



**T.C.  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇEŞİTLİ KATKI MALZEMELERİ İÇEREN PHB/TPU  
KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE  
KARAKTERİZASYONU**

**Emrehan ÖNER**

**BURDUR, 2019**



**T.C.  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇEŞİTLİ KATKI MALZEMELERİ İÇEREN PHB/TPU  
KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE  
KARAKTERİZASYONU**

**Emrehan ÖNER**

**Danışman: Prof. Dr. Birten ÇAKMAKLI**

**BURDUR, 2019**

## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Emrehan ÖNER tarafından Prof. Dr. Birten ÇAKMAKLI yönetiminde hazırlanan “Çeşitli Katkı Malzemeleri İçeren PHB/TPU Kompozitlerinin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 27/06/2019

**Prof. Dr. Birten ÇAKMAKLI** (Başkan)  
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü

**Prof. Dr. Temel ÖZTÜRK** (Jüri Üyesi)  
Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü



**Dr. Öğr. Üyesi Lokman YÜNLÜ** (Jüri Üyesi)  
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

### ONAY

Bu Tez, Enstitü Yönetim Kurulu'nun \_\_\_\_\_ Tarih ve \_\_\_\_\_ Sayılı Kararı ile Kabul Edilmiştir.

**Prof. Dr. Ayşe Gül MUTLU GÜLMEMİŞ**

Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Çeşitli Katkı Malzemeleri İçeren PHB/TPU Kompozitlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı, bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

27 / 06/ 2019

Emrehan ÖNER

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Birten ÇAKMAKLI'ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Deney aşamasındaki katkılarında dolayı Erciyes Üniversitesindeki Doç. Dr. Eyyüp GERÇEKÇİOĞLU hocama çok teşekkür ederim.

Deney aşamasında yardımcı olan Erciyes Üniversitesi ERNAM laboratuvarı personeli Tekniker İsmail KILIÇ ve doktora öğrencisi Ayşegül ERDEM'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Malzeme temin edilmesinde PSL Elektronik Fiberli A.Ş. yönetim kurulu başkanı Sayın Cengiz ŞENTÜRK'e ve KEMPRO KİMYASAL MADDELER VE DIŞ TİCARET A.Ş.'den yönetim kurulu asist. Fatma CÖMERT'e teşekkür ediyorum.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Haziran, 2019

Emrehan ÖNER

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	v
ÇİZELGE DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. POLİMERLER .....	2
2.1 Polimerlerin Sınıflandırılması .....	2
2.1.1. Molekül Ağırlığına Göre .....	2
2.1.2. Oluşumuna Göre.....	2
2.1.3. Kaynağına Göre.....	2
2.1.4. Sentezleme Tepkimesine Göre .....	3
2.1.5. Polimerizasyon Mekanizmasına Göre .....	3
2.1.6. Polimerlerin Fiziksel Yapısına Göre .....	3
2.1.7. Zincir Yapısına Göre .....	4
2.1.8. Isıya Karşı Gösterdiği Davranışa Göre.....	4
2.2 Kullanılan Polimerler .....	4
2.2.1. Poli (3-hidroksibutirat) (PHB).....	4
2.2.2. Termoplastik Poliüretan (TPU) .....	5
2.2.3. Polipropilen (PP) .....	5
2.2.4. Polivinilidenflorit (PVDF).....	6
3. KOMPOZİT MALZEMELER .....	7
3.1 Tarihçe.....	7
3.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	7
3.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	8
3.3.1. Matris malzemesine göre sınıflandırma .....	8
3.3.2. Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırma.....	9
3.4 Partikül Takviyeli Termoplastik Kompozitler .....	10

3.5. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	11
3.5.1. Ekstrüzyon Üretim Yöntemi.....	12
3.5.2. Enjeksiyon Üretim Yöntemi.....	13
3.6. PHB ve/veya TPU İçeren Kompozitler .....	14
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
4.1. Materyal.....	15
4.1.1. Poly[(R)-3-hydroxybutyric acid] (PHB) .....	15
4.1.2. Polipropilen (PP) .....	15
4.1.3. Termoplastik Poliüretan (TPU) .....	15
4.1.4. Poli(vinilden fluorür) (PVDF).....	15
4.1.5. Baryum Titanat (IV) ( $BaTiO_3$ ) .....	15
4.1.6. Bor Nitrür (BN) .....	15
4.2. Aletler ve Cihazlar.....	16
4.2.1. Çift Vidalı Ekstrüder .....	16
4.2.2. Enjeksiyon Kalıp .....	16
4.2.3. Fourier Transform Infrared Spektrometresi (FTIR) .....	16
4.2.4. Differansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC).....	16
4.2.5. Termogravimetrik Analiz (TGA) .....	16
4.2.6. Dinamik Mekanik Analiz (DMA) .....	16
4.2.7. Çekme-Germe Test.....	17
4.2.8. Üç Nokta Eğme .....	17
4.2.9. Sertlik Ölçüm.....	17
4.2.10. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	17
4.3. Yöntem .....	17
4.3.1. Numunelerin Hazırlanması.....	17
4.3.2. Ekstürizyon ve Proses Parametreleri .....	18
4.3.3. Enjeksiyon Kalıplama ve Proses Parametreleri.....	19
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	21
5.1. Kompozitlerin Yapısal Özellikleri .....	21
5.1.1. FT-IR Analizleri .....	21
5.2. Termal Özellikler .....	23
5.2.1. DSC Analizi.....	23
5.2.2. TGA Analizi .....	24
5.3. Mekanik Analizler .....	30



5.3.1. Dinamik Mekanik Analiz (DMA) .....	30
5.3.2 Çekme-Germe.....	32
5.3.3. Üç Nokta Eğme Testi .....	36
5.3.4. Shore-D Sertlik.....	38
5.4. Morfolojik Özellikleri .....	40
5.4.1. SEM Görüntüleri .....	40
6. SONUÇ.....	45
KAYNAKLAR.....	47
EKLER .....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	132



## ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kompozitlerin sınıflandırılması .....	7
Şekil 3.2. Ekstrüzyon cihazı .....	12
Şekil 3.3. Enjeksiyon cihazı .....	13
Şekil 4.1. Lif haldeki kompozit numuneler .....	19
Şekil 4.2. Kalıplanan numunelerin görüntüleri .....	20
Şekil 5.1. TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF, TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> ve TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN FTIR spektrumu .....	22
Şekil 5.2. TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> , TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF, TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> ve TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN FTIR spektrumu.....	22
Şekil 5.3. TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> , TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF, TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> ve TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> / %0,5h-BN FTIR spektrumu.....	23
Şekil 5.4. TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF (EB-2) ve TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3) ve TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN (EB-4) TGA analiz sonuçları .....	27
Şekil 5.5. TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5), TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7) ve TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-8) TGA analiz sonuçları.....	28
Şekil 5.6. TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> (EB-9), TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-10), TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-11) ve TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-12) TGA analiz sonuçları .....	29
Şekil 5.7. Kompozitlerin Modulus – Sıcaklık DMA grafiği .....	31
Şekil 5.8. Kompozitlerin Loss Modulus – Sıcaklık DMA grafiği.....	31
Şekil 5.9. Kompozitlerin Tan Delta – Sıcaklık DMA grafiği .....	32
Şekil 5.10. TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF (EB-2), TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3) ve TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN (EB-4) çekme analizlerinin grafiği .....	35
Şekil 5.11. TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5), TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-6), TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7) ve TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-8) çekme analizlerinin grafiği .....	35
Şekil 5.12. TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> (EB-9), TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-10), TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-11) ve TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-12) çekme analizlerinin grafiği .....	35

<b>Şekil 5.13.</b> Elde edilen tüm kompozitlerin çekme grafiği.....	36
<b>Şekil 5.14.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF (EB-2), TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3) ve TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN (EB-4) Üç Nokta Eğme analizlerinin grafiği.....	37
<b>Şekil 5.15.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5), TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF(EB-6), TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7) ve TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN(EB-8) Üç Nokta Eğme analizlerinin grafiği .....	37
<b>Şekil 5.16.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> (EB-9), TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF(EB-10), TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-11) ve TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN(EB-12) Üç Nokta Eğme analizlerinin grafiği .....	38
<b>Şekil 5.17.</b> Numunelerin sertlik ölçüm grafiği.....	40
<b>Şekil 5.18.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF (EB-2) .....	41
<b>Şekil 5.19.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3).....	41
<b>Şekil 5.20.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN (EB-4).....	42
<b>Şekil 5.21.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5).....	42
<b>Şekil 5.22.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-6) .....	42
<b>Şekil 5.23.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7) .....	43
<b>Şekil 5.24.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-8).....	43
<b>Şekil 5.25.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> (EB-9) .....	43
<b>Şekil 5.26.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-10) .....	44
<b>Şekil 5.27.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-11) .....	44
<b>Şekil 5.28.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-12).....	44
<b>EK 1 - Şekil 6.1.</b> % 100 PP kompozitinin FT-IR spektrumu.....	49
<b>EK 1 - Şekil 6.2.</b> % 100 TPU kompozitinin FT-IR spektrumu .....	50
<b>EK 1 - Şekil 6.3.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF kompozitinin FTIR spektrumu (EB-2).....	50
<b>EK 1 - Şekil 6.4.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-3) .....	51
<b>EK 1 - Şekil 6.5.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-4) .....	51
<b>EK 1 - Şekil 6.6.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-5).....	52
<b>EK 1 - Şekil 6.7.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-6)...	52
<b>EK 1 - Şekil 6.8.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-7).	53
<b>EK 1 - Şekil 6.9.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN kompozitinin FTIR spektrumu (EB-8) .....	53
<b>EK 1 - Şekil 6.10.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-9).....	54
<b>EK 1 - Şekil 6.11.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF kompozitinin FTIR spektrumu (EB-10) ...	54
<b>EK 1 - Şekil 6.12.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-11)	55
<b>EK 1 - Şekil 6.13.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN kompozitinin FTIR spektrumu (EB-12).....	55

<b>EK 2 - Şekil 6.1.</b> % 100 PP kompozitinin DSC grafiği .....	56
<b>EK 2 - Şekil 6.2.</b> % 100 TPU kompozitinin DSC grafiği .....	57
<b>EK 2 - Şekil 6.3.</b> TPU <sub>100</sub> / %0,5h-BN kompozitinin DSC grafiği (EB-4).....	58
<b>EK 2 - Şekil 6.4.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> kompozitinin DSC grafiği (EB-5).....	59
<b>EK 2 - Şekil 6.5.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> / %0,5PVDF kompozitinin DSC grafiği (EB-6) .....	60
<b>EK 2 - Şekil 6.6.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin DSC grafiği (EB-7) .....	61
<b>EK 2 - Şekil 6.7.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5h-BN kompozitinin DSC grafiği (EB-8).....	62
<b>EK 2 - Şekil 6.8.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> kompozitinin DSC grafiği (EB-9) .....	63
<b>EK 2 - Şekil 6.9.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5PVDF kompozitinin DSC grafiği (EB-10).....	64
<b>EK 2 - Şekil 6.10.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin DSC grafiği (EB-11).....	65
<b>EK 2 - Şekil 6.11.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5h-BN kompozitinin DSC grafiği (EB-12).....	66
<b>EK 3 - Şekil 6.1.</b> % 100 PP kompozitinin TGA grafiği.....	67
<b>EK 3 - Şekil 6.2.</b> % 100 TPU kompozitinin TGA grafiği .....	67
<b>EK 3 - Şekil 6.3.</b> TPU <sub>100</sub> / %0,5PVDF kompozitinin TGA grafiği (EB-2) .....	68
<b>EK 3 - Şekil 6.4.</b> TPU <sub>100</sub> / %0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-3) .....	69
<b>EK 3 - Şekil 6.5.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-4).....	70
<b>EK 3 - Şekil 6.6.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-5) .....	71
<b>EK 3 - Şekil 6.7.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5PVDF kompozitinin TGA grafiği (EB-6).....	72
<b>EK 3 - Şekil 6.8.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-7).....	73
<b>EK 3 - Şekil 6.9.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5h-BN kompozitinin TGA grafiği (EB-8) .....	74
<b>EK 3 - Şekil 6.10.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-9).....	75
<b>EK 3 - Şekil 6.11.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5PVDF kompozitinin TGA grafiği (EB-10) .....	76
<b>EK 3 - Şekil 6.12.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-11) .....	77
<b>EK 3 - Şekil 6.13.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5h-BN kompozitinin TGA grafiği (EB-12) .....	78
<b>EK 4 - Şekil 6.1.</b> % 100 TPU kompozitinin DMA analizi.....	79
<b>EK 4 - Şekil 6.2.</b> TPU <sub>100</sub> / %0,5PVDF kompozitinin DMA analizi (EB-2) .....	80
<b>EK 4 - Şekil 6.3.</b> TPU <sub>100</sub> / %0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-3).....	81
<b>EK 4 - Şekil 6.4.</b> TPU <sub>100</sub> / %0,5h-BN kompozitinin DMA analizi (EB-4) .....	82
<b>EK 4 - Şekil 6.5.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-5) .....	83
<b>EK 4 - Şekil 6.7.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / % 0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-7) .....	85
<b>EK 4 - Şekil 6.8.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5h-BN kompozitinin DMA analizi (EB-8) .....	86
<b>EK 4 - Şekil 8.9.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-9) .....	87
<b>EK 4 - Şekil 6.10.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> / %0,5PVDF kompozitinin DMA analizi (EB-10) .....	88
<b>EK 4 - Şekil 8.11.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> / %0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-11) .....	89

<b>EK 4 - Şekil 8.12.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5h-BN Kompozitinin DMA Analizi (EB-12).....	90
<b>EK 5 - Şekil 6.1.</b> % 100 PP kompozitinin çekme grafiği .....	91
<b>EK 5 - Şekil 6.2.</b> % 100 TPU kompozitinin çekme grafiği .....	91
<b>EK 5 - Şekil 6.3.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5PVDF kompozitinin çekme grafiği (EB-2) .....	92
<b>EK 5 - Şekil 6.4.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-3).....	92
<b>EK 5 - Şekil 6.5.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5h-BN kompozitinin çekme grafiği (EB-4) .....	92
<b>EK 5 - Şekil 6.6.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-5) .....	93
<b>EK 5 - Şekil 6.7.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5PVDF kompozitinin çekme grafiği (EB-6).....	93
<b>EK 5 - Şekil 6.8.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-7).....	93
<b>EK 5 - Şekil 6.9.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5h-BN kompozitinin çekme grafiği (EB-8).....	94
<b>EK 5 - Şekil 6.10.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-9).....	94
<b>EK 5 - Şekil 6.11.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5PVDF kompozitinin çekme grafiği (EB-10).....	94
<b>EK 5 - Şekil 6.12.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-11).....	95
<b>EK 5 - Şekil 6.13.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5h-BN kompozitinin çekme grafiği (EB-12) .....	95
<b>EK 6 - Şekil 6.1.</b> % 100 PP kompozitinin üç nokta eğme grafiği .....	96
<b>EK 6 - Şekil 6.2.</b> % 100 TPU kompozitinin üç nokta eğme grafiği .....	96
<b>EK 6 - Şekil 6.3.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5PVDF kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-2).....	97
<b>EK 6 - Şekil 6.4.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-3) .....	98
<b>EK 6 - Şekil 6.5.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5h-BN kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-4) .....	99
<b>EK 6 - Şekil 6.6.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-5) .....	100
<b>EK 6 - Şekil 6.7.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5PVDF kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-6)	101
.....	
<b>EK 6 - Şekil 6.8.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-7)	102
.....	
<b>EK 6 - Şekil 6.9.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5h-BN kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-8)	103
.....	
<b>EK 6 - Şekil 6.10.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-9).....	104
<b>EK 6 - Şekil 6.11.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5PVDF kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-10)	105
.....	
<b>EK 6 - Şekil 6.12.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-11).....	106
<b>EK 6 - Şekil 6.13.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5h-BN kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-12)	107
.....	
<b>EK 6 - Şekil 6.14.</b> Kompozitinin üç nokta eğme grafiği .....	108

<b>EK 7 – Şekil 6.1.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF (EB-2) .....	109
<b>EK 7 – Şekil 6.2.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF (EB-2) .....	109
<b>EK 7 – Şekil 6.3.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF (EB-2) .....	110
<b>EK 7 – Şekil 6.4.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3) .....	110
<b>EK 7 – Şekil 6.5.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3) .....	110
<b>EK 7 – Şekil 6.6.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3) .....	111
<b>EK 7 – Şekil 6.7.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN (EB-4) .....	111
<b>EK 7 – Şekil 6.8.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN (EB-4) .....	111
<b>EK 7 – Şekil 6.9.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN (EB-4) .....	112
<b>EK 7 – Şekil 6.10.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5) .....	112
<b>EK 7 – Şekil 6.11.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5) .....	112
<b>EK 7 – Şekil 6.12.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5) .....	113
<b>EK 7 – Şekil 6.13.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-6) .....	113
<b>EK 7 – Şekil 6.14.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-6) .....	113
<b>EK 7 – Şekil 6.15.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-6) .....	114
<b>EK 7 – Şekil 6.16.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7).....	114
<b>EK 7 – Şekil 6.17.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7).....	114
<b>EK 7 – Şekil 6.18.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7).....	115
<b>EK 7 – Şekil 6.19.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-8).....	115
<b>EK 7 – Şekil 6.20.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-8).....	115
<b>EK 7 – Şekil 6.21.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-8).....	116
<b>EK 7 – Şekil 6.22.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> (EB-9).....	116
<b>EK 7 – Şekil 6.23.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> (EB-9).....	116
<b>EK 7 – Şekil 6.24.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> (EB-9).....	117
<b>EK 7 – Şekil 6.25.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-10).....	117
<b>EK 7 – Şekil 6.26.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-10).....	117
<b>EK 7 – Şekil 6.27.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF (EB-10).....	118
<b>EK 7 – Şekil 6.28.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB11) .....	118
<b>EK 7 – Şekil 6.29.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB11) .....	118
<b>EK 7 – Şekil 6.30.</b> TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB11) .....	119
<b>EK 7 – Şekil 6.31.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB12) .....	119
<b>EK 7 – Şekil 6.32.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB12) .....	119
<b>EK 7 – Şekil 6.33.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN (EB-12).....	120
<b>EK 7 – Şekil 6.34.</b> TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF (EB-2) .....	120

<b>EK 7 – Şekil 6.35.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5PVDF (EB-2) .....	121
<b>EK 7 – Şekil 6.36.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5PVDF (EB-2) .....	121
<b>EK 7 – Şekil 6.37.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3) .....	121
<b>EK 7 – Şekil 6.38.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3) .....	122
<b>EK 7 – Şekil 6.39.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-3) .....	122
<b>EK 7 – Şekil 6.40.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5h-BN (EB-4) .....	122
<b>EK 7 – Şekil 6.41.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5h-BN (EB-4) .....	123
<b>EK 7 – Şekil 6.42.</b> TPU <sub>100</sub> /0,5h-BN (EB-4) .....	123
<b>EK 7 – Şekil 6.43.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5) .....	123
<b>EK 7 – Şekil 6.44.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5) .....	124
<b>EK 7 – Şekil 6.45.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> (EB-5) .....	124
<b>EK 7 – Şekil 6.46.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5PVDF (EB-6) .....	124
<b>EK 7 – Şekil 6.47.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5PVDF (EB-6) .....	125
<b>EK 7 – Şekil 6.48.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5PVDF (EB-6) .....	125
<b>EK 7 – Şekil 6.49.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7) .....	125
<b>EK 7 – Şekil 6.50.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7) .....	126
<b>EK 7 – Şekil 6.51.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB-7) .....	126
<b>EK 7 – Şekil 6.52.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5h-BN (EB-8) .....	126
<b>EK 7 – Şekil 6.53.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5h-BN (EB-8) .....	127
<b>EK 7 – Şekil 6.54.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /0,5h-BN (EB-8) .....	127
<b>EK 7 – Şekil 6.55.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> (EB-9) .....	127
<b>EK 7 – Şekil 6.56.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> (EB-9) .....	128
<b>EK 7 – Şekil 6.57.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> (EB-9) .....	128
<b>EK 7 – Şekil 6.58.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5PVDF (EB-10) .....	128
<b>EK 7 – Şekil 6.59.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5PVDF (EB-10) .....	129
<b>EK 7 – Şekil 6.60.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5PVDF (EB-10) .....	129
<b>EK 7 – Şekil 6.61.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB11) .....	129
<b>EK 7 – Şekil 6.62.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB11) .....	130
<b>EK 7 – Şekil 6.63.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5BaTiO <sub>3</sub> (EB11) .....	130
<b>EK 7 – Şekil 6.64.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5h-BN (EB12) .....	130
<b>EK 7 – Şekil 6.65.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5h-BN (EB12) .....	131
<b>EK 7 – Şekil 6.66.</b> TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /0,5h-BN (EB12) .....	131

## ÇİZELGE DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 2.1.</b> PHB ve PP'in özellikleri.....	5
<b>Tablo 4.1.</b> Elde edilen kompozitlerin % bileşimleri .....	18
<b>Tablo 5.1.</b> Kompozitlerin DSC analiz sonuçları.....	24
<b>Tablo 5.2.</b> Kompozitlerin TGA analiz sonuçları .....	26
<b>Tablo 5.3.</b> Kompozit numunelerin çekme-germe testi belirleme sonuçları.....	34
<b>Tablo 5.4.</b> Kompozit numunelerin üç nokta eğme analiz sonuçları .....	36
<b>Tablo 5.5.</b> Kompozit numunelerin Shor-D Sertlik sonuçları.....	39





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>BaTiO<sub>3</sub></b>	: Baryum Titanat
<b>DMA</b>	: Dinamik Mekanik Analiz
<b>DSC</b>	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
<b>FT-IR</b>	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
<b>h-BN</b>	: Hegzagonal Bor Nitrür
<b>PHA</b>	: Polihidroksi Alkonat
<b>PHB</b>	: Poli(3-hidroksibütirat)
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PS</b>	: Polistiren
<b>PVDF</b>	: Polivinilidin Florür
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>TGA</b>	: Termal Gravimetrik Analiz
<b>TPU</b>	: Termoplastik Poliüretan
<b>UV</b>	: Ultraviyole

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Çeşitli Katkı Malzemeleri İçeren PHB/TPU Kompozitlerinin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu

Emrehan ÖNER

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Birten ÇAKMAKLI

Haziran, 2019

Bakteriyel poli(3-hidroksibütirat) (PHB) termoplastik bir poyesterdir ve mekanik özellikleri petrol türevli polipropilene benzer. Biyobozunur, biyoyumlu PHB; toksik olmaması, sert kırılğan, yüksek kristalin, piezoelektrik, optikçe aktif ve suda çözülmemesi gibi birçok özellikleri ile biyomedikal ve biyoteknolojik uygulamalarda kullanılabilir.

Bu tez kapsamında; poliviniliden fluorür (PVDF), baryum titanat (BaTiO<sub>3</sub>) ve bor nitrid(h-BN) gibi 0.5% oranında çeşitli katkıları içeren 12.5/87.5 ağırlık oranlarına sahip PHB /TPU ve PP/TPU kompozitleri; vida uzunluğu-çap (L / D) oranı 40ve16 mm vida çapındaki çift vidalı ekstruderde hazırlandı. Karşılaştırma amacı ile, aynı katkı malzemeleri kullanarak TPU kompozitleride hazırlandı. Eriyik halde ekstruderden çıkan örnekler soğutularak granüler hale getirildi. Test örnekleriinjeksiyon cihazında 12-ml mikroenjeksiyon kalıpları kullanılarak basıldı. Elde edilen kompozit malzemelerin; FT-IR ile moleküler yapısı, DSC ve TGA ile termal özellikleri ve Germe-Çekme (ASTM D 638), Üç nokta eğme(ASTM D 790), DMA, ShoreD sertlik testleri ile mekanik özellikleri ve morfolojik özellikleri SEM ile araştırıldı.

**Anahtar Kelimeler:** kompozit, PHB, TPU, PP, PVDF, BaTiO<sub>3</sub>, h-BN, ekstruder

# SUMMARY

M. Sc. Thesis

## Characterization And Preperation Of Poly(3-hydroxybutyrate) (P3HB) / Thermoplastic Polyurethane (TPU) Composites Containing Various Additives

Emrehan ÖNER

Burdur Mehmet Akif Ersoy University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Materials Technology Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Birten ÇAKMAKLI

June, 2019

Bacterial poly[(R)-3-hydroxybutyrate] (PHB) is a well-known thermoplastic polyester and similar mechanical performance with petroleum-based polymers such as polypropylene (PP). PHB that has many interesting properties such as piezoelectricity and nonlinear optical activity which may be useful in many biomedical and biotechnology applications due to its nontoxic, biocompatibility, biodegradability, highly crystalline, hard-brittle and insoluble in water.

In this study, PHB/TPU and PP/TPU composites with weight ratio 12.5/87.5 containing various Additives (0.5%) as polyvinylidene fluoride (PVDF), barium titanate (BaTiO<sub>3</sub>) and boron nitride (h-BN) were prepared by melt blending in a corotating inter mesh twin-screw extruder with a screw diameter of D 16 mm and a screw length–diameter (L/D) ratio of 40. For comparison purpose, TPU composites were also prepared using the same additives. The melt-compounded rod extrudate was then cooled and granulated in situ using a pelletizer. The pellets were injection molded into test samples by using a 12-ml microinjection molder. These composite materials were characterized by FT-IR spectroscopy, thermal (DSC and TGA), mechanical (tensile (ASTM D 638), flexural (three-point bending) (ASTM D 790), DMA, Shore-D hardness points and morphological test (SEM).

**Keywords:** composite, PHB, TPU, PP, PVDF, BaTiO<sub>3</sub>, h-BN, extruder

# 1. GİRİŞ

Son yüzyılda; insan sağlığı, refahı, güvenliği ve çevresel kirlilik gibi etkenler dikkate alındığında teknolojinin gelişen ihtiyaca göre yeni ürünler ve yeni malzemeler üzerine araştırmalar hızla artmaktadır. Endüstride ve çağdaş insanın yaşamında önemli yer tutan polimerik malzemeler kullanım kolaylığı, hafif, esnek, kolay işlenebilirlik, ekonomik ve geri dönüşüm gibi özellikleri dikkate alındığında günümüzün vazgeçilmez malzemeleridir (Kılıç, Köseoğlu, Yılmaz, 1998 ve Erdik, 1991). Polimerler yapıları gereği çelik ve diğer konvansiyonel malzemelerden farklıdırlar ve onların avantajlı yanları ön plana çıkartılarak kullanım alanları giderek genişlemektedir.

Kompozitler en az iki farklı maddelerin istenilen amaca yönelik, belli düzende bir araya getirilmesi ile hazırlanan malzemelerdir. Kompozit malzemeleri hazırlamaktaki temel amaç, değişik maddelerin iyi özelliklerini tek bir yapı altında birleştirebilmektir (Saçak, 2005). Savunma, sağlık, kimya, elektrik-elektronik, robot, otomotiv inşaat, gıda ve tarım, müzik aletleri endüstrisi spor malzemeleri imalatı gibi birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır(Erdoğan, 2008).

Çeşitli mühendislik uygulamalarında metallerin yerine tercihen kullanılan polimer kompozitler; sadece hafiflik, mekanik dayanım gibi özellikler değil, insan dokuları ile uyum sağlayan ve sertlik derecesi ayarlanabilen yapay doku ve organlar gibi uygulamaların dışında, “optik elyaf” ve basınç ile elektrik üretebilen “piezoelektrik” özellikli ve istenildiği gibi işlenebilen özel sistemlerin yapımında da metal ve seramik malzemelerin yerlerine kullanılabilir (Erdoğan, 2008).

Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması ve korozyona karşı dayanımı ile öne çıkan polimerik malzemelerin, sertlik ve düşük dayanım gibi özelliklerini iyileştirebilmek amacıyla geliştirilen polimerik kompozitler ise dayanım, termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar (Basan, 2001). Polimer ve polimer kompozitlerin başlıca hedefleri en az çelik kadar sağlam, olabildiğince hafif, yüksek kullanım sıcaklıklarına dayanıklı ve ekonomik malzeme üretimidir (Erdoğan, 2008).

Bu bağlamda bu çalışmanın amacı; PVDF, BaTiO<sub>3</sub> ve h-BN partiküllerin ilavesi ile TPU/PHB, TPU/PP ve TPU kompozitlerinin ekstruder ve enjeksiyon ile kompozitlerinin elde edilmesi ve yapısal, termal, mekanik, morfolojik özelliklerinin değerlendirilmesidir.

## 2. POLİMERLER

Küçük birimlerin birleşerek oluşturduğu büyük moleküllerdir (makromoleküllerdir). Polimerler; çoğu kez mekanik özellikleri yeterli, kolayca şekillendirilebilen, dekoratif, çeşitli amaçlarla kullanıma uygun, kimyasal açıdan inert ve korozyona uğramayan hafif ve ucuz malzemelerdir. Bu avantajlarından dolayı kimya, fizik, tekstil, makine, otomotiv ve endüstri mühendisliği gibi farklı alanlarda çalışanların ilgisini çeken malzemelerdir. Üstelik tıp, biyokimya, biyofizik ve moleküler biyoloji açısından da önemi büyüktür. (Saçak, 2002).

### 2.1 Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerler özelliklerine göre çeşitli şekilde sınıflandırılabilirler.

#### 2.1.1. Molekül Ağırlığına Göre

**Oligomer:** Molekül kütleleri 500 ile 5000 arasında olan moleküllerden oluşan maddelerdir.

**Makromolekül:** Molekül kütleleri 5000 üzeri olan maddelerdir.

#### 2.1.2. Oluşumuna Göre

**Doğal Polimerler:** Canlı veya cansız bünyelerde doğal olarak kendiliğinden oluşurlar. Bitki, hayvan ve insan bünyesinde bulunurlar. Örnek; protein, biyopolimerler, polihidroksi alkonatlar (PHA), poli-3hidroksi bütirat (PHB)

**Yarı Sentetik:** Doğal polimerlerin kullanılmasıyla kimyasa tepkimelerin yardımı ile elde edilirler. Vulkanize kauçuk ve selüloz asetat örnek olarak verilebilir.

**Sentetik Polimerler:** Monomerlerin birleşerek çeşitli polimerleşme tepkimeleri ile elde edilirler. Örnek; Polietilen, Polipropilen, Polivnildenflorid, Polistriyen, Polimetil metakrilat.

#### 2.1.3. Kaynağına Göre

**Organik Polimerler:** Örnek; PHB, PP, PVDF, PS

**İnorganik Polimerler:** İnorganik monomerlerden elde edilir. Örnek; Polisülfür, Polisilan,

#### 2.1.4. Sentezleme Tepkimesine Göre

**Kondenzasyon (Basamaklı):** İki yada daha fazla fonksiyonel moleküllerin kondenzasyon sonucu bağlanması. Küçük moleküllerin ayrılması sonucu elde edilir.

**Katılma (Zincir):** Monomerler aktif merkezlere birer birer katılarak polimer zincirini büyütürler. Molekül kaybı olmadan monomerlerin birleşmesinden elde edilir.

#### 2.1.5. Polimerizasyon Mekanizmasına Göre

**Basamaklı (Kondenzasyon):** Monomerlerin fonksiyonel grupları arasında basamaklı bir şekilde yürür, polimer moleküllerinin büyüklüğü göreceli olarak düşük bir hızla ilerler. Polimerizasyon monomerlerden dimere, trimere, tetramere yavaş yavaş yürür.

**Zincir (Katılma):** Polimerleşmenin hemen başında polimer molekülü elde edilebilir. Bu durum zincir polimerleşmesinin, basamaklı polimerleşmeden daha hızlı olduğu anlamına gelmemelidir.

Basamaklı polimerleşmede çoğu durumlarda kondenzasyon polimerleri basamaklı polimerler yerine, katılma polimerleride zincir polimerleri yerine kullanılabilir. Bazı durumlarda geçerli değildir. Örnek Nylon-6.

#### 2.1.6. Polimerlerin Fiziksel Yapısına Göre

**Düz:** Düz bir zincir üzerinde sıralanan polimerler kovalent bağlarla başka zincirlere bağlanmazlar. Uygun çözücülerde çözünebilen bu doğrusal polimerler eritilerek tekrar tekrar şekillendirilebilir.

**Dallanmış:** Bazı polimerlerin ana zincirlerine kendi kimyasal yapısına benzer dal görüntüsünde başka zincirler kovalent bağlarla bağlanmıştır. Bu polimerlerin dallanmış zincirleri polimerizasyon sırasında yan tepkime ya da ikincil tepkimelerin oluşması sonucu meydana gelir. Dallanmış polimerlerin yan dallarından dolayı kristallenme eğilimi azdır.

**Çapraz Bağlı:** Çapraz bağlı polimerlerin bağlarında birden fazla ana zincir vardır ve bu zincirler birbirleriyle bağlı olduğundan ağ yapıda bir özellik gösterir. Değişik uzunluktaki zincir parçalarının birbirine kovalent bağlar ile bağlı olduğu için sistem tek bir molekül gibi düşünülebilir. Bu polimer türü çözünmez ancak uygun çözücülerde belli miktarda şişer. Çapraz bağlanmayla polimer zincirleri hareketliliklerini kaybeder. Bu nedenle erimeyecekleri ya da akmayacakları için kalıpla da şekillendirilemez.

### 2.1.7. Zincir Yapısına Göre

**Homopolimer:** Aynı kimyasal bileşime sahip tekrarlanan birimlerden meydana gelen polimerlerdir. Örnek PP.

**Kopolimer:** İki farklı kimyasal içeriğe sahip tekrarlanan birimlerden meydana gelen polimerlerdir. Örnek bütadien-stiren.

Farklı kimyasal bileşime sahip olan tekrarlanan birimlerin sıralanışına göre kopolimerler:

- Rasgele (düzensiz) kopolimer
- Ardışık (düzenli) kopolimer
- Blok kopolimer
- Graft (Aşı kopolimerler) olarak sınıflandırılır.

**Terpolimer:** Üç farklı kimyasal içeriğe sahip tekrarlanan birimlerden meydana gelen polimerlerdir. Örnek maleik-anhidrit-metilmetakrilat.

### 2.1.8. Isıya Karşı Gösterdiği Davranışa Göre

**Termoplastik:** Isı etkisi ile eritilerek yeniden şekillendirilebilen malzemelerdir. Örnek PP.

**Termoset:** Zincirler arası yoğun çapraz bağ bulunan (ağ-yapı) ısı etkisiyle eritemeyen malzemelerdir. Çözücülerde çözünmezler ve yeterince yüksek sıcaklıklarda bozunurlar. Çapraz bağ yapılarından dolayı serttirler.

## 2.2 Kullanılan Polimerler

### 2.2.1. Poli (3-hidroksibutirat) (PHB)

Poli (3-hidroksibutirat) - PHB, biyolojik parçalanma süresi kısa olan bakteriyel fermantasyon tarafından üretilen, biyolojik olarak parçalanabilen bir termoplastik polyesterdir. Bakteriyel poli [(R) -3-hidroksibutirat], polipropilen (PP) gibi petrol bazlı polimerler ile benzer mekanik performans gösterir.

PHB birçok ilginç özelliğe sahiptir

- Biyobozunabilirlik
- Biyoyumluluk,
- Toksik olmayan,
- Çok Kristalli,
- Sert kırılğan,

- Suda çözünmez,
- Piezo elektrik,
- Doğrusal olmayan optik aktivite ve birçok biyomedikal uygulamada faydalı olabilir.

**Tablo 2.1.** PHB ve PP'in özellikleri

Özellikler	PHB	PP
Erime Noktası °C	180	176
Camsı Geçiş Sıcaklığı (Tg) °C	4	-10
Kristalite (%)	60-80	50-70
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.250	0.905
Su Emme (%)	0.2	0.2
Çekme Germe	40	98
Uzama	6	400

### 2.2.2. Termoplastik Poliüretan (TPU)

Yüksek mukavemet, yüksek uzama ve iyi aşınma direnci gibi birçok mükemmel özelliğe sahiptir. Otomotiv gösterge panelleri, elektrikli el aletleri, spor malzemeleri, tıbbi cihazlar, ayakkabılar, şişirilebilir botlar ve çeşitli çekilmiş film, levha ve profil uygulamaları gibi birçok uygulamaya sahiptir. TPU ayrıca mobil elektronik cihazlarda bulunan popüler bir malzemedir.

### 2.2.3. Polipropilen (PP)

En hafif polimerlerden biridir. Yumuşama sıcaklığı 100°C üzerinde polietilene göre kimyasal aktifliği daha fazla olan maddedir. Bu nedenlerden dolayı polietilenin yerine kullanılırlar (Saçak, M., 2010).

Termoplastik bir polimer olan polipropilen, otomotiv sektöründe, tekstil sektöründe ve yiyecek paketlemesine kadar bir çok sektörde oldukça fazla kullanılmaktadır. Monomer olarak kullanılan propilenin polimer hale getirilmesi ile elde edilir ve kimyasal solventlere (asit ve bazlar) ve yorulmaya karşı karşı direnci aşırı yüksektir. Düşük maliyeti sebebiyle ticari açıdan kullanımı oldukça yaygındır. Darbe dayanımı fazlasıyla iyidir. Sürtünme katsayısı düşük, elektrik yalıtımı ise oldukça iyidir.



#### 2.2.4. Polivinilidenflorit (PVDF)

Yüksek oranda inert olan PVDF (polivinilidenflorit veya polivinilidene diflorit), vinileden diflorid'in polimerizasyonu ile elde edilir ve özel bir termoplastik floropolimerdir. PVDF; kimyasal ve nükleer endüstrilerde, otomotiv, elektrik, ecza, gıda ve içecek alanlarında kullanılan malzemelerin üretimine yatkın bir malzemedir.

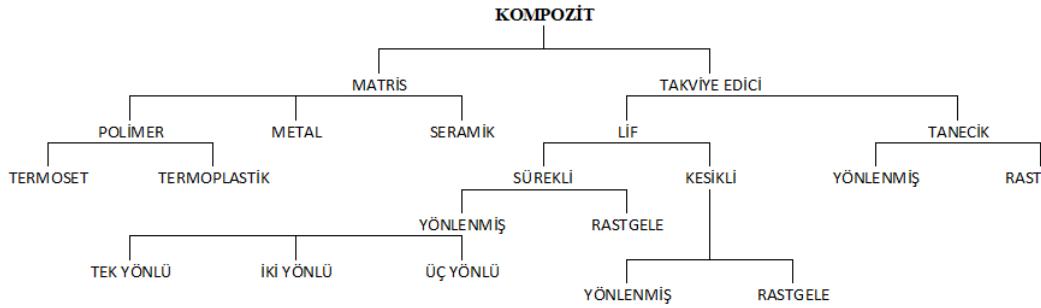
- Standart termoplastik polimerler olarak kolay işlenme
- Yüksek sıcaklıklarda bile yüksek kimyasal direnç
- İçsel özellik olarak alev geciktirici
- Yüksek UV ve radyasyon stabilitesi
- Oldukça düşük mikrobiyolojik tutunma
- Aşınmaya karşı direnç

### 3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kullanım amacına göre iki veya daha fazla farklı maddenin belirli bir düzende iyi özelliklerini bir araya getirilmesi ile hazırlanan malzemelerdir. Birincil kimyasal etkileşimler kompoziti oluşturan madde veya malzemeler arasında bulunmaz.

#### 3.1 Tarihçe

Kullanımı uzun yıllar öncesine dayanan kompozit malzemeler; biyomedikal, elektronik, otomotiv, havacılık, inşaat gibi birçok alanda tercih edilmektedir. İnşaat sektöründe çamur ile saman (kerpiç) yada diğer bitkilerin karıştırılması ile hazırlanan yapı malzemesi ilk kompozittir. Çimento ve kumdan oluşan beton, kompozittir ve en önemli yapı malzemesidir. Beton dökme esnasında takviye amacıyla kullanılan demir çubuklar başka bir kompozit malzeme elde edilmesini sağlar. Fenolik ve melamin reçinelerden hazırlanan takviye amaçlı kullanılan lifler ilk polimerik kompozitlerdir. 1940’larda fiberglas ticari adı ile üretilen doymamış polyester ve cam liflerinden hazırlanan kompozitler iyi bilinmekte ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitler kendi içlerinde farklı içlerinde gruplandırılırlar (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Kompozitlerin sınıflandırılması

#### 3.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

##### Avantajları:

Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet: Korozyon, hava ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmeyen kompozitler boru ve aspiratörler, kimyevi madde tankları ve deniz araçları yapımında kullanılır.

Yüksek mukavemet: Birçok metalik malzeme ile kıyaslığında çekme ve eğilme mukavemeti çok daha fazladır. Kalıplama özellikleri sayesinde istenen bölge ve yönde gerekli mukavemet verilebilir.

Isıya ve ateşe dayanıklılığı: Kompozitler yüksek ısı altında kullanılabilmesi için ısı iletim katsayısı düşük malzemelerden elde edilir.

Kolay şekillendirebilme: Tek işleme kompleks ve büyük parçaların kalıplanabilmesi işçilik ve malzemedan kazanç getirir.

Elektriksel özellikler: Uygun malzemeler seçilerek yüksek elektriksel özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilebilir.

#### **Dezavantajları:**

- Kompozit malzemelerin içindeki nem ve hava zerrecikleri mekanik ve yorulma özelliklerini olumsuz etkiler.
- Hammadde maliyetleri ve üretimi pahalıdır, sınırlı raf ömrüne sahiptir.
- Anizotropik özelliklere sahiptir. Değişik doğrultularda farklı özellikler gösterir.
- Basma, kesme, çekme ve eğilme mukavemet değerleri aynı kompozit malzeme için farklılıklar gösterir (Aydın, 2007).

### **3.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozitler matris ve takviye elemanları olarak iki ana grupta sınıflandırılır.

#### **3.3.1. Matris malzemesine göre sınıflandırma**

Kullanılan matris malzemesine göre üç şekilde sınıflandırılır.

- Metal matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Polimer matrisli kompozitler

##### **3.3.1.1. Metal Matrisli Kompozitler**

Çelik, alüminyum, dökme demir, bronz ve bakır gibi metaller matris malzemesi olarak kullanılır. Takviye elemanı olarak pudra, seramik, metal, plastik, ağaç tozu gibi metal bağlayıcılar kullanılır. Bu takviye malzemeleri hiç kullanılmayabilir (Şahin Y., 2000)

### **3.3.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler**

Seramik olan matris malzemesi ile birlikte seramik, metal ve diğer kimyasal bağlayıcılar kullanılabilir yada hiç bağlayıcı kullanılmayabilir. Metal, plastik, seramik ve ağaç tozu Takviye elemanı olarak kullanılır (Şahin Y., 2000).

### **3.3.1.3. Plastik Matrisli Kompozitler**

Polimer olan matris malzemeler ile bağlayıcı olarak polimerler ve diğer kimyasallar birlikte kullanılır. Ağaç tozu, cam, metal ve pudra takviye malzemesi olarak kullanılabilir (Şahin Y., 2000).

## **3.3.2. Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırma**

İstenen optimum özelliklere göre takviye malzemeleri

- Fiber (elyaf) esaslı kompozitler
- Partikül esaslı (parçacık takviyeli) kompozitler
- Lamine (Tabakalı) kompozitler
- Dolgu yapıları kompozitler

### **3.3.2.1. Fiber (Elyaf) Esaslı Kompozit Malzemeler**

Dayanımı ve elastisite modülü düşük matris malzemesi içine, takviye elemanı olarak yüksek bükülmezlik ve rijitlik değerlerine sahip olan elyafların ilave edilmesiyle çekme dayanımı, yorulma dayanımı, rijitlik ve bükülmezlik özellikleri iyi yönde artan kompozit malzeme elde edilir. Günümüzde fiber kompozitler roket motorlarından düşük performanslı ev motorlarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır (Şahin Y., 2000 ve Taşgetiren, S., 1999).

### **3.3.2.2. Lamine (Tabakalı) Kompozit Malzemeler**

Temel malzeme eksenleri doğrultusunda yönlendirilen elyaf ve diğer takviye malzemeleriyle takviye edilen, değişik yönlerde tabaka ve katmanların üst üste konulmasıyla bir araya getirilerek oluşturulur. Tabakalı kompozitlerin elde edilmesinin temel amacı; malzemenin karşılaşacağı yüklere uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğin doğrusal bağımlılığından yararlanılmasıdır (Ekşi, 2007).

Isıya ve neme dayanıklı çok yüksek mukavemet değerlerine sahip malzemelerdir. Hafif olmaları nedeniyle metallere karşılaştırıldığında tercih edilirler.

### **3.3.2.3. Dolgu Yapılı Kompozitler**

Üç boyutlu dolgu malzemesi ile doldurulan, üç boyutlu sürekli matris malzemesi ile elde edilen malzemelerdir. Metalik, seramik ve organik esaslı dolgu malzemeleri bulunmaktadır.

### **3.3.2.4. Partikül Esaslı (Parçacık Takviyeli) Kompozit Malzemeler**

Tek veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemelerdir. Takviye malzemesi olarak kullanılan elyaf hacim oranı % 25'ten büyük ve gömülen ortalama parçacık boyutu 1 µm'den büyük olmamalıdır (Şahin Y., 2000).

## **3.4 Partikül Takviyeli Termoplastik Kompozitler**

Kompozit malzemeler içinde; hem takviye elemanı, hem de matris elemanı olarak polimerler kullanılabilir. Kompozitin sahip olduğu özellikler, kompoziti oluşturan bileşenlerde tek başına bulunmazlar. Matris elemanı; malzemenin maruz kaldığı kuvvetlerin etkisi altında yapıyı bir arada tutmakla görevlidir. Daha gevrek takviye elemanı ile birlikte yapıda rijitlik ve dayanım özelliklerinin arttığı malzeme meydana gelir. Matris ve takviye malzemelerinin ayrı ayrı incelenmesi konunun daha rahat anlaşılmasını sağlar (Sönmez M. 2009).

Kompozit malzemelerde takviye elemanının temel görevi; uygulanan kuvvetlere dayanıklılık göstermesi ya da taşıyabilmesi, yapısal özellik kazandırması, ısıl kararlılık sağlaması, duruma göre elektriksel iletkenlik ya da yalıtkanlık sağlamasıdır. Polimer morfolojisine göre sürekli (uzun), süreksiz (kısa) ya da parçacıklı yapıda takviye elemanları bulunur.

Termoset ve termoplastik polimerler olmak üzere kompozitin ana fazı; iki farklı matris malzemesiyle oluşturulabilir. Termoset polimerin matris olarak kullanıldığı kompozitler, ısı etkisi altında sert ve rijit hale getirilerek şekillendirilemezler. Matris olarak termoplastik polimer kullanıldığında ise, kompozit eriyik haline getirilebilir ve tekrar şekil verilip kalıplandırılabilir (Sönmez M. 2009).

Polimerik kompozitlerde ticari anlamda en fazla kullanılan termoplastik matrisler ABS (akrilonitril bütadien stiren), polivinil klorür, polietilen, poliasetal, polipropilen, polikarbonat ve poliamittir (Sönmez M. 2009).

Termoplastik matrisli kompozitler, termoset matrisli kompozitlerle kıyaslandığında birçok farklılıklar ortaya çıkmaktadır (Chawla, K.K., 1987).

Termoplastik kompozitlerin avantajları:

- Soğutma ihtiyaçları yoktur
- Parçalar ısı tarafından birleştirilebilir
- Parçalar tekrar kalıba sokulabilir ve geri dönüşüm sağlanabilir
- Termoplastikler, termosetlerden daha iyi dayanıklı ve dirençlidir.

Termoplastik matrisli kompozitlerin dezavantajları:

- Termosetler den daha fazla sıcaklıkta üretilirler
- Termoplastikler rijitlerdir. Yani onlarda kısmi kür edilmiş epoksilerin yapışkanlığı yoktur (Chawla, K.K., 1987).

Baryum Titanat: Polarize olup Ti +4 değerlikte olduğundan dolayı polarizasyon derecesi yüksektir. Yüksek dielektrik sabitine ve yüksek kütle polarizasyona sahiptir. Düşük dielektrik kaybı, yüksek polarizasyon, yüksek pyroelektrik katsayısı ve yüksek dielektrik sabiti, yüksek elektrooptik katsayısı sayesinde güdümlü füzelerde, akustik mayınlarda, su altı sonarlarında ultrasonik temizlik ve ölçüm cihazlarında, transdüserlerde en çok kullanılan seramik çok katmanlı kondansatörlerdir.

h-BN: Beyaz renkte, inert, kolaylıkla işlenebilen, kaygan bir malzemedir. En düşük yoğunluğa (2,27 g/cm<sup>3</sup>) sahip olan seramik malzemedir. Görünüm olarak alüminaya, yapısal olarak grafitte benzemektedir. Kristal yapı olarak grafitte benzeyen h-BN, yüksek elektrik direnci ile grafitten farklılık gösterir. Çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı (normal atmosfer koşullarında 1000 °C), ısı şoklarına karşı kararlı, mükemmel yalıtkan iyi bir ısı iletkenliğine sahiptir. Metal döküm kalıp ayırıcı, yüksek sıcaklık yatakları için katı yağlayıcı, nükleer reaktörlerde nötron tutucu ve fizyon cam kalıplarında ayırıcı olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ise geleneksel polimer kompozit takviye elemanlarının dışına çıkılarak daha farklı malzemeler elde etme düşüncesi ile h-BN, BaTiO<sub>3</sub> ve PVDF içerikli TPU/PP ve TPU/PHB kompozit malzemeleri elde edildi.

### 3.5. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemeler;

- El Yatırma
- Püskürtme (Spray Up)

- Elyaf (filament) Sarma
- Pultrüzyon Üretim
- Vakum Altında
- Ekstrüzyon Üretim
- Enjeksiyon Üretim gibi farklı üretim yöntemleri ile üretilebilirler.

Bu çalışmada ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılarak kompozitler elde edilmiştir.

### 3.5.1. Ekstrüzyon Üretim Yöntemi

Plastik esaslı kompozit üretim yöntemleri içinde en çok kullanılan proseslerde biri olan ekstrüzyon cihazı Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Granül ya da toz halindeki plastik ve hacimsel olarak oranlanmış elyaf besleyici ünitelerden atılır. Kovanın içinde mil yardımıyla taşınır aynı esnada ısıtıcı bantlar yardımıyla ergitme işlemi devam eder. Kovan içinde basınç ve sıcaklığın etkisiyle kompozit oluşum ergimiş halde kalıba doğru itilir. Ürün kalıp içinde şekillendirildikten sonra soğuma ünitesinden geçirilerek son şeklini alması sağlanır (Hüner, 2008).



Şekil 3.2. Ekstrüzyon cihazı

Ekstrüzyon işlemi sürekli bir proses olup açık kalıplama sistemi kullanılmaktadır. Plastik ekstrüzyon üretim yöntemiyle çoğunlukla termoplastiklerin işlenmesi söz

konusudur. Termoplastik polimer molekülleri uzun zincirlidir ve gelişi güzel eğilmiş burulmuş, yumuşak ve eski şekline her zaman gelme eğilimindedir (Turaçlı, 2001).

### 3.5.2. Enjeksiyon Üretim Yöntemi

Plastik enjeksiyonu kısaca; en az iki parçadan oluşan ve iki parça arasında kalıp boşluğu denilen bir boşluğa sahip bir kalıbın, kalıp boşluğuna ergimiş plastiğin belli bir basınçta enjekte edilmesi ve soğuyup katılaştıktan sonra kalıbın açılarak parçanın kalıptan alınması işlemi olarak ifade edilebilir (Şekil 3.3.) (Tuğ, 2004).



Şekil 3.3. Enjeksiyon cihazı

Bu işlemin en önemli avantajlarının başında, seri imalata ve otomasyona uygunluğu gelmektedir. Ayrıca kompleks yapıdaki parçalar çok hızlı olarak imal edilebilmekte, birçok durumda da ek bir işlem gerektirmemektedir. Oyuncaklar, otomobil parçaları, ev eşyaları, çeşitli elektronik parçaları gibi günlük hayatta karşılaştığımız plastik ürünlerin birçoğu plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmişlerdir (Tuğ, 2004)



### 3.6. PHB ve/veya TPU İçeren Kompozitler

PHB/PANI-HCl nanokompozitleri emülsiyon polimerizasyonu ile elde edildi (Araujo ve ark. 2015)

PHB ve TPU kompozitleri Wang ve ark. tarafından hazırlandı. Özellikle PHB ve TPU'nun termal, tokluk ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kompozitleri hazırlandı.

PU, PHB blend filmlerinin yapısal özellikleri tek veya iki çözücü kullanılarak hazırlandı. Blendlerin içindeki PHB ve PU arasında, H-D değişim ve infrared spektroskopisi yöntemleri kullanılarak moleküller arası etkileşimlerin olmadığı Olkhov ve ark. tarafından çalışıldı.

Öner ve ark. tarafından farklı boyut, şekil ve spesifik yüzey alanlarına sahip BN nanopartikülleri içeren PHBV nanokompozitleri çift vidalı ekstrüder kullanılarak hazırlandı ve karakterize edildi. DSC ölçümleri PHBV'nin kristalitesinde önemli değişiklikler göstermedi. Matris kristalitesi dolgu maddesi konsantrasyonlarındaki değişikliklerle önemli olarak etkilenmedi fakat PHBV/BN kompozitlerinin kristalitesinin azalması daha yüksek yüklemeler içerisinde gözlemlendi.

Baştürk ve ark. TPU'ların ısı stabilitesi ve ıslanabilirlik davranışlarının artırılabilmesi amacıyla TPU-baryum metaborat kompozitleri hazırlandı. Elde edilen sonuçlarda TPU içerisinde baryum metaborat partiküllerinin homojen olarak dağıldığı ve baryum metaboratın polimer malzemesi içerisinde yangın geciktirici madde olarak etki yapma potansiyeline sahip olduğu belirtildi.

Başka bir çalışmada PHBV/TPU karışımlarına selüloz ilave edilmesiyle mekanik performans kaybının bir kısmı engellenmekle birlikte TPU'ya bağlı olarak tokluk iyileştirmelerini koruduğu belirtilmiştir (Werker ve ark.).

Çavlı tarafından farklı bor bileşikleri (h-BN ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) içeren PP/TPU nanokompozitleri elde edildi ve karakterize edildi.

Savaş ve Obaidi tarafından PP/TPU blendleri farklı ağırlık oranlarına sahip (75/25 ve 25/75) uyumlaştırıcı olarak PP-g-MA kullanılmasıyla blendleri hazırlanarak mekanik ve aşınma özellikleri araştırıldı.

Dong ve ark. tarafından PU/PVDF blend membranları hazırlandı ve karakterize edildi.

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında farklı oranlarda kullanılan PHB/TPU ve PVDF (veya BaTiO<sub>3</sub>, h-BN) kompozitleri hazırlandı. Karşılaştırma amacıyla TPU/PVDF, TPU/BaTiO<sub>3</sub>, TPU/h-BN kompozitleri hazırlandı. Üstelik biyobozunur polimer olan PHB'nin özellikleri sentetik polimer olan PP'e benzediği için karşılaştırma amacıyla TPU/PP/PVDF, TPU/PP/BaTiO<sub>3</sub>, TPU/PP/h-BN kompozitleri de hazırlandı. Üretilen tüm kompozitler granül halde ekstrüderde, enjeksiyon cihazında ise istenilen şekil ve boyutlarda hazırlandı. Üretilen bu kompozitlerin yapısal özellikleri FT-IR spektroskopisi, termal özelliklerini TGA ve DSC, mekaniksel özelliklerini germe-çekme, DMA, üç nokta eğme, shore- D sertlik değerleri ve morfolojik değerlendirmesini ise SEM ile elde edildi.

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Poly[(R)-3-hydroxybutyric acid] (PHB)

PHB Aldrich firmasından alınmıştır.

#### 4.1.2. Polipropilen (PP)

0,94 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda, 25 g/10 min. (230 °C / 2.16 kg) eriyik akış hızına sahip, yumuşama sıcaklığı 153°C ve eğilme modülü 1350 Mpa olan, ticari kodu Moplen HP551R olan Lyondell Basell marka PP homopolimeri kullanılmıştır.

#### 4.1.3. Termoplastik Poliüretan (TPU)

Yoğunluğu 1,19 g/cm<sup>3</sup>, 180 - 200 °C'de işleme sıcaklığına sahip, max. Servis sıcaklığı 100°C olan Ravathane® marka Termoplastik Poliüretan kullanıldı.

#### 4.1.4. Poli(vinilden fluorür) (PVDF)

GPC, toz ortalama M<sub>w</sub> ~534,000 PVDF Aldrich firmasından satın alındı.

#### 4.1.5. Baryum Titanat (IV) (BaTiO<sub>3</sub>)

Nanotoz (kübik kristalin faz), <100 nm partikül çapında (BET), ≥%99 saflıkta Aldrich firmasından satın alındı.

#### 4.1.6. Bor Nitrür (BN)

Bor Nitrür % 98 saflıkta ~1µm çapında toz halinde Aldrich firmasından alınmıştır

## **4.2. Aletler ve Cihazlar**

### **4.2.1. Çift Vidalı Ekstrüder**

Kompozitler Erciyes Üniversitesi ERNAM laboratuvarındaki 16 mm çapında, 24 vida boyu (L/D) oranında, soğutma amacıyla taşıma bandı ve su banyosu sistemi bulunan ekstrüzyon hattına sahip çift vidalı ekstrüder (Şekil 3.1.) (Marka: Gülnar Plastik Makinaları) kullanılarak hazırlandı. Daha sonra polimer kırıcı makinası ile granül hale getirildi.

### **4.2.2. Enjeksiyon Kalıp**

Ekstrüderden üretilen granüller; enjeksiyon memesi 20 °C'den başlayarak 220 °C'ye kadar ısıtılarak max. 1800 barda değişebilen kalıplar ile XPlore IM 12 mikro enjeksiyon cihazında (Şekil 3.2.) istenilen şekil ve boyutta numuneler elde edildi.

### **4.2.3. Fourier Transform Infrared Spektrometresi (FTIR)**

FTIR analizleri; Perkin Elmer 400FT-IR/FT-ATR Spectrometer Spotlight 400 Imaging System model FT-IR/FT-ATR cihazında yapıldı.

### **4.2.4. Differansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)**

Üretilen kompozit numuneleri; kompozitlerin azot atmosferi altında, 10 °C/dakika ısıtma hızında, -50 °C /400 °C çalışma aralığında, 1. ve 2. çekim olarak Perkin Elmer DSC 400 marka diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) kullanılarak camsı geçiş sıcaklıkları (T<sub>g</sub>), erime sıcaklıkları (T<sub>m</sub>), erime entalpisi (ΔH<sub>m</sub>) ve kristalleşme entalpisi (ΔH<sub>c</sub>) bulundu.

### **4.2.5. Termogravimetrik Analiz (TGA)**

Seiko SII TG/DTA 7200 model termogravimetrik analiz cihazı kullanılarak N<sub>2</sub> (azot) atmosferinde, 10°C/dk ısıtma hızı ile 15-1000°C sıcaklık aralığında Kompozitlerin yüzde kütle kayıp değerleri ve termal bozunma değerleri elde edildi.

### **4.2.6. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)**

Numuneler 10.52x7.20x2.96 mm boyutlarında hazırlandı. PERKIN ELMER DMA 8000 cihazı kullanılarak 1 Hz frekansta, 1 N uygulama kuvvetinde, N<sub>2</sub> atmosferinde, 3 °C ısıtma oranında % 0.5 statik gerilim (-50 °C)-(200 °C) sıcaklıkları arasında, elastik

özellikleri storage modülüs (E'), viskoelastik özellikleri loss modülüs (E''), camsı geçiş sıcaklıkları  $\tan \delta$  (E''/ E') değerleri ile incelendi.

#### **4.2.7. Çekme-Germe Test**

Shimadzu AG-XD 50 kN çekme-germe test cihazı ile 80 mm x 102,5 mm x 40 mm boyutlarında hazırlanan numunelerin çekme-germe testleri yapıldı.

#### **4.2.8. Üç Nokta Eğme**

Üç nokta eğme testleri boyutları 12.7x12.5x3.2 mm<sup>3</sup> olan, 80 mm'lik bir aralık ve 1,5 mm/dk çapraz başlık hızında kullanıldı. Her bir test örneği 3 kez yapılarak ortalama değerler alındı ve standart sapmalar dikkate alındı.

#### **4.2.9. Sertlik Ölçüm**

Sertlik ölçümleri; ISO 868 Standardına göre Shore-D sertlik test cihazı kullanılarak yapıldı.

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

Kompozitlerin yüzey ve kesit morfolojik değerlendirmeleri; altın kaplama yapılan numunelere 5 eksen motorize kartezyen kontrolü (X=100mm, Y=120mm, Z=60mm, Tilt=0-90°, Dönme=360°) ile Leo 1430 VP marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak 500X, 1.00KX, 2.00KX 5.00KX, 10.00KX, 20.00KX ve 30.00KX büyütmelemlerde incelendi.

### **4.3. Yöntem**

#### **4.3.1. Numunelerin Hazırlanması**

Tablo 4.1'de verilen yüzdeler oranlara göre hazırlanan bileşimler, homojen elde edebilmek için yaklaşık 10 dk. manuel olarak beher içerisinde karıştırıldı. Hazırlanan karışımlar çift vidalı ekstrüder kullanılarak kompozit hale getirildi. Daha sonra polimer kırıcıları kullanılarak granül hale getirildi.

**Tablo 4.1.** Elde edilen kompozitlerin % bileşimleri

Numune Kodu	TPU	PP	PHB	PVDF	h-BN	BaTiO <sub>3</sub>
PHB <sub>100</sub>	-	-	100	-	-	-
PP <sub>100</sub> MKC-1	-	100	-	-	-	-
TPU <sub>100</sub> EB-1	100	-	-	-	-	-
TPU <sub>100</sub> / %0,5 PVDF EB-2	100	-	-	0,5	-	-
TPU <sub>100</sub> / %0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB-3	100	-	-	-	-	0,5
TPU <sub>100</sub> / %0,5 h-BN EB-4	100	-	-	-	0,5	-
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> EB-5	87,5	-	12,5	-	-	-
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5 PVDF EB-6	87,5	-	12,5	0,5	-	-
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB-7	87,5	-	12,5	-	-	0,5
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5 h-BN EB-8	87,5	-	12,5	-	0,5	-
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> EB-9	87,5	12,5	-	-	-	-
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 PVDF EB-10	87,5	12,5	-	0,5	-	-
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB11	87,5	12,5	-	-	-	0,5
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 h-BN EB12	87,5	12,5	-	-	0,5	-

#### 4.3.2. Ekstürizyon ve Proses Parametreleri

Tablo 4.1'e göre hazırlanan homojen karışımlar ekstrüderin besleme haznesine manuel olarak beslendi. Ekstrüderin vidalı kovan bölümünden homojen karışım ve ekstrüzyon kafa kısmındaki kalıp vasıtasıyla eriyik halinde lif çekme işlemi gerçekleştirildi. Liflerin soğutma işlemi su banyosunda yapıldı. Peletleyici ile lif halindeki kompozitler granül hale getirildi. Son ürünün özelliklerini ekstrüderin çalışma sıcaklığı ve vida hızı gibi bilinen işlem parametreleri belirlemektedir. Bu çalışmada kullanılan sıcaklık değerleri 40°C / 170°C / 175°C / 180°C / 180°C / 170°C ve eriyik sıcaklığı ise 167,9°C'dir. Vida hızı PVDF, h-BN ve BaTiO<sub>3</sub> gibi takviye malzemelerinin homojen

dağıtılması için 200 dev/dak olarak belirlendi. Tüm işlem parametreleri sabit tutularak numune özelliklerinin olumsuz etkilememesi amaçlandı.



**Şekil 4.1.** Lif haldeki kompozit numuneler

#### **4.3.3. Enjeksiyon Kalıplama ve Proses Parametreleri**

Enjeksiyon kalıplama: kalıp içerisine doldurulan akışkan haldeki polimerin şekillendirilmesi ve soğutulması işlemidir. Çoğunlukla plastik enjeksiyon makinesi kalıp, sıkma ünitesi ve enjeksiyon ünitesi olmak üzere üç bölümden meydana gelir. Bu süreçte çalışılan işlem parametreleri; makine kovan sıcaklığı 200 °C ve kalıp sıcaklığı ise 25 °C'dir. Enjeksiyon eritme bölümüne granül halde konulan numuneler 4 dakika süresince eritilir. Basınç ile erimiş haldeki numuneler kalıp boşluğuna itilerek istenilen şekil elde edilir. Erimiş kompozitlerin soğuması için kapalı halde bir süre bekletilerek kalıptan çıkarılır. Elde edilen kompozitlerin fotoğrafları şekil 4.2'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.2.** Kalıplanan numunelerin görüntüleri

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında Tablo 4.1’ de verilen bileşimlere göre TPU/PHB/PVDF, TPU/PHB/BaTiO<sub>3</sub>, TPU/PHB/BN ile TPU/PP/PVDF, TPU/PP/BaTiO<sub>3</sub>, TPU/PP/BN kompozitleri hazırlandı. Karşılaştırmak amacıyla TPU/PVDF, TPU/BaTiO<sub>3</sub> ve TPU/BN kompozitleri hazırlandı. Elde edilen bu kompozitlerin yapısal analizleri FTIR spektroskopisi, termal özellikleri DSC ve TGA yöntemleriyle elde edildi. Germe-çekme, üç nokta eğme, DMA, shore-D testleri ile mekaniksel özellikleri açıklandı ve SEM ile morfolojik yapısı değerlendirildi.

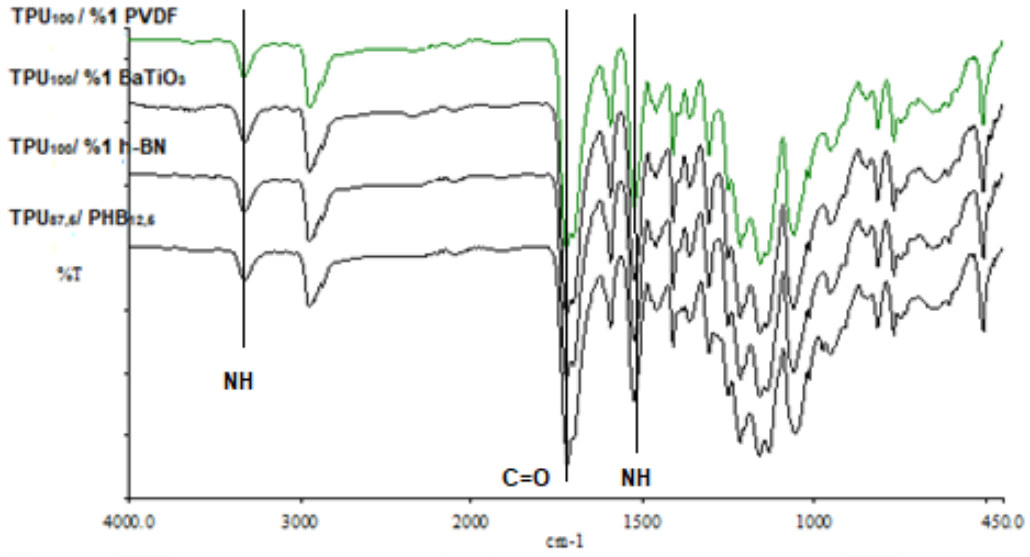
### 5.1. Kompozitlerin Yapısal Özellikleri

#### 5.1.1. FT-IR Analizleri

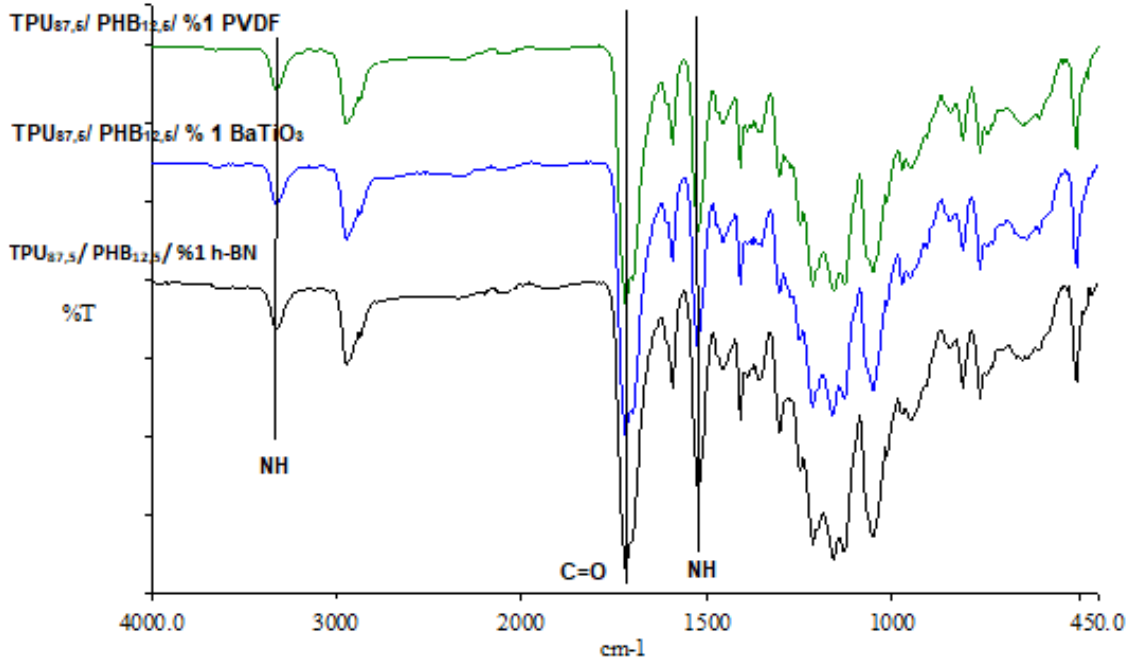
Kompozitlerin yapısal özellikleri bölüm 4.2.3’de açıklandığı gibi yapıldı. Her bir kompozitin FTIR spektrumları EK-1’de, karşılaştırma spektrumları ise Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3’de verilmektedir.

EK-1 ve şekil 5.1’de FTIR Spektrumlarında; 3328 cm<sup>-1</sup> dalga boyunda görülen pik NH bağı, 1725 cm<sup>-1</sup>’de poliüretan yapısında bulunan -C=O (karbonil grubu) ve 1525 cm<sup>-1</sup> civarında -NH bükülmesinden oluşan karakteristik piklerin varlığı kompozitlerin yapısında poliüretanların varlığını göstermektedir. PHB’ye ait 1720 cm<sup>-1</sup> de keskin pik ester karbonil grubuna aittir. 2951 cm<sup>-1</sup> ve 2870 cm<sup>-1</sup> pikler bir alkil (CH<sub>3</sub>) grubunun varlığını gösterir ve 1411 cm<sup>-1</sup>’de bulunan bir simetrik bükme -CH<sub>3</sub> grubuna karşılık gelir. 1461 cm<sup>-1</sup>’deki bükülme CH<sub>2</sub> veya CH’nin asimetrik bükülmesine ilişkindir. 2950 cm<sup>-1</sup>’de PP’e ait metil grubu (CH<sub>3</sub>), 2920 cm<sup>-1</sup>’de metilen grubu (CH<sub>2</sub>), 2872 cm<sup>-1</sup>’de (-CH<sub>2</sub>-), 1456 cm<sup>-1</sup>’de (-CH<sub>2</sub>-), 1412 cm<sup>-1</sup>’de (-CH<sub>3</sub>-) pikleri görülür. PVDF’ye ait absorpsiyon pikleri 509 cm<sup>-1</sup>, 610 cm<sup>-1</sup>, 768 cm<sup>-1</sup> ve 1062 cm<sup>-1</sup> dalga boylarında görülmektedir. Bor Nitrid’e ait 1366 cm<sup>-1</sup> ve 768 cm<sup>-1</sup> geçirgenlik bandı dolayında iki kuvvetli karakteristik pik tespit edilmiştir. 1366 cm<sup>-1</sup> dolayındaki pik sp<sup>2</sup> bağlarından ve 770 cm<sup>-1</sup> dolayındaki pik ise B-N-B bağlarındaki titreşimlerden kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlar literatürde (Mendelovici, E. Ve ark) belirtilen sonuçlarla uyumludur. BaTiO<sub>3</sub>’e ait TiO piki 1062 cm<sup>-1</sup> dalga boyunda, Ti-O-Ti piki parmak izi bölgesinde 559-597-649 cm<sup>-1</sup> dalga boyunda görülmektedir.

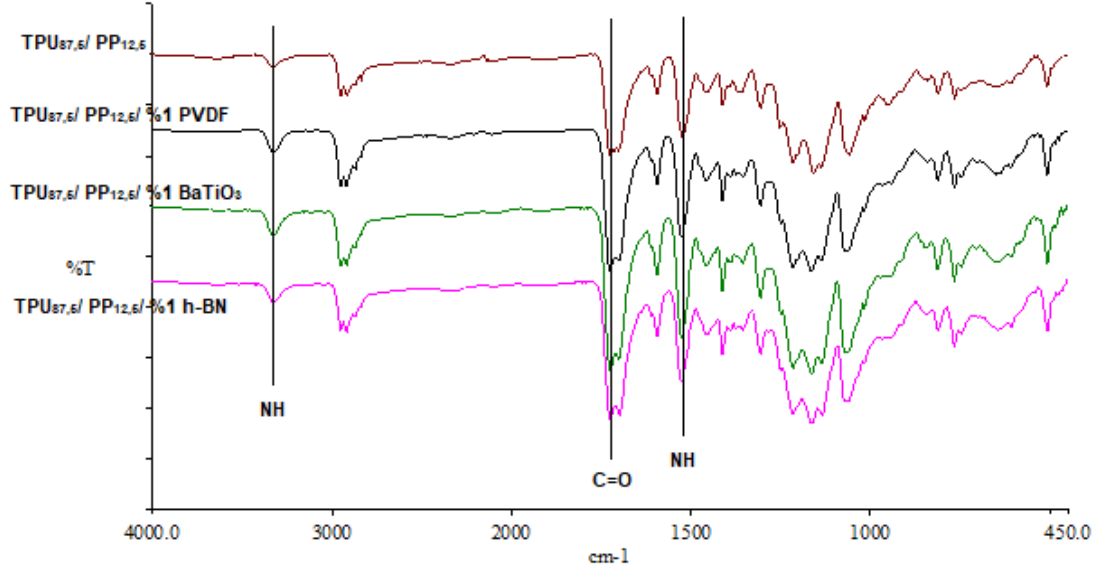




Şekil 5.1. TPU<sub>100</sub>/%0,5PVDF, TPU<sub>100</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> ve TPU<sub>100</sub>/%0,5h-BN FTIR spektrumu



Şekil 5.2. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>, TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF, TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> ve TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN FTIR spektrumu



**Şekil 5.3.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>, TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/1% PVDF, TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/1% BaTiO<sub>3</sub> ve TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/1% h-BN FTIR spektrumu

## 5.2. Termal Özellikler

Kompozitlerin termal özellikleri DSC ve TGA yöntemleri ile belirlendi.

### 5.2.1. DSC Analizi

Numunelerin camsı geçiş sıcaklıkları ( $T_g$ ), erime sıcaklıkları ( $T_m$ ), erime entalpisi ( $\Delta H_m$ ) ve kristalleşme entalpi ( $\Delta H_c$ ) değerleri DSC cihazında bölüm 4.2.4'de açıklanan prosedüre göre yapıldı. Elde edilen değerler Tablo 5.1'de ve her bir numunenin DSC termogramları EK-2 de verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Kompozitlerin DSC analiz sonuçları

Numune Kod	T <sub>m1</sub> (°C)	ΔH <sub>m1</sub> (J/g)
% 100 PP MKC 1	171	-60,23
TPU <sub>100</sub> / %0,5 h-BN EB-4	173	-3
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> EB-5	173	-
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5 PVDF EB-6	172	21
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / % 0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB-7	172	5
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5 h-BN EB-8	173	5
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> EB-9	164	-
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 PVDF EB-10	164	18
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB11	164	-
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 h-BN EB12	164	-

### 5.2.2. TGA Analizi

Kompozitlerin TGA sonuçları bölüm 4.2.5'te belirtilen yöntemle yapıldı. TPU/PHB/PVDF, TPU/PHB/BaTiO<sub>3</sub>, TPU/PHB/BN ile TPU/PP/PVDF, TPU/PP/BaTiO<sub>3</sub>, TPU/PP/BN TPU/PVDF, TPU/BaTiO<sub>3</sub> ve TPU/BN Kompozitlerinin yüzde kütle kaybı değerleri ve termal bozunma değerleri Tablo 5.2'de verilmektedir. Karşılaştırılmalı TGA eğrileri Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6'da ve her bir numunenin ayrı ayrı test sonuçlarının TGA eğrileri EK-3'te verilmektedir.

Tablo 5.2'de gösterilen TGA analiz sonuçlarına göre; bozunma sıcaklıkları %100 PP'nin 394 – 478°C arasında iken %100 TPU' nun bozunma sıcaklığı ise 268 – 488 °C arasında olarak geniş bir dağılım aralığında tek bir bozunma sıcaklığı gözlenmektedir. Saf TPU/takviye elemanları ile TPU sonuçları karşılaştırıldığında, eklenen h-BN ile bozunma sıcaklığı düştüğü gözlemlenirken PVDF veya BaTiO<sub>3</sub> ilavesiyle bozunma sıcaklıkları yükseldiği görülmüştür.

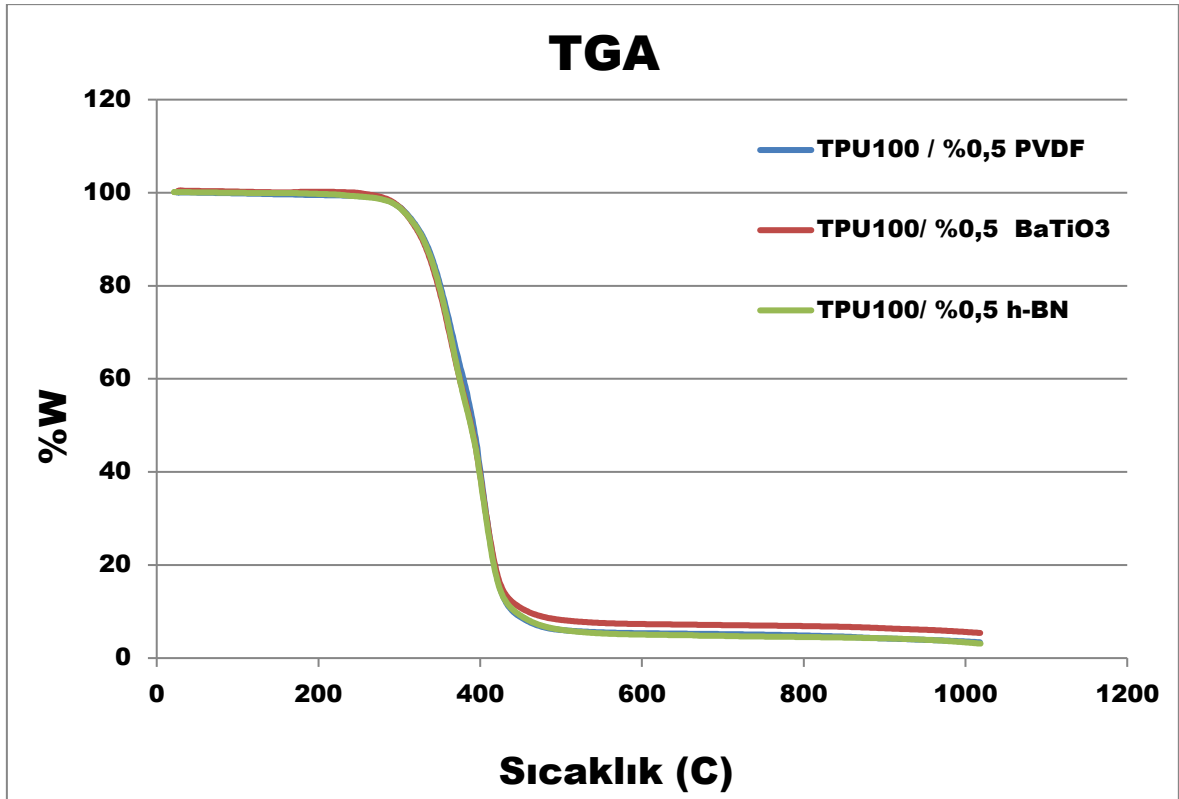
TPU/PP/%0,5h-BN ile TPU/PP karşılaştırıldığında 1. bozunma sıcaklıkları (287 - 439°C) ve 2. bozunma sıcaklığı (439-480°C) belirlenmekte ve bu değerlerin TPU/PP değerlerine göre düştüğü gözlemlenmektedir. Benzer şekilde TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF kompozitinde de 1. ve 2. bozunma sıcaklıkları (290-433 °C), (434-487 °C) düştüğü belirlenmiş ve TPU/PP'ye göre düştüğü gözlemlenmektedir. Fakat TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (300 – 470°C) kompozitinde tek bir bozunma sıcaklığı görülmektedir (Tablo 5.2 ve Şekil 5.6' da).

TPU/PHB/%0,5h-BN ile TPU/PHB örnekleri karşılaştırıldığında (250 - 293°C den 205 - 439°C ye) bozunma sıcaklıklarında çok az düşüş gözlenirken, TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitindeki malzeme bozunma sıcaklığı (260 - 326°C den 326 - 437°C ye) yükselme gözlemlenmektedir (Tablo 5.2 ve Şekil 5.5'de).

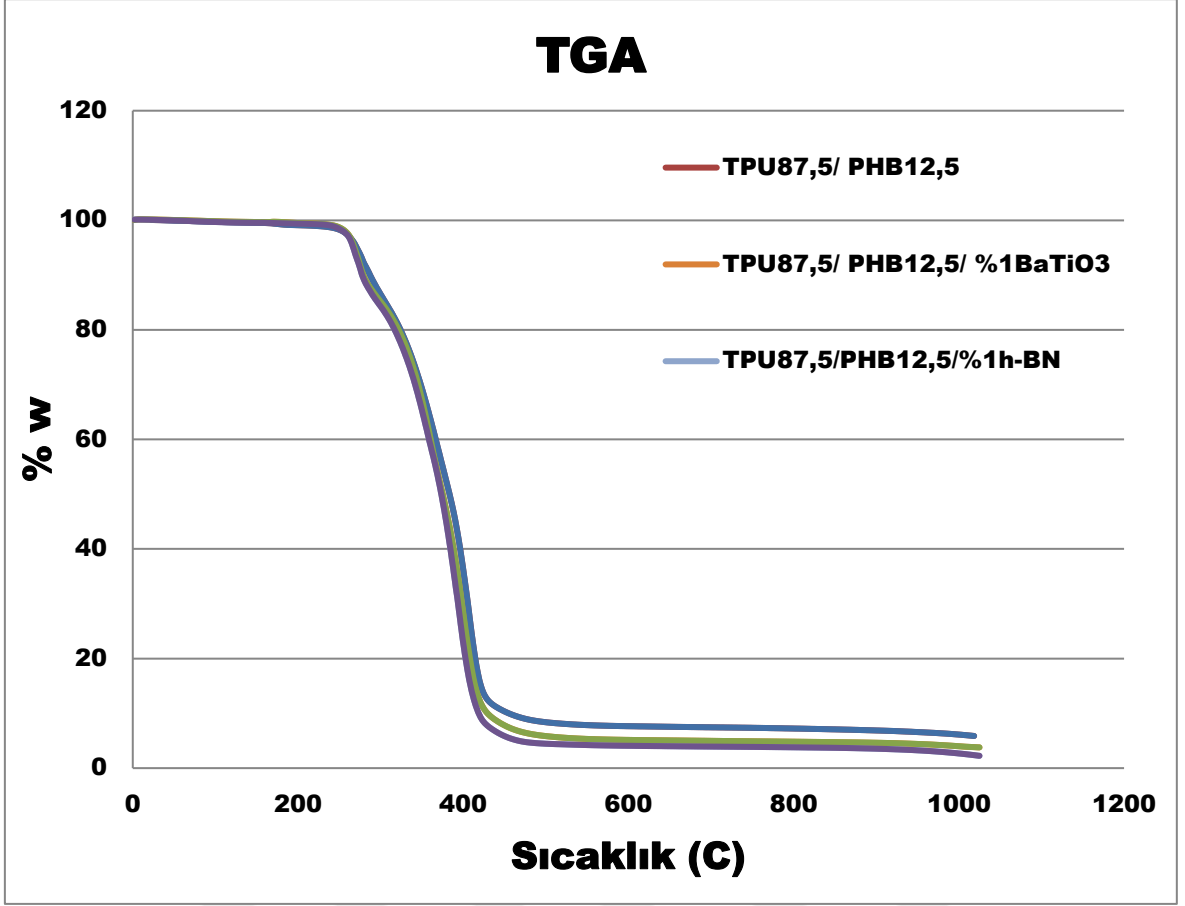
TPU/PHB ve TPU/PP kompozitlerinde %0,5 h-BN varlığı erime sıcaklıklarını az oranda düşürmüştür. %0,5 BaTiO<sub>3</sub> varlığı ise TPU/PP kompozitinde erime sıcaklığını çok az artırırken TPU/PP kompozitinde tek bozunma sıcaklığı göstermesine sebep olmuştur.

**Tablo 5.2.** Kompozitlerin TGA analiz sonuçları

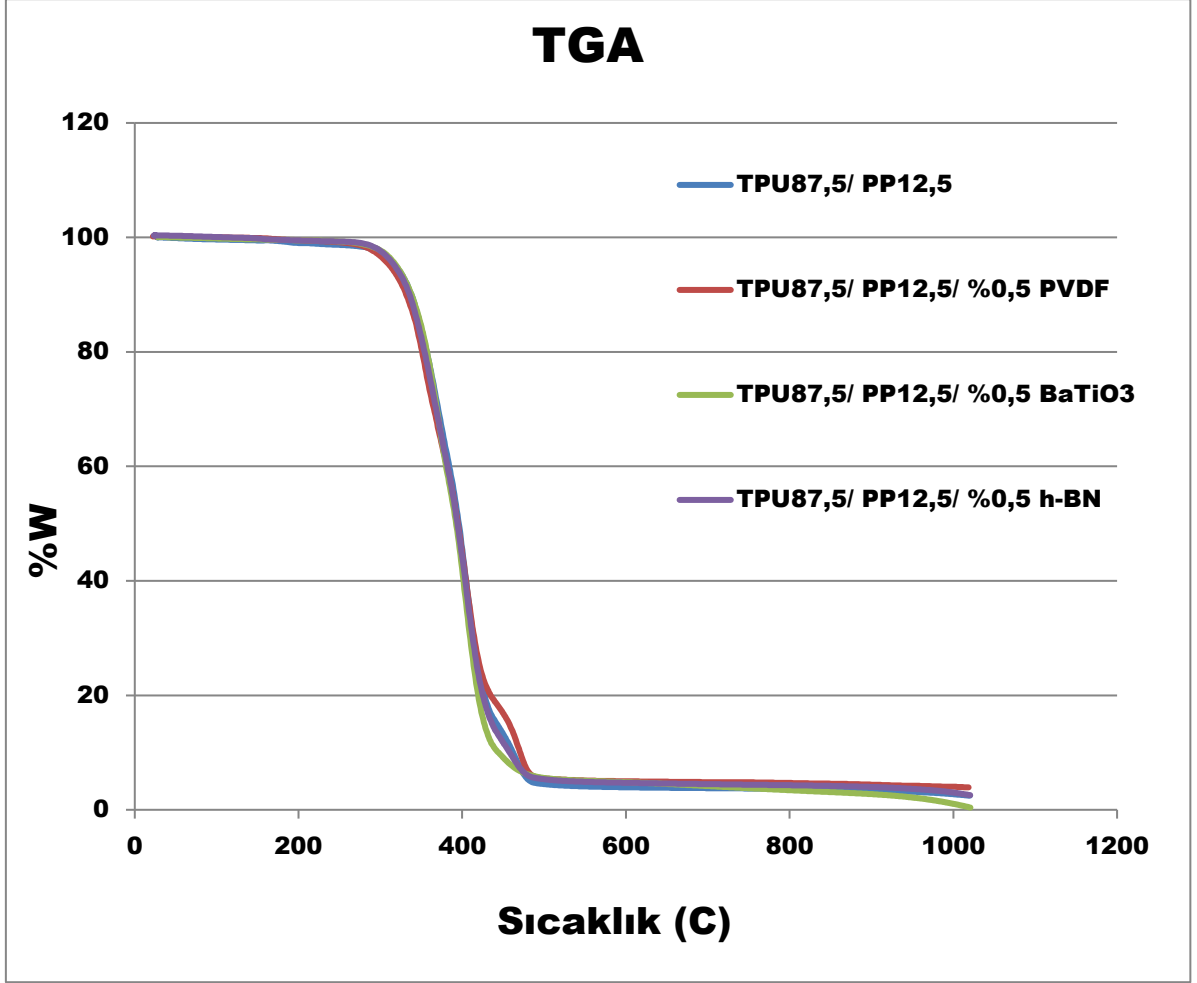
Numune Kod	Td <sub>1</sub> (°C)	Ağırlık Kaybı(%)	Td <sub>2</sub> (°C)	Ağırlık Kaybı(%)
% 100PP	394-478	75	-	-
% 100TPU	268-488	98	-	-
PVDF	420-450	50	450-900	40
TPU <sub>100</sub> /%0,5PVDF EB-2	290-441	90	-	-
TPU <sub>100</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> EB-3	290-441	90	-	-
TPU <sub>100</sub> /%0,5h-BN EB-4	290-436	89	-	-
TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> EB-5	256-301	12	301-435	75
TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> EB-7	260-326	20	326-437	68
TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN EB-8	250-293	13	293-439	79
TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> EB-9	307-437	80	437-486	12
TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5PVDF EB-10	290-433	78	433-487	14
TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5BaTiO <sub>3</sub> EB11	300-470	91	-	-
TPU <sub>87,5</sub> /PP <sub>12,5</sub> /%0,5h-BN EB12	287-439	84	439-480	8



Şekil 5.4. TPU<sub>100</sub> / %0,5PVDF (EB-2) ve TPU<sub>100</sub> / %0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3) ve TPU<sub>100</sub> / %0,5h-BN (EB-4) TGA analiz sonuçları



Şekil 5.5. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> (EB-5), TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-7) ve TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-8) TGA analiz sonuçları



Şekil 5.6. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> (EB-9), TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5PVDF (EB-10), TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-11) ve TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5h-BN (EB-12) TGA analiz sonuçları



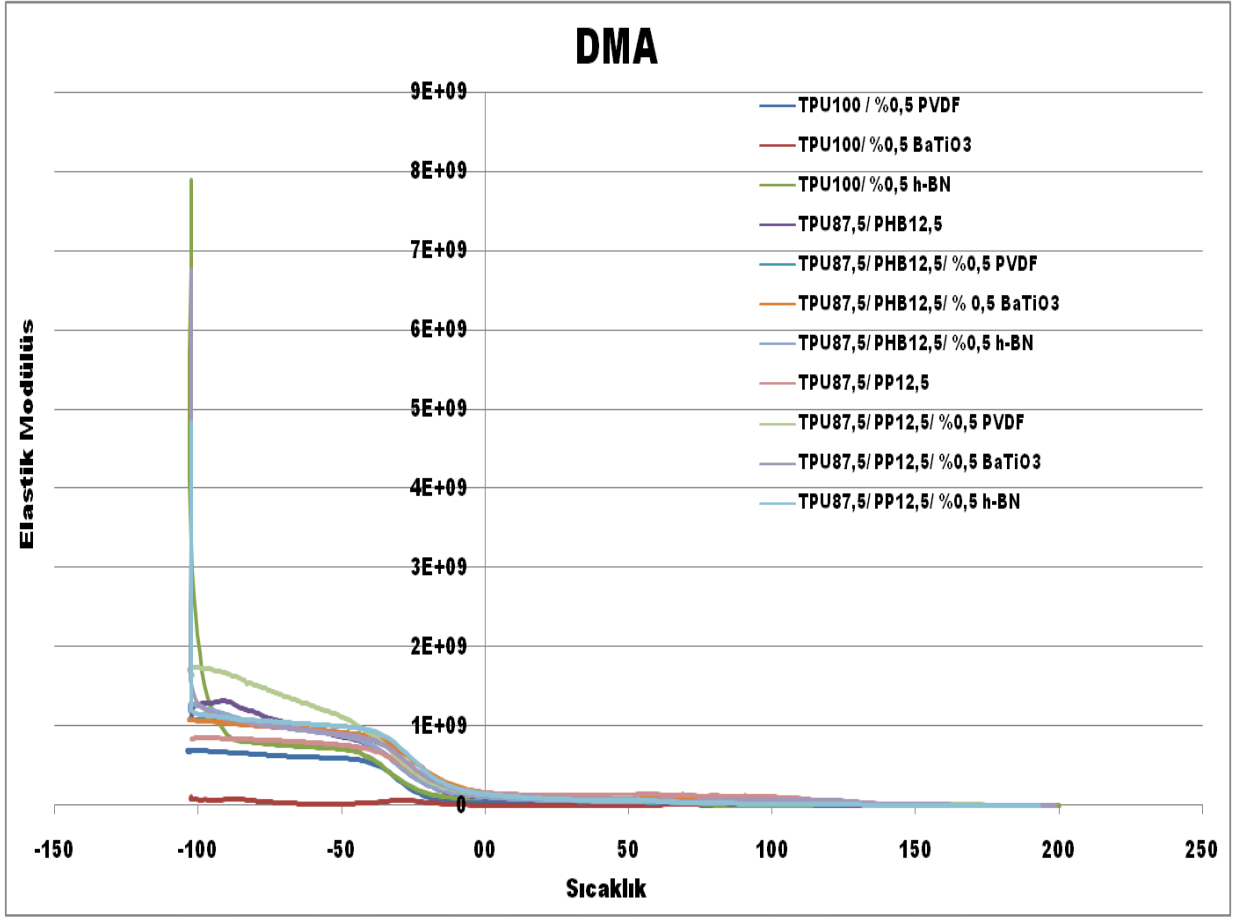
### 5.3. Mekanik Analizler

DMA, Çekme-Germe, Üç Nokta Eğme, shore-D sertlik analizleri yapıldı.

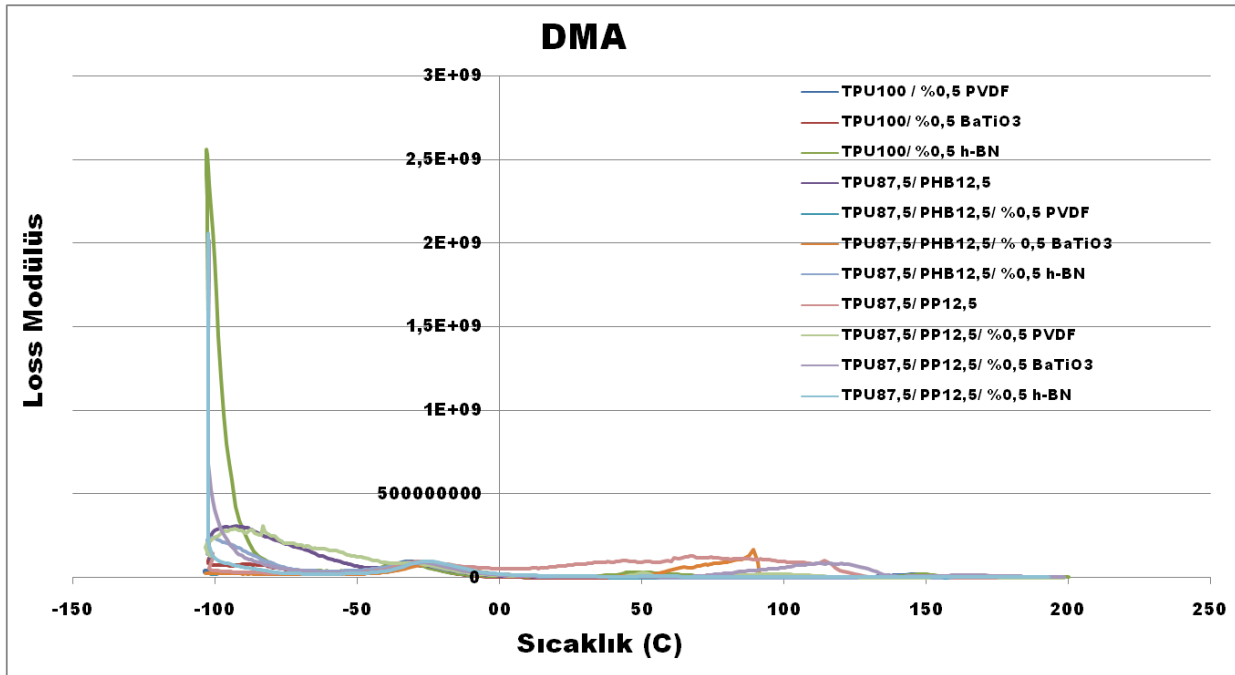
#### 5.3.1. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

Kompozit numunelerin DMA analiz testi bölüm 4.2.6'daki prosedüre göre yapıldı. TPU<sub>%100</sub>, TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> ve TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> polimerleri farklı takviye elemanlarıyla (PVDF, h-BN, BaTiO<sub>3</sub>) oluşturduğu kompozitlerin; elastik özelliklerini gösteren Storage Modülüs (E'), viskoz özelliklerini gösteren Loss Modülüs (E'') ve camsı geçiş sıcaklıklarını  $\tan \delta(E''/E')$  ait test sonuçları grafiksel gösterimleri ayrıntılı olarak Ek 4'de verilmiştir. Tüm kompozitlerin sıcaklığa bağlı elastik modülüs, loss modülüs ve tan delta grafiklerinin karşılaştırmalı sonuçları ise Şekil 5.7-5.8 ve 5.9'da gösterilmiştir.

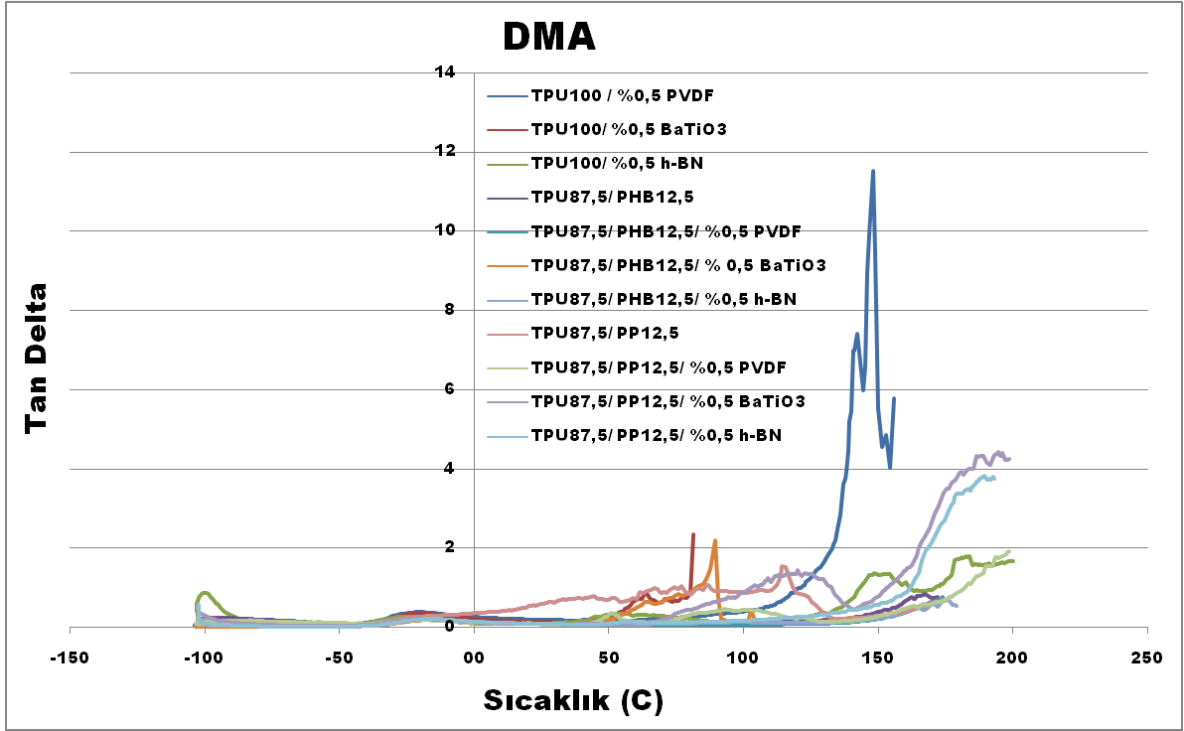
TPU'lar genellikle yumuşak ve sert segmentlerden oluşur. Sert segmentler diizisionat içerirken, yumuşak segmentler ise poliester, polieter veya diol bileşiklerinden oluşur. TPU'nun camsı geçiş sıcaklığı -30,8 °C'de keskin bir pik gösterirken, PP ise 12,7 °C'de görülmektedir. Elastik modülüs, loss modülüs ve tan delta'nın grafiklerinde farklı değerlerin görülmesi kompozit yapının oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 5.7. Kompozitlerin Modulus – Sıcaklık DMA grafiği



Şekil 5.8. Kompozitlerin Loss Modulus – Sıcaklık DMA grafiği



Şekil 5.9. Kompozitlerin Tan Delta – Sıcaklık DMA grafiği

### 5.3.2 Çekme-Germe

Kompozit numunelerin çekme germe testleri; (ASTM D 638) standartta belirtilen ve bölüm 4.2.7’de anlatılan prosedüre göre yapıldı. TPU, PP ve PHB içeren kompozit malzemelerin çekme-germe test sonuçları Tablo 5.3’te ve Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’te verilmektedir. Ayrıca çekme-germe sonuçları tüm numuneler için ayrı ayrı grafikte Ek 5’de verilmiştir.

Bu sonuçlara göre %100 TPU; %0,5 h-BN içeren kompozit malzemelerin maksimum gerilmelerinin, %0,5 PVDF ve %0,5 BaTiO<sub>3</sub> içeren numunelerle kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.10.).

Kompozit malzemede TPU’ya eklenen PHB, elastik kuvveti artırıp yüzde uzamayı düşürmüştür. TPU/PHB kompozitine eklenen tüm takviye elemanları hem yüzde uzamayı hem de maksimum gerilmeyi artırmaktadır (Şekil 5.11.).

Benzer olarak kompozit malzemede TPU’ya eklenen PP, elastik kuvveti artırıp yüzde uzamayı düşürmüştür. TPU/PP kompozitine eklenen tüm takviye elemanları hem yüzde uzamayı hem de maksimum gerilmeyi artırmaktadır (Şekil 5.12.).

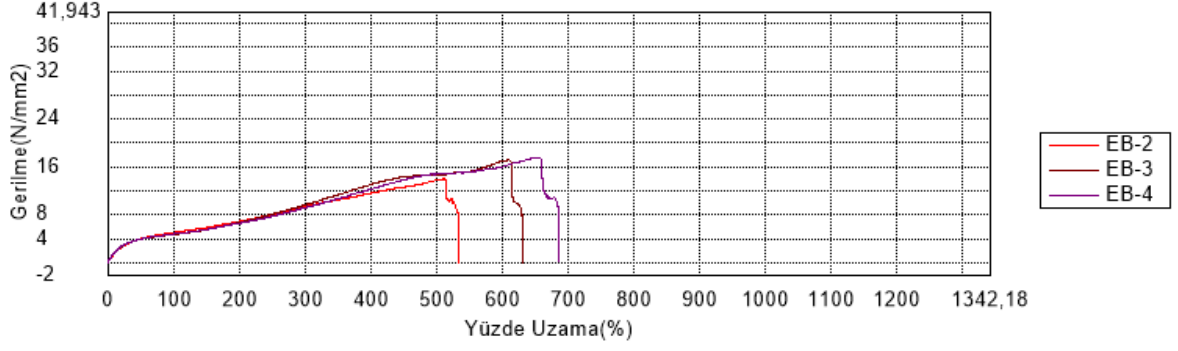
Biyobozunur, biyouyumlu bakteriyel polyester (PHB) içeren TPU/PHB kompozitinin maksimum gerilmeleri, petrol türevli polipropilen içeren TPU/PP kompozitine göre daha yüksektir.

TPU/PHB ve TPU/PP kompozitlerine ilave edilen takviye elemanları, TPU/PHB/PVDF (veya BaTiO<sub>3</sub> veya h-BN) kompozitlerinde yüzde uzamayı daha fazla artırmıştır (Şekil 5.13. ve Tablo 5.3.)

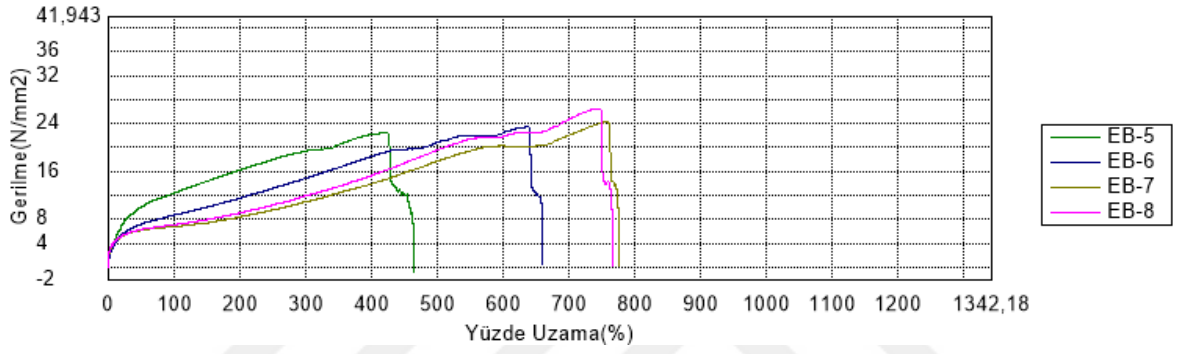


**Tablo 5.3.** Kompozit numunelerin çekme-germe testi belirleme sonuçları

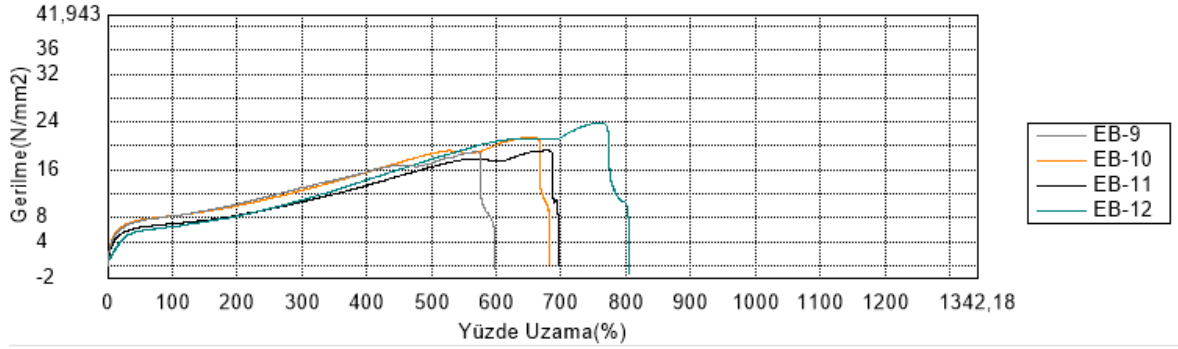
<b>Numune Kodu</b>	<b>Max Gerilme (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Elastik Kuvvet (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Yüzde Uzama (%)</b>
PP <sub>100</sub>	29,486	653	826
TPU <sub>100</sub> EB-1	13,501	12	678
TPU <sub>100</sub> / %0,5 PVDF EB-2	13,9674	13,5662	511,371
TPU <sub>100</sub> / %0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB-3	17,1103	15,0113	610,024
TPU <sub>100</sub> / %0,5 h-BN EB-4	17,5014	14,9319	653,755
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> EB-5	22,4256	60,6854	419,532
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5PVDF EB-6	23,5277	58,6827	639,289
TPU <sub>87,5</sub> /PHB <sub>12,5</sub> / %0,5BaTiO <sub>3</sub> EB-7	24,2045	97,9558	757,136
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5 h-BN EB-8	26,4173	124,966	742,786
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> EB-9	18,9859	98,9929	570,672
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 PVDF EB-10	21,4571	97,9847	658,795
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB11	19,2219	73,4636	678,422
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 h-BN EB12	23,8499	20,7837	760,305



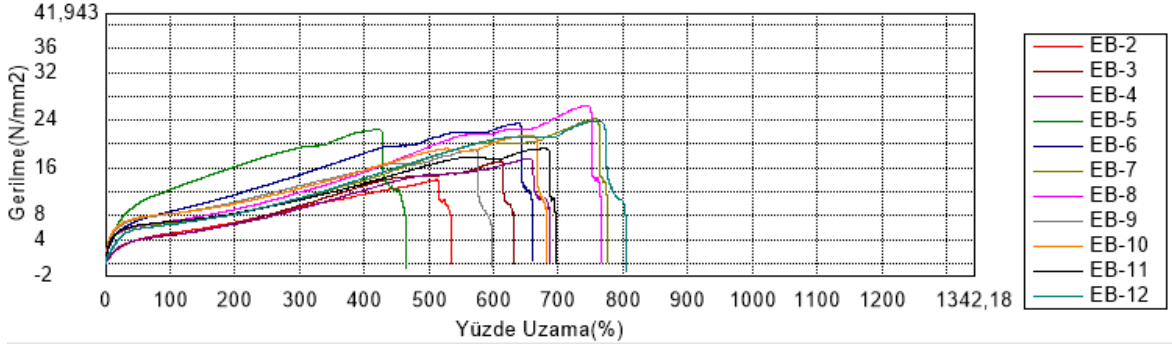
**Şekil 5.10.** TPU<sub>100</sub>/%0,5PVDF (EB-2), TPU<sub>100</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3) ve TPU<sub>100</sub>/%0,5h-BN (EB-4) çekme analizlerinin grafiği



**Şekil 5.11.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> (EB-5), TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF (EB-6), TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-7) ve TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-8) çekme analizlerinin grafiği



**Şekil 5.12.** TPU<sub>87,5</sub>/ PP<sub>12,5</sub> (EB-9), TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF (EB-10), TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-11) ve TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-12) çekme analizlerinin grafiği



**Şekil 5.13.** Elde edilen tüm kompozitlerin çekme grafiği

### 5.3.3. Üç Nokta Eğme Testi

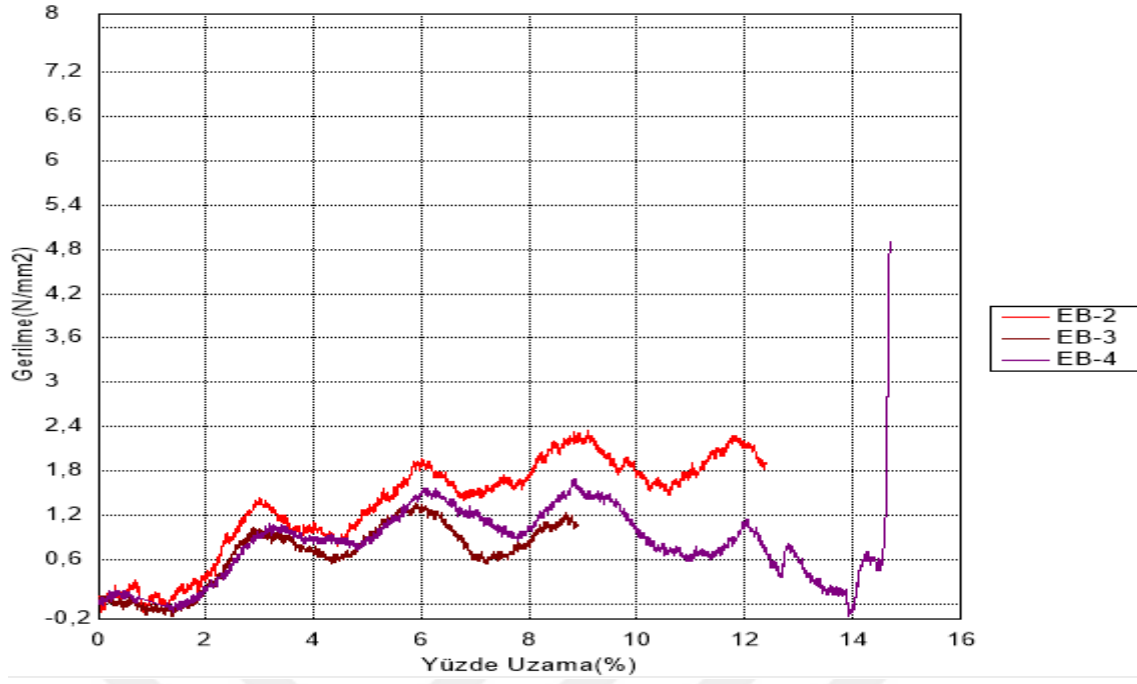
Kompozit malzemelerin üç nokta eğme testleri (ASTM D 790) standartta belirtilen bölüm 4.2.8. de açıklanan prosedüre göre yapıldı. Sonuçları Tablo 5.4'te ve Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Ek 6'da verilmektedir.

h-BN içeren TPU/PHB ile TPU/PP/h-BN numuneleri diğer kompozitlerle karşılaştırıldığında maksimum gerilme ve yüzde uzamaları çok daha yüksektir. Diğer kompozit örneklerinin test sonuçları birbirine oldukça yakındır.

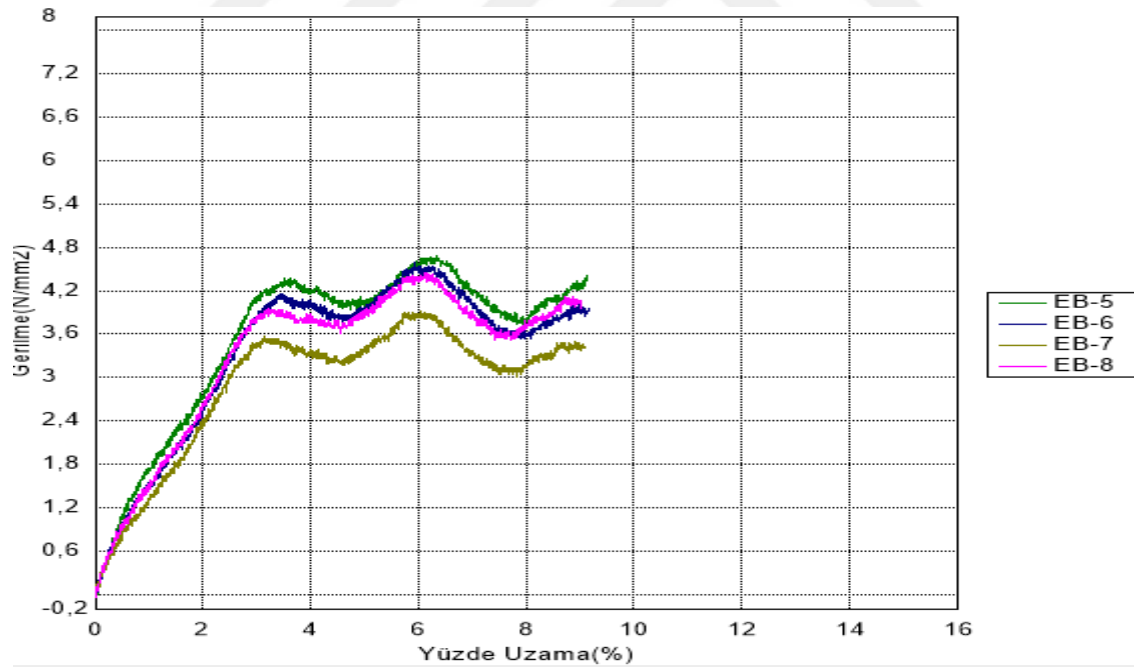
Tüm sonuçlar grafiksel olarak değerlendirildiğinde, kompozitlerde kullanılan TPU oranı %87,5 gibi yüksek bir oran olduğundan dolayı 3 veya 4 boyun oluşum bölgesi göstermektedir.

**Tablo 5.4.** Kompozit numunelerin üç nokta eğme analiz sonuçları

İsim Parametreler Birim	Max_Kuvvet Tüm Alan N	Max_Gerilme Tüm Alan N/mm2	Max_Yüzde Tüm Alan %
EB-2	2,55108	2,35397	9,10355
EB-3	1,47820	1,36398	5,89010
EB-4	5,31673	4,90594	14,7003
EB-5	5,08626	4,69328	6,33274
EB-6	4,97500	4,59061	5,92858
EB-7	4,24385	3,91596	6,04506
EB-8	4,82400	4,45128	6,15591
EB-9	4,34717	4,01129	6,25775
EB-10	4,29153	3,95995	5,92648
EB-11	4,49816	4,15062	6,16677
EB-12	5,61873	5,18461	8,75796

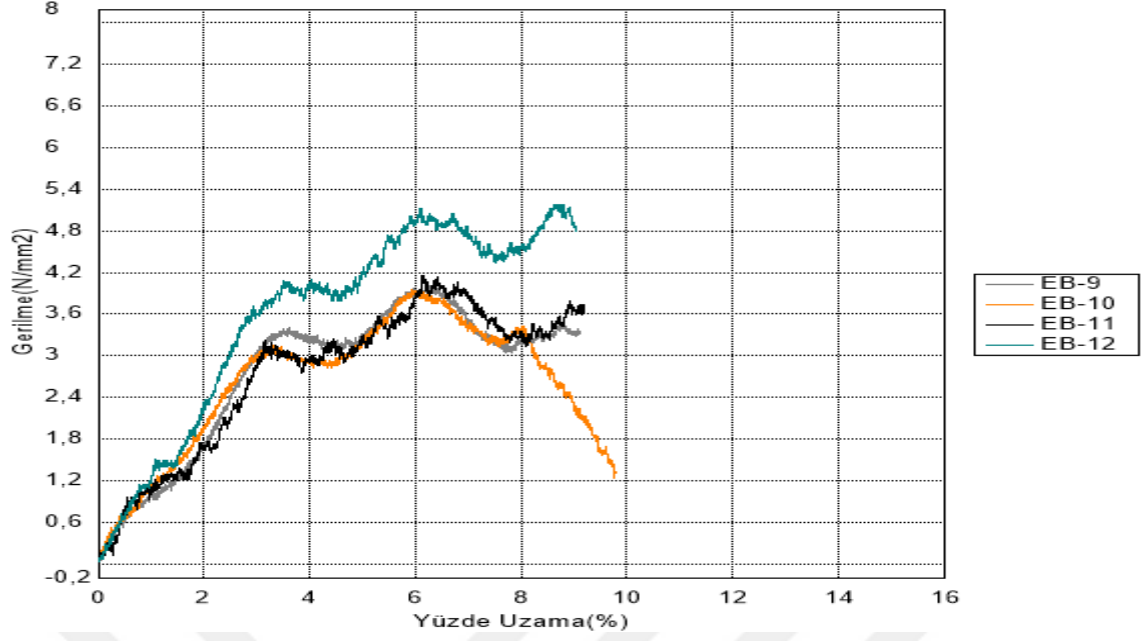


Şekil 5.14. TPU<sub>100</sub>/%0,5PVDF (EB-2), TPU<sub>100</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3) ve TPU<sub>100</sub>/%0,5h-BN (EB-4) Üç Nokta Eğme analizlerinin grafiği



Şekil 5.15. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>(EB-5), TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF(EB-6), TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub>(EB-7) ve TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN(EB-8) Üç Nokta Eğme analizlerinin grafiği





**Şekil 5.16.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>(EB-9), TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF(EB-10), TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub>(EB-11) ve TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN(EB-12) Üç Nokta Eğme analizlerinin grafiği

### 5.3.4. Shore-D Sertlik

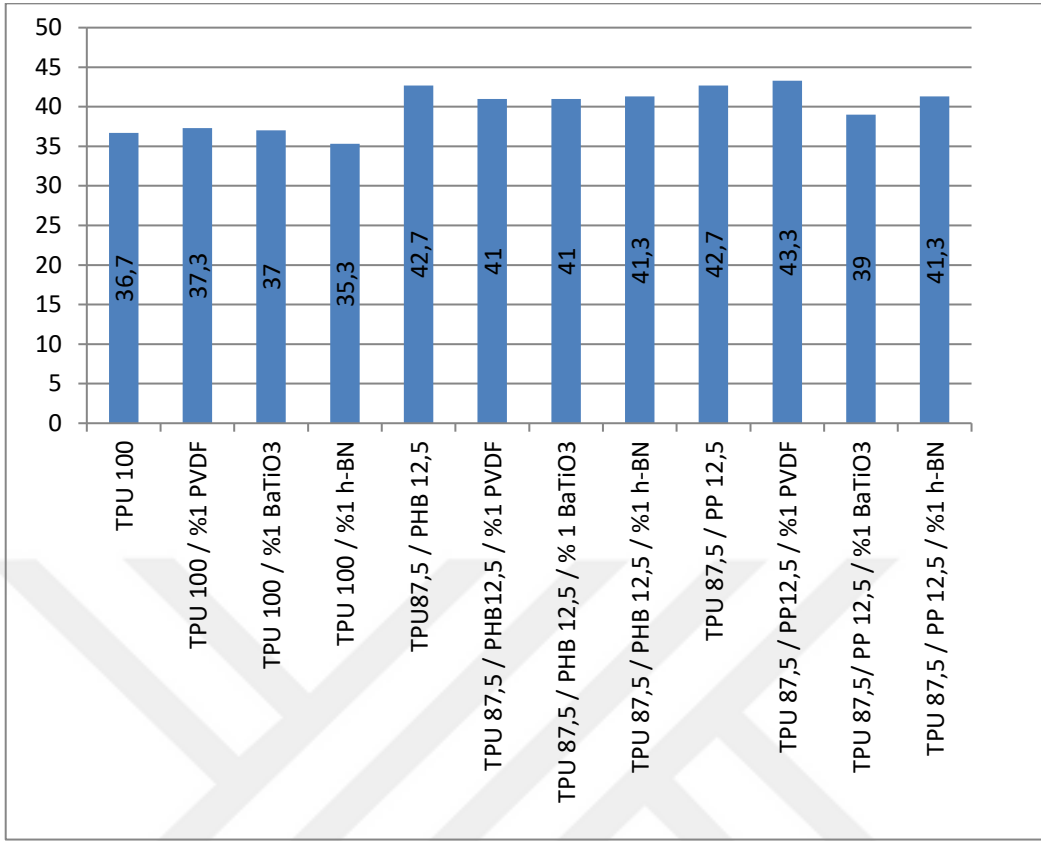
Kompozit numunelerin Shore-D sertlik testleri bölüm 4.2.9'daki prosedüre göre yapıldı ve sonuçlar tablo 5.5'te verilmektedir.

Literatüre göre PHB'nin Shore-D sertlik değeri (69±1) (Pachekoski ve ark, 2009) ile PP'nin Shore-D sertlik değeri (67,7±1) (Çavlı-2018) birbirine oldukça yakın olmasına rağmen TPU için 36.7 olarak bulunmuş ve oldukça farklıdır.

PHB ve PP değerleri birbirine oldukça benzer olduğundan dolayı ve TPU/PHB ve TPU/PP kompozitlerinin Shore-D sertlik değerleri (42,7) aynı bulunmuş ve bu değer TPU ve PHB (veya PP) arasında bulunmaktadır. İlave edilen takviye malzemeleri ise bu değerlere oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Shore-D sertlik sonuçlarının grafiksel görüntüsü Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.5.** Kompozit numunelerin Shor-D Sertlik sonuçları

NUMUNE ADI	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	ORT.
PP <sub>100</sub>	65	69	69	67,7
TPU <sub>100</sub> EB-1	38	35	37	36,7
TPU <sub>100</sub> / %0,5 PVDF EB-2	36	38	38	37,3
TPU <sub>100</sub> / %0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB-3	38	35	38	37
TPU <sub>100</sub> / %0,5 h-BN EB-4	35	35	36	35,3
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> EB-5	42	43	43	42,7
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5 PVDF EB-6	39	42	42	41
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / % 0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB-7	41	41	41	41
TPU <sub>87,5</sub> / PHB <sub>12,5</sub> / %0,5 h-BN EB-8	42	40	42	41,3
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> EB-9	43	43	42	42,7
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 PVDF EB-10	44	42	44	43,3
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 BaTiO <sub>3</sub> EB11	39	39	39	39
TPU <sub>87,5</sub> / PP <sub>12,5</sub> / %0,5 h-BN EB12	40	42	42	41,3



Şekil 5.17. Numunelerin sertlik ölçüm grafiği

#### 5.4. Morfolojik Özellikleri

SEM ile morfolojik yapıları değerlendirildi.

##### 5.4.1. SEM Görüntüleri

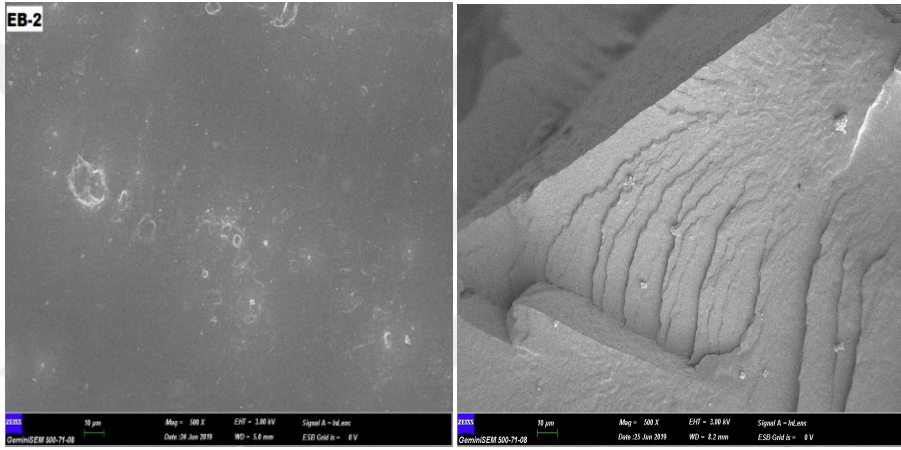
Bu çalışmada TPU/PHB, TPU/PP ve TPU polimerlerine PVDF, BaTiO<sub>3</sub> veya h-BN gibi takviye elemanlarının ilave edilmesi ile elde edilen kompozit numunelerin; Bölüm 4.2.10. da belirtildiği gibi SEM ile yapılarak yüzey ve kesit SEM görüntüleri 500X, 2.00KX, 5.00KX, 10.00KX, 20.00KX ve 30.00KX gibi farklı büyütme oranlarında morfolojik yapıları değerlendirildi. SEM görüntüleri Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Ek 7’de verilmektedir.

Farklı büyütme oranlarıyla saf TPU ile kompozit malzemeler karşılaştırıldığında; TPU’nun yapısal özelliğine bağlı olarak kopma bölgelerinin kesit görüntülerinde lif şeklinde uzayan bölgelerin görülmesi malzemenin uzadığını göstermektedir. TPU/PP

kompozitlerinin kesit görüntülerinde; PP'e bağlı uzamanın fazla olmadığı kopmanın gerçekleştiği görülmüştür. Bu sonuçlar literatür bilgileriyle örtüşmektedir.

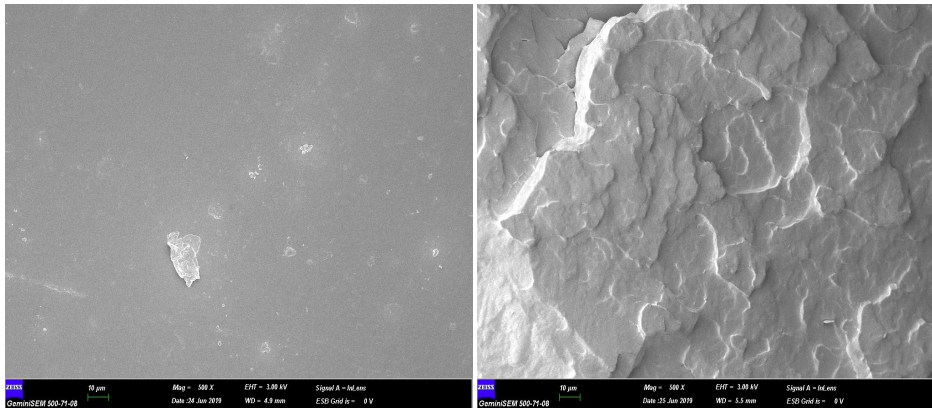
%100TPU'ya %0,5 h-BN takviyesinin ilavesinde ise, %100TPU görüntüsüne kıyasla yapıda homojenleşme olduğu ve özellikle kesit bölgelerinde partiküllerin ara yüzey bağ oluşturması ile yapının toparlandığı ve yapıya homojenlik kazandırdığı görülmektedir.

h-BN takviyesi içeren kompozitler ve BaTiO<sub>3</sub> takviyesi bulunan kompozitler kıyaslandığında BaTiO<sub>3</sub> takviyesi bulunan kompozit yapıların yüzey görüntüsünde BaTiO<sub>3</sub> partiküllerinin dağılımının heterojen ve kümeleşme olduğu, kesit bölgelerinde ise gözenekli yapının olduğu görülmüştür. PVDF takviye elemanı ise homojen dağıldığı gözlenmiştir.



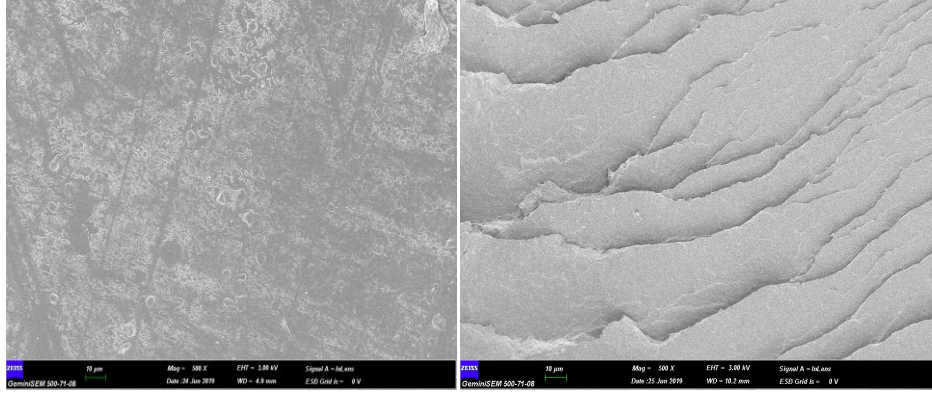
Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.18. TPU<sub>100</sub>/ %0,5PVDF (EB-2)



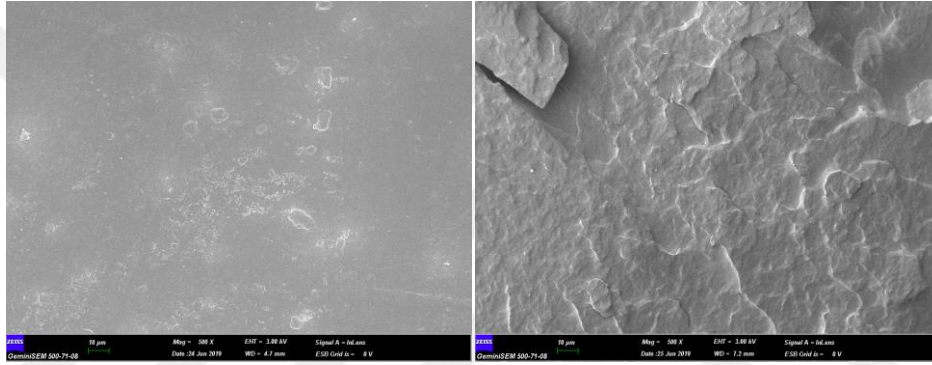
Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.19. TPU<sub>100</sub>/ %0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3)



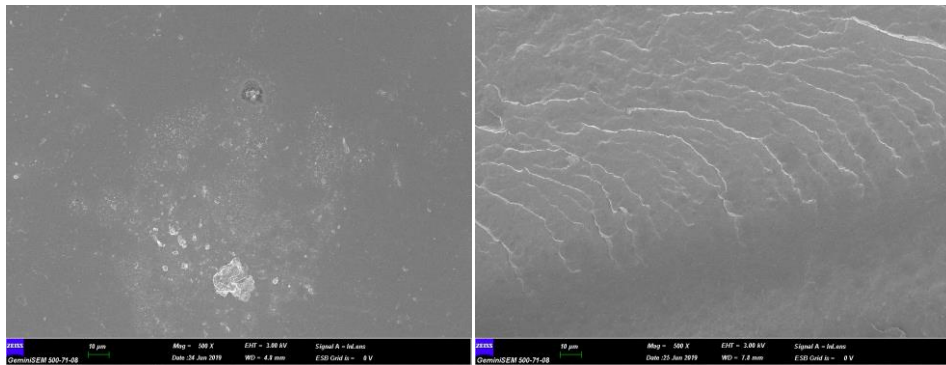
Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.20. TPU<sub>100</sub>/%0,5h-BN (EB-4)



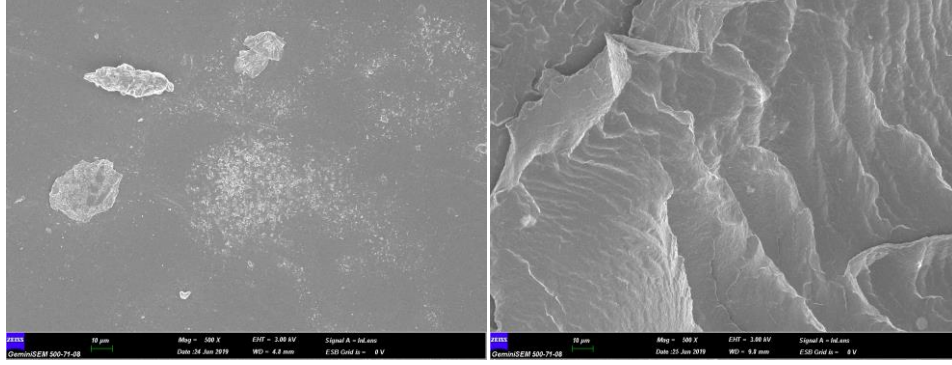
Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.21. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> (EB-5)



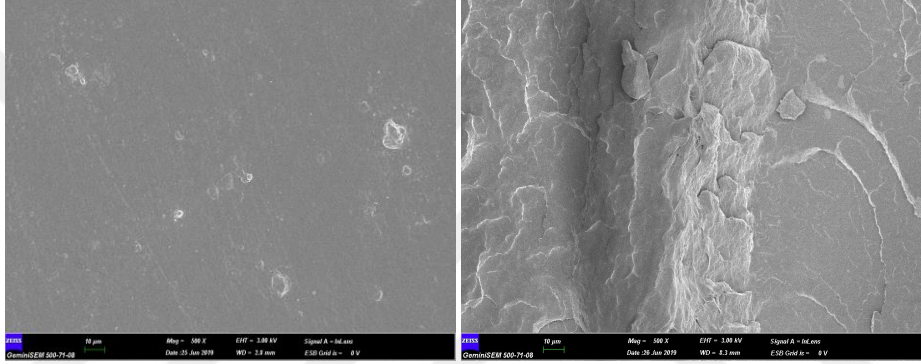
Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.22. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/PVDF (EB-6)



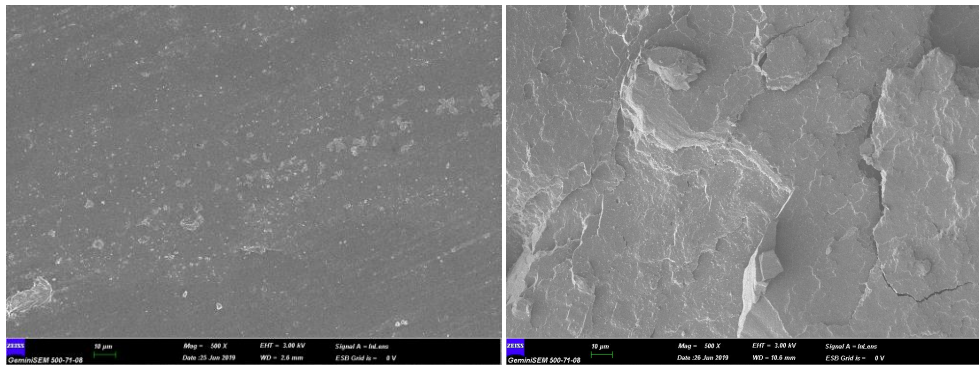
Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.23. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-7)



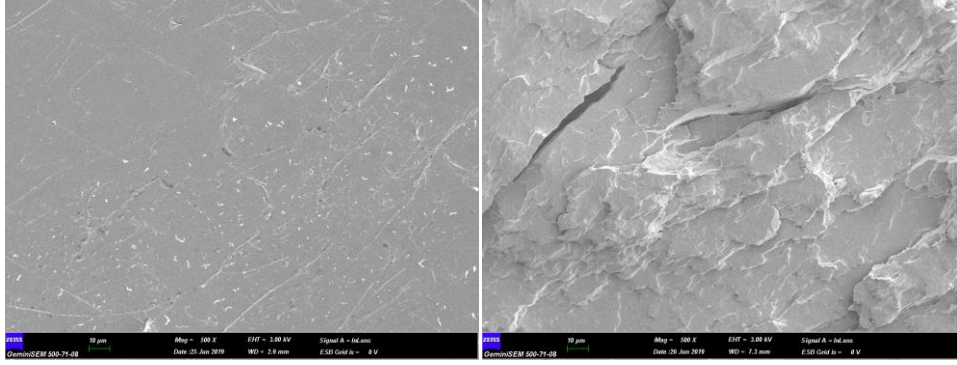
Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.24. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-8)



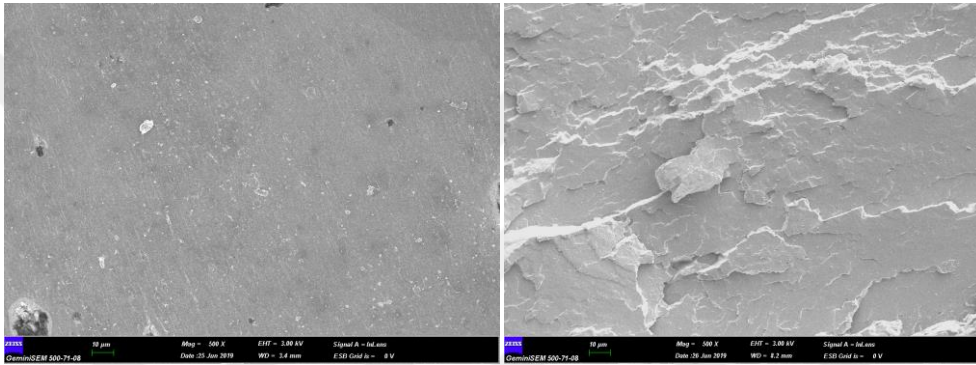
Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.25. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> (EB-9)



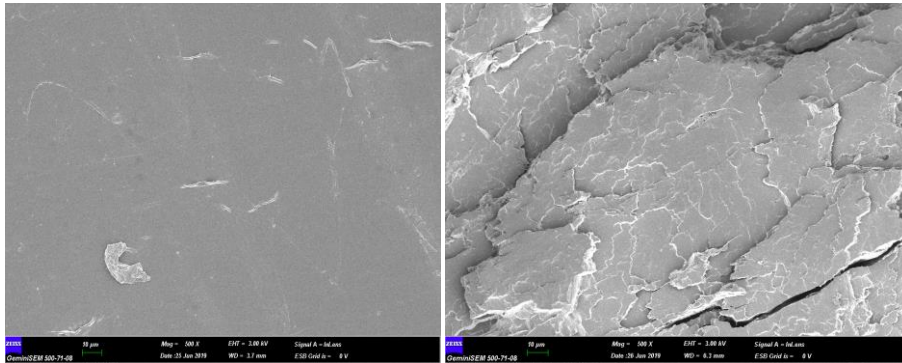
Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.26. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF (EB-10)



Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.27. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-11)



Yüzey (500X) – Kesit (500X)

Şekil 5.28. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-12)

## 6. SONUÇ

Günümüzde değişen teknoloji ile insanların kullanımına ve refahına uygun daha ucuz, kullanışlı malzemelerin üretilebilmesi yönünde birçok araştırmalar yapılmaktadır. Hafif, esnek, kolay işlenebilirlik, ekonomik ve geri dönüşüm gibi özellikleri ile günümüzün vazgeçilmez malzemeleri olan polimerler tıp, biyomedikal, askeri, biyoteknoloji, tekstil ve elektrpnik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle daha ucuz, biyobozunur, daha sağlam malzemelerin üretilebilmesi, malzeme özelliklerinin iyileştirmek için malzeme özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir.

Bu tez kapsamında; PVDF, BaTiO<sub>3</sub> ve h-BN partiküllerin ilavesi ile biyobozunur, biyoyumlu PHB içeren TPU/PHB, sentetik polipropilen içeren TPU/PP ve TPU kompozitleri elde edildi. Numunelerin yapısal özellikleri FT-IR spektroskopi, termal özelliklerini TGA ve DSC, mekaniksel özelliklerini germe-çekme, DMA, üç nokta eğme, shore- D sertlik değerleri ve SEM ile morfolojik özellikleri değerlendirildi.

Kompozitlerin örneklerini Tablo 4.1’de belirtildiği. oranlarda hazırlandı Bu kompozitlerdetakviye elemanı olarak PVDF, BaTiO<sub>3</sub> veya h-BN ile matriks malzemesi olarak TPU/PHBTPU/PP ve TPU kullanıldı. Kombinasyonlar ve işlem parametreleri sabit tutularak hata oranları düşürüldü. Hazırlanan karışımları ekstrüderden geçirilen kompozit granüller daha sonra enjeksiyon makinasında ergitilip kalıp numunelere basılarak test örnekleri hazırlandı.

Kompozit malzemelerin FT-IR ATR spektrometresi ile yapı analizleri yapıldı. İlgili numunelerin spektrumlarında TPU, PHB, PP, ve takviye elemanlarına ait karakteristik keskin piklerin görülmesi yapının oluştuğunu göstermektedir (şekil 5.1, şekil 5.2, şekil 5.3, ve Ek1).

Elde edilen kompozit malzemelerin termal analizleri DSC ve TGA ile yapıldı. Her bir örnek için DSC eğrilerinde görülen ekzotermik ve endotermik pikler ( Tablo 5.1 ve Ek2). ile TGA eğrilerinde görülen farklılıklar termal özelliklerinin de farklı olduğunu göstermektedir. TPU/PHB/%0,5 h-BN’un TPU/PP/%0,5 h-BN göre bozunma sıcaklıkları daha düşüktür. %0,5 BaTiO<sub>3</sub> varlığı ise TPU/PP kompozitinde erime sıcaklığını çok az artırırken TPU/PP kompozitinde tek bozunma sıcaklığı gözlenmesine sebep olmuştur(Tablo 5.2 ve Ek3). TPU/PP/%0,5BaTiO<sub>3</sub> tek bir bozunma sıcaklığı gözlenmekte TPU/PHB/%0,5 BaTiO<sub>3</sub>’ta ise daha düşük iki farklı bozunma sıcaklığı gözlenmektedir.

Kompozit numunelerin çekme-germe testleri (ASTM D 638) standartta belirtildi gibi yapılarak sonuçlar değerlendirildi. Biyobozunur, biyoyumlu bakteriyel polyester



(PHB) içeren TPU/PHB kompozitinin maksimum gerilmeleri, petrol türevli polipropilen içeren TPU/PP kompozitine göre daha yüksektir. TPU/PHB ve TPU/PP kompozitlerine ilave edilen takviye elemanları, TPU/PHB/PVDF (veya BaTiO<sub>3</sub> veya h-BN) kompozitlerinde yüzde uzamayı daha fazla artırmıştır (Ek. 5. Tablo 5.3.)

Örneklerin Üç nokta eğme ASTM D 790) standartta belirtildiği gibi yapıldı. Test sonuçlarına göre h-BN içeren TPU/PHB ile TPU/PP/h-BN numuneleri diğer kompozitlerle karşılaştırıldığında maksimum gerilme ve yüzde uzamaları çok daha yüksektir. Elde edilen diğer kompozit örneklerinin test sonuçları birbirine oldukça yakındır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, kompozitlerde kullanılan TPU oranı %87,5 gibi yüksek bir oran olduğundan dolayı 3 veya 4 boyun oluşum bölgesi göstermektedir(Ek. 6. Tablo 5.4.).

Shore D sertlik değerleri karşılaştırıldığında; saf PHB (69)ve saf PP (67.7) değerleri birbirine oldukça yakın ve TPU'nun değeri oldukça farklıdır. TPU/PHB ve TPU/PP kompozitlerininShore-D sertlik değerleri (42,7) ile takviye elemanı ilave edilen kompozitlerinde(~41veya~43 ) benzer bulunmuştur. Bu değerler TPU ve PHB (veya PP)'nin sertlik değerleri arasındadır.

Bu çalışmada TPU/PHB, TPU/PP ve TPU polimerlerine PVDF, BaTiO<sub>3</sub> veya h-BN gibi takviye elemanlarının ilave edilmesi ile elde edilen kompozit numunelerin yüzey ve kesit SEM görüntüleri incelendiğinde yapısal farklılıklar görülmektedir.

Bu tez kapsamında sonuçlar bütünlük olarak değerlendirildiğinde; farklı oranlarda takviye elemanları içeren kompozitlerin termal, mekanik ve morfolojik sonuçları karşılaştırıldığında saf malzemelere göre özelliklerinin iyileştiği görülmektedir.

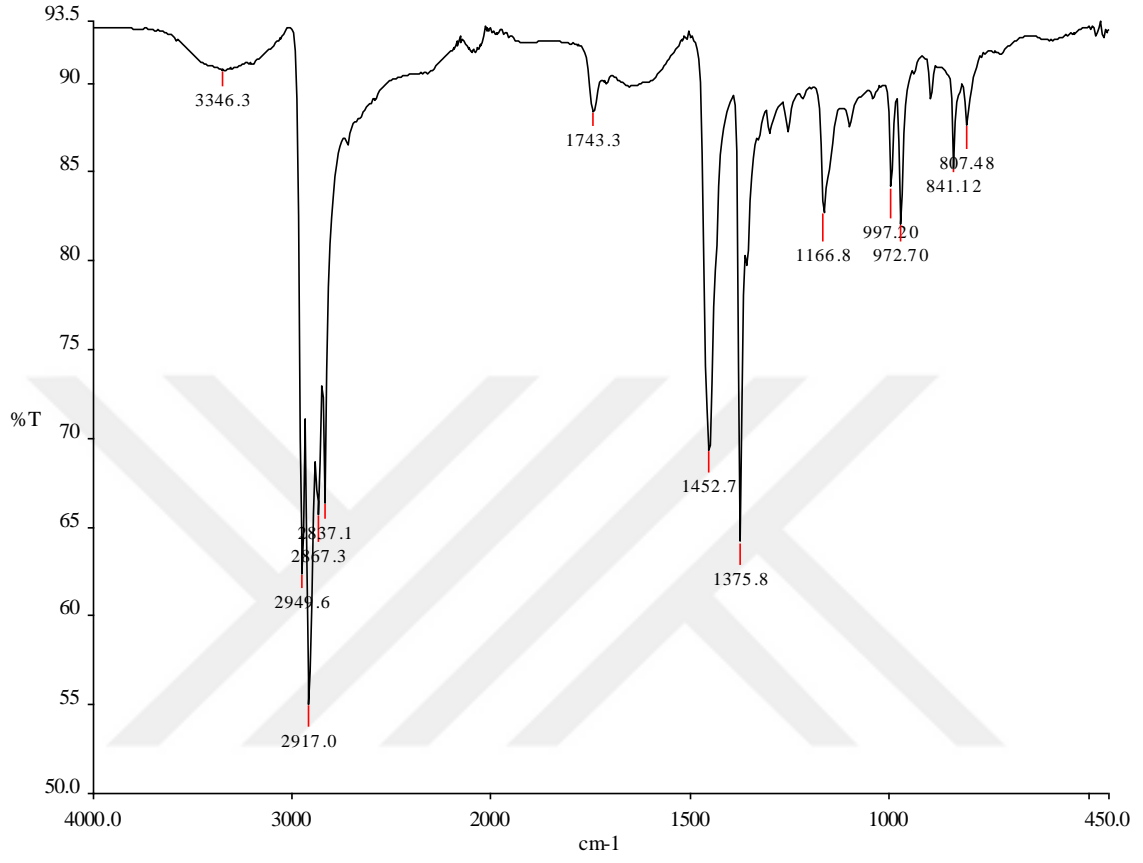
## KAYNAKLAR

- Araujo, P.L.P., Ferreira. C.R.P.C., Araujo. E.S., 2010. Biodegradable conductive composites of poly(3-hydroxybutyrate) and polyaniline nanofibers: Preparation, characterization and radiolytic effects. *eXPRESS Polymer Letters*.
- Aydın, Z., 2007. İletken Poli(Etilen Teraftalat)/Polipirol Kompozit Liflerinin Kimyasal Polimerizasyonla Hazırlanması Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Basan, S., 2001. *Polimer Kimyası*, Birinci Baskı. Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları Sivas, 367 s.
- Basan, S., 2013. *Polimer Kimyası*, 2. Baskı. Gazi Yayınevi, Ankara.
- Baştürka, E., Madakbaşa, S., Kahraman, M.V., 2016. Improved Thermal Stability and Wettability Behavior of Thermoplastic Polyurethane / Barium Metaborate Composites. *Materials Research*.
- Baysal, B., 1981. *Polimer Kimyası*, 1. Baskı. Orta Doğu Üniversitesi, Ankara.
- Chan, C.M., Vandi, L.J., Pratt, S., Halley, P., Richardson, D., Werker, A., Laycock, B., 2018. Mechanical Properties Of Poly(3-Hydroxybutyrate-Co-3-Hydroxyvalerate)/Wood Flour Composites: Effect Of Interface Modifiers. *Journal Of Applied Polymer Science*.
- Chawla, K.K., 1987. *Composite Materials Science and Engineering*. Springer Verlag, New York 140-283 s.
- Kılıç E., Köseoğlu F., Yılmaz H., 1998 . *Temel Kimya, Moleküller, Maddeler ve Değişimler*. Bilim Yayıncılık, Ankara.
- Deniz, M., 2012. Anilinin Oksidatif Polimerleşmesi İle Çeşitli Takviye Malzemeli Kompozitlerin Sentezi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum, Türkiye.
- Ekşi, O., 2007. Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye.
- Erdik E., & Sarıkaya, Y., 1991. *Temel Üniversite Kimyası*. 5. Baskı. Hacettepe-Taş Kitapçılık Ltd. Şt. Ankara.
- Ersoy M. S., 2005. Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Hüner, Ü., 2008. Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye.

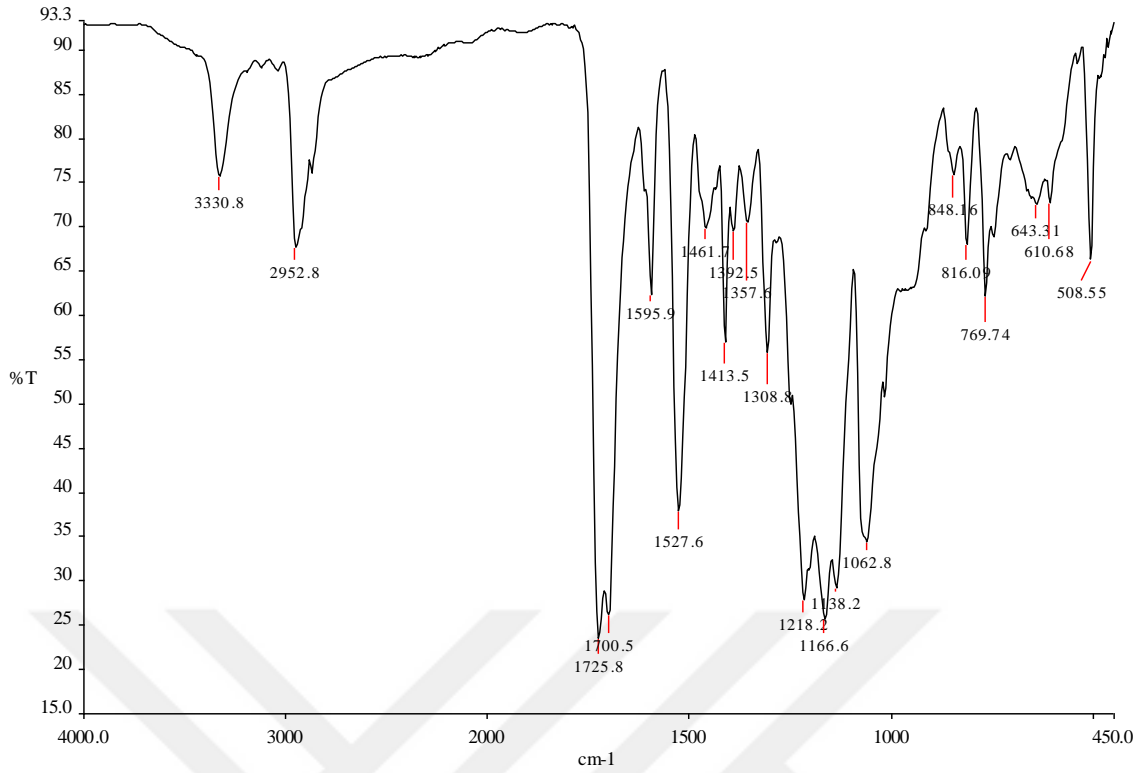
- Olkhova, A.A., Markin, V.S., Kosenko, R.Y., Gol'dshtrakh, M.A., Iordanskii, A.L., 2015. Influence of the Film Forming Procedure on the Interaction in Polyhydroxybutyrate–Polyurethane Blends. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 307-312.
- Öner, M., Kızıl, G., Keskin, G., Bokatiev, C.P., 2018. The Effect of Boron Nitride on the Thermal and Mechanical Properties of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate). *Nanomaterials*.
- Safont, E.L.S., Arrillaga, A., Anakabe, J, Perez, J.G., Cabedo, L., 2018. Toughness Enhancement of PHBV/TPU/Cellulose Compounds with Reactive Additives for Compostable Injected Parts in Industrial Applications. *International Journal of Molecular Sciences*.
- Saçak, M., 2004. *Polimer Kimyası*. Gazi Kitapevi, 5. Baskı. Ankara, 525 s.
- Saçak, M., 2010. *Polimer Kimyası*. Gazi Kitapevi, 8. Baskı. Ankara.
- Seoane, I.T., Manfredi, L.B., Cyras, V.P., 2013. Properties and processing relationship of polyhydroxybutyrate and cellulose biocomposites. *Procedia Materials Science*.
- Sönmez, M., 2009. Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği; Türkiye’de Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Şahin. Y., 2000. *Kompozit Malzemelere Giriş*. Gazi Kitabevi, 1. Baskı. Ankara, (8-14, 38-60, 79-87, 118-127).
- Taşgetiren, S., 1999. *Kompozit Malzemeler Giriş Ders Notları*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayını, 1. Baskı. Afyon.
- Tuğ S., 2004. Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Genel Bakış, Yüksek Lisans Semineri. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, İstanbul.
- Turaçlı, H., 2003. *Ekstrüzyon Teknolojisine Giriş*. PAGEV Yayınları, 2.Baskı. İstanbul, Türkiye 7-83 s.
- Pachekoski, W.M., Agnelli, J.A.M., Belem L.P., 2009. Thermal, Mechanical and Morphological Properties of Poly (Hydroxybutyrate) and Polypropylene Blends After Processing. Federal University of São Carlos, Rod. Washington Luis. Department of Materials Engineering. São Carlos - SP, Brazil 12-164 s.
- Vinson, J.R., Sierakowski, R.L., 2004. The Behavior of Structures Composed of Composite Materials, The Center For Composite Materials and THE Collage of Marine Studies. University of Delaware Department of Mechanical Engineering, Florida, USA, 446 s.
- Wang, S., Xiang, H., Wang, R., Peng, C., Zhou, Z., Zhu, M., 2014. Morphology and Properties of Renewable Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) Blends With Thermoplastic Polyurethane. *Polymer Engineering And Science*.

## EKLER

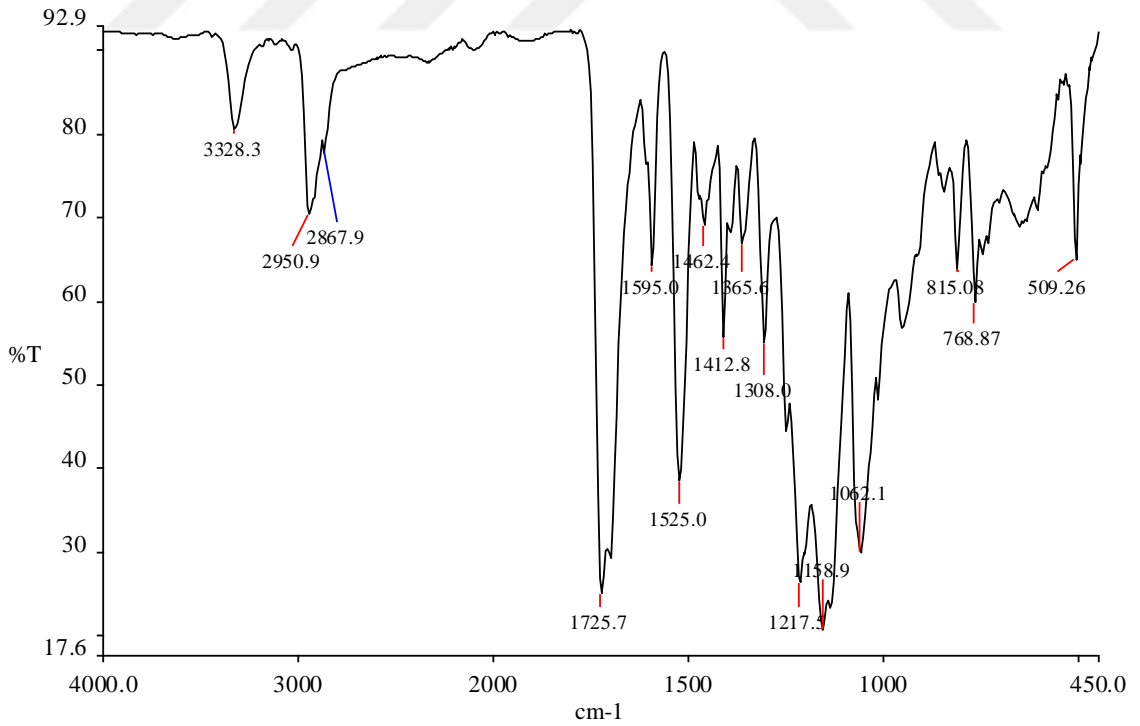
### EK 1 FTIR Spektrumları



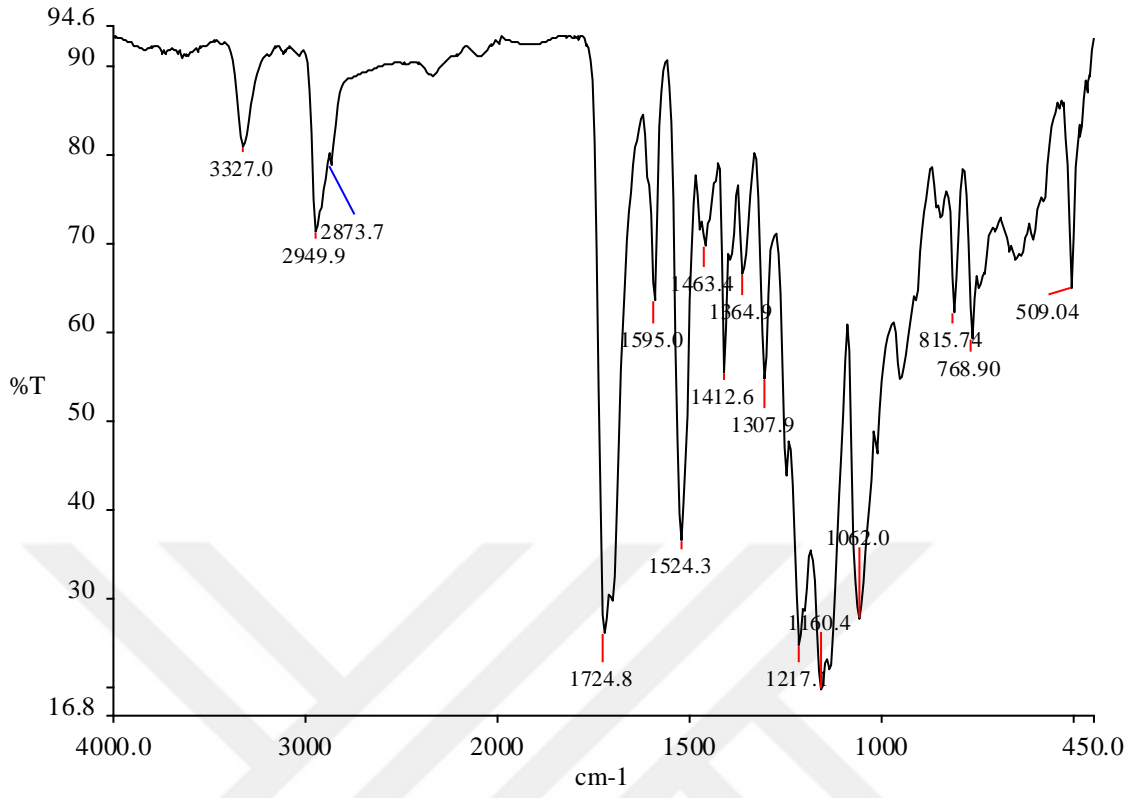
**EK 1 - Şekil 6.1.** % 100 PP kompozitinin FT-IR spektrumu



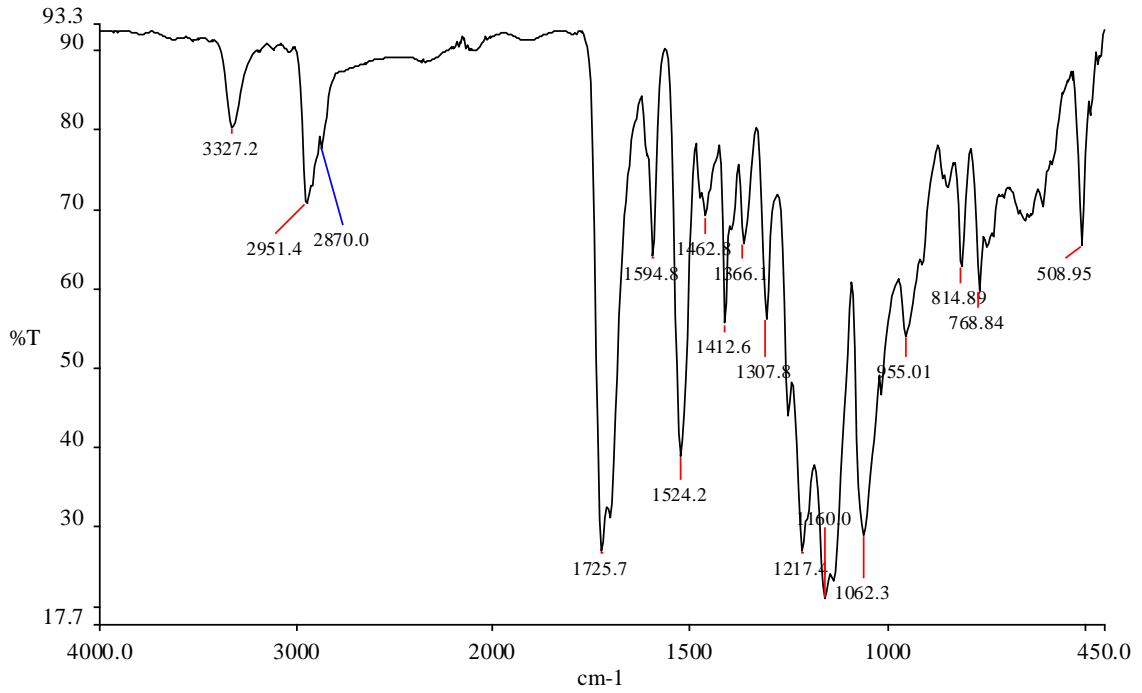
**EK 1 - Şekil 6.2. % 100 TPU kompozitinin FT-IR spektrumu**



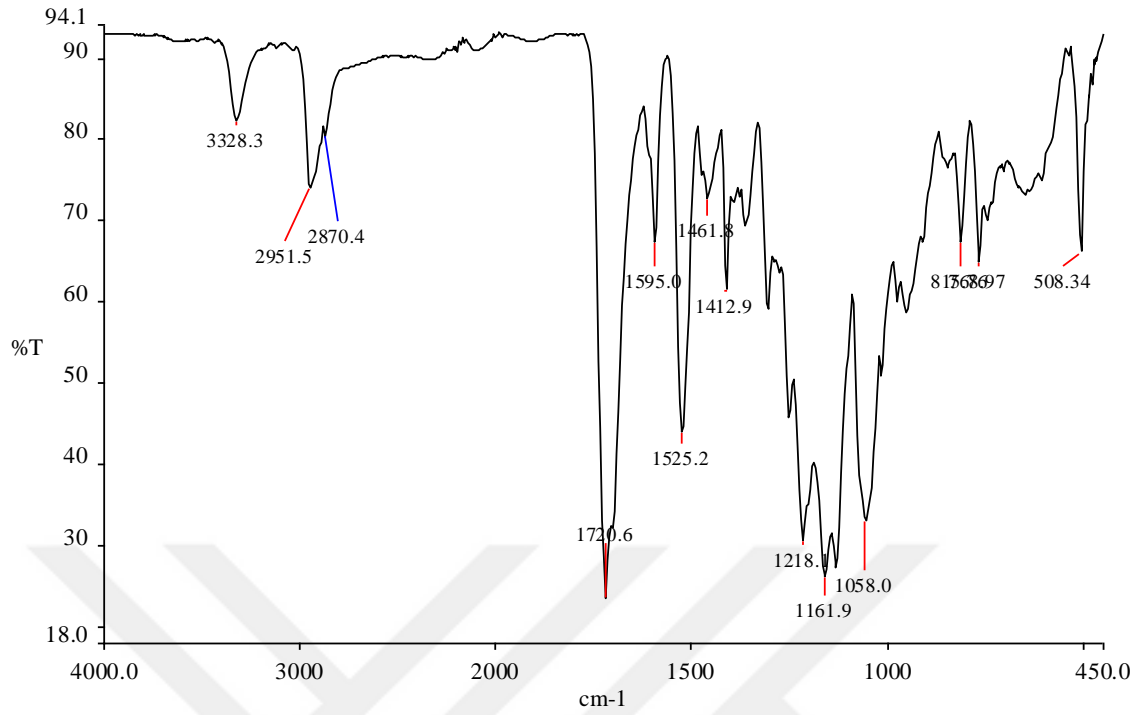
**EK 1 - Şekil 6.3. TPU<sub>100</sub>/PVDF<sub>0.5</sub> kompozitinin FTIR spektrumu (EB-2)**



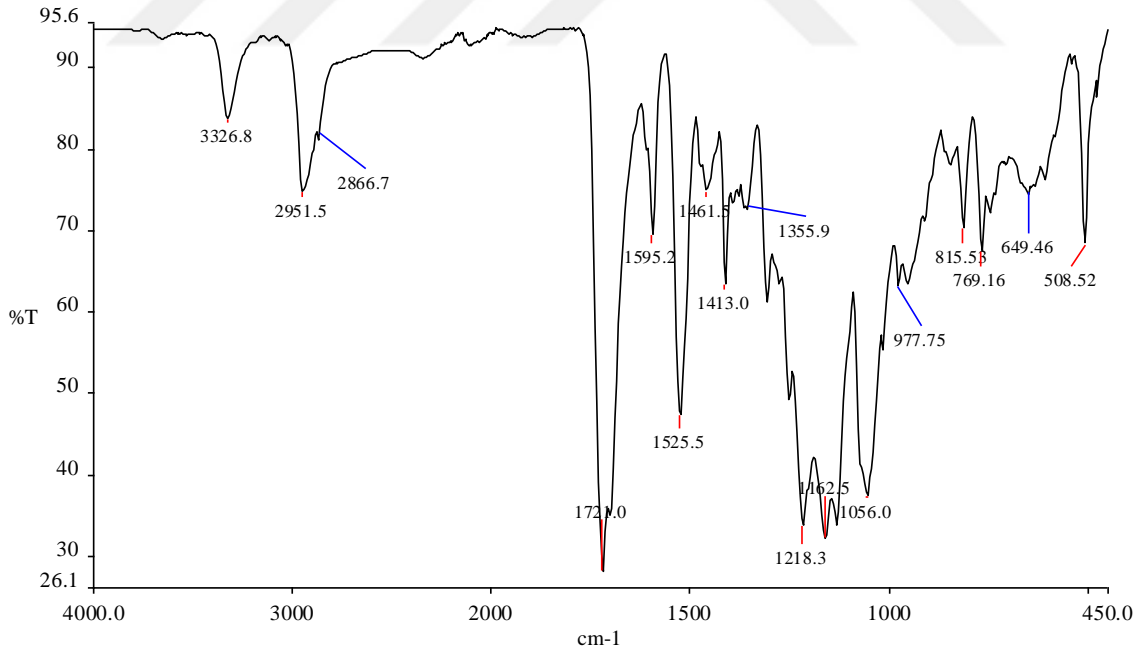
**EK 1 - Şekil 6.4.** TPU<sub>100</sub>/0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-3)



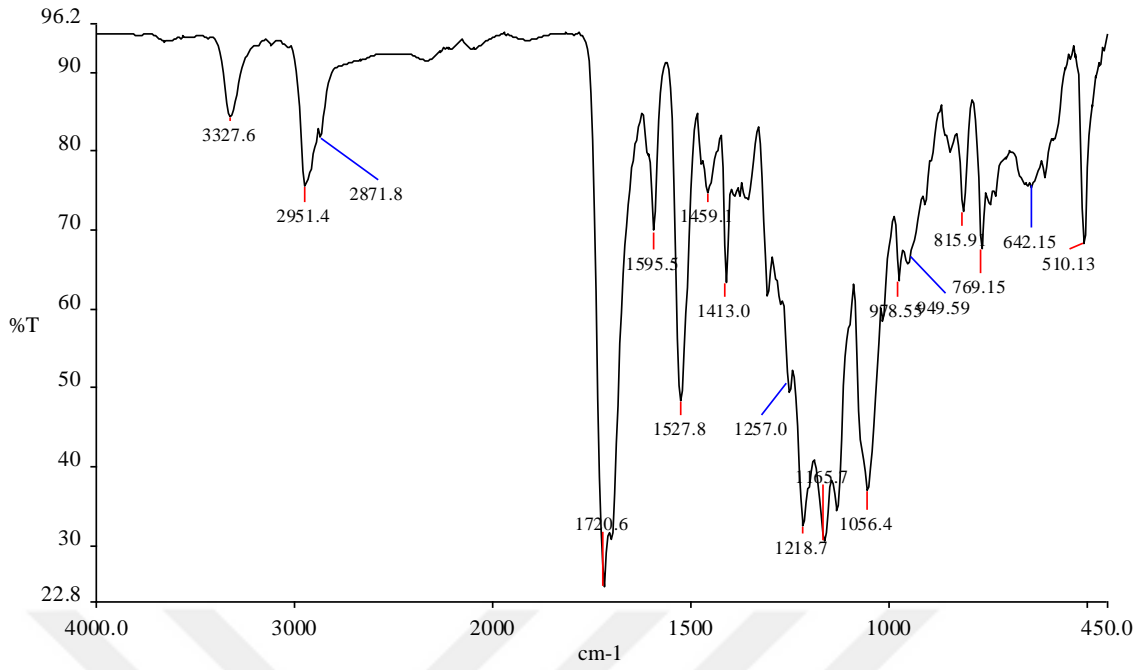
**EK 1 - Şekil 6.5.** TPU<sub>100</sub>/0,5h-BN kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-4)



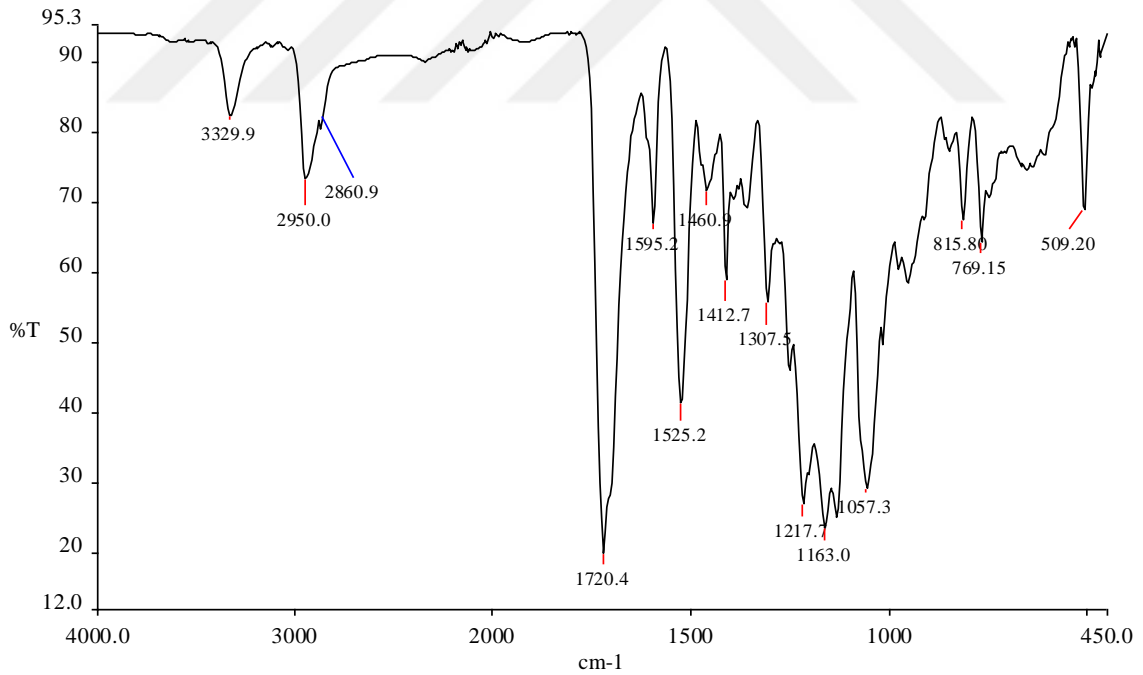
**EK 1 - Şekil 6.6.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-5)



**EK 1 - Şekil 6.7.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/0,5PVDF kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-6)

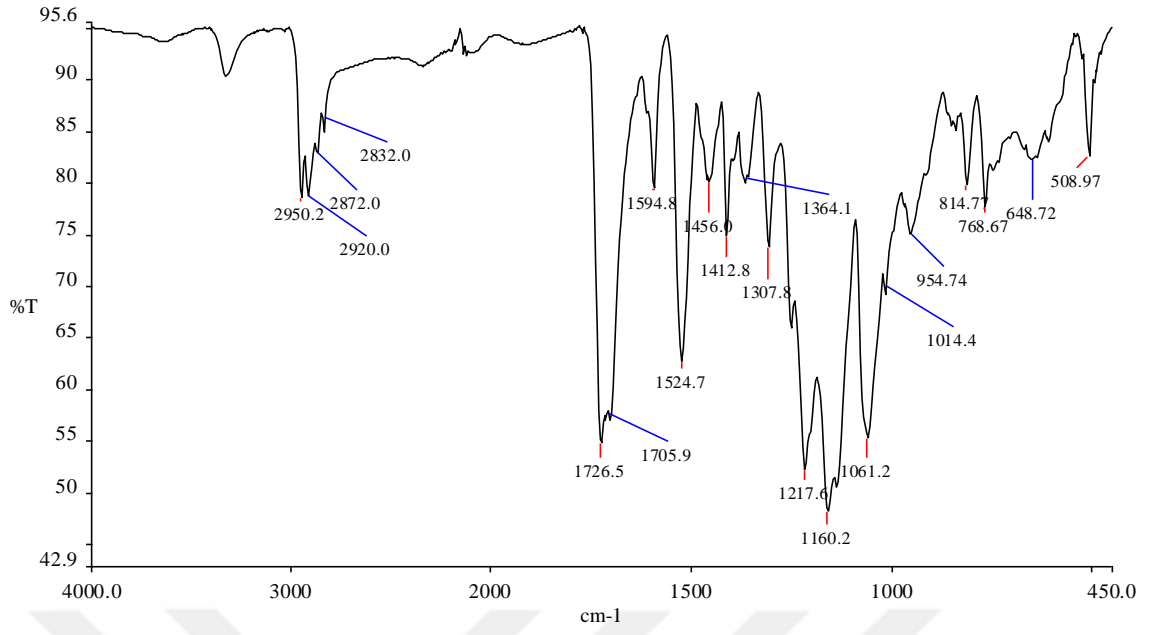


**EK 1 - Şekil 6.8.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/0.5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-7)

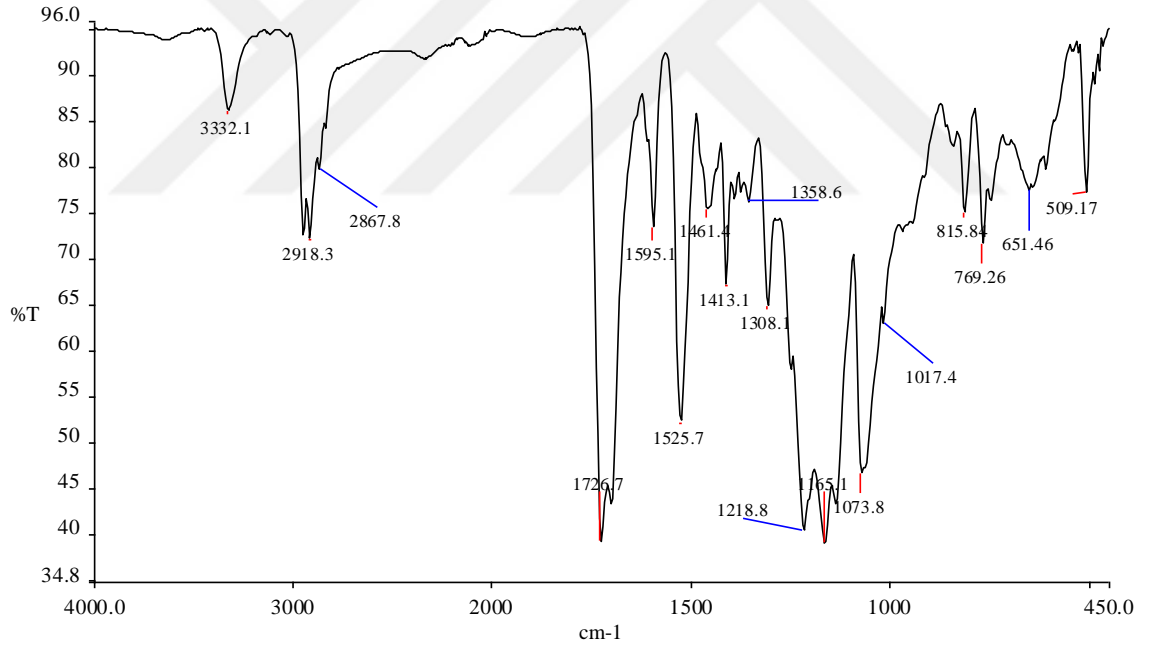


**EK 1 - Şekil 6.9.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/0.5h-BN kompozitinin FTIR spektrumu (EB-8)

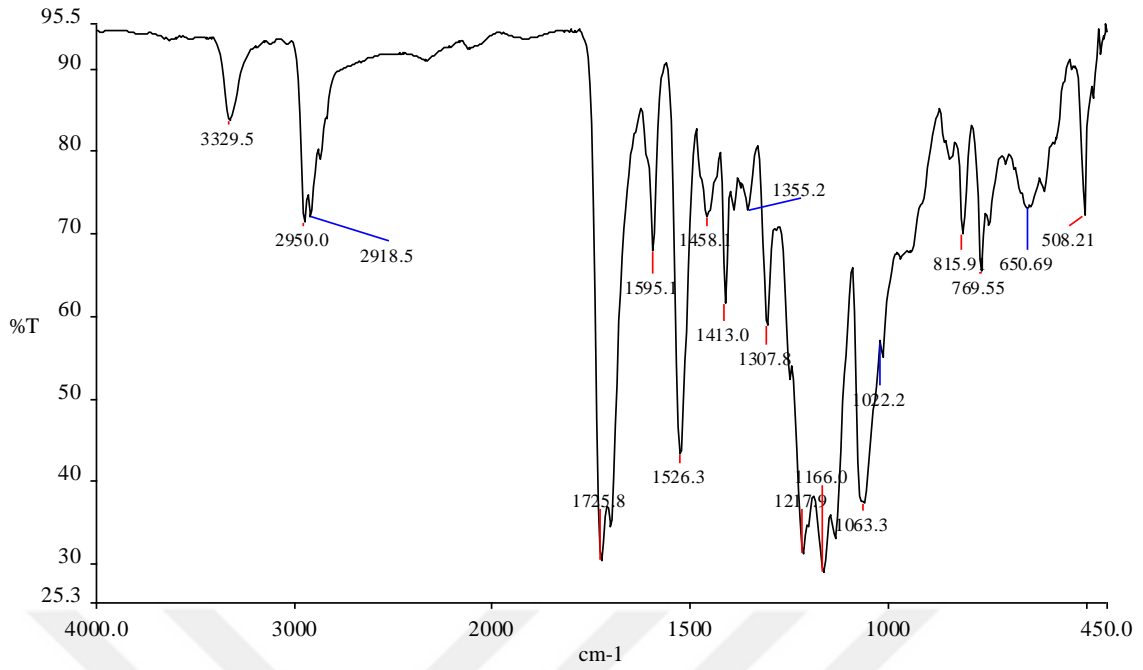




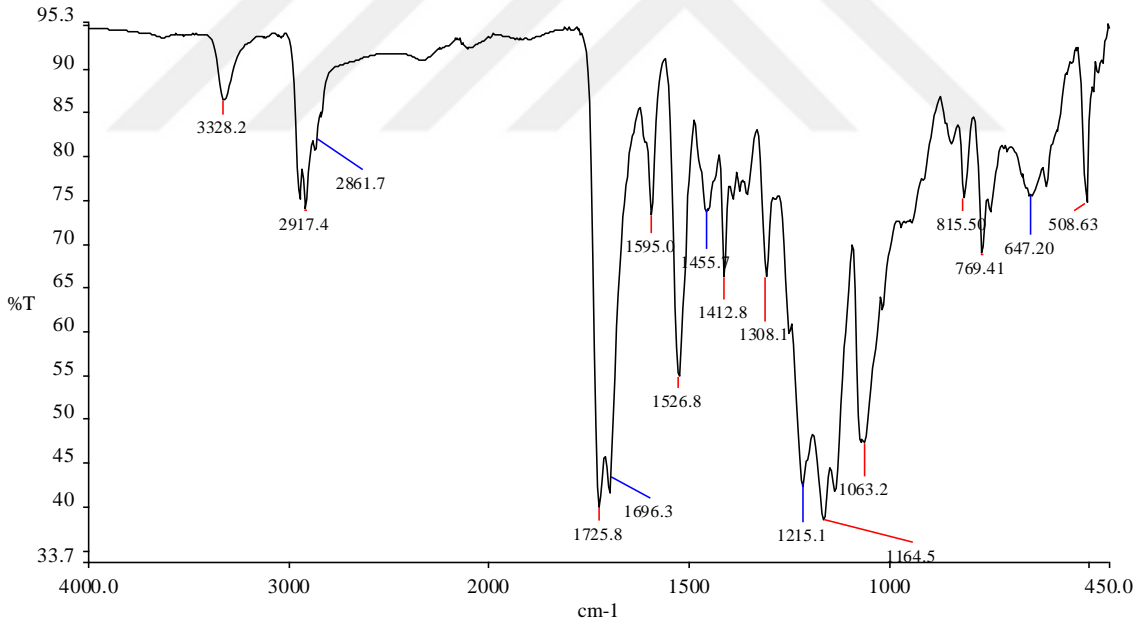
**EK 1 - Şekil 6.10.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-9)



**EK 1 - Şekil 6.11.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0.5PVDF kompozitinin FTIR spektrumu (EB-10)

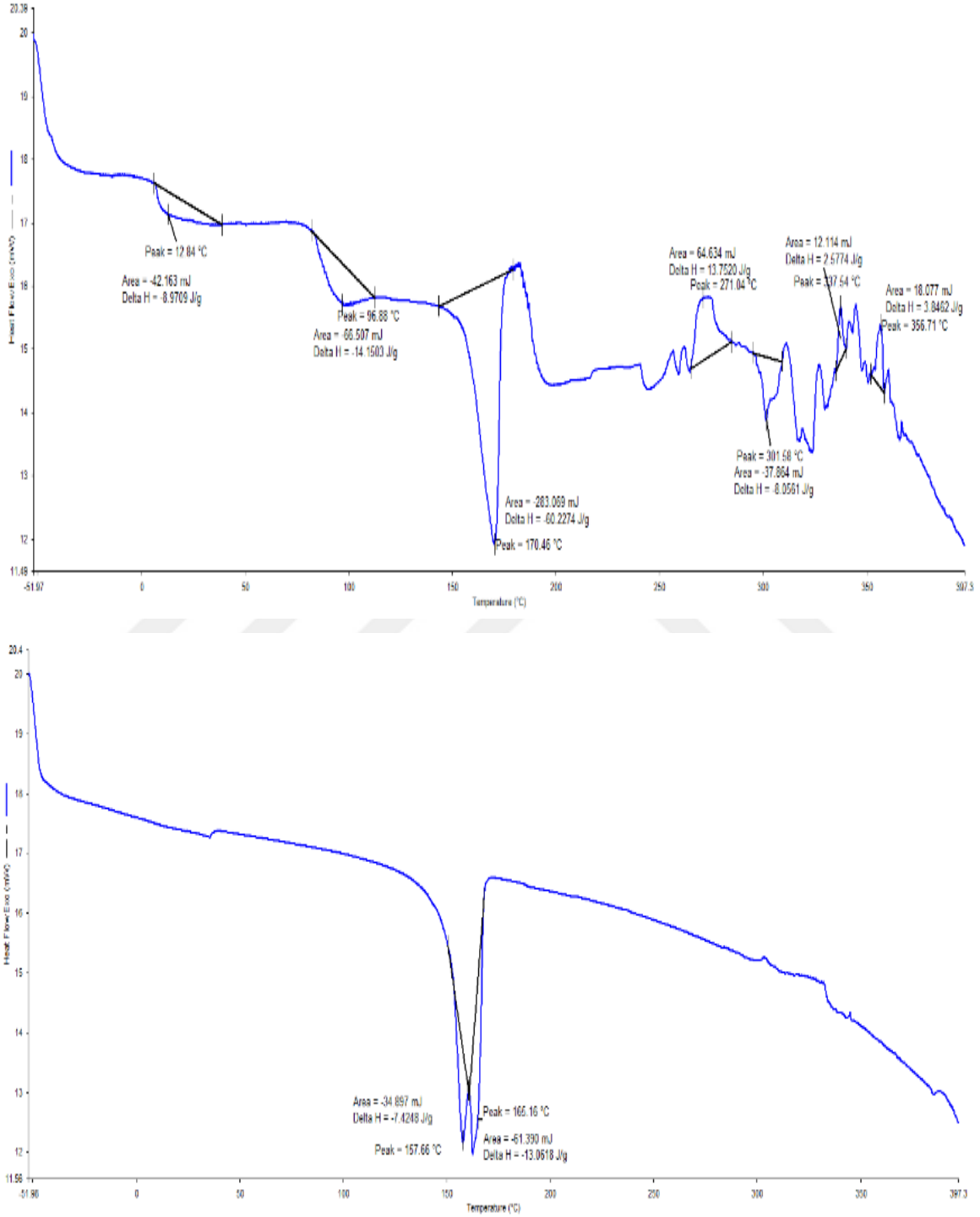


**EK 1 - Şekil 6.12.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin FT-IR spektrumu (EB-11)

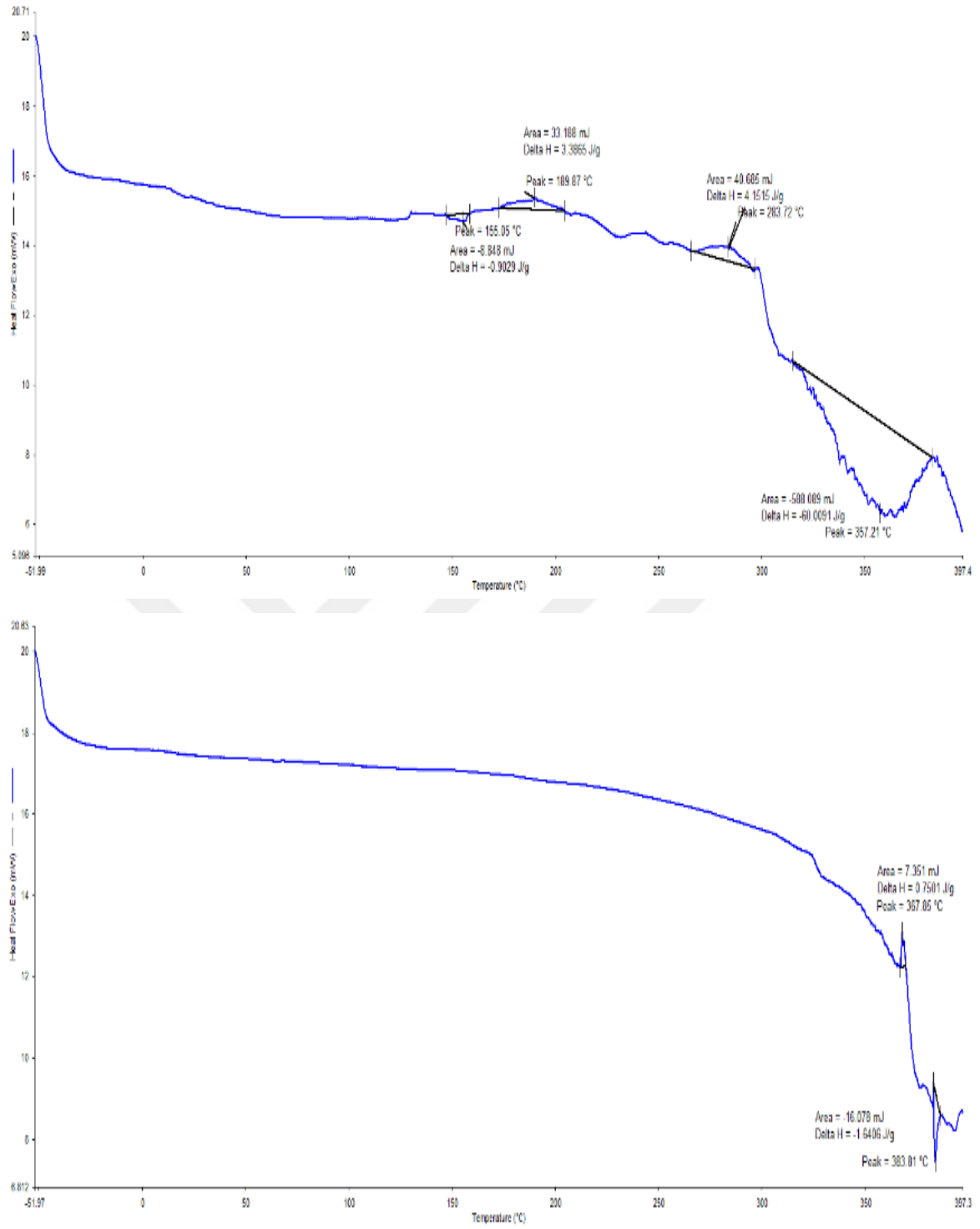


**EK 1 - Şekil 6.13.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5h-BN kompozitinin FTIR spektrumu (EB-12)

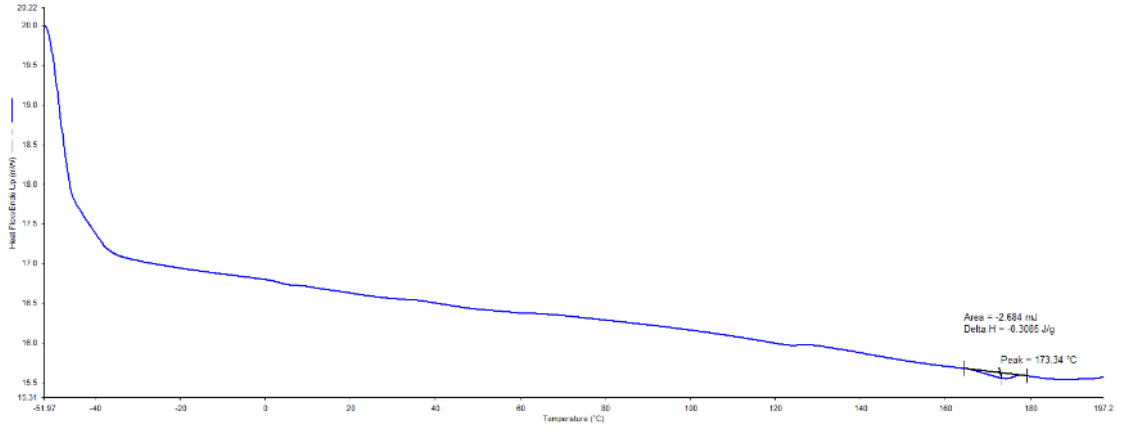
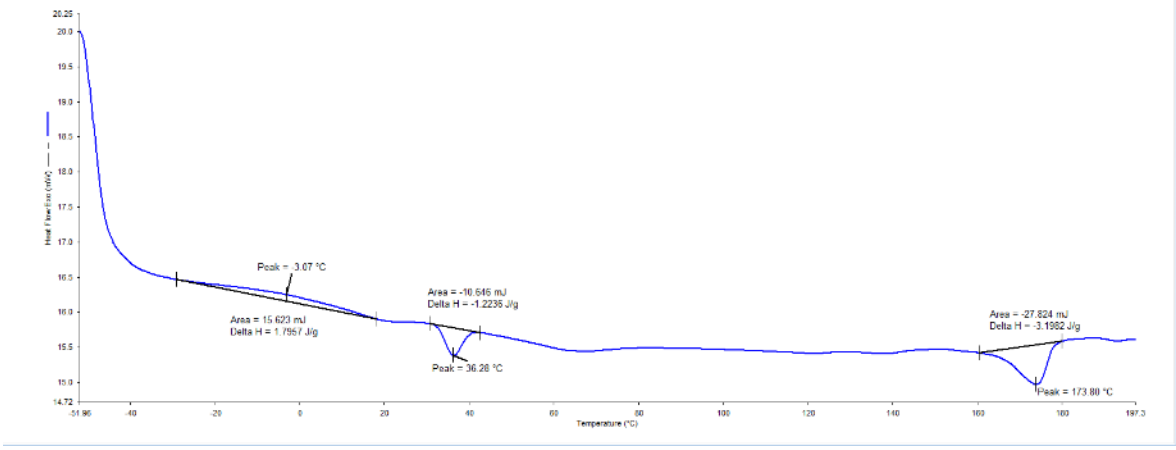
## EK 2 DSC Analizleri



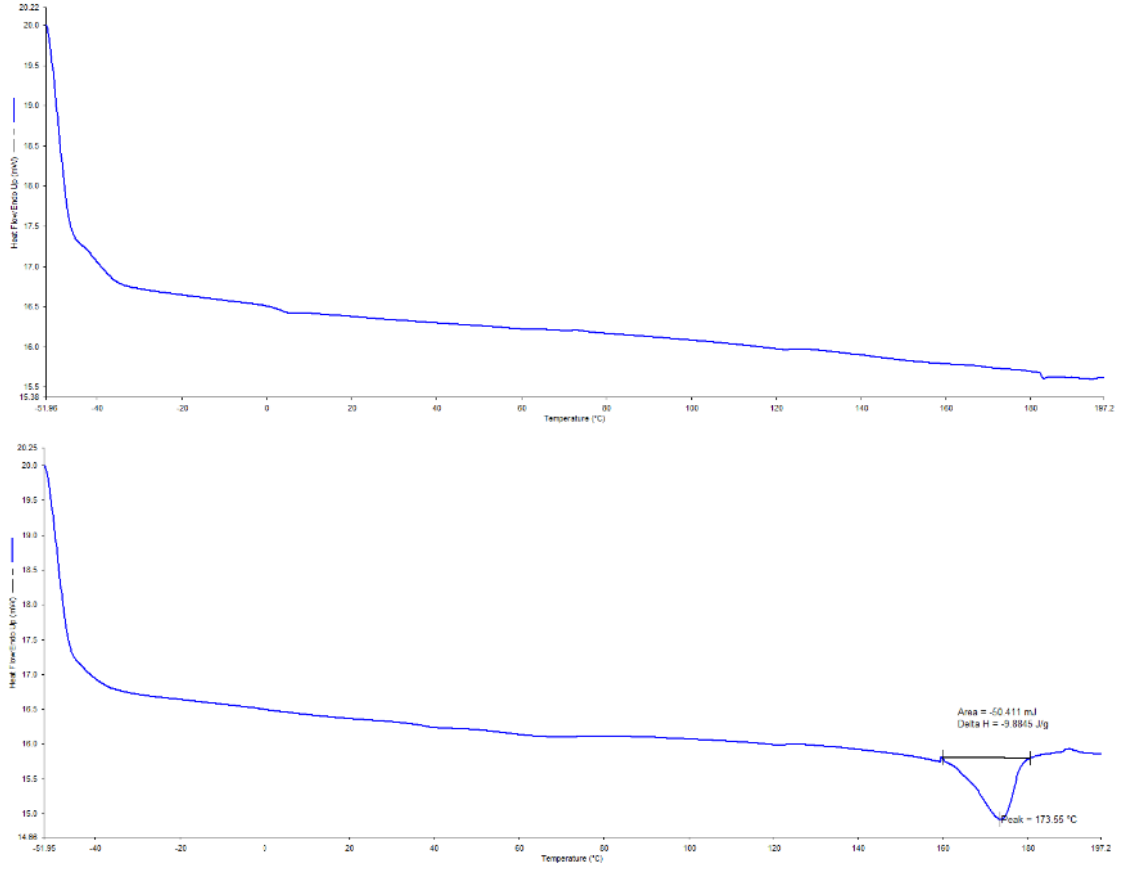
EK 2 - Şekil 6.1. % 100 PP kompozitinin DSC grafiği



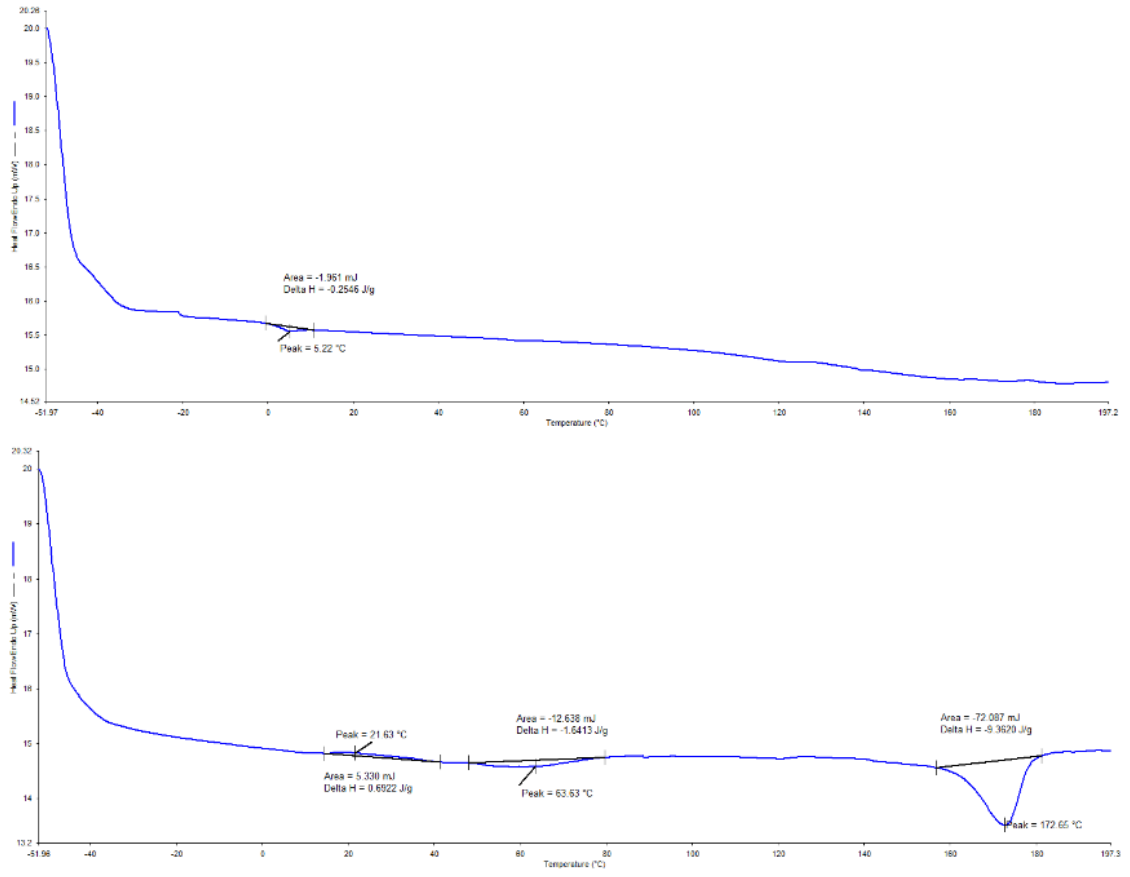
**EK 2 - Şekil 6.2. % 100 TPU kompozitinin DSC grafiği**



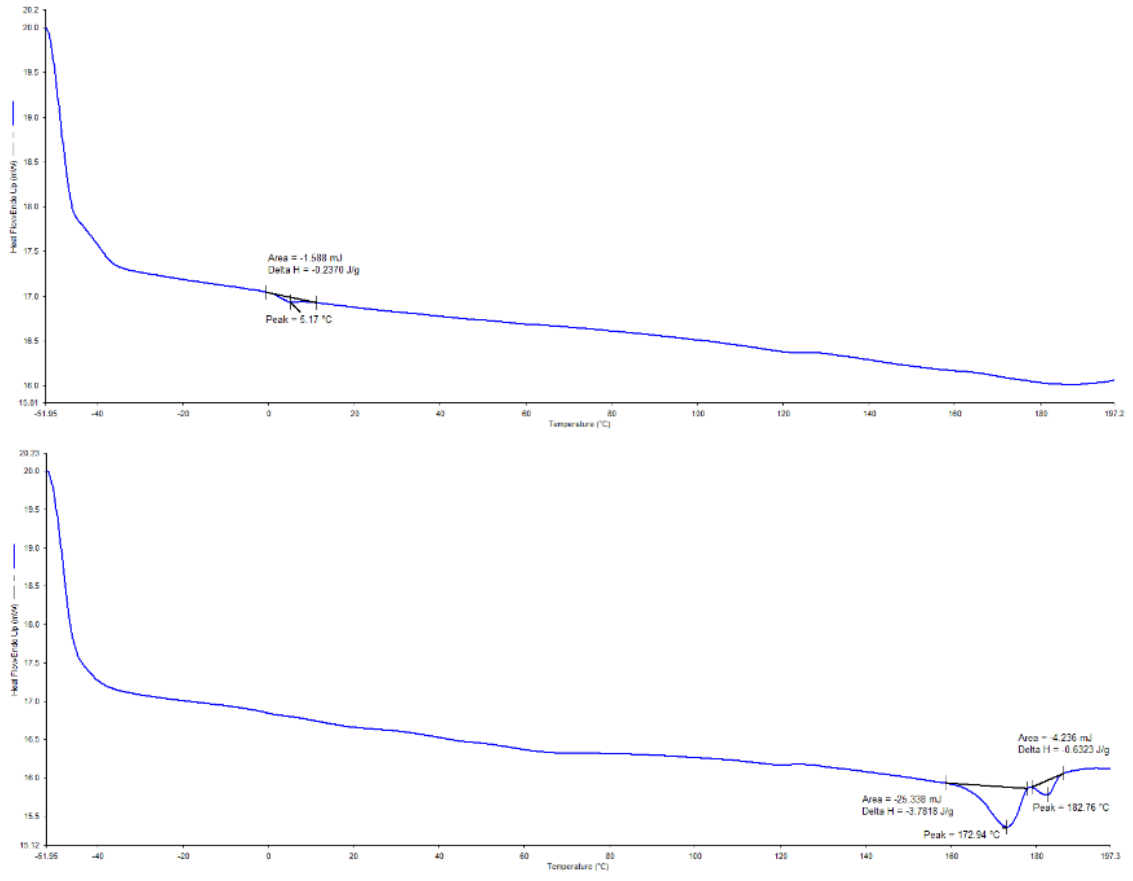
**EK 2 - Şekil 6.3.** TPU<sub>100</sub>/0,5h-BN kompozitinin DSC grafiği (EB-4)



**EK 2 - Şekil 6.4.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> kompozitinin DSC grafiği (EB-5)

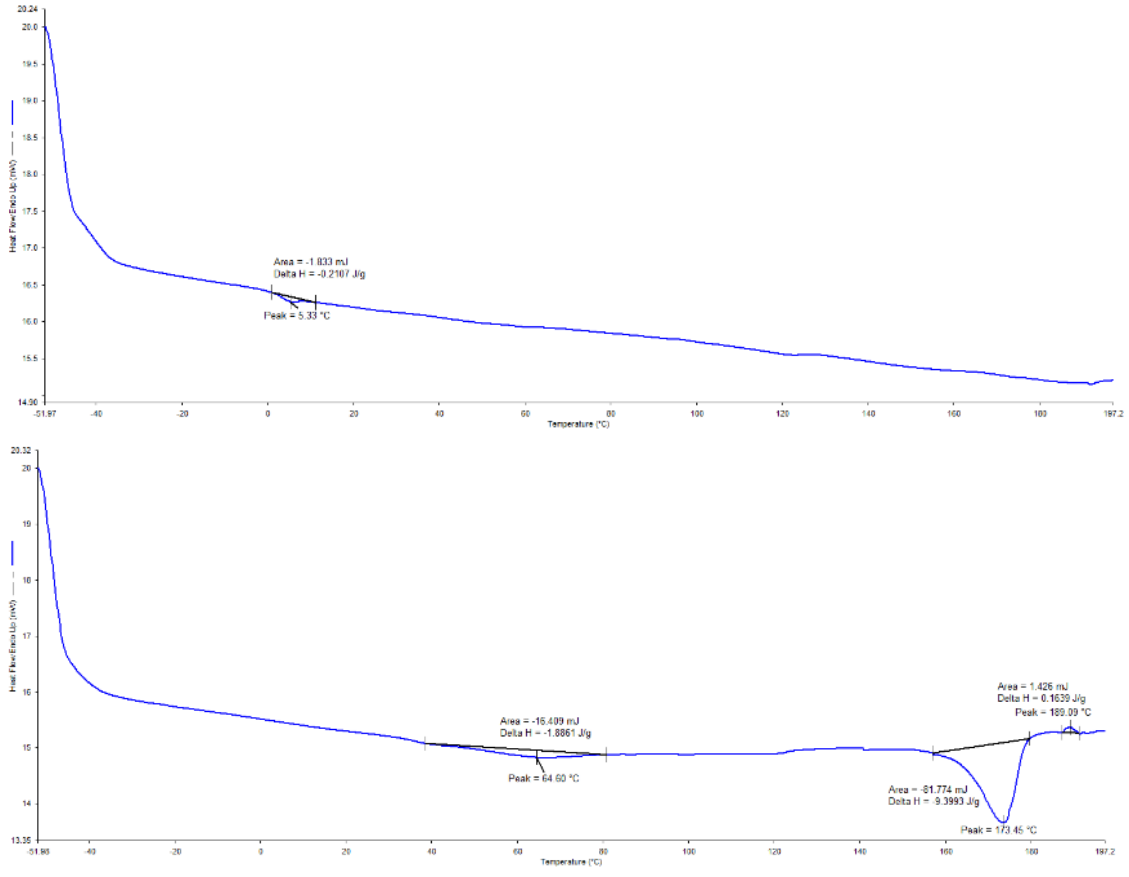


**EK 2 - Şekil 6.5.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/0,5PVDF kompozitinin DSC grafiği (EB-6)

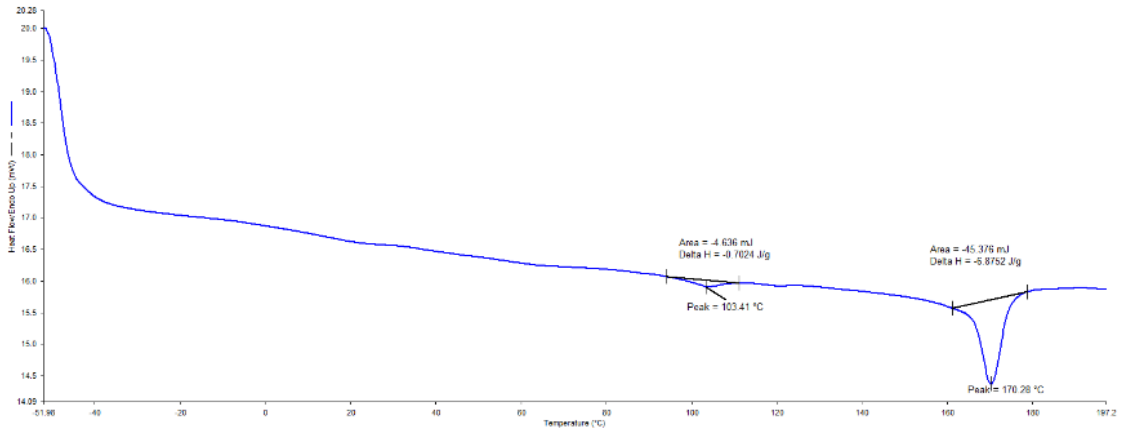
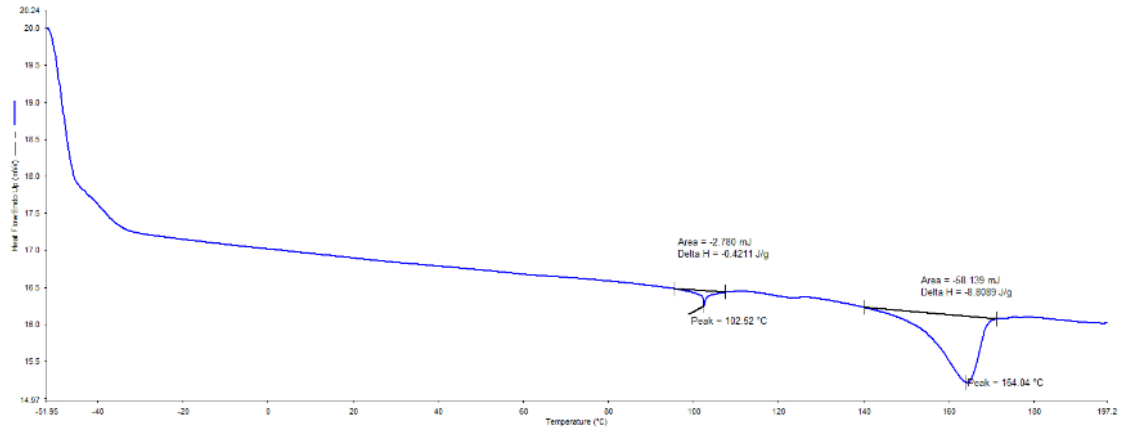


**EK 2 - Şekil 6.6.** TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub>/ %0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin DSC grafiği (EB-7)

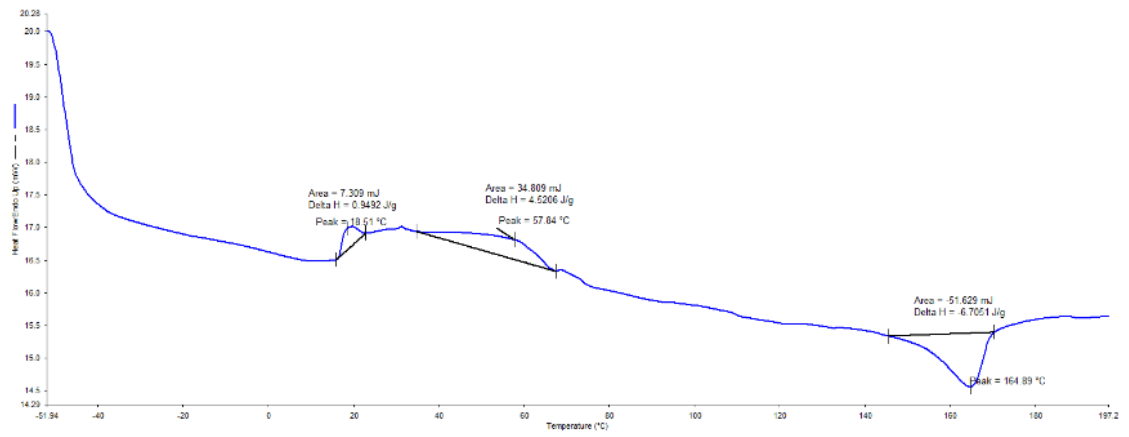
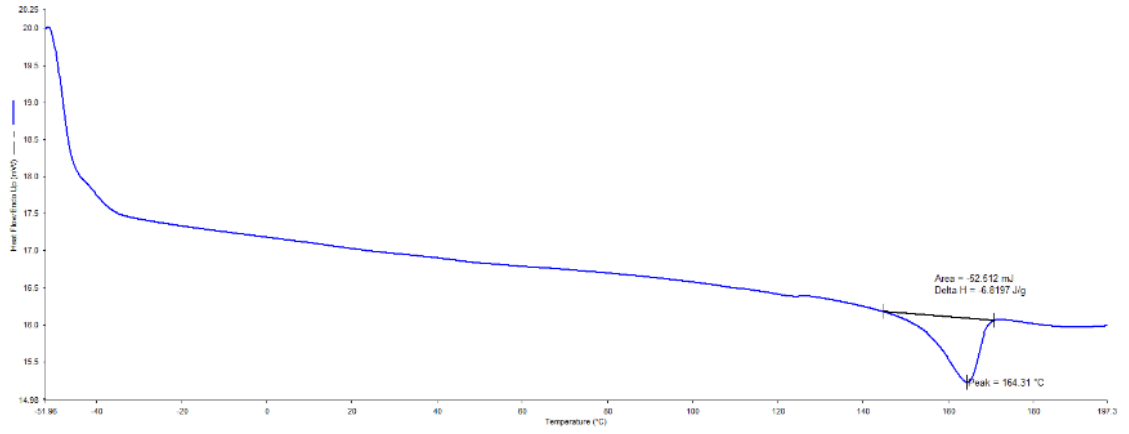




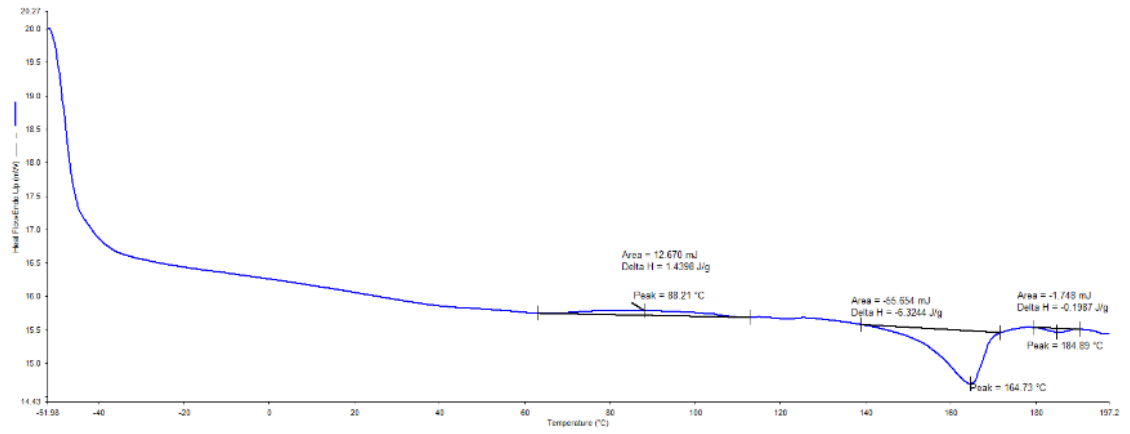
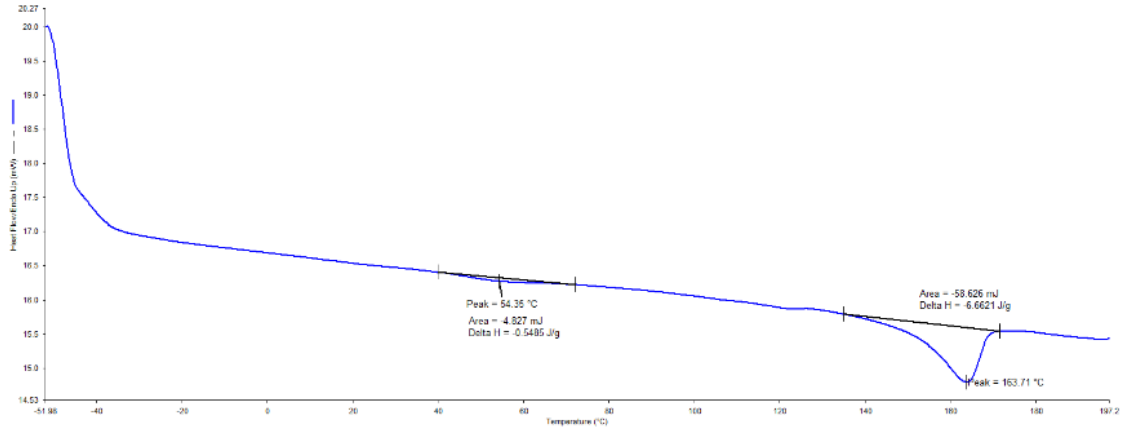
**EK 2 - Şekil 6.7.** TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub>/ %0,5h-BN kompozitinin DSC grafiği (EB-8)



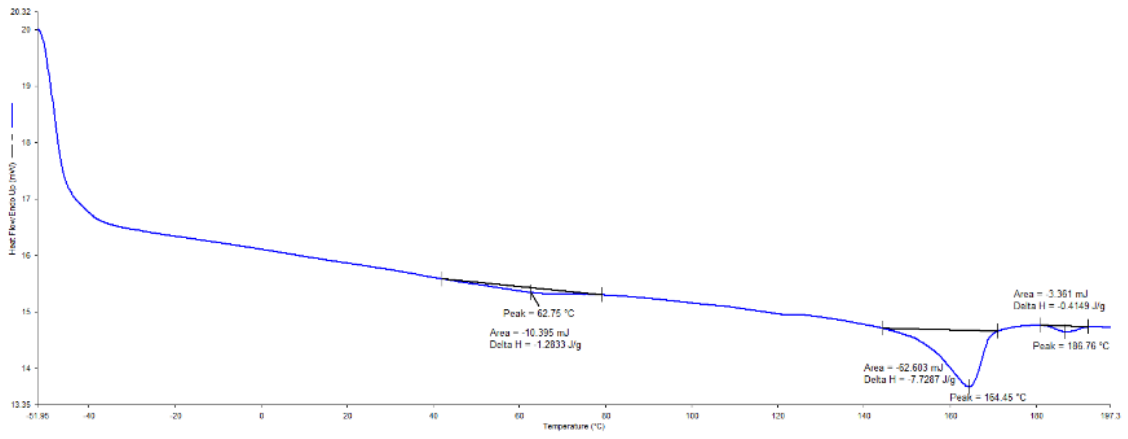
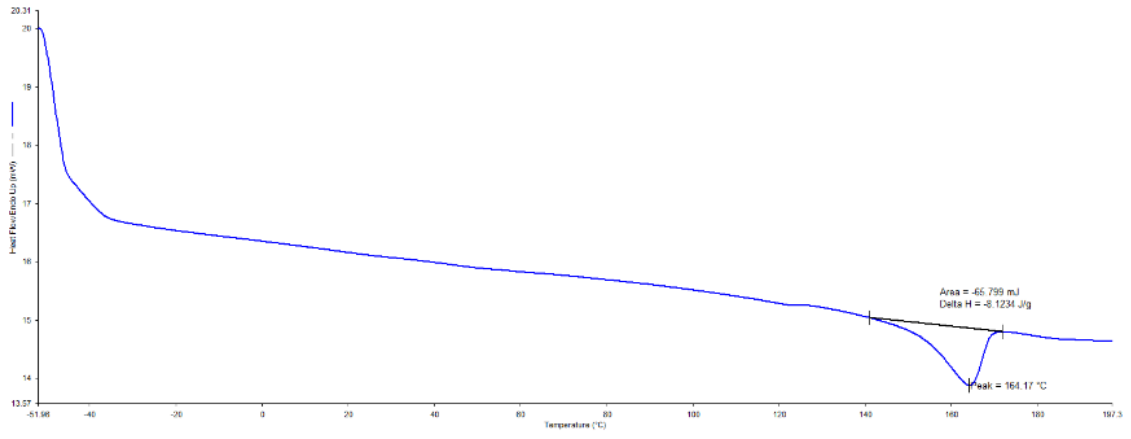
**EK 2 - Şekil 6.8.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> kompozitinin DSC grafiği (EB-9)



**EK 2 - Şekil 6.9.** TPU<sub>87,5</sub>/ PP<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF kompozitinin DSC grafiği (EB-10)

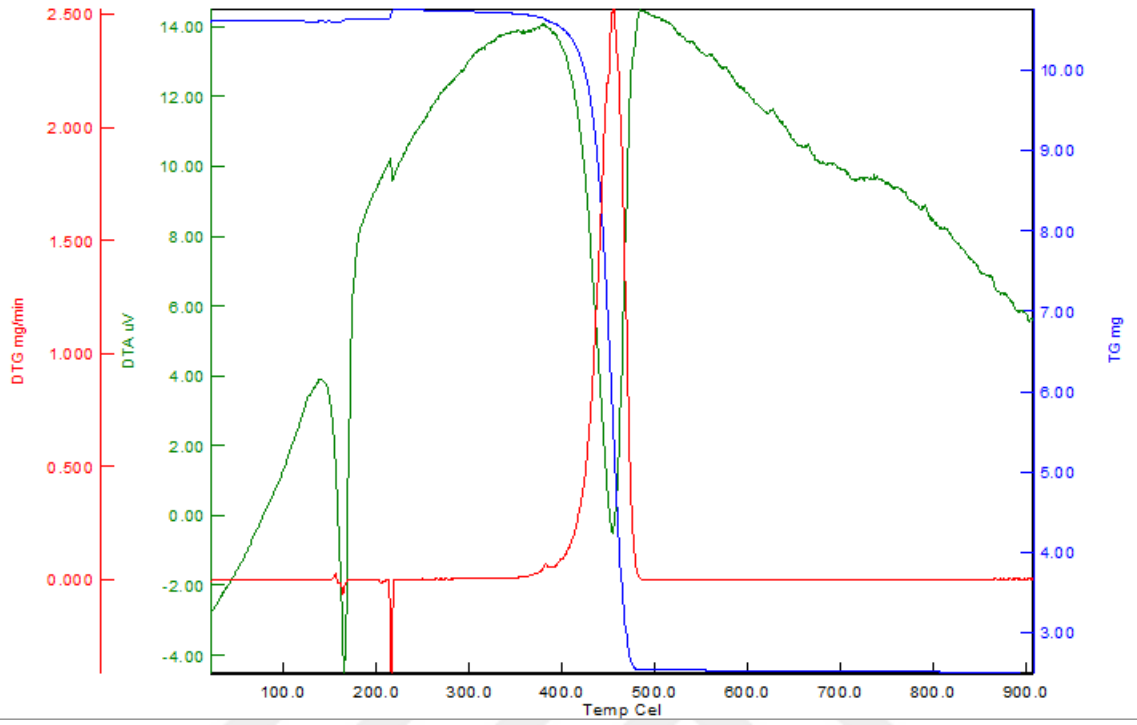


**EK 2 - Şekil 6.10.** TPU<sub>87,5</sub>/ PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin DSC grafiği (EB-11)

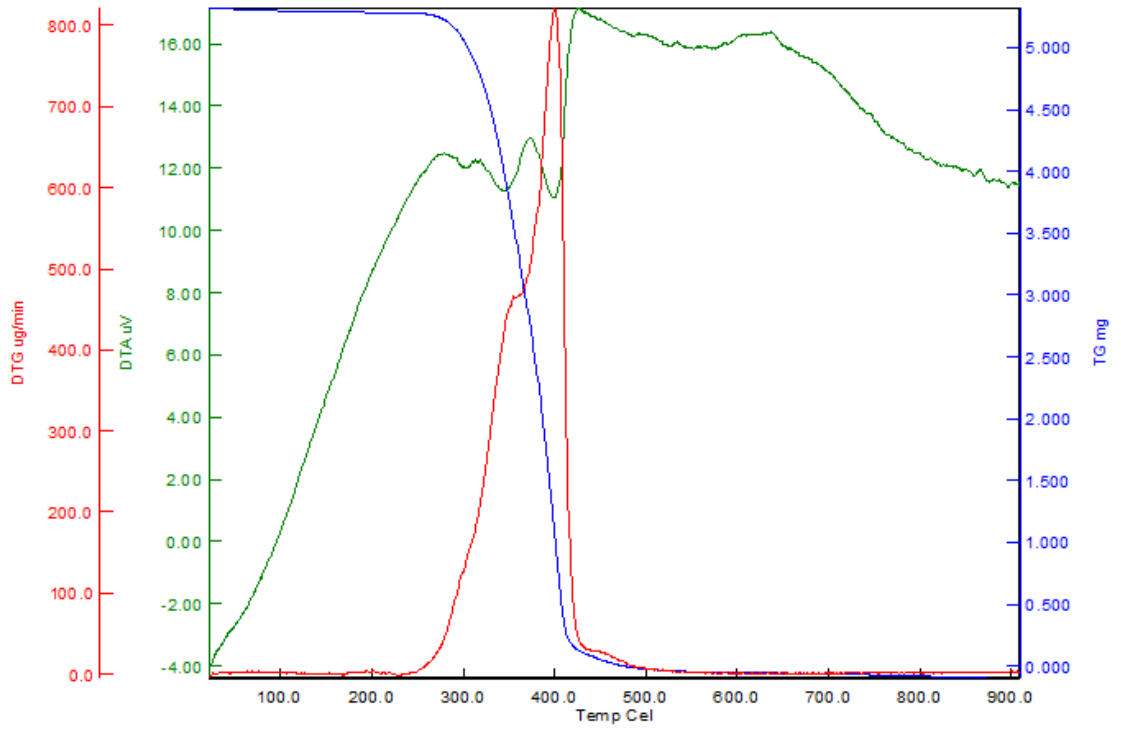


**EK 2 - Şekil 6.11. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN kompozitinin DSC grafiği (EB-12)**

### EK 3 TGA Analizleri

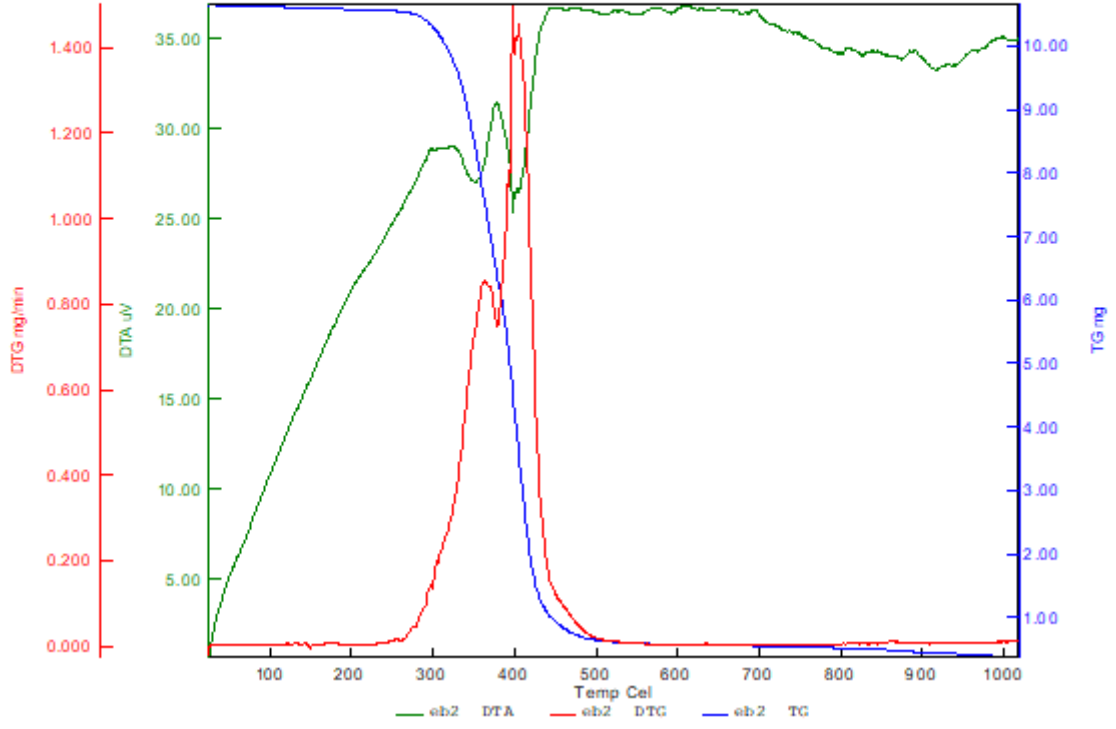


EK 3 - Şekil 6.1. % 100 PP kompozitinin TGA grafiği



EK 3 - Şekil 6.2. % 100 TPU kompozitinin TGA grafiği

Module: TG/DTA Temperature Program: Comment:  
Data Name: eb2 Cel Cel/min min s Operator: genclik  
Measurement Date: 7/1/2019 Gas: Azot  
Sample Name: eb2



**EK 3 - Şekil 6.3.** TPU<sub>100</sub>/%0,5PVDF kompozitinin TGA grafiği (EB-2)

Module: TC/DTA  
Data Name: eb3  
Measurement Date: 7/2/2019  
Sample Name: eb3

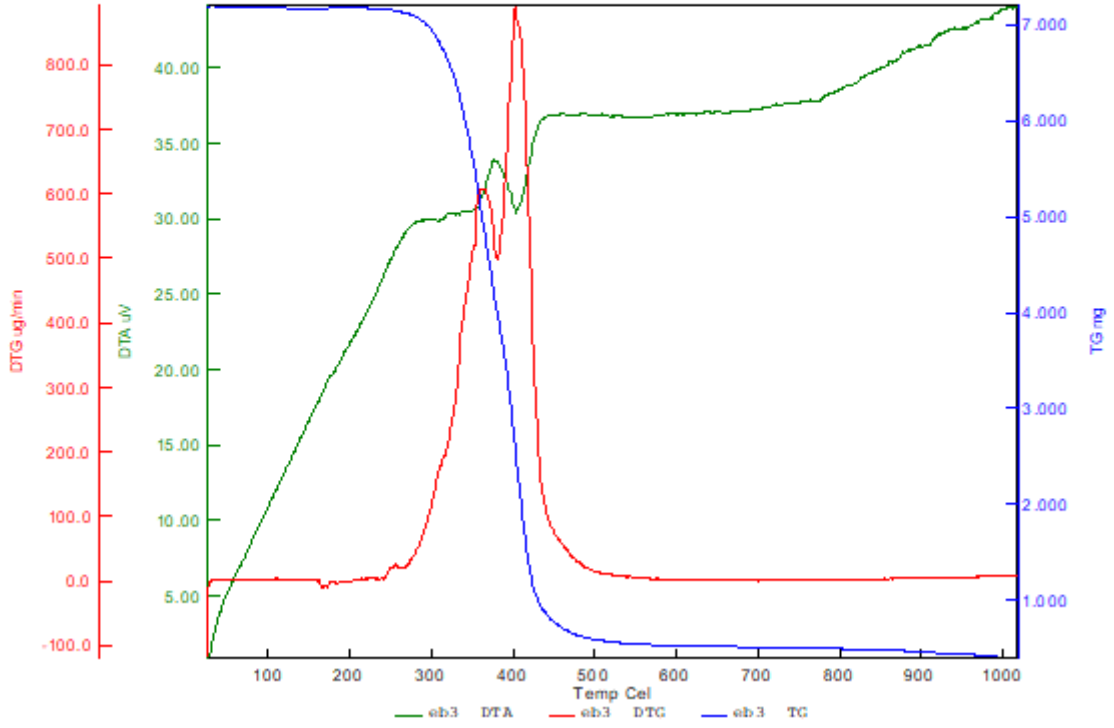
Temperature Program:

Cel Cel/min min s

Comment:

Operator: genclik

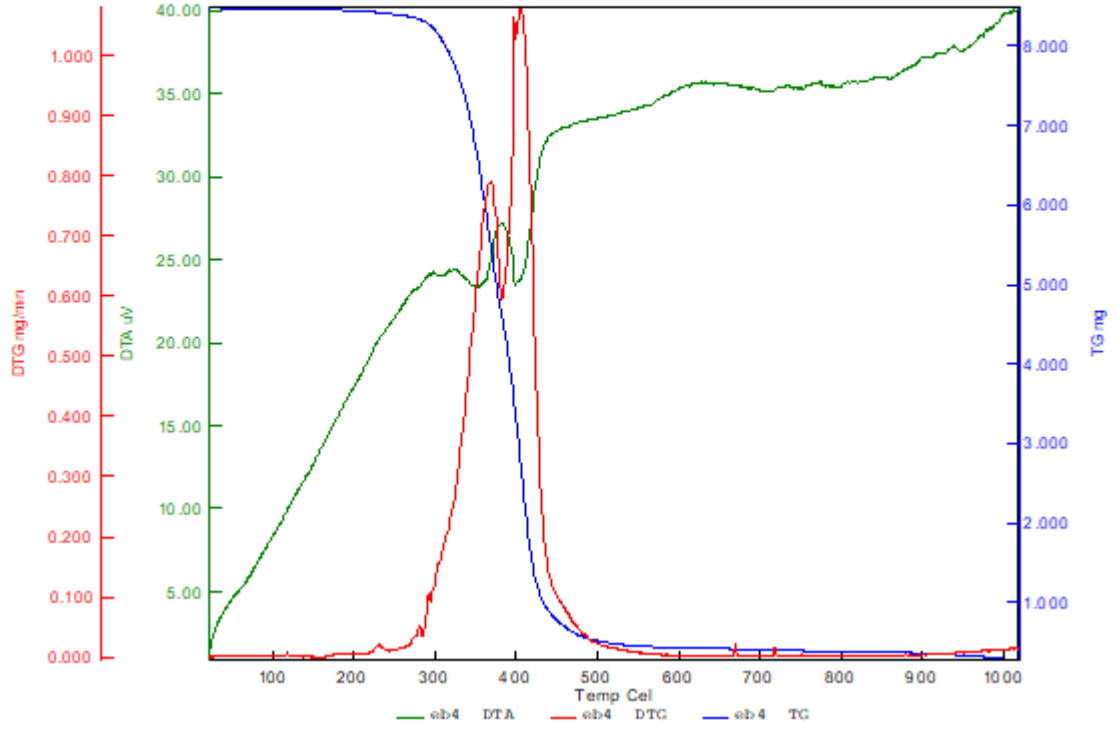
Gas1: Azot



EK 3 - Şekil 6.4. TPU<sub>100</sub>/ %0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-3)

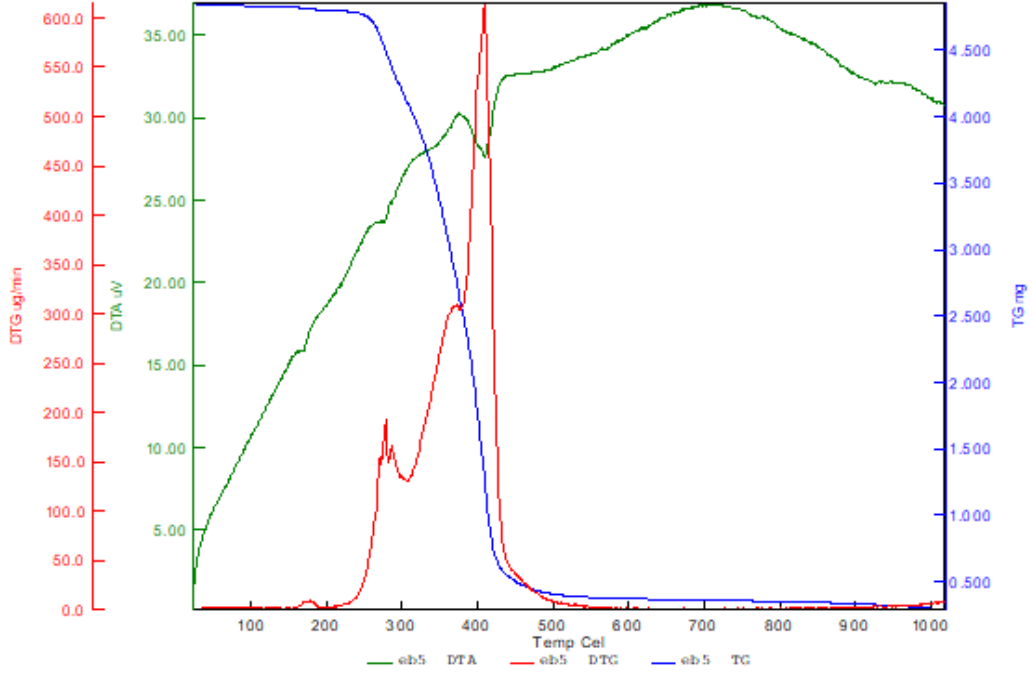


Module: TC/DTA Temperature Program: Comment:  
Data Name: eb4 Cel Cel/min min s Operator: genclik  
Measurement Date: 7/2/2019 Gas1: Azot  
Sample Name: eb4



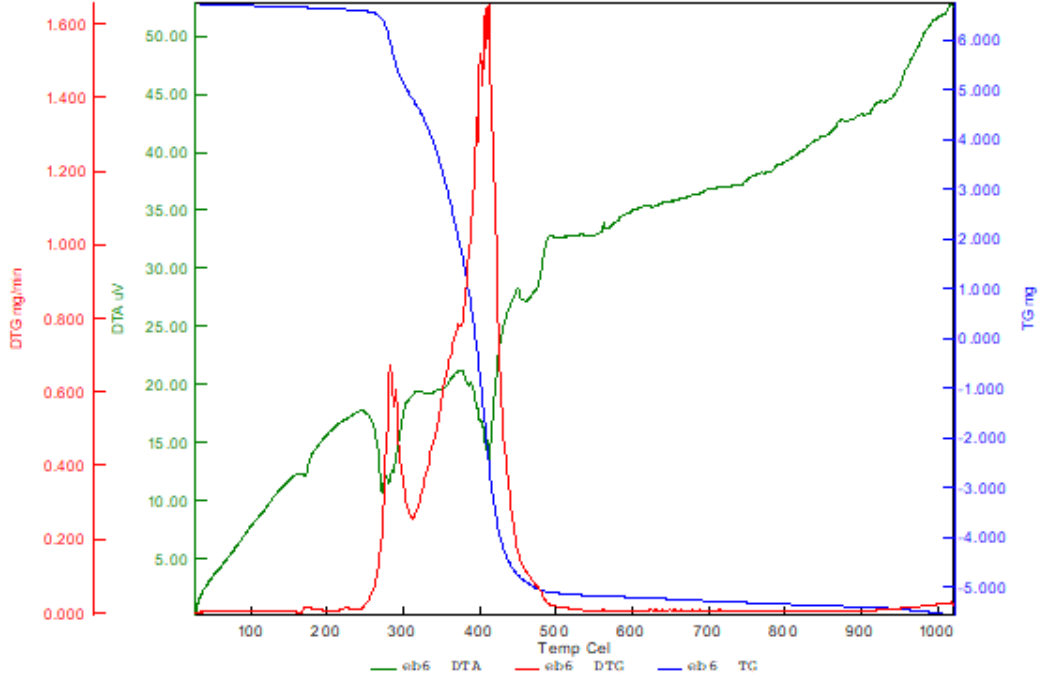
EK 3 - Şekil 6.5. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-4)

Module: TG/DTA Temperature Program: Comment:  
Data Name: eb5 Cel. Cel./min min s Operator: gencelk  
Measurement Date: 6/19/2019 Gas: ~~air~~  
Sample Name: eb5



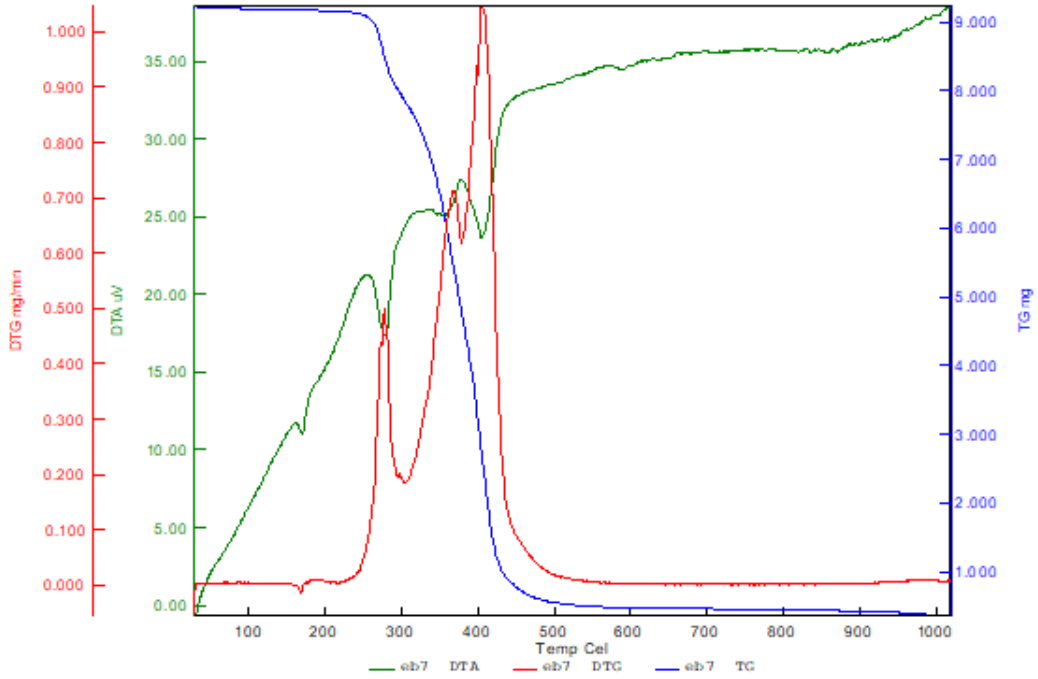
EK 3 - Şekil 6.6. TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-5)

Module: TG/DTA Temperature Program: Comment:  
Data Name: eb6 Cal. Cal./Cal/min min s Operator: gercelik  
Measurement Date: 6/20/2019 Gas: ~~AAAL~~  
Sample Name: eb6



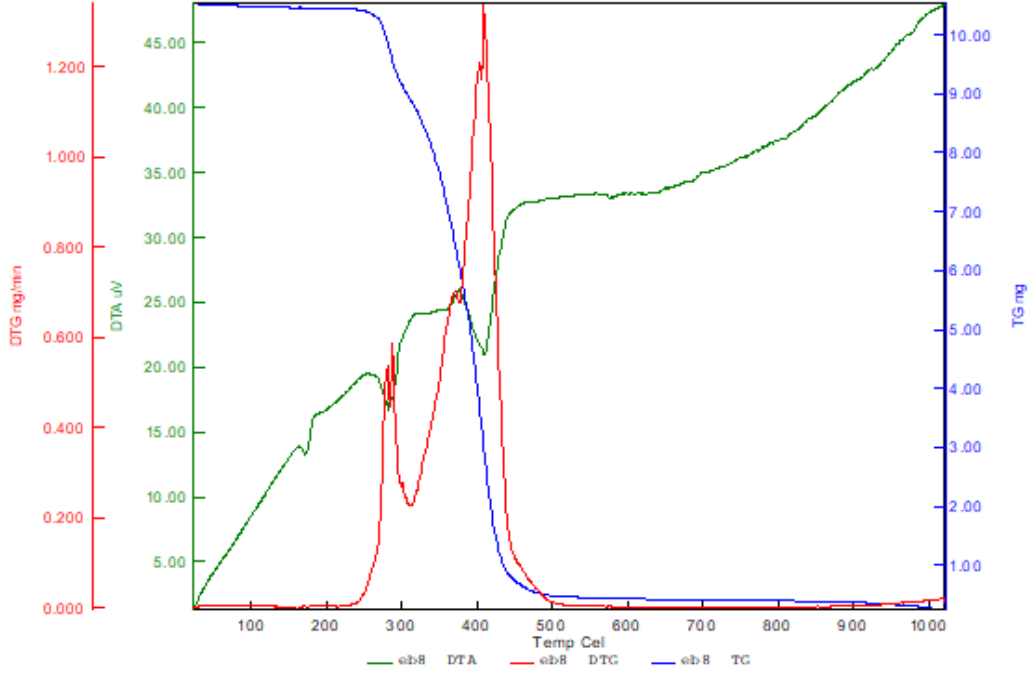
EK 3 - Şekil 6.7. TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub>/ %0,5PVDF kompozitinin TGA grafiği (EB-6)

Module: TC/DTA Temperature Program: Comment:  
Data Name: eb7 Cel Cel/Cel/min min s Operator: genclik  
Measurement Date: 6/19/2019 Gas: ~~AAst~~  
Sample Name: eb7



EK 3 - Şekil 6.8. TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-7)

Module: TG/DTA Temperature Program: Comment:  
Data Name: eb8 Cal. Cal./Cal./min min s Operator: gencelk  
Measurement Date: 6/20/2019 Gas1: ~~air~~  
Sample Name: eb8



**EK 3 - Şekil 6.9.** TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN kompozitinin TGA grafiği (EB-8)

Module: TC/DTA  
Data Name: eb9  
Measurement Date: 6/24/2019  
Sample Name: eb9

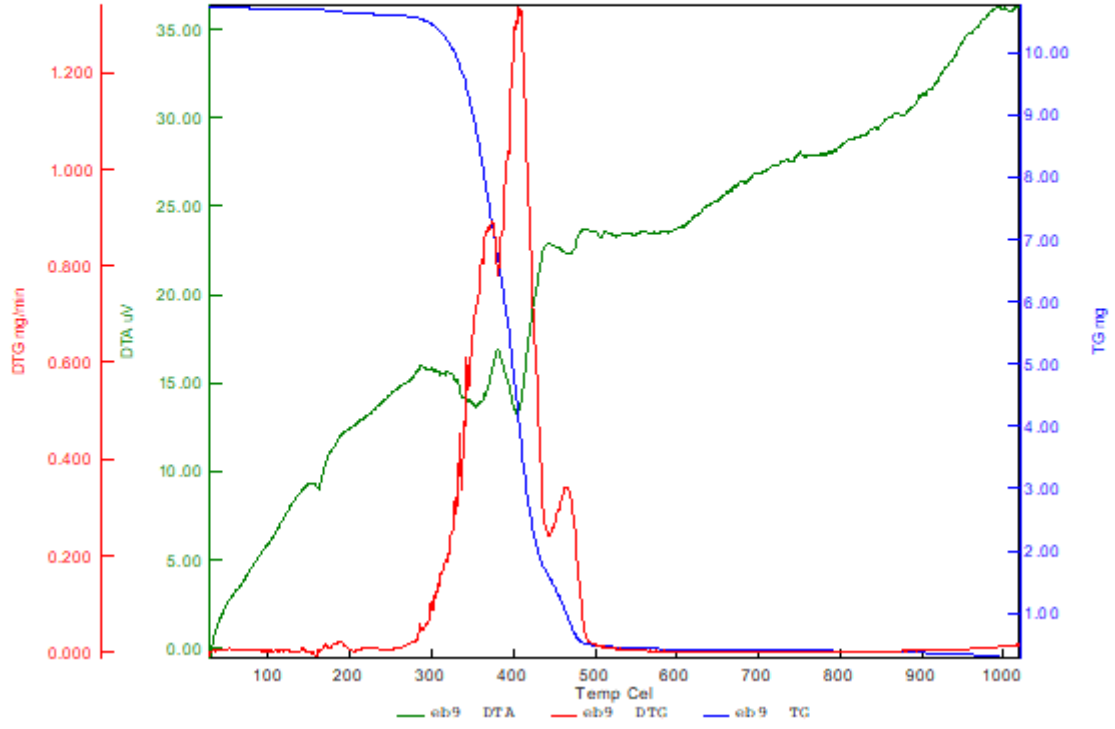
Temperature Program:

Cel Cel/Cel/min min s

Comment:

Operator: genclik

Gas1: Azot



EK 3 - Şekil 6.10. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-9)

Module: TG/DTA  
Data Name: eb10  
Measurement Date: 7/1/2019  
Sample Name: eb10

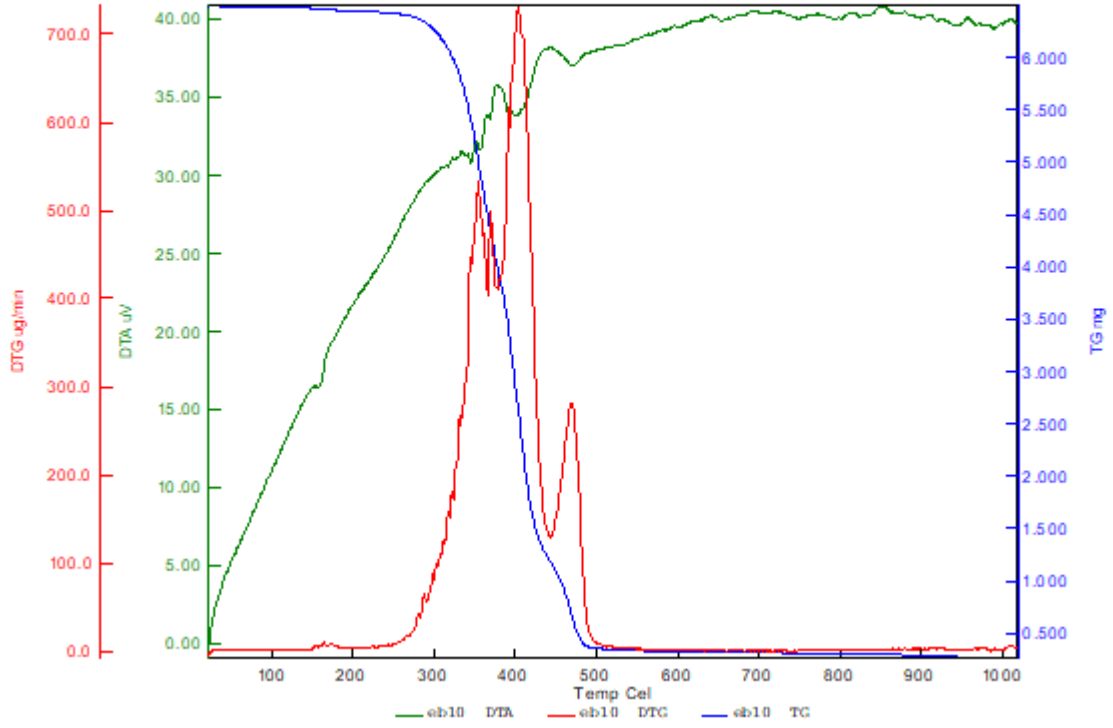
Temperature Program:

Cell Cel Cel/min min s

Comment:

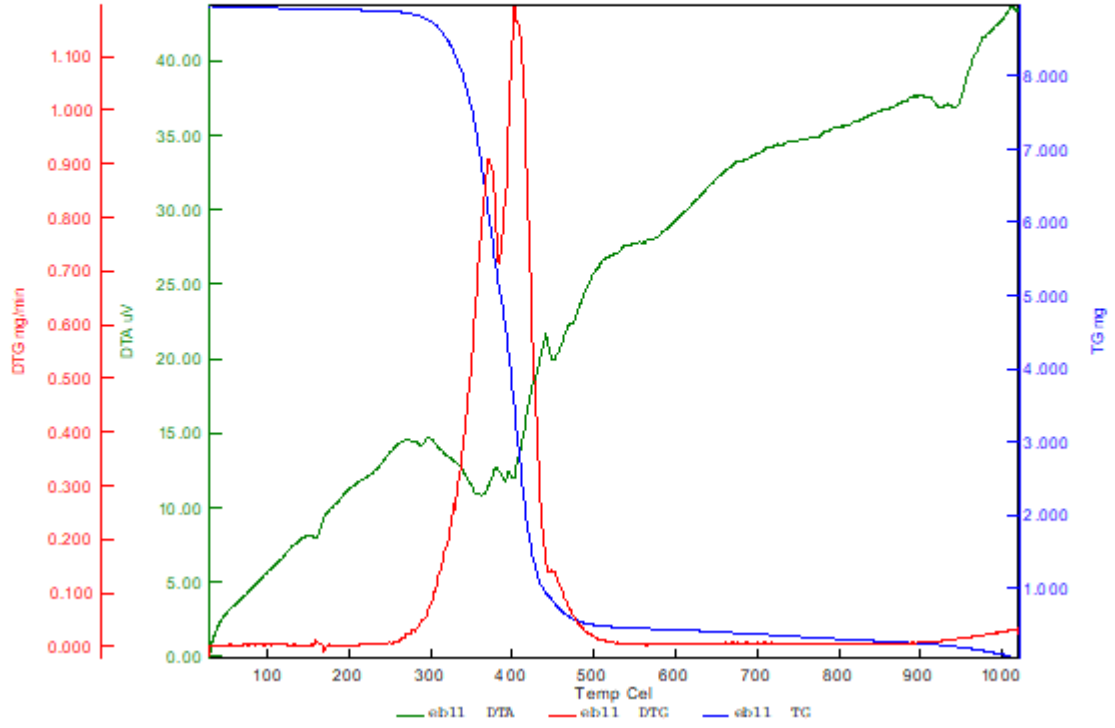
Operator: genclik

Gas1: Azot



**EK 3 - Şekil 6.11.** TPU<sub>87,5</sub>/ PP<sub>12,5</sub>/ %0,5PVDF kompozitinin TGA grafiği (EB-10)

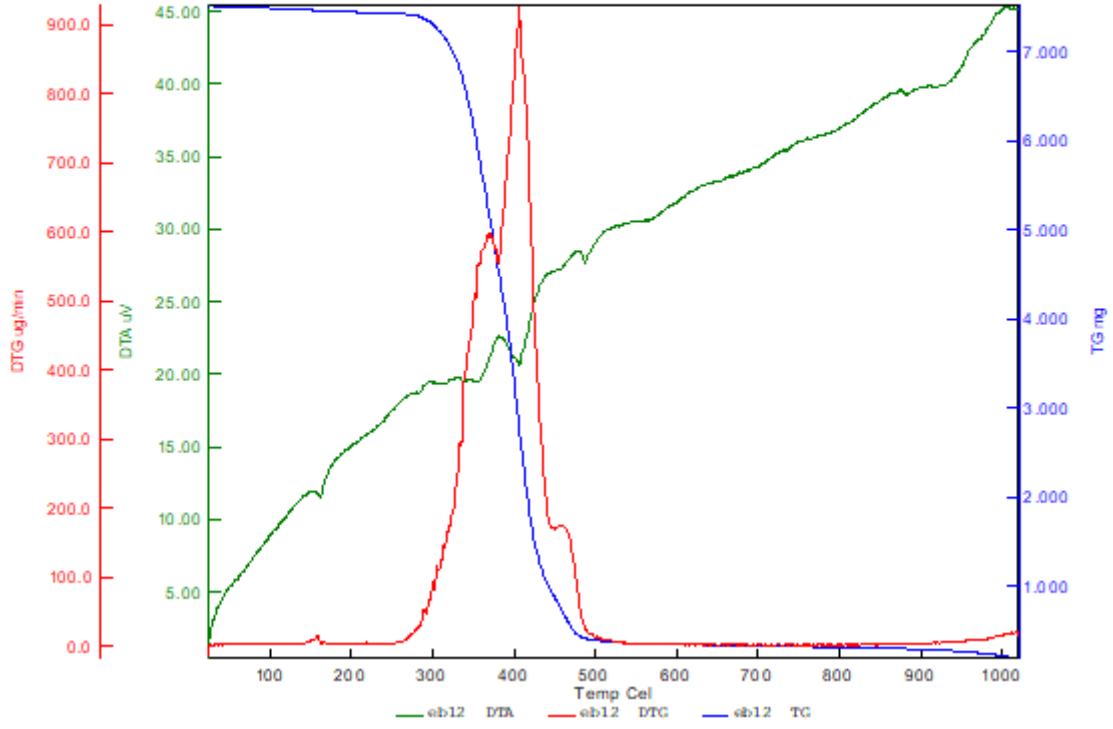
Module: TG/DTA Temperature Program: Comment:  
Data Name: eb11 Cal Cal/min min s Operator: genclik  
Measurement Date: 6/25/2019 Gas: Azot  
Sample Name: eb11



EK 3 - Şekil 6.12. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin TGA grafiği (EB-11)

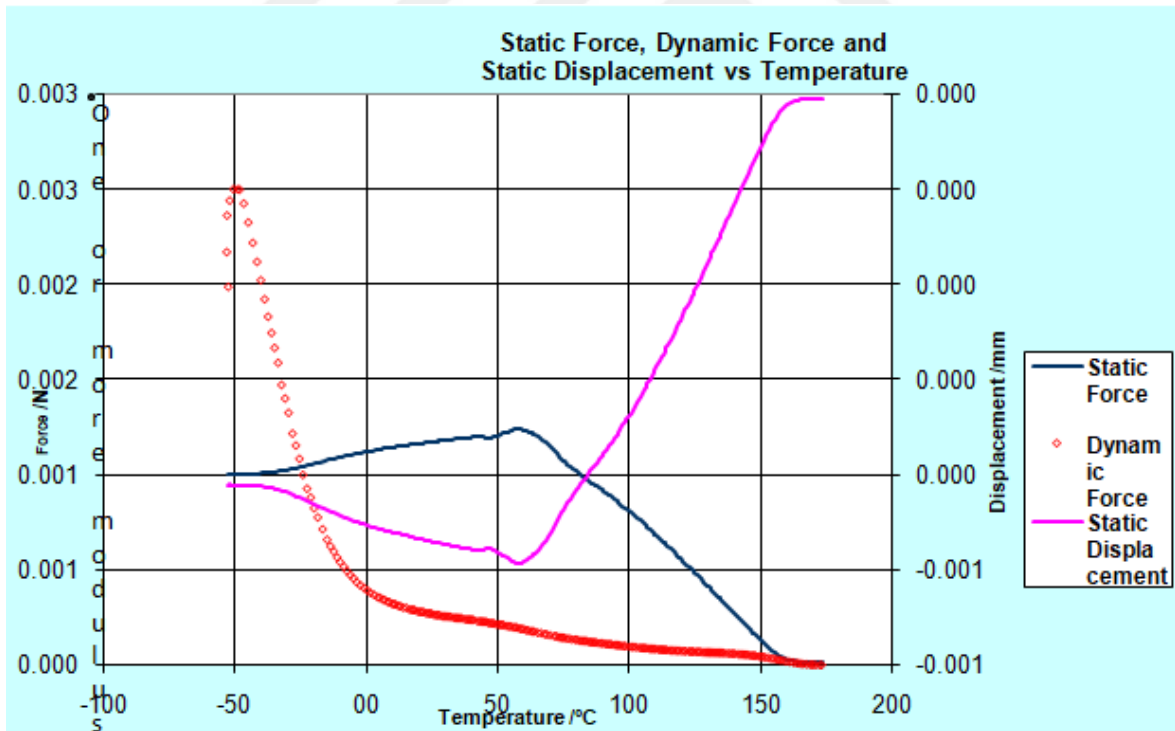
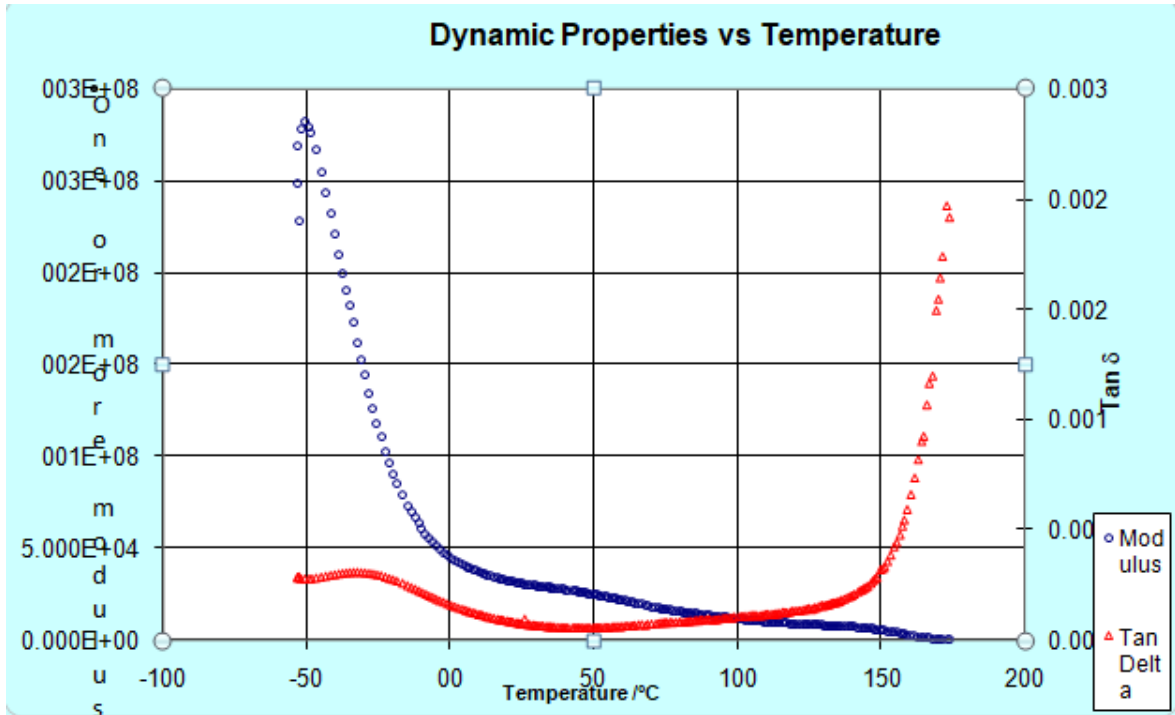


Module: TG/DTA Temperature Program: Comment:  
Data Name: eb12 Cel Cel/min min s Operator: genclik  
Measurement Date: 6/25/2019 Gas1: Azot  
Sample Name: eb12

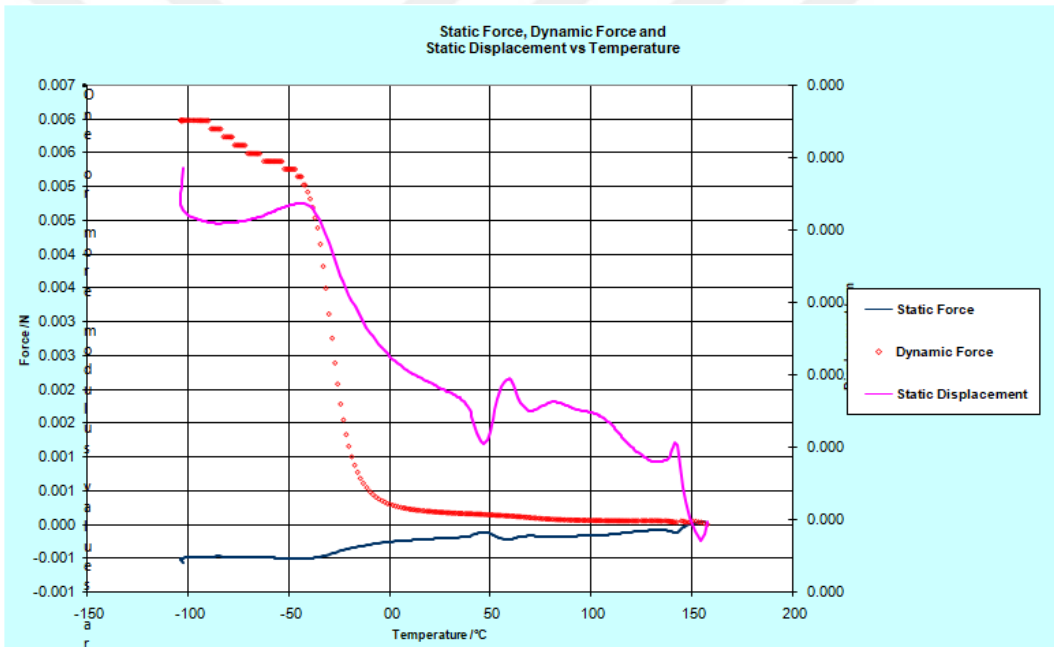
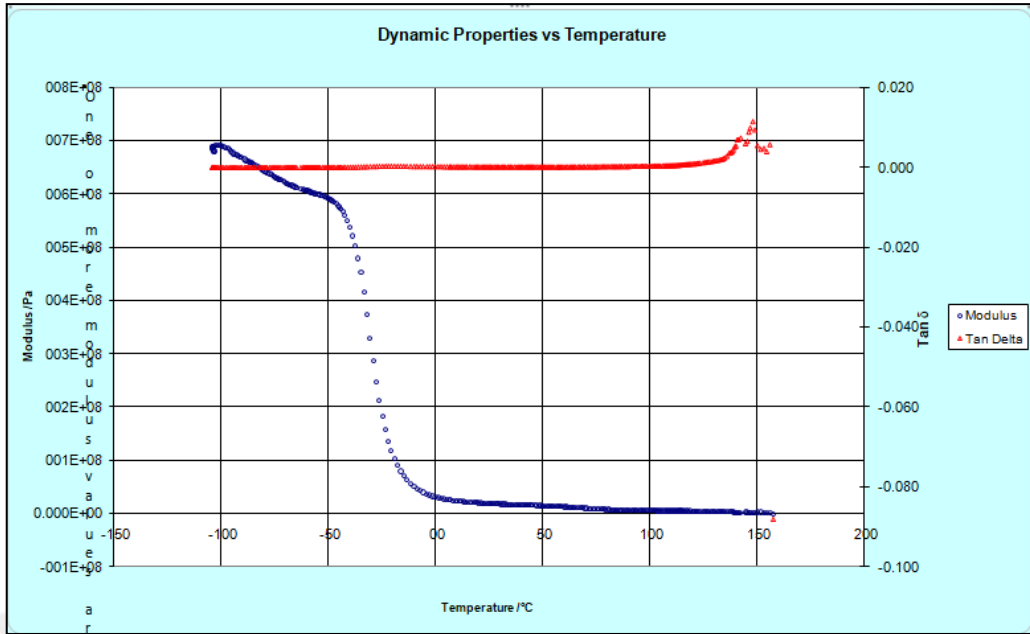


EK 3 - Şekil 6.13. TPU<sub>87,5</sub>/ PP<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN kompozitinin TGA grafiği (EB-12)

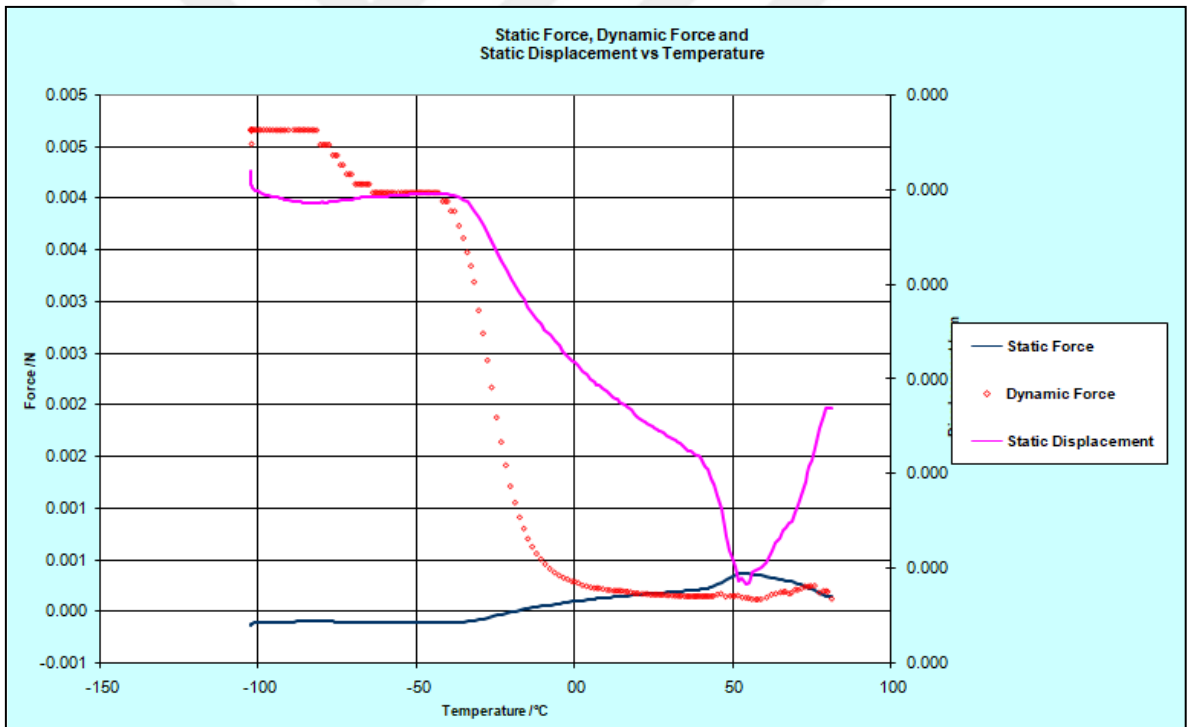
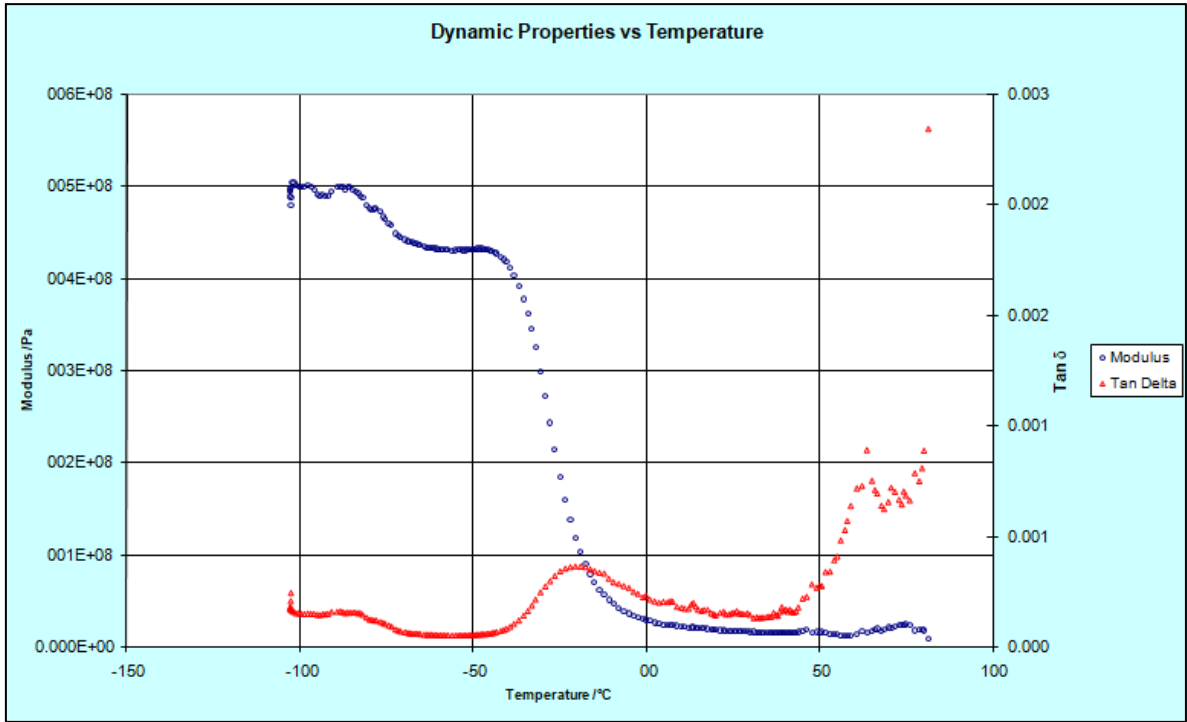
## EK 4 DMA Analizleri



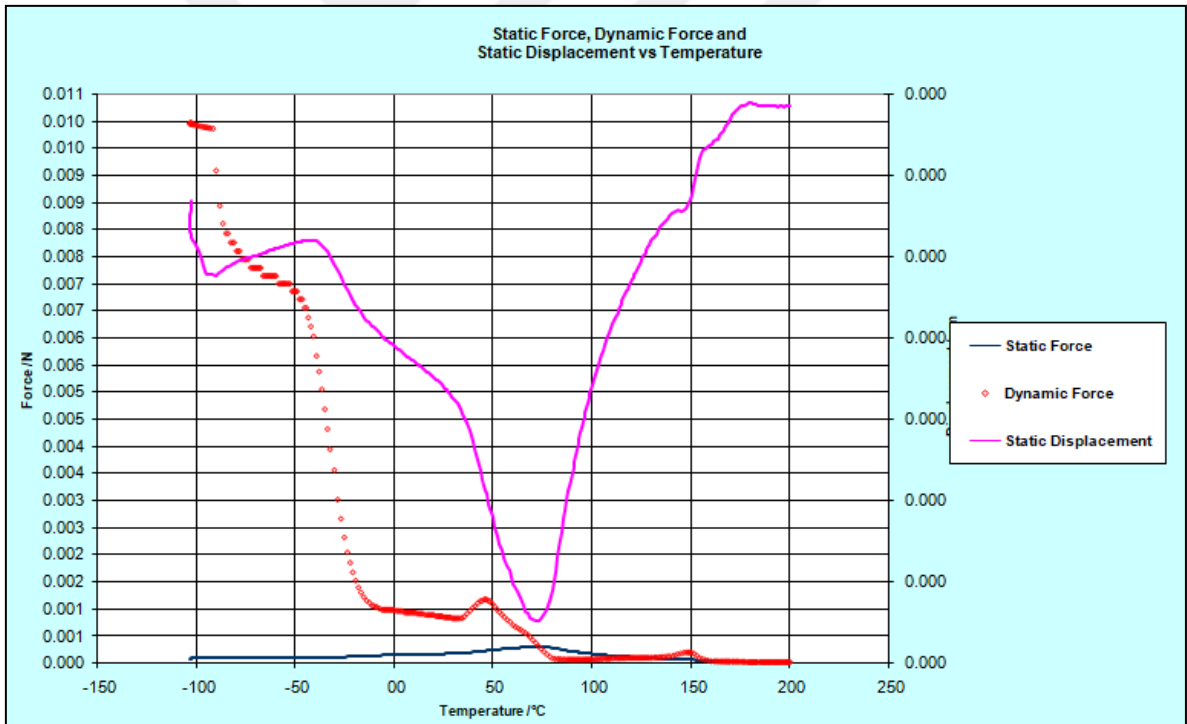
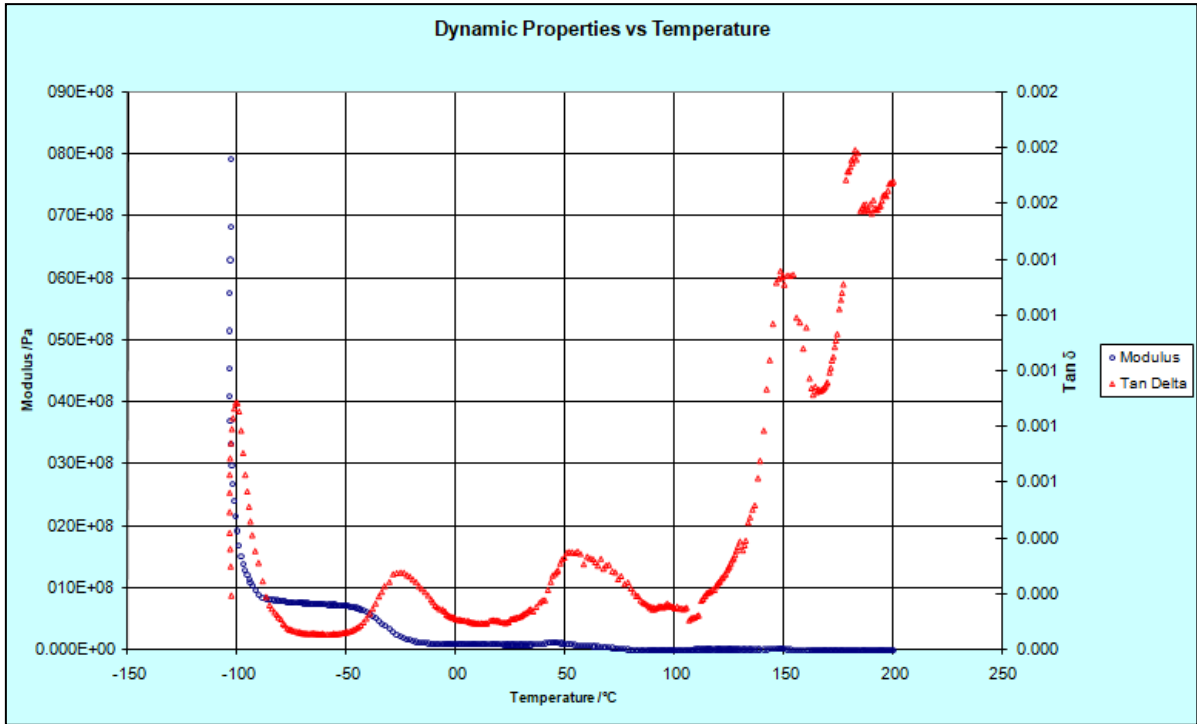
EK 4 - Şekil 6.1. %100 TPU kompozitinin DMA analizi



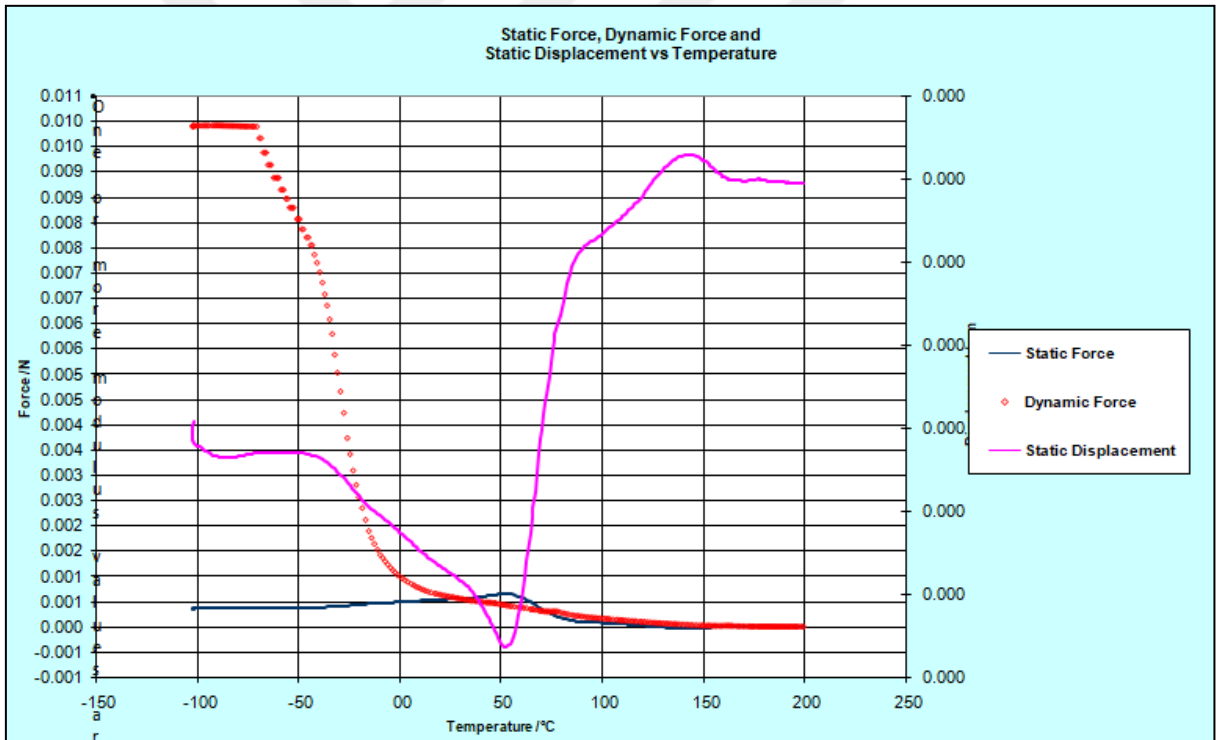
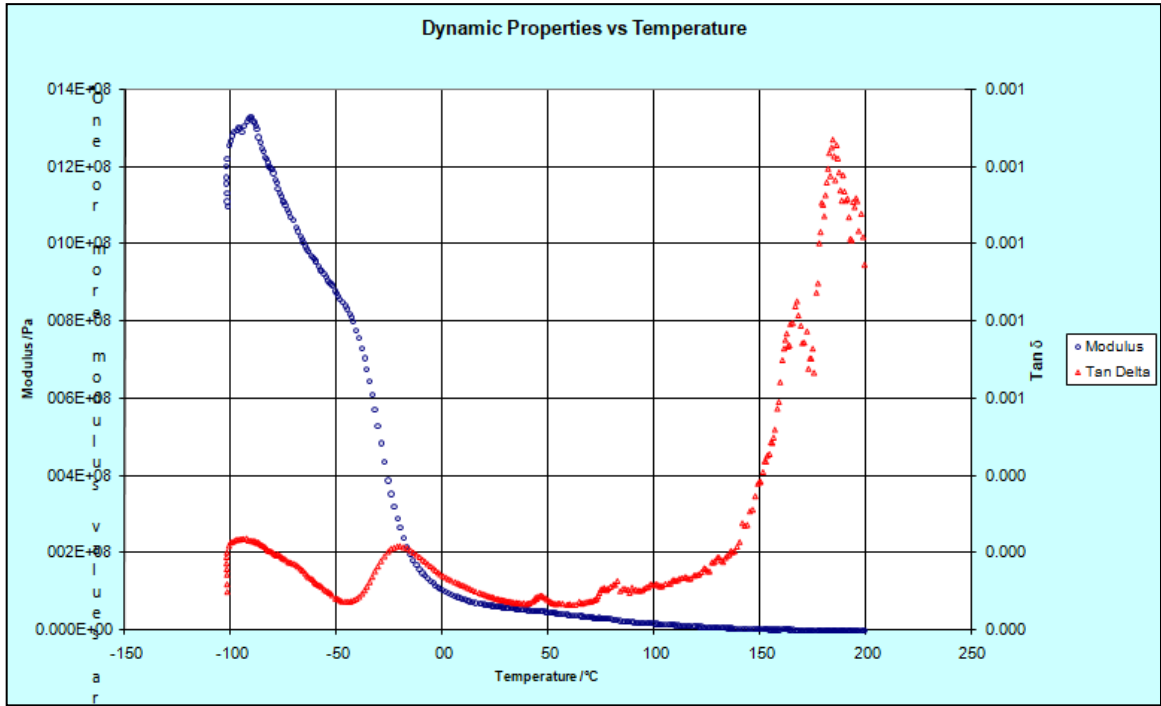
EK 4 - Şekil 6.2. TPU<sub>100</sub>/0,5PVDF kompozitinin DMA analizi (EB-2)



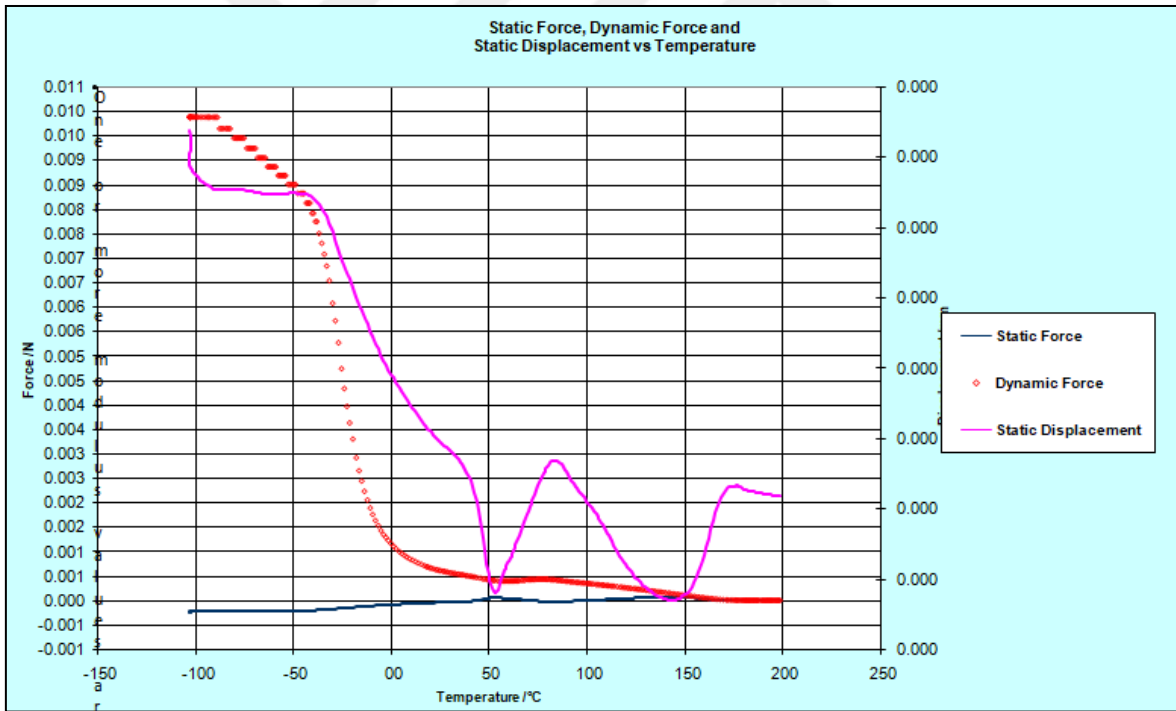
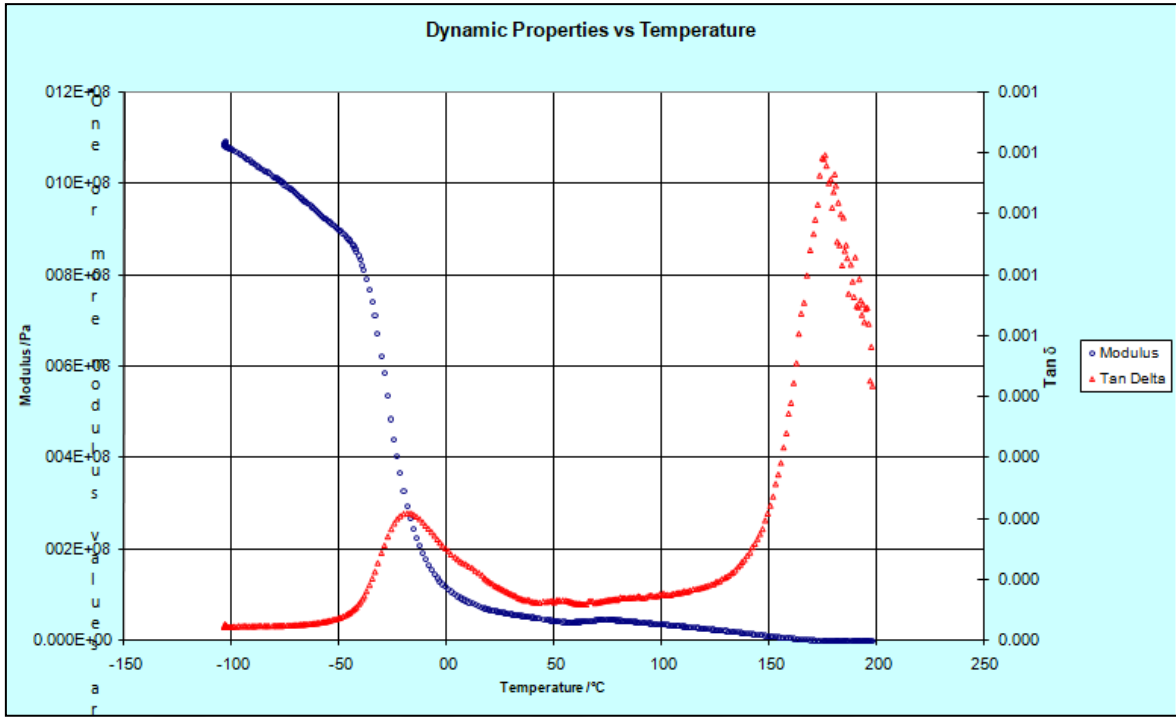
**EK 4 - Şekil 6.3.** TPU<sub>100</sub>/0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-3)



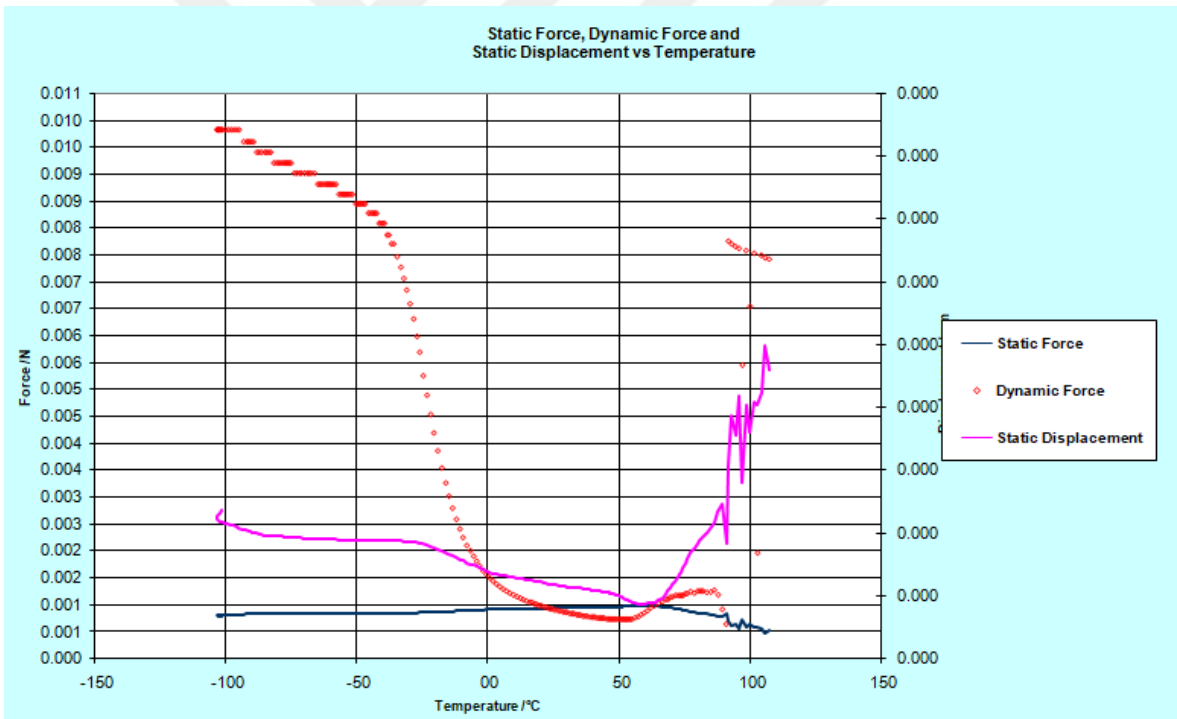
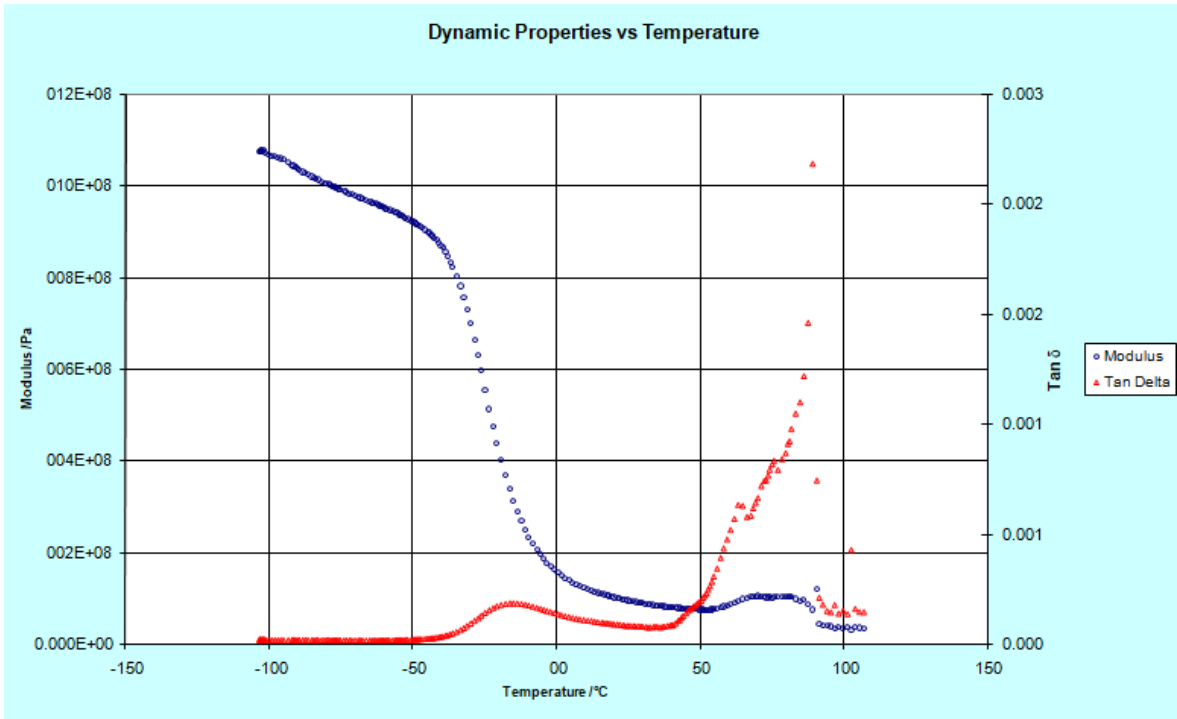
**EK 4 - Şekil 6.4.** TPU<sub>100</sub>/0,5h-BN kompozitinin DMA analizi (EB-4)



**EK 4 - Şekil 6.5.** TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-5)

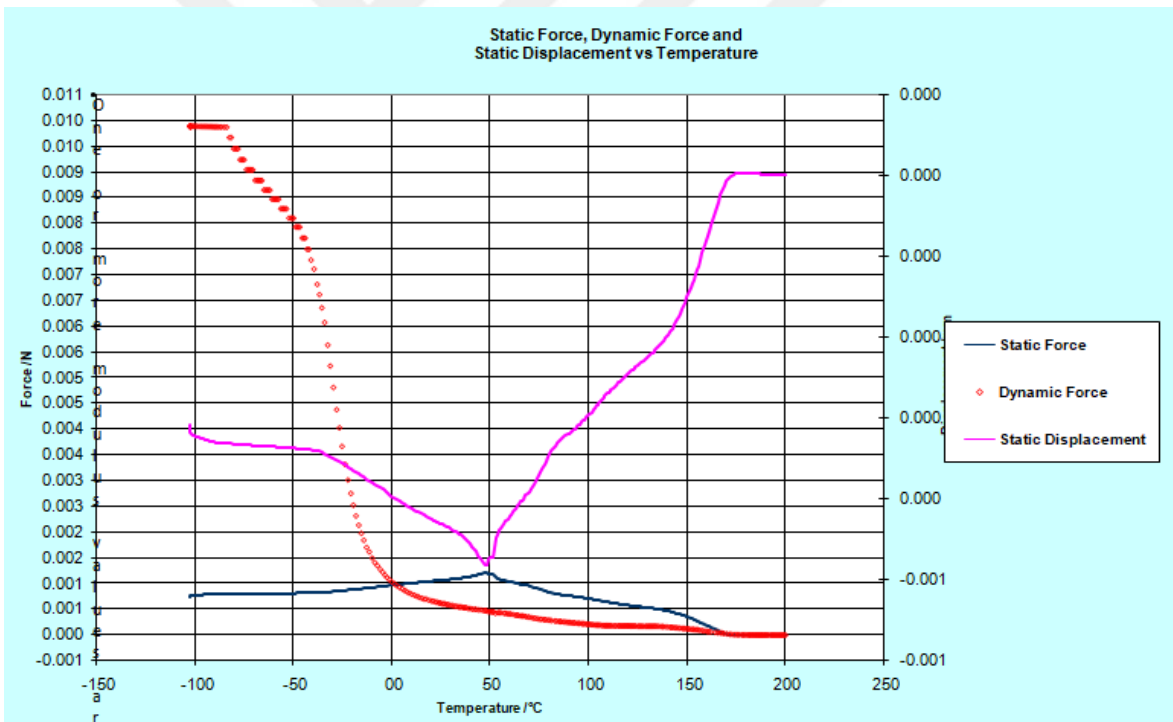
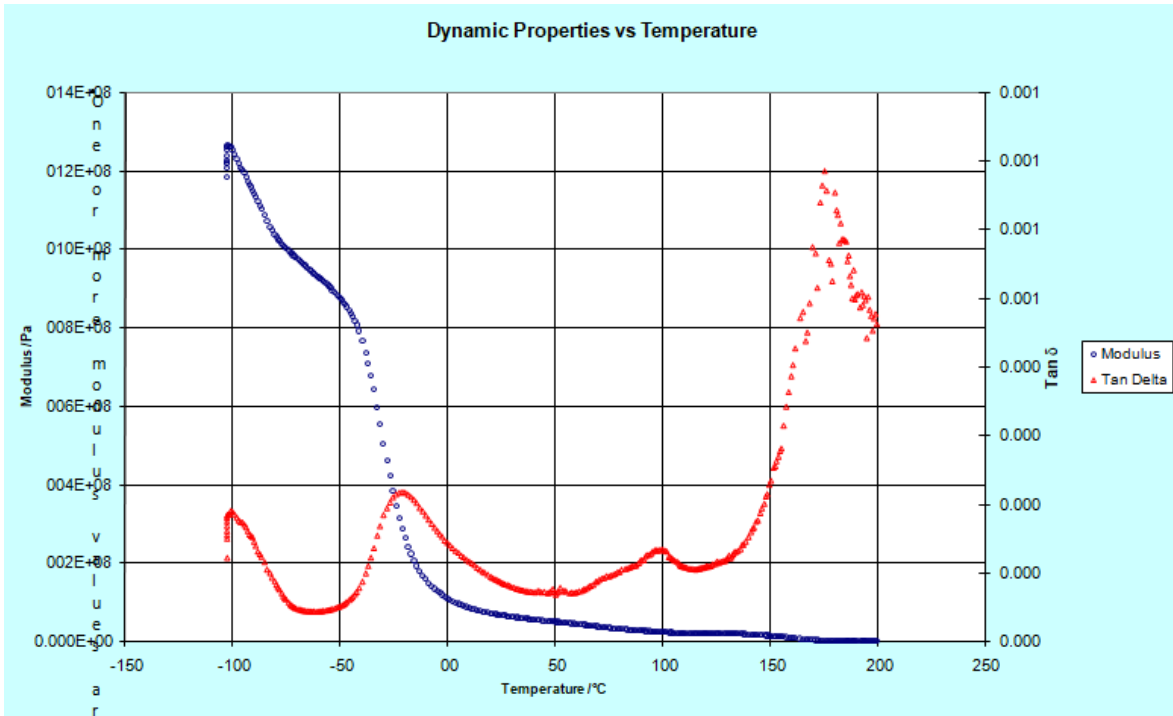


**EK 4 - Şekil 6.6.** TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub>/ %0,5PVDF kompozitinin DMA analizi (EB-6)

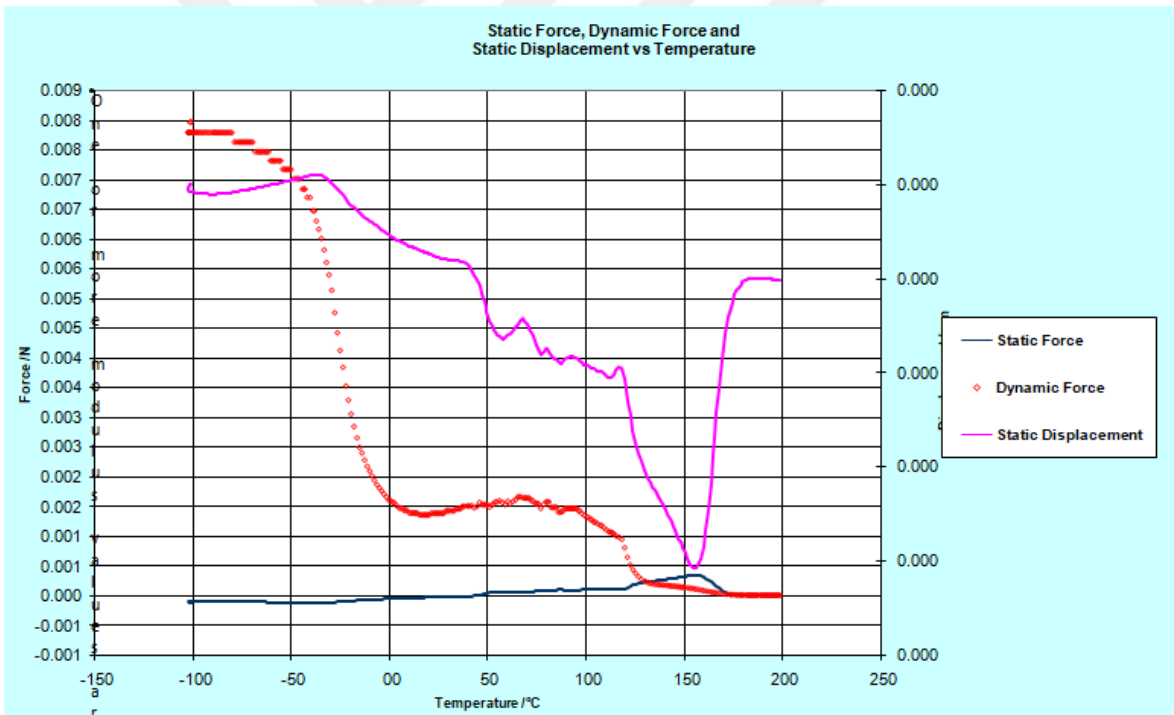
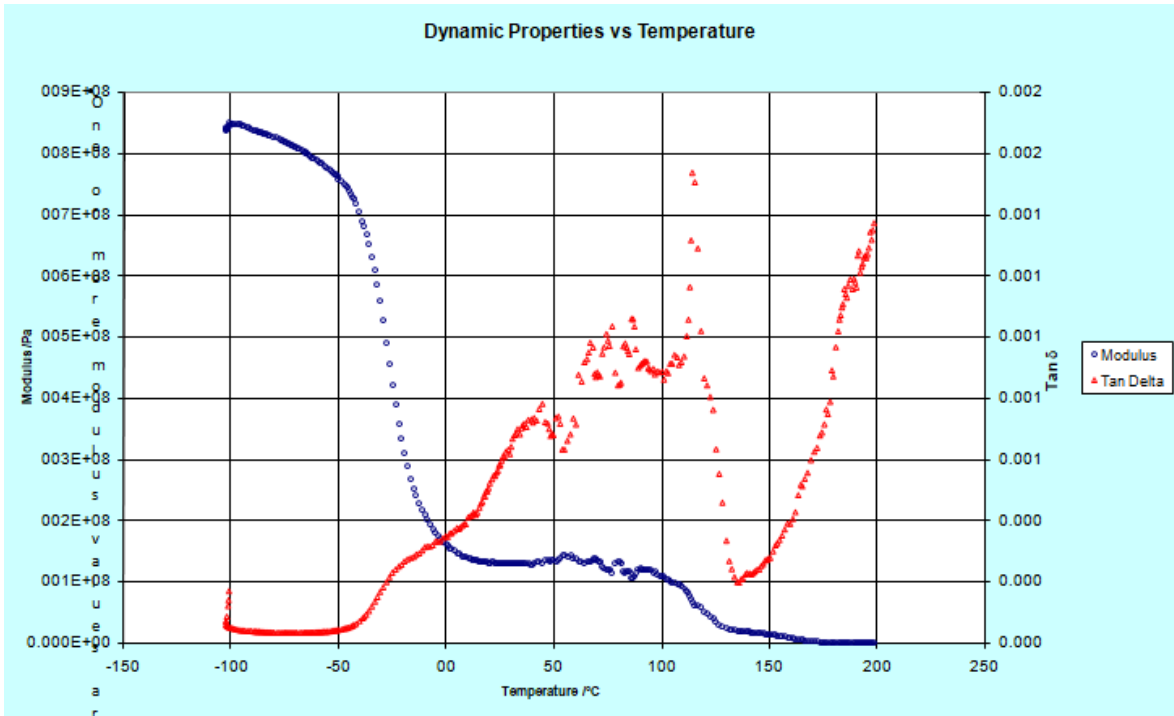


**EK 4 - Şekil 6.7.** TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub>/% 0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-7)

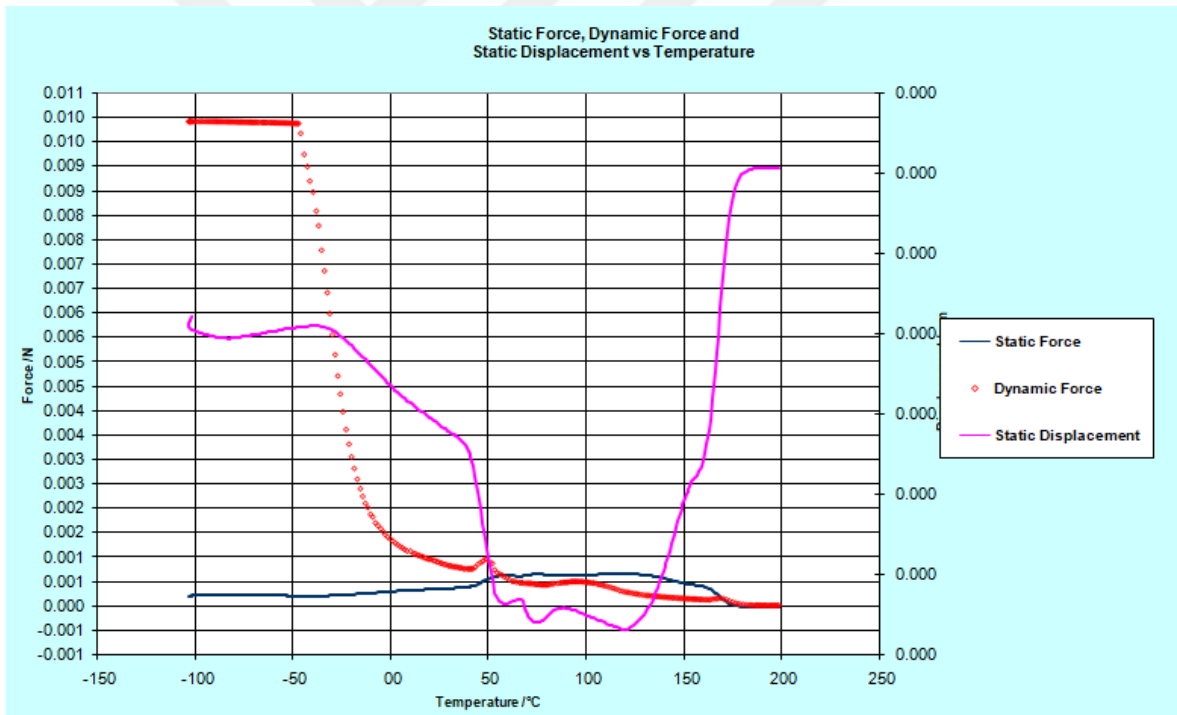
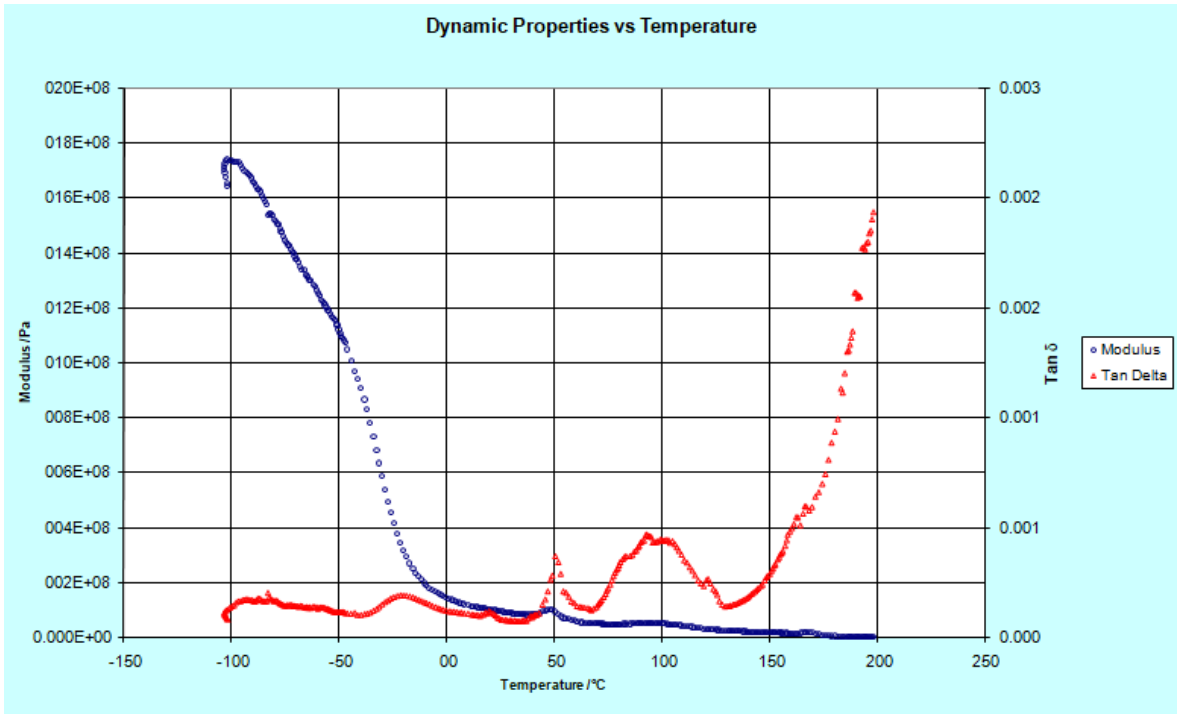




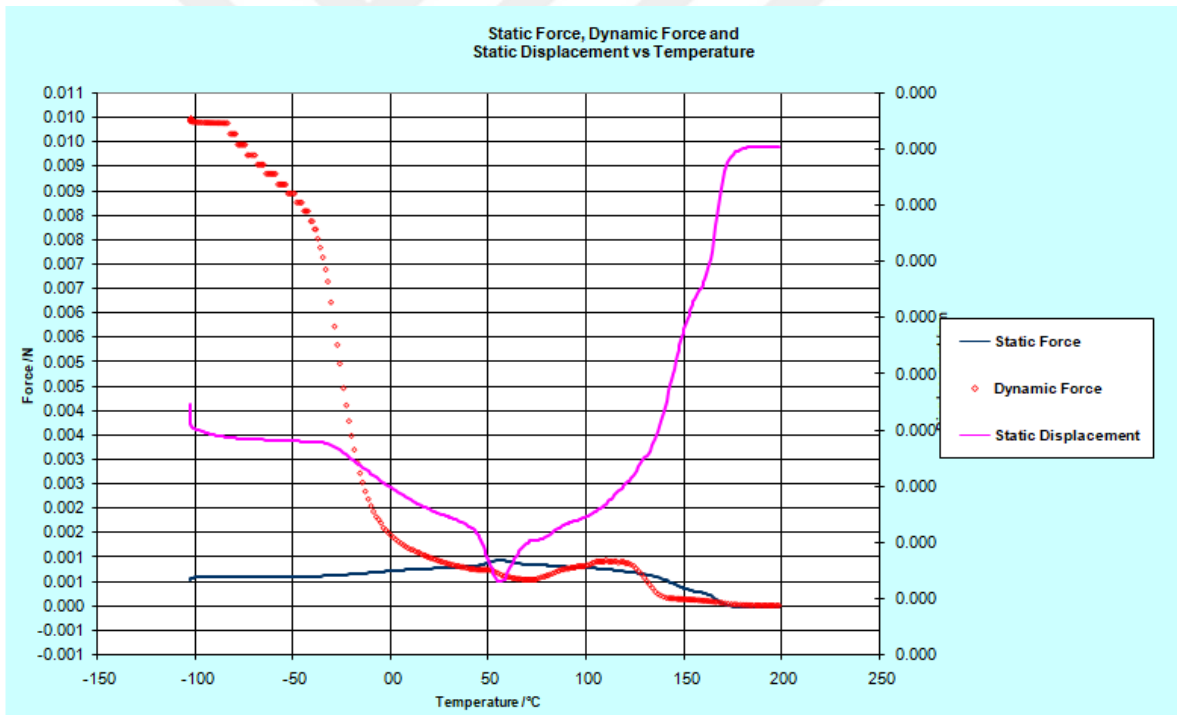
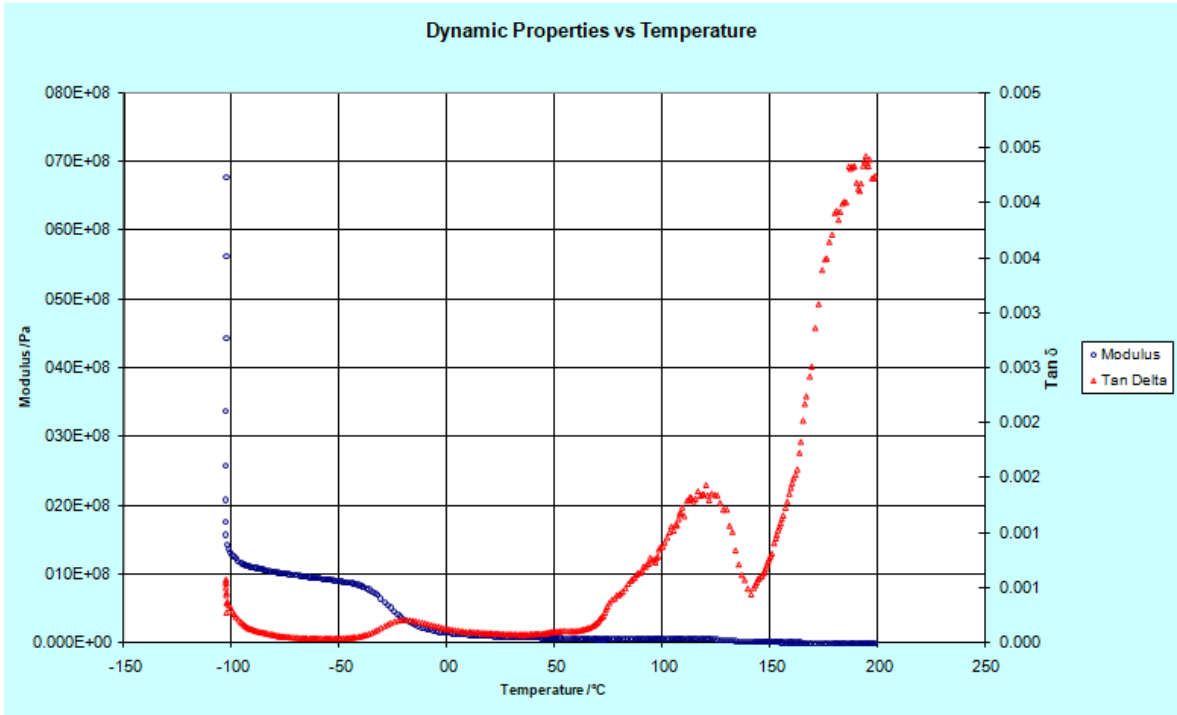
EK 4 - Şekil 6.8. TPU<sub>87,5</sub>/ PHB<sub>12,5</sub>/ %0,5h-BN kompozitinin DMA analizi (EB-8)



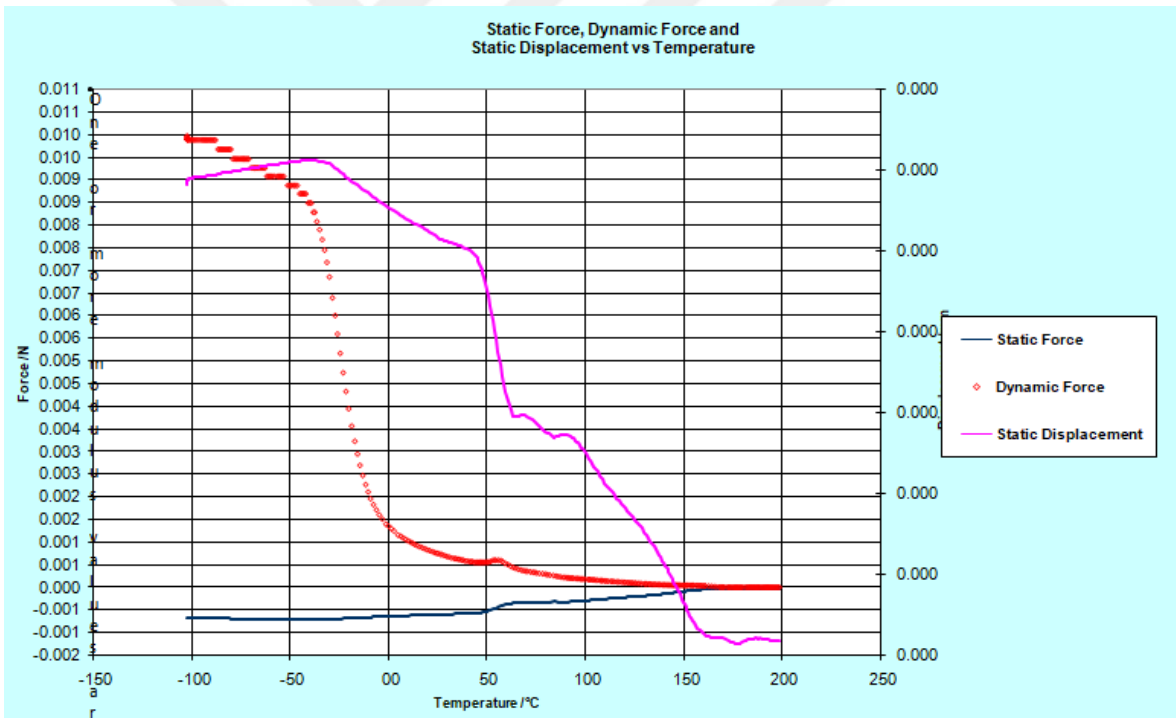
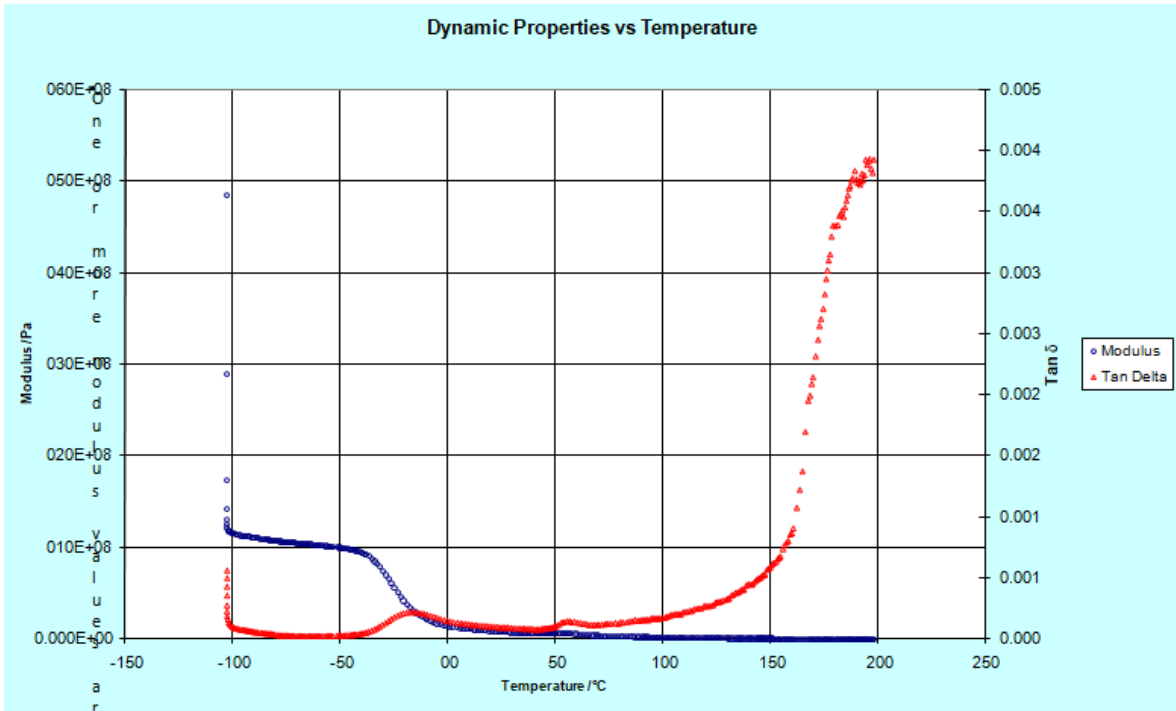
**EK 4 - Şekil 8.9.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-9)



**EK 4 - Şekil 6.10.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF kompozitinin DMA analizi (EB-10)

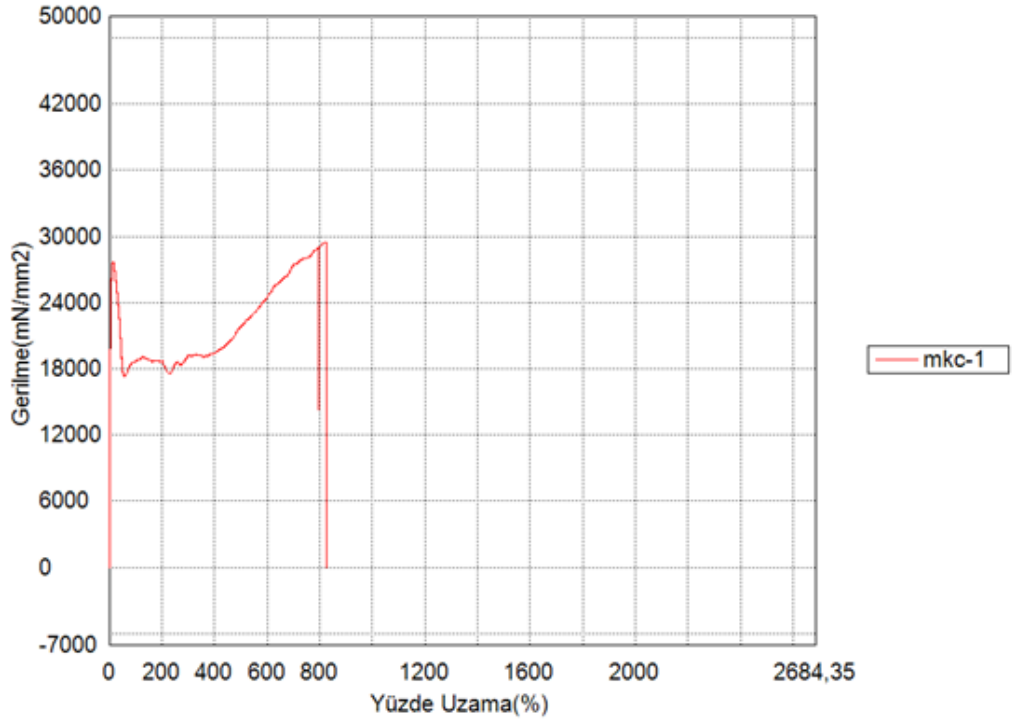


**EK 4 - Şekil 8.11.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin DMA analizi (EB-11)

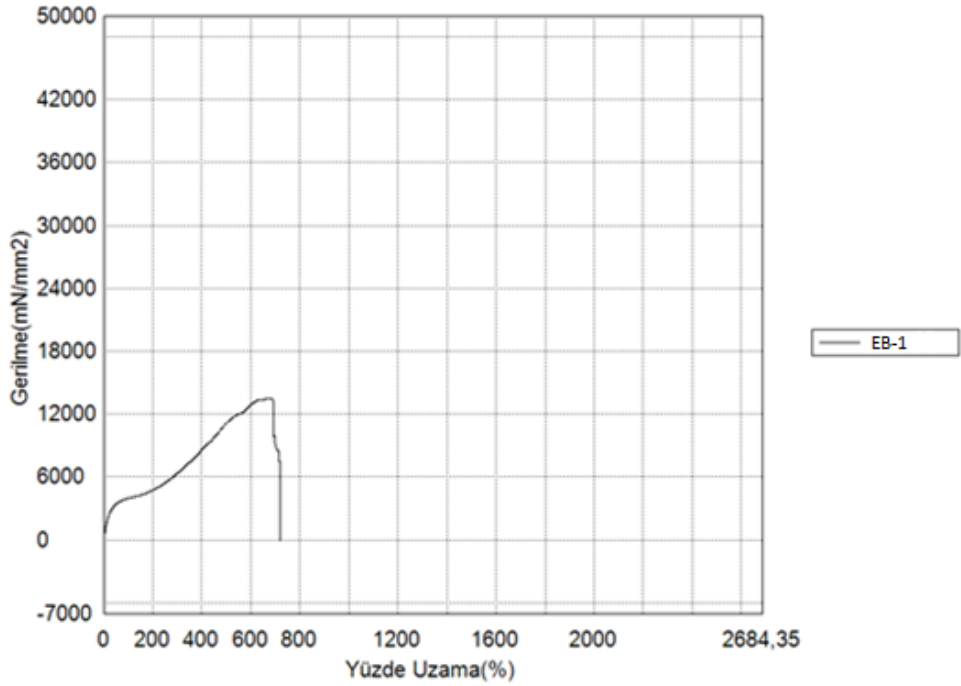


**EK 4 - Şekil 8.12.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5h-BN Kompozitinin DMA Analizi (EB-12)

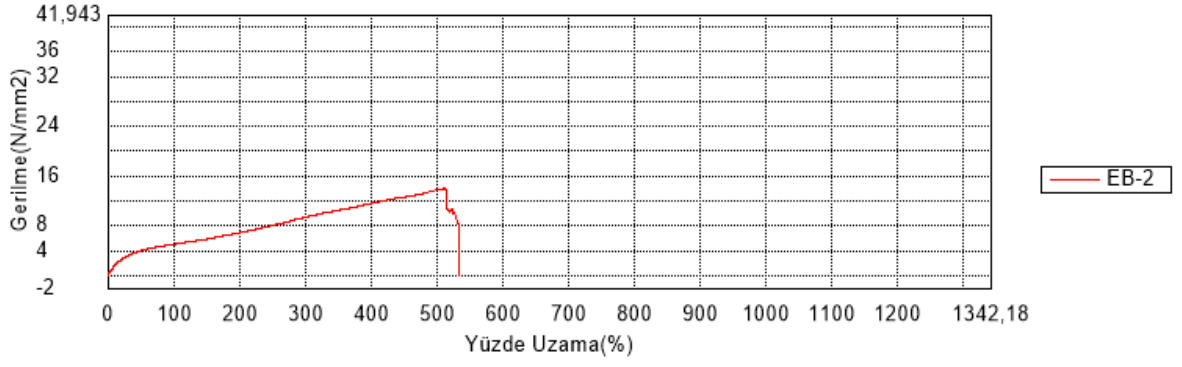
## EK 5 - Çekme-Germe Grakikleri



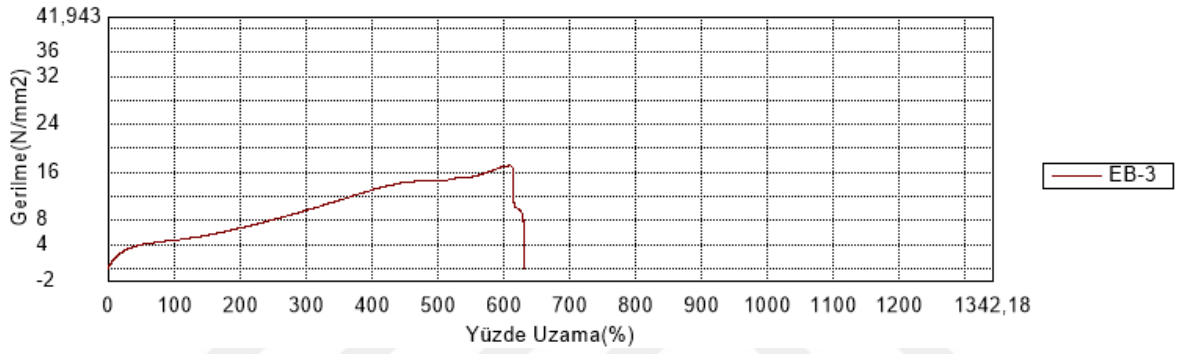
EK 5 - Şekil 6.1. % 100 PP kompozitinin çekme grafiği



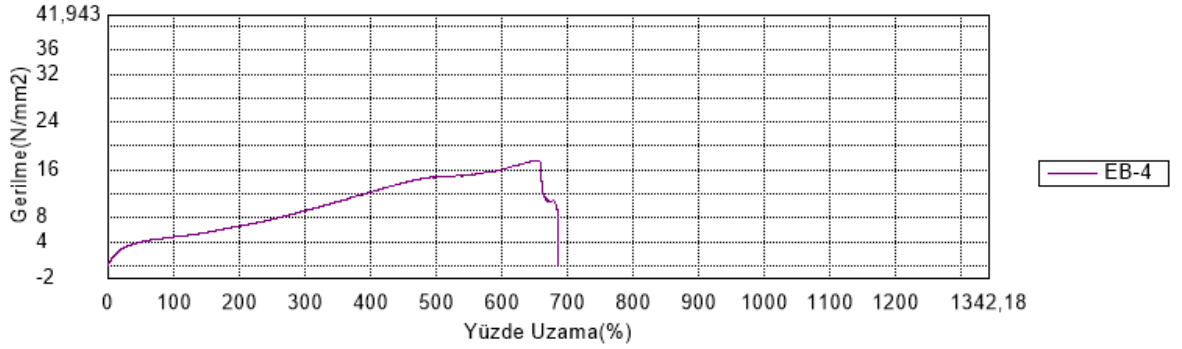
EK 5 - Şekil 6.2. % 100 TPU kompozitinin çekme grafiği



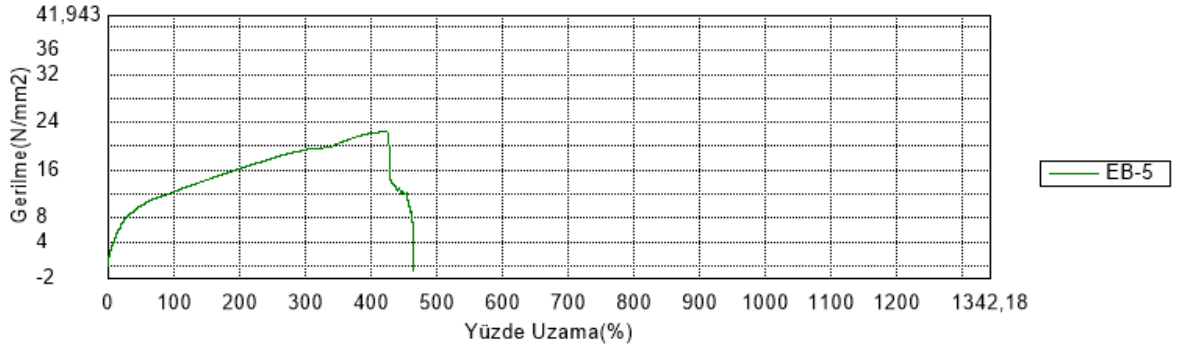
**EK 5 - Şekil 6.3.** TPU<sub>100</sub>/%0,5PVDF kompozitinin çekme grafiği (EB-2)



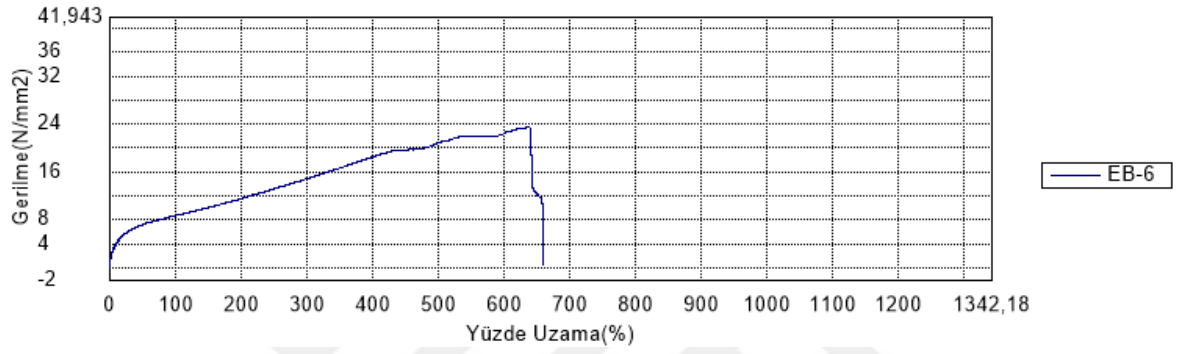
**EK 5 - Şekil 6.4.** TPU<sub>100</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-3)



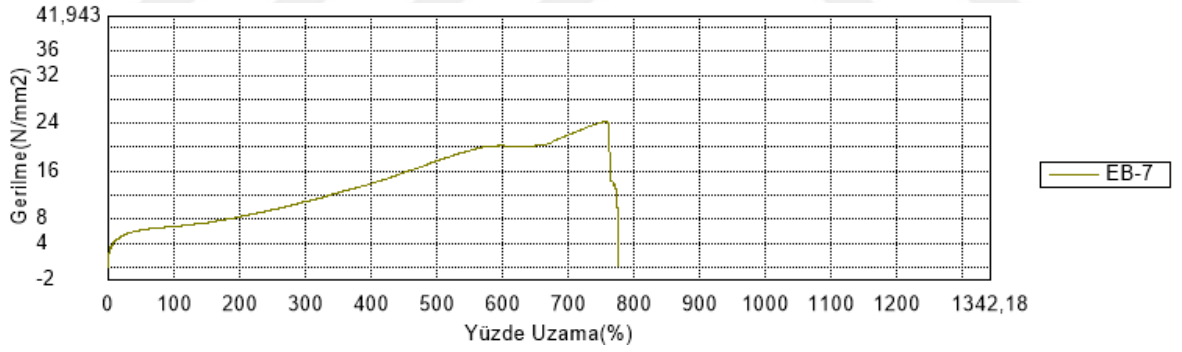
**EK 5 - Şekil 6.5.** TPU<sub>100</sub>/%0,5h-BN kompozitinin çekme grafiği (EB-4)



**EK 5 - Şekil 6.6.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-5)

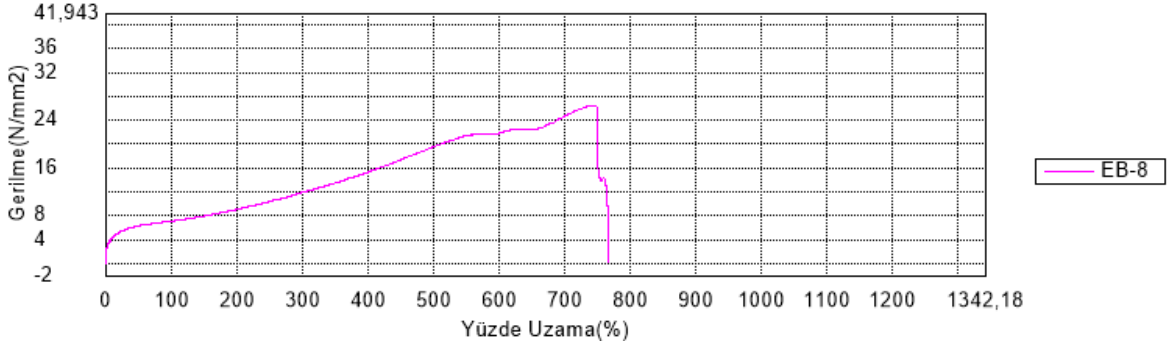


**EK 5 - Şekil 6.7.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/0,5PVDF kompozitinin çekme grafiği (EB-6)

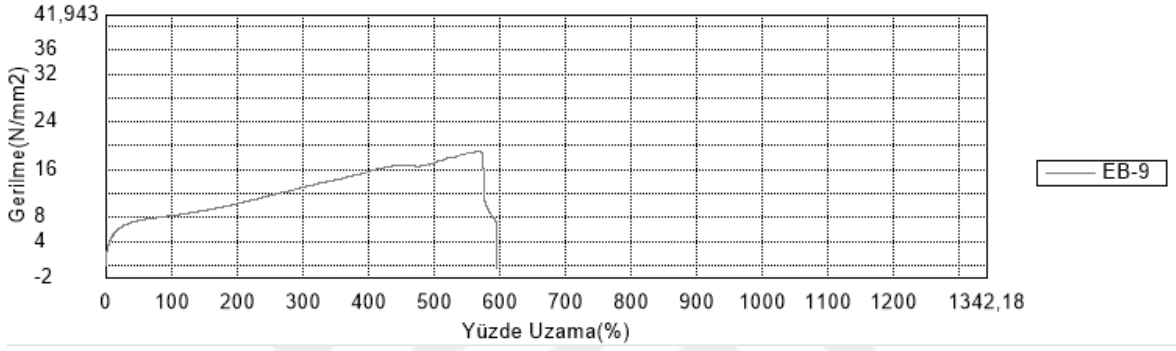


**EK 5 - Şekil 6.8.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-7)

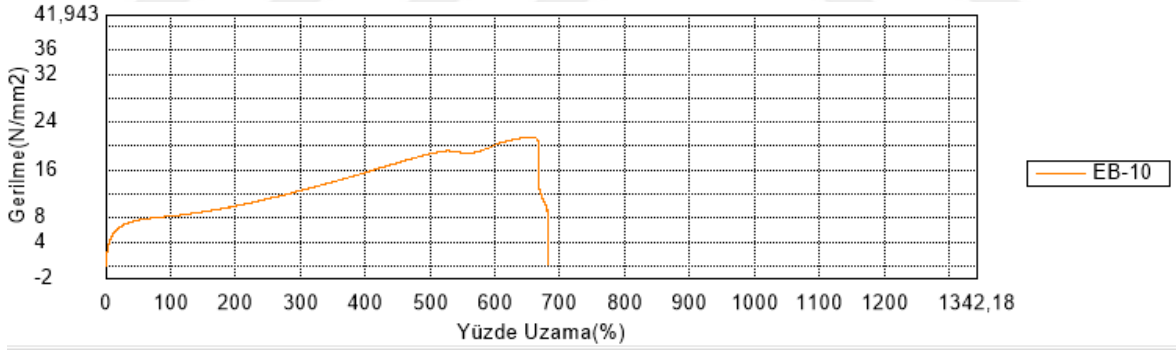




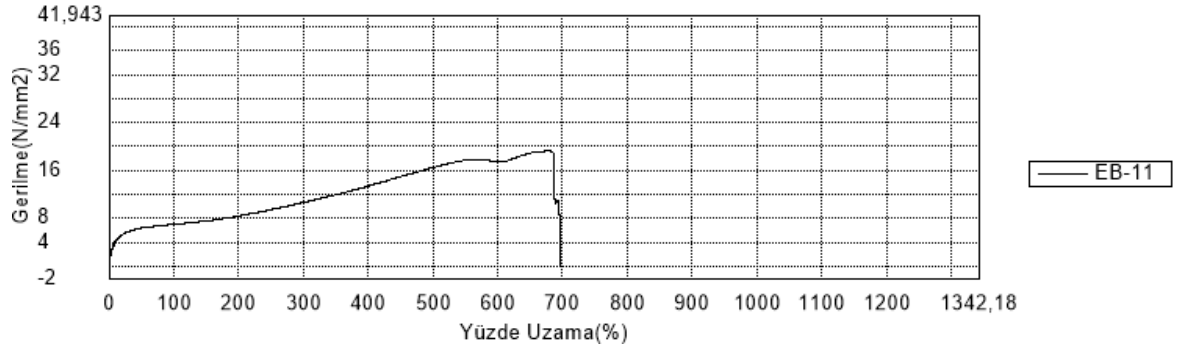
**EK 5 - Şekil 6.9.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/ %0,5h-BN kompozitinin çekme grafiği (EB-8)



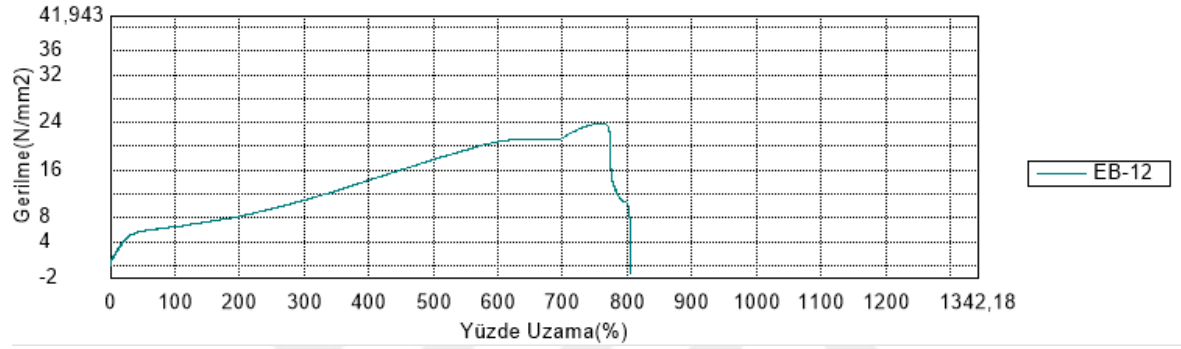
**EK 5 - Şekil 6.10.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-9)



**EK 5 - Şekil 6.11.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/ %0,5PVDF kompozitinin çekme grafiği (EB-10)

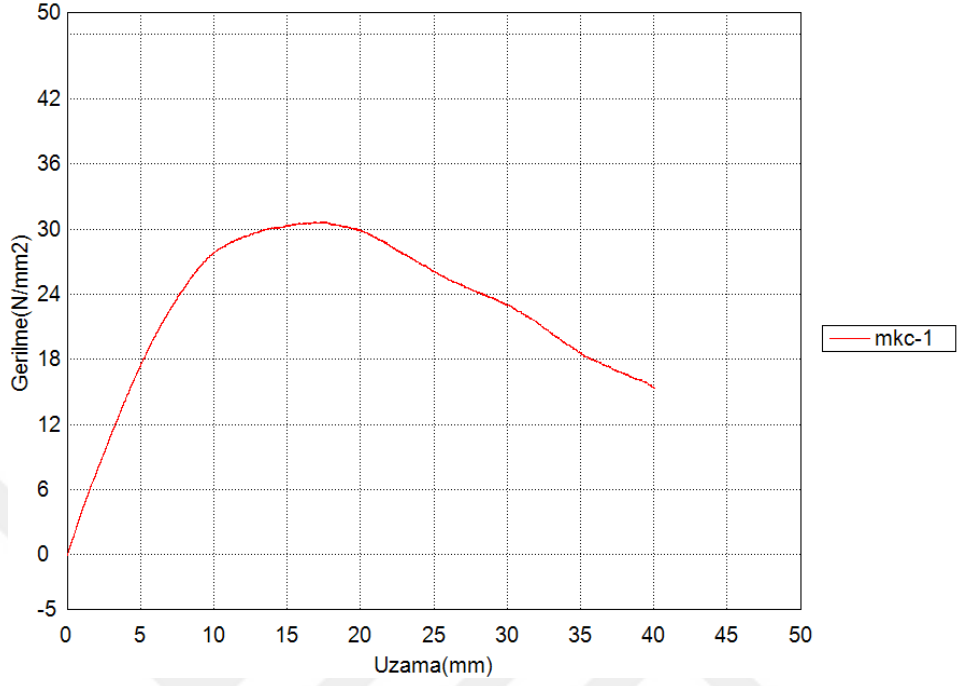


**EK 5 - Şekil 6.12.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin çekme grafiği (EB-11)

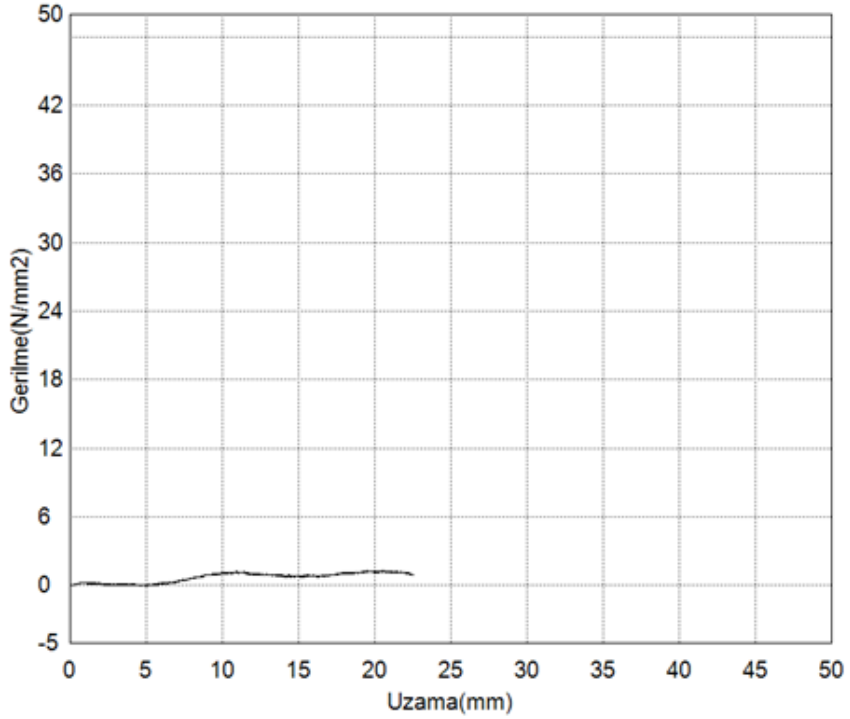


**EK 5 - Şekil 6.13.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN kompozitinin çekme grafiği (EB-12)

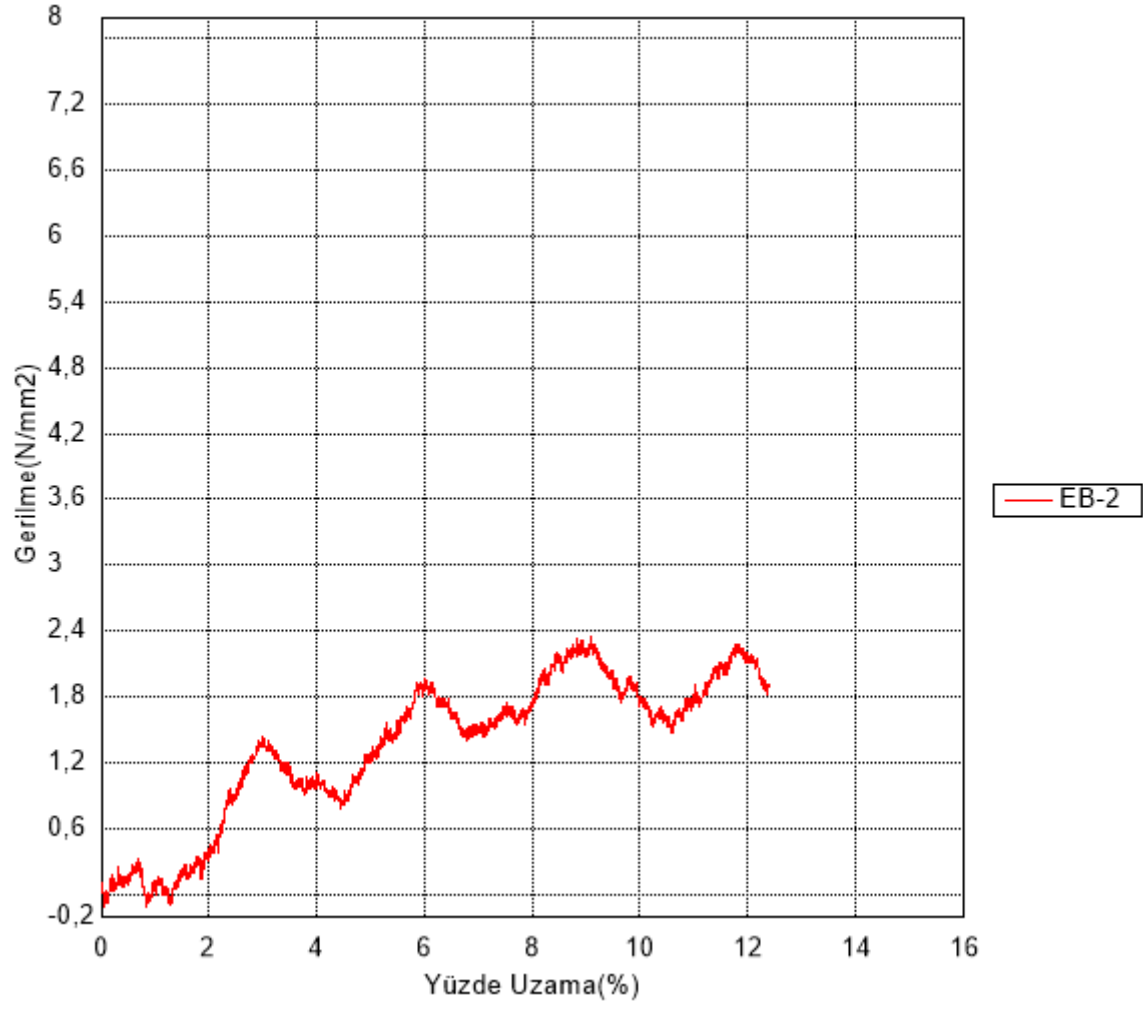
## EK 6 Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları



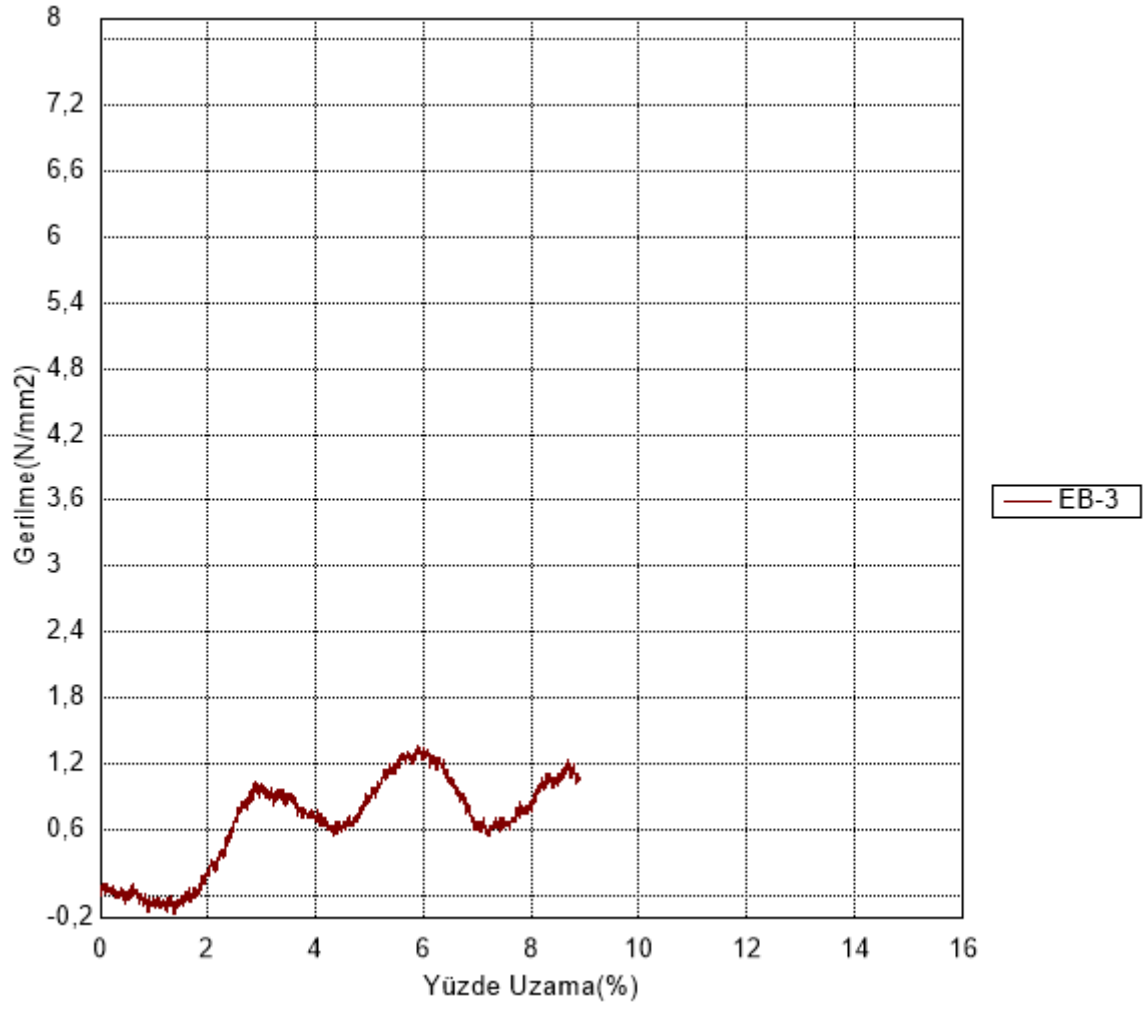
EK 6 - Şekil 6.1. % 100 PP kompozitinin üç nokta eğme grafiği



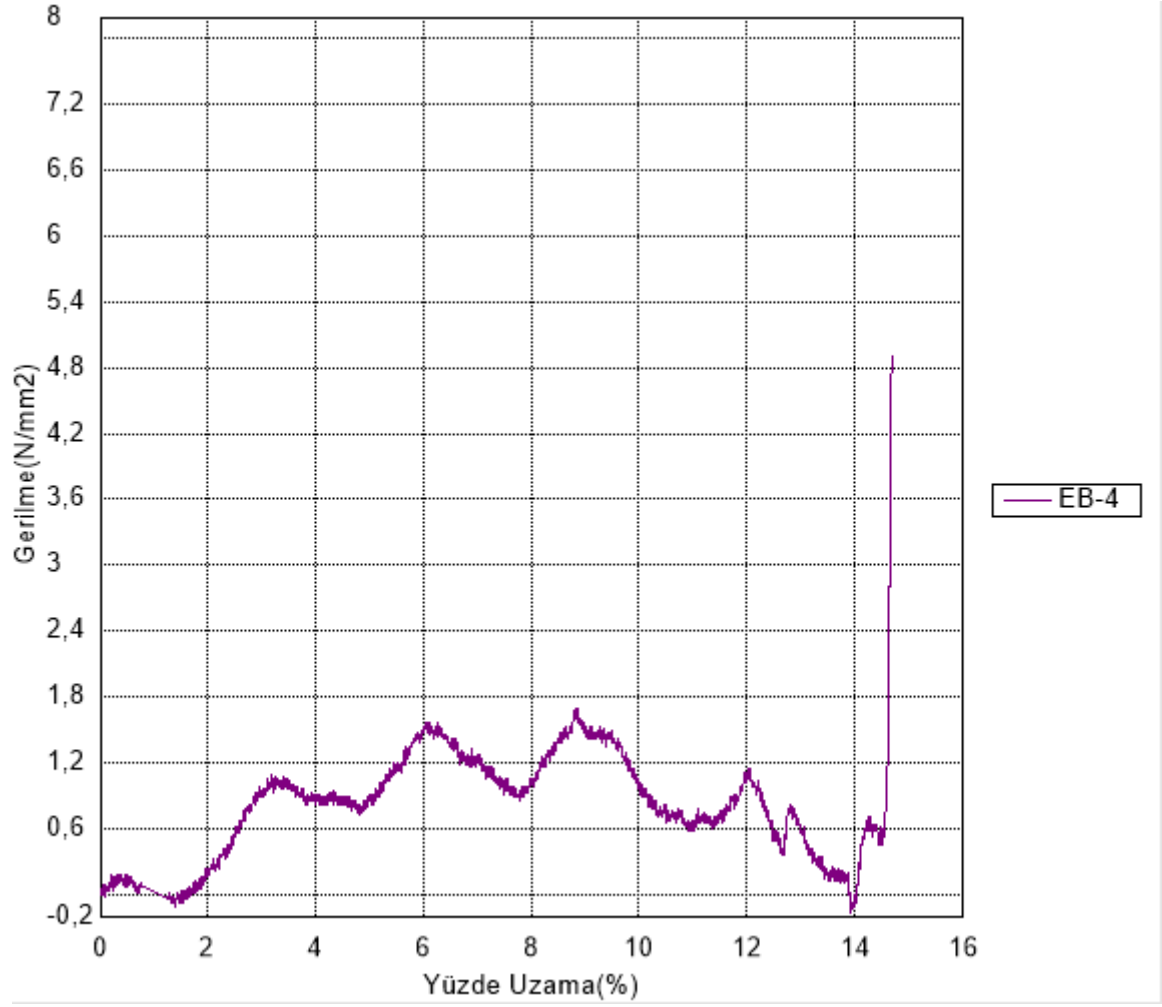
EK 6 - Şekil 6.2. % 100 TPU kompozitinin üç nokta eğme grafiği



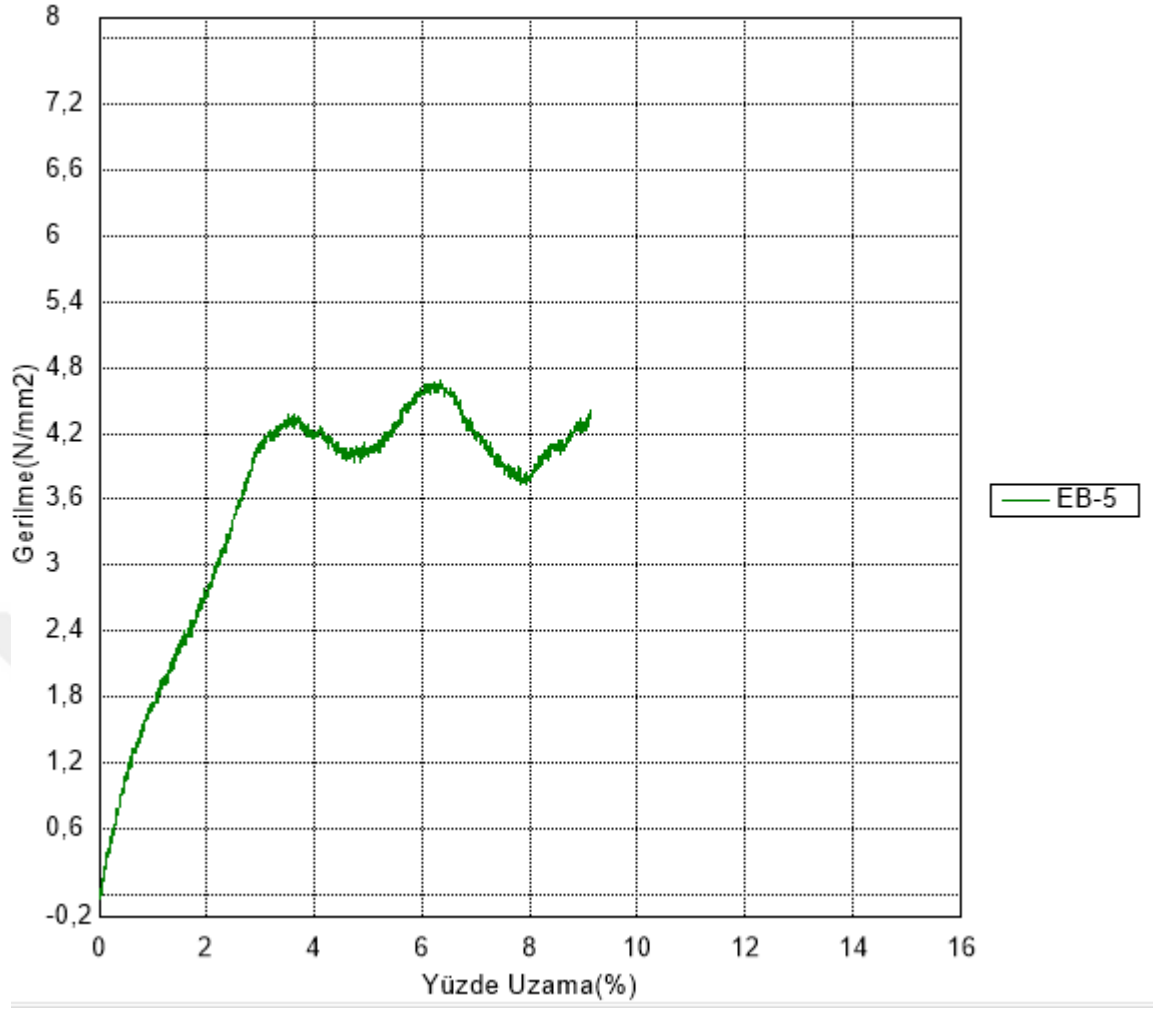
**EK 6 - Şekil 6.3.** TPU<sub>100</sub>/ %0,5PVDF kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-2)



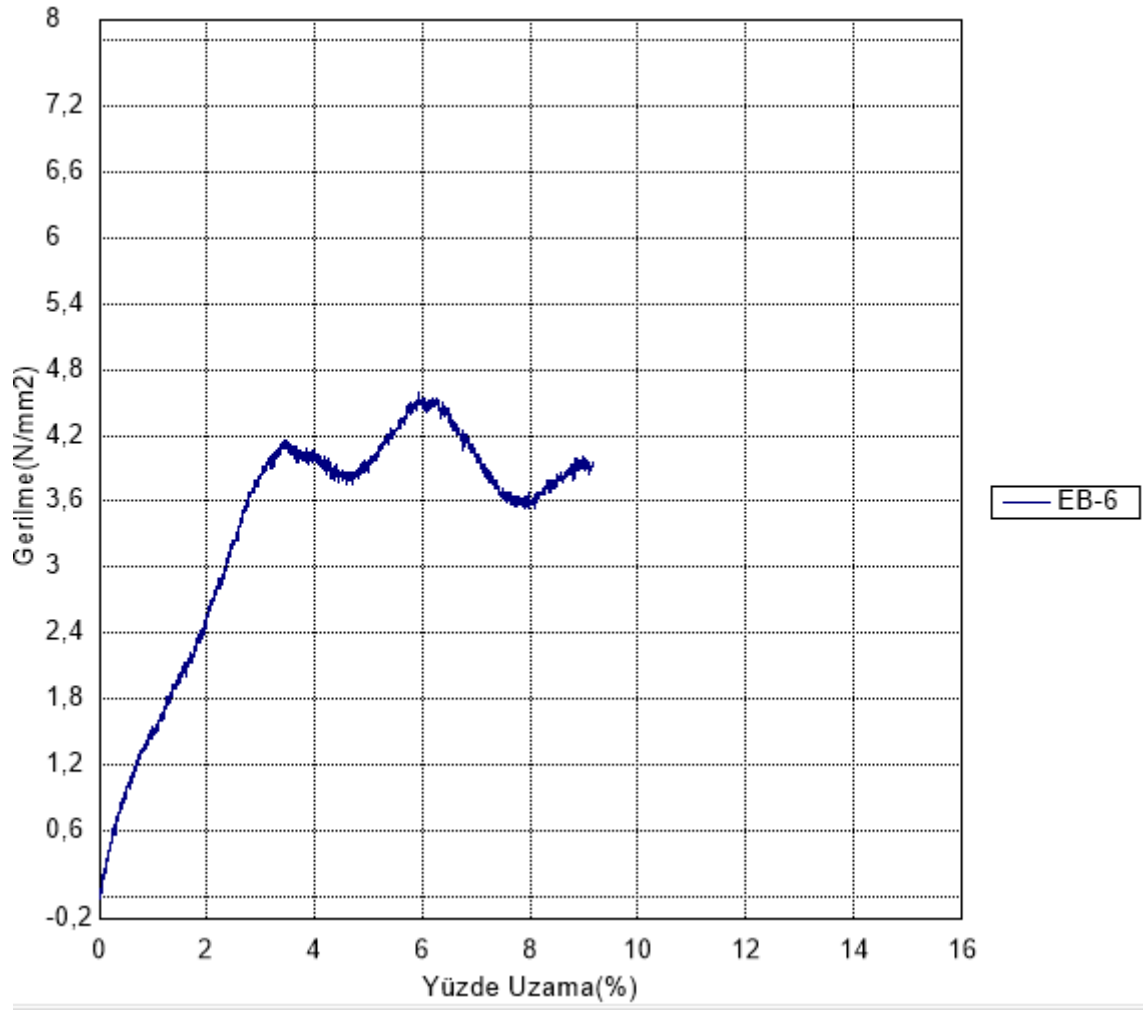
**EK 6 - Şekil 6.4.** TPU<sub>100</sub>/0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-3)



**EK 6 - Şekil 6.5.** TPU<sub>100</sub>/0,5h-BN kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-4)

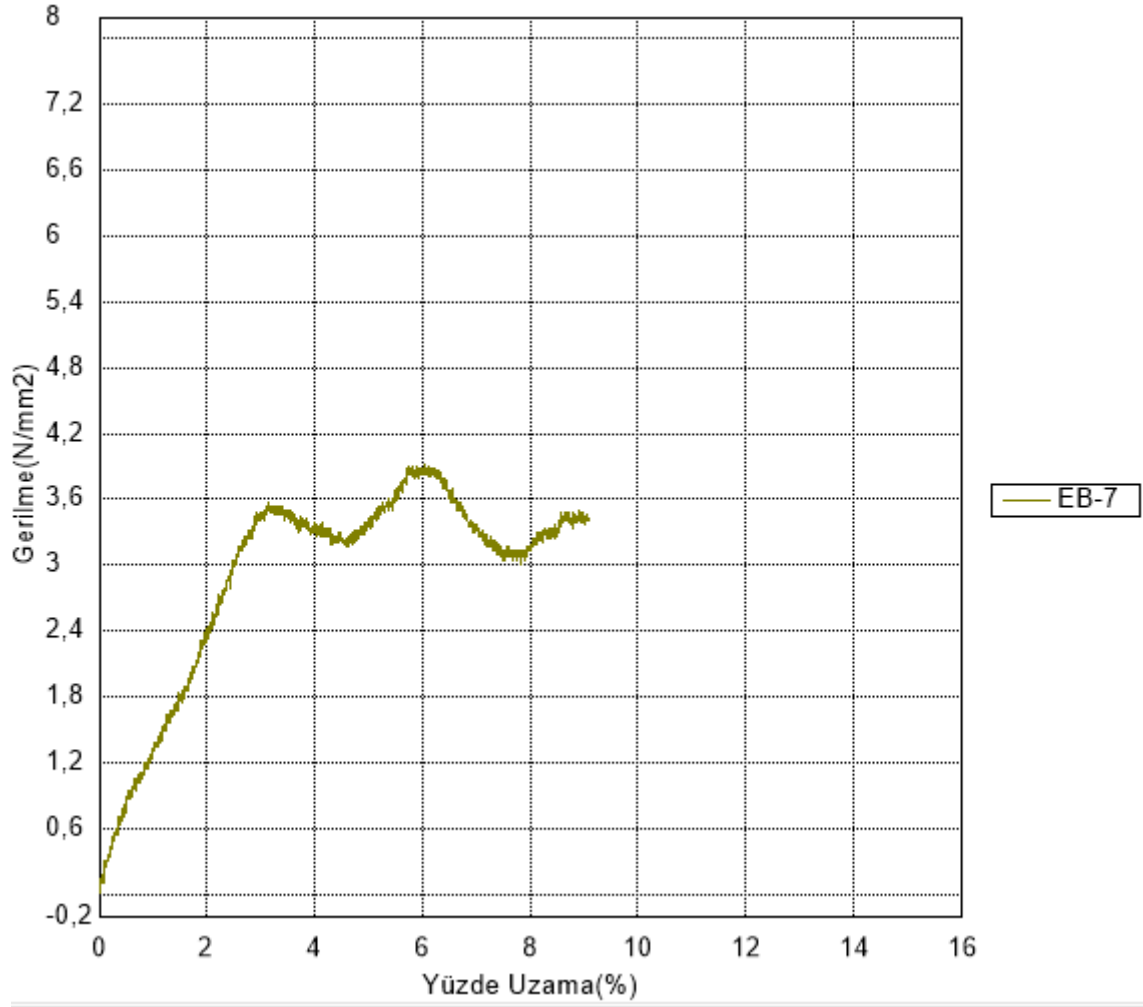


**EK 6 - Şekil 6.6.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-5)

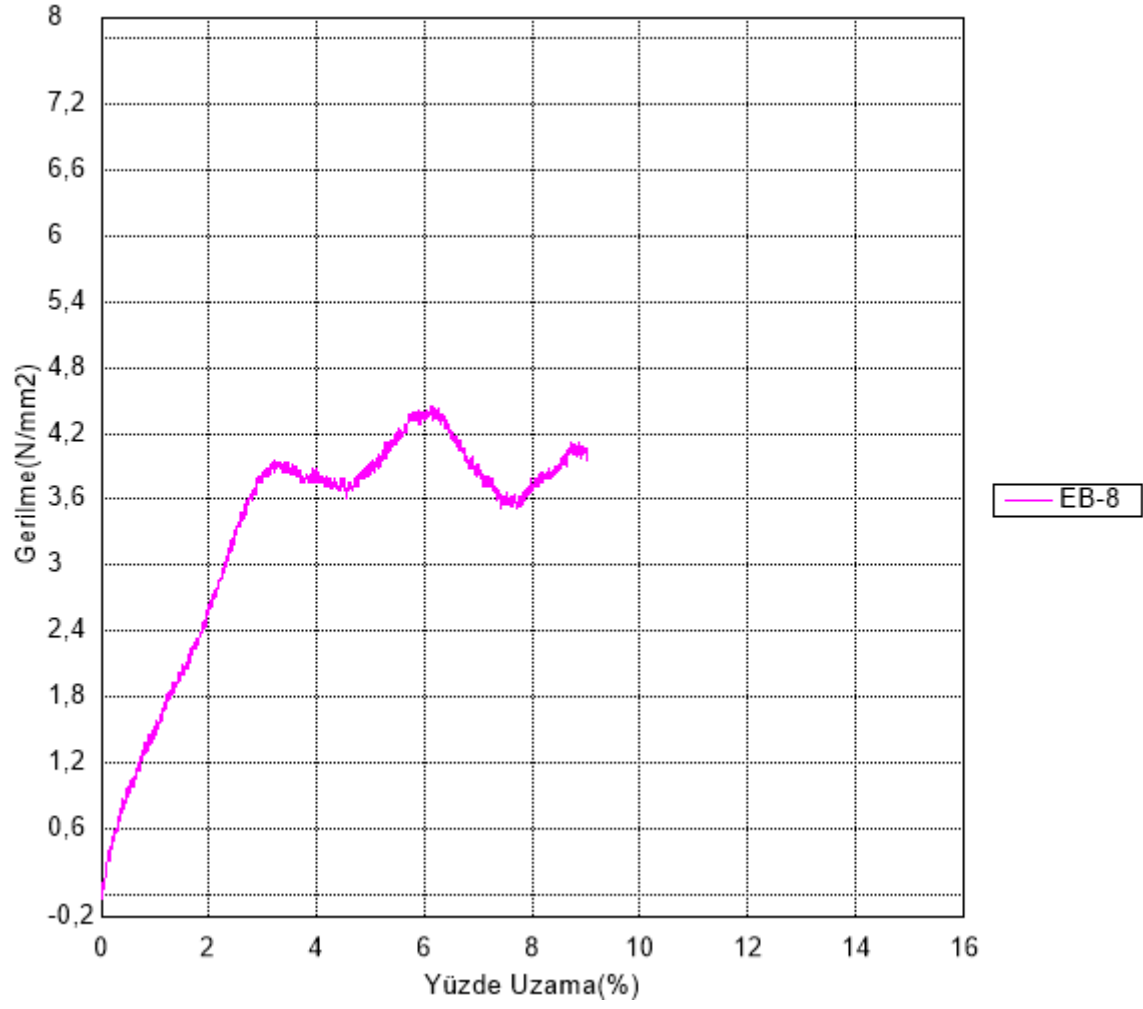


**EK 6 - Şekil 6.7.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/PVDF<sub>0,5</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği  
(EB-6)

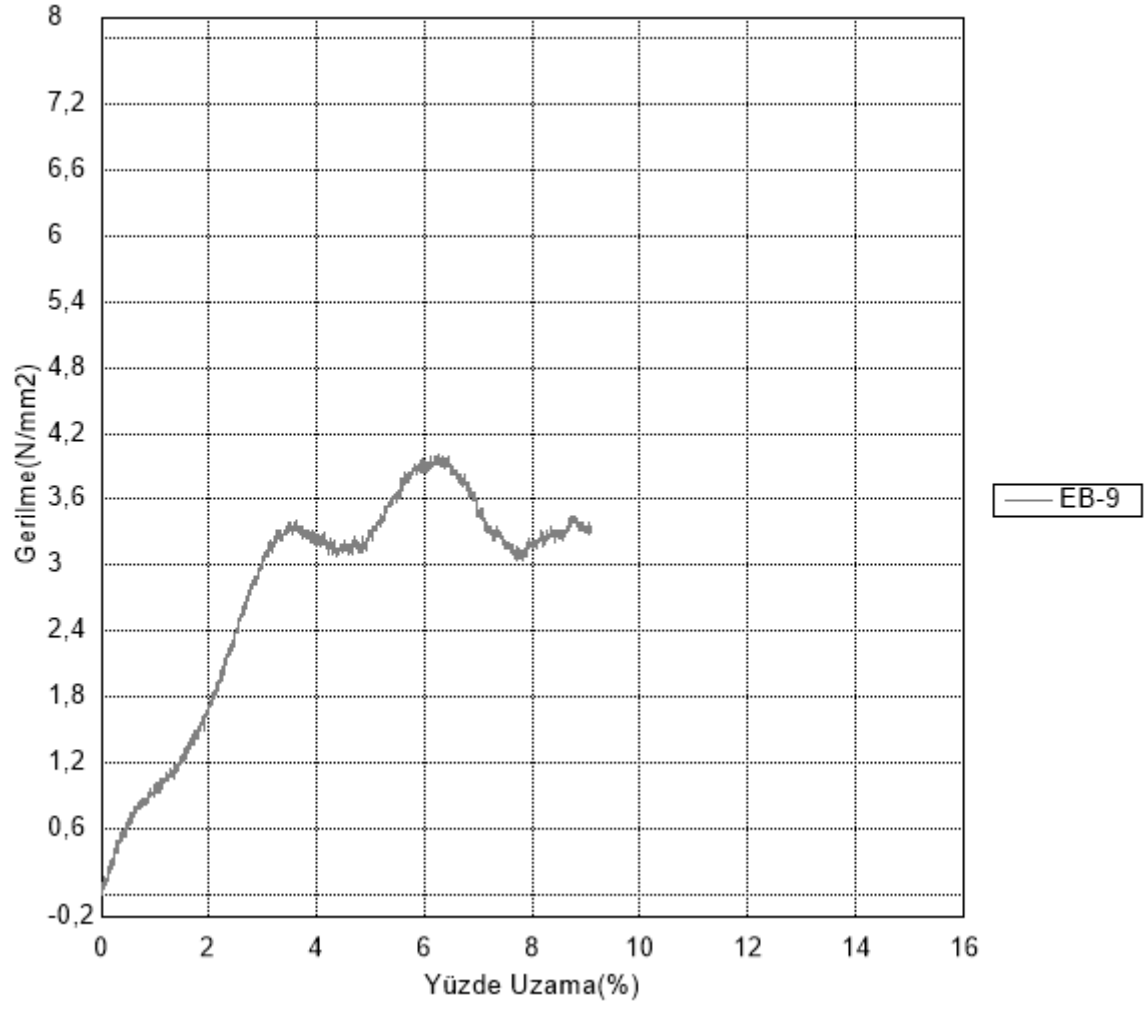




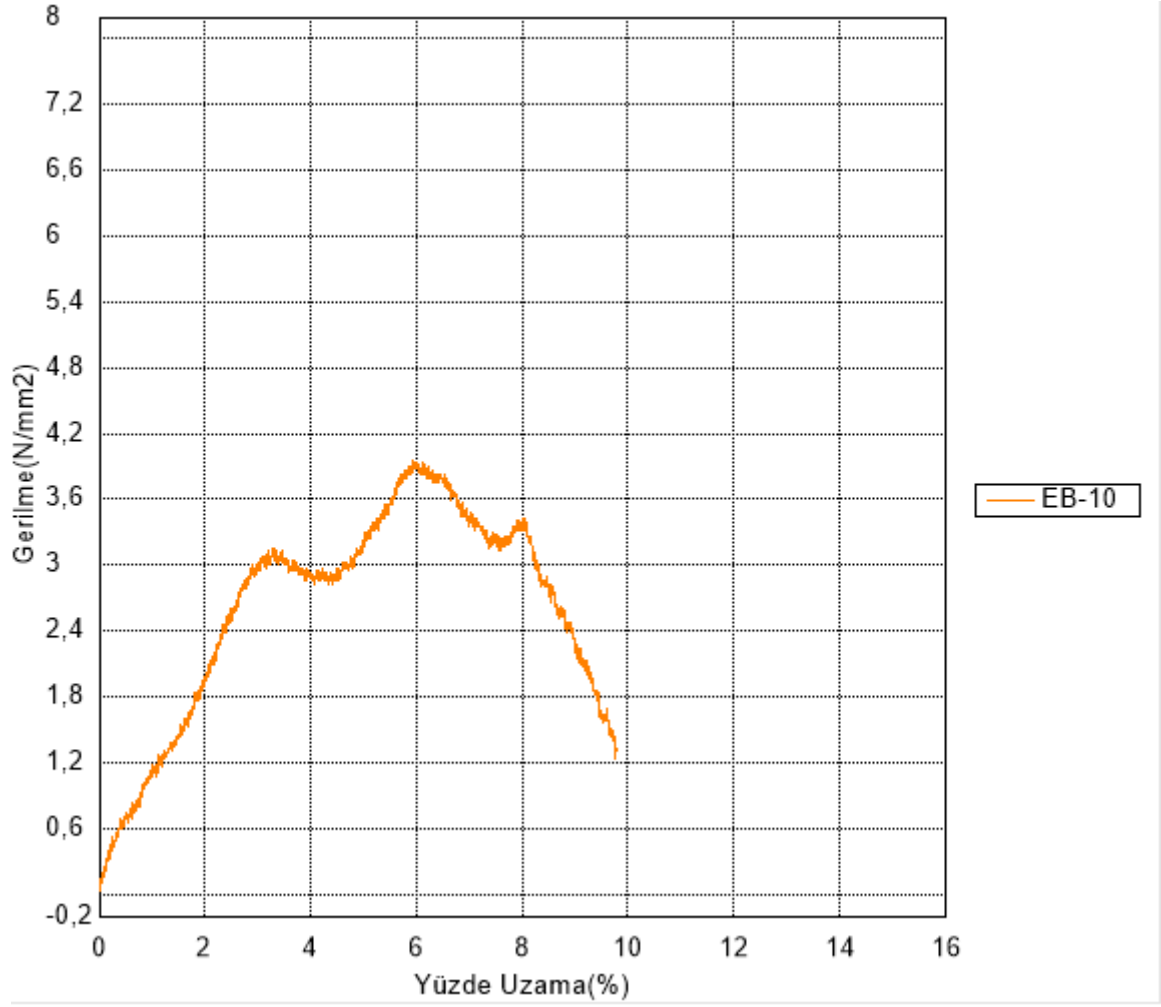
**EK 6 - Şekil 6.8.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği  
(EB-7)



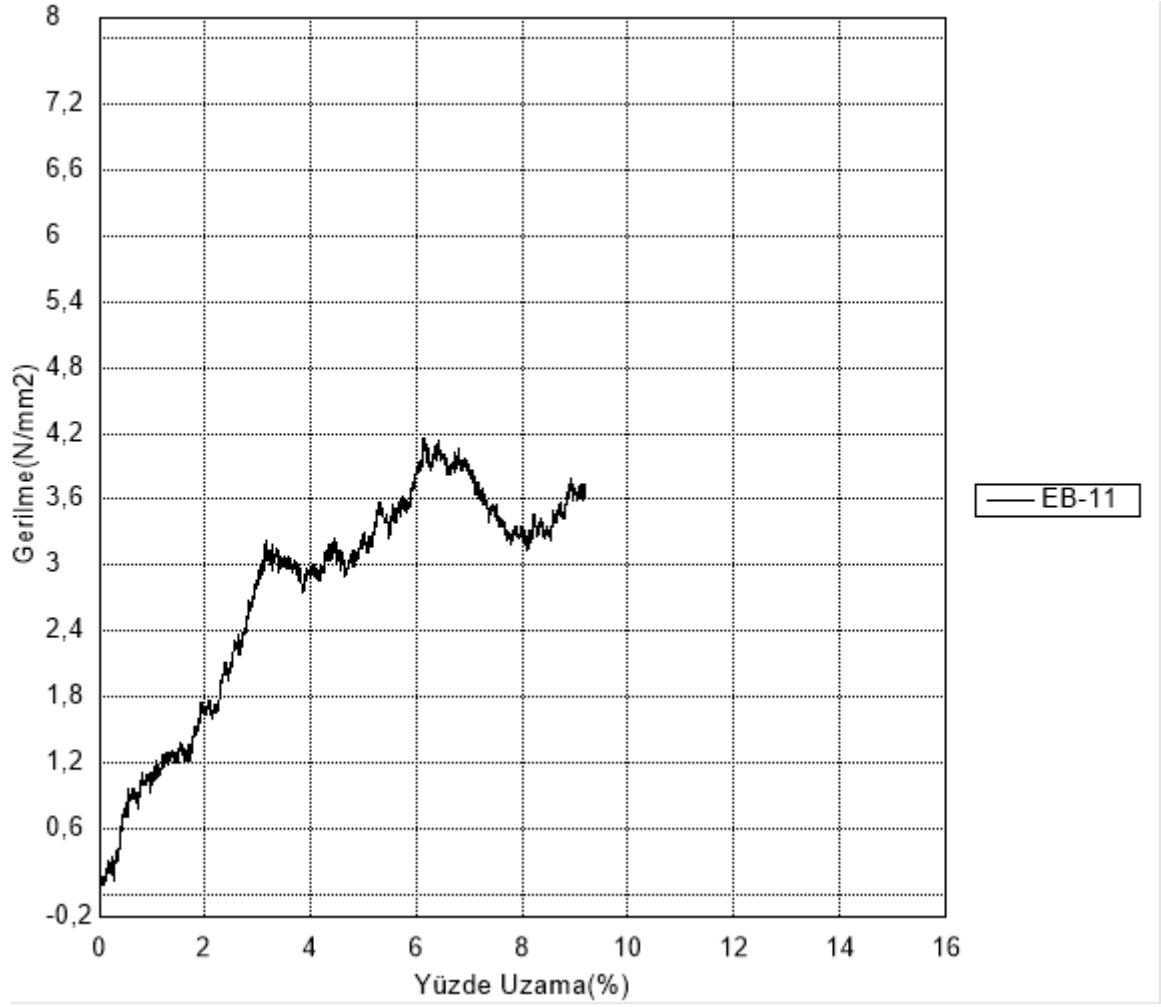
**EK 6 - Şekil 6.9.** TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/0,5h-BN kompozitinin üç nokta eğme grafiği  
(EB-8)



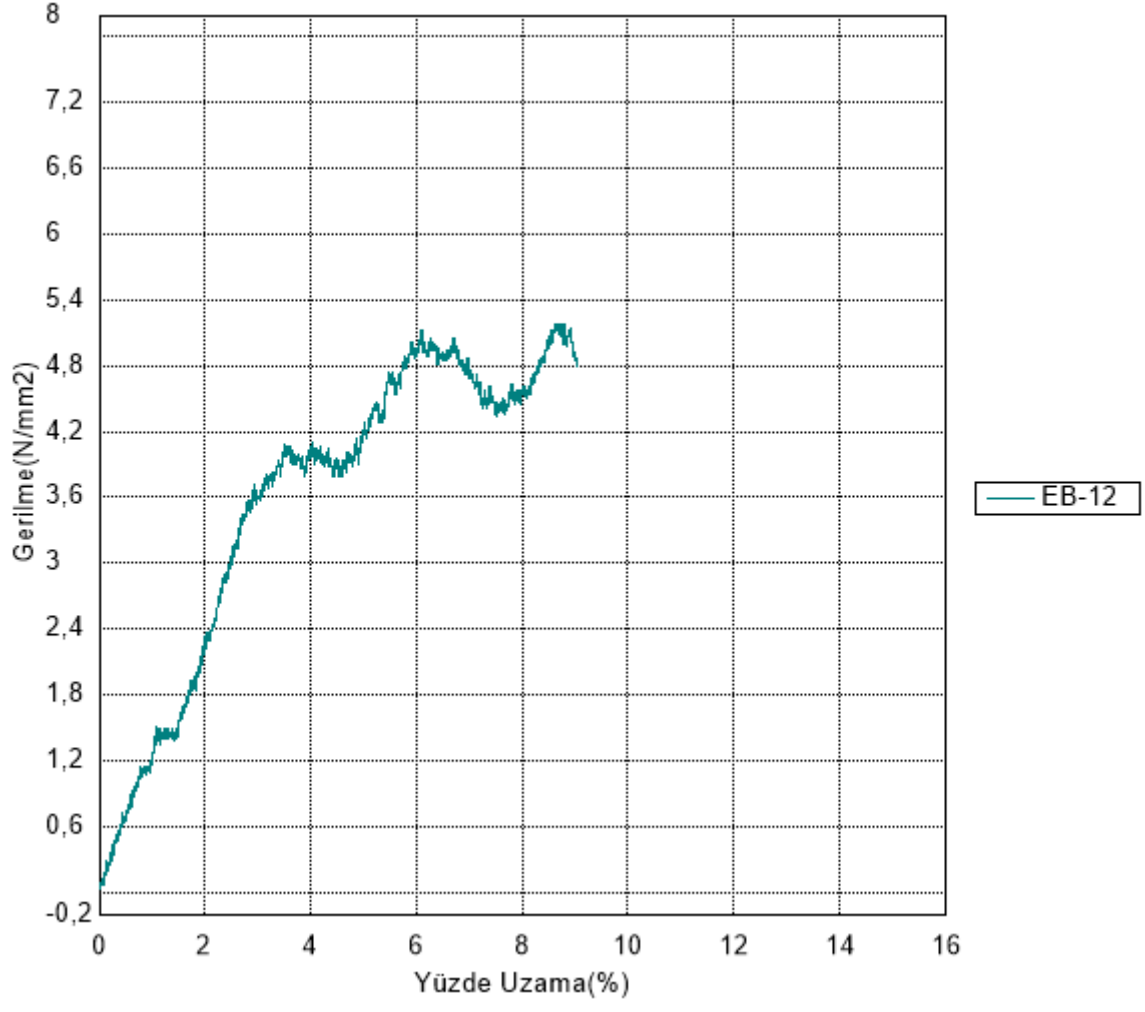
**EK 6 - Şekil 6.10.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-9)



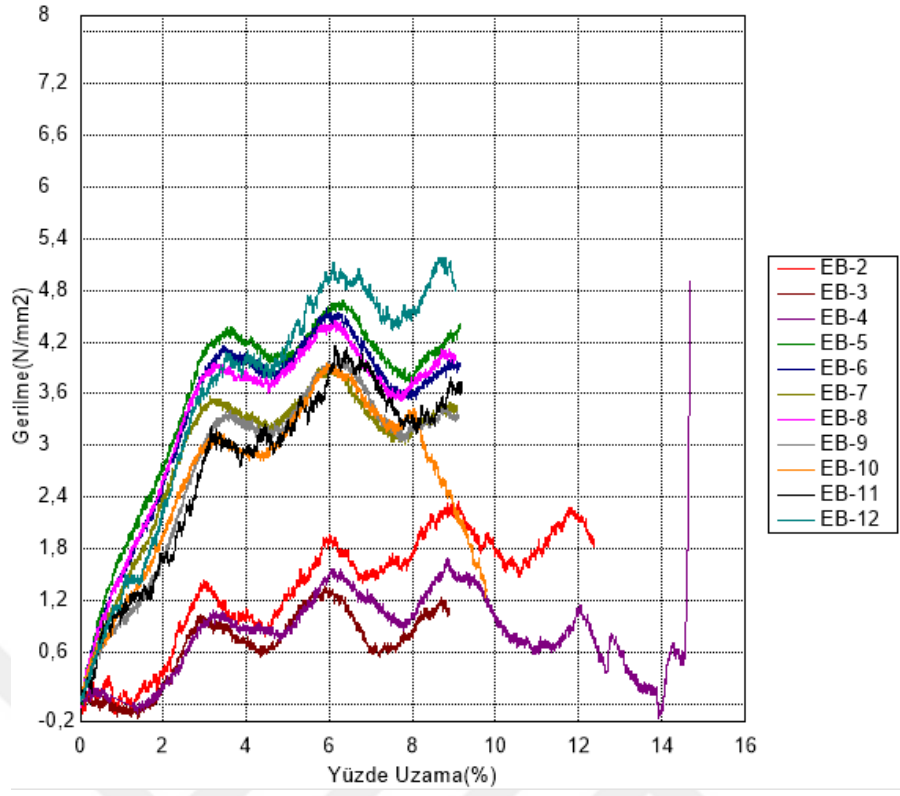
**EK 6 - Şekil 6.11.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/PVDF<sub>0,5</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-10)



**EK 6 - Şekil 6.12.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5BaTiO<sub>3</sub> kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-11)



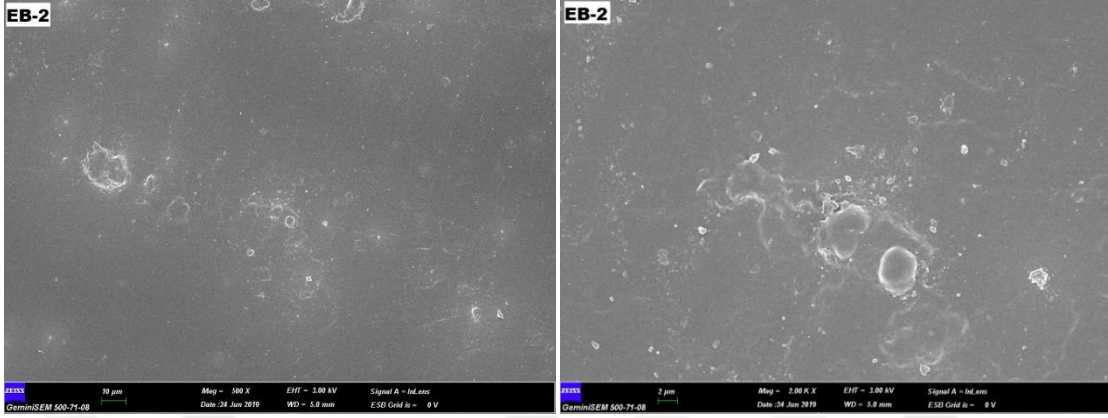
**EK 6 - Şekil 6.13.** TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5h-BN kompozitinin üç nokta eğme grafiği (EB-12)



**EK 6 - Şekil 6.14.** Kompozitinin üç nokta eğme grafiği

## EK 7 Yüzey ve Kesit SEM Görüntüleri

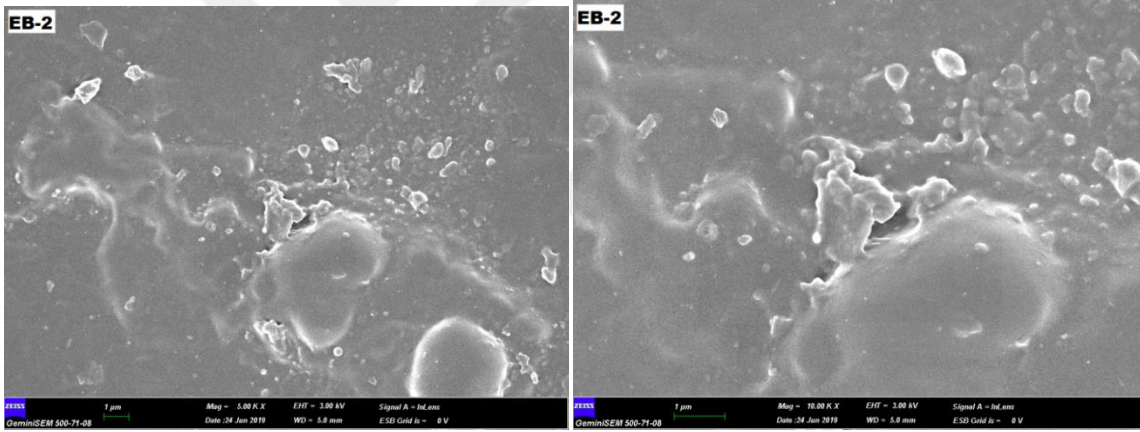
### Yüzey Görüntüleri



500 X

2.00 X

EK 7 – Şekil 6.1. TPU<sub>100</sub>/0,5PVDF (EB-2)

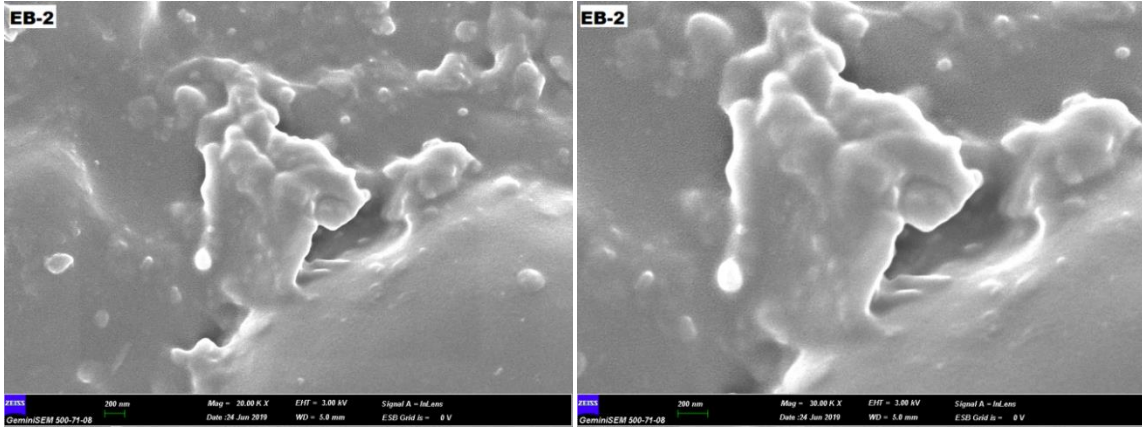


5.00 K X

10.00 K X

EK 7 – Şekil 6.2. TPU<sub>100</sub>/0,5PVDF (EB-2)

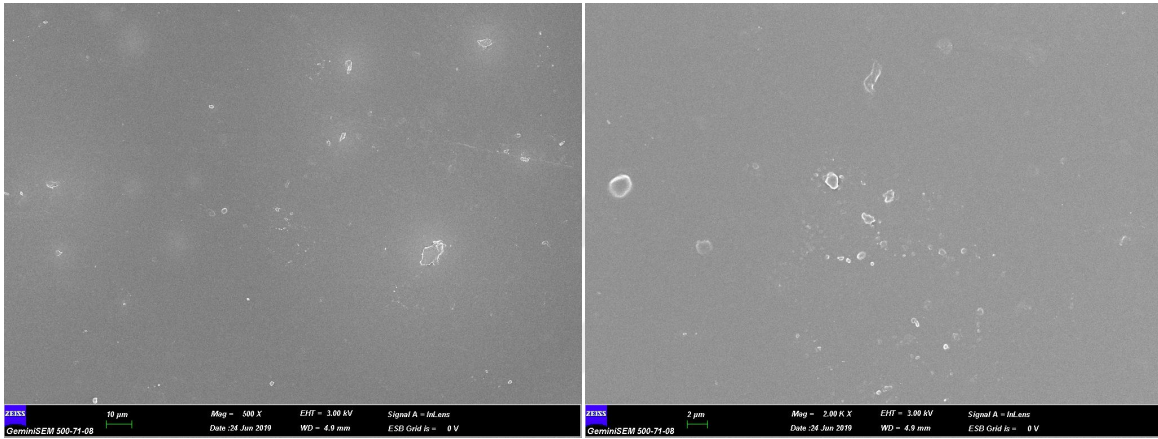




**20.00 K X**

**30.00 K X**

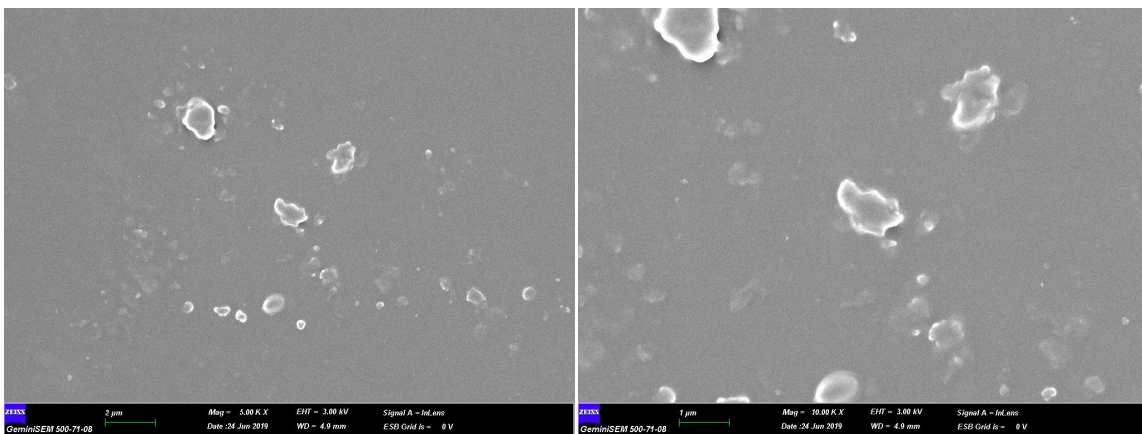
**EK 7 – Şekil 6.3. TPU<sub>100</sub>/%0,5PVDF (EB-2)**



**500 X**

**2.00 K X**

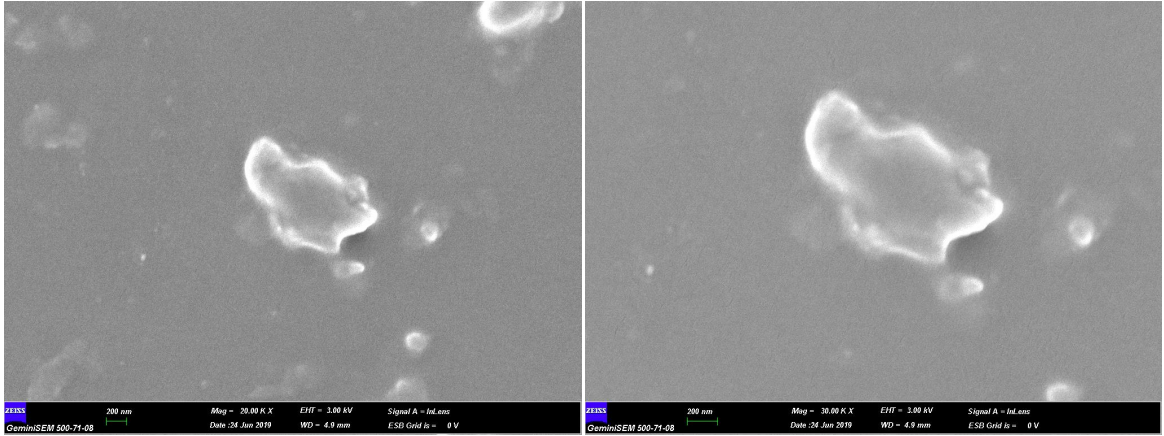
**EK 7 – Şekil 6.4. TPU<sub>100</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

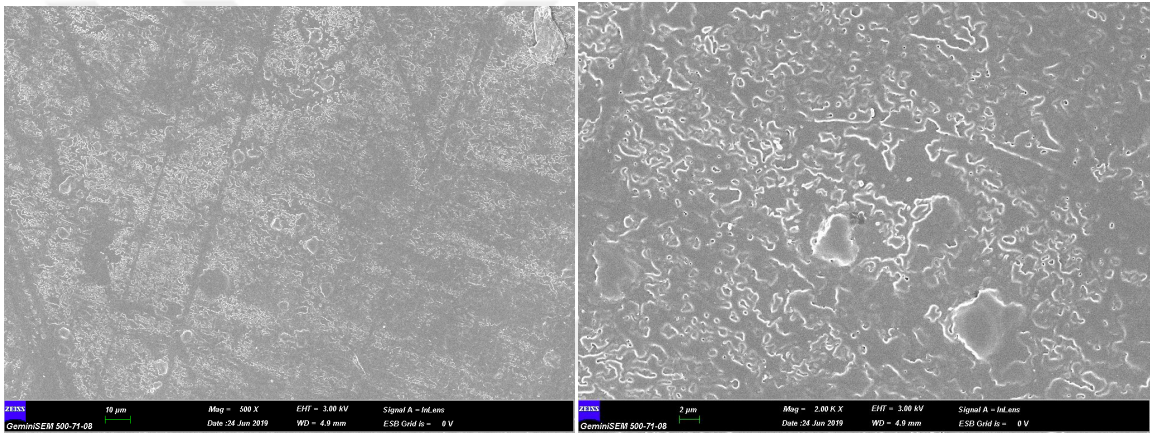
**EK 7 – Şekil 6.5. TPU<sub>100</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

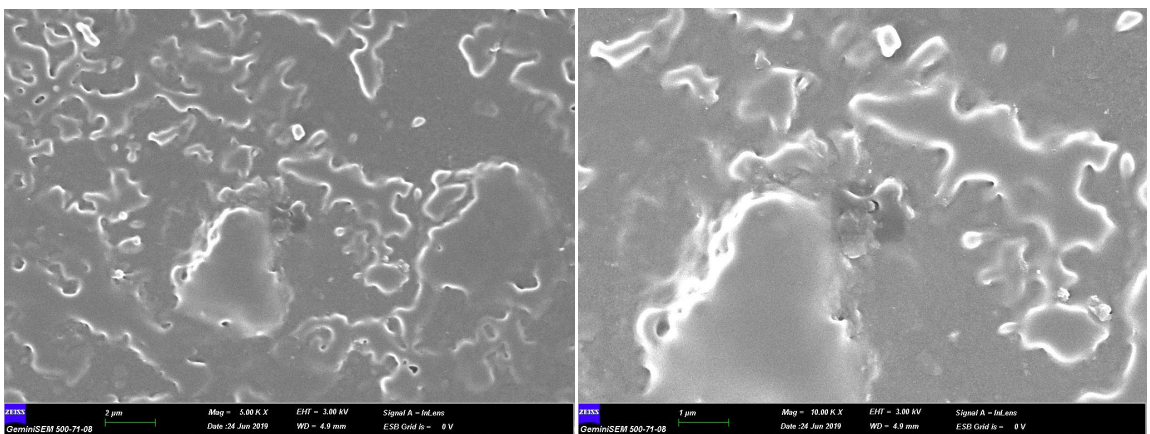
**EK 7 – Şekil 6.6. TPU<sub>100</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3)**



**500 X**

**2.00 K X**

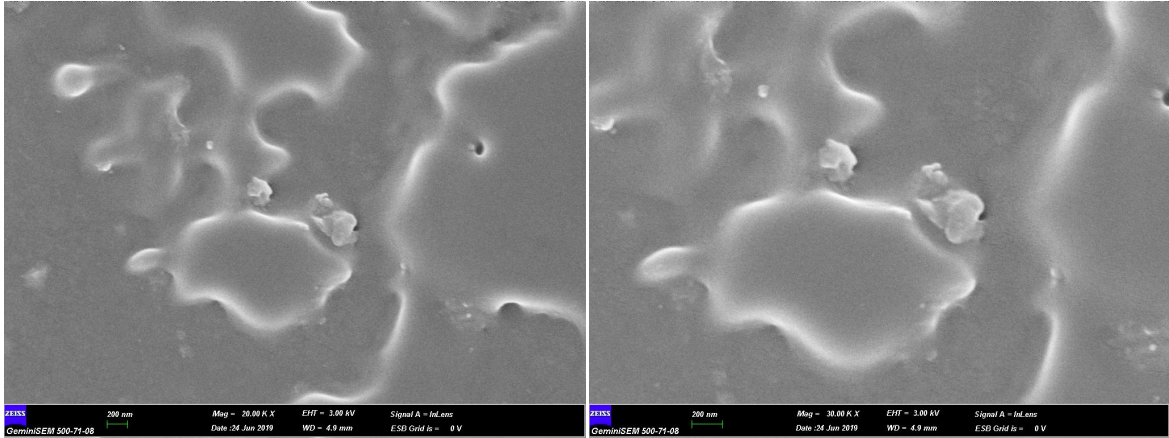
**EK 7 – Şekil 6.7. TPU<sub>100</sub>/%0,5h-BN (EB-4)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

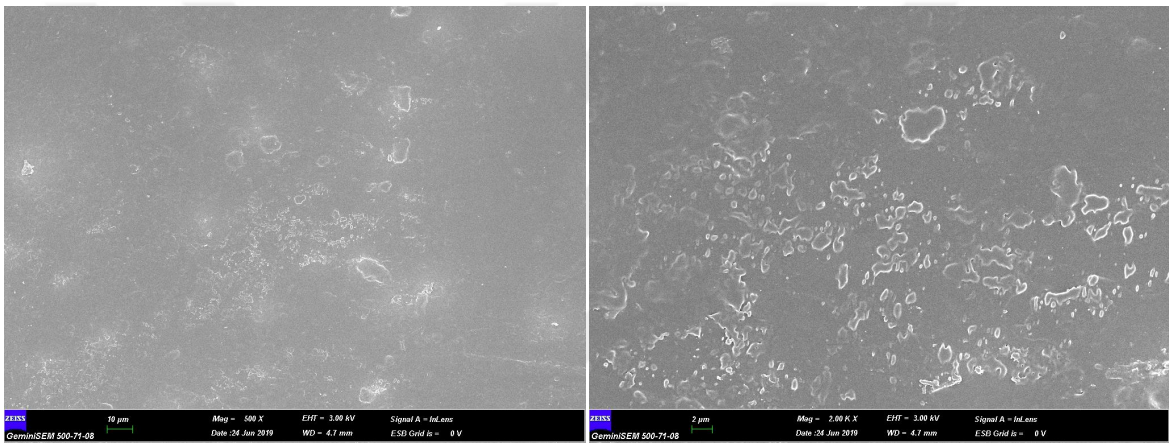
**EK 7 – Şekil 6.8. TPU<sub>100</sub>/%0,5h-BN (EB-4)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

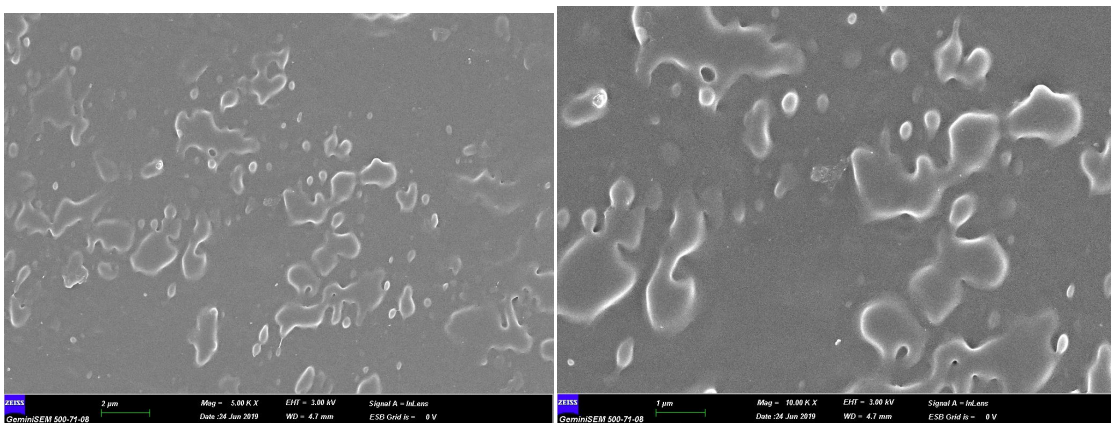
**EK 7 – Şekil 6.9. TPU<sub>100</sub>/0,5h-BN (EB-4)**



**500 X**

**2.00 K X**

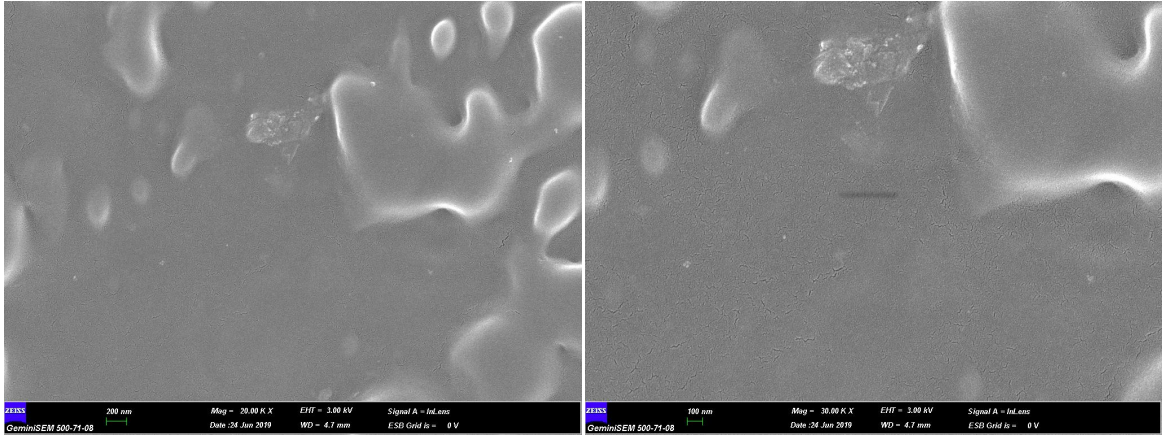
**EK 7 – Şekil 6.10. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> (EB-5)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

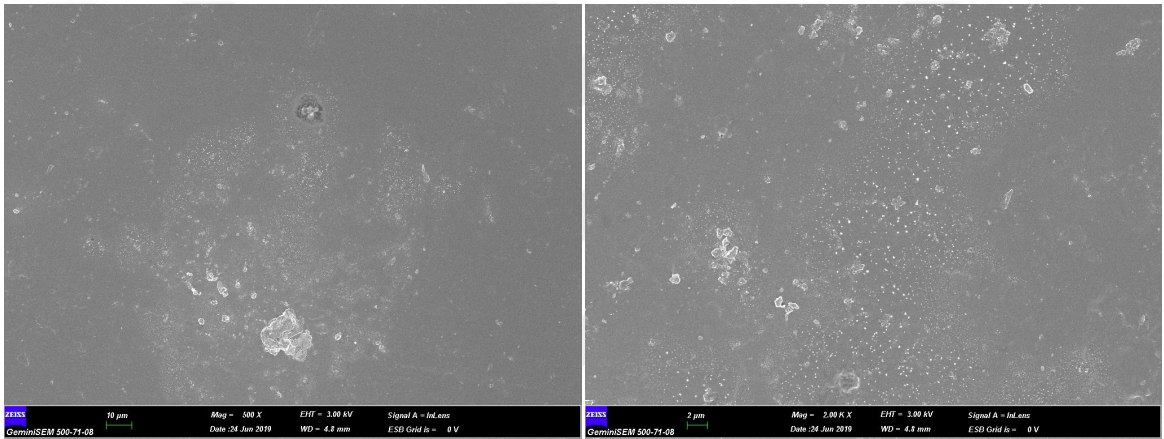
**EK 7 – Şekil 6.11. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> (EB-5)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

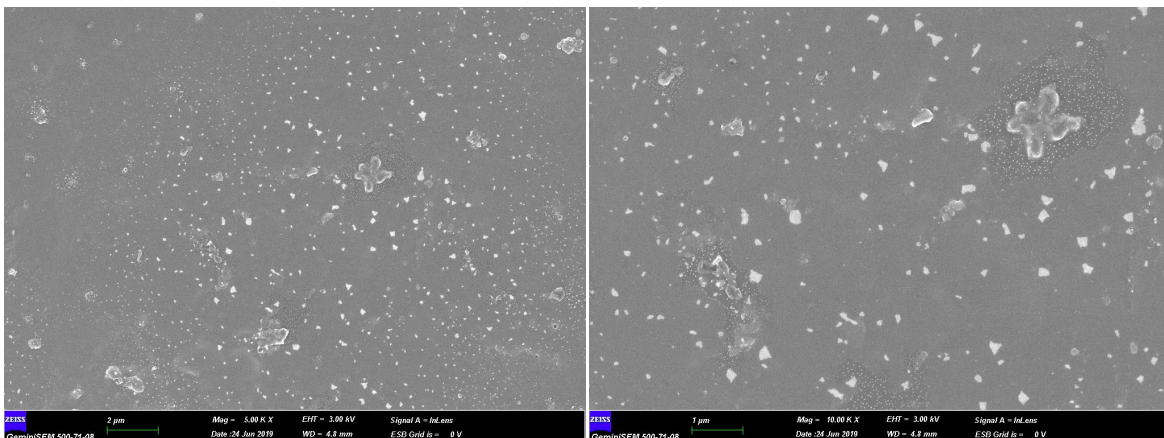
**EK 7 – Şekil 6.12. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> (EB-5)**



**500 X**

**2.00 K X**

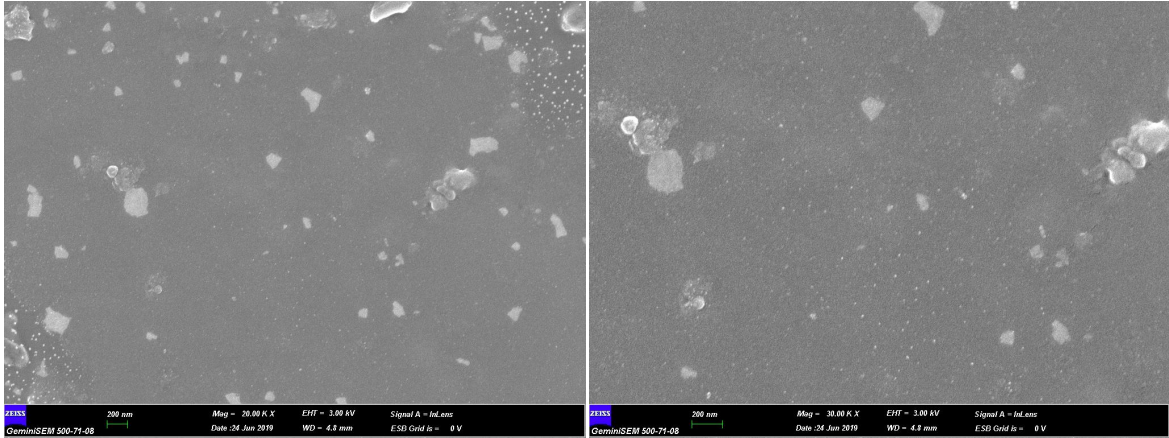
**EK 7 – Şekil 6.13. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/ %0,5PVDF (EB-6)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

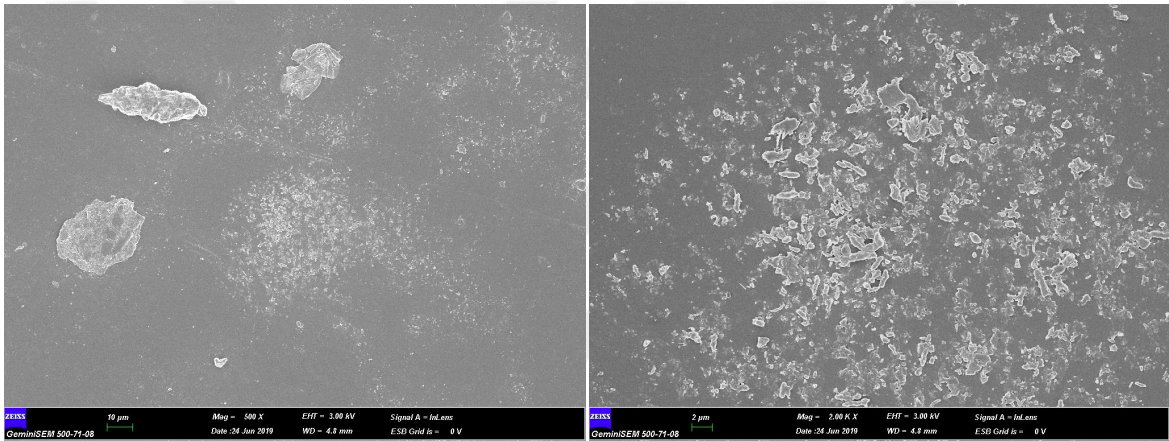
**EK 7 – Şekil 6.14. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/ %0,5PVDF (EB-6)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

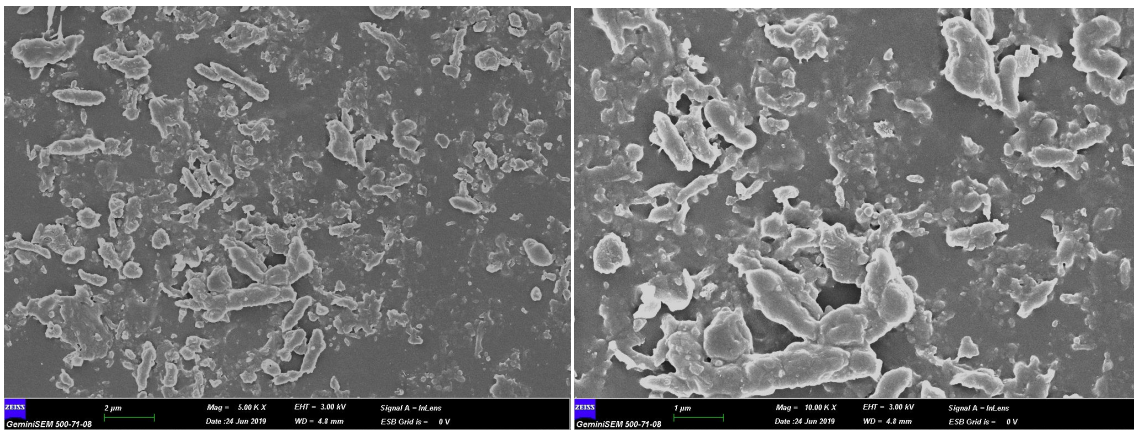
**EK 7 – Şekil 6.15. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF (EB-6)**



**500 X**

**2.00 K X**

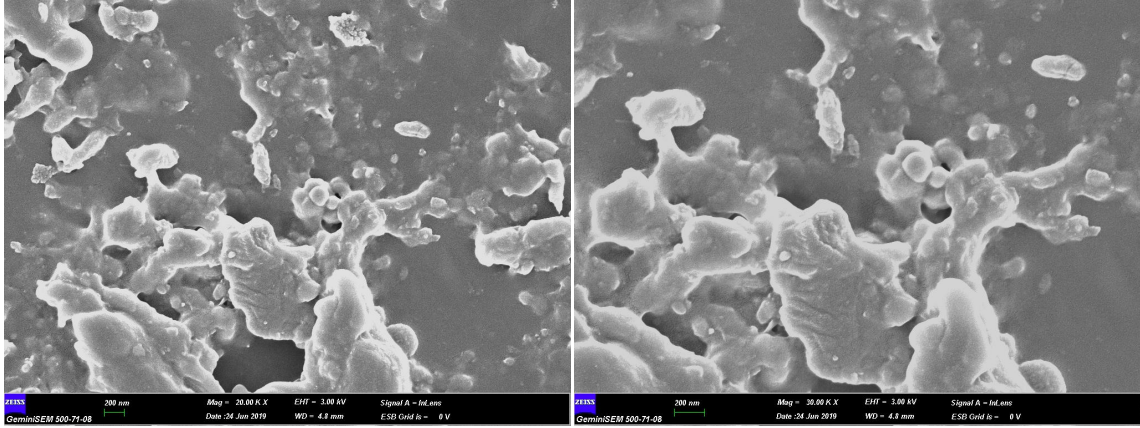
**EK 7 – Şekil 6.16. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-7)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

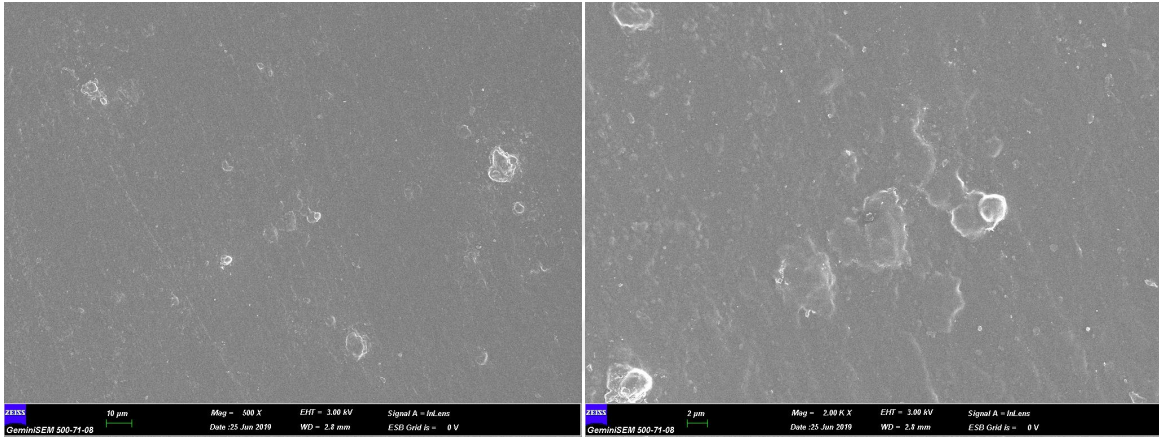
**EK 7 – Şekil 6.17. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-7)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

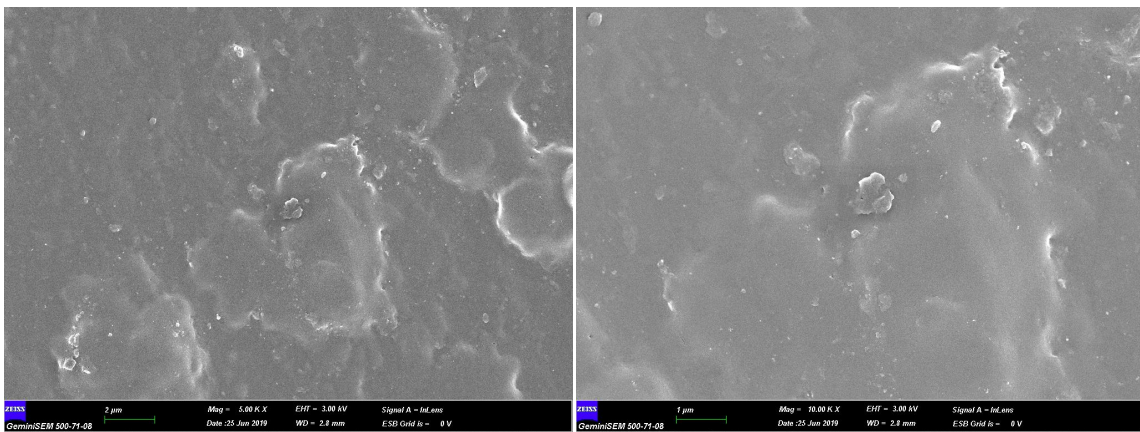
**EK 7 – Şekil 6.18. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-7)**



**500 X**

**2.00 K X**

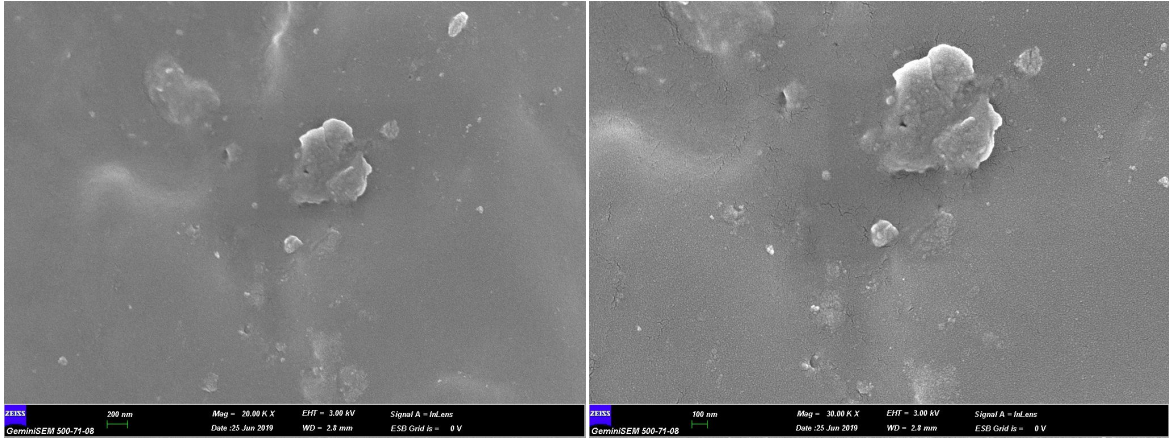
**EK 7 – Şekil 6.19. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-8)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

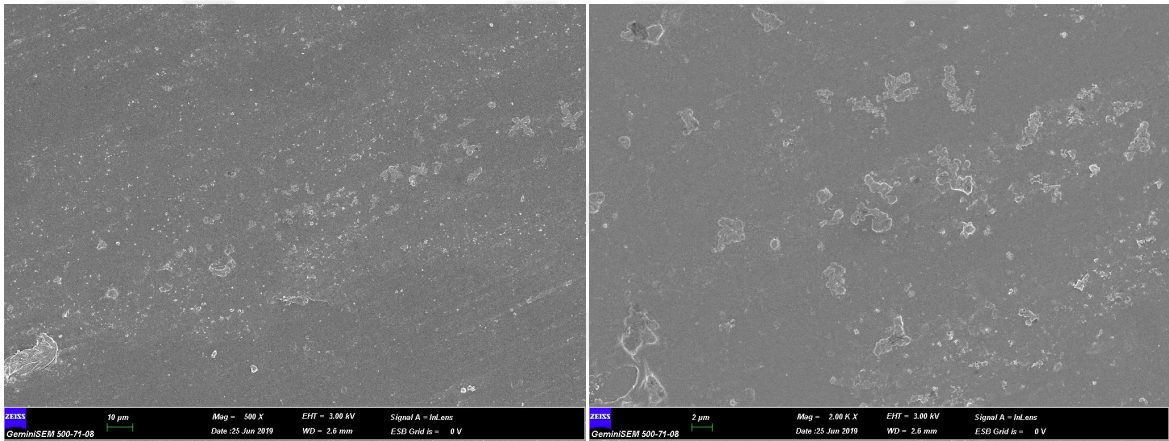
**EK 7 – Şekil 6.20. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-8)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

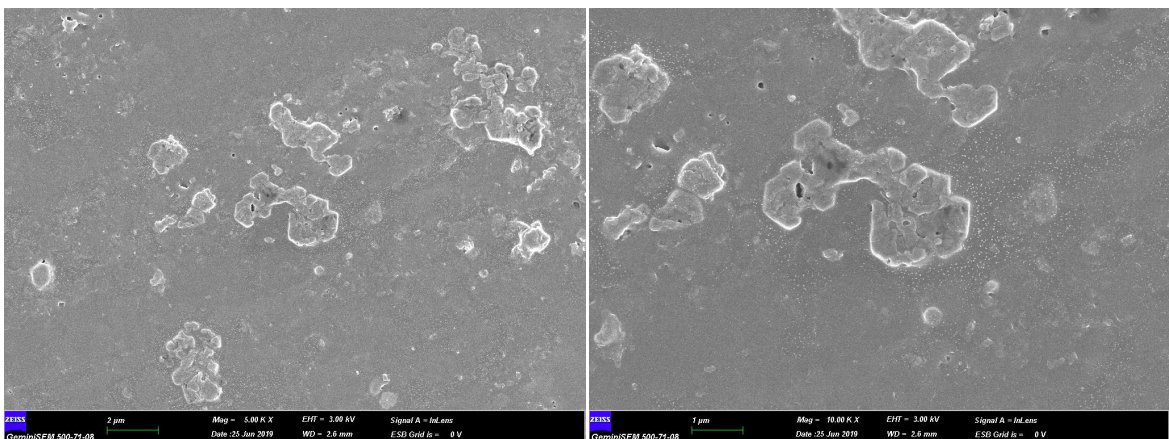
**EK 7 – Şekil 6.21. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-8)**



**500 X**

**2.00 K X**

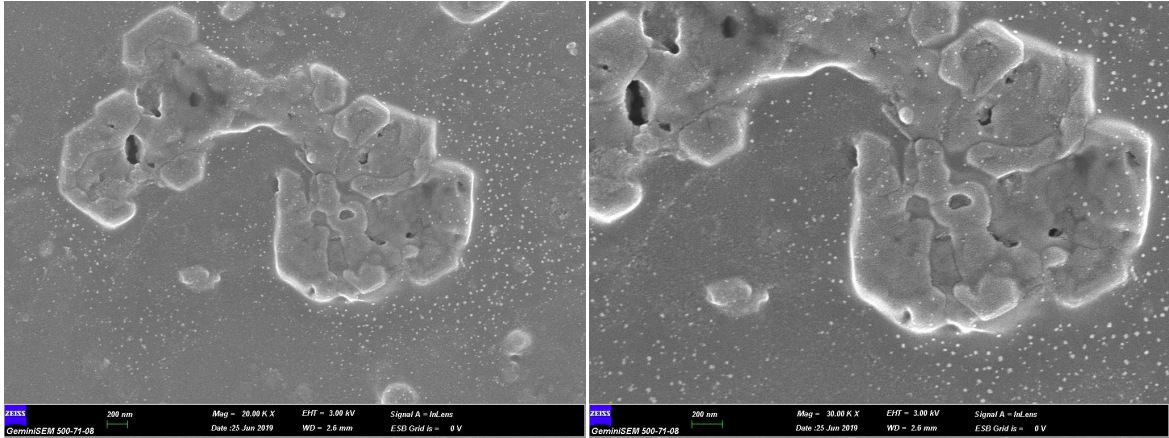
**EK 7 – Şekil 6.22. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> (EB-9)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

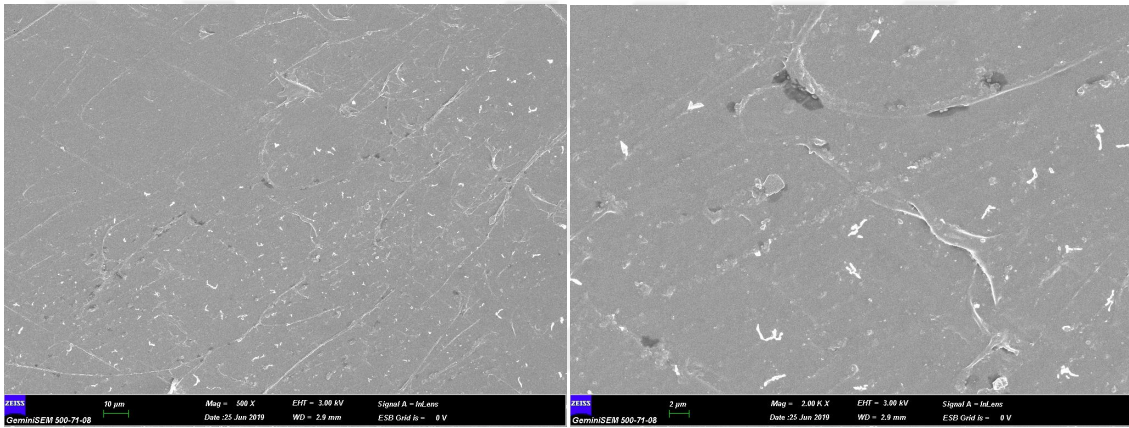
**EK 7 – Şekil 6.23. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> (EB-9)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

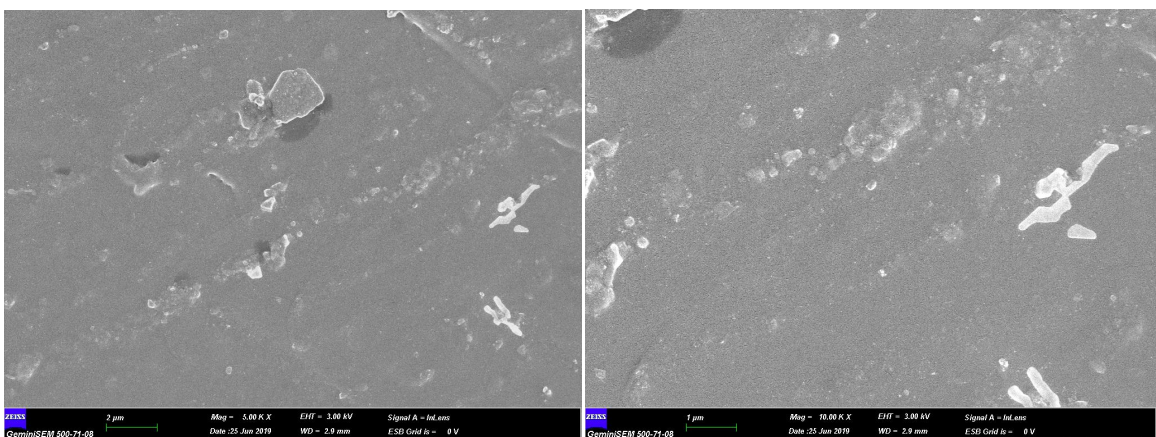
**EK 7 – Şekil 6.24. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> (EB-9)**



**500 X**

**2.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.25. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/ %0,5PVDF (EB-10)**

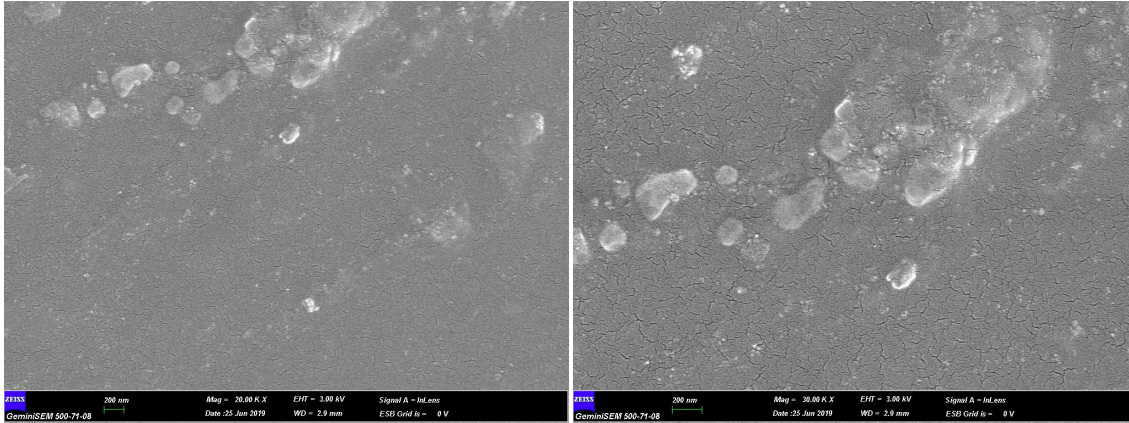


**5.00 K X**

**10.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.26. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/ %0,5PVDF (EB-10)**

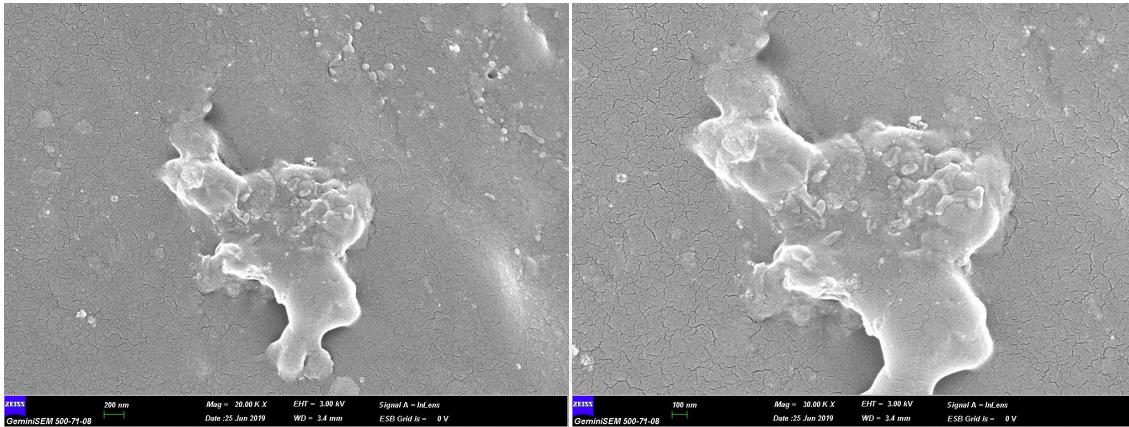




**20.00 K X**

**30.00 K X**

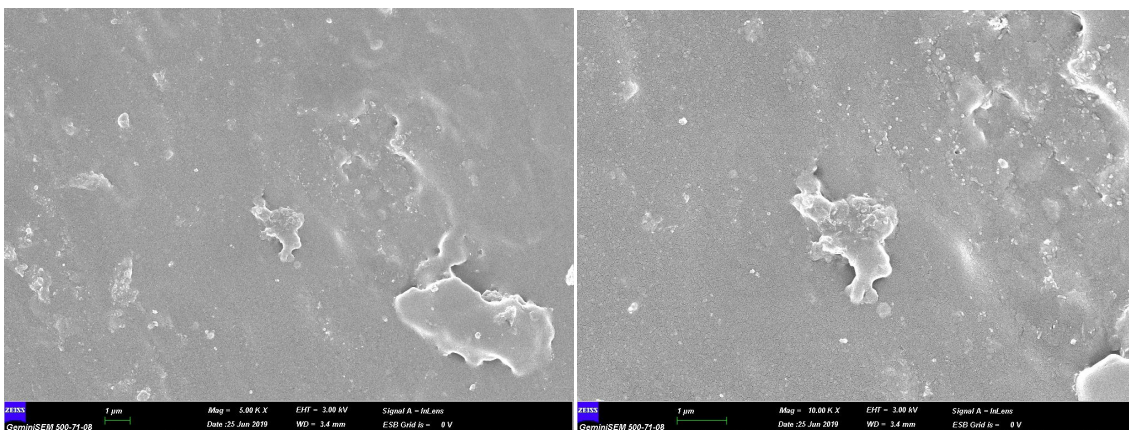
**EK 7 – Şekil 6.27. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF (EB-10)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

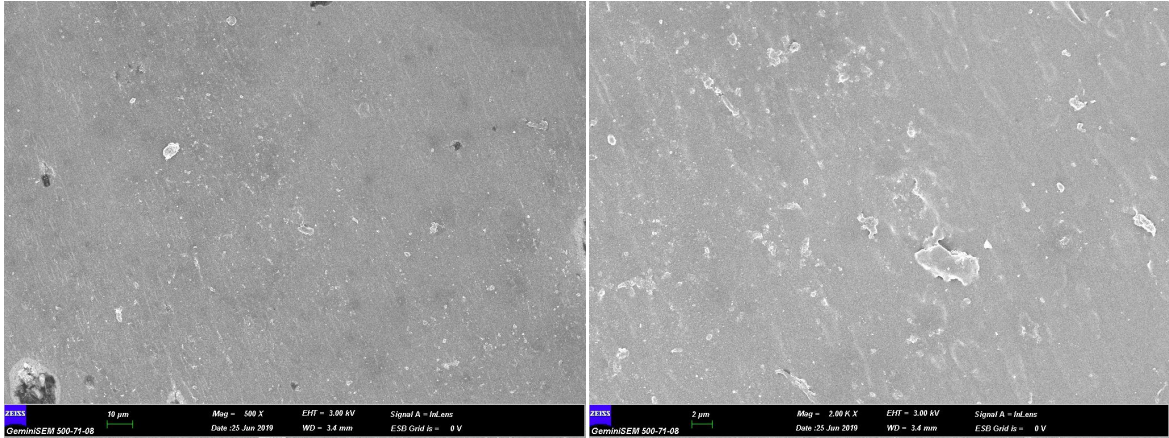
**EK 7 – Şekil 6.28. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB11)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

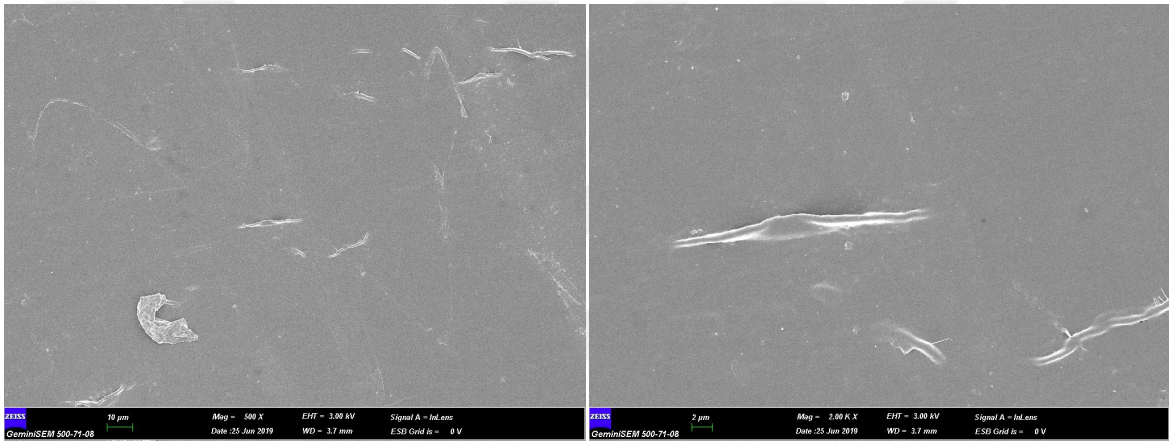
**EK 7 – Şekil 6.29. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB11)**



**500 X**

**2.00 K X**

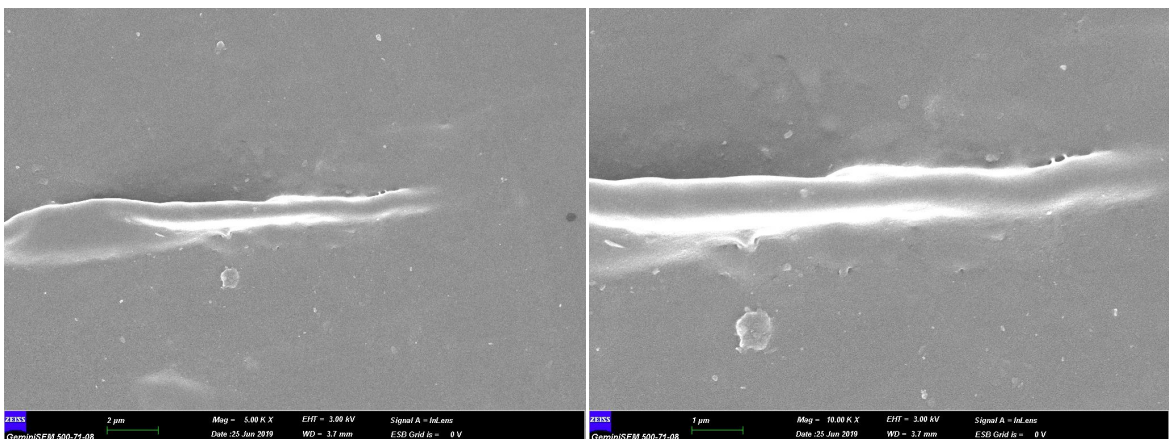
**EK 7 – Şekil 6.30. TPU<sub>87,5</sub>/ PP<sub>12,5</sub>/ %0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB11)**



**500 X**

**2.00 K X**

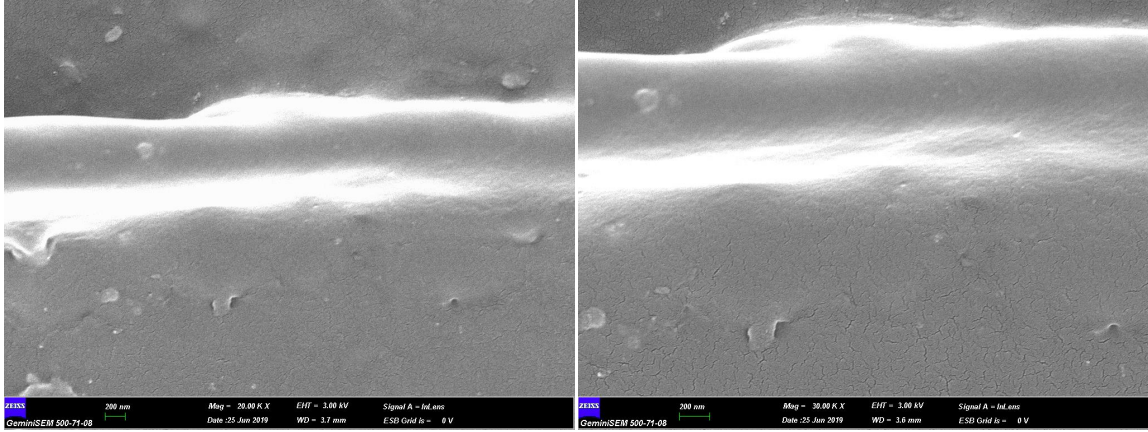
**EK 7 – Şekil 6.31. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/ %0,5h-BN (EB12)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.32. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/ %0,5h-BN (EB12)**

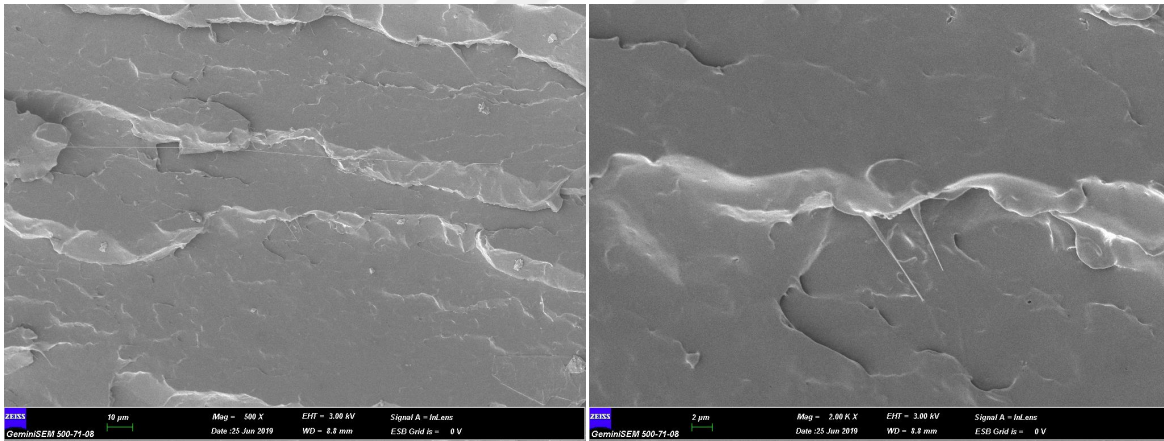


**20.00 K X**

**30.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.33. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/ %0,5h-BN (EB-12)**

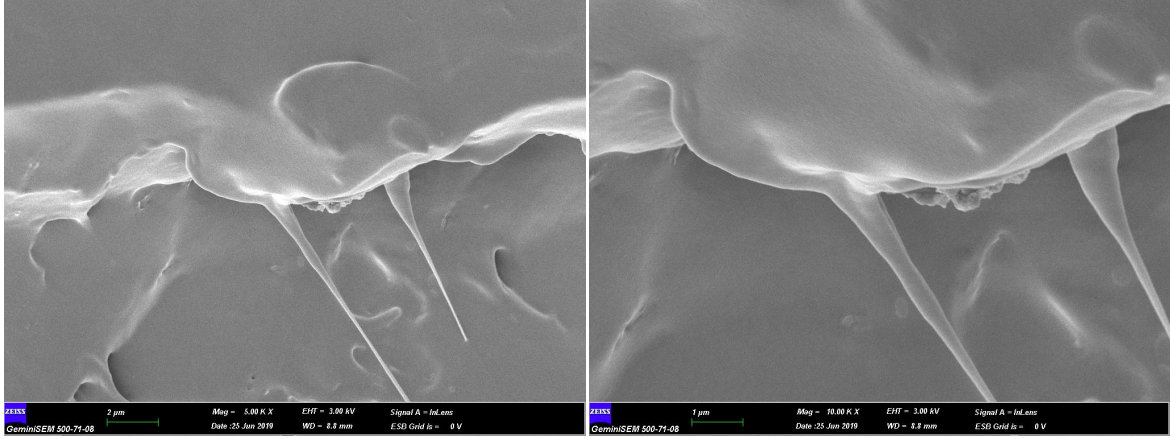
## Kesit Görüntüleri



**500 X**

**2.00 X**

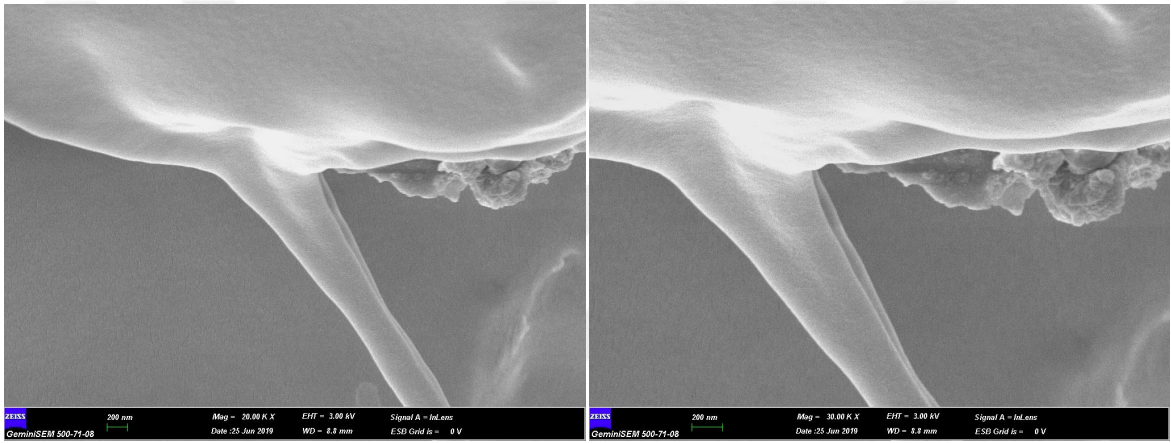
**EK 7 – Şekil 6.34. TPU<sub>100</sub>/ %0,5PVDF (EB-2)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

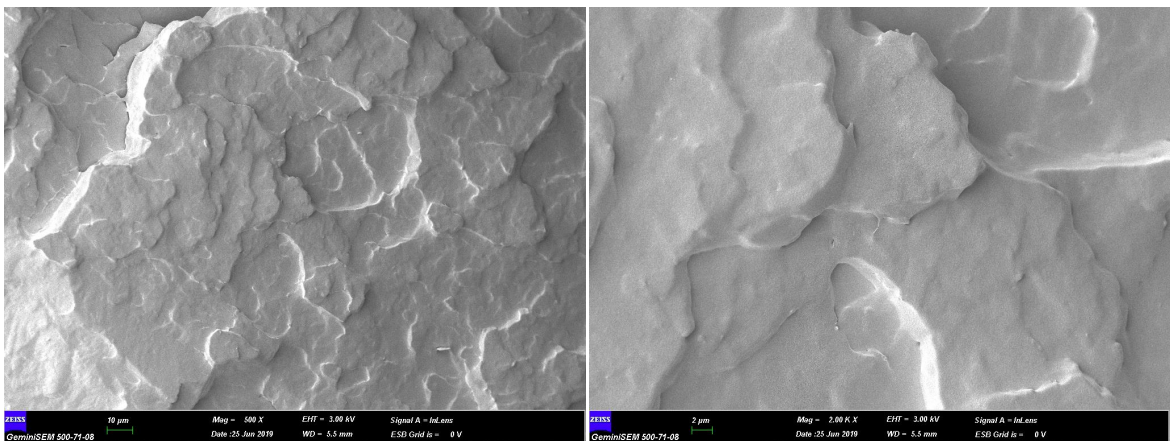
**EK 7 – Şekil 6.35. TPU<sub>100</sub>/ %0,5PVDF (EB-2)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

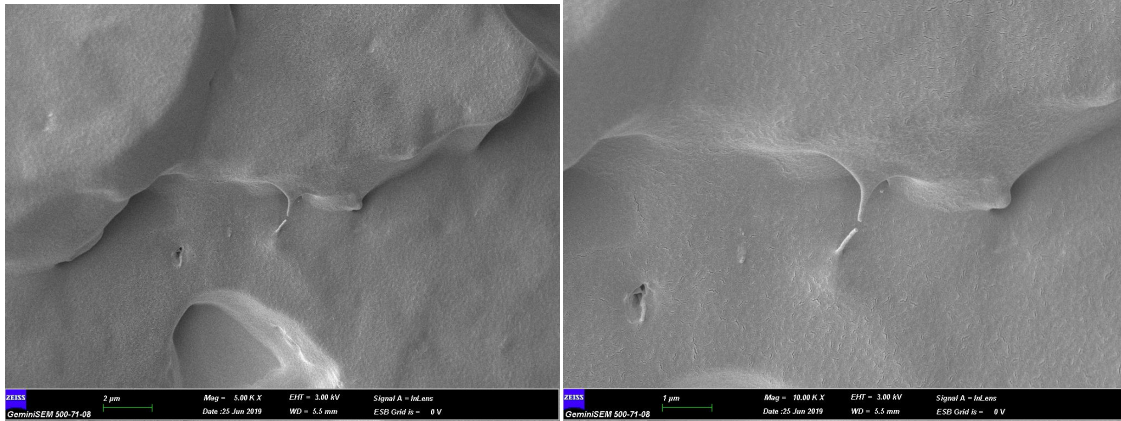
**EK 7 – Şekil 6.36. TPU<sub>100</sub>/ %0,5PVDF (EB-2)**



**500 X**

**2.00 K X**

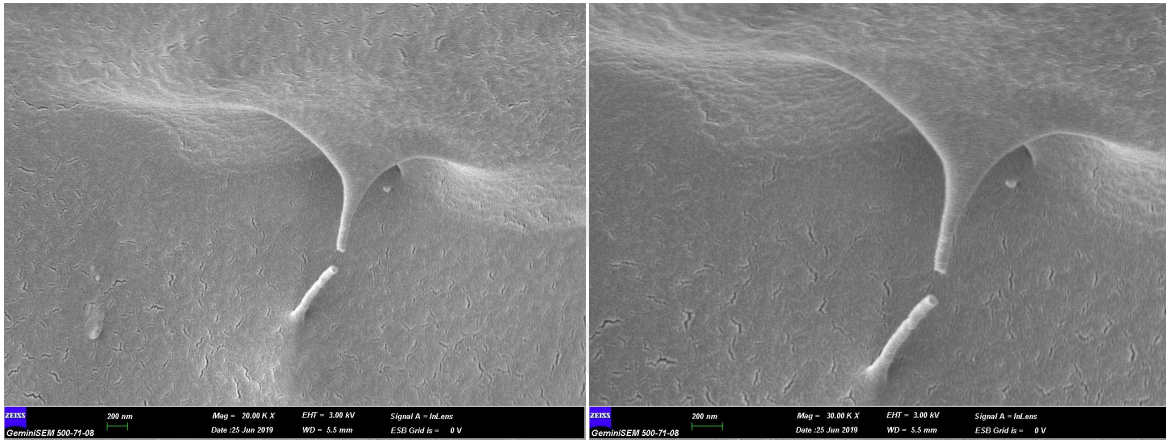
**EK 7 – Şekil 6.37. TPU<sub>100</sub>/ %0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

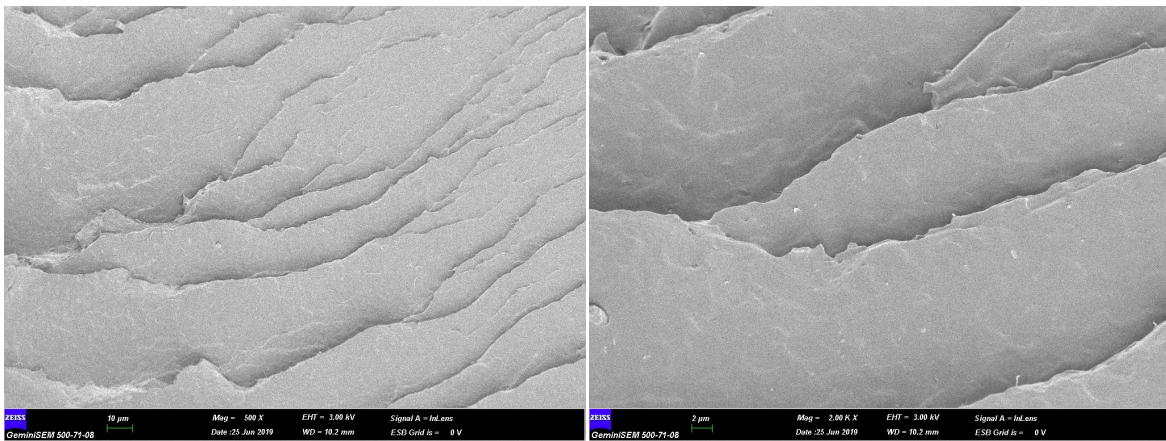
**EK 7 – Şekil 6.38. TPU<sub>100</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

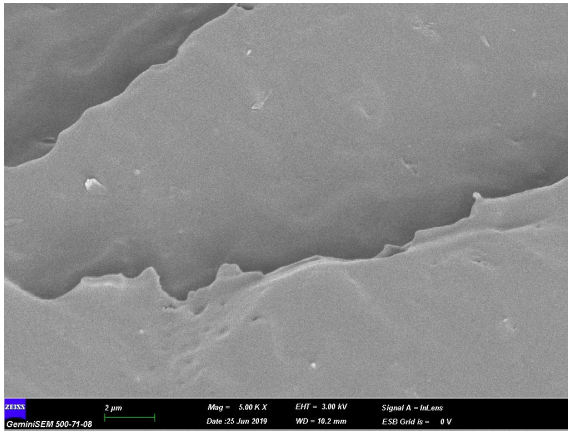
**EK 7 – Şekil 6.39. TPU<sub>100</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-3)**



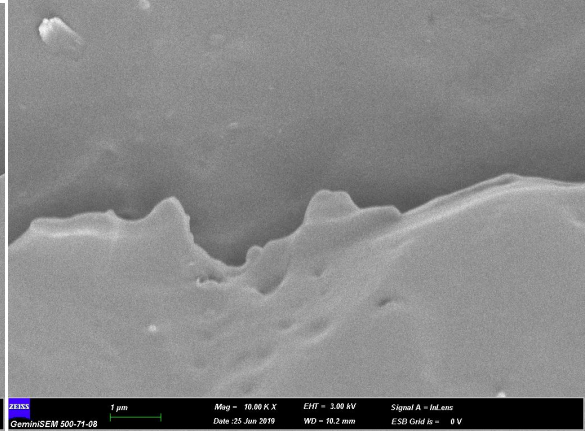
**500 X**

**2.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.40. TPU<sub>100</sub>/%0,5h-BN (EB-4)**

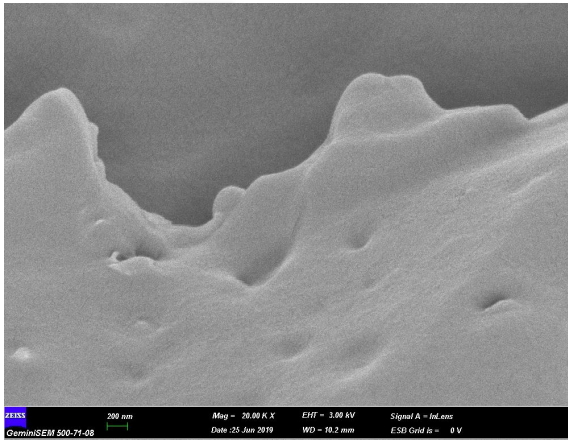


**5.00 K X**

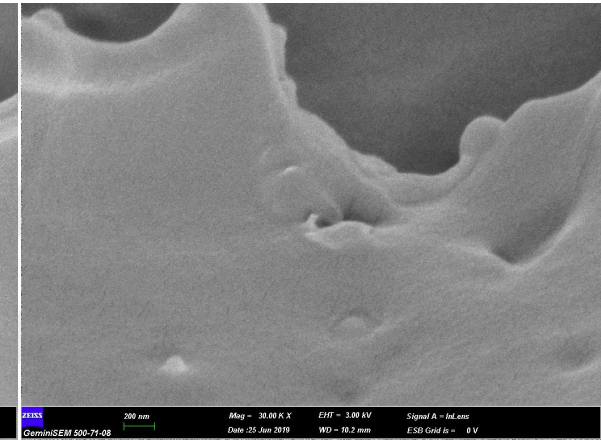


**10.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.41. TPU<sub>100</sub>/ %0,5h-BN (EB-4)**

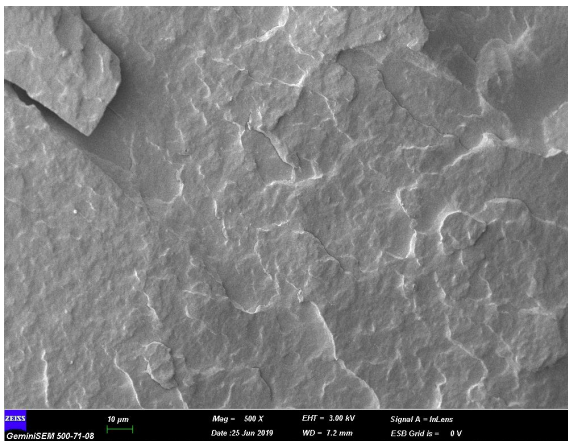


**20.00 K X**

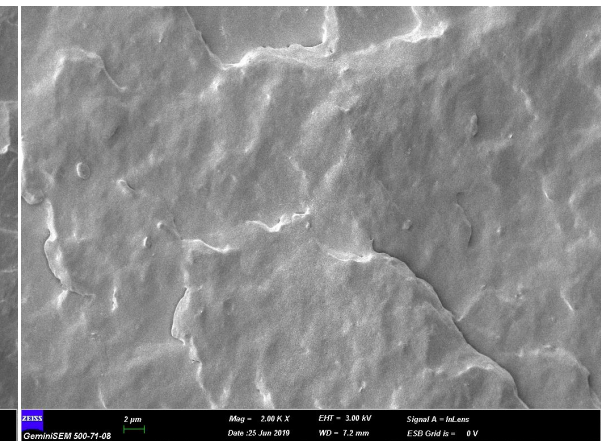


**30.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.42. TPU<sub>100</sub>/ %0,5h-BN (EB-4)**

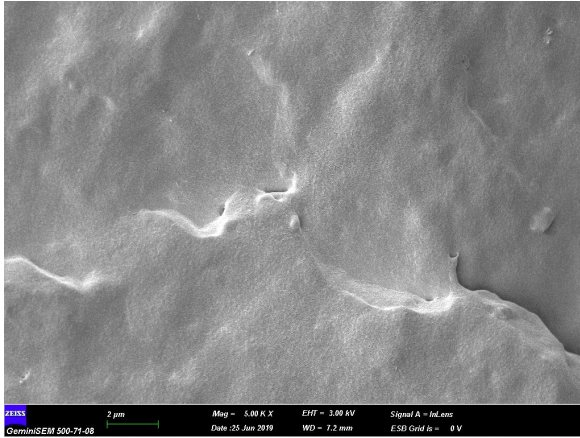


**500 X**

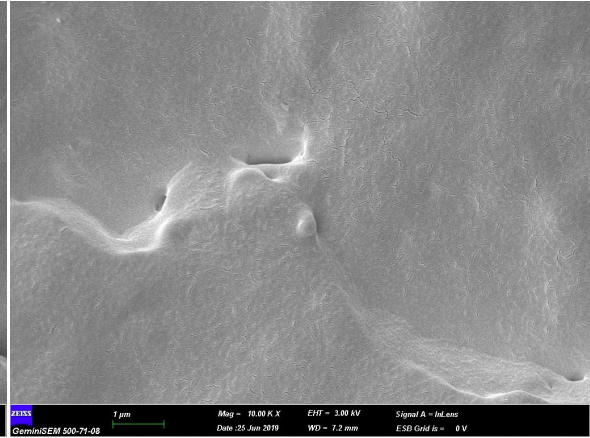


**2.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.43. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> (EB-5)**

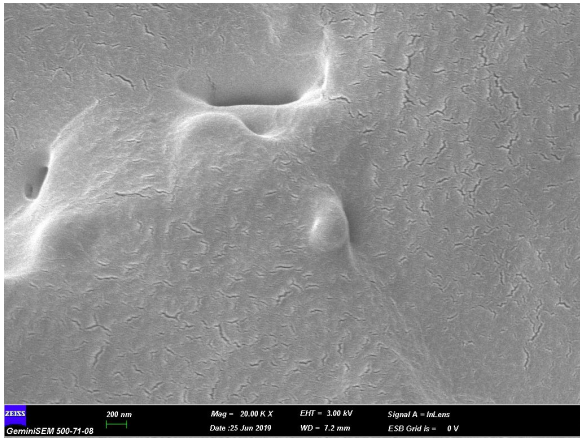


**5.00 K X**

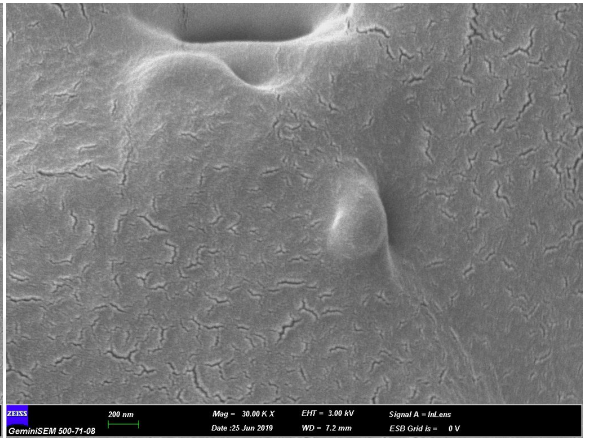


**10.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.44. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> (EB-5)**

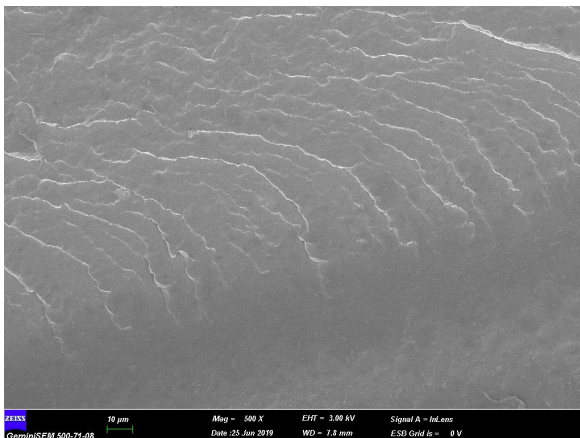


**20.00 K X**

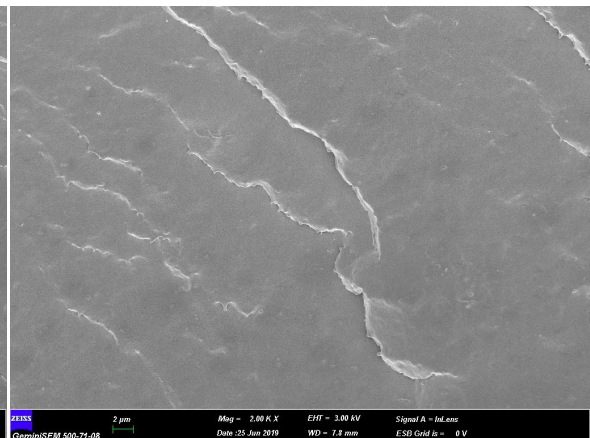


**30.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.45. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub> (EB-5)**

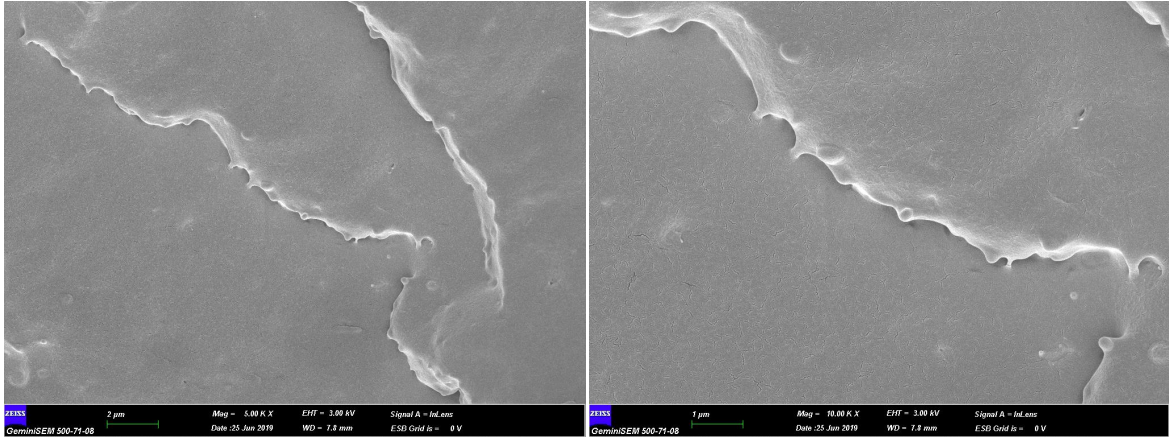


**500 X**



**2.00 K X**

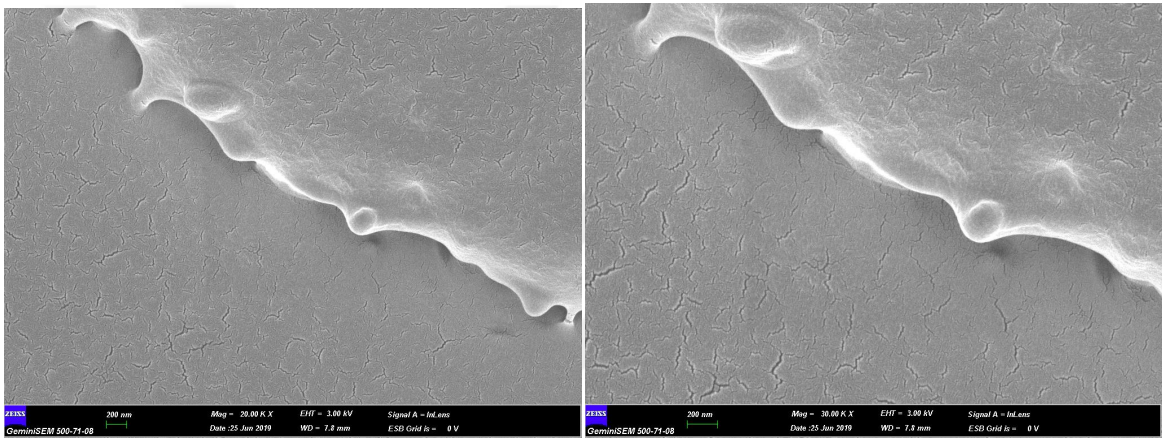
**EK 7 – Şekil 6.46. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/0,5PVDF (EB-6)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

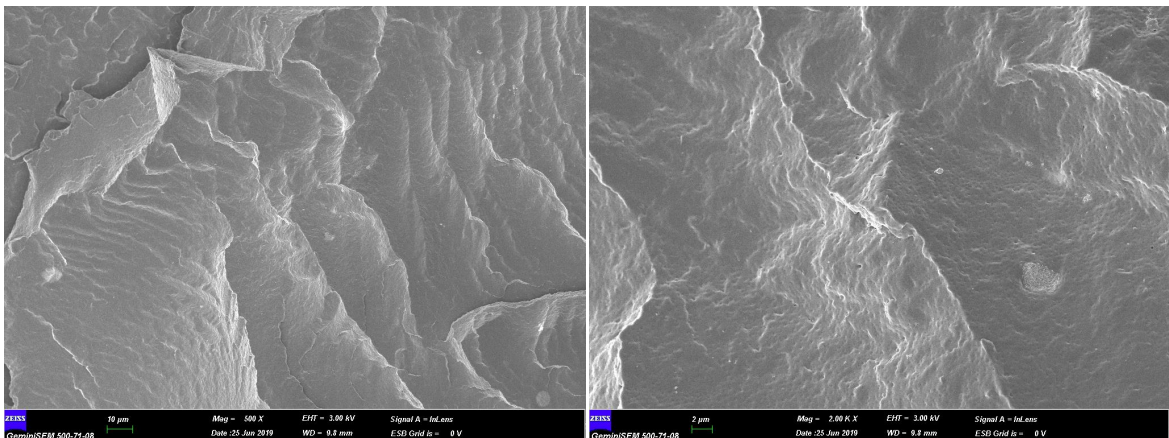
**EK 7 – Şekil 6.47. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF (EB-6)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.48. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF (EB-6)**

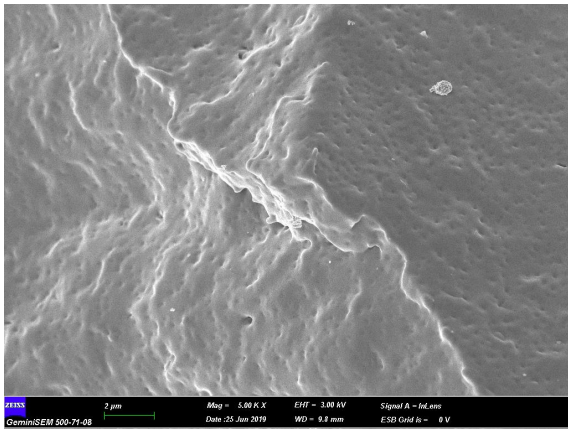


**500 X**

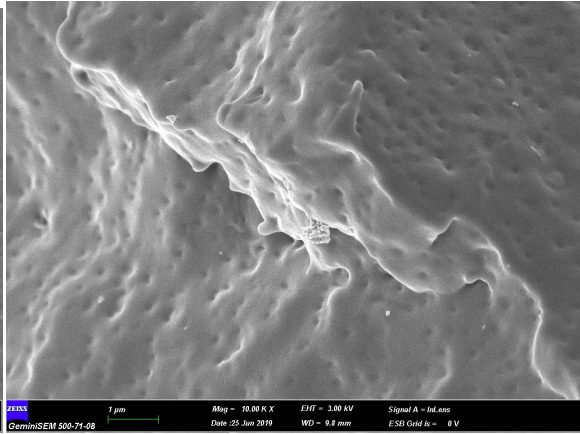
**2.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.49. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-7)**



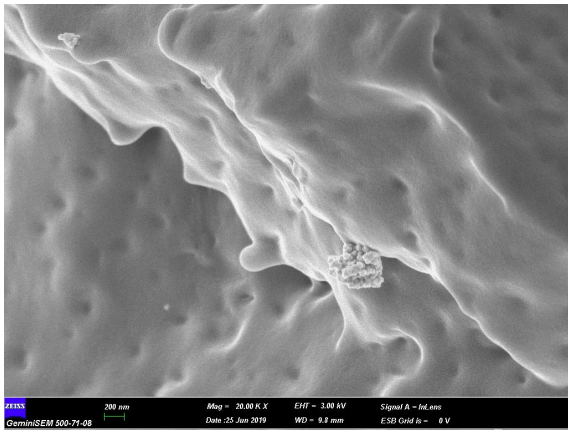


**5.00 K X**

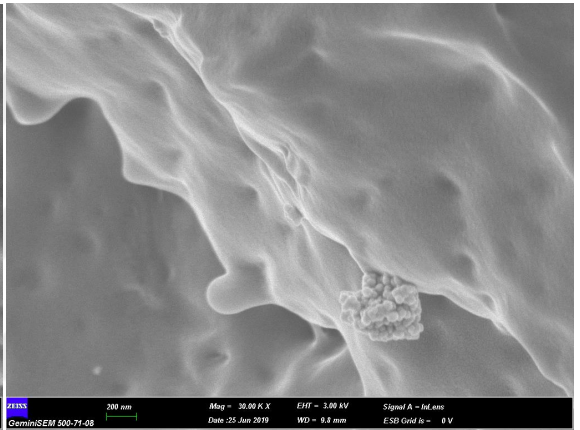


**10.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.50. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-7)**

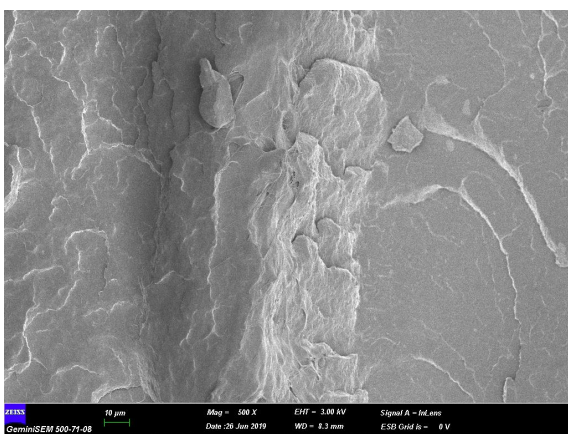


**20.00 K X**

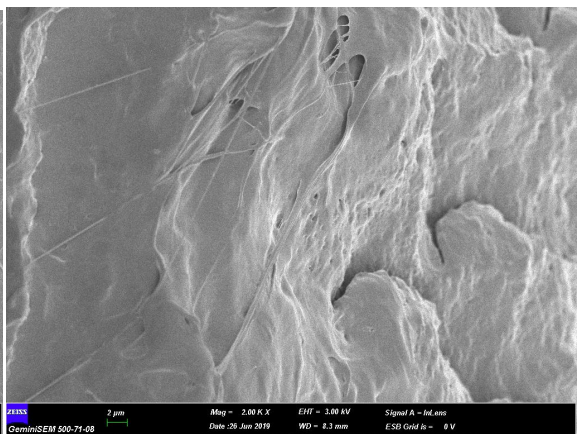


**30.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.51. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB-7)**

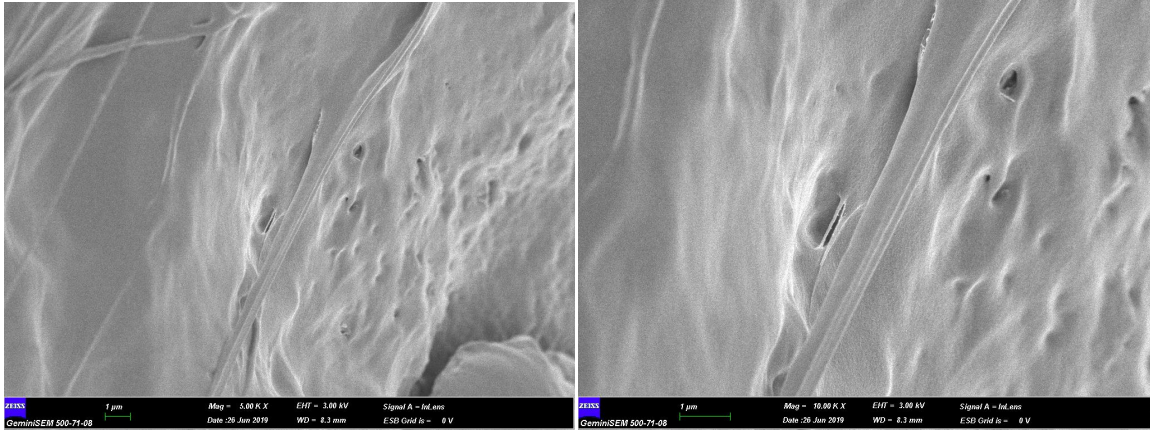


**500 X**



**2.00 K X**

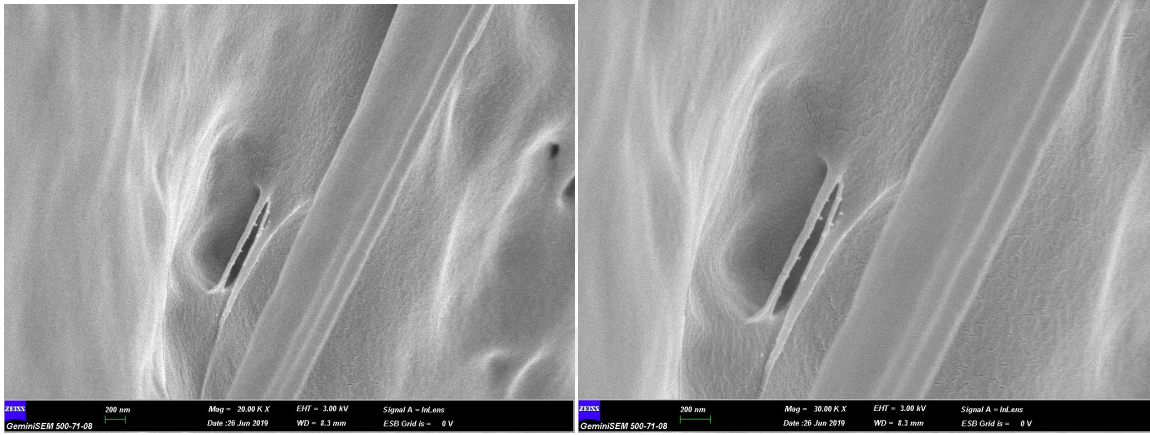
**EK 7 – Şekil 6.52. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-8)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

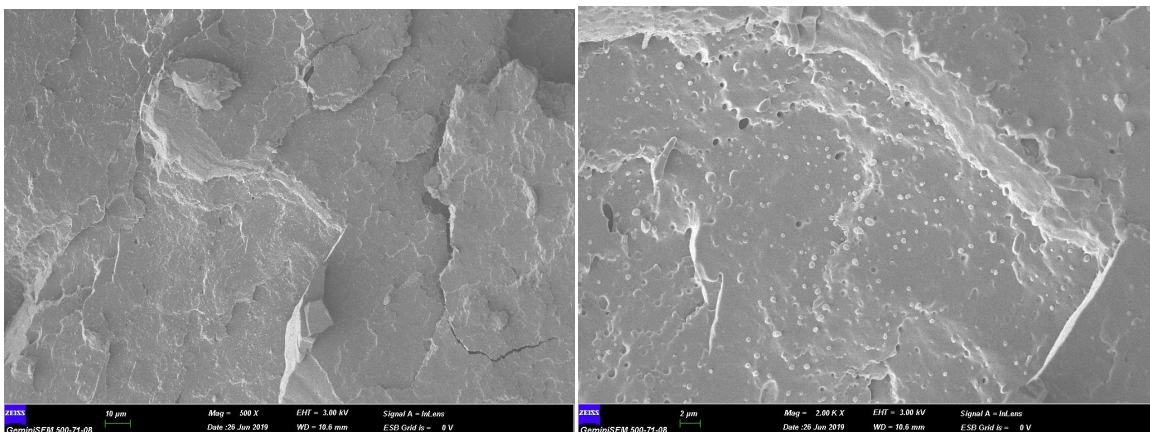
**EK 7 – Şekil 6.53. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-8)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

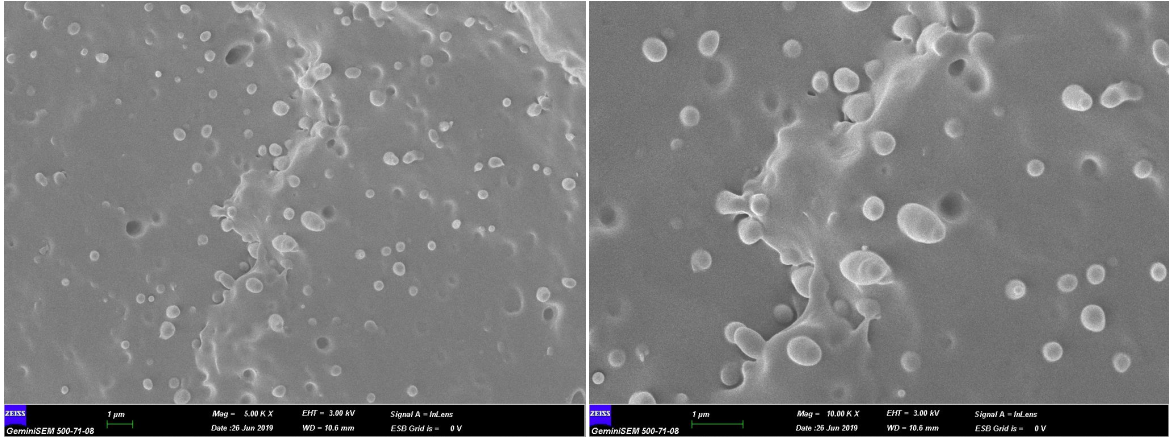
**EK 7 – Şekil 6.54. TPU<sub>87,5</sub>/PHB<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB-8)**



**500 X**

**2.00 K X**

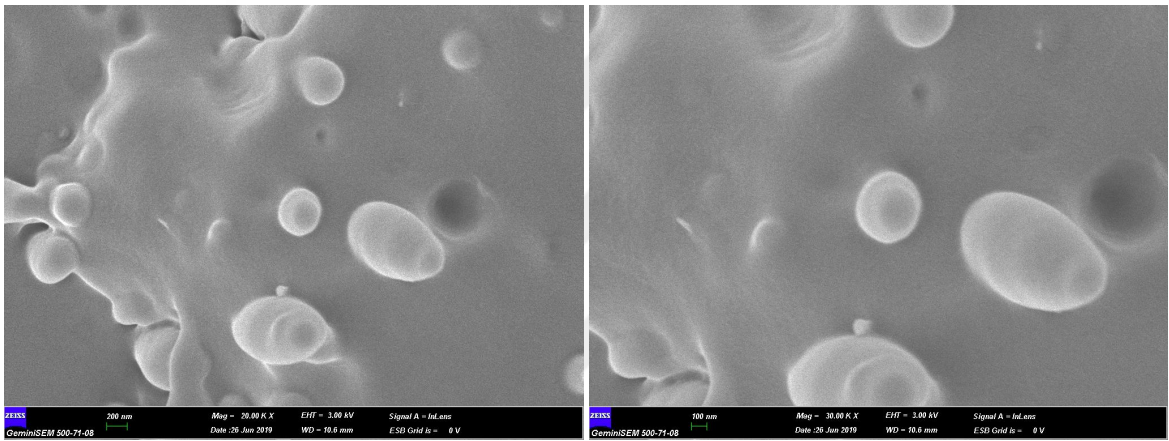
**EK 7 – Şekil 6.55. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> (EB-9)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

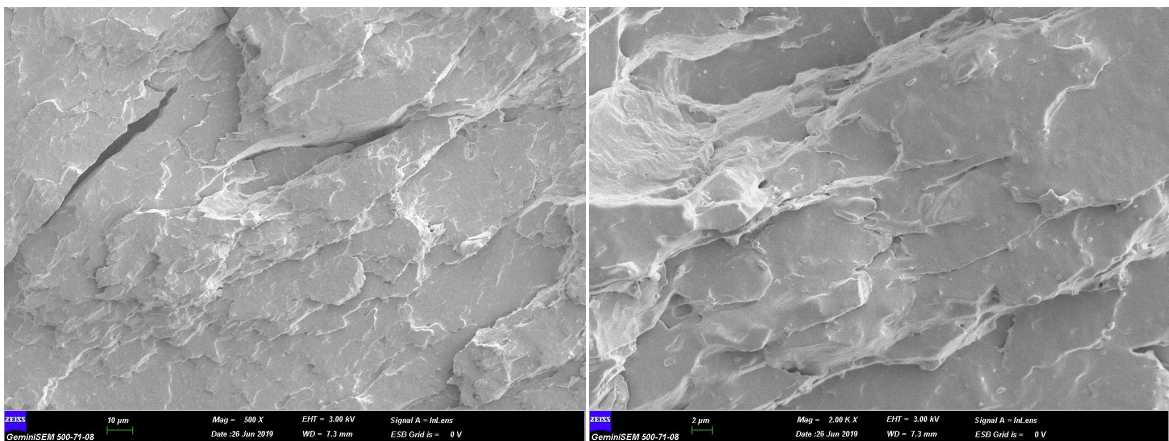
**EK 7 – Şekil 6.56. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> (EB-9)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

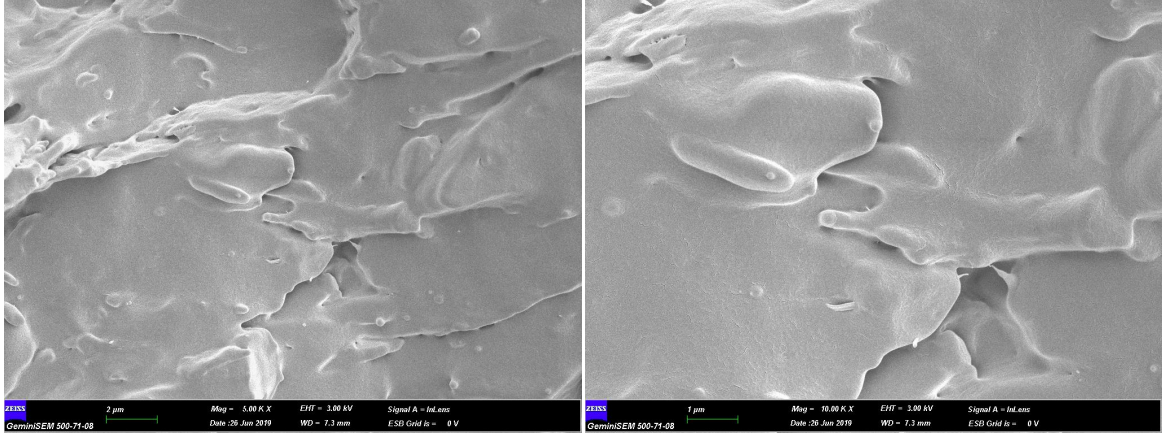
**EK 7 – Şekil 6.57. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub> (EB-9)**



**500 X**

**2.00 K X**

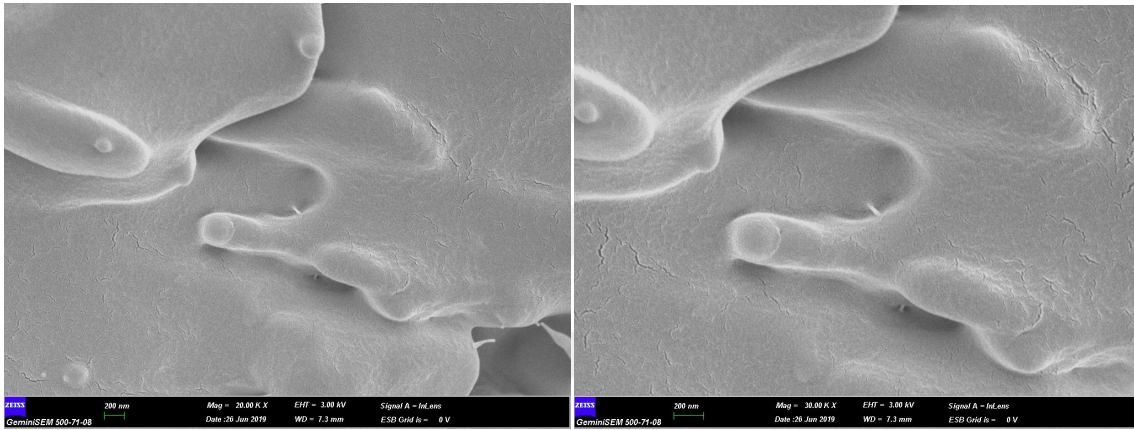
**EK 7 – Şekil 6.58. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/0,5PVDF (EB-10)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

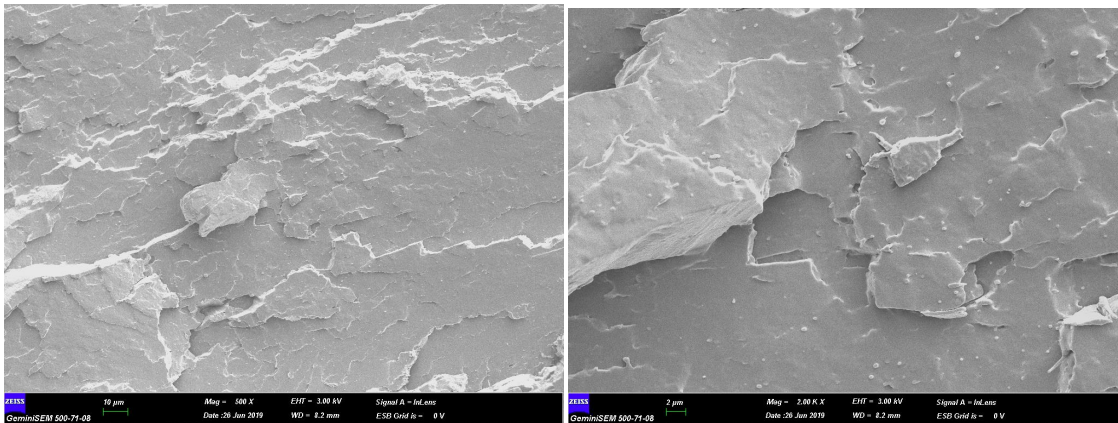
**EK 7 – Şekil 6.59. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF (EB-10)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

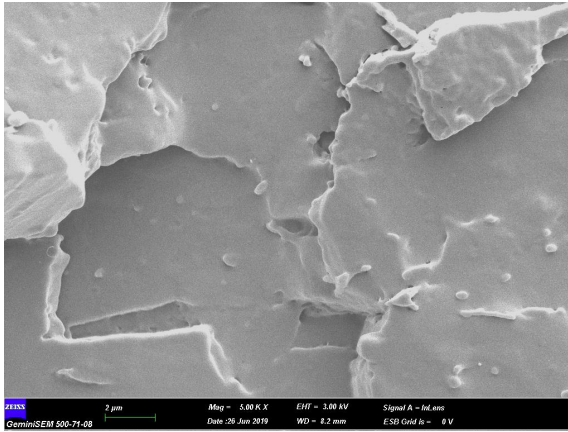
**EK 7 – Şekil 6.60. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5PVDF (EB-10)**



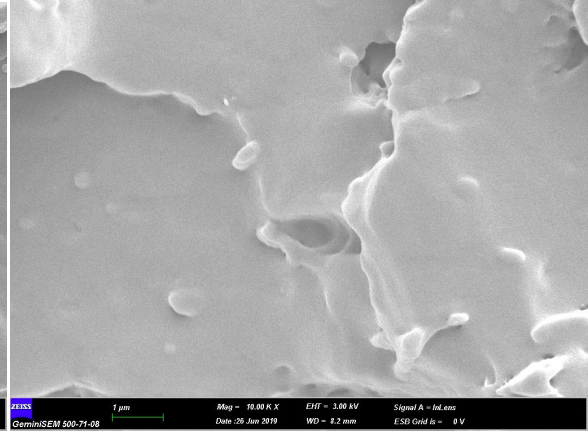
**500 X**

**2.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.61. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB11)**

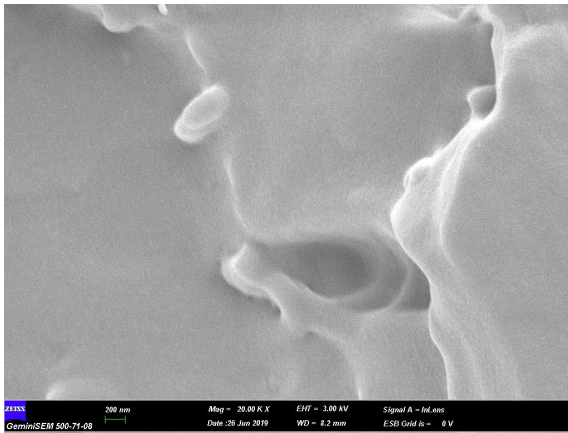


**5.00 K X**

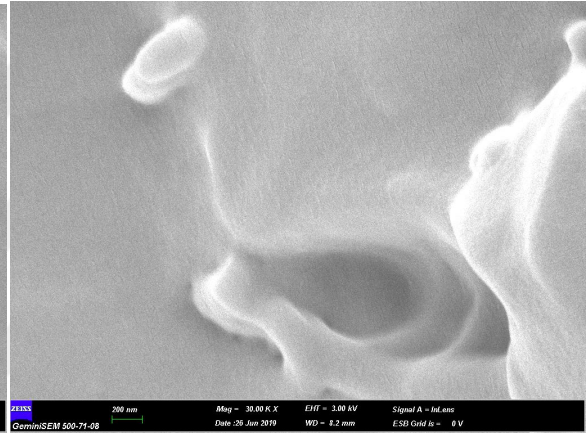


**10.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.62. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/ %0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB11)**

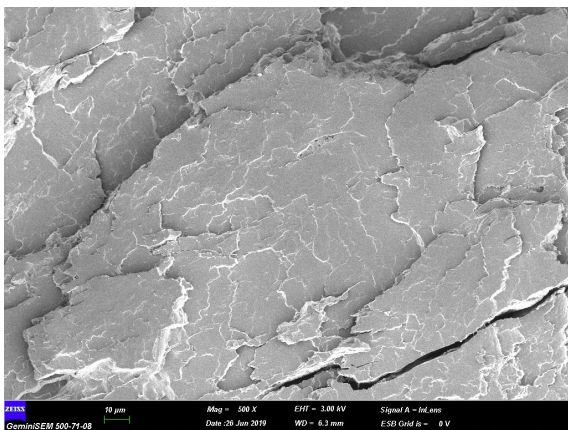


**20.00 K X**

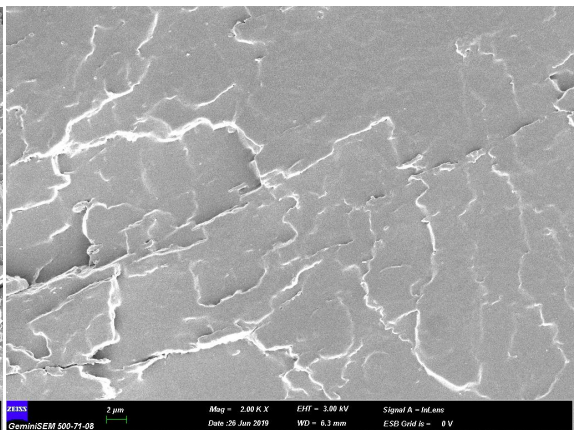


**30.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.63. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/ %0,5BaTiO<sub>3</sub> (EB11)**

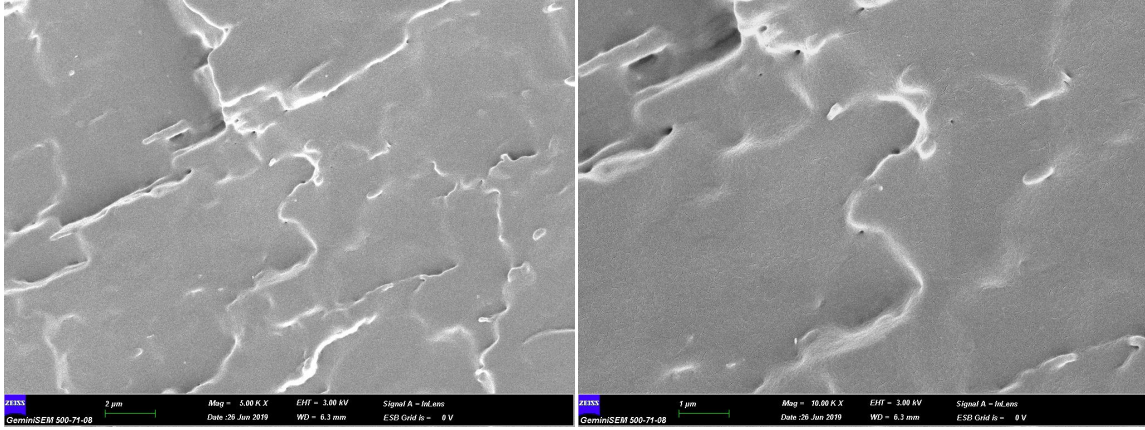


**500 X**



**2.00 K X**

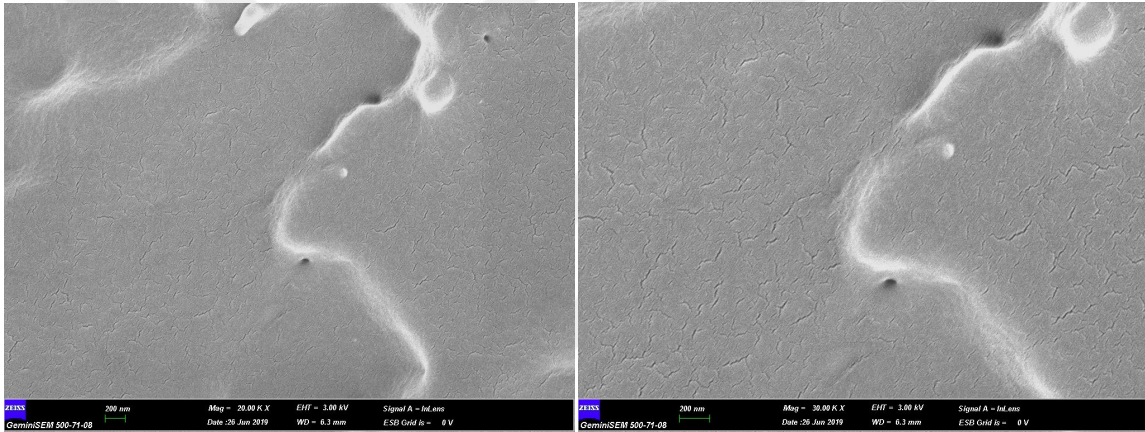
**EK 7 – Şekil 6.64. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/ %0,5h-BN (EB12)**



**5.00 K X**

**10.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.65. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB12)**



**20.00 K X**

**30.00 K X**

**EK 7 – Şekil 6.66. TPU<sub>87,5</sub>/PP<sub>12,5</sub>/%0,5h-BN (EB12)**

## ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Emrehan ÖNER  
Doğum Yeri ve Yılı : Osmangazi 09.12.1991



### Eğitim Durumu

	<u>Yıl</u>
Lise : Zühtü Kurtulmuş Lisesi	2006-2010
Lisans : Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü	2010-2015
Yüksek Lisans : Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Teknolojileri Mühendisliği	2016-2019

### Çalıştığı Kurum / Kurumlar

	<u>Yıl</u>
1- YEMEĞİM TABİLDOT TURİZM SAN. TİC. LTD. ŞTİ. (Servis Müdürü)	2014-2015
2 – SÜTOFİS GIDA MAMÜLLERİ SAN. VE TİC. AŞ (Üretim Sorumlusu)	2015-devam ediyor

### **Projeler**

1 – ‘Lüminesans Özellikli Polimerik Nanokompozitler’ TUBİTAK 2209 Üniversiteleri Yurtiçi / Yurtdışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı Proje Yöneticisi	2014
2 – ‘Hemoglobulin ve İmmunoglobulin G saflaştırılması için Bitkisel Yağ Esaslı Süpermakrogözenekli Adsorbentler (Kriyojeller)’ BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Yardımcı Araştırmacı Proje No: 0332-NAP-16	2016-2018

**Yayınları (SCI ve diğer makaleler)**

**Ulusal ve Uluslar arası kongreler**

1 – E. Öner, Ö. Danış, E. Muraçal, H. Karul, B. Çakmaklı, B. Hazer, F. M. Emen ‘SrAl4O7:Mn2+ ve Ca3Al2O6:Eu3+ Nanopartikülleri İçeren PHB ve PHO Kopolimerler’ 5. Fiziksel Kimya Kongresi, Poster 16-19 Mayıs 2015 Rixos Konya

