 cm mesafe, 5-25 kv voltaj ve 0.002-0.005 ml/dk akış hızı şartlarında çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, polimerin ağırlıkça yüzdelik oranını artırdıkça, viskozitesinin de arttığı ve lif yapısında oluşan boncuk yerine uniform yapıya doğru bir geçiş olduğu gözlenmiştir

Gümüş ve ark. (2012) PLA ve kil kullanarak biyanokompozit elde etmişlerdir. Kompozitleri elde ederken plastikleştirici ajan olarak polietilen glikol (PEG) içeren ve içermeyen kompozitlerin termal, optik, bariyer ve morfolojik değişimlerinin etkilerini incelemişlerdir.

Başka bir çalışmada ise Jia Xu ve ark. (2009) PLA ve kitosan karışımından nanolif üretim çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Elektro eğirmede kullanılan parametre değerleri, 22 cm mesafe, 0-30 kv voltaj ve % 15-29 aralığında derişim değerlerinde pürüzsüz lifler elde etmişlerdir. Elde edilen bu lif örneklerinin biyomedikal uygulama alanı olarak kullanılabilir doku mühendisliğine uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Elektro eğirmeyle yapılmış başka bir çalışmada ise Gu ve ark. (2009) PLA ve jelatin karışımından elektro eğirme yöntemi kullanarak lif elde etmişler, elde edilen bu lif örneklerinin PLA' ya jelatin katıldığında daha üstün özellikler kazandırdıklarını gözlemlemişlerdir. PLA ile yapılan liflerin yanında film ile ilgili çalışmalara bakıldığında ise PLA ile çalışılan filmler genellikle gıda paketlenme alanında ağırlık göstermektedir. Abad ve ark. (2014) yaptıkları bir çalışmada PLA matriksine gümüş iyonları ilave etmişlerdir. İlave edilen gümüş iyonlarını iki farklı çözücü sisteminde çözüp, çözelti dökme yöntemiyle hazırlayarak, film örneklerini incelediklerinde gümüş iyonları kullanılarak hazırlanan numunelerin yüksek antibakteriyel özellikler gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

PLA ile yapılan film ve liflerin mekanik özelliklerinin zayıf olması yüzünden, mekanik özelliklerini artırıcı etki gösteren materyaller ilave edilerek film ve liflerin ısı kapasitesi, tutuşma sıcaklığı, gaz bariyeri artırılabilir (Katiyer ve ark., 2011). Bu artırıcı etken maddelerinden biri olarak ileri sürülen faz değiştirici materyallerin özelliklerine baktığımızda ise; Faz değiştirici maddeler uzun yıllardır çeşitli alanlarda insanların faydalandığı önemli kaynaklardır. Her ne kadar özellikle 70'li yıllardaki enerji krizi nedeniyle bilimsel olarak daha yaygın incelenmeye başlansa da, ilk incelemelerin 40'lı yıllarda yapıldığı görülmektedir (Agyenim ve ark., 2011).

FDM' ler çok eski tarihlerden beri buzun depolanması ile günlük yaşamın içinde olmuştur. Geçmişe bakıldığında en belirgin başlangıcın İngiliz demiryolları tarafından, yolcu konforunu artırma amaçlı olarak, faz değiştirici maddelerin koltuk kaplamalarında kullanıldığı göze çarpmaktadır. Bu uygulamada koltuklara eklenen faz değiştirici maddenin erime noktası 44 °C olan sodyum tiyosülfat pentahidrat kullanıldığı görülmektedir (Dinçer ve Rosen, 2002). Ayrıca FDM' lerin binalarda ilk kullanımı 70' li yılların başında bir üniversitede yapılmıştır ve bu alandaki deneysel ilk çalışma olarak kabul edilmektedir (Lane, 1983). Günümüzde ise enerji tüketimin ve depolanmasının çok daha önemli ve zorunlu bir ihtiyaç haline gelmesiyle faz değiştirici materyallerin kullanım alanı genişlemiştir. Örneğin enerji tüketimin azaltılmasında, geniş ısı depolama sistemlerinde, binalarda ısı transferinde ve zemin döşemelerinde, tekstil malzemelerinde, ısı iletkenliği artırmak gibi pek çok uygulama alanı mevcuttur (Dinçer, 2002; Erkan, 2004).

Literatüre bakıldığında Wang ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada polikarbonat (PC) içerisine Eikosan ilave ederek çözelti dökme yöntemiyle kompozit filmler hazırlayarak binalarda gizli ısı depolama kapasiteleri üzerine çalışmışlardır. Elde edilen sonuçların ışığında kompozit FDM 'nin binalarda ısı yalıtımında iyi bir termal ve kimyasal kararlılığa sahip olduğunu bulmuşlardır.

Başka bir çalışmada Cong ve ark. (2013) potansiyel ısı depolama uygulamaları için çekirdek / kabuk yapıları Eikosan / poli (vinilden florur)'den elde edilen kompozitten elektro eğirme yöntemiyle nanolif hazırlamışlardır. Elde edilen fiberleri elektro eğirme yöntemiyle, ortam koşulları olarak 12kv bir voltaj uygulanıp 17 cm mesafede tutulmuş, beslenme hızı olarak da saatte 1,5 ml olacak şekilde ayarlanmıştır. Oluşan çekirdek/kabuk kompozit lifleri insan vücut sıcaklığına yakın olan, erime noktası 39,2 °C ve yüksek sayılabilecek 77 j/g lık gizli ısı değerlerine sahiptir. Bu şekilde ısı düzenleyicisi yüksek, potansiyel ısı depolama uygulamaları için yeterli miktarda lifler elde ettiklerini belirtmişlerdir.

FDM' lerin olumsuz özelliklerinden biri de düşük ısı iletkenliğe sahip olmasıdır. Bu yüzden ısı iletkenliği artırmak için FDM' lere yüksek ısı iletkenlik gösteren karbon, grafit veya metal gibi maddeler nano ölçekli eklenerek oluşan kompozit yapıların ısı iletkenliği artırılabilir (Şahan ve ark., 2015).

Ho ve ark. (2009) yaptıkları bir çalışmada ısı iletkenlik üzerine çalışmışlar, faz değiştirici materyal olarak kullanılan parafinin içine alümina nano parçacıkları ekleyerek saf parafine göre bir artış gözlemlemişlerdir.

Başka bir çalışmada ise Xia ve ark. (2010) faz değiştirici materyale grafit ekleyerek elde edilen kompozit ısı iletkenlikte 10 kat daha fazla bir artış gözlemlemişlerdir. Ayrıca kompozit 100 °C' in altındaki sıcaklıklarda herhangi bir bozulma durumu göstermemiş termal kararlılığı ve depolama alanları için de kullanılmasında bir sakınca bulunmamıştır.

Konuklu ve ark. (2009) yaptıkları bir çalışmada binalarda faz değiştirici materyalden yararlanarak ısı tutma kapasitesini araştırmışlar. Erime noktası 26 °C, gizli ısı kapasitesi 110 kj olan bir FDM ile erime noktası 23 °C, 110 kj ısı tutma özelliklerine sahip başka bir FDM kullanarak, binalardaki ısıtma ve soğutma yükünü azalmayı hedeflemişlerdir. Yaptıkları bu çalışma sonunda yazın %5-%10 oranında, kışın ise %10-%20 oranında bir tasarruf sağlamışlardır.

Litaratür incelendiğinde biyoyumlu ve biyobozunur bir malzeme olan PLA ile herhangi bir faz değiştirici materyalin ve dolayısıyla da Eikosanın birlikte kullanılarak yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. PLA' ya belli oranlarda Eikosan ilave edilerek hazırladığımız kompozit film ve liflerin SEM, DSC, DMA, TGA ve Polarize Optik Mikroskoplara incelenmiş olup PLA' nın mekanik ve termal özelliklerindeki değişim gösterilmiştir.



BÖLÜM 3

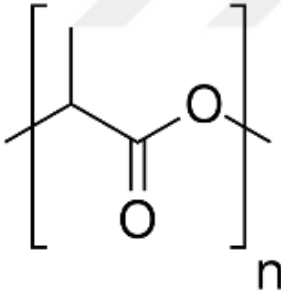
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında geniş kullanım alanlarına sahip biyoyumlu ve biyobozunur özellikler gösteren bir biyopolimer olan PLA ile biyopolimere uygun vücut sıcaklığı civarında faz değiştirici özellik gösteren Eikosan, uygun çözücülerde belli oranlarda karıştırılarak çözülmüştür. Elde edilen kompozit karışımlarla, çözelti dökme ve elektro eğirme yöntemleri kullanılarak, biyomedikal uygulama potansiyeli yüksek film ve lifler elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu film ve liflerin karakterizasyonu için SEM, TGA, DSC, DMA ve Polarize Optik Mikroskop analizlerine bakılmıştır.

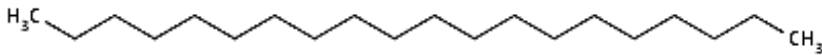
3.1. Materyal

3.1.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar Maddeler

Deneysel çalışmalarda, Poli (Laktik asit) (PLA 4043-D, Natureworks LLC), Eikosan (Acros), Diklorometan (DCM, Merck), Tetrahidrofuron (THF, Merck), Polietilen glikol (PEG 4000, Merck) kullanılmıştır.



Şekil 3.1. PLA formülü



Şekil 3.2. Eikosan formülü

3.1.2. Kullanılan Cihazlar ve Aletler

Kimyasal maddelerin tartım işlemleri için Radwag marka AS 2020/C/2 Model ± 0.001 g duyarlı elektronik hassas terazi kullanılmıştır. Film ve liflerin hazırlanmasında, çözeltiler Ika marka manyetik ısıtıcılı karıştırıcıyla hazırlanmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra çözücünün uzaklaştırılıp, kurutma işleminin gerçekleştirilmesi için vakum etüvü (memert) kullanılmıştır. Liflerin hazırlanması ise Inovenso Ne100 model elektro eğirme cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Film ve Liflerin Üretimi

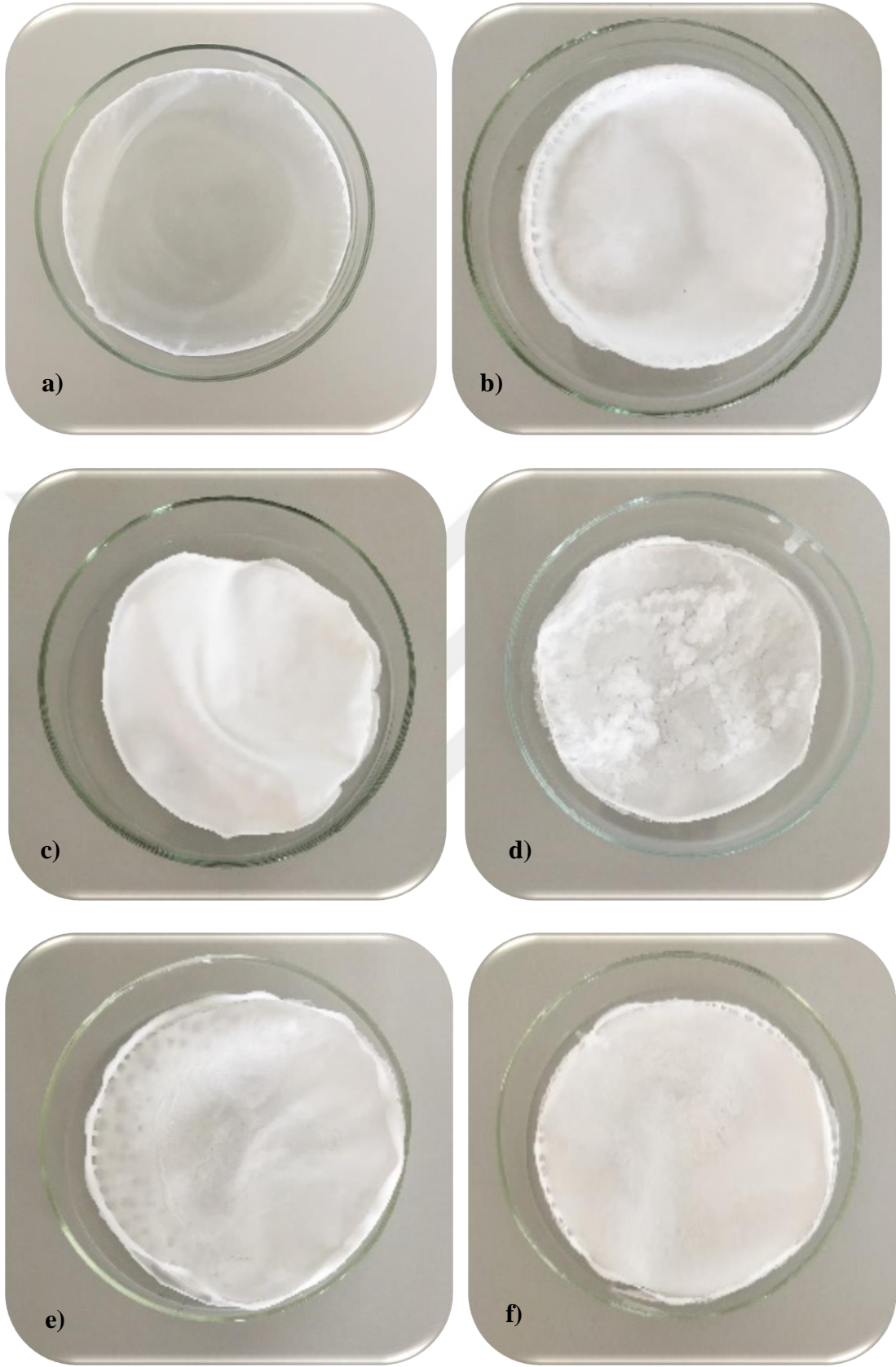
PLA ve belli oranlarda ilave edilen Eikosan karışımı uygun çözücülerde çözünüp çözeltili dökme (Antonia ve ark., 2014) ve elektro eğirme yöntemleriyle (Cassole ve ark., 2014) film ve lifler elde edilmiştir. Aşağıda elde edilme işlemleri ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.2.2. Çözelti Dökme Yöntemiyle Filmlerin Hazırlanması

Bu çalışmada filmler çözelti dökme yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Bu doğrultuda 1 gr PLA tartılarak, üzerine çözücü olarak 12,5 ml THF eklenmiştir. Isıtıcılı manyetik karıştırıcıda 35°C de tamamen homojen oluncaya dek 3,5 saat boyunca karıştırılmıştır. PLA çözüldükten sonra faz değiştirici özellik gösteren Eikosan' dan PLA' ya göre kütlece %50, %40, %30, %20, %10, %5, %2,5 ve %1'lik oranda ilave edilmiştir. Filmlerin kırılgenliğini azaltmak için polietilen glikol (PEG) ilave edilerek bir saat daha manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Elde edilen viskoz çözelti cam petri kaplarına dökülerek çözücünün uçması için oda koşullarında 24 saat bekletilerek filmler elde edilmiştir. Çalışma sürecinde bu filmlere PED-0, PED-1, PED-2, PED-3, PED-4, PED-5, PED-6, PED-7 ve PED-8 kodları verilmiştir. Şekil 3.3' te çözelti dökme yöntemiyle elde edilen film sonuçları sunulmuştur. Çizelge 3.1' de ise deney sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Film üretimi için yapılan çalışmalar

No	Kodlar	Polimere göre Kütlece Eikosan Oranları
1	PED-0	0
2	PED-1	%1
3	PED-2	%2,5
4	PED-3	%5
5	PED-4	%10
6	PED-5	%20
7	PED-6	%30
8	PED-7	%40
9	PED-8	%50



Şekil 3.3. PLA - Eikosan film örnekleri; (a) PED-0, (b) PED-1 (c) PED-2, (d) PED-3, (e) PED-4, (f) PED-5, (g) PED-6, (h) PED-7, (i) PED-8



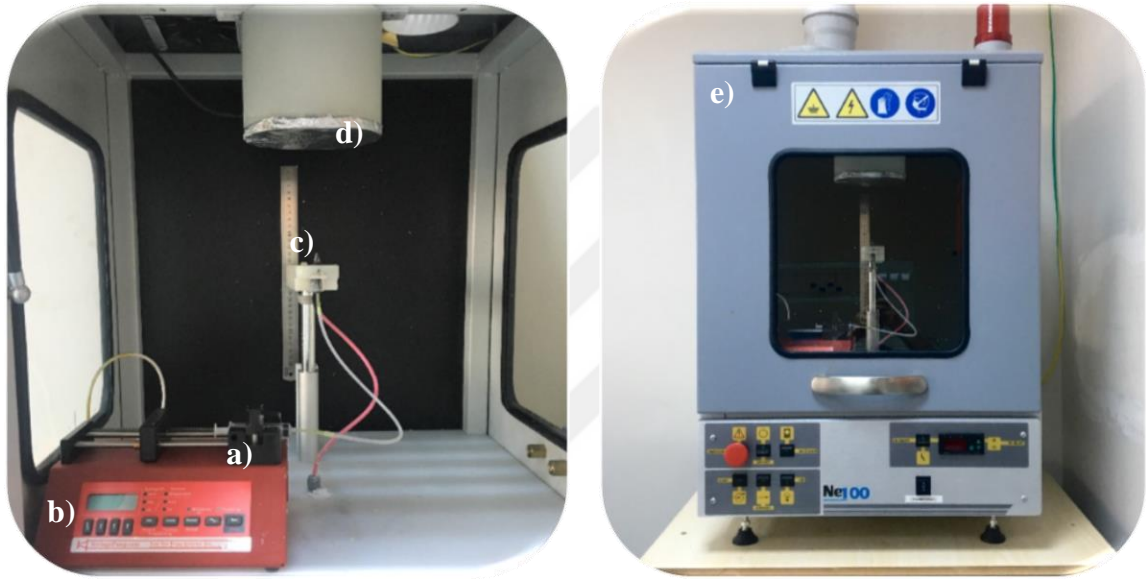
Şekil 3.3.'ün devamı

3.2.3. Elektro Eğirme Yöntemiyle Liflerin Hazırlanması

Elektro eğirme yöntemi polimerlerden tek aşamada, nano boyutta lifler elde edilme işlemidir. Yaptığımız çalışmada elektro eğirme yöntemindeki parametreleri bu çalışmada yapılan değerleri referans olarak kullanılmıştır (Casasola ve ark., 2014). Lif üretiminde öncelikle, 0,5 gr PLA, 2,5 ml DCM ve 2,5 ml DMF ilave edilerek 5ml'lik hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcıda karıştırılarak çözüldükten sonra %50, %40, %30, %20, %10, %5, %2,5, %1'lik oranlarda Eikosan ilave edilerek 1 saat daha karıştırılmıştır. Kompozit karışım elektro eğirme cihazında, 5 ml'lik şırıngaya çekilerek, şırınga ucuna bağlı bir elektrota (iğneye) yüksek voltaj uygulanmıştır.

Bu süreçte iğneden çıkan polimer çözelti damlası alandaki yüksek voltaj yüzünden koni oluşturarak karşı elektroda hareket etmektedir. Bu hareket esnasında çözeltideki çözücü buharlaşmakta ve toplayıcı yüzeyde yüksek voltajdan elektrostatik kuvvetler altında nanolifler üretilmektedir.

Bu çalışmada da bu sürece uygun olarak, PEF-0, PEF-1, PEF-2, PEF-3, PEF-4, PEF-5, PEF-6, PEF-7 kodları verilen PLA-Eikosan kompozit çözeltiler hazırlanmıştır. PEF-4' den sonraki çözeltiler çok viskoz olduğu için lifler elde edilememiştir. Şekil 3.4'de elektro eğirme cihazı gösterilmiştir. Çizelge 3.2'de ise yapılan çalışmalar gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Elektro eğirme cihazı; (a) Polimer çözeltisi, (b) Yüksek voltaj güç kaynağı, (c) İğne ucunda damlacığın aldığı koni formu, (d) Toplayıcı üzerinde oluşan nano lifli yüzey, (e) Elektro eğirme cihazı

Çizelge 3.2. Lif üretimi için yapılan çalışmalar

No	KODLAR	Polimere göre Kütlece Eikosan Oranları	Lif Oluşumu
1	PEF-0	0	Var
2	PEF-1	%1	Var
3	PEF-2	%2,5	Var
4	PEF-3	%5	Var
5	PEF-4	%10	Var
6	PEF-5	%20	Yok
7	PEF-6	%30	Yok
8	PEF-7	%50	Yok

3.3. Filmler ve Liflerin Karakterizasyonu

3.3.1. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) Analizi

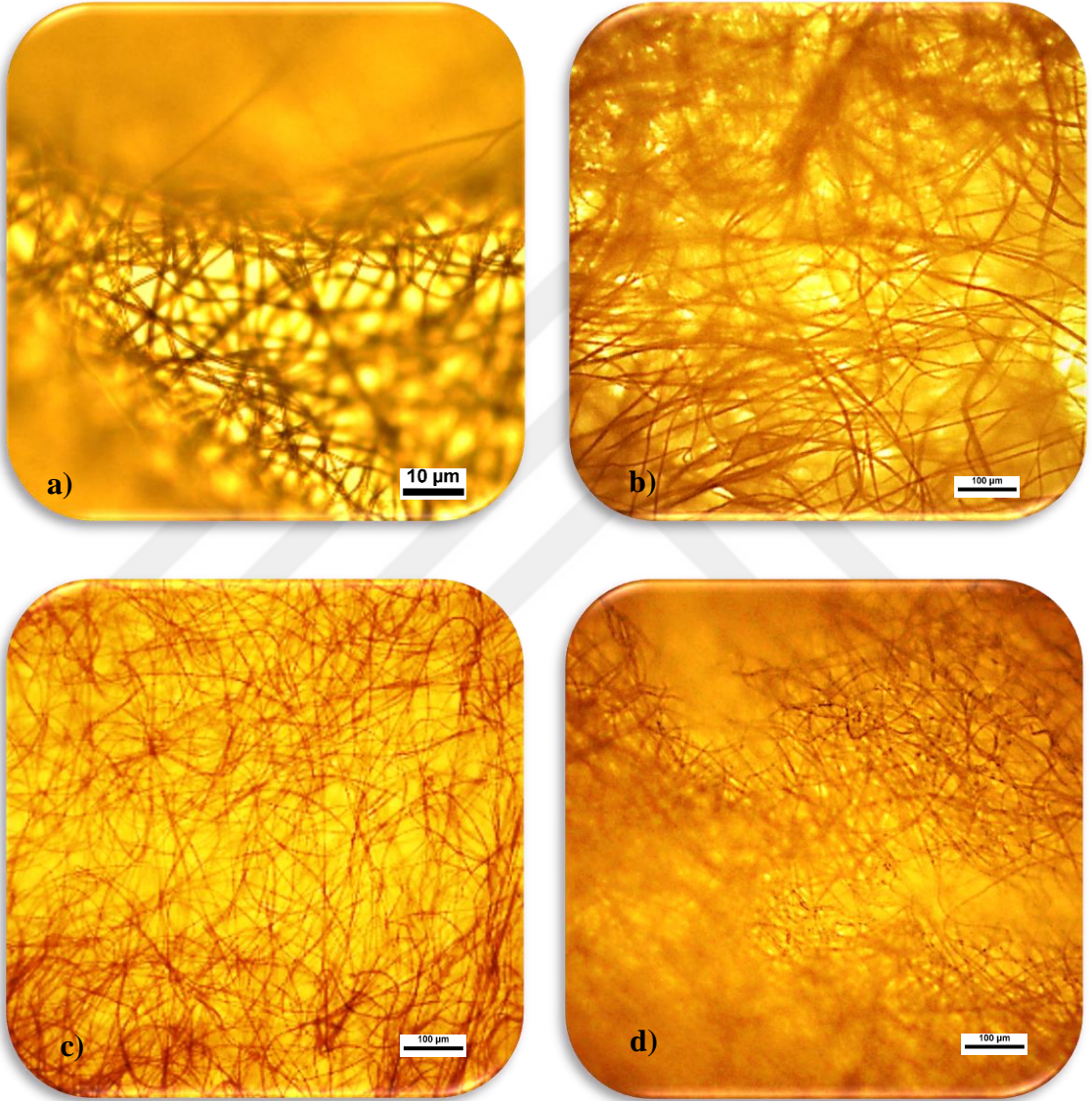
Filmler ve lifler için elde edilen numunelerin termal davranışları incelenirken, polimerlerin erime noktaları (T_e), soğuk kristalleşme sıcaklığı (T_k), kristalizasyon ve erime entalpileri (ΔH_k , ΔH_e) belirlenmesinde diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) kullanılır. DSC analiz cihazı olarak Perkin Elmer modeli kullanılmıştır. Analiz koşulları; Azot atmosferinde, sıcaklık Aralığı -70 ile 200 °C arasında ve sıcaklık artış hızı 10 °C/ dk olarak yapılmıştır.

3.3.2. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi

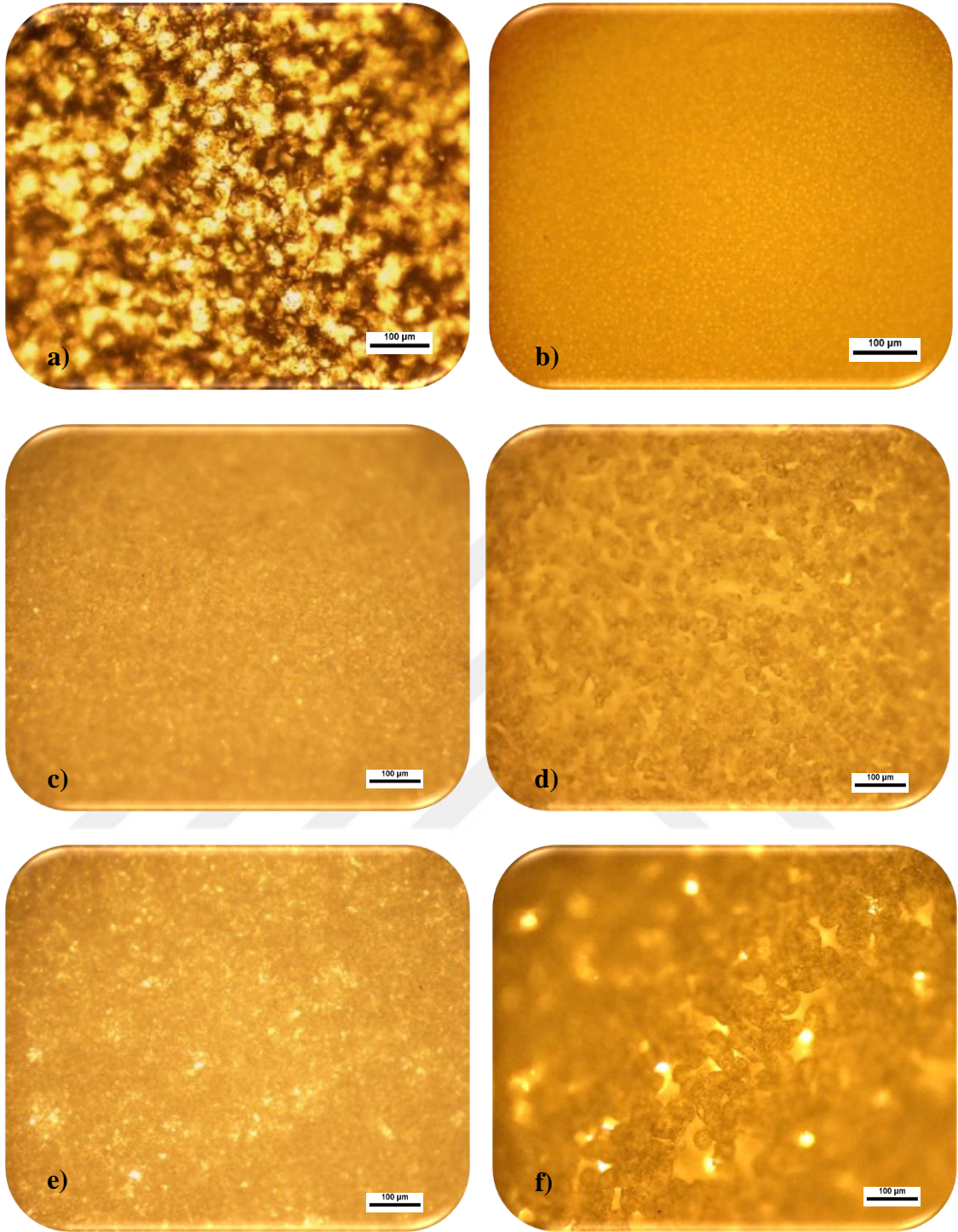
Filmlerin ve nano liflerin yüzey morfolojisi, liflerin çapları ve incelik dağılımlarında daha ayrıntılı bilgi sahibi olmak için taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. Bunun için Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi bünyesinde bulunan ÇOBİLTUM' da JEOL SEM-7100-EDX model elektron mikroskobu kullanılmıştır.

3.3.3. Polarize Optik Mikroskop Analizi

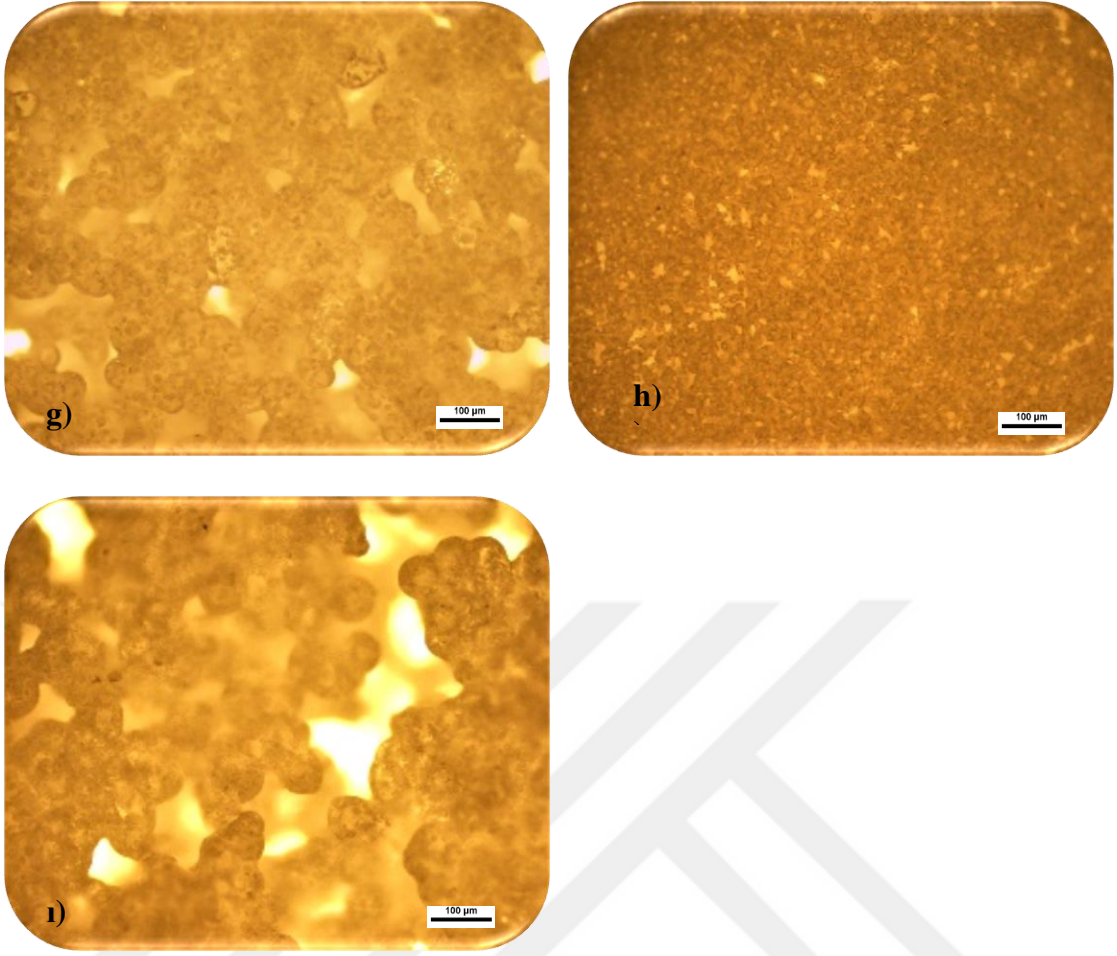
Polarize Optik Mikroskop analizleri için Leica EP model Polarize Optik Mikroskop cihazı kullanılmıştır. Film görüntüleri, Leica model kamera sistemiyle kaydedilmiştir. Şekil 3.5. ve şekil 3.6.' de Eikosan- PLA kompozit lif ve filmlerin Polarize Optik Mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.5. Polarize optik mikroskop lif sonuçları; (a)PEF-0, (b)PEF-1, (c)PEF-2, (d) PEF-3



Şekil 3.6. Polarize optik mikroskop film sonuçları; (a) PED-0, (b) PED-1, (c) PED-2, (d) PED-3, (e) PED-4, (f) PED-5, (g) PED-6, (h) PED-7, (i) PED-8



Şekil 3.6.'nın devamı

Polarize Optik Mikroskop lif sonuçlarına bakıldığında PLA' ya eklenen Eikosan yüzdesi artıkça lif miktarında artış gözlenmiş ve lifler kalınlaşmıştır. % 5' lik Eikosan miktarından sonraki yüzdelerde polarize optik mikroskopta lif gözlenmemiştir. Polarize optik mikroskop film sonuçlarına bakıldığında ise PLA' ya eklenen Eikosan miktarının yüzdesi artıkça yüzey morfolojisinde artışlar gözlemlenmiştir.

3.3.4. TGA (Termogravimetrik Analiz)

Film ve lif için elde edilen numunelerin ısısız kararlılıklarının incelenmesinde Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi bünyesinde bulunan ÇOBİLTUM' da Perkin Elmer analiz cihazı kullanılmıştır. Analiz koşulları; 10 °C/dak ısıtma hızını da azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. TGA ölçümleri platin krozede Alüminyum oksit (Al₂O₃) ile kalibre edilmiş ve 200 ml/dak gaz akış hızına ayarlanmış sistemde gerçekleştirilmiştir.

3.3.5. DMA (Dinamik Mekanik Analiz)

Dinamik mekanik analiz (DMA) yöntemi, numunelerin viskoelastik özelliklerini belirlemek için, bu numunelerin üzerine belli bir frekansta artıp azalan yük motorunun kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Dinamik Mekanik Analiz sonuçları üç başlık altında incelenir. Bunlar;

- 1) Depolama modülü (E'): Numune üzerine uygulanan tepki sonucu deformasyona zıt elastik tepkiler ile ilişkilidir.
- 2) Kayıp modülü (E''): Malzemenin ısı biçiminde kaybettiği deformasyon enerjisidir ve viskoz karakterin göstergesidir.
- 3) Sönümlenme parametresi (Tan δ): Kayıp modülünün (E'') depolama modülüne bölümü (E') ise sönümü belirten Tan δ' yı verir.

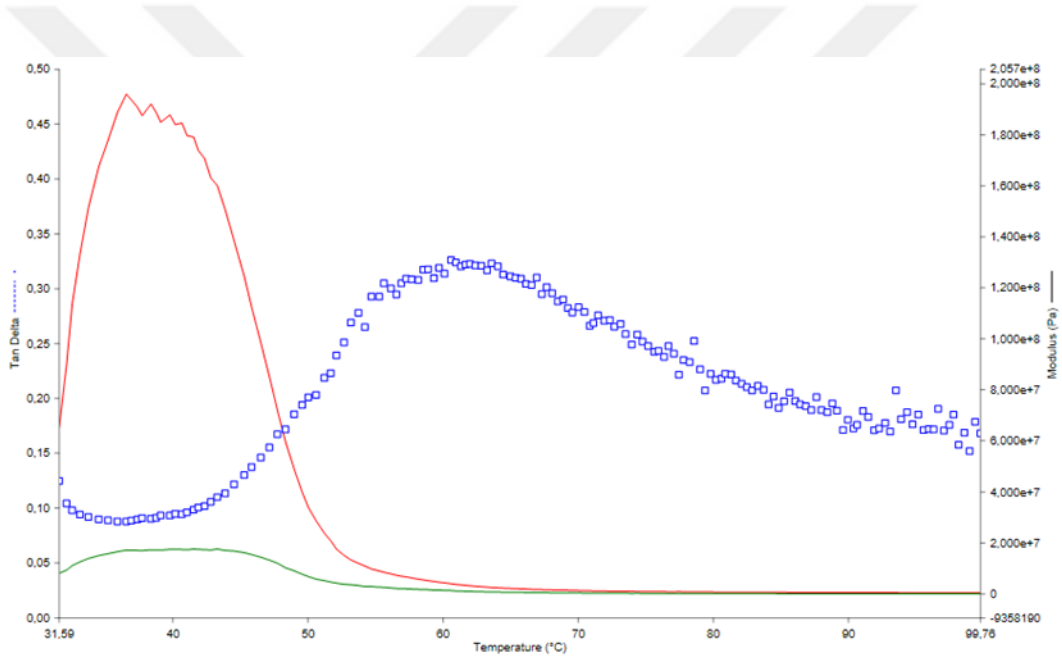
Tan δ eğrisinde görülen tepe noktasından camı geçiş sıcaklığı gösterilir. DMA yöntemi camı geçiş sıcaklığının belirlenmesinde kullanılan en belirleyiciliği yüksek metotlardan biridir. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi bünyesinde bulunan ÇOBİLTUM' da Perkin Elmer model dinamik mekanik analiz cihazı kullanılmıştır. Analiz koşulları; 30 °C ile 100 °C arasında, sıcaklık artış hızı 3 °C/ dk ve frekansı 1 Hz olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM 4

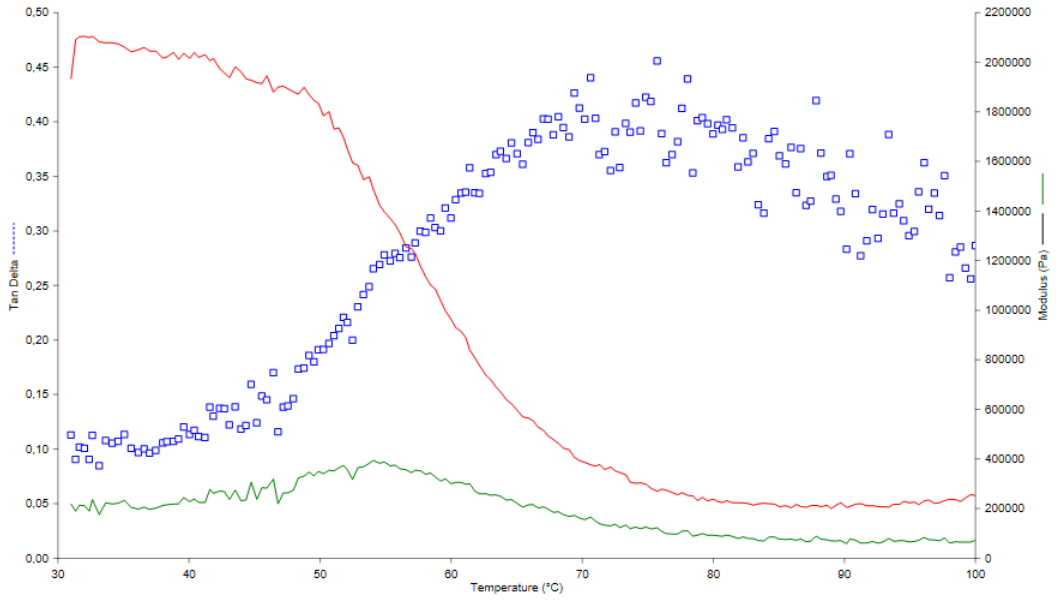
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. DMA (Dinamik Mekanik Analiz) Sonuçları

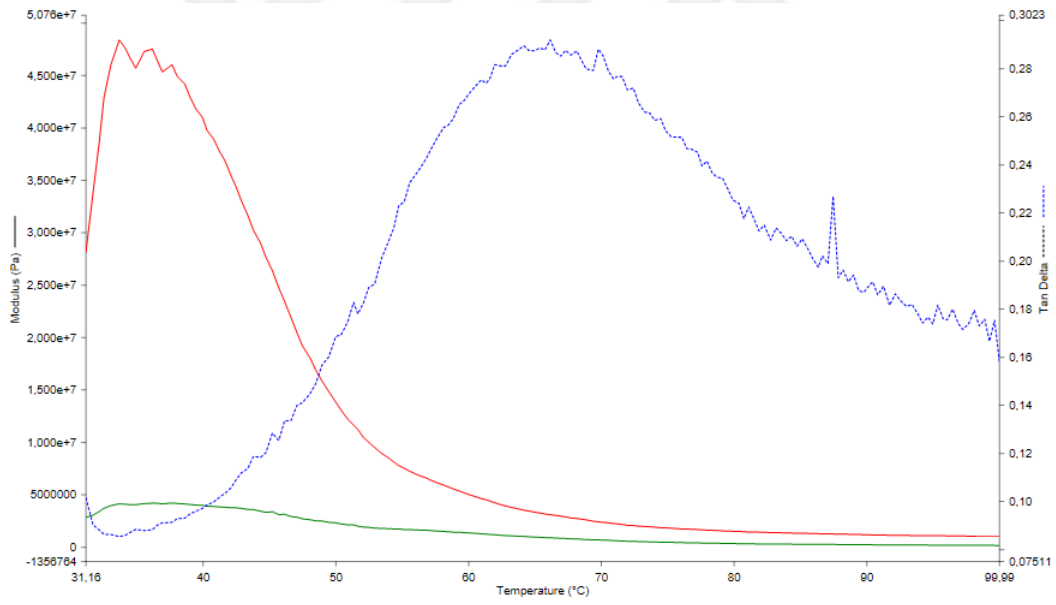
Film ve liflerin depolama modülü (storage modulus) E' , kayıp modülü (loss modulus) E'' ve sönümü belirten $\tan\delta$ 'nın sıcaklıkla ilişkisini göstererek DMA eğrileri elde edilmiştir. Dinamik mekanik analizde tipik bir DMA eğrisi farklı ısıl ve moleküler değişimleri gösterebilmektedir. Bu çalışmada elde edilen eğrilerde (T-E') ana molekül zincirinin hareketlenmesini kapsayan camsı kısım ile kağıuçuşumsu kısım arasındaki geçişi veren bölge grafiklerde görülmektedir. Camsı geçiş sıcaklığı da bu bölge içerisinde tespit edilebilmektedir.



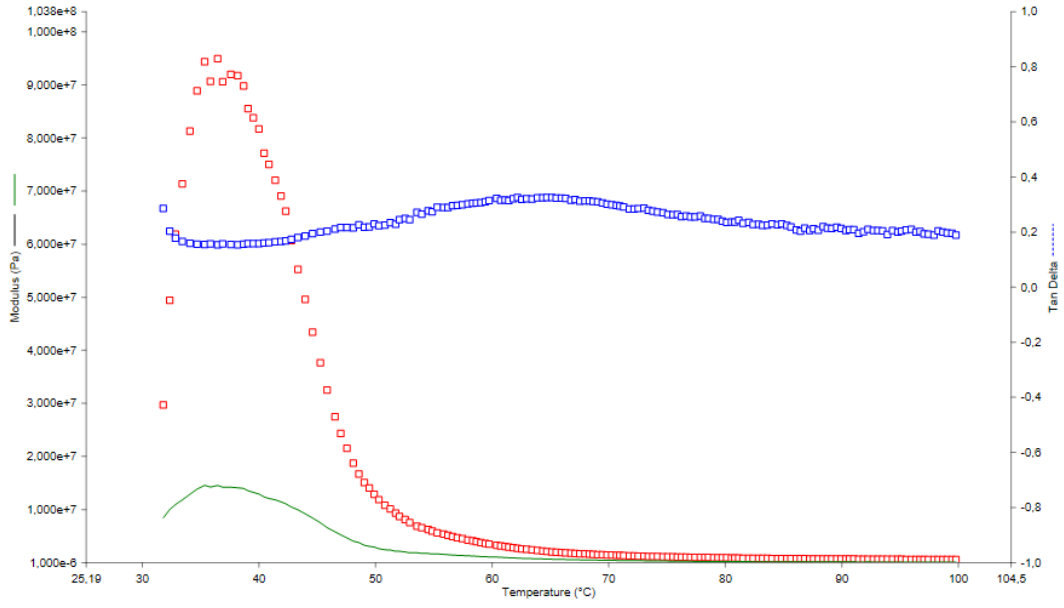
Şekil 4.1. PED-0 DMA diyagramı



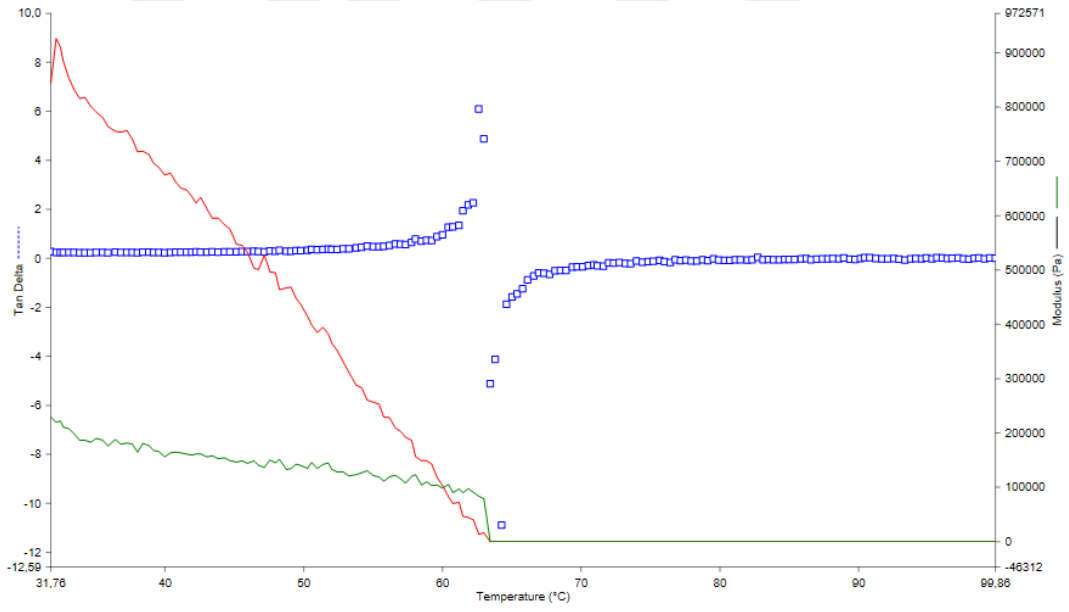
Şekil 4.2. PED-1 DMA diyagramı



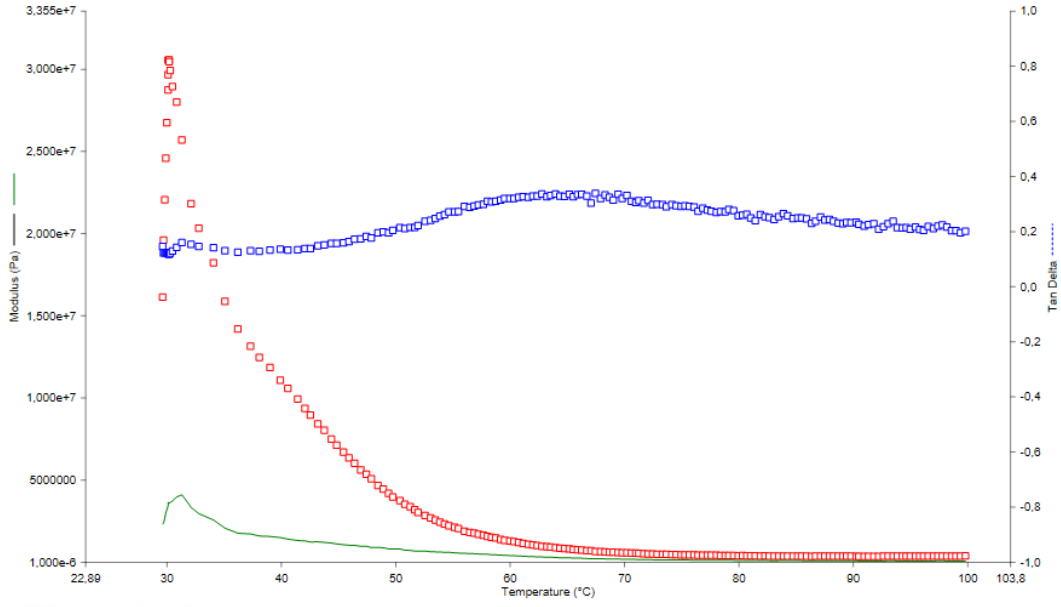
Şekil 4.3. PED-2 DMA diyagramı



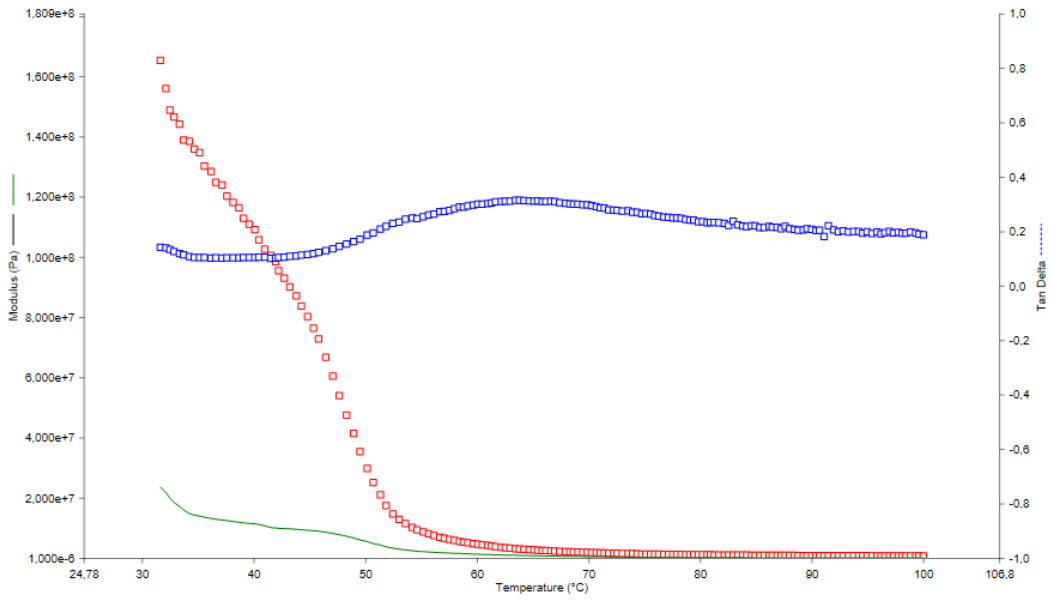
Şekil 4.4. PED-3 DMA diyagramı



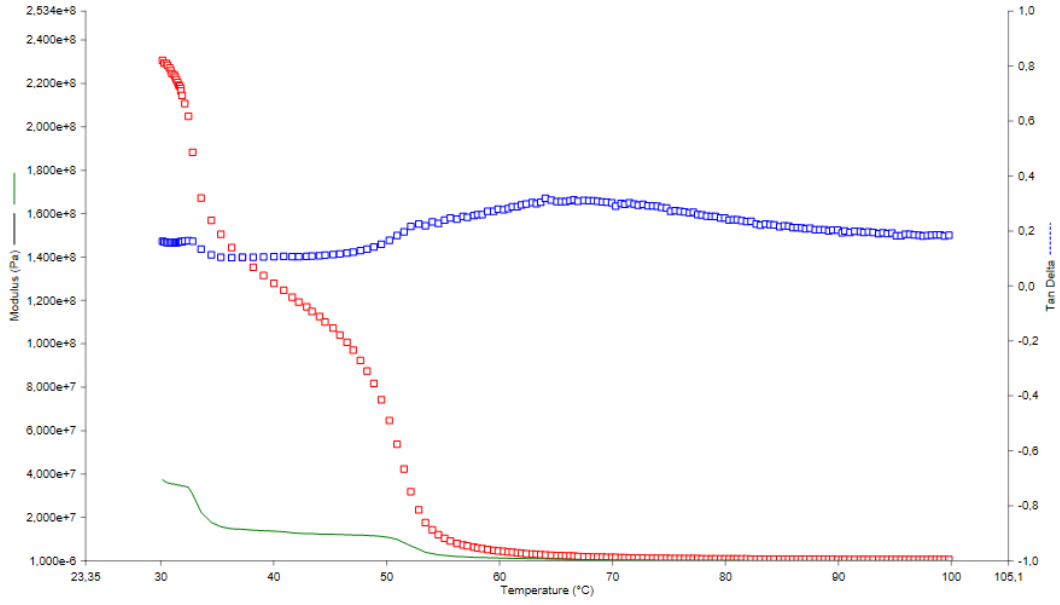
Şekil 4.5. PED-4 DMA diyagramı



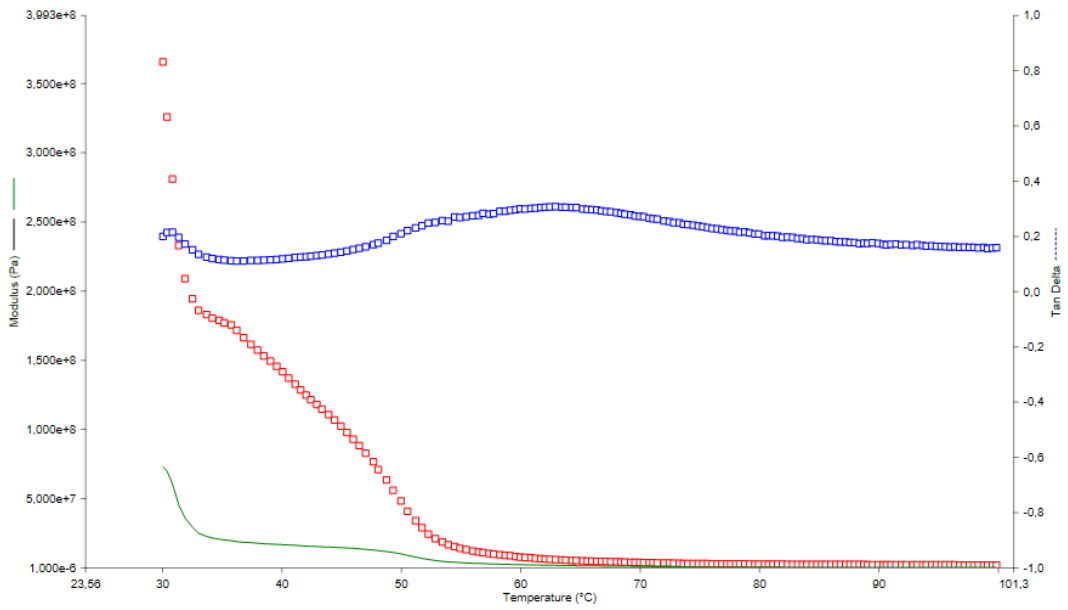
Şekil 4.6. PED-5 DMA diyagramı



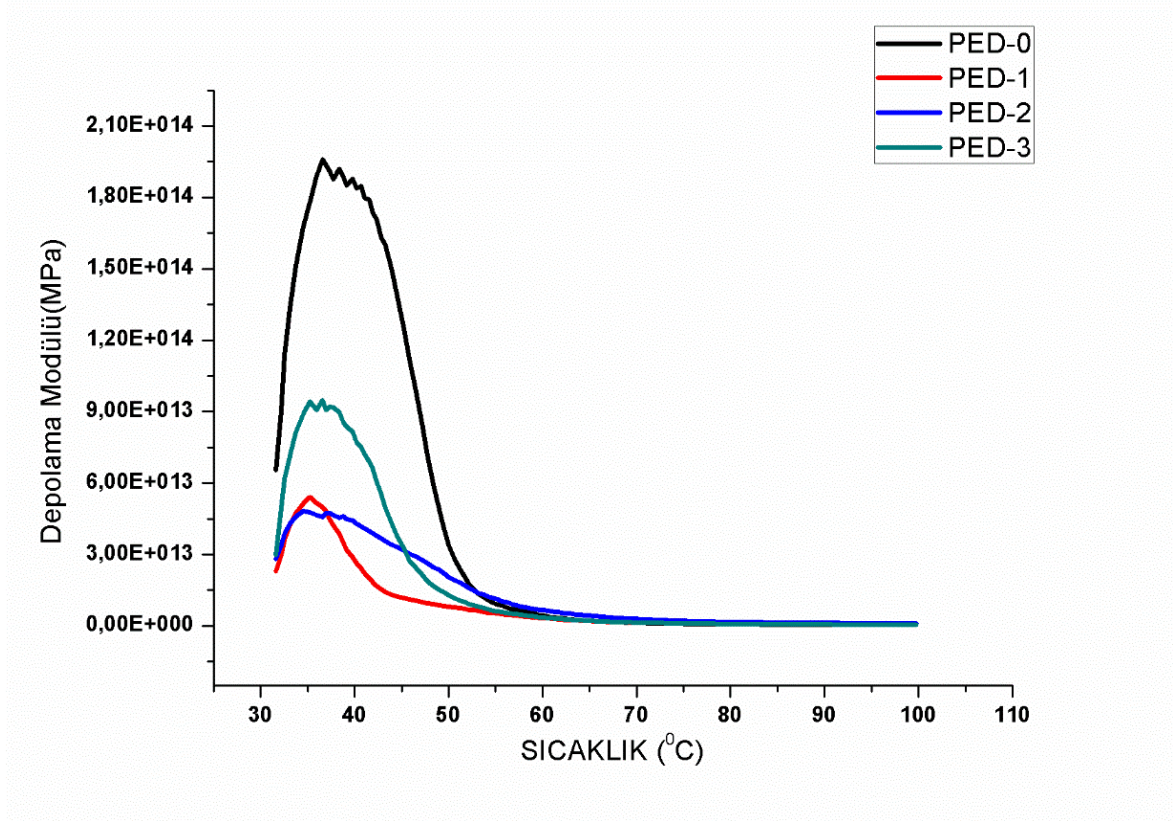
Şekil 4.7. PED-6 DMA diyagramı



Şekil 4.8. PED-7 DMA diyagramı

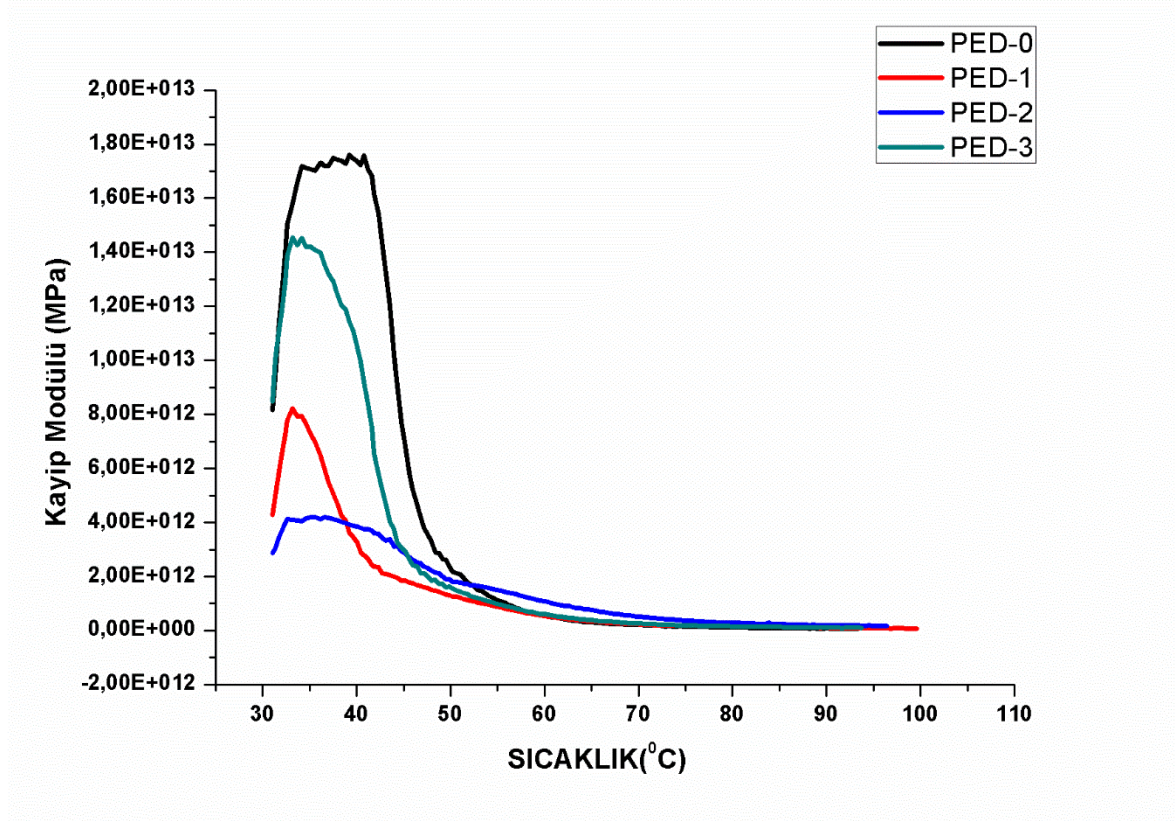


Şekil 4.9. PED-8 DMA diyagramı



Şekil 4.10. PLA/Eikosan film depolama modülü karşılaştırma

Şekil 4.10' da kompozit filmlerin depolama modülleri (E') karşılaştırıldığında, PED-0' ın 30-40 °C sıcaklık aralığında maksimum depolama modülünün 1,9 MPa civarında olduğu, ilave edilen Eikosan miktarı artıkça, PED-1' in depolama modülünün 0,5 MPa civarı, PED-2' nin 0,4 MPa civarı olduğu ölçülmüştür. PED-2' ye kadar ilave edilen Eikosan miktarı artıkça malzemenin elastik depolama modülünde azalma gözlenmiştir. PED-3' de ise depolama modülü 0,9 MPa ölçülmüştür. PED-0' a göre depolama modülü daha az olsa da diğer Eikosan konsantrasyonlarına oranla elastik modülünün artığı görülmektedir.



Şekil 4.11. PLA/Eikosan film kayıp modülü karşılaştırma

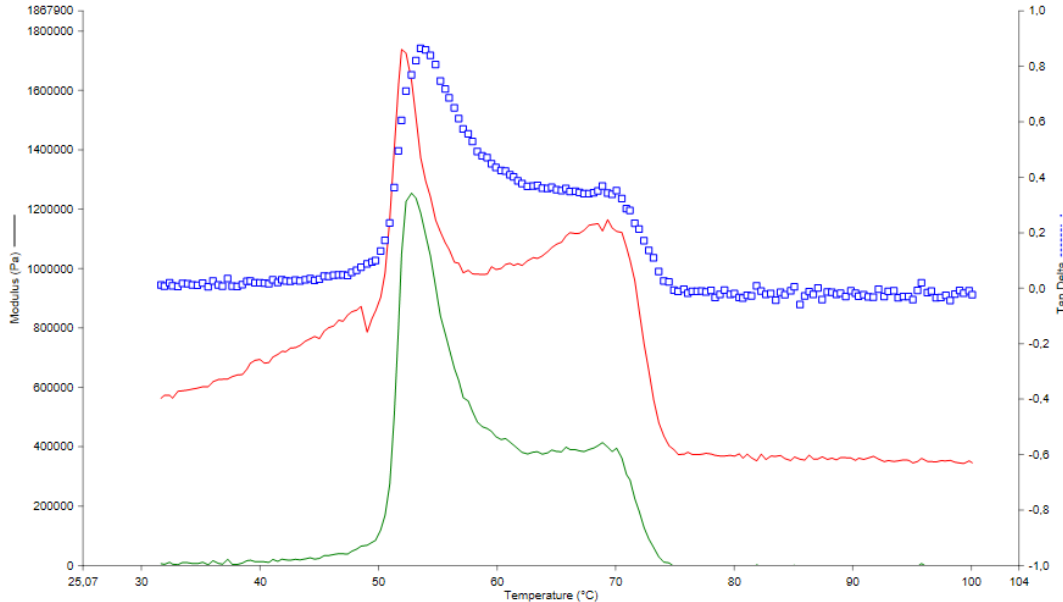
Şekil 4.11’ de kompozit filmlerin kayıp modülleri (E'') karşılaştırıldığında ise, PED-0 ‘ın 30-50 °C sıcaklık aralığında kayıp modülünün en fazla 1,8 MPa civarında olduğu, ilave edilen Eikosan miktarı artıktça, PED-1’ in kayıp modülünün 0,8 GPa civarı, PED-2’ nin ise 0,4 MPa civarı olduğu ölçülmüştür. PED-2’ ye kadar eklenen Eikosan miktarı artıktça malzemenin kalıcı deformasyon özeliğinde azalma gözlenmiştir. PED-3’ de ise kayıp modülü 1,4 MPa ölçülmüştür. PED-0’ a göre kayıp modülü daha az olsa da diğer Eikosan konsantrasyonlarına göre kalıcı deformasyon özelliğinde artış gözlenmektedir.

Kayıp modülünün depolama modülüne oranı ise malzemenin sönümünü belirten $Tan \delta'$ yı verir. $Tan \delta$ eğrisinde görülen tepe noktasından camsı geçiş sıcaklığı gösterilir. $Tan \delta$ grafiğinden elde edilen camsı geçiş sıcaklıkları Çizelge 4.1.’de gösterilmiştir. Camsı geçiş sıcaklığı (T_g), malzemenin moleköl ağırlığı, etkileşimi ve zincir esnekliği gibi değişkenlere bağılı olarak farklılıklar gösteren karmaşık bir olaydır (Qin ve ark., 2011). T_g sonuçları DMA ile belirlenmiştir.

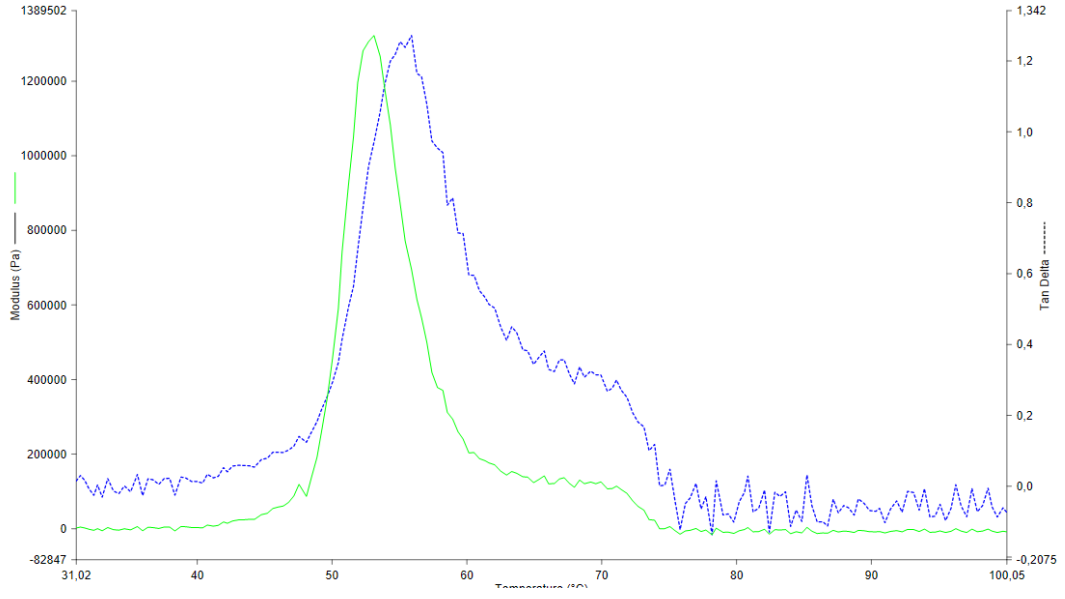
Çizelge 4.1. Film T_g sonuçları

%PED	T _g (°C)
PED-0 (Saf PLA)	60,50 °C
PED-1 (%1)	63,04 °C
PED-2 (%2,5)	66,12 °C
PED-3 (%5)	64,59 °C
PED-4 (%10)	62,79 °C
PED-5 (%20)	67,26 °C
PED-6 (%30)	63,69 °C
PED-7 (%40)	64,09 °C
PED-8 (%50)	63,05 °C

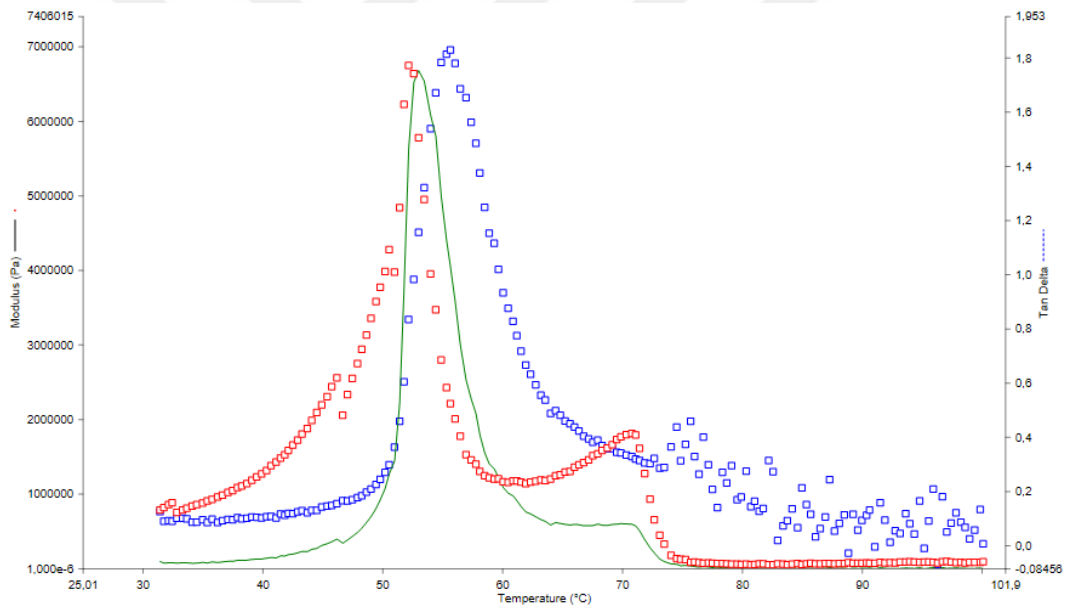
Çizelge 4.1’ de gösterildiği gibi çözelti dökme yöntemiyle hazırlanan filmlerde, saf PLA ile matrise Eikosan ilave edilmiş kompozit filmlerin camsı geçiş sıcaklıklarına bakıldığında kompozitlerin T_g değerlerinde Eikosan ilavesiyle artışlar gözlenmiştir. Bu nedenle Eikosan ile PLA’ nın etkileşimi sonucunda elde edilen filmlerde PLA zincirinin hareketliliğini azaltarak T_g değerini artırıcı etki göstermiştir.



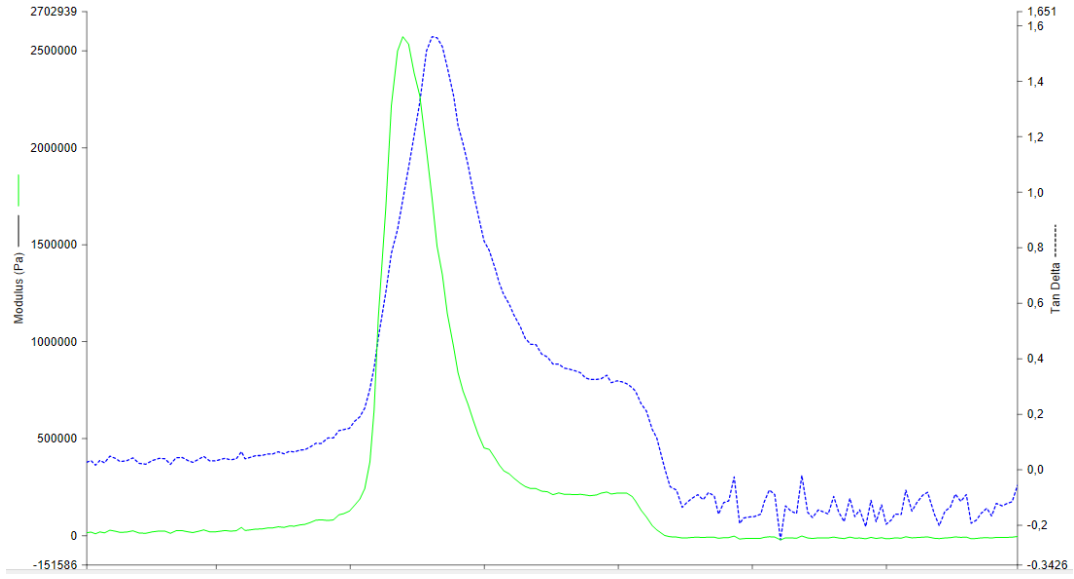
Şekil 4.12. PEF-0 DMA diyagramı



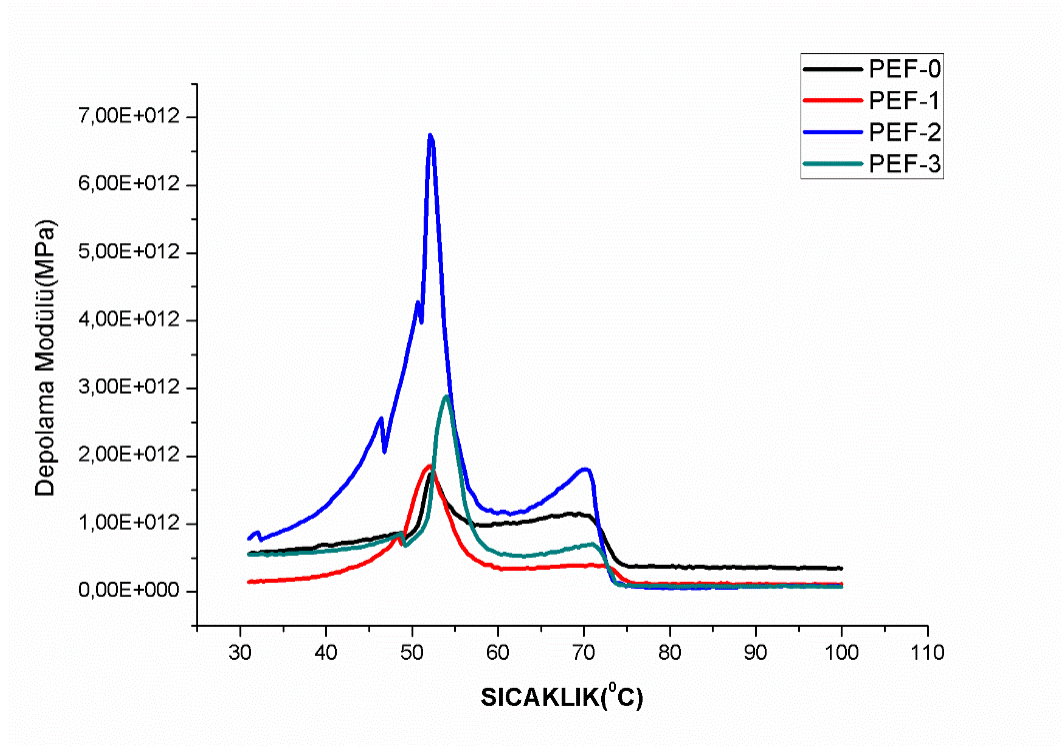
Şekil 4.13. PEF-1 DMA diyagramı



Şekil 4.14. PEF-2 DMA diyagramı



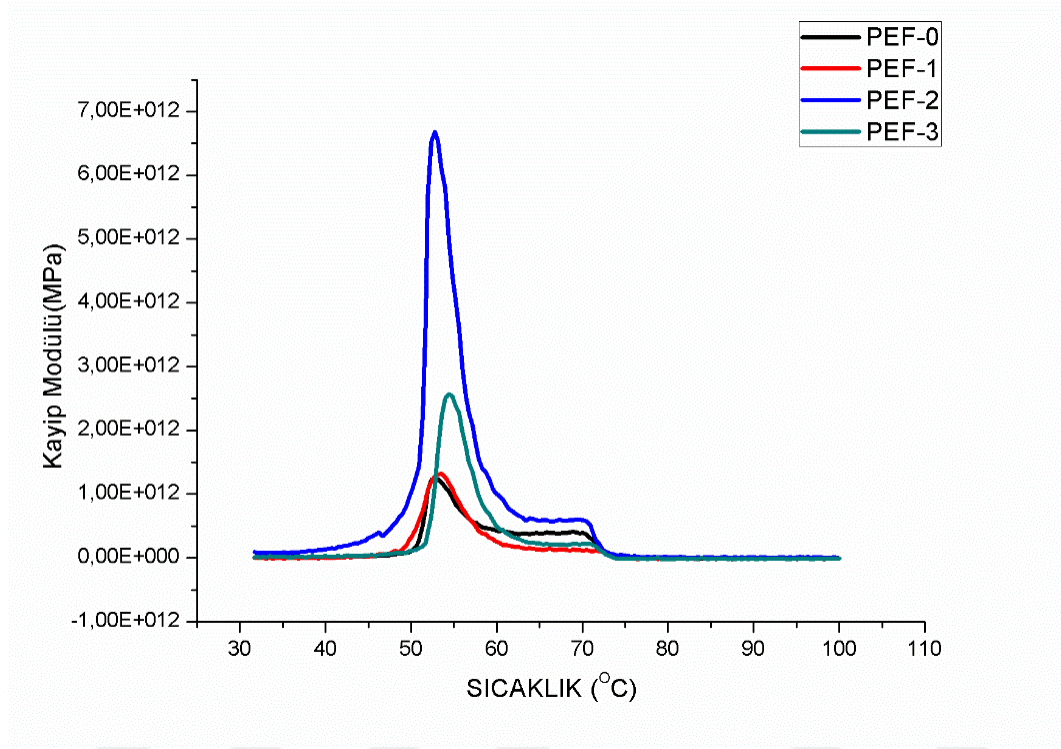
Şekil 4.15. PEF-3 DMA diyagramı



Şekil 4.16. PLA/Eikosan lif depolama modülü karşılaştırma

Şekil 4.16' da kompozit liflerin depolama modülleri (E') karşılaştırılmıştır. Buna göre PEF-0 'ın 30-60 °C sıcaklık aralığında maksimum depolama modülünün 0,1 MPa civarında olduğu gözlenirken, ilave edilen Eikosan miktarı arttıkça, PEF-1' in depolama modülü 0,1 MPa' ın biraz üstünde gözlenmiştir. PEF-2' de ise ani bir yükselişle 0,6 MPa civarı olduğu ölçülmüştür.

PEF-2' ye kadar ilave edilen Eikosan miktarı artıkça elastik modülünün özelliklerinde artma gözlenmiştir. PEF-3' de ise depolama modülü 0,2 MPa 'a düşerek elastik modülünün özelliğinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.17. PLA/Eikosan lif kayıp modülü karşılaştırma

Şekil 4.17' de kompozit liflerin kayıp modülleri (E'') karşılaştırılmıştır. Buna göre PEF-0 'ın 30-60 °C sıcaklık aralığında maksimum kayıp modülünün 0,1 MPa civarında olduğu gözlenirken, ilave edilen Eikosan miktarı artıkça, PEF-1' in kayıp modülü 0,1 MPa' ın biraz üstünde gözlenmiştir. PEF-2' de ise ani bir yükselişle 0,6 MPa civarı olduğu ölçülmüştür. PEF-2' ye kadar ilave edilen Eikosan miktarı artıkça kayıp modülünün kalıcı deformasyon özeliğinde artma gözlenmiştir. PEF-3' de ise kayıp modülün 0,3 MPa 'a düşerek kalıcı deformasyon özelliğinin azaldığı görülmektedir. Liflerin T_g sonuçları DMA ile belirlenerek çizelge 4.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Lif T_g sonuçları

%PEF	T _g (°C)
PEF-0 (Saf PLA)	53,65 °C
PEF-1 (%1)	55,68 °C
PEF-2 (%2,5)	55,56 °C
PEF-3 (%5)	56,05 °C

Çizelge 4.2'deki elektro eğirme yöntemiyle hazırlanan PLA ve Eikosan kompozitlere baktığımızda ise Eikosan konsantrasyonu artıkça PLA'nın polimer zincirlerinin hareketliliği kısıtlandığından zincirlerin hareketi zorlaşmıştır. Bu sebeple Lif sonuçlarının T_g değerlerinde artış gözlenmiştir.

4.2. TGA (Termogravimetrik Analiz) Sonuçları

Saf PLA ve belli oranlarda Eikosan ilave edilerek hazırlanan film ve lif kompozitlerinin termal kararlılıkları TGA ile karakterize edilmiştir. Bu tez çalışmasında PLA'ya kütlece %1, %2.5, %5, %10, %20, %30, %40, %50 Eikosan ilave edilerek elde edilen film ve liflerin termal bozunma sıcaklıklarının kendi içlerinde karşılaştırılması yapılmıştır. Hazırlanan PED-0, PED-1, PED-2, PED-3, PED-4, PED-5, PED-6, PED-7, PED-8 filmleri ve PEF-0, PEF-1, PEF-2, PEF-3 liflerinin termal bozunma sıcaklıklarını değerlendirmek amacıyla 30 °C ile 550 °C sıcaklık aralığında ve 10 °C/dk azot gazı akış hızında TGA sonuçları gösterilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre, kompozitlerin Eikosan miktarındaki artışına göre bozunduğu sıcaklık değerleri çizelge 4.3 ve 4.4 gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. TGA lif sonuçları

LİF	T _{ilk}	T _{max}
PEF-0	239,33 °C	337,22 °C
PEF-1	222,53 °C	323,21 °C
PEF-2	234,93 °C	350,62 °C
PEF-3	238,84 °C	339,98 °C

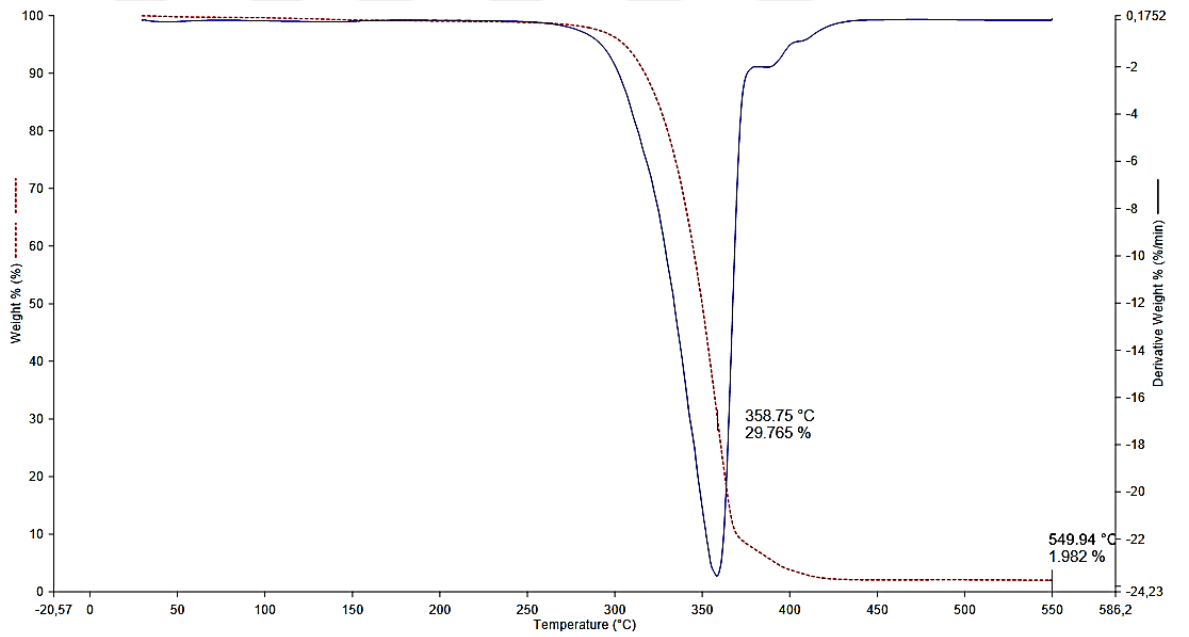
PLA-Eikosan liflere bakıldığında saf PLA' nın ilk bozunma sıcaklığı 239,33 °C iken % 1'lik Eikosan içeren PEF-1' in bozulma sıcaklığının 222,53 °C, %2,5' luk Eikosan içeren PEF-2' nin 234,93 °C, % 5'lik Eikosan içeren PEF-3' ün 238,84 °C olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre Saf PLA' nın bozunma sıcaklığının, ilave edilen Eikosan konsantrasyonun miktarı artıkça 222-238 °C aralığında azaldığı görülmüştür. Böylelikle saf PLA lifinin ilk sıcaklığına göre ilave edilen Eikosan miktarı artıkça termal kararlığında azalma gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4. TGA film sonuçları

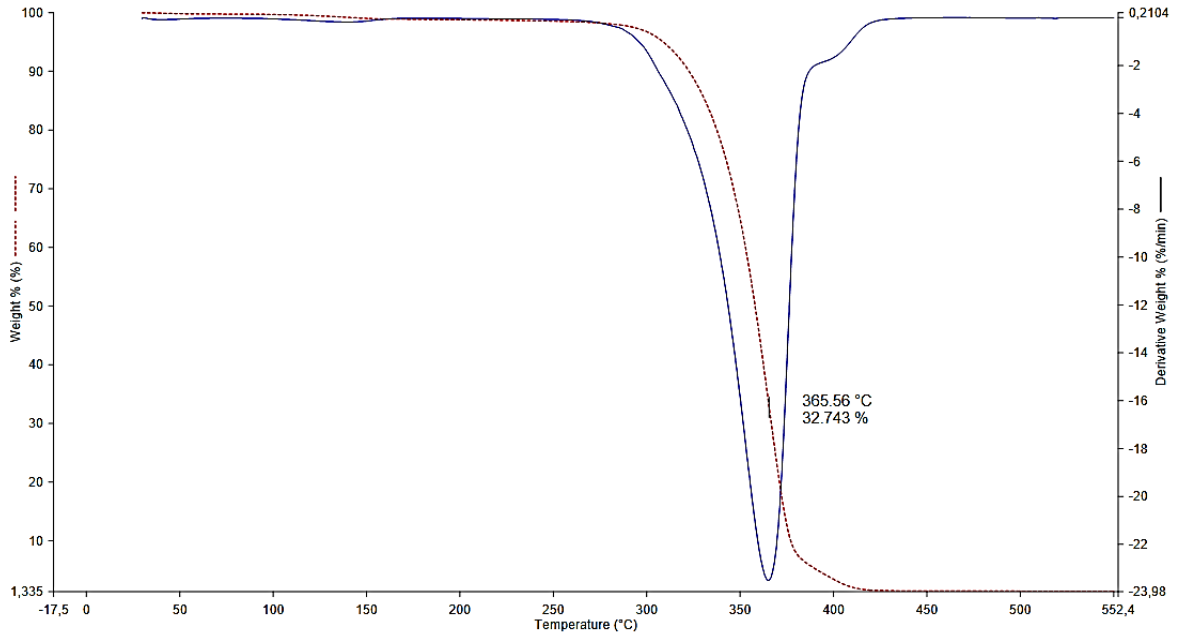
FİLM	T _{ilk}	T _{max}
PED-0	285,55 °C	358,75 °C
PED-1	287,97 °C	365,56 °C
PED-2	290,08 °C	361,85 °C
PED-3	301,95 °C	371,09 °C
PED-4	243,34 °C	338,91 °C
PED-5	246,60 °C	357,29 °C
PED-6	262,28 °C	360,80 °C
PED-7	253,67 °C	368,35 °C
PED-8	255,55 °C	366,19 °C

PLA-Eikosan film kompozitleri incelendiğinde saf PLA polimerinin bozunma sıcaklığı 285 °C iken, %1' lik Eikosan içeren PED-1' in 287,97 °C , %2,5' luk Eikosan içeren PED-2' nin 290,08 °C, % 5' lik Eikosan içeren PED-3' ün ise 301,95 °C' ta bozunmaya başladığı görülmüştür.

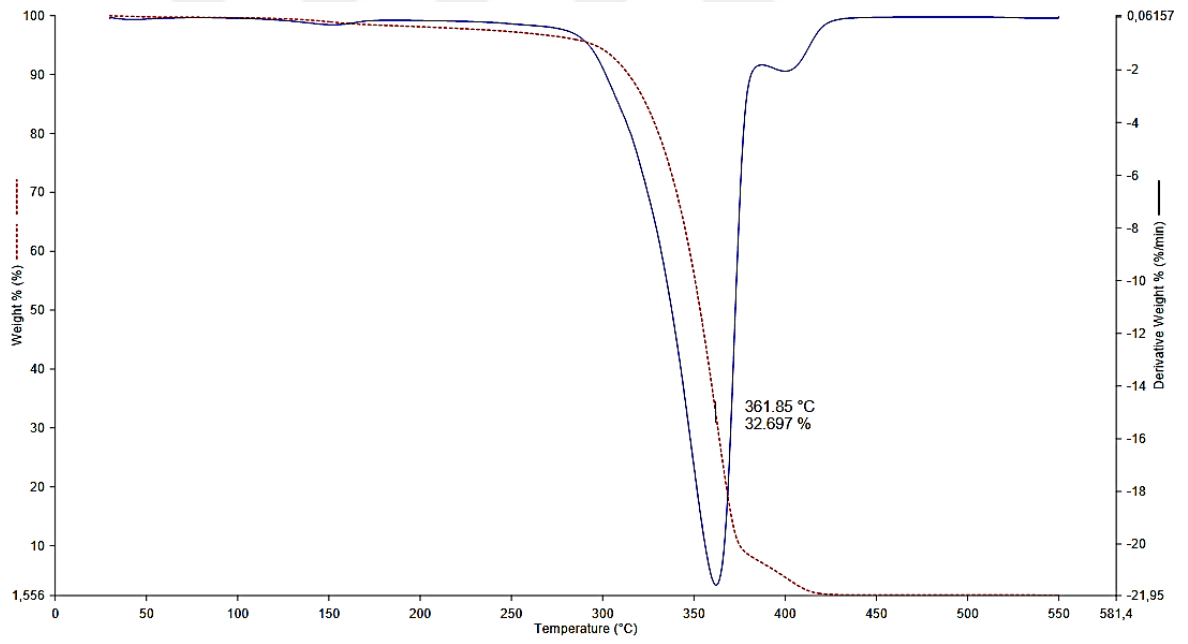
İlave edilen Eikosan miktarı artıkça bozunma sıcaklığında da artış gözlemlenirken, % 10' luk Eikosan içeren PED-4' de saf PLA' nın ilk bozunma sıcaklığının altında (243,34 °C) bir düşüş gerçekleşmiştir. Bunun devamında % 20' lik Eikosan içeren PED-5' in 246,60 °C, % 30' luk Eikosan içeren PED-6' nın 262,28 °C, % 40' luk Eikosan içeren PED-7' nin 253.67 °C , % 50' lik Eikosan içeren PED-8' in ise 255,55 °C sıcaklıklarında ilave edilen Eikosan miktarı artıkça düşük konsantrasyon değerlerinde bozunma sıcaklıkları artmış, yüksek konsantrasyonlarda ise bozunma sıcaklığı azalarak termal olarak daha kararsız hale geçmiştir.



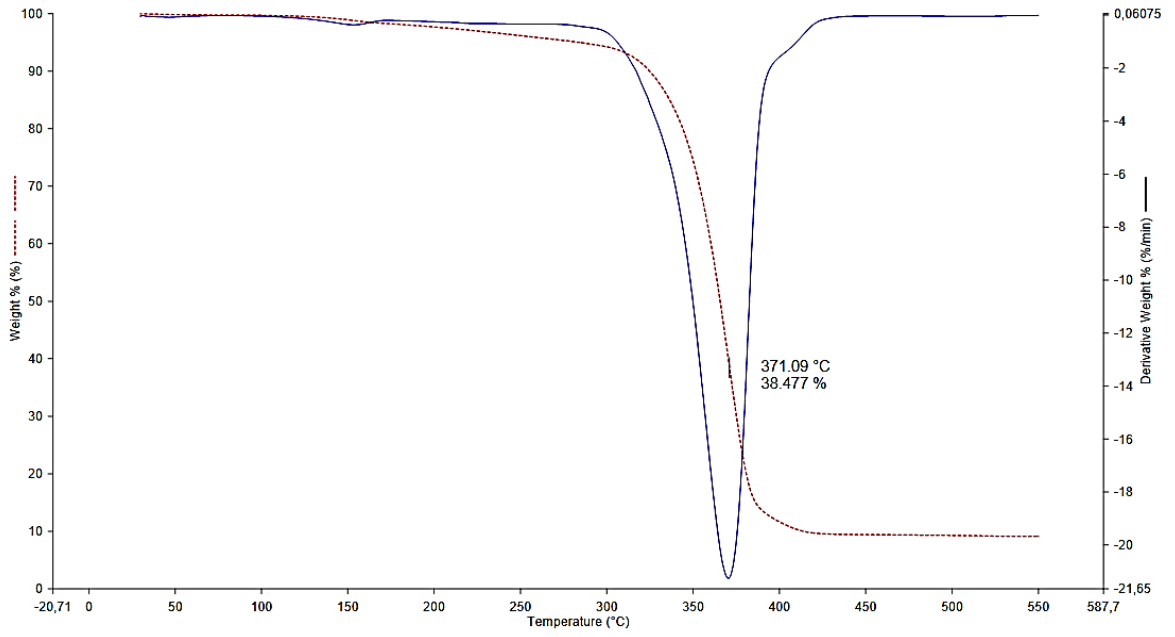
Şekil 4.18. PED-0 TGA termogramı



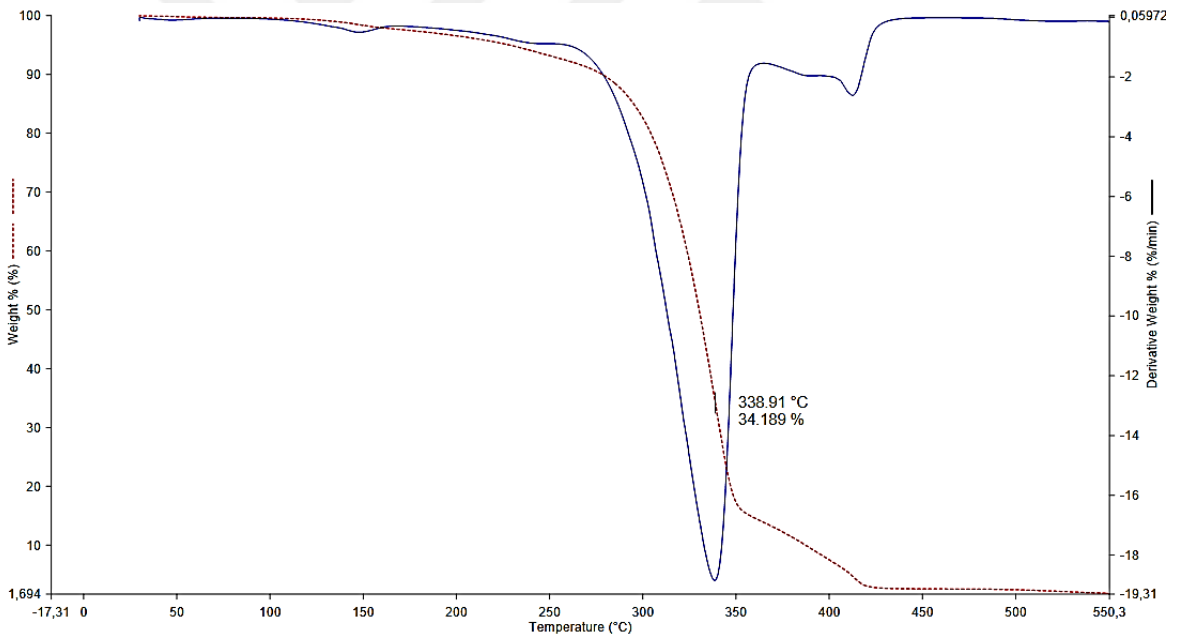
Şekil 4.19. PED-1 TGA termogramı



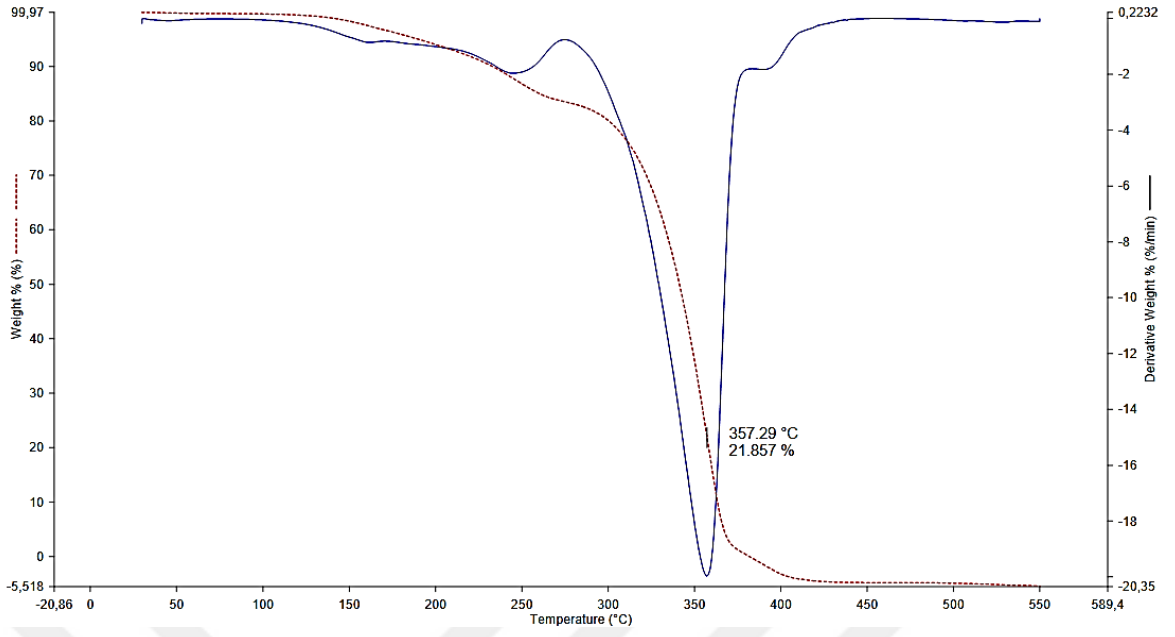
Şekil 4.20. PED-2 TGA termogramı



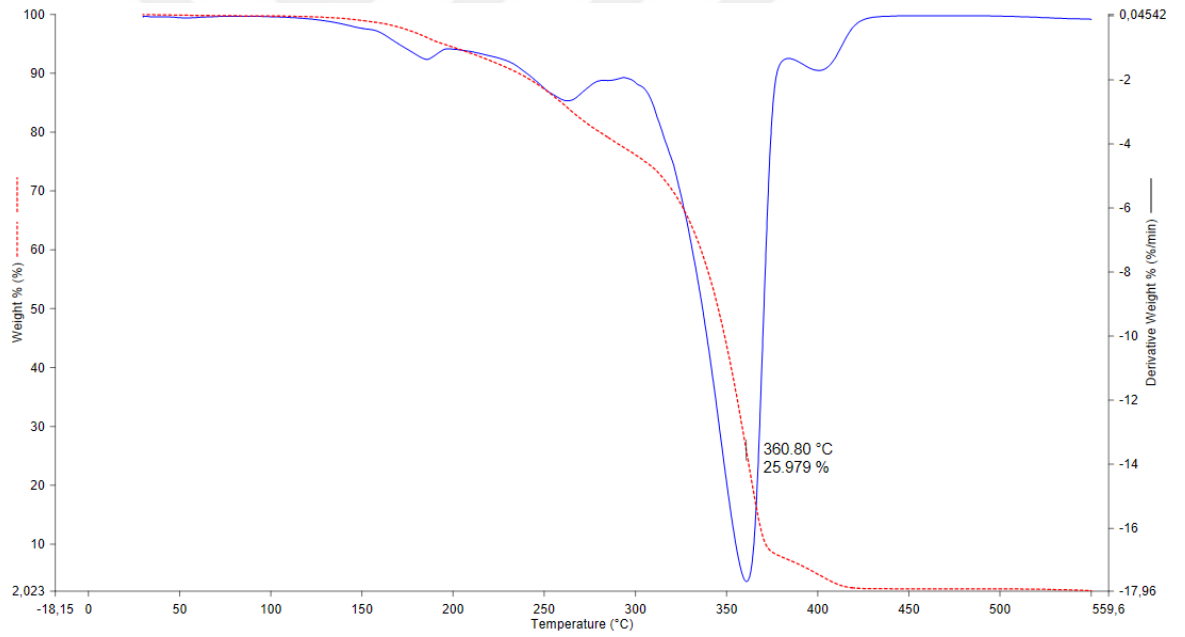
Şekil 4.21. PED-3 TGA termogramı



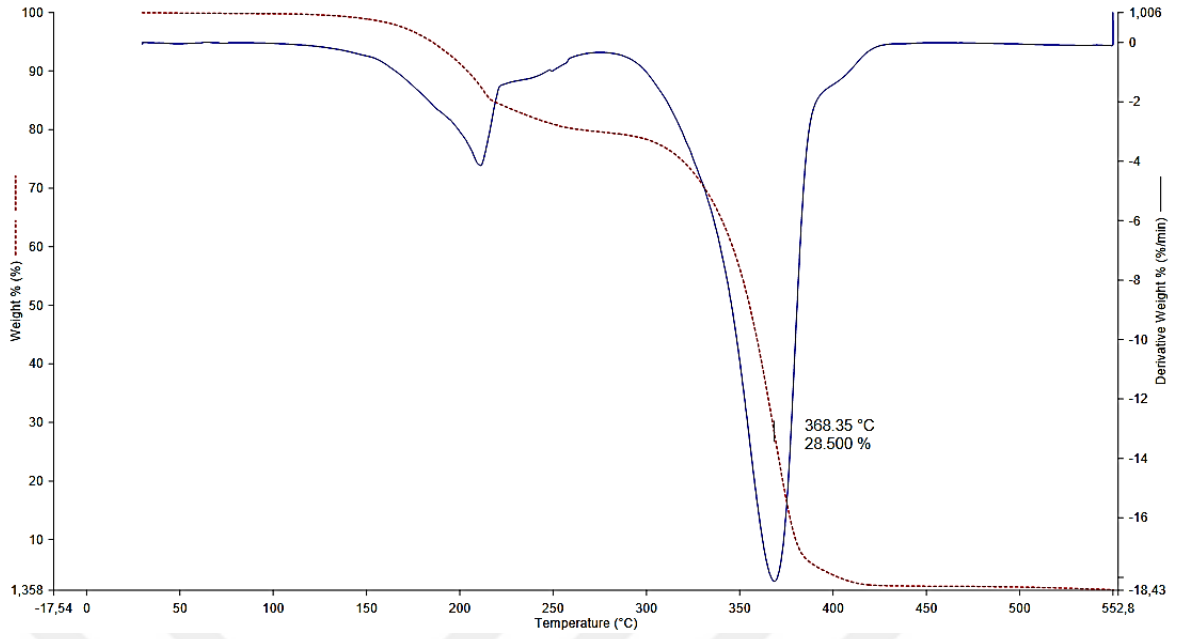
Şekil 4.22. PED-4 TGA termogramı



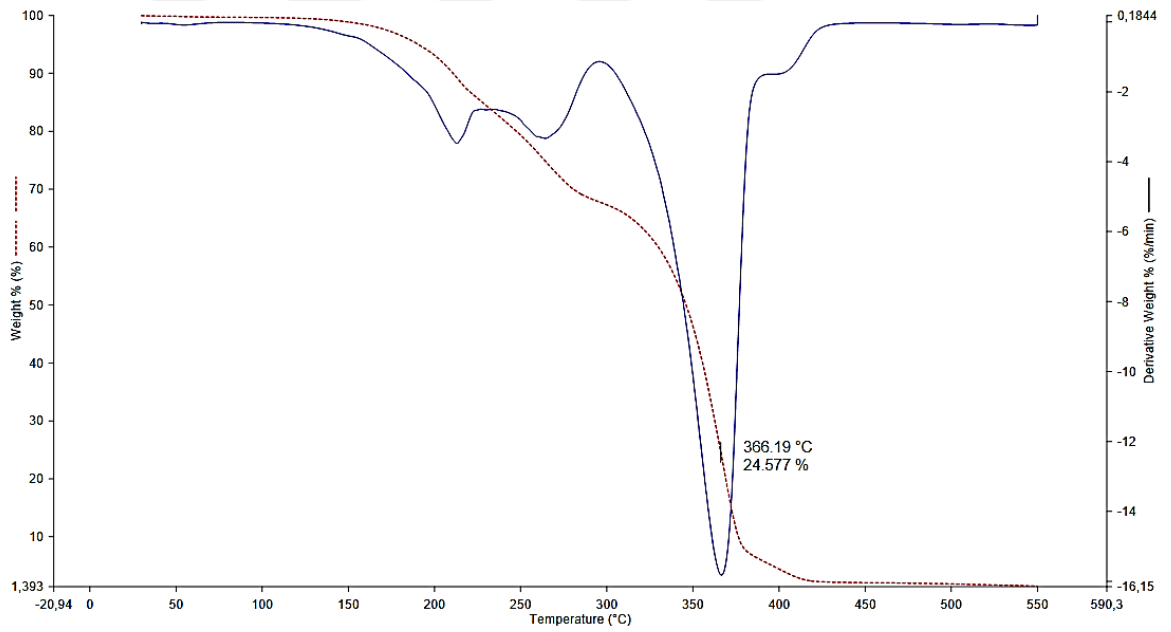
Şekil 4.23. PED-5 TGA termogramı



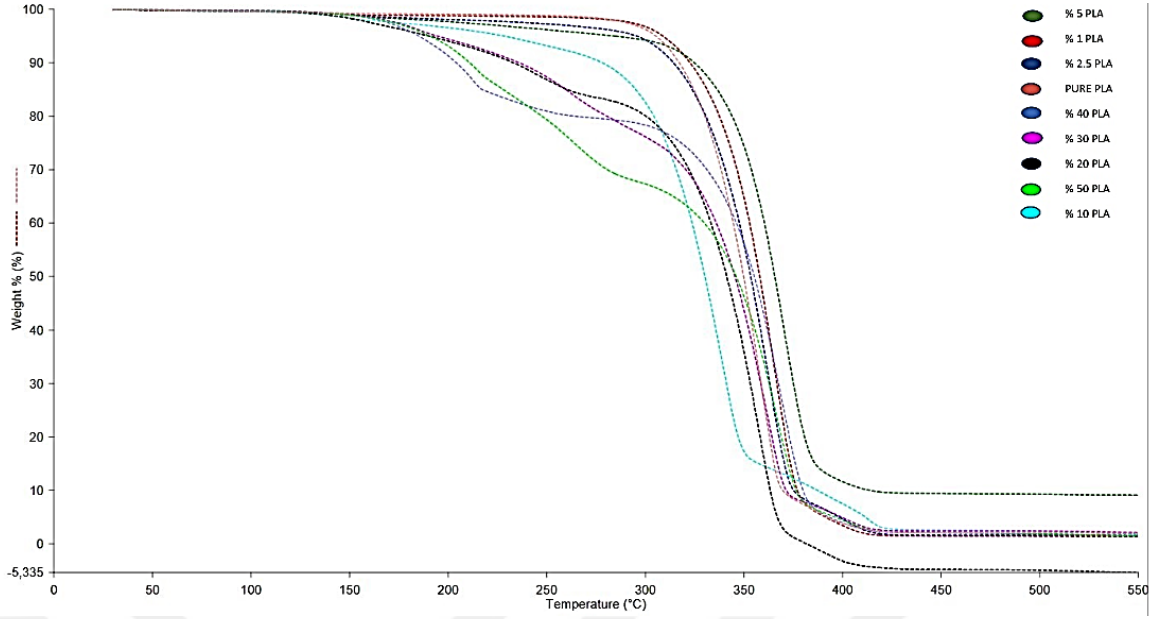
Şekil 4.24. PED-6 TGA termogramı



Şekil 4.25. PED-7 TGA termogramı

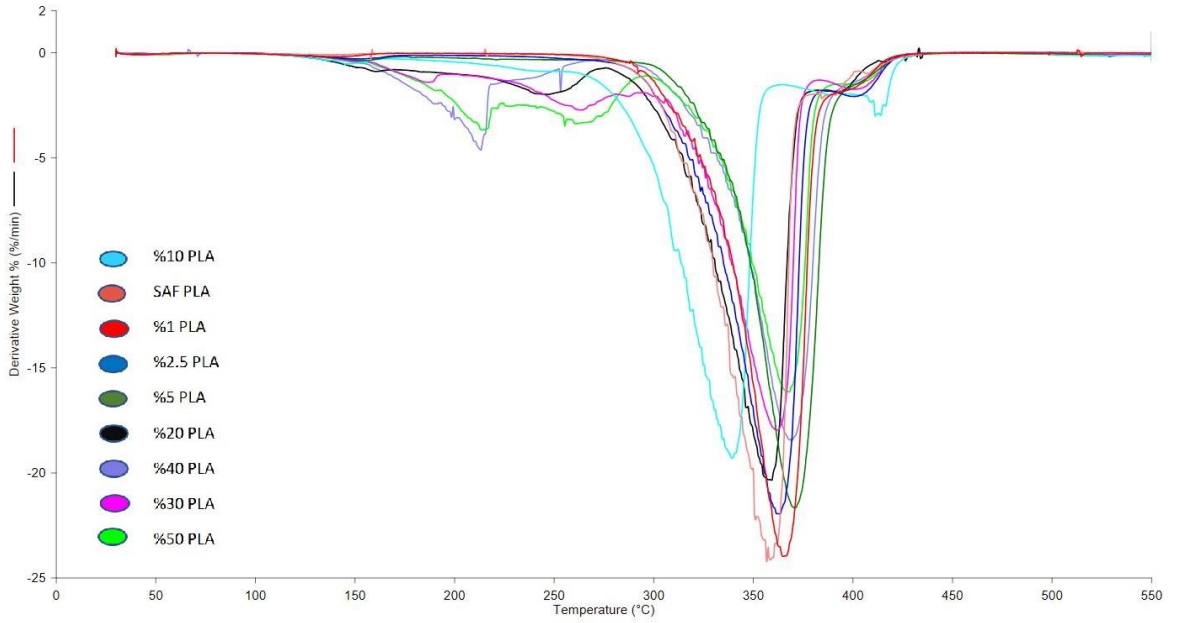


Şekil 4.26. PED-8 TGA termogramı



Şekil 4.27. PLA/Eikosan film TGA karşılaştırma

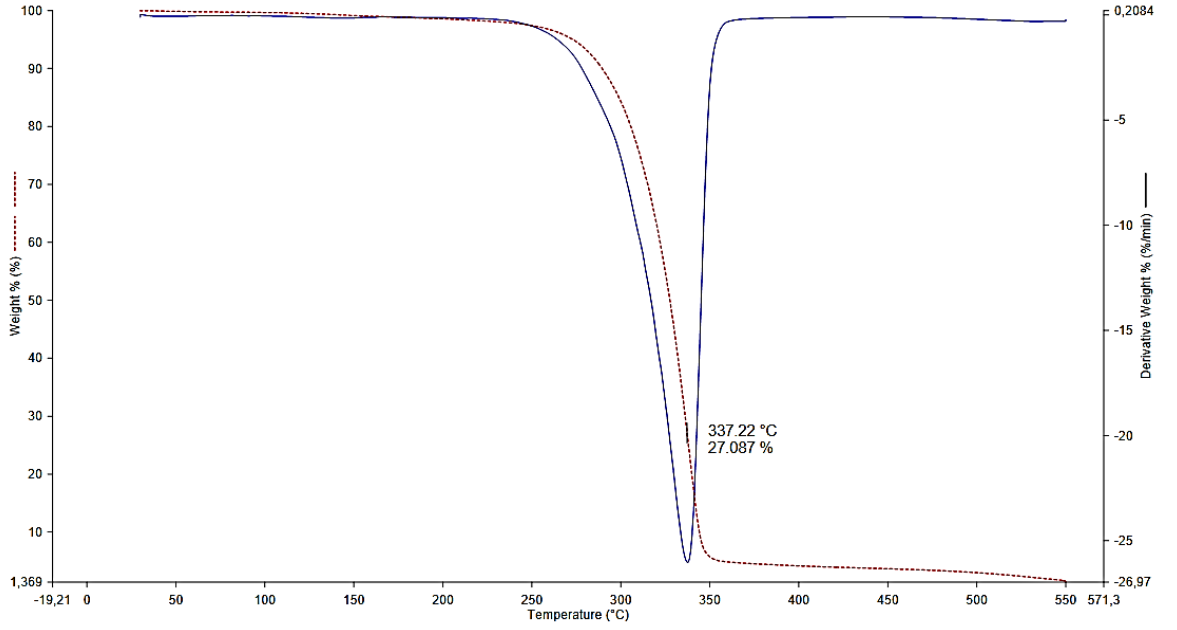
PLA ve Eikosan kompoziti içeren filmlerin TGA sonuçlarını karşılaştırdığımızda PLA'ya ilave edilen Eikosan miktarı arttıkça bozunma sıcaklığında artış gözlenir.



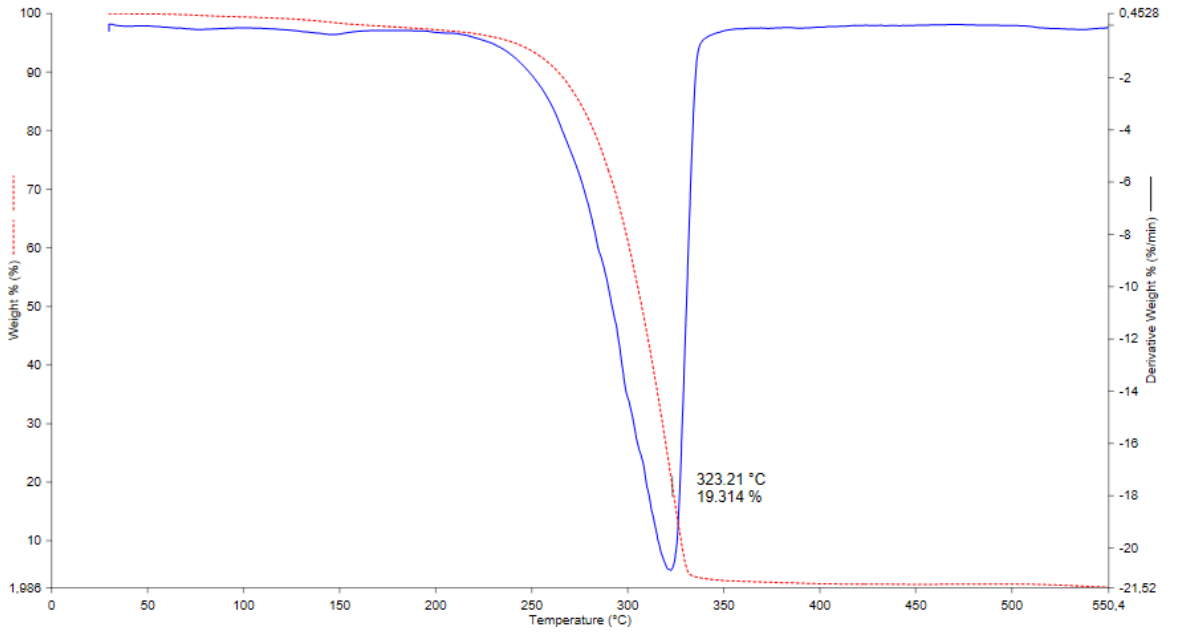
Şekil 4.28. PLA/Eikosan DTG film TGA karşılaştırma

PLA ve Eikosan içeren filmlerin DTG sonuçları incelendiğinde saf PLA'nın bozunma sıcaklığı 350 °C civarlarındadır. Eikosanın bozunma sıcaklığı 200 °C civarlarındadır.

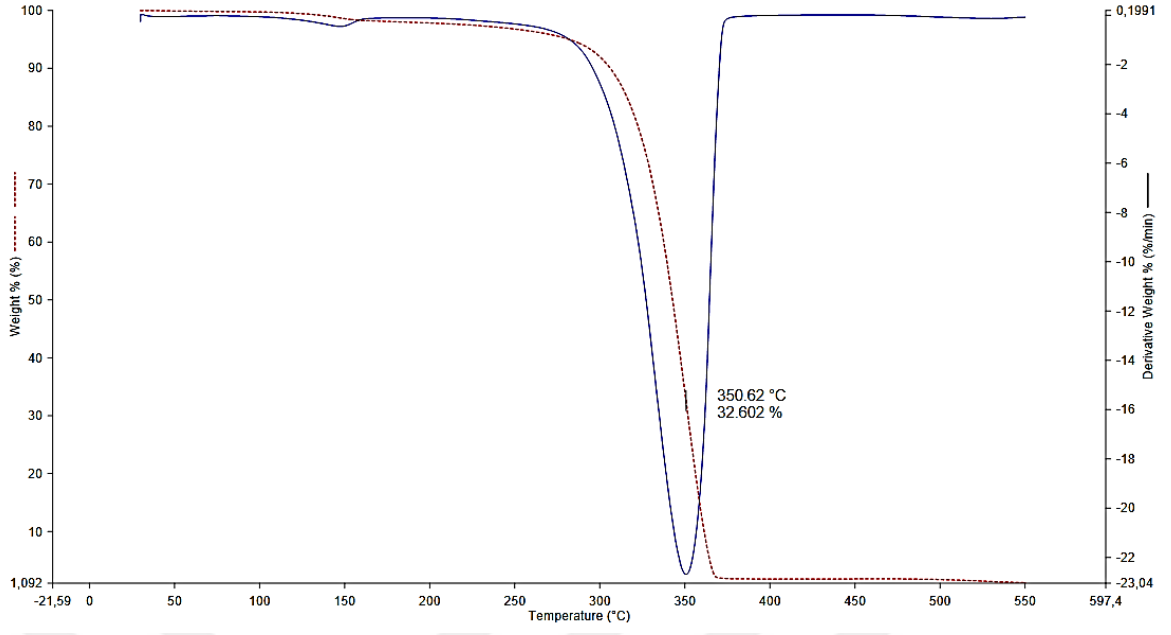
PLA' ya eklenen Eikosan yüzdesi artıkça % 10' luk PLA dışında bozunma sıcaklığında artış gözlenmiştir. Kompozit film yapıları daha hızlı bozunmuşlardır.



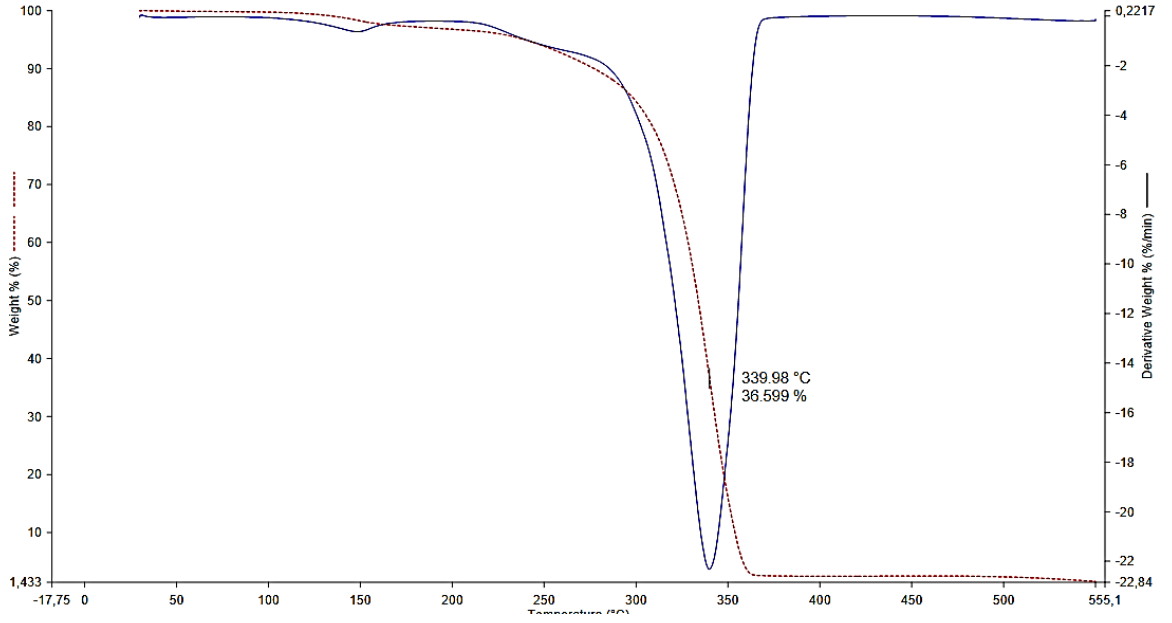
Şekil 4.29. PEF-0 TGA termogramı



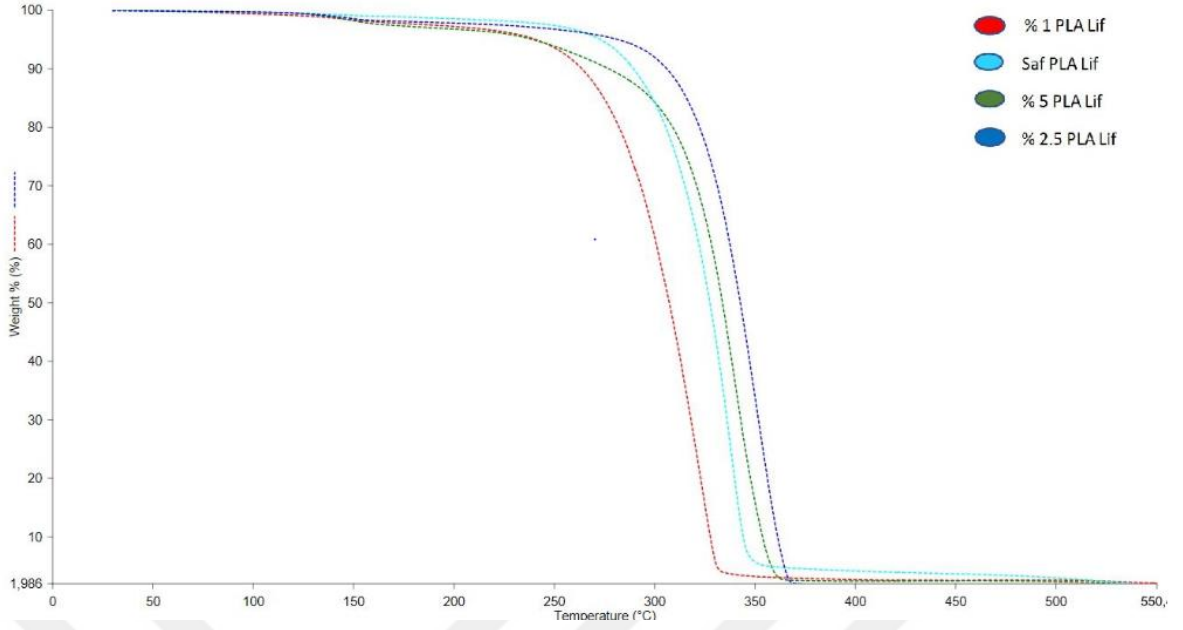
Şekil 4.30. PEF-1 TGA termogramı



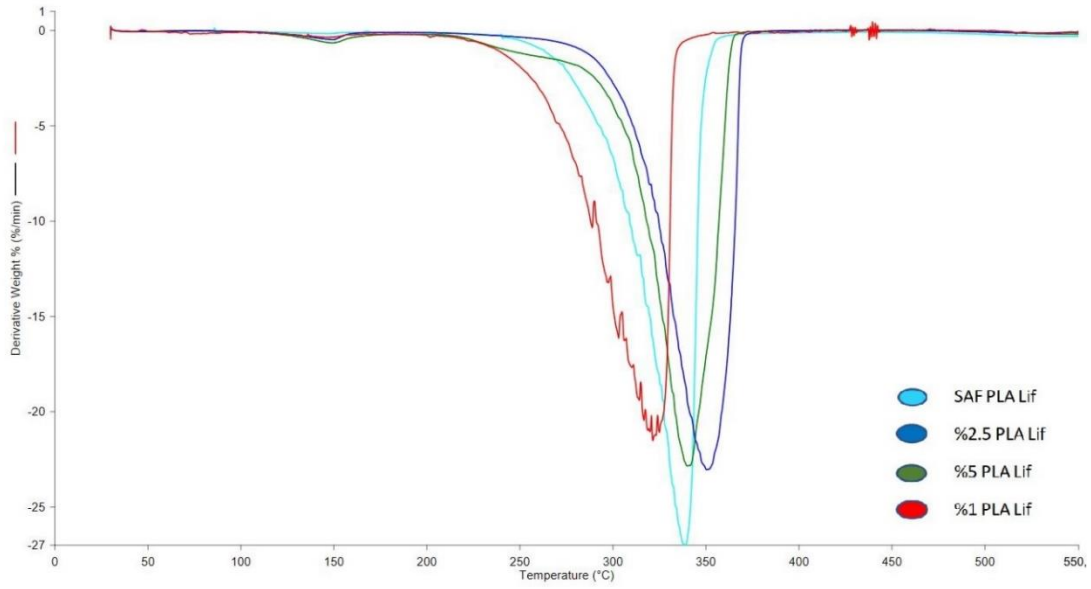
Şekil 4.31. PEF-2 TGA termogramı



Şekil 4.32. PEF-3 TGA termogramı



Şekil 4.33. PLA/Eikosan lif TGA karşılaştırma



Şekil 4.34. PLA/Eikosan DTG TGA lif karşılaştırma

PLA ve Eikosan içeren liflerin DTG sonuçları incelendiğinde saf PLA'ya eklenen Eikosan miktarı arttıkça bozunma sıcaklığı %1'de saf PLA'ya göre azalmıştır. %2 ve %5 değerlerinde bozunma sıcaklığında artış gözlenmiştir. Saf PLA'ya eklenen kütleye Eikosan yüzdesi arttıkça daha hızlı bozunma gerçekleşmiştir. Kompozit lif yapısı daha kolay bozunmuştur.

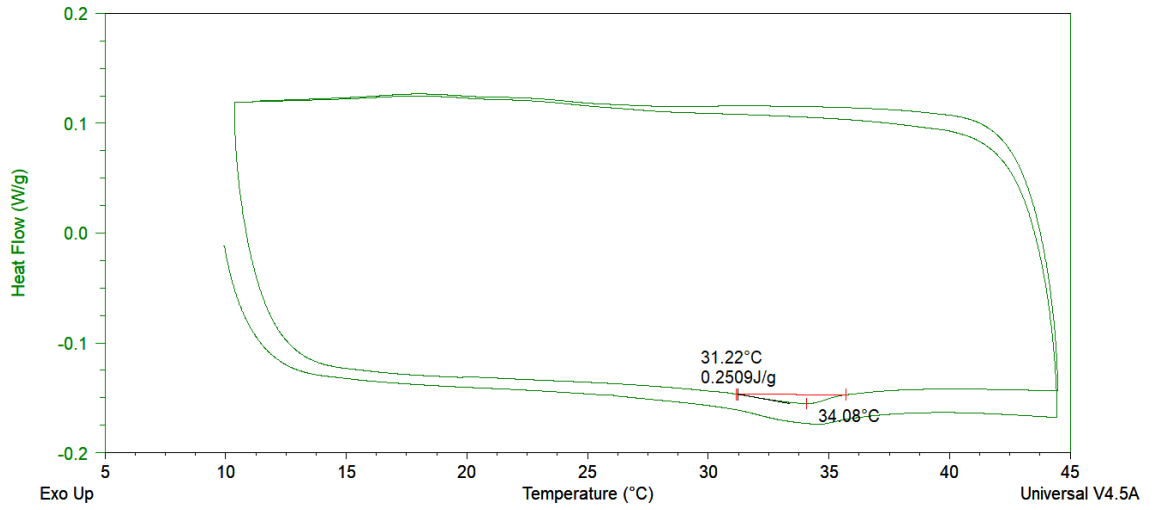
4.3. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) Analiz Sonuçları

PLA' ya ilave edilen Eikosan miktarına göre hazırlanan filmlerin, soğuk kristalleşme sıcaklığı (Tk), erime sıcaklığı (Te), kristalizasyon ve erime entalpileri (ΔH_k , ΔH_e) DSC analizi ile belirlenmiştir. DSC analizden elde edilen sonuçlar çizelge 4.5' te belirtilmiştir.

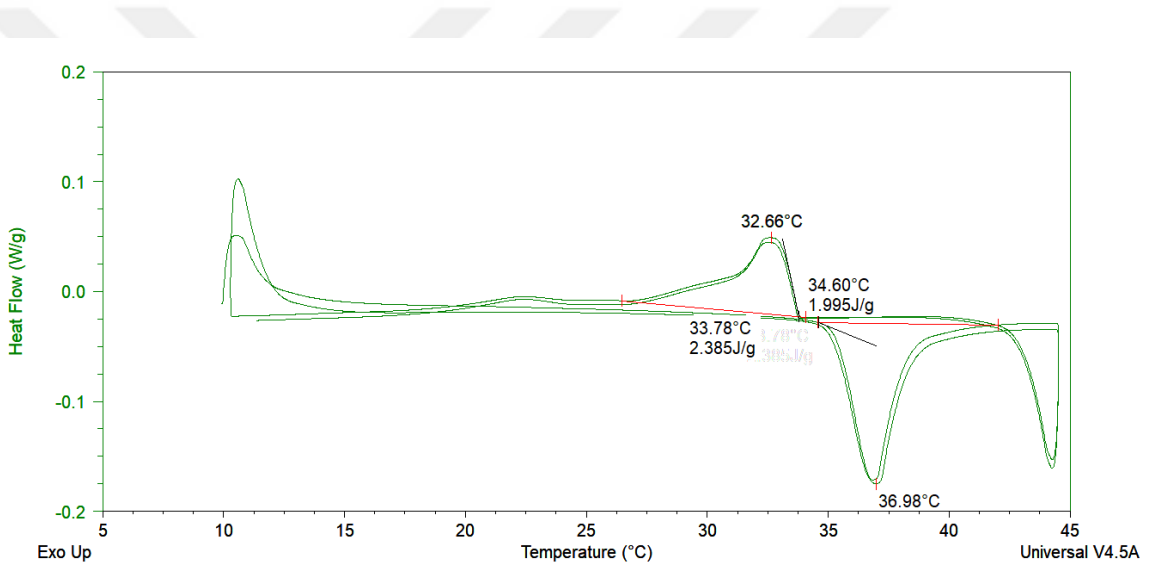
Çizelge 4.5. PLA/Eikosan kompozit filmlerin Tk, ΔH_k , Te, ΔH_e , değerleri

Eikosan Örnekleri	Kristalleşme sıcaklığı Tk (°C)	Enerji depolama kapasitesi ΔH_k (J/g)	Erime sıcaklığı Te (°C)	Enerji depolama kapasitesi ΔH_e (J/g)
PED-3 (%5)	32,66	-2,385	34,60	1,995
PED-4 (%10)	32,57	-7,298	35,44	12,65
PED-5 (%20)	32,26	-8,450	35,55	11,72
PED-6 (%30)	34,31	-21,81	35,53	31,84
PED-7 (%40)	34,19	-14,89	35,31	39,49
PED-8 (%50)	34,45	-53,37	35,63	49,12
Saf Eikosan	-	-	35,91	328,17

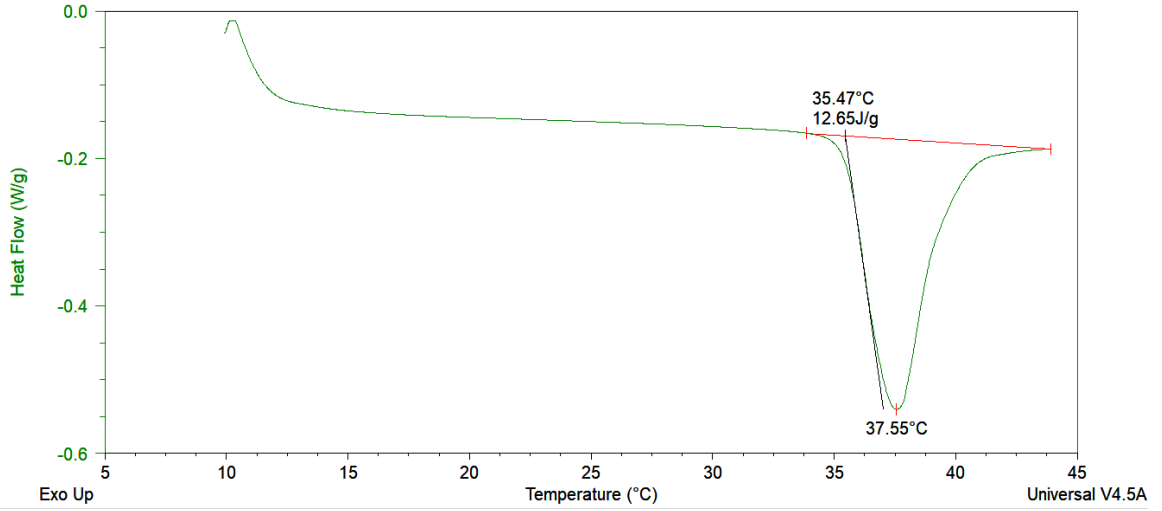
PLA' ya ilave edilen Eikosan konsantrasyon miktarı arttıkça kristalizasyon sıcaklığında değişim gözlemlenir. Etken madde Eikosanın kristalizasyon sıcaklıkları incelendiğinde Eikosanın PED-3' de Tk değeri 32,66 °C, Eikosan konsantrasyonu arttıkça PED-6' da 34,31 °C, PED-8' de 34,45 °C olarak gözlenmiştir. DSC grafikleri incelendiğinde Eikosan içeren numunelerin erime sıcaklıklarında PED-3' ün Te değeri 34,60 °C, PED-4' ün Te değeri 35,44 °C ve PED-5' in 35,55 °C şeklinde görülmüştür. Eikosan konsantrasyon miktarı arttıkça erime sıcaklığında az da olsa artış gözlenmiştir. PED-6' da 35,53 °C' dan sonra azalma gözlenmiştir. Çizelge 4.5' te enerji depolama kapasitelerinde kristalizasyon ve erime entalpilerine baktığımızda ise endotermik ve ekzotermik durumlarda ısı kapasiteleri hemen hemen aynıdır. Filmlerde belli oranlarda ilave edilen Eikosan konsantrasyonu arttıkça ısı depolama kapasitesi artmıştır. Lakin saf Eikosanın, ısı kapasitesinin altında bir değer almıştır (Pan ve ark., 2008).



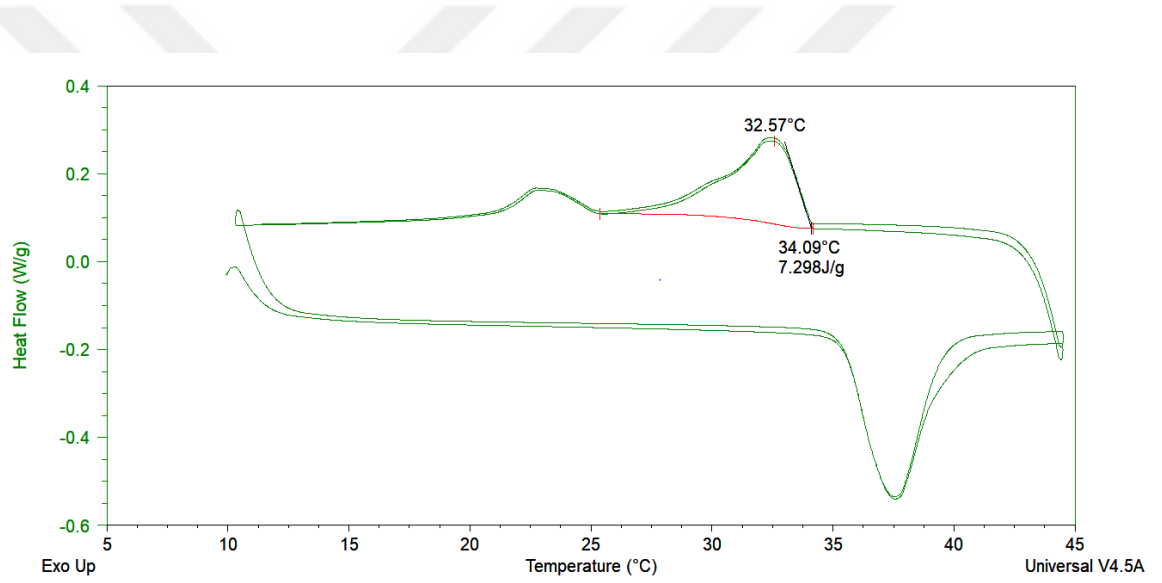
Şekil 4.35. PED-2 DSC termogramı



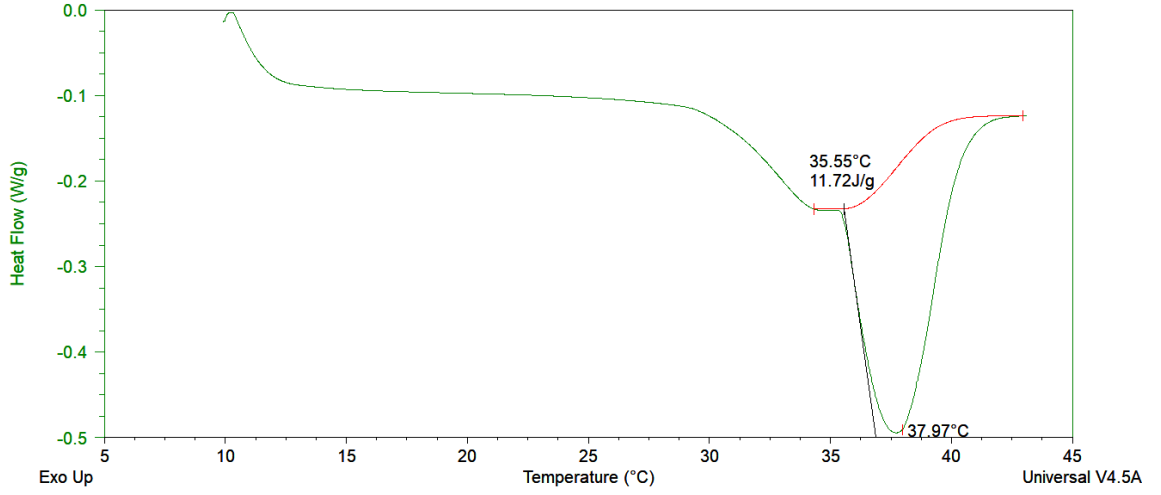
Şekil 4.36. PED-3 DSC termogramı



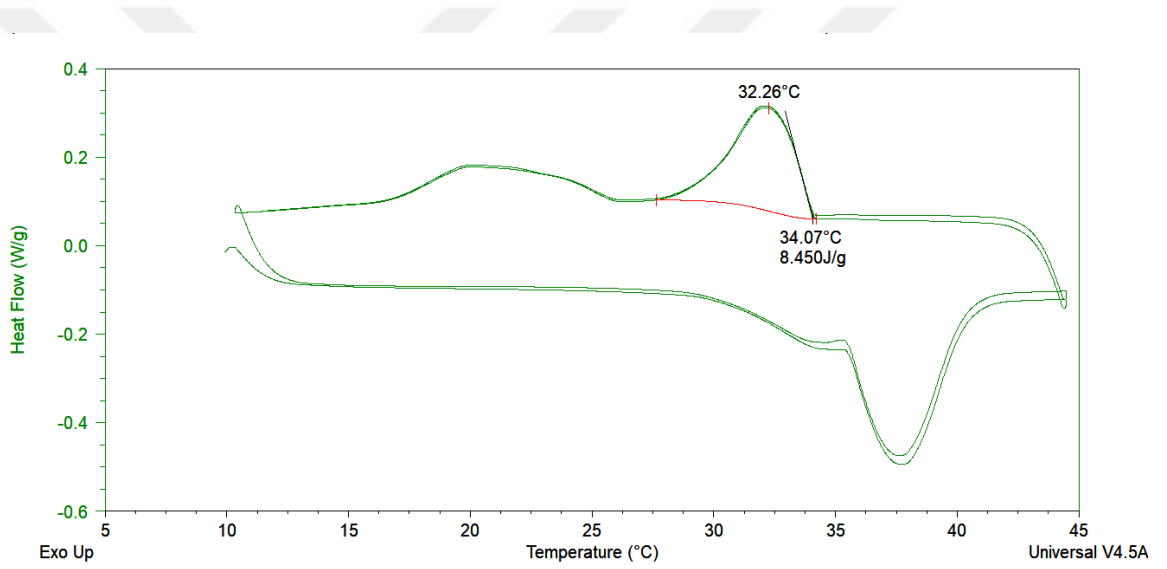
Şekil 4.37. PED-4 DSC termogramı



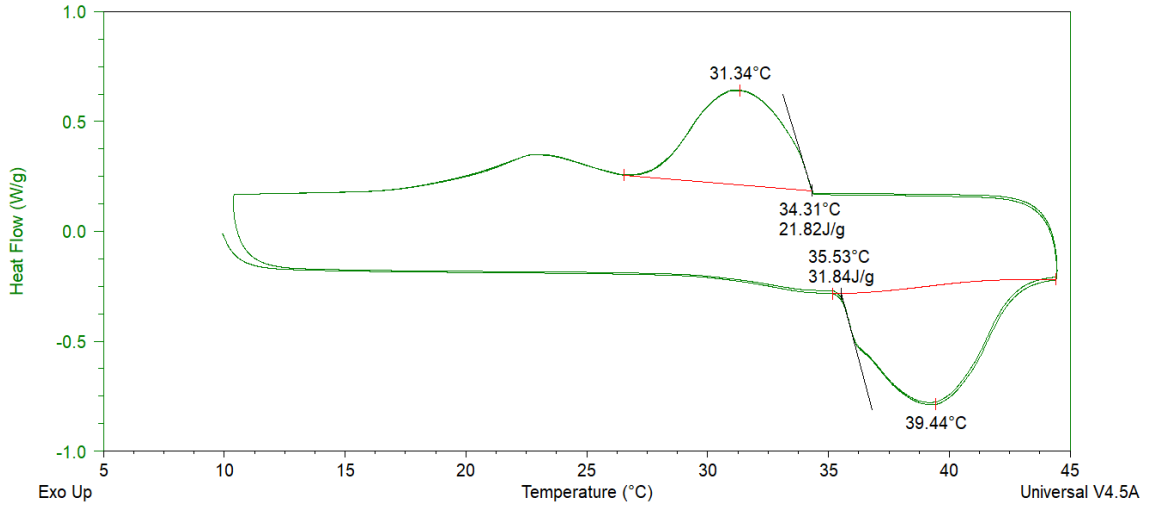
Şekil 4.38. PED-4 DSC termogramı



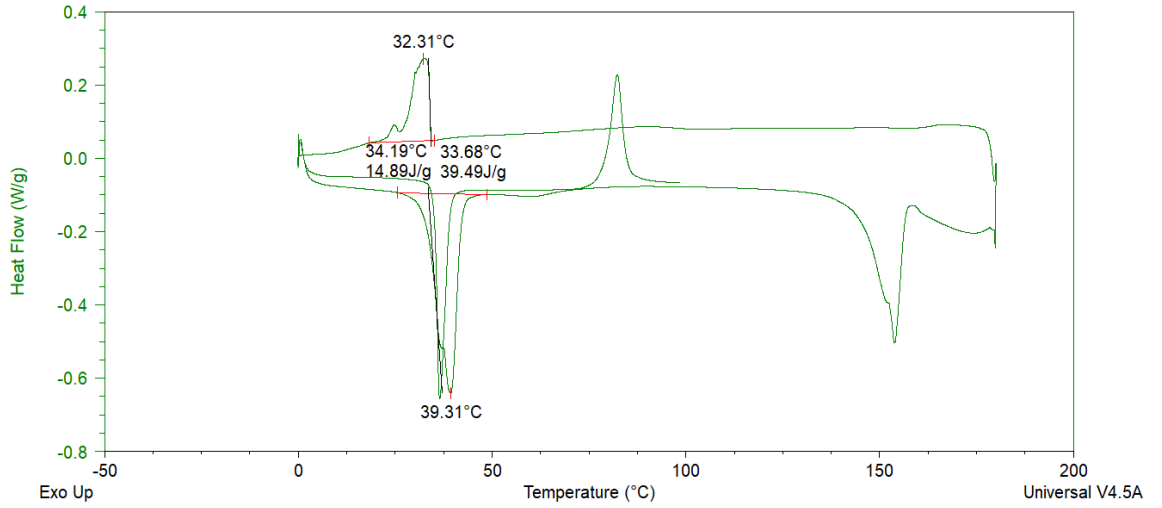
Şekil 4.39. PED-5 DSC termogramı



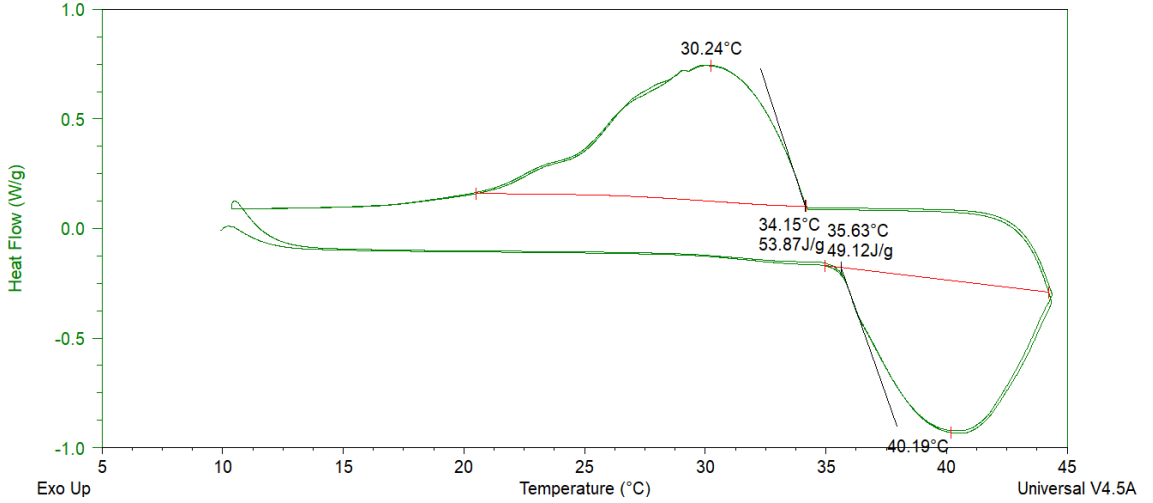
Şekil 4.40. PED-5 DSC termogramı



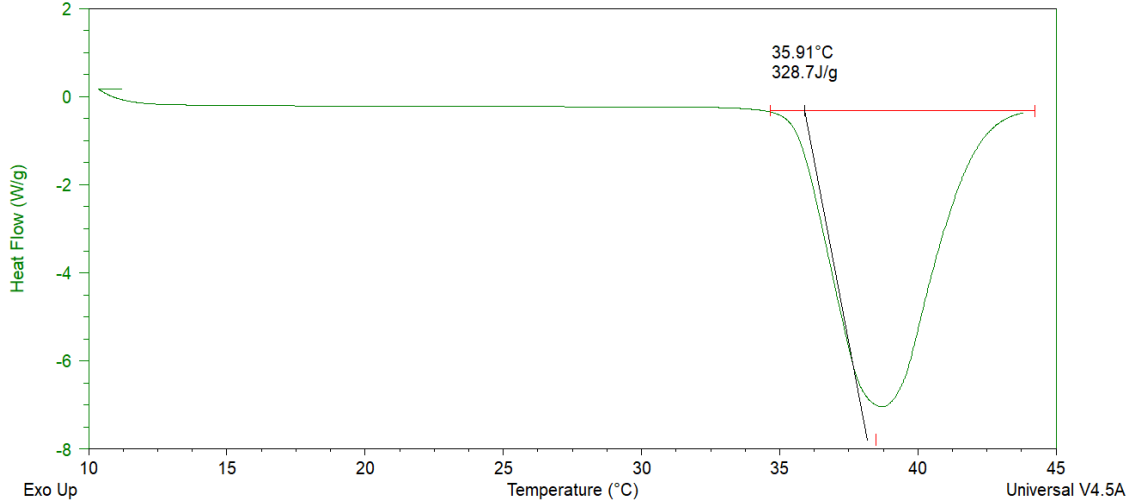
Şekil 4.41. PED-6 DSC termogramı



Şekil 4.42. PED-7 DSC termogramı



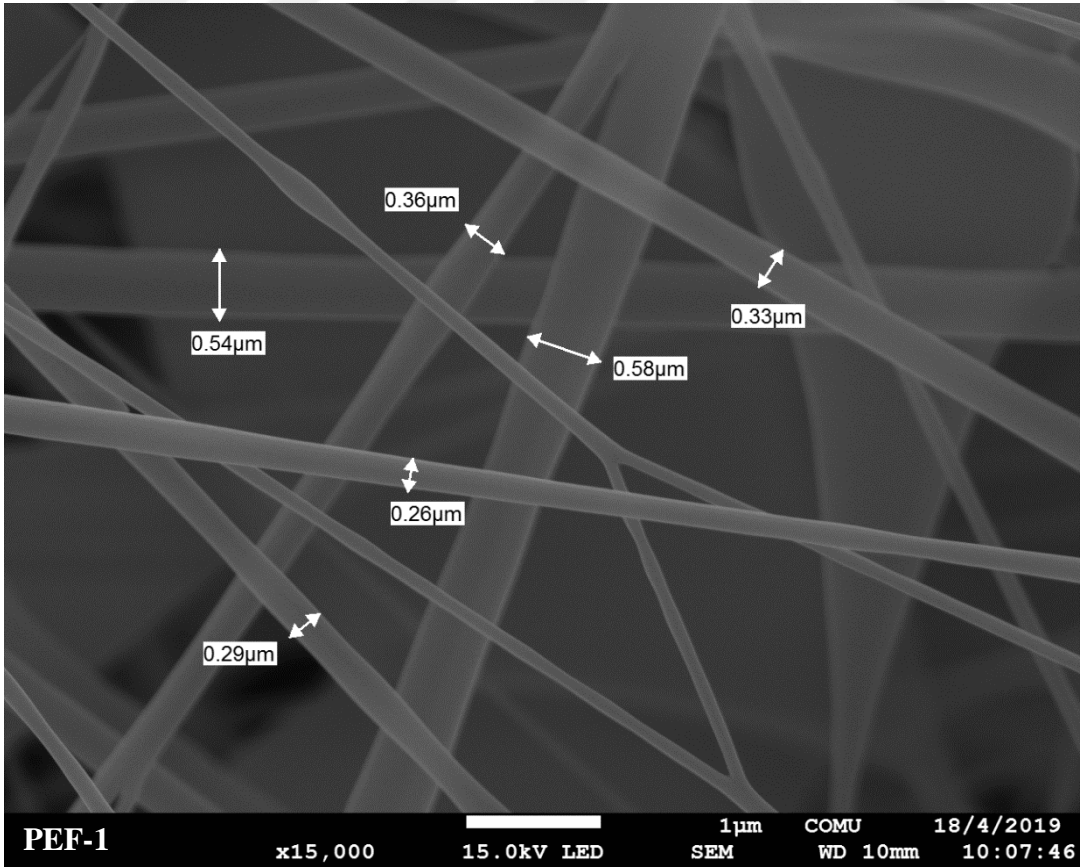
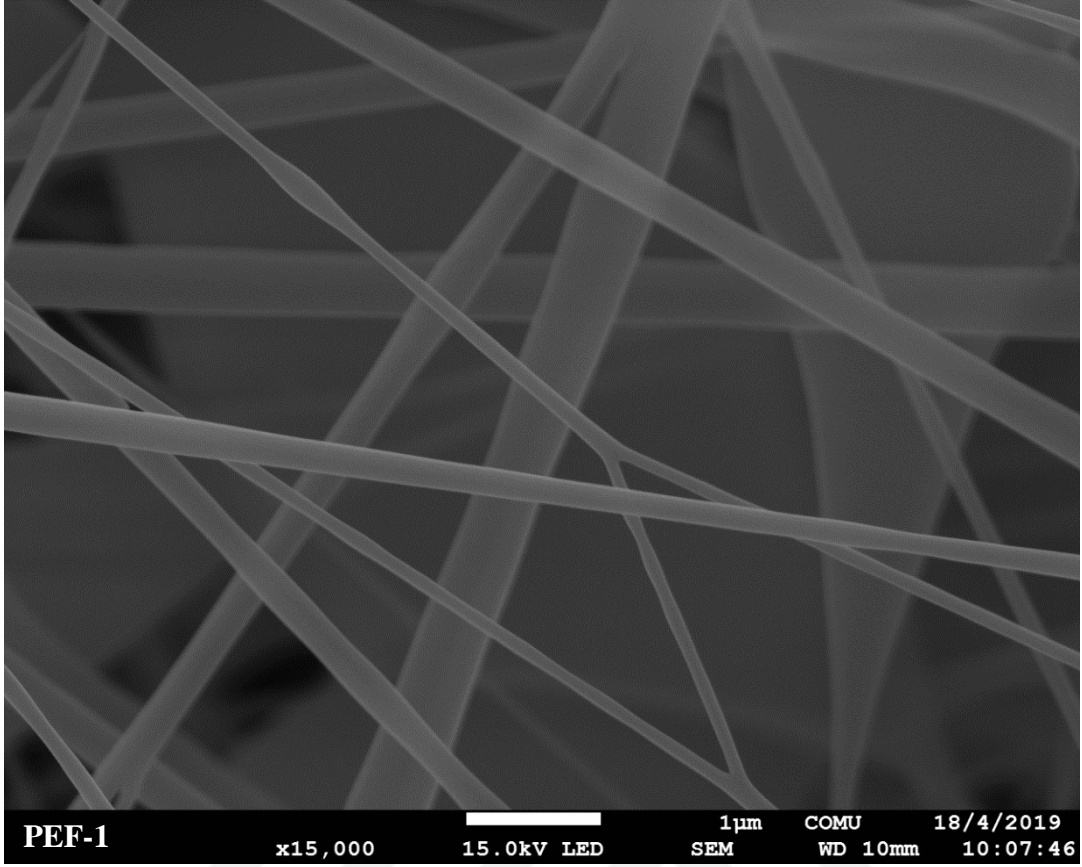
Şekil 4.43. PED-8 DSC termogramı



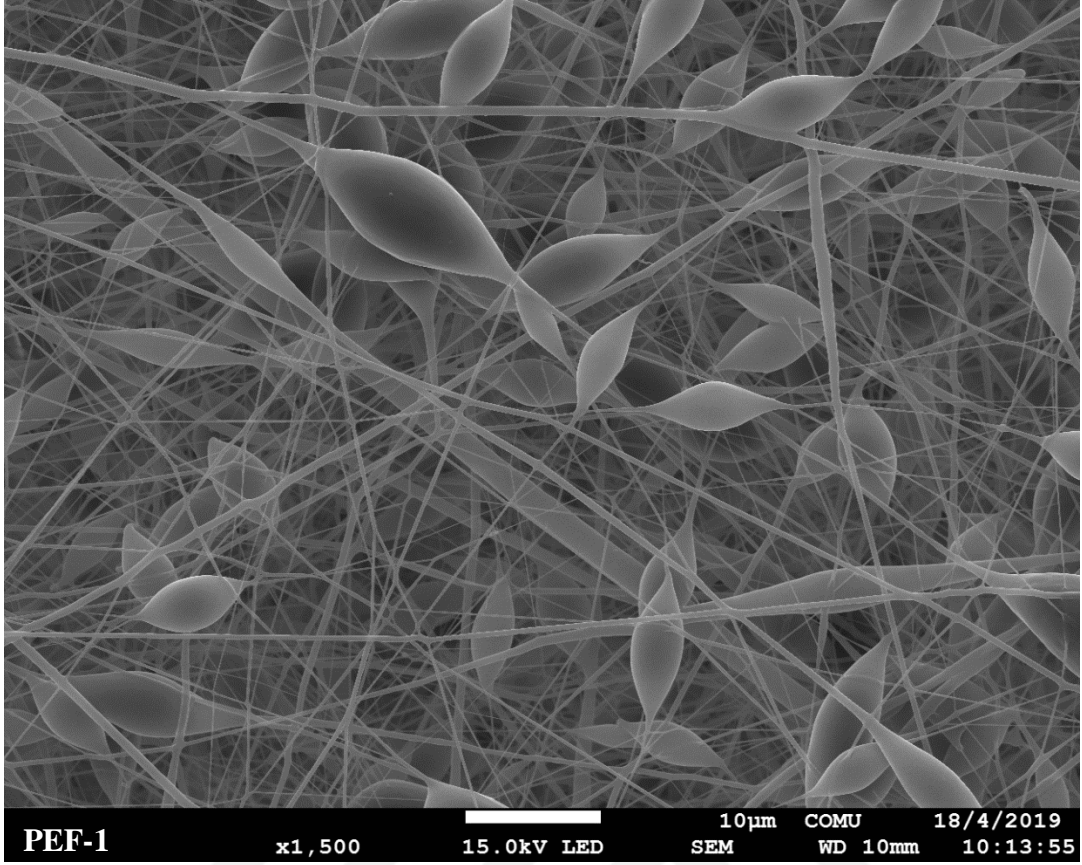
Şekil 4.44. Saf Eikosan DSC termogramı

4.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analiz Sonuçları

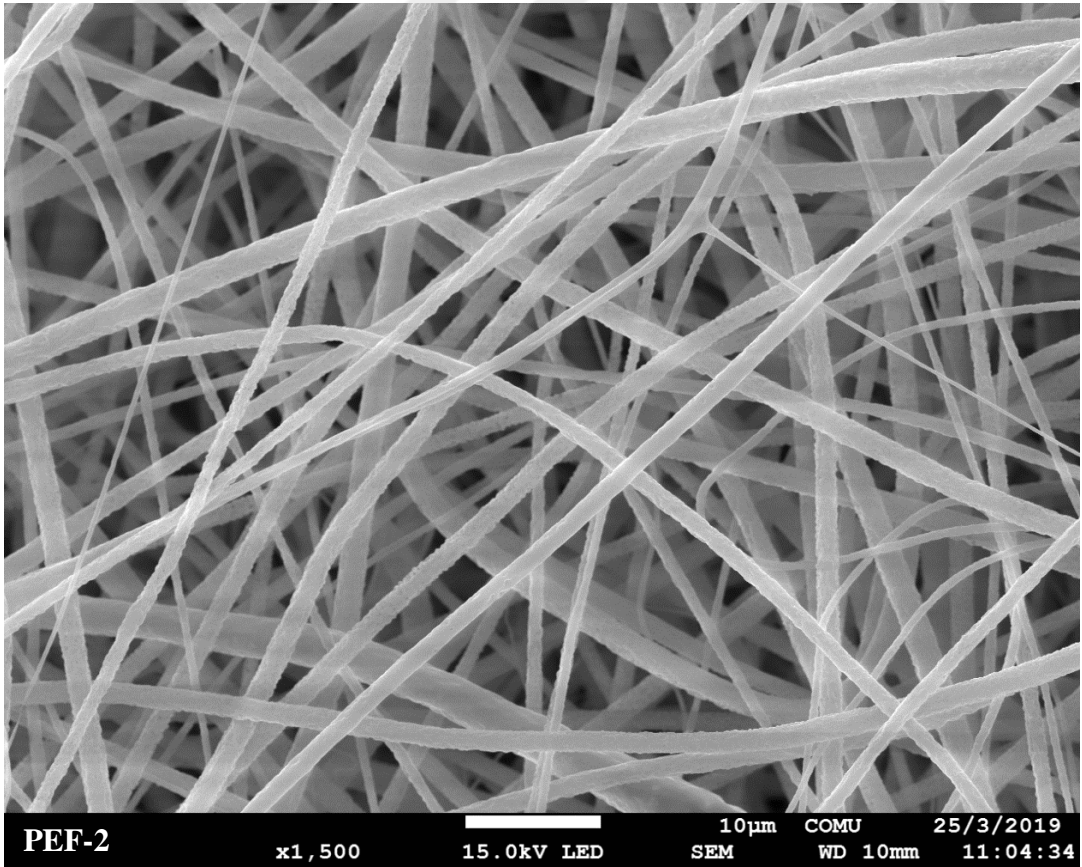
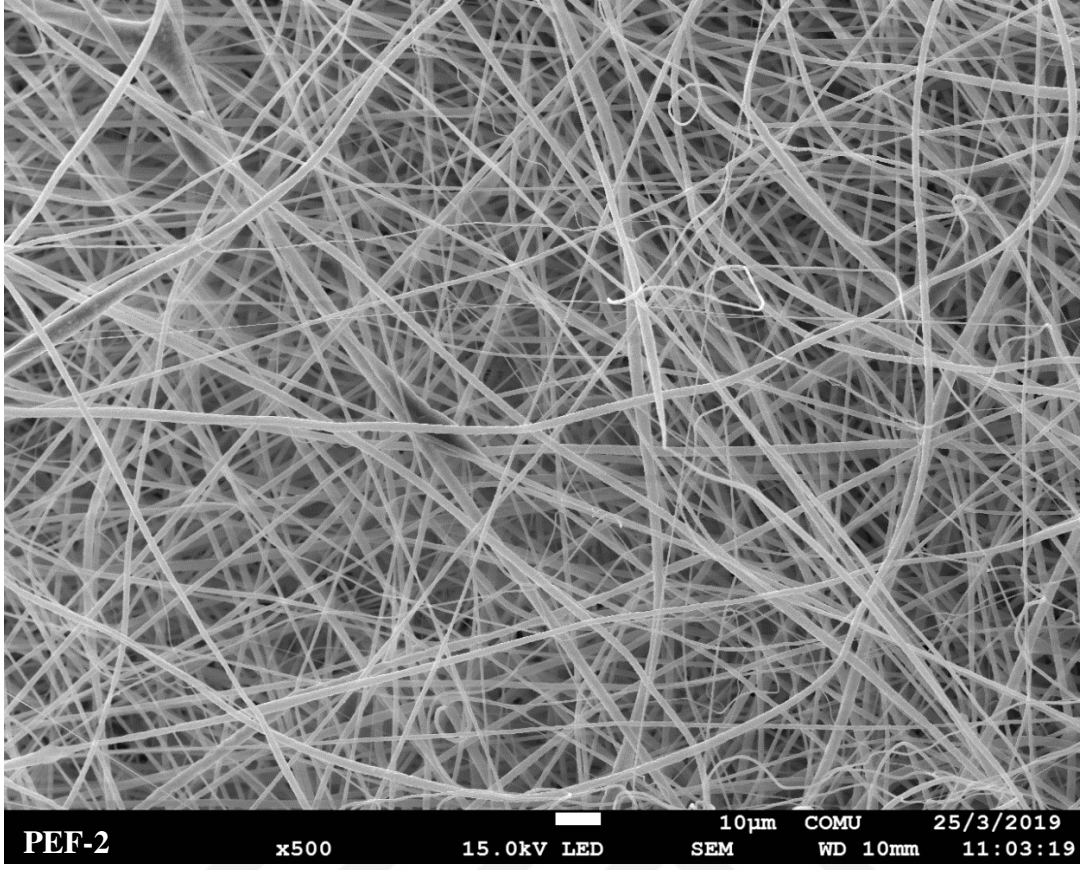
Elektro eğirme yöntemiyle elde edilmiş liflerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile fotoğrafları çekilmiştir. Alüminyum folyo ile sarılan toplayıcı yüzeyde 200 nm ve 1000 nm çapları aralığında lifler toplanmıştır. Fotoğraflanan PEF-1, PEF-2, PEF-3, PEF-4 numunelerinde konsantrasyon artmasıyla lif çaplarında da artış gözlenirken, konsantrasyon miktarında azalma gerçekleştiği durumda ise bazı bölgelerde küreler oluştuğu gözlenmiştir. Bu kürelere boncuk denmektedir. Konsantrasyon artması ile boncuklu yapılar azalmış ve böylece daha düzgün lifler elde edilmiştir. Yüzey morfolojilerine bakıldığında eklenen Eikosan miktarları arttıkça PEF-4 'e kadar daha sık ve düzenli lifler gözlenmiştir. PEF-4' te ise yüzey morfolojisi bozulmuş lifler daha düzensiz bir hale geçmiştir.



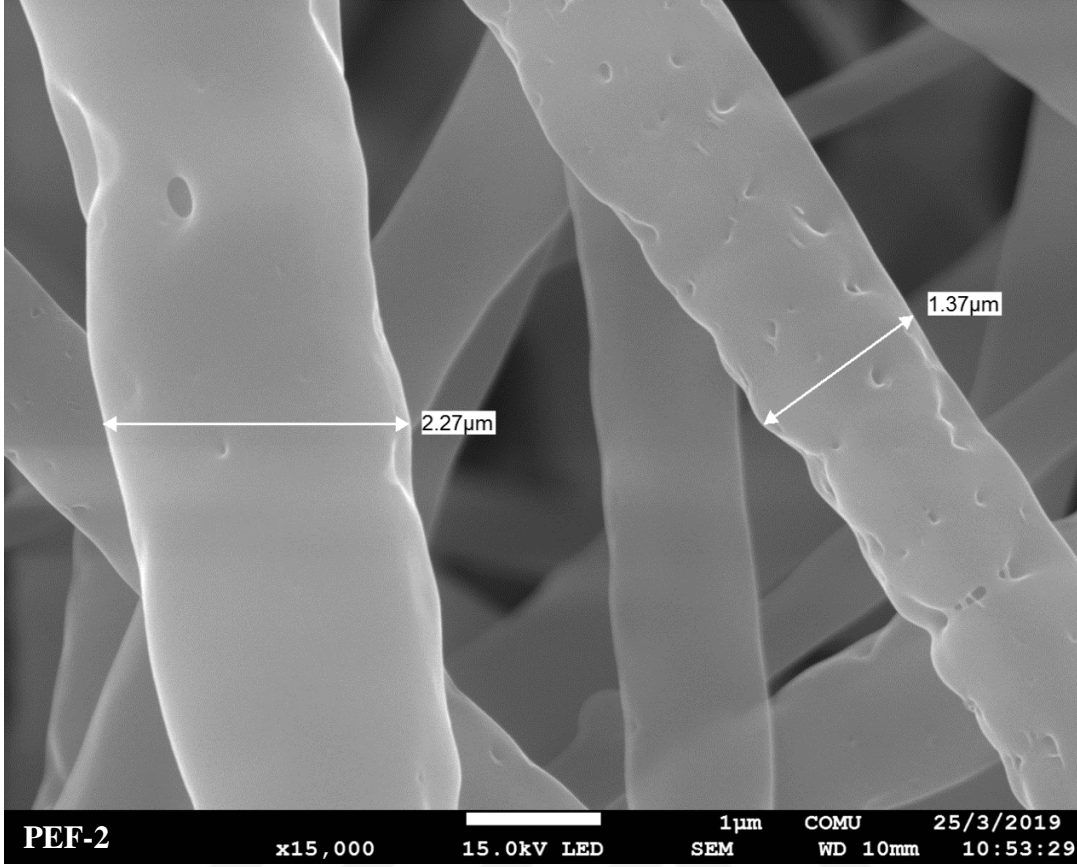
Şekil 4.45. PEF-1 örneğinin SEM görüntüleri (x15000 x1500)



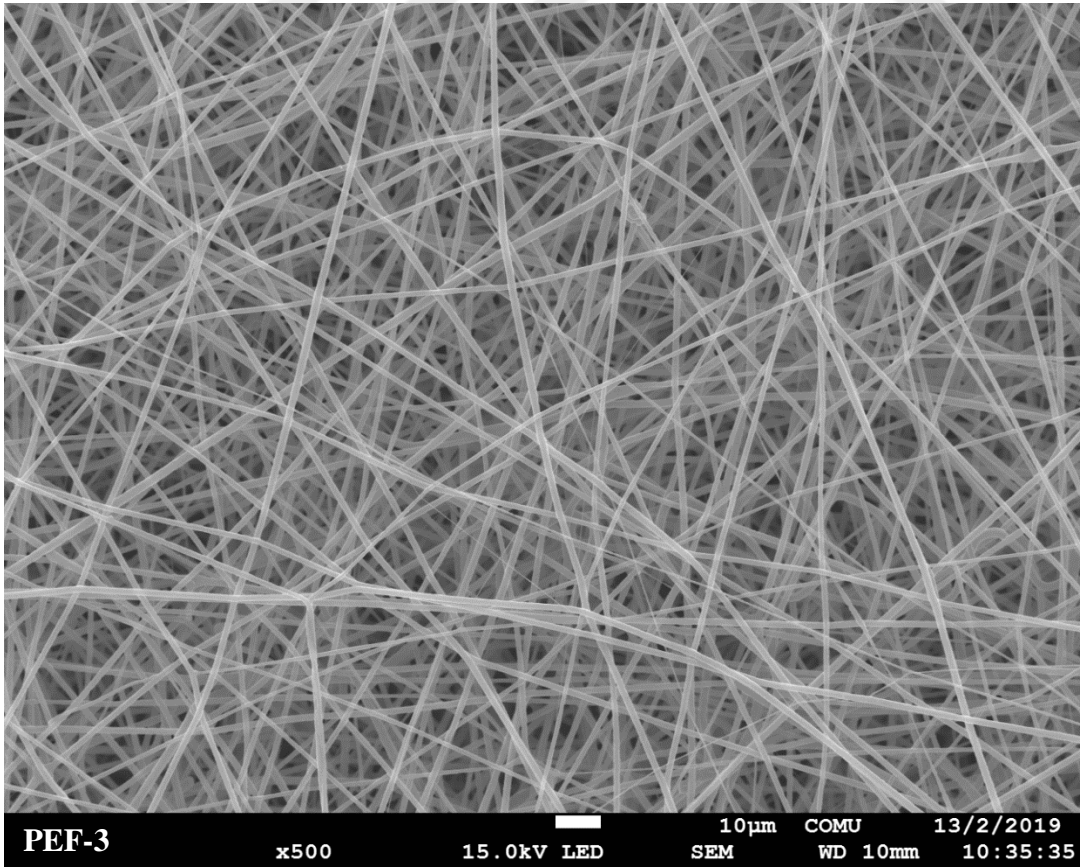
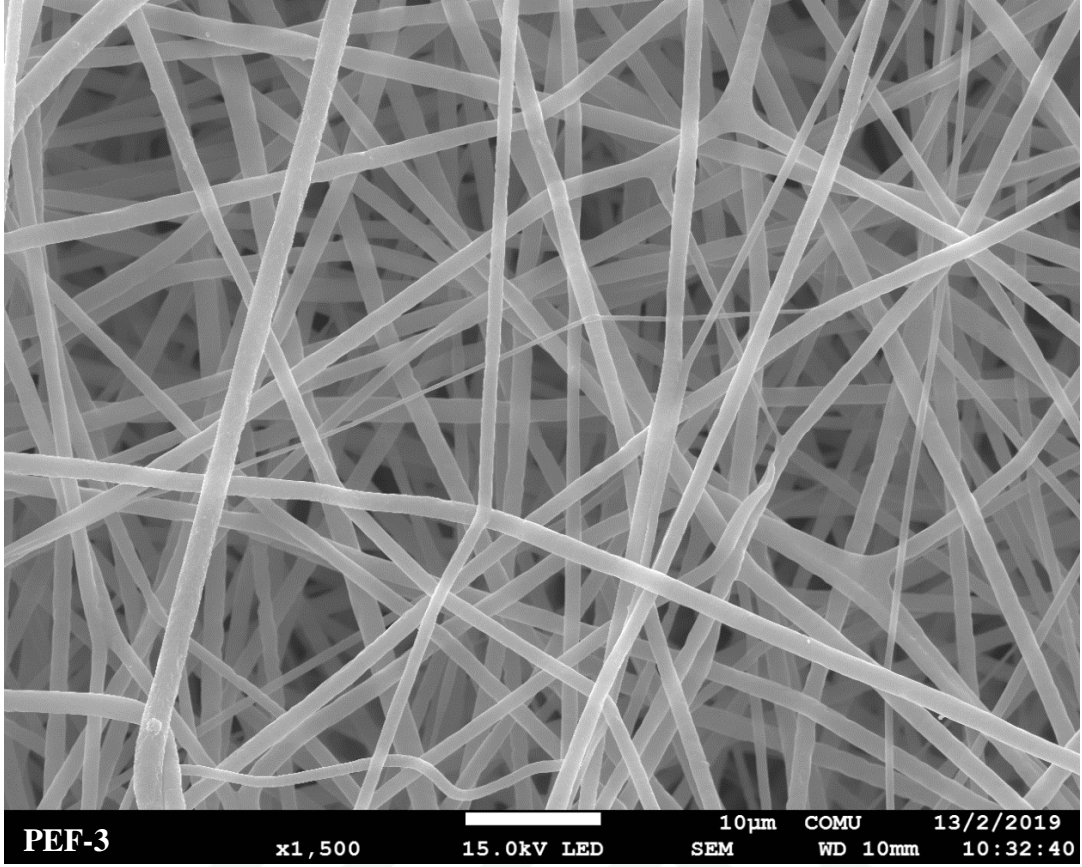
Şekil 4.45.'in devamı



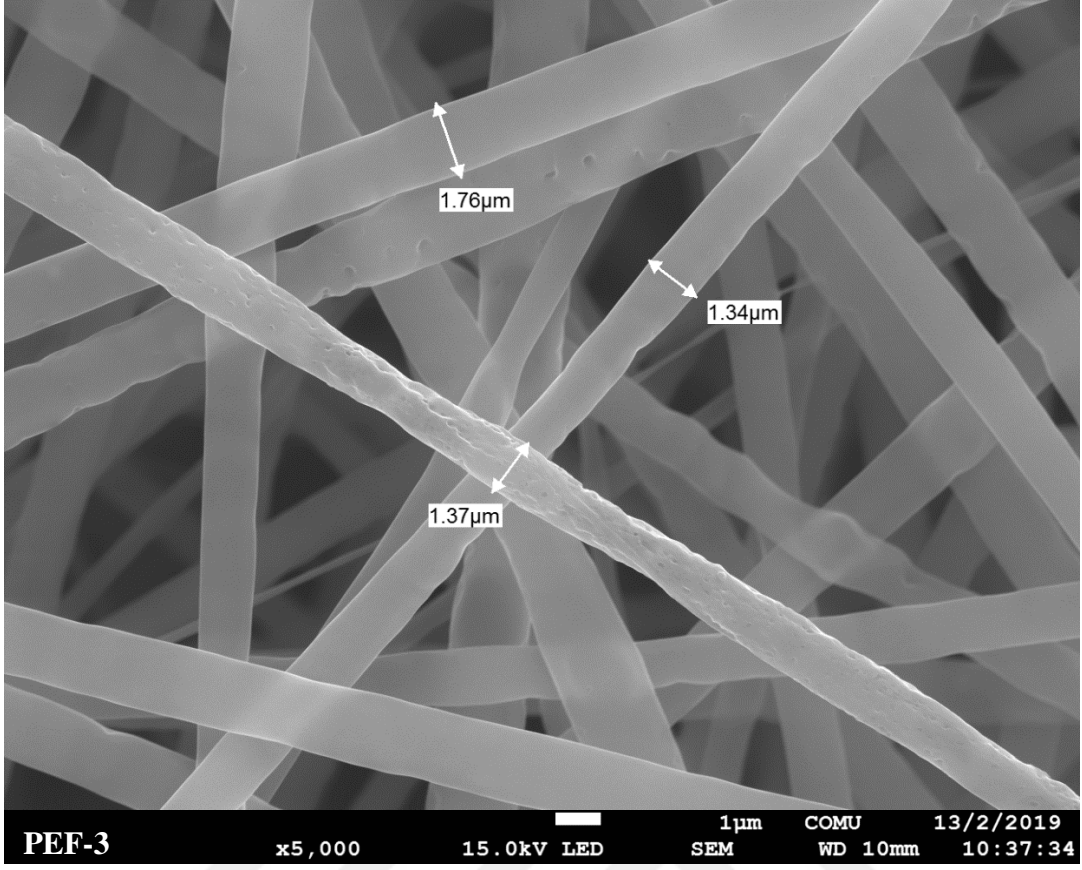
Şekil 4.46. PEF-2 örneğinin SEM görüntüleri (x15000 x500 x1500)



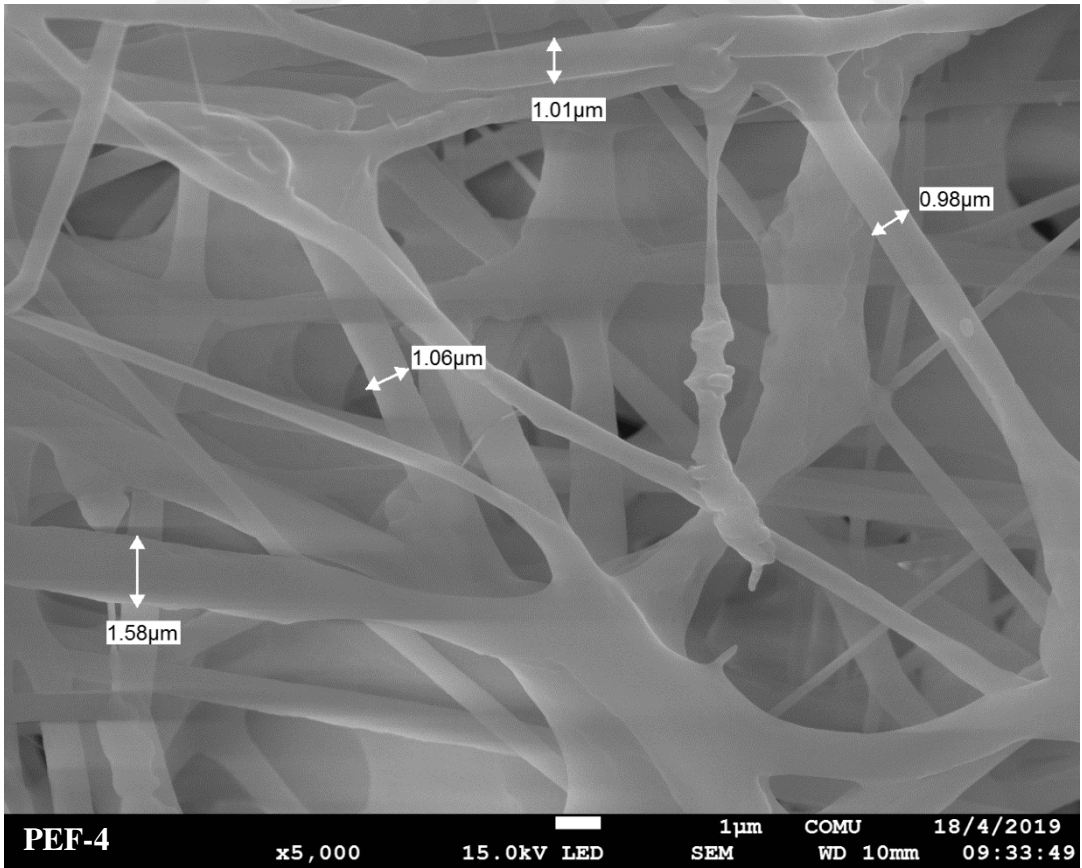
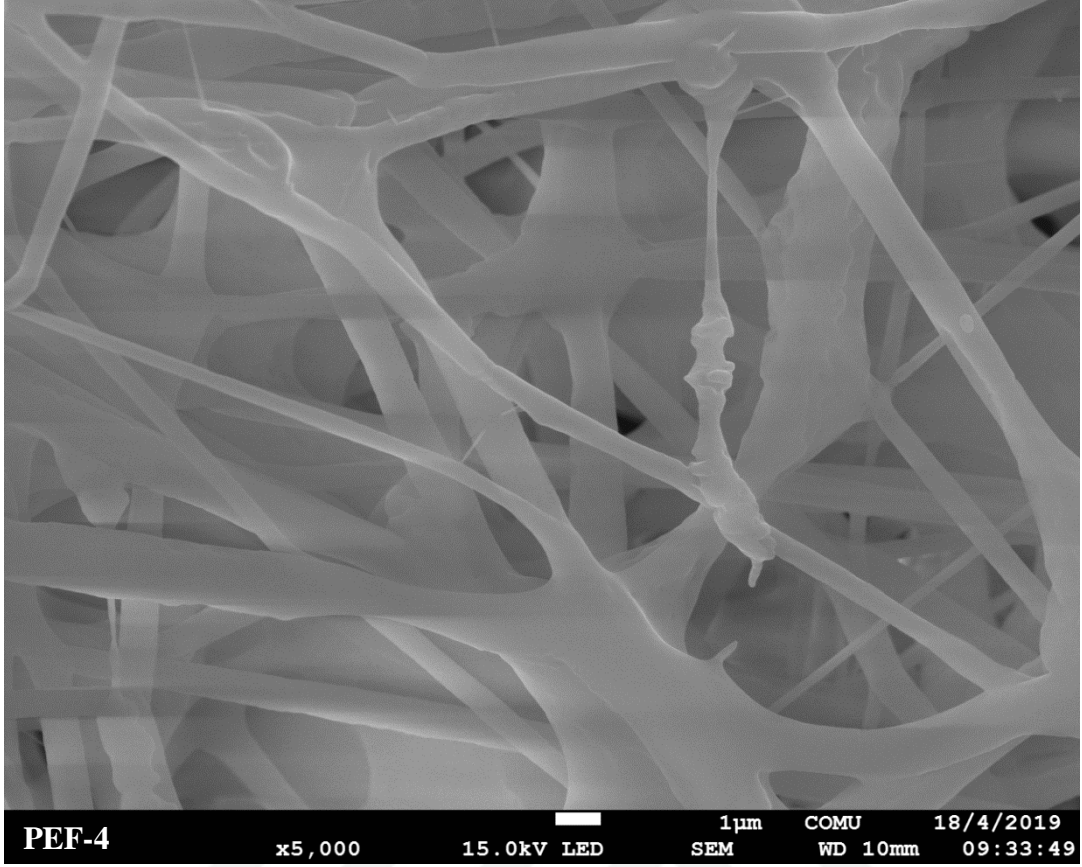
Şekil 4.46.'nın devamı



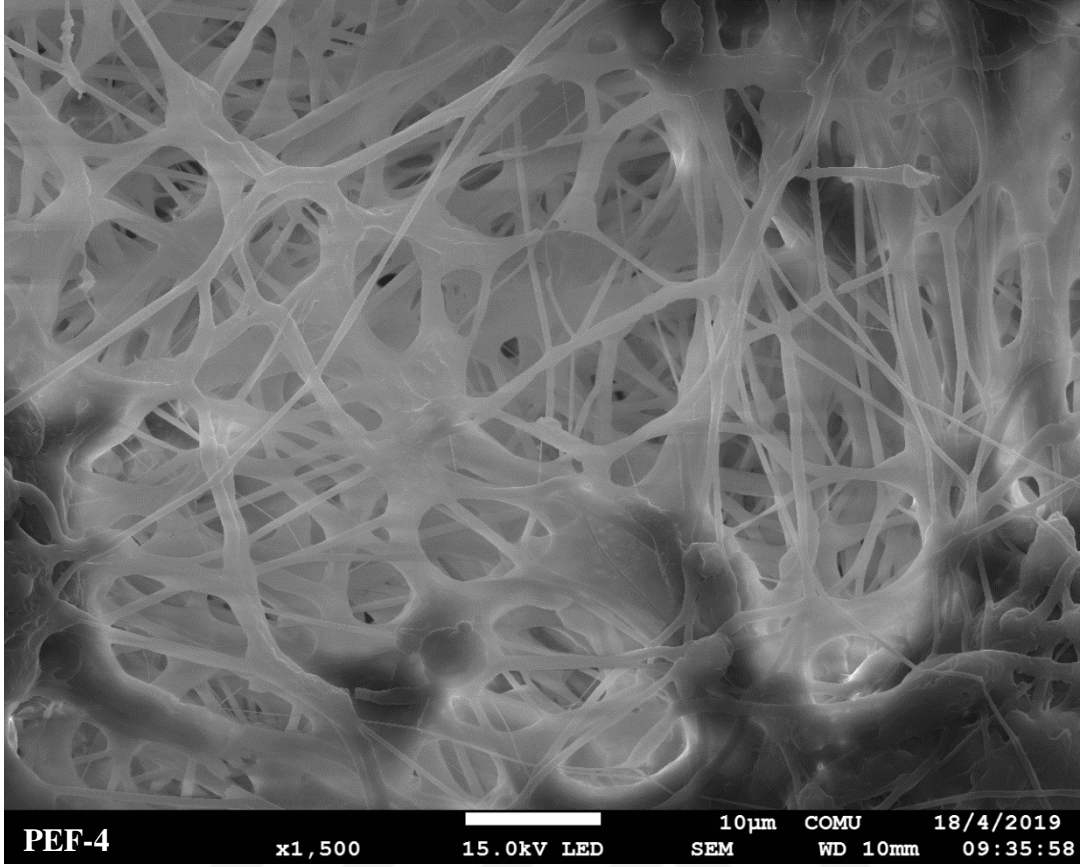
Şekil 4.47. PEF-3 örneğinin SEM görüntüleri (x1500 x500 x5000)



Şekil 4.47.'nin devamı



Şekil 4.48. PEF-4 örneğinin SEM görüntüleri (x1500 x5000)



Şekil 4.48.'in devamı

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada biyobozunurluk ve biyouyumluluk özelliklerine sahip bir biyopolimer olan PLA ile faz değiştirici özellik gösteren Eikosandan elde edilen kompozit karışımdan, çözelti dökme ve elektro eğirme yöntemleri kullanılarak film ve lifler hazırlanmıştır. Elde edilen bu film ve liflerde PLA' ya belli oranda ilave edilen Eikosan ile PLA' daki mekanik ve termal özelliklerin değişimi incelenmiştir.

DMA sonuçlarına bakıldığında eklenen Eikosan miktarına göre filmlerin kalıcı deformasyon ve elastik modüllerinde genel anlamda azalmalar gözlenmiş, liflerde ise kalıcı deformasyon ve elastik modülü özelliklerinde artmalar gözlenmiştir. Hazırlanan PED-0, PED-1, PED-2, PED-3, PED-4, PED-5, PED-6, PED-7, PED-8 filmleri ve PEF-0, PEF-1, PEF-2, PEF-3 liflerinin T_g sonuçlarına bakılmıştır. Saf PLA' ya eklenen Eikosan oranlarındaki artış ile filmlerin T_g sonuçlarında artmalar gözlenmiştir. Liflere bakıldığında da, saf PLA' ya Eikosan ilaveleri ile liflerin T_g değerleri artış göstermiştir. TGA sonuçlarına baktığımızda filmlerde Eikosan ilaveleri ile bozunma sıcaklığında artma varken liflerde ise saf PLA' ya ilave edilen Eikosan miktarı arttıkça bozunma sıcaklığında azalma gözlemlenerek malzemenin termal kararlılığı azalmaktadır. DSC Analizleri incelendiğinde ise PLA' ya ilave edilen Eikosan konsantrasyonu arttıkça Eikosanın erime sıcaklıklarında önemli bir artış gözlemlenmezken, Eikosan miktarı arttıkça filmlerin ısı depolama kapasitelerinde artış gözlemlenmiştir. SEM sonuçlarına bakıldığında ise liflerde Eikosan konsantrasyonu arttıkça lif çaplarında artış gözlenirken düşük konsantrasyonlarda boncuklu yapılar gözlenmiştir. Sonuç olarak yaptığımız analizlerde çözelti dökme yöntemiyle elde edilen film ve elektro eğirme yöntemiyle elde edilen liflere artan oranlarda Eikosan ilavesi sonucunda termal ve mekanik özelliklerinde ne gibi etkiler gösterdiklerini tespit edip poli(laktik asit) içeren film ve liflerin Eikosan ile uyumu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abhat A., 1983. Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage Materials. *Solar Energy*, 30: 313-332.
- 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: 615-628.
- Akçay M., 2006. Isıl Enerji Depolama Amaçlı Bazı Polimer Yağ Asidi Karışımlarının Hazırlanması ve Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye.
- Alay S., 2010. Isıl Enerji Depolama Özellikli Mikrokapsüller İçeren Akıllı Tekstil Ürünlerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye.
- Arda K., 2006. Güneş Enerjisinin Depolanması ve Isıl Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Türkiye.
- Arslan Ö., 1993. Enerjinin Faz Değişimi İle Tuz Hidratlarda Depolanması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Türkiye.
- Baetensa R., Jelle, P., Gustavsen, A., 2010. Phase Change Materials For Building Applications: A State-Of-The-Art Review. *Energy and Buildings*, 42: 1361–1368.
- Bar M., Alagirusamy R., Das A., 2015. Flame Retardant Polymer Composites. *Fibers Polym.*, 16 (4): 705–717.
- Bayrak İ., 2005. Polyvinylpyrrolidone Serbest Radikal Polimerizasyonunun Dielektrik Spektroskopisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Bruno F., 2005. Using Phase Change Materials (PCMs) for Space Heating and Cooling in Buildings, *EcoLibrium. Journal of Australian Institute of Refrigeration, Air conditioning and Heating*, 4 (2): 26-31.
- Bugaje I., 1997. Enhancing The Thermal Response of Latent Heat Storage Systems. *International Journal of Energy Research*, 65: 759-766.

- Carrasco F., Pagès P., Gámez-Pérez J., Santana O.O., Maspoch M.L., 2010. Processing of Poly (Lactic Acid): Characterization of Chemical Structure. Thermal Stability and Mechanical Properties. *Polym. Degrad. Stab.*, 95 (2): 116–125.
- Casasola R., Thomas N.L., Trybala A., Georgiadou S., 2014. Electrospun Poly Lactic Acid (PLA) Fibres: Effect of Different Solvent Systems on Fibre Morphology and Diameter. *Polymer*, 55: 4728–4737.
- Cedeno F.O., Prieto M.M., Espina A., Garcia J.R., 2001. Measurement of Temperature and Melting Heat of Some Pure Fatty Acids and Their Binary and Ternary Mixtures by Differential Scanning Calorimeter, *Thermochimica*, 369: 39- 50.
- Demircioğlu E., 2003. Türkiye İçin Sürdürülebilir Enerji Çevre Politikaları. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Türkiye.
- Demir İ., 2002. Enerji, İstanbul: Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları: 3668, s.1.
- Dikici D., 2004. Doğal Soğuk Kaynaklardan Yararlanan Yer Altı Kanallarında Termal Enerji Depolanması (Kted). Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Türkiye.
- Dinçer I, Rosen M.A., 2002. *Thermal Energy Storage, Systems And Applications*, John Wiley & Sons. Chicheser. England.
- Do C.V., Nguyen T.T.T., Park J.S., 2013. Phase-Change Core/Shell Structured Nanofibers Based on Eicosane/Poly (Vinylidene Fluoride) for Thermal Storage Applications. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 30 (7): 1403-1409.
- Ece O.I., Güngör, N., Alemdar, A., 1999. Influence Of Some Polymers, Electrolytes, And The Surfactant An Flow Properties Of Bentonit-Water Systems. *Inclusion Phenomena And Macrocylic Chemistry*, 33: 155-168.
- Encyclopedia Britannica, “Energy”, Vol. 6.
- Erkan G., 2004. Enhancing The Thermal Properties of Textiles With Phase Change Materials. *Research Journal of Textile and Apparel*, 8 (2): 57-64.
- 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*, 45: 1597-1615.

- Feldman D., Shapiro M.M., Banu D., 1986. Organic Phase Change Materials For Thermal Energy Storage. *Solar Energy Mater.*, 13: 1-10.
- Henton D.E., Gruber P., Lunt J., Randall J., 2005. Polylactic Acid Technology, Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites, 16: 527-577.
- Garg H.P., Mullick S.C., Bhargava A.K., 1985. *Solar Thermal Energy Storage*, D. Reidel Publishing Company, New Delhi, India.
- Gu S.Y., Wang Z.M., Ren J., Zhang C.Y., 2009. Electrospinning of gelatin and gelatin/poly(l-lactide) blend and its characteristics for wound dressing. *Materials Science and Engineering*. 29 (6): 1822-1828.
- Gümüş S., Özkoç G., Aytaç A., 2012. Plasticized and Unplasticized PLA/Organoclay Nanocomposites: Short- and Long-Term Thermal Properties, Morphology, and Nonisothermal Crystallization Behavior. *Journal of Applied Polymer Science*, 123: 2837-2848.
- Günerhan H., 2004. Duyulur Isı Depolama ve Bazalt Taşı. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 540.
- Güngör N., Ece I., 1999. Effect of The Absorption of Non-Ionic Polymer PVP On The Rheological Properties of Na-Activated Bentonite. *Materials Letter* , 39: 1-5.
- Hale D.V., Hoover M.J., O'Neill M.J., 1971. *Phase Change Materials Hand Book*, NASA, Marshal Space Flight Center, Alabama.
- Hasnain M.S., 1998a. Review on Sustainable Thermal Energy Storage Technologies, Part I: Heat Storage Materials on Techniques, *Energy Convers. Mgmt.*, 39 (11): 1127-1138.
- Hasnain M.S., 1998b. Review on Sustainable Thermal Energy Storage Technologies, Part II : Cool Thermal Storage, *Energy Convers. Mgmt.*, 39 (11): 1139-1153.
- Herrick S, Golibersuch D.C., 1978. Quantitative Behavior of A New Latent Heat Storage Device for Solar Heating/Cooling Systems. In: *General International Solar Energy Society Conference*.

- Ho C., Gao J., 2009. Preparation and Thermophysical Properties of Nanoparticle-In-Paraffin Emulsion As Phase Change Material. *International Communications In Heat and Mass Transfer*, 36 (5): 467-470.
- Jamshidian M., Tehrany E.A., Imran, M., Jacquot M., Desobry S., 2010. PolyLactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 9 (5): 552–571.
- Jeun J-P., Kim Y-H., Lim Y-M., Choi J-H., Jung C-H., Kang P-H., Nho Y-C., 2007. Electrospinning of Poly (L-lactide-co-D,L-lactide). *Journal of Industrial Engineering Chemicals*, 13 (4): 592-596.
- Jia X., Jinhui Z., Weiquan G., Hongyan W., Junfeng L., 2009. Preparation of Chitosan PLA Blend Micro/Nanofibers by Electrospinning. *Material Letters*, 63: 658-660.
- Karagöz F., 2014. Poli(D,L-Laktik Asit-Ko-Serin-Nh₂) Kopolimerinin Sentezi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Türkiye.
- Karaipekli A., 2006. Faz Değişimli Enerji Depolama Maddelerinde Isıl İletkenliğin Zenginleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye.
- Katiyar V., Gerds N., Koch C.B., Risbo J., Hansen H.C.B., Plackett D., 2011. Melt Processing Of Poly(L-Lactic Acid) In The Presence Of Organomodified Anionic or Cationic Clays. *Journal of Applied Polymer Science*, 122: 112-125.
- Keleş S., 2003. Laurik-Miristik Asit Ötektik Karışımlarının Enerji Depolama Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Konuklu Y., Paksoy H.Ö., 2009. Phase Change Material Sandwich Panels for Managing Solar Gain In Buildings. *Journal Of Solar Energy Engineering*, 131: 1-7.
- Lafçı Ö., 2012. Yeni Tip Katı-Katı Faz Değişim Maddeleri Olarak Poli(Stiren-Ko-Allilalkol)-Graft-Yağ Asidi Kopolimerlerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Isıl Enerji Depolama Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye.
- Lane G.A., 1983. *Solar Heat Storage: Latent Heat Materials*, Vol. I. Boca Raton, Florida: Crc Press.

- Lane G.A., 1989. Phase Change Thermal Storage Materials. In: Hand Book of Thermal Design. In: Guyer, C., Ed. McGraw Hill Book Co.
- Lehermeier H.J., Dorgan R., Way J.D., 2001. Gas Permeation Properties of Poly (Lactic Acid). J. Memb. Sci. 190 (2): 243–251.
- Li D., Frey M.W., Baeumner A.J., 2006. Electrospun Polylactic Acid Nanofiber Membranes As Substrates For Biosensor Assemblies. Journal of Membrane Science, 279 (1–2): 354–363.
- Martínez-Abad A., Ocio M.J., Lagaron J.M., 2014. *Morphology, Physical Properties, Silver Release, And Antimicrobial Capacity of Ionic Silver-Loaded Poly(L-Lactide) Films of Interest in Food-Coating Applications*. J. Appl. Polym. Sci., 131:41001.
- Mazman M., 2006, Gizli Isı Depolaması ve Uygulamaları. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Türkiye.
- Mazman M., Paksoy H.Ö., Evliya H., 2002. Güneş Enerjisinin Yağ Asitlerinde Gizli Isı Şeklinde Depolanması. Proceedings Of The Fourth Gap Engineering Congress, 06-08 June, Şanlıurfa, Turkey.
- Mehling H., Cabeza L.F., 2008. Heat and Cold Storage with PCM: An up to date Introduction into Basics and Applications. New York: Springer.
- Mohanty A.K., Misra M., Drzal L.T., 2005. Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Nordell B., 2003. Thermal Pollution Causes Global Warming. Global And Planetary Change, 38: 305-312.
- Önder E., Sarier N., 2006. Sıcaklık Düzenleme Özelliği Olan Akıllı Tekstil Ürünlerinin Tasarımı, TÜBİTAK, Proje no: MİSAG 238.
- Özonur (Konuklu) Y., 2004. Düşük Sıcaklıkta Termal Enerji Depolamasına Uygun Faz Değiştiren Maddelerin Mikrokapsüllenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Türkiye.
- Paksoy H.Ö., 1992. Thermal Analysis of Heat Storage Materials and Integrated Heat Pump and Thermal Energy Storage. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Türkiye.

- Pan P.J., Zhu B., Dong T., Inoue Y., 2008. Poly(L-Lactide)/Layered Double Hydroxides Nanocomposites: Preparation and Crystallization Behaviour. *Journal of Polymer Science Part B Polymer Physics*, 46:2222-2233.
- Parameswaranpillai J., Thomas S., Grohens Y., 2014. Polymer Blends: State of the Art, New Challenges, and Opportunities, in *Characterization of Polymer Blends*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 1–6.
- Qin H.X., Wang S.Y., 2006. Filtration Properties of Electrospinning Nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 102: 1285–1290.
- Qin L., Qiu, J., Liu, M., Ding, S., Shao, L., Lü, S., Zhang, G., Zhao, Y., Fu, X., 2011. Mechanical and thermal properties of poly (lactic acid) composites with rice straw fiber modified by poly (butyl acrylate), *Chem Eng J*, 166: 772-778.
- Ruiz-Hitzky E., Darder M., Aranda J.P., 2005. Functional Biopolymer Nanocomposites Based on Layered Solids. *Mater.Chem.*, 15: 3650-3662.
- Saçak M., 1998. *Polimer Kimyasına Giriş Kitabı*, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Ankara.
- Sarı A., 2000. Bazı Yağ Asitleri ve Ötektik Karışımlarının Enerji Depolayıcı Madde Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye.
- Sarı A., 2005. Eutectic Mixtures Of Some Fatty Acids For Low Temperature Solar Heating Applications: Thermal Properties and Thermal Reliability. *Applied Thermal Engineering*, 25: 2100–2107.
- Sarı A., Tarhan S., Kaygusuz K., 2005. Enerjiyi Düşük Sıcaklıkta Gizli Isı Olarak Depolayan Kimyasal Maddeler. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu. Kayseri
- Savaşçı Ö.T., Uyanık N., Akovalı G., 1998a. Plastikler ve Plastik Teknolojisi, Çantay Kitabevi, İstanbul, 7-13.
- Savaşçı Ö.T., Uyanık N., Akovalı G., 1998b. Plastikler ve Plastik Teknolojisi, Çantay Kitabevi, İstanbul, 17-20.

- Savaşçı Ö.T., Uyanık N., Akovalı G., 1998c. Plastikler ve Plastik Teknolojisi, Çantay Kitabevi, İstanbul, 365-366.
- Sawyer D. J., 2003. Bioprocessing- No Longer a Field of Dreams. *Macromolecular Symposia*, 201: 271-281.
- Schiffman J.D., Schauer C. L., 2008. A Review: Electrospinning of Biopolymer Nanofibers and Their Applications. *Polymer Reviews*, 48: 317-352.
- 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: 318–345.
- Sharma S.D., Sagara K., 2005. Latent Heat Storage Materials and Systems: A Review. *International Journal of Breen Energy*, 2: 1-56.
- Shin Y.M., Hohman M.M., Brenner M.P., Rutledge G.C., 2001. Electrospinning: A Whipping Fluid Jet Generates Submicron Polymer Fibers. *Applied Physics Letters*, 78 (8): 1-3.
- Sonebi M., 2006. Rheological Properties of Grouts with Viscosity Modifying Agents As Diutan Gum and Welan Gum Incorporating Pulverised Fly Ash. *Cement And Concrete Research*, 36 (9): 1609-1618.
- Suppes G. J., Goff M.J., Lopes S., 2003. Latent Heat Characteristic of Fatty Acid Derivatives Pursuant Phase Change Material Applications *Chemical Engineering Science*, 58: 1751-1763.
- Şahan N., Fois M., Paksoy H., 2015. Improving Thermal Conductivity Phase Change Materials A Study Of Paraffin Nanomagnetite Composites. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 137, 61-67.
- Tihminhoğlu F., Oğuzlu H., Özçalık O., Akın O., 2010. Biyobozunur Polimer Tabakalı Silikat Nanokompozitler ve Gıda Ambalajı Uygulamaları Konusundaki Gelişmeler. *Pagev Plastik Dergisi*, Kasım –Aralık.
- TÜBİTAK, 2003. Vizyon 2023 Teknoloji Öngörü Projesi Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli Raporu, Ankara.

- Uzun M., 2012. Numerical Investigation Of Encapsulated Ice Thermal Energy Storage System, İzmir
- Verma P., V., Singal S. 2008. Review of Mathematical Modeling on Latent Heat Thermal Energy Storage Systems Using Phase-Change Material. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12: 999-1031.
- Wang R.M., Zheng S.R., Zheng Y.P., 2011. Introduction To Polymer Matrix Composites, In Polymer Matrix Composites And Technology. Woodhead Publishing, 1–548.
- Wang X., Lu E., Lin W., Liu T., Shi Z., Tang R., Wang C., 2000a. Heat Storage Performance of The Binary Systems Neopentyl Glycol/Pentaerythritol and Neopentyl Glycol/Trihydroxy Menthylaminomethane as Solid Phase Change Materials, Energy Conservation and Management, 41: 129-134.
- Wang Y., Xia T.D., Feng H.X., 2011. Eicosane/Polycarbonate Composite as Form-Stable Phase Change Materials for Latent Heat Thermal Energy Storage. Advanced Materials Research, 221: 78-84.
- Xi L., Zhang P., Wang R., 2010. Preparation and Thermal Characterization of Expanded Graphite/Paraffin Composite Phase Change Material. Carbon, 48 (9): 2538-2548.
- Yalçınkaya S.E., 2008, Nanokil-Polimer Kompozitlerin Sentez ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Türkiye.
- Yazıcı M.Y., 2013. Kaçık Eksenli Yatay Silindirik Bir Halka İçerisinde Parafinle Gizli Isı Depolama. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Yılmaz E., 2013. Epoksi/Kaolin Kompozitlerinin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Türkiye.
- Yılmaz S., 2008. Soğutma Uygulamaları İçin Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolaması Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Türkiye.
- Zalba B., Marin J.M., Cabeza L.F., Mehling H., 2003. Review on Thermal Energy Storage with Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis and Applications. Applied Thermal Engineering, 23: 251-283.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: İsmail Cem SANCAK

Doğum Yeri: ÇANAKKALE/ÇAN

Doğum Tarihi: 15.12.1991

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

- a) Yayınlar -SCI -Diğer
- b) Bildiriler -Uluslararası –Ulusal

ISCMP - II. International Joint Science Congress of Materials and Polymers ALBANIA 2018 (9-12 November) (Poster Sunumu)

- c) Katıldığı Projeler

27.Ulusal Kimya Kongresi (23-25 Ağustos 2015) (Görevli)

İŞ DENEYİMİ

Kale Seramik Fabrikası AR-GE Merkez Kimya Analiz Laboratuvarı-Çanakkale (Stajer-Ağustos 2013)

Halk Eğitim Merkezi ve Akşam Sanat Okulu-Çanakkale (Kimya Öğretmeni, 2014-2015)

Bilgi Teknik Özel Öğretim Kursu-Çanakkale (Kimya Öğretmeni, 2016-2017)

Bilge Adım Eğitim Kurumları-Çanakkale (Kimya Öğretmeni, 2017-...)

İLETİŞİM

E-posta Adresi: sancakismailcem@gmail.com