



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

**BAZI BOR BİLEŞİKLERİ İÇEREN POLİPROPİLEN  
(PP) ESASLI NANOKOMPOZİTLERİN  
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU**

**Musa Kazım ÇAVLI**

**BURDUR , 2018**

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

**BAZI BOR BİLEŞİKLERİ İÇEREN POLİPROPİLEN  
(PP) ESASLI NANOKOMPOZİTLERİN  
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU**

**Musa Kazım ÇAVLI**

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

**BURDUR , 2018**

## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Musa Kazım ÇAVLI tarafından Prof. Dr. Birten ÇAKMAKLI yönetiminde hazırlanan “Bazı Bor Bileşikleri İçeren Polipropilen (PP) Esaslı Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.  
Tez Savunma Tarihi: 18/07 /2018

**Prof. Dr. Birten ÇAKMAKLI** (Başkan)

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi.....(İmza)

**Prof. Dr. Baki HAZER** (Jüri Üyesi)

Kapodakya Üniversitesi.....(İmza)

**Prof. Dr. Sevil SAVAŞKAN YILMAZ** (Jüri Üyesi)

Karadeniz Teknik Üniversitesi.....(İmza)

### ONAY

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

(İmza)

**Doç. 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 “**Bazı Bor Bileşikleri İçeren Polipropilen (PP) Esaslı Nanokompozitlerin 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.

18/ 07 / 2018

(İmza)

Musa Kazım ÇAVLI

## **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. Maddi ve manevi 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 kısmi zamanlı çalışan öğrenci Burcu DEMİRPOLAT'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Malzeme temin edilmesinde PSL Elektronik Fiberli A.Ş. yönetim kurulu başkanı Sayın Cengiz ŞENTÜRK'e teşekkür ediyorum.

456-YL-217 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve eğitim hayatımda her zaman aldığım kararlarda duydukları saygı ve sevgiden dolayı anne ve babama çok teşekkür ederim.

**Temmuz, 2018**

**Musa Kazım ÇAVLI**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGE DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY .....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİTLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	2
3. KOMPOZİT MALZEMELER GENEL BİLGİ .....	3
3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları .....	4
3.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları.....	4
3.1.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları .....	4
3.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	4
3.2.1. Matris Elemanları.....	4
3.2.2. Matris malzemesine göre sınıflandırma .....	5
3.2.3. Takviye elemanları.....	7
3.3. Bağ yapma .....	9
4. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER.....	10
4.1. Polimer Kompozitlerde Matris ve Takviye .....	10
4.2. Matris malzemeleri .....	11
4.2.1. Termoset Matrisler .....	11
4.2.2. Termoplastik Matrisler.....	11
4.3. Takviye Malzemeleri .....	12
5. PARTİKÜL TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİ ...	14
6. KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ .....	18
6.1. Termoplastik Malzemelerin Ekstrüzyon ve Enjeksiyonda Kalıplama ile Üretimi ..	18
7. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
7.1. Materyal .....	21
7.1.1. Polipropilen (PP).....	21
7.1.2. Termoplastik Poliüretan (TPU).....	21
7.1.3. h-BN (hegzagonal Bor Nitrür) .....	21
7.1.4. PP-g-MA Uyumlaştırıcı .....	22
7.2. Aletler ve Cihazlar .....	22
7.2.1. Çift Vidalı Eksrüder .....	22
7.2.2. Enjeksiyon Kalıp.....	22
7.2.3. FT-IR Spektrometresi.....	22
7.2.4. Differansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) .....	22
7.2.5. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	22
7.2.6. Dinamik Mekanik Analiz Cihazı (DMA) .....	23
7.2.7. Çekme-Germe Test Cihazı.....	23
7.2.8. Scanning Electron Microscopy (SEM) Cihazı.....	23
7.2.9. Sertlik Ölçüm Cihazı.....	23
7.3. Yöntem.....	23

7.3.1. Numunelerin Hazırlanması .....	23
7.3.2. Ekstüderizyon ve Proses Parametreleri .....	25
7.3.3. Enjeksiyon Kalıplama ve Proses Parametreleri .....	26
8. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	27
8.1. Kompozitlerin Yapısal Özellikleri .....	27
8.1.1. FT-IR Analizleri .....	27
8.2. Termal Özellikler .....	30
8.2.1. DSC Analizi .....	30
8.2.2. TGA Analizi .....	33
8.3 Mekanik Analizler .....	37
8.3.1 Dinamik Mekanik Analiz (DMA) .....	37
8.3.2. Çekme-Germe .....	39
8.3.3. Üç Nokta Eğme .....	43
8.3.4. Sertlik .....	45
8.4. SEM Görüntüleri .....	48
9.SONUÇ .....	56
KAYNAKLAR .....	59
EKLER .....	61
ÖZGEÇMİŞ .....	142

## ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Matris malzemesine göre sınıflandırma .....	5
Şekil 3.2. Arabirim bağ mukavemetinin ölçülmesi .....	9
Şekil 6.1. 16 mm Çapında Çift Vidalı Extruder .....	19
Şekil 6.2. Enjeksiyon Makinası .....	20
Şekil 7.1. Kompozit Numunelerin Ekstrüzyon Makinesinde Granül Halde Görüntüsü .....	25
Şekil 7.2. Numunelerin Şekil Vererek Üretilmiş Görüntüsü .....	26
Şekil 8.1. FT-IR Analizlerinin Grafiği .....	28
Şekil 8.2. h-BN İçeren FT-IR Analizlerinin Grafiği .....	28
Şekil 8.3. %2 h-BN ve %2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İçeren FT-IR Analizlerinin Grafiği .....	29
Şekil 8.4. %2 h-BN İçeren FT-IR Analizlerinin Grafiği .....	29
Şekil 8.5. Kompozitlerin DSC Eğrileri .....	32
Şekil 8.6. %100 PP ve %100 TPU Numunelerinin TGA Eğrileri .....	35
Şekil 8.7. %2 h-BN İçeren Kompozitlerin TGA Eğrileri .....	35
Şekil 8.8. %4 h-BN İçeren Kompozitlerin TGA Eğrileri .....	36
Şekil 8.9. Kompozitlerin Loss Modulus – Sıcaklık DMA Grafiği .....	36
Şekil 8.10. Kompozitlerin Modulus – Sıcaklık DMA Grafiği .....	38
Şekil 8.11. Kompozitlerin Tan $\delta$ – Sıcaklık DMA Grafiği .....	39
Şekil 8.12. % 2 h-BN İçeren Kompozitlerinin Çekme Grafiği .....	4239
Şekil 8.13. % 4 h-BN İçeren Kompozitlerinin Çekme Grafiği .....	42
Şekil 8.14. Tüm Numune Kompozitlerinin Çekme Grafiği .....	432
Şekil 8.15. %4 h-BN İçeren Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme .....	443
Şekil 8.16. % 2 h-BN İçeren Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme .....	44
Şekil 8.17. Kompozit Numunelerin Üç Nokta Eğme .....	454
Şekil 8.18. Numunelerin Sertlik Ölçüm Grafiği .....	475
Şekil 8.19. Numunelerin Sertlik Ölçüm Grafiği .....	47
Şekil 8.20. %4 h-BN İçeren Numunelerin Sertlik Ölçüm Grafiği .....	47
Şekil 8.21. %4 h-BN İçeren Numunelerin Sertlik Ölçüm Grafiği .....	48
Şekil 8.22. %4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 500X büyütme .....	50
Şekil 8.23. %4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 500X büyütme .....	51



<b>Şekil 8.24.</b>	%4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 500X büyütmelemi.....	52
<b>Şekil 8.25.</b>	%2 h-BN ve %2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 500X büyütmelemi.....	52
<b>Şekil 8.26.</b>	%4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 10.00KX büyütmelemi.....	53
<b>Şekil 8.27.</b>	%4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 10.00KX büyütmelemi.....	54
<b>Şekil 8.28.</b>	%4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 10.00KX büyütmelemi.....	55
<b>Şekil 8.29.</b>	%2 h-BN ve %2B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 10.00KX büyütmelemi.....	55
<b>EK 1 - Şekil 8.1.</b>	% 100 PP Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-1) .....	61
<b>EK 1 - Şekil 8.2.</b>	% 100 PP + % 2 h-BN Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-2).....	62
<b>EK 1 -Şekil 8.3.</b>	% 75 PP + % 25 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-4).....	63
<b>EK 1 - Şekil 8.4.</b>	%50 PP + %50 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-6).....	64
<b>EK 1 - Şekil 8.5.</b>	% 25 PP + % 75 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin FTIR Spektrum (MKC-8).....	65
<b>EK 1 - Şekil 8.6.</b>	% 100 TPU Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-10) .....	66
<b>EK 1 - Şekil 8.7.</b>	% 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-11)...	67
<b>EK 1 - Şekil 8.8.</b>	% 75 TPU + % 25 TPU + % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kompozitinin FTIR Spektrumu (BCK-5 ).....	68
<b>EK 2 - Şekil 8.1.</b>	% 100 PP Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-1) .....	69
<b>EK 2 - Şekil 8.2.</b>	% 100 PP + % 2 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-2).....	70
<b>EK 2 - Şekil 8.3.</b>	% 100 PP + % 4 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-3).....	71
<b>EK 2 - Şekil 8.4.</b>	% 75 PP + % 25 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-4).....	72
<b>EK 2 - Şekil 8.5.</b>	% 75 PP + % 25 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-5).....	73
<b>EK 2 - Şekil 8.6.</b>	% 50 PP + % 50 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-6).....	74
<b>EK 2 - Şekil 8.7.</b>	% 50 PP + % 50 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-7).....	75

<b>EK 2 - Şekil 8.8.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-8).....	76
<b>EK 2 - Şekil 8.9.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-9).....	77
<b>EK 2 - Şekil 8.10.</b> % 100 TPU Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-10).....	78
<b>EK 2 - Şekil 8.11.</b> % 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-11).....	79
<b>EK 2 - Şekil 8.12.</b> % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-12).....	80
<b>EK 2 - Şekil 8.13.</b> % 75 TPU + % 25 TPU + % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kompozitinin DSC Grafiği (BCK 5).....	81
<b>EK 3 - Şekil 8.1.</b> % 100 PP Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-1).....	82
<b>EK 3 - Şekil 8.2.</b> % 100 PP + % 2 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-2).....	82
<b>EK 3 - Şekil 8.3.</b> % 100 PP + % 4 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-3).....	83
<b>EK 3 - Şekil 8.4.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-4).....	83
<b>EK 3 - Şekil 8.5.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-5).....	84
<b>EK 3 - Şekil 8.6.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-6).....	84
<b>EK 3 - Şekil 8.7.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-7).....	85
<b>EK 3 - Şekil 8.8.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-8).....	85
<b>EK 3 - Şekil 8.9.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC- 9).....	86
<b>EK 3 - Şekil 8.10.</b> % 100 TPU Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-10).....	86
<b>EK 3 - Şekil 8.11.</b> % 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-11).....	87
<b>EK 3 - Şekil 8.12.</b> % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-12).....	87
<b>EK 3 - Şekil 8.13.</b> % 75 TPU + % 25 TPU + % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kompozitinin TGA Grafiği (BCK 5).....	88
<b>EK 4 Şekil 8.1.</b> % 100 PP Kompozitinin DMA Analizi (MKC-1).....	89
<b>EK 4 Şekil 8.2.</b> % 100 PP Kompozitinin DMA Analizi (MKC-1).....	90
<b>EK 4 Şekil 8.3.</b> % 100 PP + % 4 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-3).....	91
<b>EK 4 Şekil 8.4.</b> % 100 PP + % 4 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-3).....	92

<b>EK 4 Şekil 8.5.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-7).....	93
<b>EK 4 Şekil 8.6.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-7).....	94
<b>EK 4 Şekil 8.7.</b> % 100 TPU Kompozitinin DMA Analizi (MKC-10).....	95
<b>EK 4 Şekil 8.8.</b> % 100 TPU Kompozitinin DMA Analizi (MKC-10).....	96
<b>EK 4 Şekil 8.9.</b> % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-12) .....	97
<b>EK 4 Şekil 8.10.</b> % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-12) .....	98
<b>EK 4 Şekil 8.11.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-4).....	99
<b>EK 4 Şekil 8.12.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-4).....	100
<b>EK 4 Şekil 8.13.</b> % 75 TPU + % 25 TPU + % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kompozitinin DMA Analizi (BCK-5).....	101
<b>EK 4 Şekil 8.14.</b> % 75 TPU + % 25 TPU + % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kompozitinin DMA Analizi (BCK-5).....	102
<b>EK 5 - Şekil 8.1.</b> % 100 PP Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-1).....	103
<b>EK 5 - Şekil 8.2.</b> % 100 PP + % 2 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-2) .....	103
<b>EK 5 - Şekil 8.3.</b> % 100 PP + % 4 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-3) .....	104
<b>EK 5 - Şekil 8.4.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-4).....	104
<b>EK 5 - Şekil 8.5.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-5).....	105
<b>EK 5 - Şekil 8.6.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-6).....	105
<b>EK 5 - Şekil 8.7.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-7).....	106
<b>EK 5 - Şekil 8.8.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-8).....	106
<b>EK 5 - Şekil 8.9.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-9).....	107
<b>EK 5 - Şekil 8.10.</b> % 100 TPU Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-10) .....	107
<b>EK 5 - Şekil 8.11.</b> % 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-11) ...	108
<b>EK 5 - Şekil 8.12.</b> % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-12) ...	108

<b>EK 5 - Şekil 8.13.</b> % 75 TPU + % 25 TPU + % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kompozitinin Çekme Grafiği (BCK-5).....	109
<b>EK 5 - Şekil 8.14.</b> % 100 PP , %100 TPU Çekme Grafiği .....	109
<b>EK 5 - Şekil 8.15.</b> % 100 PP Kompozitlerinin Çekme Grafiği.....	110
<b>EK 5 - Şekil 8.16.</b> MKC-4 / MKC-5 Kompozitlerinin Çekme Grafiği .....	110
<b>EK 5 - Şekil 8.17.</b> MKC-6 / MKC-7 Kompozitlerinin Çekme Grafiği .....	111
<b>EK 5 - Şekil 8.18.</b> MKC-8 / MKC-9 Kompozitlerinin Çekme Grafiği .....	111
<b>EK 5 - Şekil 8.19.</b> % 100 TPU Kompozitlerinin Çekme Grafiği .....	112
<b>EK 5 - Şekil 8.20.</b> MKC-4 / BCK-5 Kompozitlerinin Çekme Grafiği .....	112
<b>EK 6 - Şekil 8.1.</b> % 100 PP Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-1).....	113
<b>EK 6 - Şekil 8.2.</b> % 100 PP + % 2 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-2) .....	113
<b>EK 6 - Şekil 8.3.</b> % 100 PP + % 4 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-3) .....	114
<b>EK 6 - Şekil 8.4.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-4).....	114
<b>EK 6- Şekil 8.5.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-5).....	115
<b>EK 6 - Şekil 8.6.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-6).....	115
<b>EK 6 - Şekil 8.7.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-7).....	116
<b>EK 6 - Şekil 8.8.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-8).....	116
<b>EK 6 - Şekil 8.9.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-9).....	117
<b>EK 6 - Şekil 8.10.</b> % 100 TPU Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-10).....	117
<b>EK 6 - Şekil 8.11.</b> % 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme(MKC-11) ..	118
<b>EK 6 - Şekil 8.12.</b> % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme(MKC-12) ..	118
<b>EK 6 - Şekil 8.13.</b> % 75 TPU + % 25 TPU + % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kompozitinin Üç Nokta Eğme (BCK-5).....	119
<b>EK 6 - Şekil 8.14.</b> MKC-4 / BCK-5 Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme .....	119
<b>EK 6 - Şekil 8.15.</b> % 100 PP , %100 TPU Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme.....	120
<b>EK 6 - Şekil 8.16.</b> % 100 PP Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme.....	120
<b>EK 6 - Şekil 8.17.</b> % 100 TPU Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme.....	121
<b>EK 6 - Şekil 8.18.</b> Şekil 21,22,23 Birleşim Üç Nokta Eğme Grafiği .....	121

<b>EK 6 - Şekil 8.19.</b> MKC-4 / MKC-5 Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme .....	122
<b>EK 6 - Şekil 8.20.</b> MKC-6 / MKC-7 Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme .....	122
<b>EK 6 - Şekil 8.21.</b> MKC-9 / MKC-8 Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme .....	123
<b>EK 6 - Şekil 8.22.</b> Tüm Numune Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme .....	123
<b>EK 7 - Şekil 8.1.</b> % 100 PP (MKC 1) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00KX .....	124
<b>EK 7 - Şekil 8.2.</b> % 100 PP (MKC 1) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX .....	125
<b>EK 7 - Şekil 8.3.</b> % 100 PP + % 4 h- BN (MKC 3) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX .....	126
<b>EK 7 - Şekil 8.4.</b> % 100 PP + % 4 h-BN (MKC 3) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX .....	127
<b>EK 7 - Şekil 8.5.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h-BN (MKC 5) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX .....	128
<b>EK 7 - Şekil 8.6.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h-BN (MKC 5) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX .....	129
<b>EK 7 - Şekil 8.7.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h-BN (MKC 7) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX .....	130
<b>EK 7 - Şekil 8.8.</b> % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h-BN (MKC 7) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX .....	131
<b>EK 7 - Şekil 8.9.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h-BN (MKC 9) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX .....	132
<b>EK 7 - Şekil 8.10.</b> % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h-BN (MKC 9) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX .....	133

<b>EK 7 - Şekil 8.11.</b> % 100 TPU (MKC 10) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX.....	134
<b>EK 7 - Şekil 8.12.</b> % 100 TPU (MKC 10) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX.....	135
<b>EK 7 - Şekil 8.13.</b> % 100 TPU + % 4 h-BN (MKC 12) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX.....	136
<b>EK 7 - Şekil 8.14.</b> % 100 TPU + % 4 h-BN (MKC 12) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX.....	137
<b>EK 7 - Şekil 8.15.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h-BN (MKC 4) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX.....	138
<b>EK 7 Şekil 8.16.</b> % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h-BN (MKC 4) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX.....	139
<b>EK 7 - Şekil 8.17.</b> % 75 TPU + % 25 TPU + % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (BCK 5) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX.....	140
<b>EK 7 - Şekil 8.18.</b> % 75 TPU + % 25 TPU + % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (BCK 5) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX.....	141

## ÇİZELGE DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 7.1.</b> Numunelerin %'lik Bileşimleri .....	24
<b>Tablo 8.1.</b> Kompozitlerin DSC Analiz Sonuçları .....	31
<b>Tablo 8.2.</b> Numunelerin TGA Analiz Sonuçları .....	34
<b>Tablo 8.3.</b> Kompozit numunelerin gerilme testi belirleme sonuçları .....	41
<b>Tablo 8.4.</b> Kompozit numunelerin sertlik sonuçları .....	46



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>DMA</b>	: Dinamik Mekanik Analiz
<b>DSC</b>	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
<b>FBE</b>	: Fen Bilimleri Enstitüsü
<b>h-BN</b>	: hegzagonal Bor Nitrür
<b>MAKÜ</b>	: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PP-g-MA</b>	: Uyumlaştırıcı Maleic Anhydride
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>TGA</b>	: Termogravimetrik analiz
<b>TPU</b>	: Termoplastik Poliüretan
<b><math>\Delta H_c</math></b>	: Kristalizasyon Entalpi
<b><math>\Delta H_m</math></b>	: Füzyon Entalpi



# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

**Bazı Bor Bileşikleri İçeren Polipropilen (PP) Esaslı Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu**

**Musa Kazım ÇAVLI**

**Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı**

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

**Temmuz,2018**

Bu tez çalışmasında matris malzemesi olarak PP ile TPU polimerleri kullanılmıştır. Geleneksel polimer kompozit takviye elemanın dışına çıkarak daha farklı malzemeler elde etme düşüncesi ile nano partikül bor bileşikleri (h-BN, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) içerikli PP, TPU kompozit malzeme elde edilmesiyle numuneler elde edildi. Bu kompozit malzemelerin yapısal (FT-IR), termal (DSC ve TGA), mekanik (Germe-Çekme, DMA, Üç nokta eğme), ve Shore-D sertlik değerleri ve morfolojik (SEM) analizleri yapılarak özellikleri incelendi. %2 h-BN içeren MKC-4 kompozit ile %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren BCK-5 kompozit numuneler karşılaştırıldığında BCK-5 numunesinin bozunma sıcaklığı daha düşük sıcaklık değerlerinde başladığı görülmektedir. Ayrıca h-BN ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye malzemeleri kıyaslandığında h-BN takviyesi içeren MKC-4 kompoziti ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi bulunan BCK-5 kompoziti karşılaştırıldığında; B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin yapı içerisindeki dağılımının heterojen ve kümeleşme görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen, hegzagonal bor nitrür, termoplastik poliüretan, bor oksit, kompozit malzemeler, nanokompozit

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNATÖRLÜĞÜ tarafından 456 -YL- 17 proje numarası ile desteklenmiştir.

## **SUMMARY**

**M. Sc. Thesis**

**Preparation and Characterization of Polypropylene (PP) Based Nanocomposites  
Containing Some Boron Compounds**

**MUSA KAZIM ÇAVLI**

**Mehmet Akif Ersoy University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Materials Technologies Engineering Department**

**Supervisor: Prof.Dr. Birten ÇAKMAKLI**

**July,2018**

In this thesis study, PP and TPU polymers are used as matrix material. Nano-particle boron compounds (h-BN, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) containing PP, TPU composite material. These composite materials were analyzed by structural (FT-IR), thermal (DSC and TGA), mechanical (Stretch-Tension, DMA, Three point bending) and Shore-D hardness points and morphological (SEM) analyzes. For BCK-5 composite samples containing 2% h-BN with MKC-4 composite and 2% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, the BCK-5 sample shows that the degradation grade starts at lower temperature values. In addition, when the h-BN and B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforcement materials were compared, it is seen that the distribution of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles with in the structure was heterogeneous and compared to with h-BN supplement containing MKC-4 composite with and supplementation.

**Keywords:** polypropylene, hexagonal boron nitride, thermoplastic polyurethane, boron oxide, composite materials, nanocomposites

The present M.Sc. Thesis was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy University  
Coordinatorship of Scientific Research Projects Under the Project number of 456-YL-17.

# 1. GİRİŞ

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sanayinin hızlı gelişmesine bağlı olarak üretimin artması ile birlikte kullanılan hammaddelerin çeşitlenmesi ile malzeme bilimindeki gelişmelerin hızlandığı görülmektedir.

Gelişen teknolojiye bağlı olarak mukavemeti yüksek, hafif, daha ekonomik malzemelerin üretimi ve özellikle malzemeyi oluşturan bileşenlerin üstün özelliklerini tek bir malzemede bir araya getiren kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir.

Mikro veya makro seviyede heterojen karışımıyla iki veya daha fazla malzeme kombinasyonlarının, en iyi özelliklerini bir araya getirmek ya da ortaya yeni bir özellik çıkartmak için belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesi ile oluşan malzemeye kompozit denir.

## 2. KOMPOZİTLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ

İnsanlar binlerce yıldır daha güçlü ve daha hafif, daha ekonomik malzemeler elde etmek için çalışmalar yapmakta ve ilgi çekmektedir. Kompozitlerin ilk kullanımı 1500 MÖ kadar uzanır. Eski Mısır ve Mezopotamya yerleşimcileri, güçlü ve dayanıklı binalar oluşturmak için çamur ve saman karışımı kullandılar. Saman ve seramik kullanılması ile teknelerde dahil olmak üzere çok eski kompozit ürünlerin kullanılması devam etmiştir. Daha sonra 1200 MS'de Moğollar son derece güçlü ve son derece doğru ilk kompozit yay icat etti ve bu yayların kullanılması ile Cengiz Han'a askeri üstünlük sağladı. Kullanılan bu yaylar silah, barut icadı oluncaya kadar dünyadaki en güçlü silah olarak kullanıldı. İnsanlık tarihi boyunca çeşitli formlarda kompozit malzemeler bilinmiş olsa da modern kompozitlerin tarihi muhtemelen 1937'de Owens Corning fiberglas şirketinin satış ekibi Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ilgili taraflara fiberglas satışı ile başlamış olsa da, 1930 yılında cam bir süt şişesine yazı yazma işlemi gerçekleştiren bir mühendisin oluşan bir elyaf ilgisini çekmesiyle şimdilerde takviye malzemesi olarak kullanılan ilk fiberglasın buluşuna imza atmıştır.

Mikro-elektronik, biyoteknoloji ve nanoteknoloji ile birlikte sanayi üretimin ana omurgasında değişiklik yapacak teknolojik alanlardan biri olarak kabul edilen malzeme sektörü ekonomide tüm faaliyetlerin girdisi olmuştur. Bu sektör savunma, havacılık, mikro-elektronik, iletişim ve otomotiv sektörlerinde kullanılacak ileri malzemelerin ortaya çıkışı ile malzeme biliminin bu gereksinimleri karşılayabilecek çok disiplinli, proses ağırlıklı bir alana dönüşmesiyle geçmişten günümüze sürekli devam eden ilerlemeler göstermektedir.

Bu bağlamda akıllı ve işlevsel polimerik kompozit malzemeler önümüzdeki yıllarda önemli odak noktaları oluşturacak ileri malzeme üretimi ile ülkemiz için önemli teknolojik gelişmelere yol açmıştır (Arıcasoy O. 2006).

Kendini oluşturan maddelerin özelliklerinden çok daha üstün olan kompozit bileşenlere en tipik örnek, gelenekselleşmeye başlayan ve "fiberglas" olarak bilinen polye ester esaslı reçinelerin cam elyaf ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak bugün ileri kompozit grubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve yüksek dayanım (çekme ve basma dayanımı), yüksek elastik modül ve yüksek tokluğa sahip elyaflar kullanılmaktadır.

Özellikle polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar (Arıcasoy O. 2006).

### 3. KOMPOZİT MALZEMELER GENEL BİLGİ

Mikro veya makro seviyede heterojen karışımıyla iki veya daha fazla malzeme kombinasyonlarının, en iyi özelliklerini bir araya getirmek ya da ortaya yeni bir özellik çıkartmak için belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesi ile oluşan bileşime kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler; ana faz olarak matris ve ikincil faz olarak ise takviye elemanlarının ara yüzey oluşturulmasıyla elde edilmektedir.

Kompozit olarak adlandırılan malzemelerin bulunması gereken özellikler: (Onat A. 2015)

- İnsan yapısı olmalı,
- Farklı ara yüzeye sahip olan en az iki veya daha fazla fiziksel ve mekaniksel özelliği farklı olan malzemelerin birleştirilmesi,
- Herhangi tek bileşenle elde edilemeyen mekanik özelliklerin gerçekleştirilmesi,
- İki ayrı malzemenin birinin diğeri içerisine dağıtılmasıyla kontrollü olarak optimum özellikler elde edilmesi,

Kompozit malzeme kullanılarak üretilecek malzemelerin tasarlanmasında hangi alanda kullanılacağı, kullanıma yönelik hangi özelliklere sahip olması gerektiği, malzeme özellikleri, çevre koşullarının malzemeye etkisi, üretim yöntemi, kalite kontrol yöntemleri ve maliyet gibi birçok faktör birlikte değerlendirilmelidir (Onat A. 2015).

Kompozit malzemelerin tasarımı en büyük zorluklardan birisi tüm yönlerde aynı optik özelliği sahip diğer bir deyimle tüm yönlerde aynı özellikleri gösteren malzemeler (izotrop malzemeler) elde edilmesi çok zordur. Bu nedenle tasarım yapılırken hangi yönden malzemeye yük uygulanacağı, hangi noktadan ne kadar mukavemete ihtiyaç olduğunu hesaplayarak takviye elemanın dağılımı ayarlanmalıdır.

Mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlayan çekirdek olarak takviye edici malzeme ve bunun çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan, çatlak ilerlemelerini önleyen ve kopmayı geciktiren matris malzeme bulunur. Matris malzemelerinin diğer bir amacı da, takviye malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü takviye elemanlarının arasında homojen olarak dağıtmasını sağlayarak takviye malzemelerinde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkabilecek çatlakların ilerlemesi engellenmiş olur (Onat A. 2015).

### **3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları**

#### **3.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları**

- Çatlağın ilerlemesinin minimize edilmesi,
- Titreşimleri absorbe edilebilmesi.
- Bazı kompozitlerin çok yüksek akma sınırı (akma gerilmesi) değerlerine sahip olması,
- Korozyon problemi olmaması (uygun seçilecek matris ve takviye elemanlarının birbirleri ile temasta bulunarak pil oluşturmaması ve galvanik korozyona uğramaması)
- Kopma uzaması metallere göre daha yüksek olması
- Yorulma dirençleri oldukça yüksek olması
- Ağırlıkça tasarruf edilmesi (URL-1, 2013).

#### **3.1.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları**

- Metallere yapışmama özelliği, Fırınlamadan (pişirmeden) kullanılamaması
- Anizotropik özelliklere sahip olması
- Üretimi nispeten pahalı olması
- Nem ve hava zerrecikleri, kompozitlerin mekanik ve yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkilemesi
- Hammadde maliyetinin pahalı olması
- Sınırlı raf ömürlerinin olması
- Standartlaşmış bir kalite olmaması (URL-1, 2013).

### **3.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler içerdiği bileşenler açısından matris ve takviye elemanı almak üzere iki şekilde sınıflandırılır.

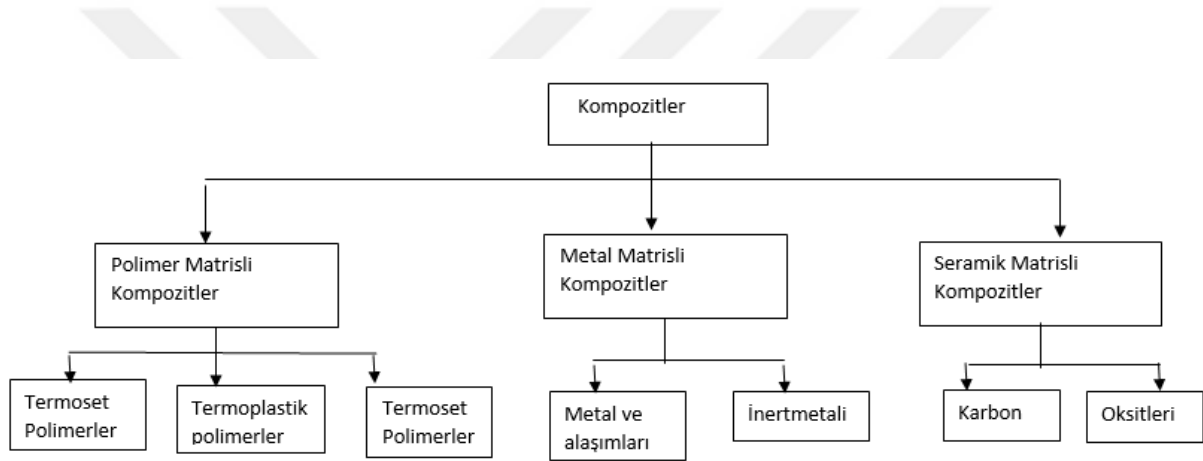
#### **3.2.1. Matris Elemanları**

Kompozit malzemelerin ana bileşeni olan matris malzemeler bağlayıcı eleman olmakla birlikte asıl görevleri, takviye elemanlarını bir arada tutmak ve işlem sırasında malzeme yüzeyini mekanik hasarlardan korumaktır. Takviye malzemesine gelen yükü transfer eder ve dağıtırlar. Matris malzemesinin başlıca işlevleri; etki eden kuvvetleri takviye malzemesine iletmek, darbelerden, korozyon ve oksidasyon gibi ortam etkilerinden takviye elemanını korumaktır.

Takviye malzemesinin fiziksel ve kimyasal bağlanmayı göstermesi uygun matris seçimine bağlıdır. Malzemenin nem ve su alma özelliklerinin de göz önünde bulundurulması, ayrıca yüksek kayma modülüne sahip olması istenir. Böylece kompozitten elde edilmek istenilen kayma katılığı sağlanır. Kayma gerilmesi ve kayma modülü, matris için mukavemetten daha önemli bir özellik olduğu gibi erime noktası, sıcaklık gibi fiziksel özellikler de matrislerin diğer özellikleridir.

Matris malzemeler Şekil 3.1’de gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır (Hull, D, and Clyne, T.W., 1996).

- a) Metalik matrisler,
- b) Seramik matrisler,
- c) Polimer matrisler.



Şekil 3.1. Matris malzemesine göre sınıflandırma (Hull, D, and Clyne, T.W., 1996)

### 3.2.2. Matris malzemesine göre sınıflandırma

Kompozit malzemelerde; ana faz olarak kullanılan elemanlar kompozit malzemelerin adlandırılması sağlar. Bu matrisler metal, seramik ve polimer gruplandırılır ve sınıflandırma işlemleri bu üç matris terimlerinin kullanılmasıyla oluşur.

#### 3.2.2.1. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler, kompozit malzeme grubu içinde önemli bir yere sahiptirler. Bunun en önemli sebebi bu malzemelerin sahip oldukları dayanım, süneklik, tokluk ve elastisite modülü gibi temel özelliklerinin diğer mühendislik malzemeleri ile kıyaslandığında daha iyi olmasından kaynaklanır.

Yüksek kaliteye sahip malzeme üretim yöntemlerinin geliştirilmesi, ekonomik sebeplerden dolayı günümüzde metal matrisli kompozitlere büyük ilgi duyulmakta ve yapılan çalışmalarda, özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılacak dayanımı yüksek, rijit malzemelerin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde; Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo ve Ni gibi yeterli mukavemet ve yüksek süneklik özelliğine sahip metaller ve alaşımları en çok kullanılan mühendislik malzemeleridir.

Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak, yoğunluğunun düşük olması, ucuz ve kolay bulunması, çeşitli alaşım formlarında bulunması ve oldukça iyi mekanik özellik kombinasyonlarına sahip olmasından dolayı en çok kullanılan metal matrisler arasındadır.

Son yıllarda metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde ve daha pratik olarak uygulamaya aktarılmasında (partikül takviyeli malzemeler) süreksiz olarak takviye edilmesinin nedeni izotropik olması, imalat kolaylığı ve ucuz olmasıdır. Ağır olması, yüksek sıcaklık gerektirmesi bazı dezavantajlarına rağmen seramik matris malzemelerine göre tercih edilmiştir. Otomobil ve uzay araçlarının çeşitli motor parçalarında metal matrisli kompozitlerin kullanımı, seramik matrisli malzemelerden daha güvenilir olması bunun en önemli örneğidir (Deniz M.E. 2005, Şahin, Y., 2006).

### **3.2.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)**

Çok sert, kırılğan, yüksek sıcaklık dayanımları ve göreceli düşük yoğunluk özellikleri olan seramik malzemeler ısıl şok direnci ve düşük tokluğa sahiptirler.  $Al_2O_3$ , SiC,  $Si_3N_4$ ,  $B_4C$ , CBN, TiC, TiB, TiN ve AlN gibi bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da birkaçı bir arada kullanılarak seramik matris kompozitler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir. Seramik matrise ilave edilen karbon, seramik ve cam fiberler özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları gibi istenilen özel şartlar için geliştirilmektedir. Seramik fiberler ile takviye edilen seramik malzemelerin mukavemeti yükselmekte ve tokluk değerleri de artmaktadır. Son yıllardaki yapılan çalışmalar alümina ve zirkonya takviyeli seramik kompozitlerin roket başlığı, uzay araçları gibi uygulamaları yanında insan vücudunda da biomalzeme olarak kullanılması, bu tip kompozitlere çok iyi bir örnektir (Güven C. 2014).



### **3.2.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler**

Çoğunlukla hidrojen, karbon ve diğer metalik olmayan elementleri içeren polimerik yapıların çok çeşitli uygulama alanlarına sahip, karmaşık ve büyük parçaların kolayca üretilbilir olmasıyla birlikte hammaddenin ucuz ve ulaşılabilir olması kompozit üretiminde en çok tercih edilmesinin nedenidir.

Isısal davranışlarına göre polimerler termoset ve termoplastik olarak 2 farklı şekilde sınıflandırılabilir. Özellikle polimer matrisli kompozitlerde mukavemet takviye malzemesi ile doğrudan ilişkilidir. Halen polimer matrisli kompozitlerle ilgili rijitliğin optimize edilmesi ve takviye malzemelerin dayanımının artırılması konularında çalışmalar yapılmaktadır.

Polimerizasyon sırasındaki büzölmelerin fazla olması, sınırlı raf ömrü, nem ve sıcaklıkla düşen mekanik özellikler nedeniyle yüksek performans beklenen yerlerde tercih edilmemektedirler. Fakat boyutsal kararlılıkları, ısı ve nem altındaki sergilediği mekanik özellikler ve birçok takviye malzemesine iyi bağlanma göstermelerinin yanında aynı zamanda daha yüksek çalışma sıcaklıklarına (175°C) sahip olan yüksek performanslı polimerik kompozitlerin birçoğu epoksi matrise sahiptir. Yapısal parçaların kullanıldığı otomotiv ve havacılık sektöründe polimer matrisli kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır (Biron, M., 2007).

### **3.2.3. Takviye elemanları**

Kompozitlerde; fiber, partikül esaslı, tabakalı yapılı(lamine) ve dolgu yapılı olmak üzere en çok kullanılan takviye elemanlarıdır.

#### **3.2.3.1. Fiber Esaslı Kompozitler**

Yüksek etkinliğe sahip olan birçok özelliklerde artış sağlayan lifler; mukavemet ve rijitlikleri kütle halindeki değerlerinden çok üst düzeyde, fiber şeklinde üretilmesi ile çok kullanılan mühendislik malzemeleri arasındadır. Karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha yüksek özelliğinin fark edilmesi ile fiber kompozitlerin üretilmesi süreci başlamıştır.

Fiber takviyeli kompozitlerin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörler fiberlerin şekli, uzunluğu, yönlenmesi, matrisin mekanik özellikleri ve fiber-matris ara yüzey özellikleridir. Fiberler, yapı içerisinde kesintisiz uzayan sürekli fiberler veya uzun fiberlerin kesilmesiyle elde edilen süreksiz fiberler veya elyaflar şeklinde olabilirler. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet

elde edilmektedir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır.

Elyafın mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Matris yapıda boşlukların bulunması ile elyaflar ile temas azaltarak elyaf matris bağ kuvvetini azaltacak ve kompozit yapının mukavemetini düşürecektir. Günümüzde fiber kompozitler düşük performanslı ev eşyalarından roket motorlarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır (Taşgetiren S. 1999).

### **3.2.3.2. Tabaka Yapılı Kompozitler (Lamine Kompozitler)**

En eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluştuğu gibi çok değişik kombinasyonlarla tabakalı kompozitlerin üretilmektedir.

Çok yüksek mukavemet değerleri, ısıya ve neme dayanıklı malzemelerdir. Metallere göre hafif olmaları nedeniyle tercih edilme nedenleridir.

### **3.2.3.3. Dolgu Yapılı Kompozitler**

Üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin, üç boyutlu bir dolgu malzemesiyle doldurulması ile oluşan malzemelerdir. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri bulunmaktadır.

### **3.2.3.4. Partikül Esaslı Kompozitler**

Parçacıkların (partiküllerin), başka bir matris malzeme içerisinde bulunmasıyla elde edilen kompozitlerdir. En çok kullanılan parçacıklar ise  $Al_2O_3$  ve SiC'den oluşan seramiklerdir.

Tek veya iki boyutlu, 1 mikrometreden küçük mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemelerdir. Bu tür kompozitler mukavemeti iyileştirmekten çok, beklenilmeyen birleştirilmiş özellikler elde etmek için metal, seramik ve polimerlerin birleşiminden elde edilebilirler. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın olarak kullanılan takviye elemanı, polimer matris içinde yer alan metal parçacıklardır.

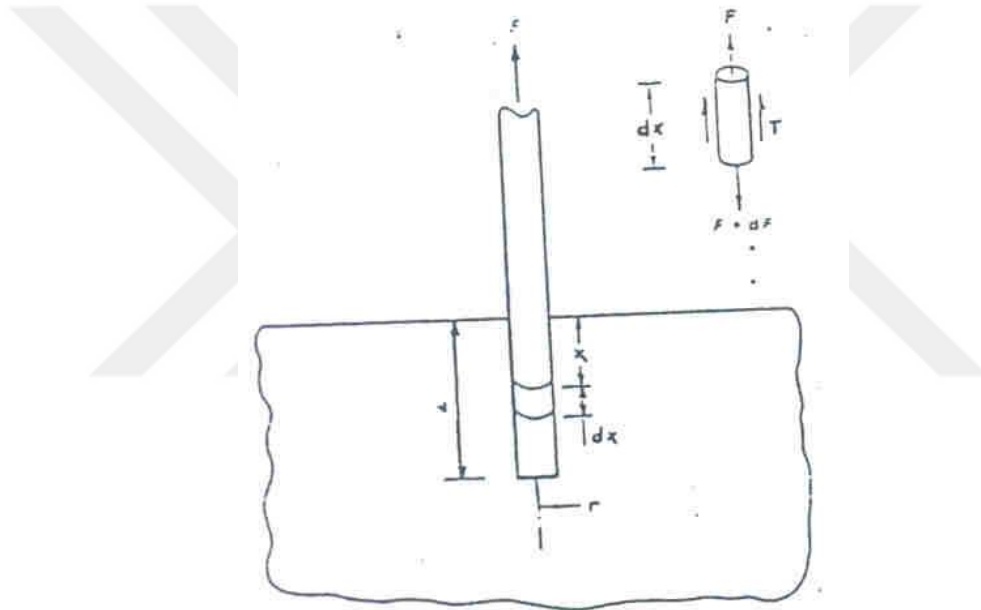
Pratikte döküm yoluyla üretilen bu tür kompozitlerde partiküllerin ilave edildiğinde parçacıkların karıştırılma zorluğu, eriyik viskozitenin düşmesi veya sıvı metalin seramik parçacıkları ıslatılmaması gibi problemlere neden olur. Bu problemlerin parçacık yüzeyine kaplama yapılması ve ısı işlem uygulanması veya matris bileşiminin ayarlanması ile

önlenebilir. Ayrıca yapı içerisinde takviye elemanın arttırılması porozite gibi hataları ortadan kaldırmak için haddeleme gibi ikinci bir işlem uygulanmasıyla ortadan kalmaktadır.

Partikül esaslı kompozitlerin mukavemeti; parçacıkların büyüklüğüne, Parçacıklar arası mesafe ve homojen dağılımına, matrisin özelliklerine, parçacıkların özelliklerine bağlı olarak değişir.

### 3.3. Bağ yapma

Kompozit yapıda bağ oluşumu bahsedildiğinde ortaya arabirim kavramı çıkmaktadır. Ara yüzey, kompozitin özelliklerini oluşturan matris ve takviye elemanından sonraki önemli unsurdur. Arabirimdeki bağ kuvveti değeri, kompozitin mukavemet, yapışma gibi özelliklerini etkiler.



Şekil 3.2. Arabirim bağ mukavemetinin ölçülmesi

Arabirimde fiziksel ve kimyasal bağların ve takviye elemanının geometrisi oldukça önemlidir. Ayrıca arayüzeyi kuvvetlendirmek için kullanılan uyumlaştırıcı, kimyasal ajanlar birleştirme maddeleri kullanılarak takviye ve matris elemanın kimyasal yapısına uygun olarak seçilmelidir. Arabirimdeki yapışma; yüzeylerin şekillerine, arabirimi meydana getiren malzemelerin yapılarına, temas basınçlarına, yüzeylerde kalan elementlere, yüzeylerdeki fonksiyonel gruplara ve çalışma sıcaklığına bağlıdır (Taşgetiren S. 1999).

## 4. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

Doğada bulunan, çok eski zamanlardan itibaren kullanılan polimerik malzemelerin sentetik olarak eldesi 1924 yılında Hermann Staudinger'in Makromolekül teknoloji ile gelişmeye başlamıştır. Kolay şekillendirilebilir, metallere oranla düşük yoğunluk, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı polimer malzemelerin tercih edilmesine en büyük avantajlardır. Üstelik molekül yapıları değiştirilerek, kolay, hızlı ve ekonomik olarak üretilmelerini, katkı maddeleri (boya, alev geciktirici) kullanılarak farklı renk ve özelliklerinin geliştirilebilmesi endüstriyel kullanım için cazip hale getirir.

Birçok üstün özelliğinin yanı sıra düşük olan sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla polimer malzemeler ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. 1950'lerde itibaren polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmesi yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi pek çok özellik sağlamaktadır. Ayrıca metallerle karşılaştırıldığında çok daha hafif, dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle karşılaştırılabilecek özelliktedir. (Onat A. 2015)

Polimere önemli avantajlar kazandıran ve pek çok uygulamalar için ilgi çekici hale getiren bu özelliklerinin yanı sıra, mühendislik malzemesi olarak kullanımlarını sınırlayan özellikleri ise,

- a) Mekaniksel özellikleri zayıf, düşük mukavemetli malzemelerdir. Düşük gerilme altında kolayca deforme olur (termoplastikler) veya gevrek bir kırılma gösterirler (termoset plastikler). Bu nedenle yük taşıyıcı sistemlerde kullanılmazlar.
- b) Ergime sıcaklıkları ısı dirençleri ve kararlılıkları düşüktür.
- c) Kompozit malzeme tasarımının genel prensipleri ve amaçları çerçevesinde, plastiklerin yararlı özelliklerini geliştirmek için diğer yapı bileşenleri ile birleştirilerek kullanılmaları günümüz malzeme teknolojisinin hedeflerinden birini oluşturmaktadır (Chawla, K.K., 1987).

### 4.1. Polimer Kompozitlerde Matris ve Takviye

Polimerlerin kompozit yapılar içinde; kullanımı hem matris ve hem de takviye elemanı olarak kullanılabilir. Yapıyı oluşturan her bir bileşenin kendi başlarına sahip olmadığı özelliklere sahip kompozit malzemeler temelde; yapıyı bir arada tutan ve kompozit malzemenin maruz kaldığı kuvvetleri takviye malzemesine eşit oranda dağıtan, daha sünek bir ana fazdan ve yapıya rijitlik ve dayanım özelliklerini kazandıran daha gevrek bir takviye malzemesinin birleşmesiyle meydana gelmektedir. Kompozit malzeme yapısının daha iyi

anlaşılabilmesi için, yapıyı oluşturan matris ve takviye malzemelerinin ayrı ayrı incelenmesi konunun daha rahat kavranması açısından faydalı olacaktır (Sönmez M. 2009).

## **4.2. Matris malzemeleri**

Kompozitlerde ana fazı oluşturan matris malzemelerde polimerin kullanımı termoset ve termoplastik matrisler olarak iki şekilde kullanılmaktadır. Termoset ısıtıldıklarında sert ve rijit hale gelen, ısıyla tekrar şekillendirilemeyen çapraz bağlı polimerlerdir. Termoplastikler ısı ile eriyik hale gelebilen ve tekrar şekillendirilip kullanılabilen düz ve dallanmış polimerlerdir (Sönmez M. 2009).

### **4.2.1. Termoset Matrisler**

Polimer matrisli kompozitlerde, en çok kullanılan termoset esaslı malzemelerdir. Mukavemeti ve sıcaklığa karşı dayanımları yönünden termoplastiklerden daha üstündür. En çok kullanılan epoksiler, Polyester matrisler, Vinylester reçine matrisler, Fenolik reçine matrisler termoset matrisler olarak sınıflandırılır (Yıldızhan H. 2008).

### **4.2.2. Termoplastik Matrisler**

Termoplastik polimerlerde, termoset polimerlerde olduğu gibi sertleştirme işlemine gerek yoktur. Soğutulduklarında kendi sertliklerine ulaşması ile parça başına düşen maliyetlerin azalması, kuvvetli kimyasallara, petrol ürünlerine ve çevresel şartlara karşı dayanımları oldukça yüksektir.

Termoplastik matris malzemesine sahip kompozit ürünler karakteristiklerinden ve özellikle geri dönüştürülebilme özellikleri sayesinde giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır (Marsoğlu, M., 1986).

#### **4.2.2.1. Kompozit Endüstrisinde Yaygın Olarak Kullanılan Termoplastikler**

Polimerik kompozitlerde matris malzemesi olarak ve ticari anlamda en çok kullanılan termoplastik polimerler polietilen, polipropilen, polivinil klorür, akrilonitril bütadien stiren, poliasetal, poliamid ve polikarbonattır. Kompozit uygulamalarında giderek sayıları artan bu termoplastik matrislere ve özellikleri aşağıda anlatılmaktadır (Sönmez M. 2009).

**Polipropilen:** En hafif polimerlerden biridir. Yumuşama sıcaklığı 100°C derecenin üzerinde polietilene göre kimyasal aktifliği daha fazla olan maddedir. Bu sebeplerden ötürü polietilenin yerine kullanılırlar. Islak ortamlarda dahi elektrik iletkenliği düşük olması, mekanik özellikleri oda sıcaklığında iyidir. UV dayanımı düşük olması ve düşük

sıcaklıklarda çatlama riski olmasıdır. Otomotiv parçalarında, beyaz eşyalarda, petrokimya ve boru ürünlerinde tercih edilmektedirler (Saçak, M., 2010).

Polipropilen dünyadaki en yaygın ikinci plastik hammaddedir. Maliyet avantajı, sağlamlığı, kolay kalıba girmesi nedeniyle tercih edilir. Bunlarla beraber kimyasal yağ ve çözücülere karşı dayanıklılık, yüksek mukavemet, düşük sürtünme katsayısı, neme ve ısıya karşı dayanıklılığı diğer avantajlarıdır.

### **4.3. Takviye Malzemeleri**

Günümüzde polimer matrislerin takviye edilmesinde çok farklı malzemeler kullanılmaktadır. Polimer matrisli kompozitler deneysel çalışmalara diğer kompozit türlerinden daha uygun olduklarından bazı üretici, mühendis ya da tasarımcılar daha önce denenmemiş veya akla gelme ihtimali düşük malzemeleri polimerlere ilave ederek kompozit malzemenin, yeni tasarım ve uygulamaların sınırlarını zorlamaktadırlar.

Matris malzemesi olarak polimerlerin oturmuş ve süre gelen bir kullanım şekli olsada, takviye malzemelerinin henüz sınırlarına ulaşılmamış olması ve polimerler için sürekli yeni takviye malzemelerinin ortaya çıkmasına, polimer matrisli kompozitlerin gelecek için yeni uygulamaları ortaya çıkarabileceğinin örneğidir. Bu gibi yeni yaklaşımlar kompozit malzemeleri diğer geleneksel malzemelere göre farklı kılmaktadır.

Kompozitlerin ortaya çıktığı ilk yıllarda polimerleri takviye etmek için tekstil ve kumaş türevi malzemeler elde edilmekteydi. Zaman içerisinde çeşitlenen takviye malzemeleri üretimi ve üretim esnasında karşılaşılan problemler doğrultusunda, bağlayıcılar, kaplamalar ve kaydırıcılar gibi ek ilavelerle üretim prosesleri geliştirilmiştir (Saçak, M., 2010).

Kompozit bir malzemede takviye malzemesinden genel olarak beklenen, malzemenin maruz kaldığı yüklerin taşınması, kompozit malzemeye dayanım, sertlik, ısıl kararlılık ve diğer bazı yapısal özelliklerin kazandırılması ve kullanılan takviye malzemesinin cinsine de bağlı olarak yalıtım ya da elektrik iletkenliğinin sağlanması takviye malzemesinden genel olarak beklenen özelliktir. Malzeme türüne ve polimer morfolojilerine göre de sürekli (uzun), süreksiz (kısa) ya da parçacıklı yapıda takviye elemanları bulunmaktadır (Biron, M., 2007).

Polimer matrisli kompozitlerde cam elyaf, karbon elyaf, aramid, polietilen, naylon ve polyester en çok tercih edilen takviye malzemeleri arasındadır.

Takviye malzemeler, kompozit malzemeyi bir anlamda geliştiren, sağladıkları faydayı bir üst mertebeye taşıyan ve kompozit üretimini kolaylaştırmak için kullanılan malzemelerdir. Bu ilaveler, malzeme maliyetine ek bir yük getirirlerse, kazandırdıkları özelliklerden dolayı

daha pahalı polimerler yerine ucuzlarının kullanılmasına ve verimliliğın artmasına olanak sağladıkları için üreticiler tarafından tercih edilmektedirler (Sönmez M. 2009).

Bu çalışmada ise geleneksel polimer kompozit takviye elemanın dışına çıkarak daha farklı malzemeler elde etme düşüncesi ile nanopartikül bor bileşikleri (h-BN, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) içerikli polipropilen, TPU kompozit malzeme elde edilmesiyle numuneler elde edildi.



## 5. PARTİKÜL TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİ

Termoplastiklerin en büyük dezavantajlarından biri yüksek sıcaklıklarda yumuşama eğilimleridir. Bu olay meydana geldiğinde modül düşer ve zincirler yavaş yavaş sürünmeye başlar. Bu dezavantajın önüne geçebilmek için yapılan ilk çalışmalardan biri PP'nin talk ile takviye edilmesidir. Aslında termoplastiklerin mineral malzemeler ile takviye edilmesinin amacı modüllerinin, ısı altında deforme olma sıcaklıklarının yükselmesini sağlamaktır (Sönmez M. 2009). Başlar da üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla dolgu elemanı olarak kullanılan takviye elemanları daha sonraları teknolojinin ilerlemesi ile termoplastiklerin özelliklerini güçlendirmek amacı ile kullanılmaktadır. Önemli olan nokta takviye elemanının maliyeti termoplastik polimere kıyasla daha düşük ise, istenilen proses kabiliyeti ve ürün özelliklerini kaybetmeden mümkün olduğu kadar fazla miktarda takviye edilmelidir ancak; takviye elemanı termoplastik polimerden daha yüksek maliyetli ise istenilen özellikleri sağlayacak kadar az miktarda kullanılmalıdır (Saçak, M., 2010).

Partiküllerin özellikle inorganiklerin, polimer matrisinin yapısını dolayısıyla elde edilen kompozitin özelliklerini önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir.

Polimerlerin birçok özelliği moleküler ağırlığına bağlı ve bozunmayı sınırlandırıcı şartları belirlemede çok önemli rol oynar. Partikül takviyesi de polimerlerin bozunma miktarını önemli ölçüde etkiler. Bozunma etkisi proses esnasında mekanik etkileşme ve partikül polimer ara yüzeyindeki kimyasal etkileşim nedeniyle artmakta, özellikle aşırı kayma kuvvetlerinin olduğu yüksek viskozite durumu gibi partiküllerin yüksek takviye oranlarındaki şartlarda çok daha önemli rol alır. Polimerlerin özellikleri zincirlerinin şekil uygunluğuna da bağlıdır. Katı partiküllerin olduğu polimer ile partikül arasındaki etkileşim sonucu bu zincirlerin şekil uygunluğu önemli derecede etkilenecek, polimer moleküllerinin kendi çevrelerindeki şeklini kısıtlayacaktır. Yüksek partikül takviye oranlarında özellikle çok küçük boyutlularında, partiküller arası boşluklar neredeyse partikül boyutunu veya daha küçük değerleri alır (Saçak, M., 2010).

Bu malzemelerin özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden biri de polimerin kristallenme davranışıdır. İlave edilen partikül çekirdeklenme ajanı olarak görev yaptığı gibi kristalizasyonun termodinamik ve kinetik koşullarında değiştirmektedir. Sonuç olarak malzemedeki kristal modifikasyonu, kristalin birimlerinin boyutu ve kristalin fazın miktarı da değişebilir. Bu bağlamda yapılan çalışmalara örnek nano kil takviyeli PP kompozitlerinde kil partiküllerinin polimer matrisinin kristalizasyonu için çekirdeklenme ajanı olarak görev



yaptığı ancak lineer büyüme oranı ve kristallenme oranının önemli derecede etkilenmediği belirtilmiştir. PP polimerine takviye edilen talkın çok güçlü bir çekirdeklenme etkisi yarattığı birçok kez ispatlanmıştır. Herhangi bir takviye elemanının herhangi bir polimerin kristalizasyon davranışına olan etkileri ayrıntılı şekillerde araştırmalar yapılmıştır. Ancak takviye elemanı boyutu ve takviye miktarının polimerin kristalizasyon davranışı üzerine etkilerini inceleyip araştıran çok az çalışma mevcuttur (Maiti, P. vd... 2002).

Termoplastikler kompozitlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dolgu malzemeleri ile iyileştirilmesinde partikülün şekli, boyutu, dağılım durumu ve yüzey kimyası çok önemli rol oynamaktadır (Şahin, Y., 2006). Literatürde partikül parametrelerine bağlı olarak değişimlerini inceleyip araştıran birçok çalışma bulunmaktadır. Mekanik özellikler açısından genellikle çekme modülü (rijitlik), akma dayanımı ve kırılma tokluğu gibi değerler polimerlere kıyasla daha rijit yapıya sahip mikro veya nano boyuttaki inorganik partiküller ile polimerlerin çekme dayanımı ve modül değerlerinin artabileceği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Basan, S., 2013). Partikül boyutunun termoplastik kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine son derece önemli etkileri vardır. PP kompozitlerde belirli bir takviye oranında küçük boyutlu kalsiyum karbonat partiküllerinin yüksek dayanımlar sağladığı bulunmaktadır (Sönmez M. 2009).

Son yıllarda gelişen nano teknoloji ile birlikte nano partikül takviyeli termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiği görülmektedir. Partikül boyutunun azalması ile polimer kompozitlerin çekme dayanımlarının artacağını belirtirken partikül boyutunun çekme modülü üzerine pek etkisinin olmadığı yapılan çalışmalar sonuçlarında ortaya çıkmıştır (Çoban O. 2011).

Küçük katı partiküllerin malzeme yüzeyine tekrarlı darbeleri ile erozyonu sonucunda oluşan malzeme kaybı aşınma olarak adlandırılır. Ana proses olarak katı partiküllerin hedef malzeme yüzeyine çarpması ile oluşan mekanik darbe; erozyon esnasında karşıt malzemeler arasında oluşan termal, kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar da ikincil prosesler olarak gösterilebilir. Bu incelemelerde ilgi odağı olarak katı ve sıvı partikül erozyonuna maruz kalabilecek kompozitler uçak, taşıma ve proses endüstrilerinde kullanılmıştır (Patnaik A., vd... 2010). Kompozitlerin kullanıldığı tozlu ortamlara örnekler olarak, kum taşıyan boru hatları, petrol rafinesindeki çamurlar, helikopter pervane kanadı, pompa pervane kanadı, yüksek hızlı araçlar ve uçaklar, su türbinleri, uçak motor kanatları, roket parçaları, araç ön siperlikleri verilebilir.

Literatürde katı partikül erozyonunda iki tip erozyon modu tanımlanmıştır; darbe açısı ile değişen erozyon oranına bağlı olarak; gevrek ve sünek erozyon. Darbe açısı, aşındırıcı partiküllerin hareket yönü ile hedef malzeme arasındaki açı olarak tarif edilir. Erozyon oranının maksimuma ulaştığı tipik olarak 15°C-30°C gibi orta dereceli çarpma açılarında, hedef malzemenin vermiş olduğu tepki sünek olarak belirtilir; buna karşın eğer erozyon oranı artan çarpma açısı ile birlikte sürekli artıp dik çarpma açısı olan 90°'de maksimuma ulaşıyorsa, hedef malzemenin vermiş olduğu tepki gevrek olarak belirtilir (Patnaik A., vd., 2010).

Farklı tipteki polimer matrisli kompozitler için erozyon davranışındaki farklılıkların birincil sebebi olarak takviye elemanının miktarı, tipi, dağılımı ve özellikleri gösterilebilirken ikincil sebep olarak matris malzemesinin tipi ve özellikleri ile takviye elemanı ile aralarında oluşan bağlanma kalitesi gösterilebilir. Makine veya yapı bileşeni tasarımının ve aşınmayı azaltmak veya kontrol etmek için malzeme seçiminin her adımında aşınmaya yön veren yukarıdaki değişkenlerin etkileri iyi irdelenmelidir. Bu konu ile ilgili birçok çalışma mevcut olmasına rağmen daha hala açıklanamamış bir sürü soru vardır. Polimer kompozitlerin erozif aşınma davranışlarını araştıran çalışmaların birçoğu fiber takviyeli kompozitler üzerine ve çok azı da partikül takviyeli kompozitler üzerine yapılmıştır (Joni, I.M., vd., 2010).

Sertlik testi kolay yapılabilirliği ve tahribatsız oluşu nedeniyle malzemelerin mekanik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Polimer ve kompozitleri için en çok kullanılan sertlik test yönteminde sertlik değeri olarak malzeme yüzeyine batmaya çalışan yüke karşı konulan direnç alınır ki bu direnç değeri bir sayıdan ibaret olmak ile beraber tasarım sürecinde kullanılamaz. Polimerlerin yetersiz görülen özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan partikül takviyesi sonucu meydana gelen kompozit malzemenin arzu edilen özelliklerinin incelenmesinin yanı sıra özellikle mekanik özellikleri hakkında bilgi veren sertlik değerleri de araştırılmaktadır (Çoban O. 2011).

Genellikle sert partikül bileşeni takviyesi ile sünek polimer malzemenin gerilme-geçleşme tepkisi düşünüldüğünde gevrekleşeceği tahmin edilir. Ancak kırılma tokluğu söz konusu olduğunda kırılma davranışının ne kadar karmaşık olduğu ve sert partikül miktarının artması ile kırılma tokluğunun arttırılabileceği düşünülerek yapılan birçok çalışma literatürde bulunmaktadır. Partikül takviyesi ile polimer kompozitlerin kırılma tokluğu değerlerinin genellikle benzer şekilde etkilendiği görülmektedir. Kırılma olayına morfolojik açıdan bakıldığında partikül boyutunun özellikle daha ön plana çıkmaktadır. Kırılma, malzemede var olan bir çatlağın belirli bir kuvvet altında ilerlemesi ile malzemenin ayrılması olarak

tanımlanır ve burada en önemli nokta çatlağın ilerleyebilme kabiliyetidir. Çatlağın ilerleme kabiliyet ile kırılma tokluğu neredeyse doğru orantılıdır.

Morfolojik açıdan da kırılma tokluğunun arttırılması için çatlağın ilerleme kabiliyetinin azaltılması sağlanabilir. Bu nedenle takviye edilecek partikülün boyutu ne kadar büyük olursa çatlağın o partikül etrafında dolaşp yoluna devam etmesi geç olacaktır. Fakat burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise partikül ile matris arasında meydana gelen ara yüzeyin mukavemetidir.



## 6. KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ

Polimer kompozit mazlemeler üretimi elle yatırma, büskürtme, gibi birçok farklı şekillerde üretilebilir. Bu tez kapsamında ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Termoplastik matris kompozitler termoset matrisli kompozitlere göre birçok avantaj ve dezavantajları vardır (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).

### **6.1. Termoplastik Malzemelerin Ekstrüzyon ve Enjeksiyonda Kalıplama ile Üretimi**

Termoplastik malzemelerden ve bunların takviyeli kompozitlerinden ürün elde edilmesinde ekstrüder ve enjeksiyonda kalıplama en çok kullanılan yöntemdir. Bu iki yöntem birbirinden bağımsız şekilde üretim yapabildikleri gibi beraber de ürün elde edilmesinde kullanılabilir.

Bu üretim yönteminde küçük granül halindeki termoplastik ham madde besleme hunisine ve polimerin erime sıcaklığına göre ayarlanan ekstrüderin ısıtıcı haznesi (kovan) içine doğru gönderilir. Ergimeye başlayan termoplastik malzeme vidaların döndürülmesi ile ilerlemeye zorlanır.



**Şekil 6.2.** 16 mm Çapında Çift Vidalı Extruder

Vidaların dönmesi esnasında vidaların tasarımına bağlı olarak malzemeye uygulanan kayma kuvvetleri sayesinde hem ilerleme hem de karışma olayı meydana gelmektedir. Eriyerek karışan ve ilerleyen malzeme vidalı bölümden geçerek istenilen ürün şekline göre tasarlanan bir kafadan geçerek profil halinde katılaştırılır ve istenilen boyutlarda kesilerek granül haline dönüştürülür.

Bu çalışmada kullanılan ekstrüzyon makinesi kullanılan küçük laboratuvar tipi cihaz Şekil 6.2.' de gösterilmektedir.

Termoplastik polimer ekstrüzyonu başlı başına üretim yapılabilen bir prosestir. Ancak bunun yanında “karıştırma ekstrüzyonu” (compound extrusion) olarak bilinen benzer bir proses de termoplastik malzemelerin enjeksiyonla kalıplanması için kompozit karışımın üretilmesi prosesidir. Bu proseste bir veya iki polimerin karıştırılması veya takviyeli polimerlerin üretilmesi işlemleri gerçekleştirilir. Karıştırma ekstrüzyonunda sürekli üretimden çok grupça üretim söz konusudur ve makinenin ağızından çıkan eriyik malzeme sıcak haldeki bir iletim ünitesi ile enjeksiyon cihazına aktarılır ve ikinci proses olan kalıplama işlemi enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilir. Bu makinelerde çift vidalı karıştırma işlemi uygulanır. Yine aynı şekilde bu makinelerin da boyutları laboratuvar tipinden endüstriyel tiplere kadar değişmektedir.

Enjeksiyon kalıplama ile üretim termoplastik polimer ekstrüzyonuna benzer üretim işlemlere sahiptir. Ekstrüzyonda olduğu gibi enjeksiyonlu kalıplamada da malzeme besleme hunisi konulan malzeme ısıtılan haznesine yani kovana yerleştirilirken bir yandan da ergimeye başlayan malzemenin hem karışmasını hem de ilerlemesini sağlayan vidalar dönme hareketini gerçekleştirir. Eriyik haldeki malzeme bu sefer ekstrüzyondakinin aksine profil halinde sürekli hat olarak değil, granür halindeki kompozitlerin istenilen boyutlardaki parçalar için tasarlanan kalıpların içine basılıp soğutulması halinde numuneler elde edilir. Bu işleme uygun kalıplar sertleştirilmiş çelikten üretilen malzemeler kullanılmaktadır (Çoban O.2011).



**Şekil 6.2.** Enjeksiyon Makinası

Bu çalışmada ekstrüzyon makinesi küçük laboratuvar tipi cihaz (Şekil 6.1.), enjeksiyon makinası (Şekil 6.2.) kullanılarak farklı bor bileşikleri (h-BN veya B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ilavesi ile PP/TPU nanokompozitleri elde edilmiştir.

Literatürde termal ve mekanik özelliklerinin incelendiği PP ve bor nitrür kompozitleri (Cheewawuttipong,2013), kil mineralleri ile TPU kompozitleri (Atagül, 2016), PP/TPU kompozitlerinde maleik anhidrit (uyumlaştırıcı)'in etkisinin incelendiği (Savaş S, 2017) çalışmalar bulunmaktadır. Fakat PP/TPU matris malzemeleri ile takviye malzemesi olarak farklı bor bileşikleri (h-BN veya B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) içeren nanokompozitlerinin yapısal, mekanik, termal ve morfolojik özelliklerinin incelendiği ve karşılaştırıldığı herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

## 7. MATERYAL VE YÖNTEM

Farklı oranlarda h-BN, bor oksit içeren ve PP – TPU kompozitleri ekstrüderde granür haline getirilerek istenilen şekil ve boyutlara enjeksiyon makinası ile hazırlandı. Numunelerin karakterizasyonunda yapısal analizi (FT-IR), termal (DSC ve TGA), mekanik (Germe-Çekme, DMA, Üç nokta eğme), ve Shore-D sertlik değerleri ve morfolojik (SEM) analizleri yapılarak özellikleri incelendi.

### 7.1. Materyal

Polipropilen üretici firma LyondellBasell, Termoplastik poliüretan üretici firma Enplast dan, Polipropilen maleik anhidrit Exxon Mobil Chemical firmadan temin edilmiştir.

#### 7.1.1. Polipropilen (PP)

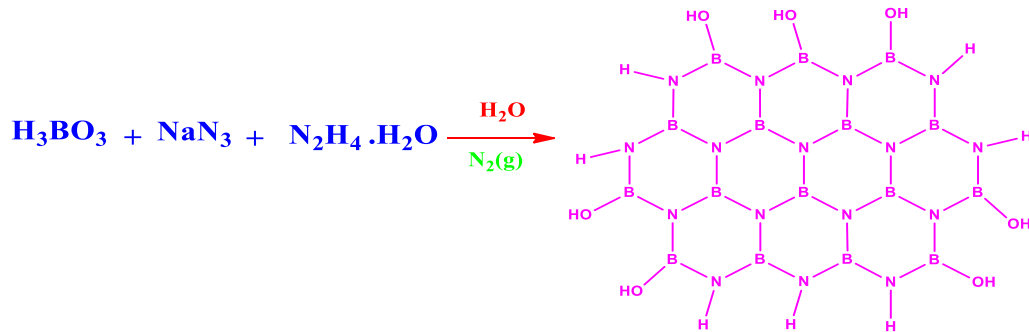
LyondellBasell marka Moplen HP551R ticari kodlu bir homopolimerdir. 0,94 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk ve Eriyik Akış Hızı (230 °C / 2.16 kg) 25 g/10 min. değerine sahiptir. Yumuşama sıcaklığı 153 °C ‘dir. Eğilme modülü 1350 MPa’ dır.

#### 7.1.2. Termoplastik Poliüretan (TPU)

Marka ismi Ravathane® olan Termoplastik Poliüretan kullanılmıştır. Yoğunluk 1,19 g/cm<sup>3</sup> olan işleme sıcaklığı 180 - 200 °C ve max. Servis sıcaklığı 100 °C dir.

#### 7.1.3. h-BN (hegzagonal Bor Nitrür)

Lin ve ark.’nın h-BN sentezine göre; Dr. Fatih ÖZCAN tarafından laboratuvarında sentezlenmiştir. 1mol KBH<sub>4</sub> (Potasyum Bor Hidrür) ve 0.15 mol NH<sub>4</sub>Cl (Amonyum Klorür)100 ml H<sub>2</sub>O içerisinde 48 saat kaynatıldı, 48 saatin sonunda H<sub>2</sub>O evaporatör ile uzaklaştırıldı. Oluşan çökelek 100 °C de etüvde kurutuldu. Kuru partiküller yaklaşık 1250 °C sıcaklıkta N<sub>2(g)</sub> gazı atmosferinde tüp fırın içinde 10 saat Piroliz işlemine tabi tutuldu. Yaklaşık 70-80 nm boyutunda h-BN elde edilmiştir (Liang-xu Lin, vd., 2007).



Şekil 7.1. h-BN Yapısının Gösterimi

#### **7.1.4. PP-g-MA Uyumlaştırıcı**

Marka ismi Exxelor PP 1020 olan Poliprolen Maleik Anhidrit uyumlaştırıcı kullanılmıştır. Yoğunluk  $0,9 \text{ g/cm}^3$  ve Eriyik Akış Hızı ( $230 \text{ }^\circ\text{C} / 2.16 \text{ kg}$ )  $430 \text{ g/10 min.}$  değerine sahiptir. Pik erime sıcaklığı ise  $162 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

### **7.2. Aletler ve Cihazlar**

#### **7.2.1. Çift Vidalı Ekstrüder**

Kompozit granüllerin hazırlanmasında  $16 \text{ mm}$  çapında Vida boyu (L/D) oranı 24 'dür. Markası "Gülner Plastik Makinaları "olan Erciyes Üniversitesi ERNAM laboratuvarındaki ekstrüder kullanılmıştır. Ekstrüzyon hattında soğutmak için taşıma bandı ve su banyosu sistemi kullanıldı. Daha sonra granül haline getirmek için polimer kırıcı makinası kullanıldı.

#### **7.2.2. Enjeksiyon Kalıp**

Ekstrüderden üretilen granüllerin istenilen şekil ve boyutta numuneler elde edilmesinde XPlore IM 12 mikro enjeksiyon cihazı kullanıldı. Enjeksiyon memesi  $20 - 240 \text{ }^\circ\text{C}$  arasında ısıtılarak kalıp içerisine max.  $1800 \text{ barda}$  değişebilen kalıplar ile istenilen şekil ve boyutlarda numuneler elde edildi.

#### **7.2.3. FT-IR Spektrometresi**

Kompozitlerin yapı analizi; Perkin Elmer 400 FT-IR/FT-FIR Spectrometer Spotlight 400 Imaging System model FT-IR/FT-ATR cihazında yapılmıştır.

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

Elde edilen kompozitlerin erime sıcaklıkları ( $T_m$ ), kristalleşme sıcaklığı ( $T_g$ ), erime entalpisi ( $\Delta H_m$ ) ve kristalleşme entalpisi ( $\Delta H_c$ ) Perkin Elmer DSC 400 marka diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) kullanılarak elde edildi. Kompozitlerin analizleri  $-50 \text{ }^\circ\text{C} / 400 \text{ }^\circ\text{C}$  çalışma aralığında,  $10 \text{ }^\circ\text{C/dakika}$  ısıtma hızında, azot atmosferi altında 1. Ve 2. Çekim olarak yapıldı.

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

Kompozitlerin termal bozunma ve yüzde kütle kayıp değerleri  $15-900^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığında,  $\text{N}_2$  (azot) atmosferinde ve  $10^\circ\text{C/dk}$  ısıtma hızında Seiko SII TG/DTA 7200 model termogravimetrik analiz cihazı ile kaydedildi.



### **7.2.6. Dinamik Mekanik Analiz Cihazı (DMA)**

10.52x7.20x2.96 mm boyutlarındaki numuneler N<sub>2</sub> atmosferinde, 1 Hz frekansta, 1 N uygulama kuvvetinde, % 0.5 statik gerilim (-50 °C)-(200 °C) sıcaklıkları arasında 3 °C ısıtma oranında, PERKIN ELMER DMA 8000 cihazı kullanılarak yapıldı. Numunelerin elastik özelliklerini, viskoelastik özellikleri, camsı geçiş sıcaklıkları sırası ile storage modülüs (E'), loss modülüs (E'') ve tan  $\delta$  (E''/ E') değerleri ile incelendi.

### **7.2.7. Çekme-Germe Test Cihazı**

80mm x 102,5mm x 40mm boyutlarındaki numuneler 50mm/min hızında Shimadzu AG-XD 50 kN çekme-germe test cihazı kullanılarak yapıldı.

### **7.2.8. Scanning Electron Microscopy (SEM) Cihazı**

Numunelere altın kaplama yapılarak 5 eksen motorize kartezyen kontrolü (X=100mm, Y=120mm, Z=60mm, Tilt=0-90°, Dönme=360°) ile çalışan Leo 1430 VP marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı kullanılarak yapıldı. Kompozit numunelerin yüzey ve kesitleri 500X, 1.00KX, 5.00KX ve 10.00KX büyütmelemlerde incelendi.

### **7.2.9. Sertlik Ölçüm Cihazı**

Kompozit malzemelerin sertliği ISO 868 Standardına göre Shore-D sertlik test cihazı kullanılarak ölçüldü.

## **7.3. Yöntem**

### **7.3.1. Numunelerin Hazırlanması**

Bileşimler Tablo 7.1.'de gösterilen yüzdelik oranlarına göre hassas terazi ile ölçüm yapılarak hazırlanmıştır. Homojen karışımlar elde edebilmek için beher içerisinde yaklaşık 10 dakika manuel karıştırıldı. Daha sonra polipropilen, termoplastik poliüretan, h-BN ve uyumlaştırıcı (PP-g-MA) içeren hazırlanan karışımlar birlikte dönen çift vidalı ekstrüder de granül hale getirildi.

**Tablo 7.1.** Numunelerin %'lik Bileşimleri

<b>Numuneler %'lik Oranları</b>					
<b>Numune Kodu</b>	<b>PP</b>	<b>TPU</b>	<b>h-BN</b>	<b>h-BN</b>	<b>Uyumlaştırıcı PP-g-MA</b>
<b>%PP MKC-1</b>	% 100	-	-	-	-
<b>%PP+%h-BN MKC-2</b>	% 100	-	% 2	-	-
<b>%PP+%h-BN MKC-3</b>	% 100	-	-	% 4	-
<b>%PP+%TPU+%h-BN MKC-4</b>	% 75	% 25	% 2	-	% 10
<b>%PP+%TPU+%h-BN MKC-5</b>	% 75	% 25	-	% 4	% 10
<b>%PP+%TPU+%h-BN MKC-6</b>	% 50	% 50	% 2	-	% 20
<b>%PP+%TPU+%h-BN MKC-7</b>	% 50	% 50	-	% 4	% 20
<b>%PP+%TPU+%h-BN MKC-8</b>	% 25	% 75	% 2	-	% 30
<b>%PP+%TPU+%h-BN MKC-9</b>	% 25	% 75	-	% 4	% 30
<b>%TPU MKC-10</b>	-	% 100	-	-	-
<b>%TPU+%h-BN MKC-11</b>	-	% 100	% 2	-	-
<b>%TPU+%h-BN MKC-12</b>	-	% 100	-	% 4	-
<b>%PP+%TPU+%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> BCK-5</b>	% 75	% 25	% 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		% 10

### 7.3.2. Ekstrüzyon ve Proses Parametreleri

Tablo 7.1.'de belirtilen homojen karışımlar ekstrüderin besleme haznesine manüel olarak beslendi. Homojen karışımlar, vidalı (kovan) bölümden homojen karışım ve eriyik halde ekstrüzyon kafa kısmındaki kalıp vasıtasıyla ekstrüder çekme işlemi gerçekleştirildi ve su banyosu içinde soğutma işlemi yapıldı. Lif halindeki kompozitler peletleyici ile granür haline getirildi. Ekstrüderin çalışma sıcaklığı, vida hızı gibi bilinen işlem parametreleri son ürünün özelliklerini etkilemektedir. Bu çalışmada kullanılan sıcaklık değerleri için tercih edilen sıcaklık profili 50°C / 180°C / 185°C / 190°C / 185°C / 180°C ' dir. Eriyik sıcaklık ise 179,5°C olarak cihazdan okunmuştur. Vida hızı, h-BN (bor oksit) dağıtılması için 500 dev/dak olarak belirlendi. Numune özelliklerinin olumsuz etkilememesi için tüm işlem parametreleri sabit tutuldu. Granür hale getirilen kompozit numunelerin fotoğrafları Şekil 7.2.'de verildi.



Şekil 7.2. Granür haldeki kompozit numuneler

### 7.3.3. Enjeksiyon Kalıplama ve Proses Parametreleri

Enjeksiyon kalıplama akışkan haldeki polimerin kalıp içerisine doldurulmasıyla şekillenen polimerin soğutulduğu bir süreçtir. Bir plastik enjeksiyon makinesi çoğunlukla kalıp, sıkma ünitesi ve enjeksiyon ünitesi olmak üzere üç kısımdan oluşur. Granül halindeki numuneler enjeksiyon eritme bölümüne konulur. Ergime işlemi süresi genel olarak 4 dakika olan bu bölümde numunelerin erimesi gerçekleştirilir. Erimiş haldeki numuneler basınç ile birlikte kalıp boşluğuna itilerek istenilen şeklini alması sağlanır. Erimiş plastiklerin soğuması için kalıp kapalı halde bir süre beklenilir ve soğuma işlemi gerçekleşince numune kalıp içerisinden çıkartılır. Bu prodesteki işlem parametreleri makine kovan sıcaklığı 210°C ve kalıp sıcaklığı ise 25°C olarak çalışıldı. Şekil 7.3.' de istenilen boyut ve şekildeki üretilen kmpozitlerin fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 7.3. Kalıplanan numunelerin görüntüleri

## 8. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında Tablo 7.1' de verilen formülasyonlara göre kullanılan PP/TPU ve h-BN (veya B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozitleri hazırlandı. Karşılaştırma amacıyla %100 PP, h-BN/PP ve %100 TPU, h-BN/TPU kompozitleri hazırlandı. Üretilen bu kompozitlerin yapısal özellikleri FT-IR spektroskopi, termal özelliklerini TGA ve DSC, morfolojik değerlendirmesini SEM, mekaniksel özellikleri germe-çekme, DMA analizleri ve shore- D sertlik değerleri elde edildi.

### 8.1. Kompozitlerin Yapısal Özellikleri

#### 8.1.1. FT-IR Analizleri

FTIR spektroskopi ile kompozitlerin yapısal özellikleri Bölüm 7.2.3'de açıklandığı gibi yapıldı. Bu çalışmada elde edilen kompozitlerin karşılaştırılmalı spektrumları sırasıyla Şekil 8.1, Şekil 8.2, Şekil 8.3, Şekil 8.4 'de gösterildiği gibidir. Ayrıca her bir kompozit numunelerin FTIR spektrumları EK-1' de verilmiştir.

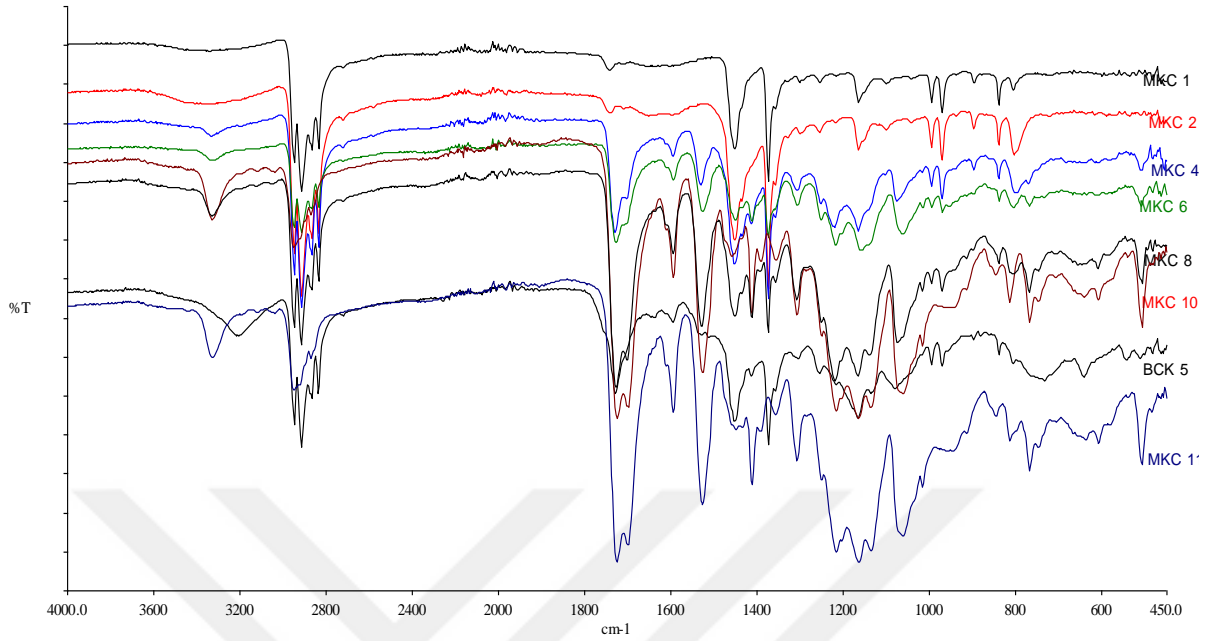
Ek1 Şekil 8.1.' de gösterilen polipropilenin FT-IR spektrumunda 2917 cm<sup>-1</sup> dalga boyunda sp<sup>3</sup> gruplarından gelen karbon hidrojen (C-H) bağımlı gösteren keskin pik, 1452.7 cm<sup>-1</sup> CH<sub>2</sub> deformasyonuna ait pik, 1375.8 cm<sup>-1</sup> de simetrik CH<sub>3</sub> pikleri gözlenmiştir. Ayrıca 1166 cm<sup>-1</sup>, 997.2 cm<sup>-1</sup>, 972 cm<sup>-1</sup> de görülen piklerde PP'ye aittir.

Termoplastik poliüretanların FT-IR spektromunda literatürde (Gu, Y.L., vd,2007) belirtildiği gibi TPU'nun sert katmanlarının içerdiği NH ve C=O grupları birbiriyle etkileşebilir ve bu yapılar moleküller arası hidrojen bağı oluşturabilirler. Bu nedenle, NH (3500–3000 cm<sup>-1</sup>) ve C=O (1800–1640 cm<sup>-1</sup>) gerilme titreşimlerine ait pik değerleri oldukça büyük önem arz eder. NH ve C=O piklerinin ikisi de sırasıyla hidrojen bağı ve serbest gruplarının üst üste binen piklerine katkıda bulunabilirler. Karbonil absorpsiyonunun iki piki serbest karbonil gerilme titreşimlerini ifade eden 1710 cm<sup>-1</sup> piki ile hidrojen bağı olan ise 1730 cm<sup>-1</sup> piki ile de tanımlanabilir. Termoplastik poliüretan içeren kompozit malzemelerde de bu keskin piklerin görülmesi ile oluşan bağların belirginliğini göstermektedir.

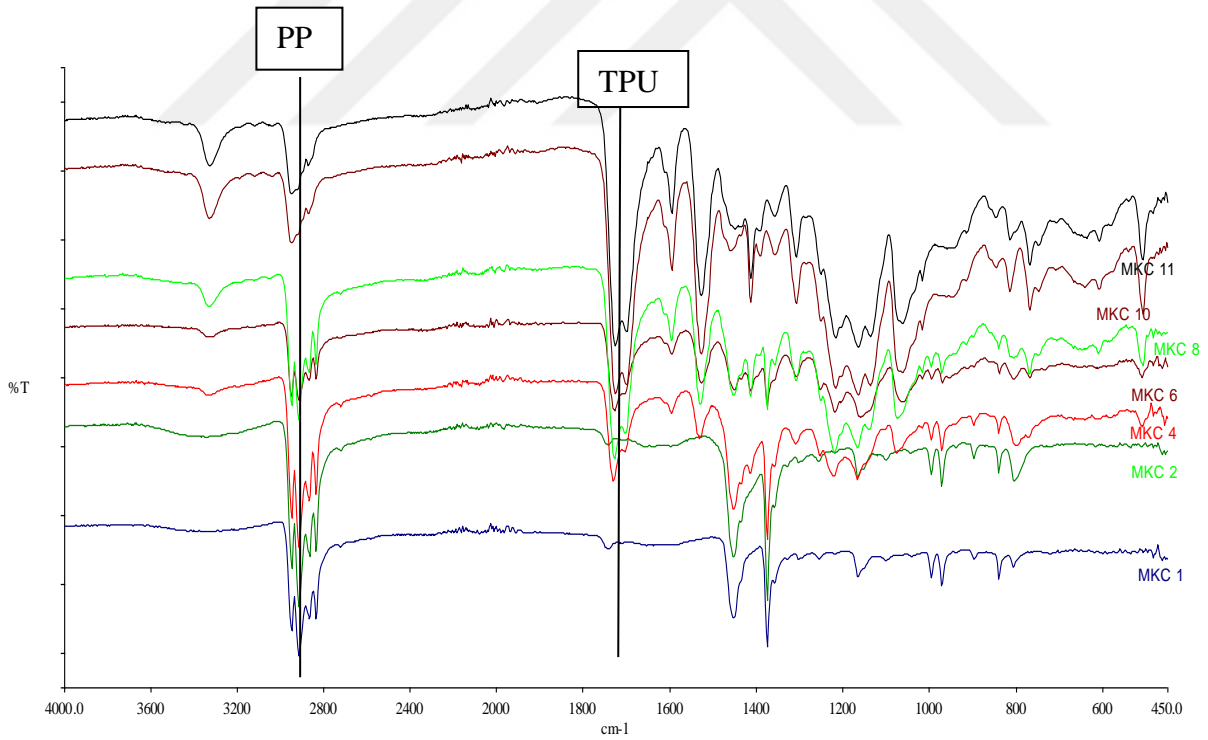
Bu çalışmada elde edilen poliüretanların FT-IR analizleri yapıldı. Elde edilen poliüretan örneklerinde, 3330.7 cm<sup>-1</sup> dalga boyunda -NH, 1725 cm<sup>-1</sup> civarında dalga boyunda poliüretan yapısında bulunan -C=O (karbonil grubu), 1527 cm<sup>-1</sup> civarında -NH bükülmesinden oluşan pikler görülmesi ile karakteristik poliüretan piklerini göstermektedir.

EK 1'deki grafikler incelendiğinde h-BN pikleri 1330 cm<sup>-1</sup> ve 770 cm<sup>-1</sup> geçirgenlik bandı dolayında iki kuvvetli karakteristik pik tespit edilmiştir. 1330 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

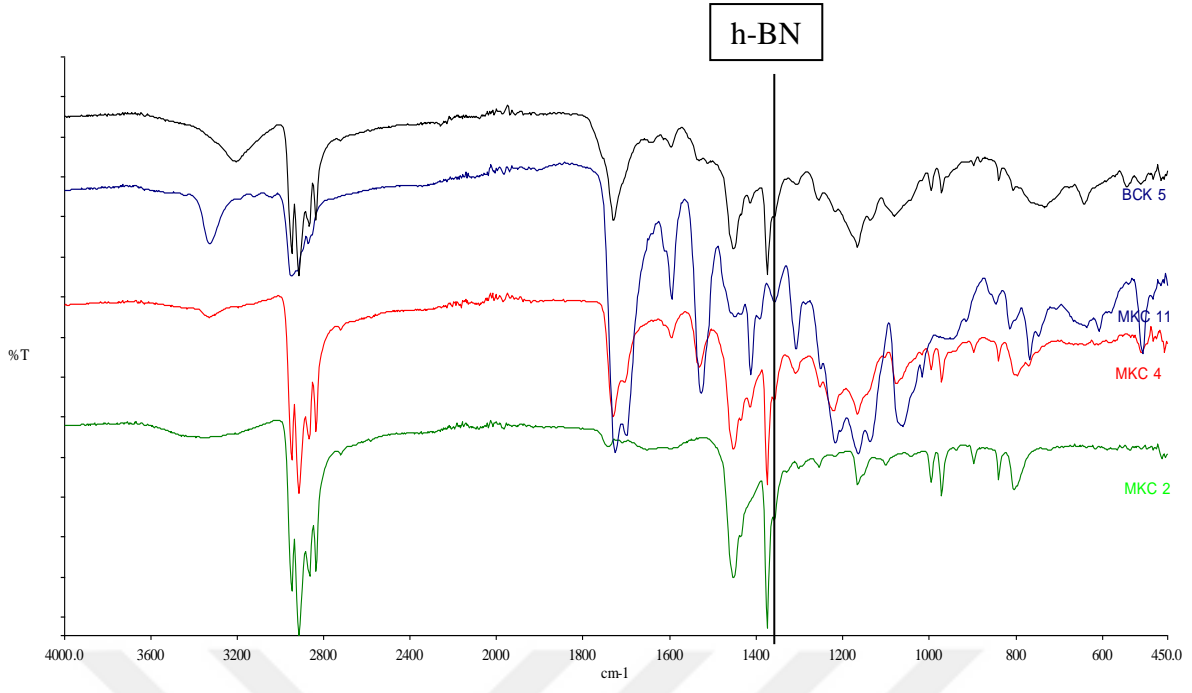
kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlarla literatürde (Mendelovici, E. Ve ark) tespit edilen sonuçlara uyum sağlanmıştır.



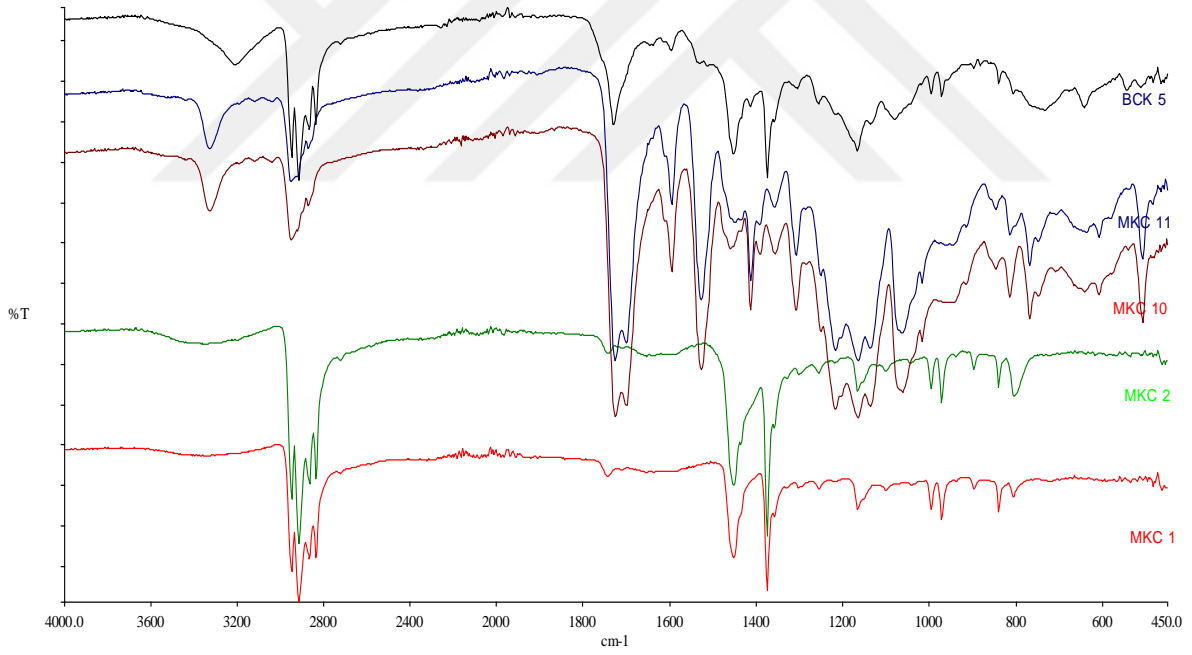
Şekil 8.1. Kompozit Malzemelerin FT-IR Analizlerinin Grafiği



Şekil 8.2. h-BN İçeren FT-IR Analizlerinin Grafiği



**Şekil 8.3.** %2 h-BN ve %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İçeren FT-IR Analizlerinin Grafiği



**Şekil 8.4.** %2 h-BN İçeren FT-IR Analizlerinin Grafiği

## 8.2. Termal Özellikler

### 8.2.1. DSC Analizi

Kompozit numunelerin Diferansiyel tarama kalorimetresi testi, Bölüm 7.2.4'de açıklanan prosedüre göre yapıldı ve analiz sonuçları Tablo 8.1. de gösterilmektedir. Her bir numune test sonuçlarının grafiksel gösterimi EK-2 de verilmiştir.

Tablo 8.1. de verilen DSC analiz sonuçlarına göre MKC-1 kodlu saf polipropilen içeren numunenin erime sıcaklığı 171 °C. %2 h-BN içeren polipropilen de ise yaklaşık 1 °C (170 °C), %4 h-BN içeren polimer kompozitte ise 2 °C (169 °C) düşüş gözlenmiştir.

%2 h-BN içeren kompozitlerin her birin PP-TPU oranı arttıkça (%25) 1,1 °C ile 2,3 °C arasındaki değişen oranlarda erime noktalarında düşüş gözlenmektedir. Benzer şekilde ise %4 h-BN içeren kompozitlerin her birinde PP-TPU oranı arttıkça (%25) erime noktalarında 1 °C ile 1,5 °C arasındaki değişen düşme değerleri gözlenmektedir.

Ancak %2 h-BN içeren %75 PP+%25 TPU kompozitin erime noktası 166,78 °C iken, farklı bir bor bileşiği olarak %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren %75 PP+%25 TPU kompozitin erime noktası 167,89 °C olarak gözlenmiştir.

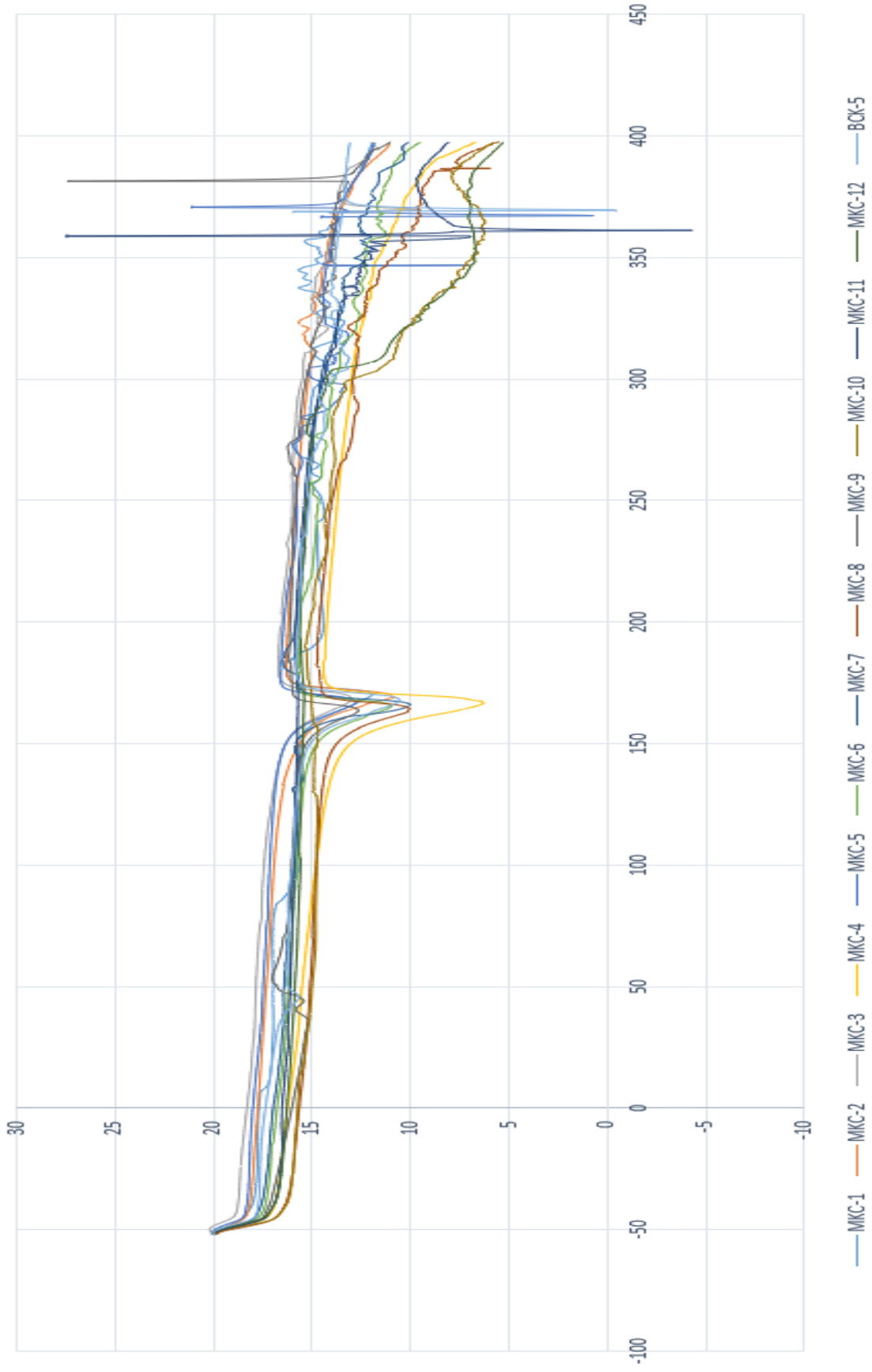
Bu çalışmadaki sonuçlarda (Şekil 8.5) bahsedilen literatür bilgileriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Örneğin Cheewawuttipong ve ark. PP ve PP/BN kompozitlerinin 2. ısıtmada komşu erime sıcaklıklarının sahip olduğu görülmektedir. Erime sıcaklıkları PP ve h-BN kullanılan kompozitlerde BN içeriğinin artmasıyla ΔH erime entalpi pik alanının azaldığını göstermekte ve erime sıcaklığı arttığı görülmektedir.

Kostoglou ve ark. çalışmalarında ise DSC eğrilerinde 1000°C altında herhangi bir h-BN piki gözlenmediğini fakat 1000-1200 °C arasında spesifik ekzotermik pikin görüldüğünü belirtmektedir. Bu h-BN oksidasyonla B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dönüşümünü doğrulamaktadır. Bu çalışmada DSC sıcaklıklarının 400 °C üzerine çıkılmadığı için bu pikler gözlenmemiştir.



**Tablo 8.1.** Kompozitlerin DSC Analiz Sonuçları

<b>Numune Kodu</b>	<b>T<sub>m1</sub> (°C)</b>	<b>ΔH<sub>m1</sub> (J/g)</b>
% 100 PP <b>MKC 1</b>	171	-60,23
% 100 PP + % 2 h- BN <b>MKC 2</b>	169,04	-75,23
% 100 PP + % 4 h- BN <b>MKC 3</b>	168,19	-71,02
% 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN <b>MKC 4</b>	166,77	-66,24
% 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN <b>MKC 5</b>	167,27	-59,22
% 50 PP + % 50 TPU + % 2 h- BN <b>MKC 6</b>	165,5	-48,32
% 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN <b>MKC 7</b>	165,83	-34,13
% 25 PP + % 75 TPU + % 2 h- BN <b>MKC 8</b>	164,4	-31,19
% 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN <b>MKC 9</b>	163,67	-35,07
% 100 TPU <b>MKC 10</b>	-	-
% 100 TPU + % 2 h-BN <b>MKC 11</b>	-	-
% 100 TPU + % 4 h-BN <b>MKC 12</b>	-	-
% 75 TPU + % 25 TPU % 2 B2O3 <b>BCK 5</b>	167,88	-50,45



**Şekil 8.5.** Kompozitlerin DSC Eğrileri

### 8.2.2. TGA Analizi

Elde edilen kompozit malzemelerin Bölüm 7.2.5’ de belirtilen prosedür izlenerek yapıldı. %100PP, %100TPU ve farklı oranlardaki kompozitlerin sonuçları Tablo 8.2. de ve karşılaştırılmalı TGA eğrileri Şekil 8.6, Şekil 8.7 ve Şekil 8.8’de gösterilmektedir. Üstelik kompozit numunelerin ayrı ayrı test sonuçlarının grafiksel gösterimi EK-3’ te verilmiştir.

Şekil 8.6.’de ve Tablo 8.2.’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 PP ve Saf TPU’ nun sonuçlarına bakıldığında ve bu malzemelerin içerisine konulan h-BN oranının artması ile bozunma sıcaklıklarının düştüğü gözlenmekte ve h-BN artması ile ağırlık kaybı %5 oranında azalmaktadır.

PP ve TPU matris malzemeden oluşan ve %2 h-BN içeren kompozit numuneler incelendiğinde (Tablo 8.2. ve Şekil 8.7. ’de), PP oranı azalıp TPU oranı artan numunelerde; iki ayrı bozunma sıcaklığı gözlenmekte olup, %75 PP + %25 TPU + %2 h- BN kompozitinde 1. ve 2. bozunma sıcaklıkları sırasıyla 278- 411 °C, 434-484 °C olarak bozunma sıcaklıklarında düştüğü gözlenmektedir. Benzer şekilde %50 PP + %50 TPU + %2 h- BN kompozitinde de 1. ve 2. bozunma sıcaklıkları sırasıyla 242-407 °C, 434-487 °C’ye düştüğü gözlenmektedir. Fakat TPU oranı %75 olan kompozit malzemede bozunma sıcaklığı 272 – 408 °C artış gözlenmektedir.

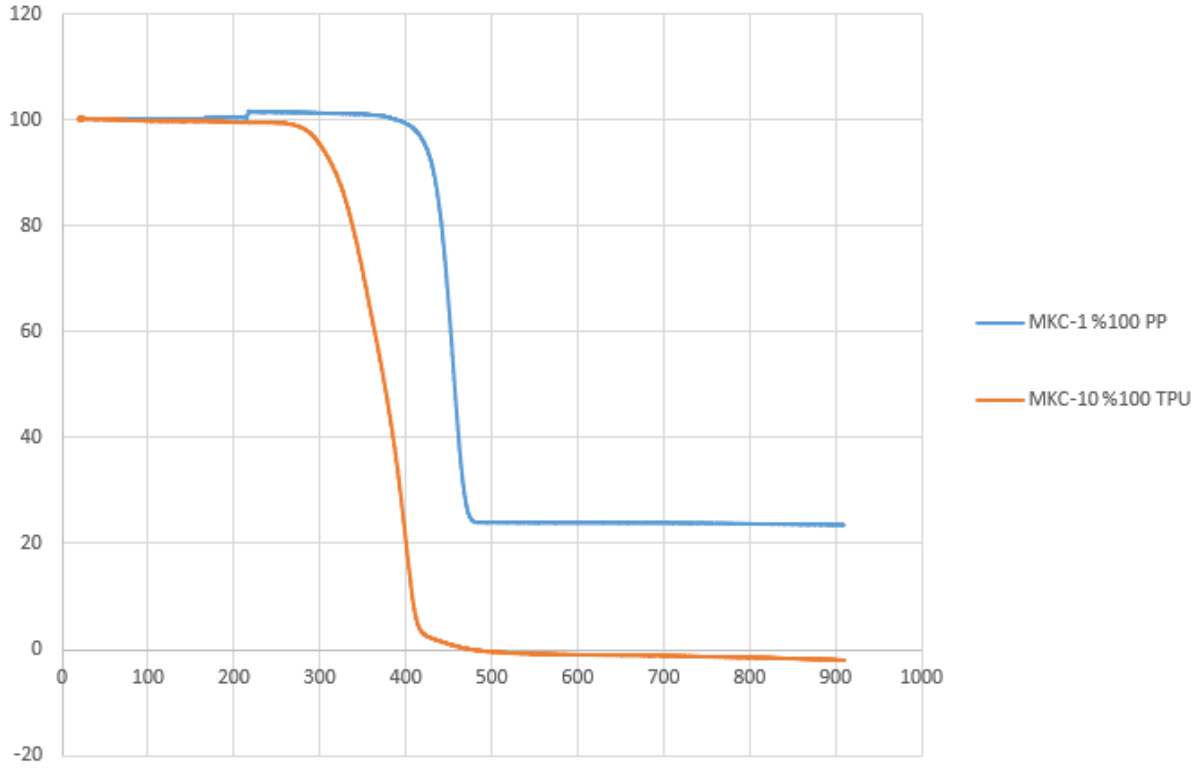
PP ve TPU matrisli malzemelerin ve %4 h-BN içeren kompozit numuneler incelendiğinde (Tablo 8.2. ve Şekil 8.8.’de) PP oranı azalıp TPU oranı artan numunelerde (278 - 395 °C den 205 - 406 °C ye) bozunma sıcaklıklarında düşüş gözlenirken, TPU oranı %75 olan kompozit malzemede bozunma sıcaklığı (268-417 °C) yükseliş gözlenmektedir.

Numunelerde h-BN oranının %2 h-BN den %4 h-BN oranında arttığında bozunma sıcaklıklarının; %100 PP + %2 h- BN kompozitinin 357-482 °C’den %100 PP + %4 h- BN 276-477 °C’ye düştüğü görülmektedir. Benzer şekilde elde edilen diğer kompozit numunelerde de h-BN artması ile bozunma sıcaklıklarının düştüğü görülmektedir.

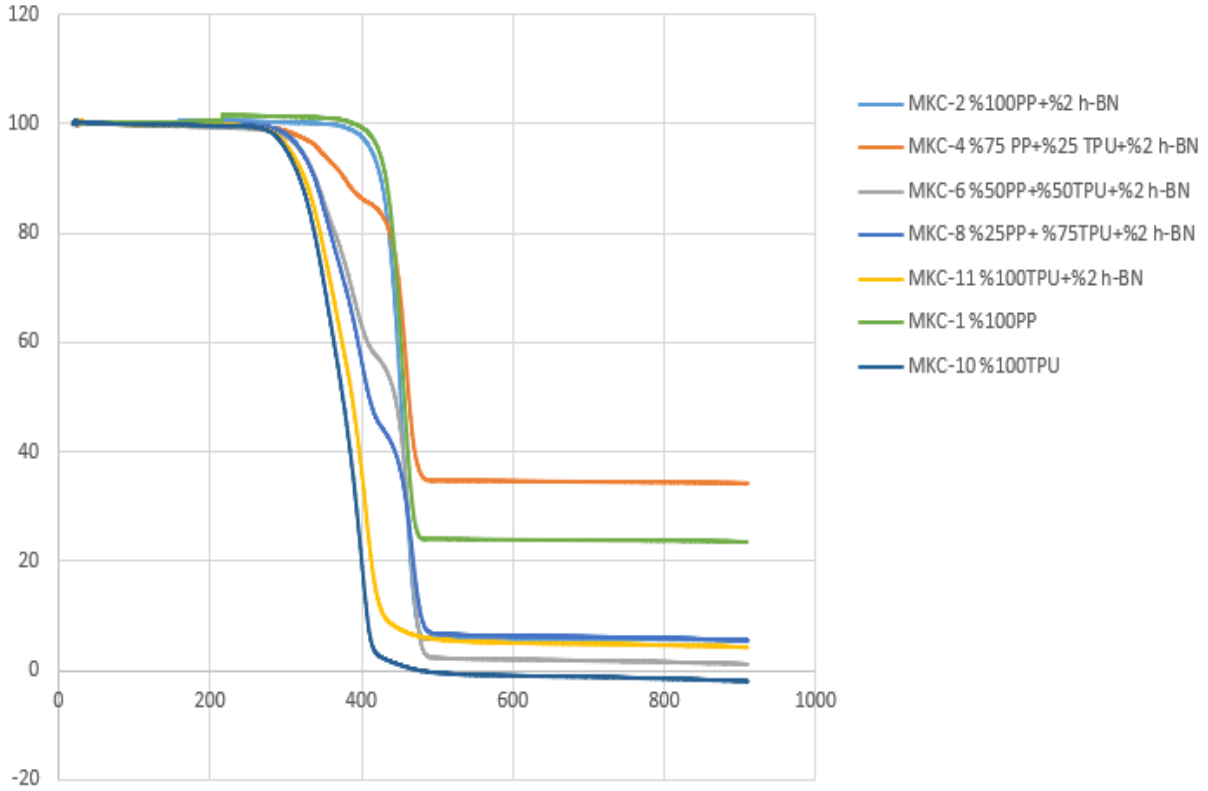
Ayrıca %2 h-BN içeren %75 PP + %25 TPU + %2 h-BN kompozit ile farklı bir bor bileşiği olarak %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren %75 PP + %25 TPU %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit numuneleri karşılaştırıldığında; %75 PP + %25 TPU %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin bozunma sıcaklığının daha düşük sıcaklık değerlerinde başladığı görülmektedir. %75 PP + %25 TPU + %2 h-BN 278 °C ‘de başlayan bozunma sıcaklığının, %75 PP + %25 TPU %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinde 210 °C’ye düştüğü (Şekil 8.9) görülmektedir.

**Tablo 8.2.** Numunelerin TGA Analiz Sonuçları

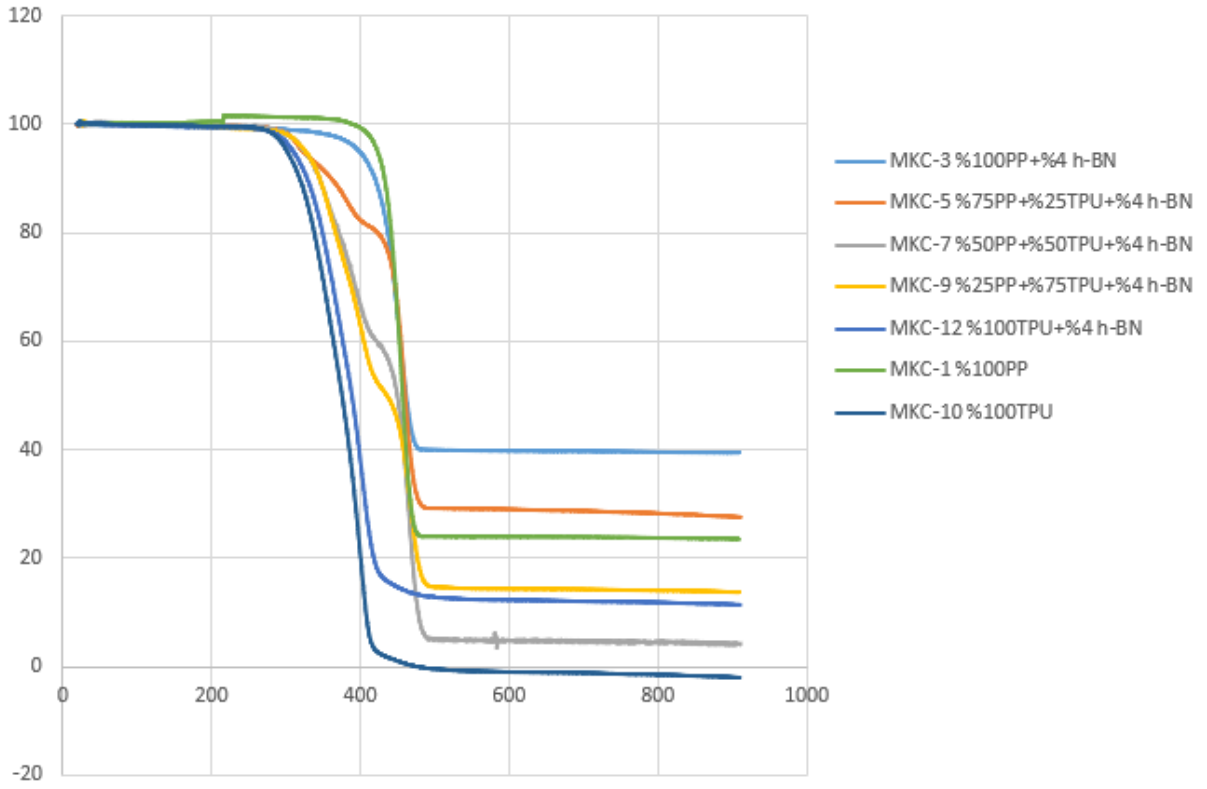
<b>Numune Kodu</b>	<b>Td<sub>1</sub>(°C)</b>	<b>Ağırlık Kaybı(%)</b>	<b>Td<sub>2</sub>(°C)</b>	<b>Ağırlık Kaybı(%)</b>
% 100 PP <b>MKC 1</b>	394-478	75	-	-
% 100 PP + % 2 h- BN <b>MKC 2</b>	357-482	93	-	-
% 100 PP + % 4 h- BN <b>MKC 3</b>	276-477	59	-	-
% 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN <b>MKC 4</b>	278-411	14	434-484	57
% 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN <b>MKC 5</b>	278-395	17	433-481	48
% 50 PP + % 50 TPU + % 2 h- BN <b>MKC 6</b>	242-407	39	434-487	52
% 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN <b>MKC 7</b>	205-406	36	427-493	55
% 25 PP + % 75 TPU + % 2 h- BN <b>MKC 8</b>	272-408	49	439-486	33
% 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN <b>MKC 9</b>	268-417	46	430-488	35
% 100 TPU <b>MKC 10</b>	268-488	98	-	-
% 100 TPU + % 2 h-BN <b>MKC 11</b>	242-488	92	-	-
% 100 TPU + % 4 h-BN <b>MKC 12</b>	241-423	82	-	-
% 75 PP + % 25 TPU % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <b>BCK 5</b>	210-392	19	428-481	41



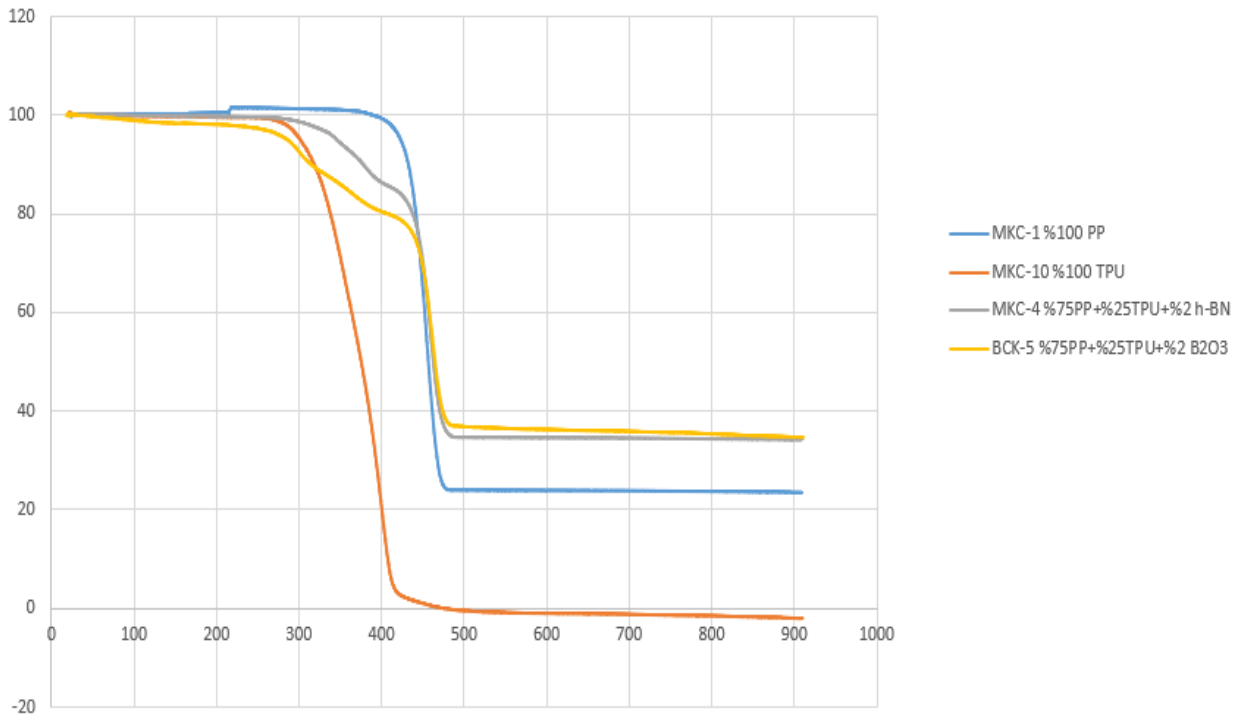
Şekil 8.6. %100PP ve %100TPU Numunelerinin TGA Eğrileri



Şekil 8.7. %2 h-BN İçeren Kompozitlerin TGA Eğrileri



Şekil 8.8. %4 h-BN İçeren Kompozitlerin TGA Eğrileri



Şekil 8.9. % h-BN ve % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İçeren Kompozitlerin TGA Eğrileri

### 8.3. Mekanik Analizler

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

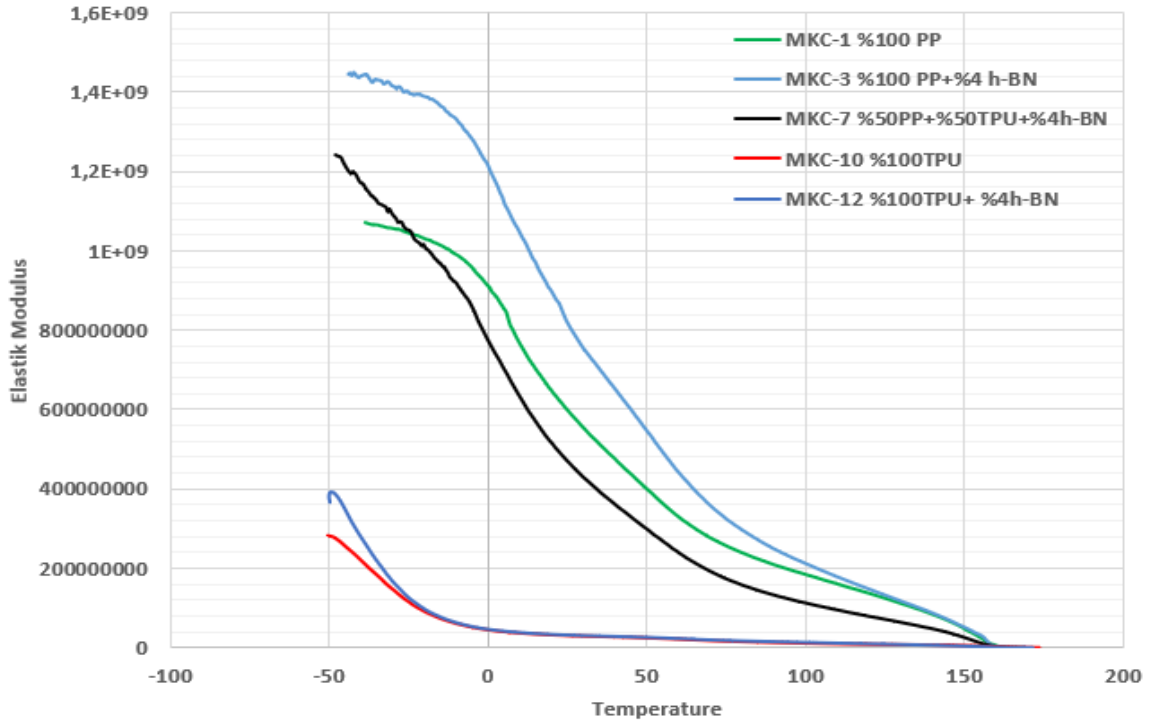
Kompozit numunelerin DMA analiz testi Bölüm 7.2.6' daki prosedüre göre yapıldı. Ek 4'de %100PP, %100TPU ve farklı oranlardaki kompozitlerin elastik özelliklerinin Storage modülüs ( $E'$ ), visko elastik özellikleri ( $E''$ ) ve camsı geçiş sıcaklıklarını  $\tan \delta$  ( $E''/E'$ ) ait test sonuçları grafiksel gösterimleri ayrıntılı olarak Ek 4'de verilmiştir.

PP/ TPU ve farklı oranlarda bor bileşikleri içeren (h-BN veya  $B_2O_3$ ) nanokompozitlerinin elastik modulus-sıcaklık (Şekil 8.10), loss modulus-sıcaklık (Şekil 8.11),  $\tan \delta$ -sıcaklık (Şekil 8.12) grafikleri gösterilmektedir. TPU'lar çoğunlukla polieter ve poliesterlerden oluşan esnek yumuşak segmentlerden ile sert segmentler olarak düşük moleküler ağırlıklı bir diol olan genişletici adı verilen diizosionat bileşiklerinden oluşur. Saf TPU'nun camsı geçiş sıcaklığı  $-47$  °C de keskin bir pik gösterir. Saf PP ise 3 tane geçiş bölgesi söz konusudur. Geniş rahatlama bölgesi yarı kristalimsi PP amorf fazının camsı geçiş (veya  $\beta$  piki) karşılık gelen  $11.5$  °C'de maksimuma ulaşır. PP'nin  $\gamma$  gevşemesi metil ve metilen gibi küçük zincir gruplarının hareketlerinden dolayı yaklaşık  $-50$  °C'de ortaya çıkar.  $\alpha$ -geçiş piki yüksek sıcaklıklarda ( $46$  °C'de) görülen bu pik bağ molekülleri gibi PP'nin kristalinitesi ile ilgili amorf karakterli daha sert olan zincire karşılık gelmekte olup literatür değerleriyle uyum göstermektedir (Bajsić, E.G., vd, 2007).

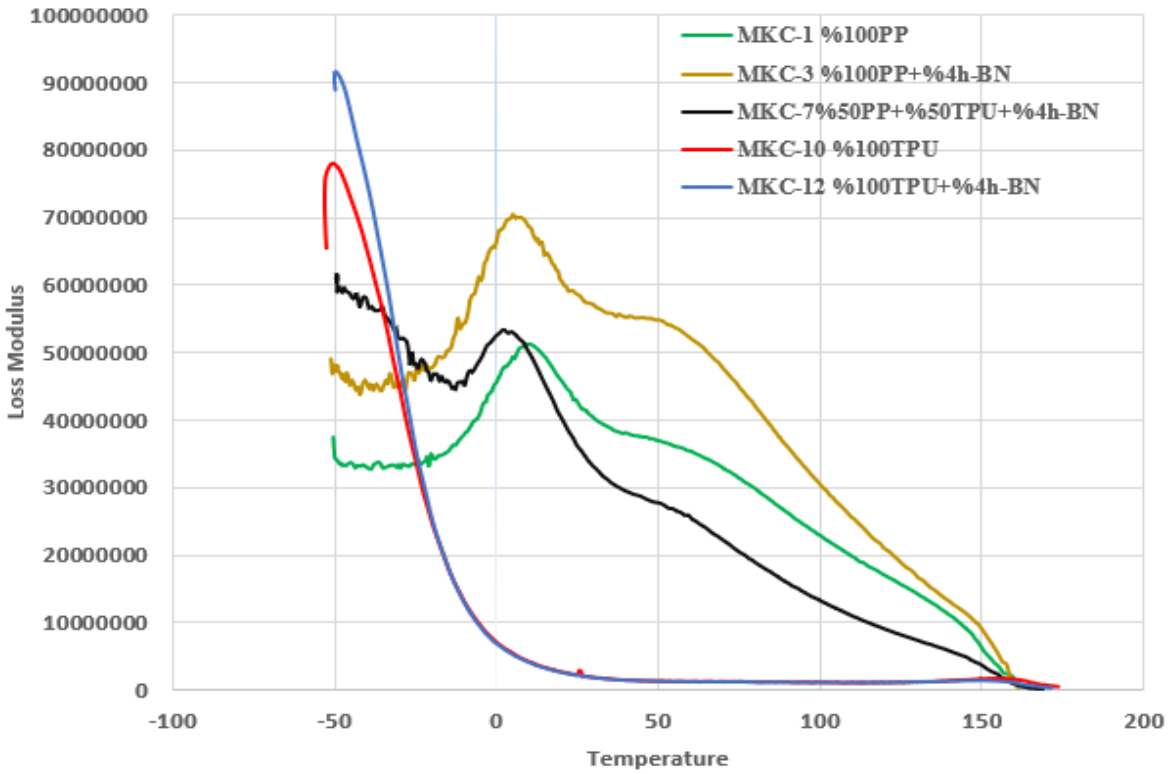
Elde edilen nanokompozitlerde saf PP ve saf TPU'ya benzer geçiş pikleri gösteren bu pikler PP ve TPU'nun camsı geçiş sıcaklık değerlerine gelmektedir. Ayrıca PP ve TPU fazlarının bulunduğunu kanıtlamaktadır. PP/TPU matrislerine h-BN takviye malzemesinin ilave edilmesiyle camsı geçiş sıcaklıklarının düştüğü ve loss modulus değerlerinin yükseldiği görülmektedir.

Elastik modulus değeri incelendiğinde ise PP/TPU arasındaki ara yüzeyin büyüklüğü niteliğine bağlı olarak PP/TPU nanokompozitlerin modül değerleri Şekil 8.11. 'de görüldüğü gibi artan sıcaklıkla azaldığı görülmektedir. Saf PP'ye h-BN ilavesi ile elastik modül değeri artmaktadır. Fakat matris malzemesi olarak TPU oranının yapı içerisinde artması ile elastik modül değerinin düştüğü görülmektedir.

Ayrıca aynı oranlardaki farklı bor bileşikleri (%2h-BN veya %2  $B_2O_3$ ) içeren nanokompozitlerin elastik modül değerleri karşılaştırıldığında h-BN içerikli kompozitin elastik modül değeri daha yüksek olduğu görülmektedir.

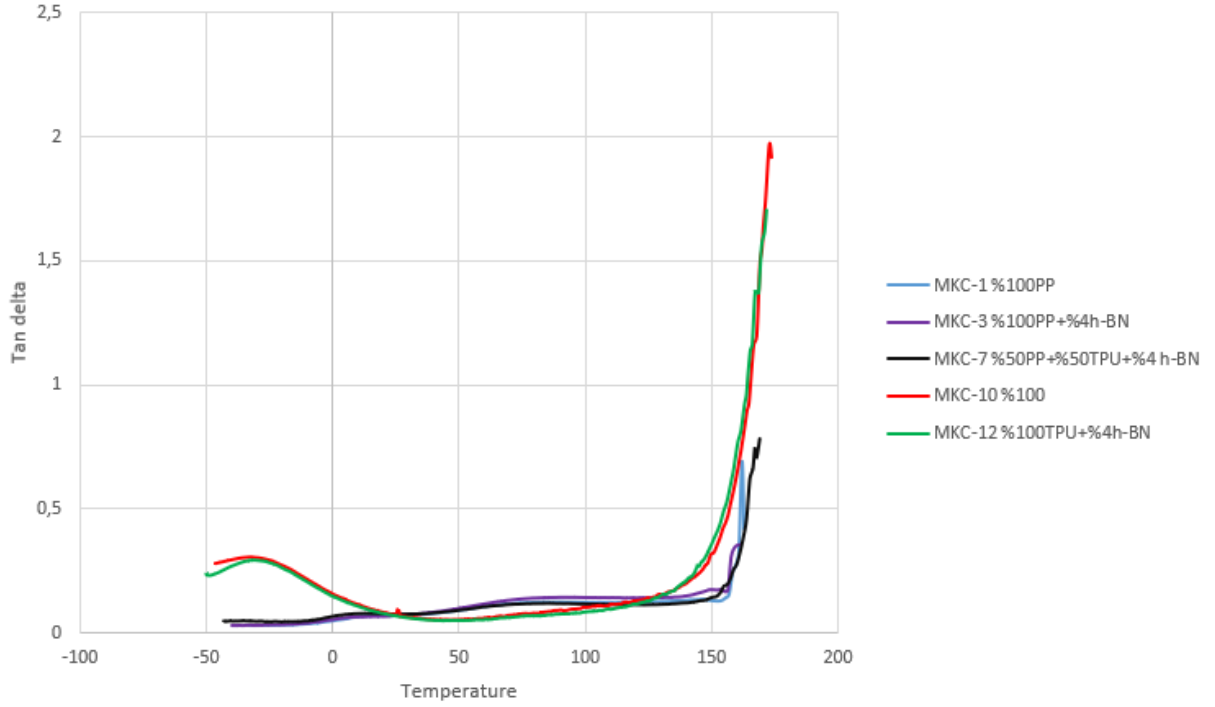


Şekil 8.10. Kompozitlerin Modulus – Sıcaklık DMA Grafiği



Şekil 8.11. Kompozitlerin Loss Modulus – Sıcaklık DMA Grafiği





Şekil 8.12. Kompozitlerin Tan  $\delta$  – Sıcaklık DMA Grafiği

### 8.3.2. Çekme-Germe

PP, TPU ve h-BN içeren kompozit malzemelerin çekme-germe test sonuçları Tablo 8.3. de ve Şekil 8.13, Şekil 8.14, Şekil 8.15' de verilmektedir. Ayrıca çekme-germe sonuçları tüm numuneler için ayrı ayrı grafikte Ek 5'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre; %2 h-BN içeren kompozit malzemelerin maksimum gerilme ve yüzde uzamaların, %4 h-BN içeren numunelerle kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir. Kompozit malzemede %2 h-BN oranı içeren her bir numunede PP oranının azalıp TPU oranının artmasına bağlı (MKC-4, MKC-6, MKC-8) maksimum gerilme kuvvetlerinde artış sırasıyla 12300 N/mm<sup>2</sup>, 11300 N/mm<sup>2</sup> görülmüştür ve bu numunelerde yüzde uzamalar sırasıyla 809, 1096, 1429 değerlerindeki artış görülmektedir. Ayrıca %4 h-BN içeren kompozit numuneler (MKC-5, MKC-7, MKC-9) kıyaslandığında TPU oranı %50 ye kadar olanlarda artış gözlenirken TPU oranı %75 olan kompozitte ise bir azalış gözlenmektedir.

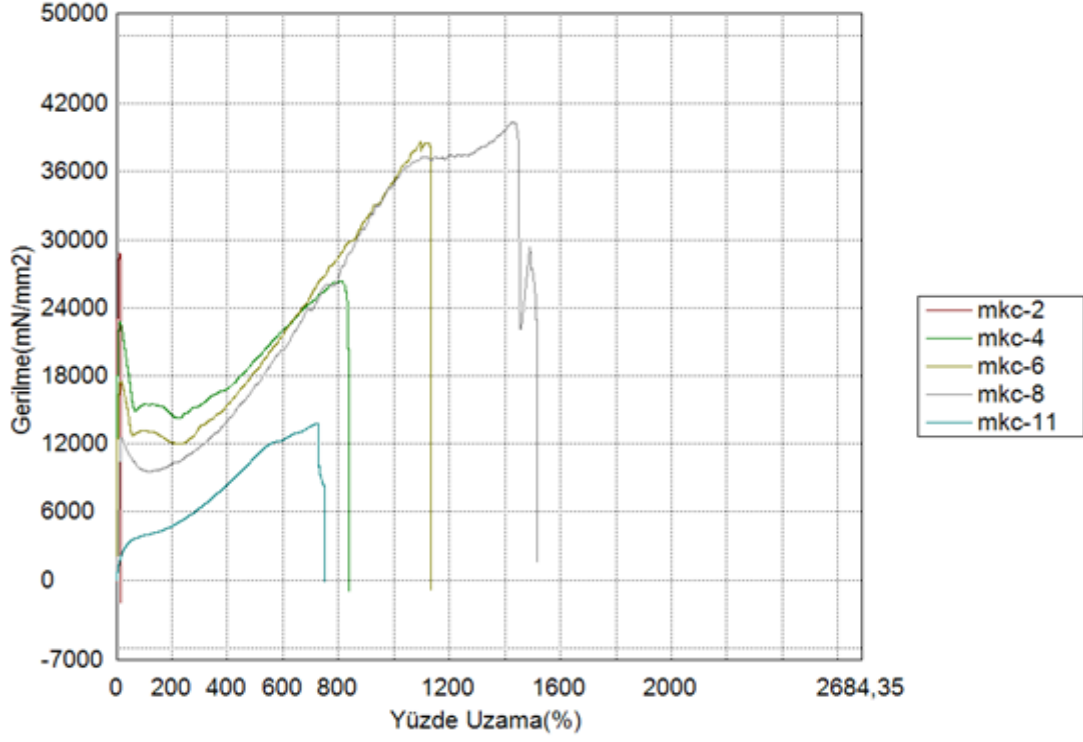
%100 PP ve %100 TPU içeren kompozitler kıyaslandığında yüzde h-BN oranı arttıkça maksimum gerilme ve yüzde uzama miktarlarında artış görülmektedir. Fakat kompozit malzemelerde h-BN oranı %2'den %4'e çıkarıldığında gerilmelerde 2000 N/mm<sup>2</sup>-9500 N/mm<sup>2</sup> değerler arasında ve uzama değerlerinde yaklaşık yüzde 10 düşüş gözlenmekte, bu azalmalar Tablo 8.3. ve Şekil 8.15'de gözlenmektedir.

Ayrıca h-BN içeren % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozitler incelendiğinde maksimum gerilmelerde (sırasıyla 26345N/mm<sup>2</sup> – 22459N/mm<sup>2</sup>) çok farklı olduğu gözlenmemekle birlikte yüzde uzama miktarının %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozit malzemede 809'dan 7'ye düşüğü görülmüştür.

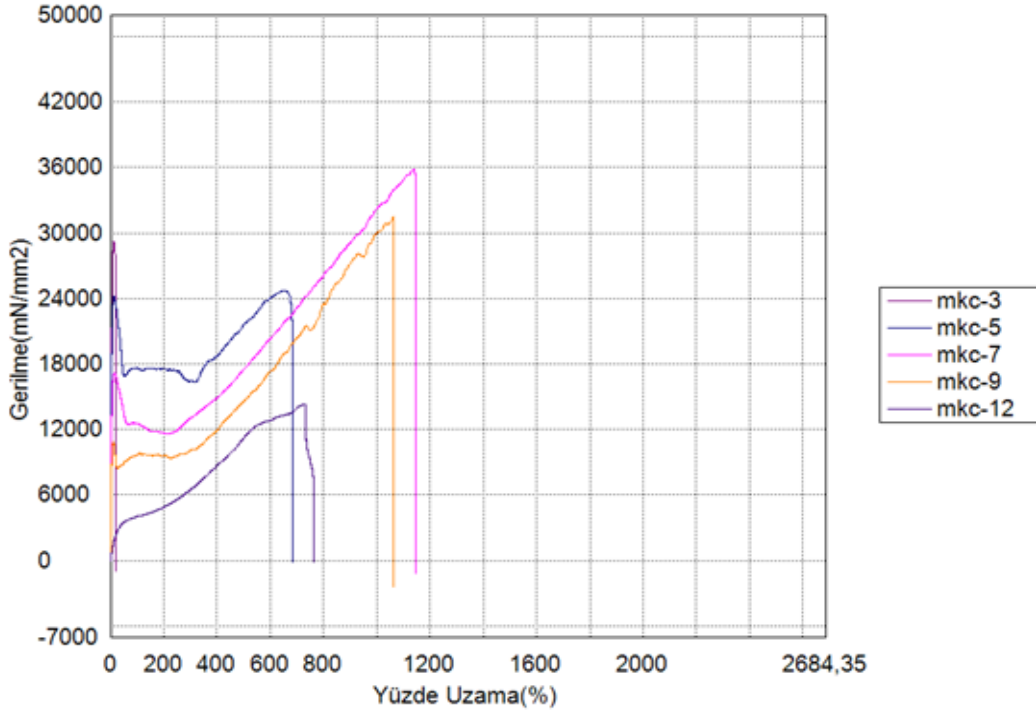


**Tablo 8.3.** Kompozit numunelerin gerilme testi belirleme sonuçları

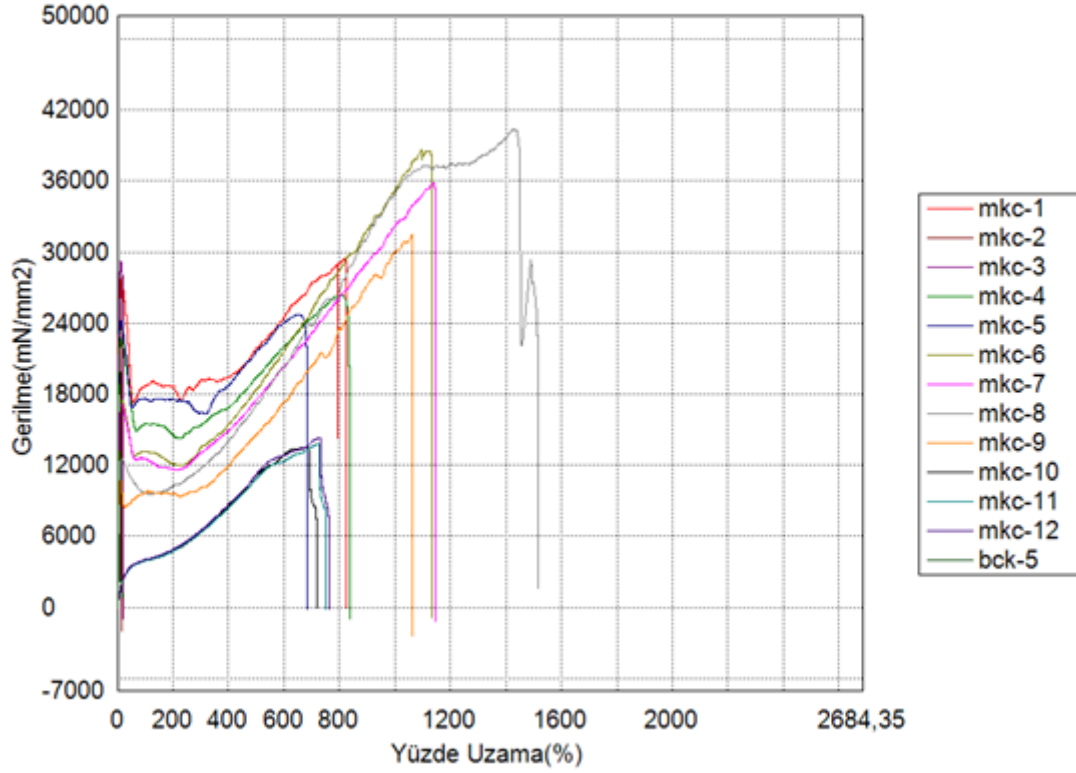
<b>Numune Kodu</b>	<b>Max Gerilme (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Elastik Kuvvet (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Yüzde Uzama (%)</b>
% 100 PP <b>MKC-1</b>	29486	653	826
% 100 PP + % 2 h- BN <b>MKC-2</b>	28844	999	11
% 100 PP + % 4 h- BN <b>MKC-3</b>	29195	686	12
% 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN <b>MKC-4</b>	26345	842	809
% 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN <b>MKC-5</b>	24737	753	653
% 50 PP + % 50 TPU + % 2 h- BN <b>MKC-6</b>	38611	411	1096
% 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN <b>MKC-7</b>	35790	614	1140
% 25 PP + % 75 TPU + % 2 h- BN <b>MKC-8</b>	40342	443	1429
% 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN <b>MKC-9</b>	31487	462	1063
% 100 TPU <b>MKC-10</b>	13501	12	678
% 100 TPU + % 2 h-BN <b>MKC-11</b>	13811	12	723
% 100 TPU + % 4 h-BN <b>MKC-12</b>	14326	13	729
% 75 TPU + % 25 TPU % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <b>BCK-5</b>	22479	707	7



Şekil 8.13. % 2 h-BN İçeren Kompozitlerinin Çekme Grafiği



Şekil 8.14. % 4 h-BN İçeren Kompozitlerinin Çekme Grafiği



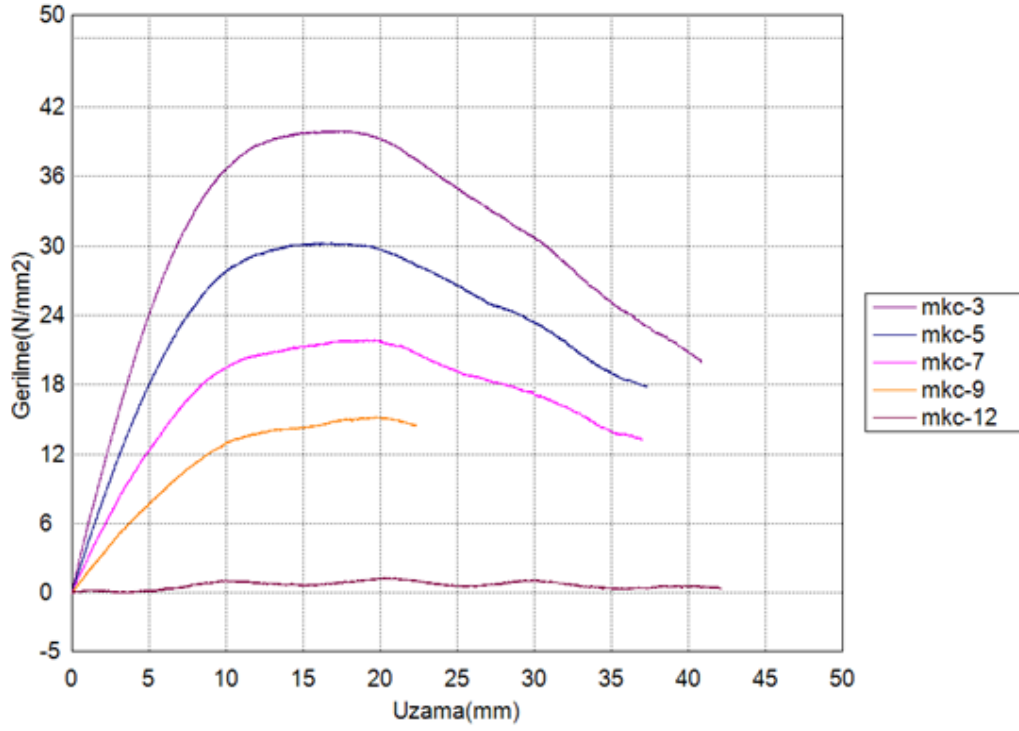
Şekil 8.15. Elde Edilen Kompozitlerin Çekme Grafiği

### 8.3.3. Eğme Testi

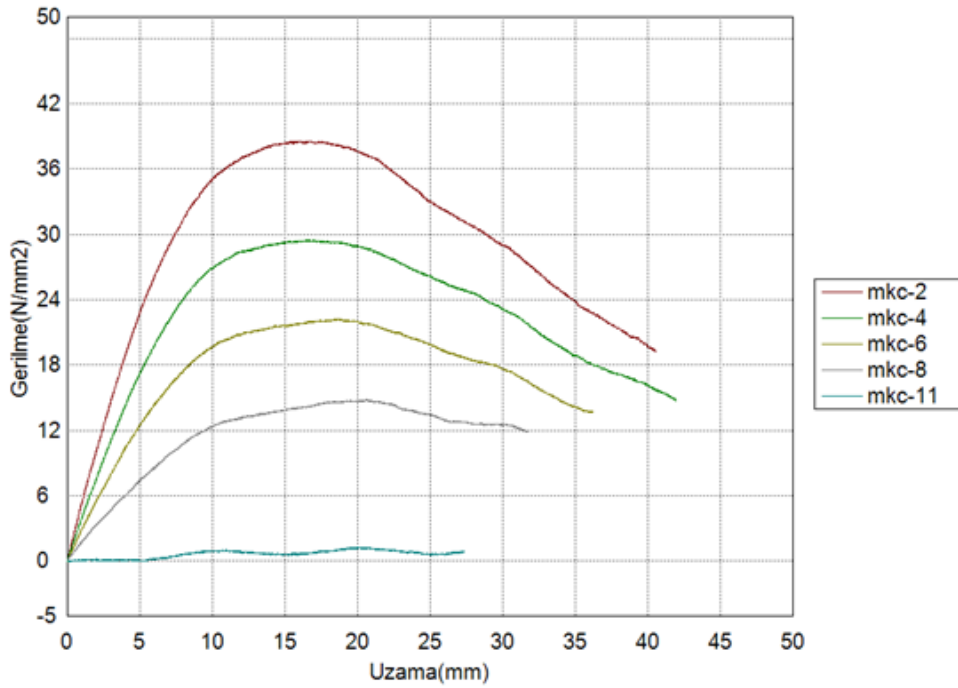
Üç nokta eğme deneyi malzemenin eğilmeye karşı mekanik özellikleri tespit etmek amacıyla yapılmaktadır. Bu tez kapsamında PP, TPU ve h-BN (veya  $B_2O_3$ ) içeren kompozit malzemelerin üç nokta eğme analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları numunelerin ayrı ayrı grafikleri Ek 6' da verilmiştir. Kompozit numunelerin sonuçları ayrı ayrı ve birleşik halde incelendiğinde Şekil 8.18'de de görülmektedir. %2 h-BN içeren kompozitlerin gerilme eğrileri, %2 h-BN içeren %100PP ve %100TPU numunelerin arasında kalmaktadır ve aynı durum %4 h-BN içeren numuneler içinde geçerlidir. PP ve TPU ağırlık oranları dikkate alındığında eğilme özellikleri üzerindeki etkisi çekme-germe test sonuçları ile aynıdır. Kompozit malzemelerde %TPU oranı artan numunelerde gerilmenin azaldığı gözlenmektedir. %2 h-BN takviye malzemesi içeren numunelerin Şekil 8.17.'deki grafikte görüldüğü üzere kompozitlerde TPU yüzde oranının artmasına karşılık gerilme miktarında azalma gözlenmektedir ve uzama miktarının %50 TPU içeren numuneden sonra artan TPU'ya karşılık azalma görülmektedir.

%4 h-BN takviyesi bulunan kompozit malzemeler kendi içerisinde incelendiğinde TPU oranının artmasına karşılık gerilme miktarlarında ve uzama miktarlarında azalma görülmektedir. Ayrıca numuneler matris malzemesine yani PP ve TPU oranı aynı olan

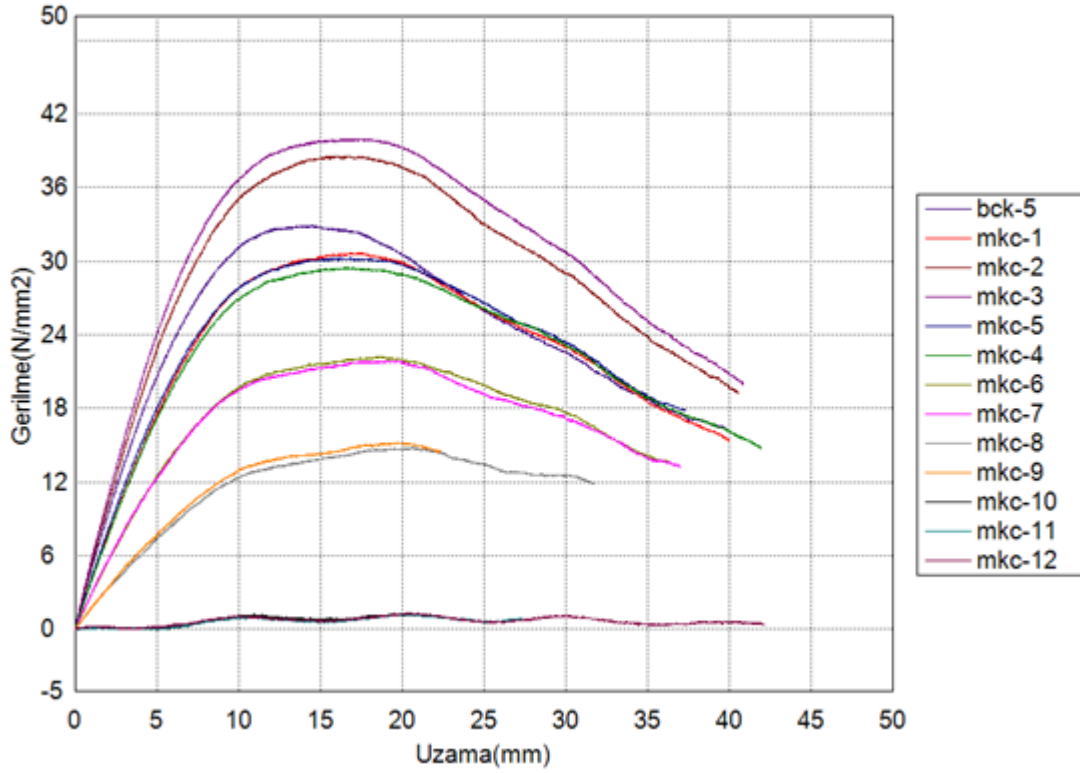
kompozitlerin %2 h-BN ve %4 h-BN içerenlerini ikili gruplar halinde incelendiğinde %4 h-BN içeren kompozit malzemelerin gerilme değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 8.16. %4 h-BN İçeren Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme



Şekil 8.17. % 2 h-BN İçeren Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme



Şekil 8.18. Kompozit Numunelerin Üç Nokta Eğme

#### 8.3.4. Sertlik

Shore-D sertlik testi, Bölüm 7.2.9 'da bahsedildiği gibi ISO 868 standart prosedürüne göre yapılmıştır. Test sonuçları Tablo 8.4.'de, kompozit malzemelerin ortalama sertlik grafik sonuçları Şekil 8.19.'de verilmektedir. Bu test sonuçlarına göre, %100 PP' nin 67,7 olan shore-D değeri %2 h-BN ilavesinin artmasıyla 74,7 değerlerine yükseldiği ve %4 h-BN ilavesi ile 65 değerlerine düştüğü görülmektedir.

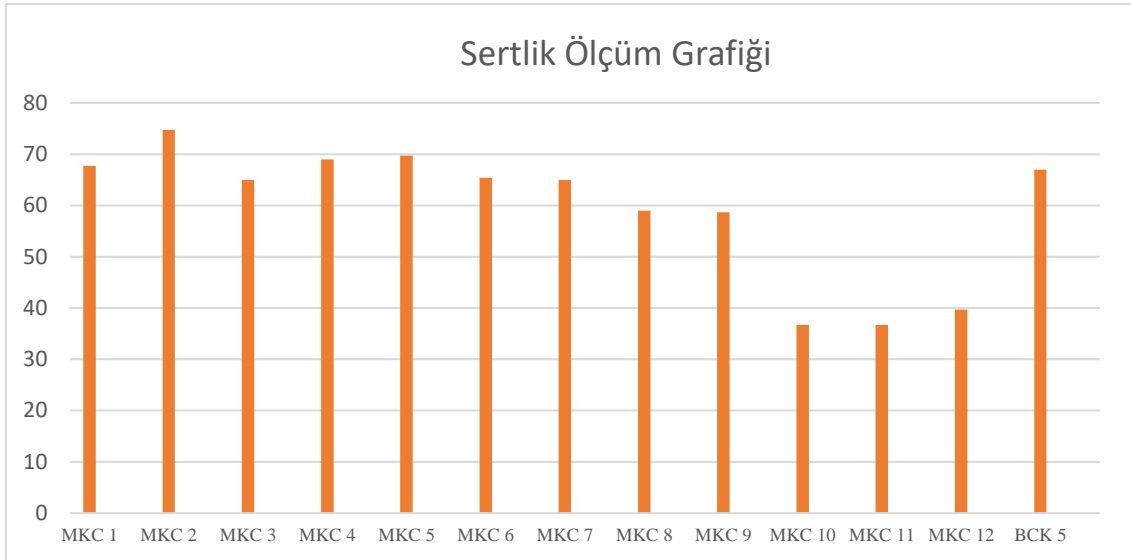
PP ve TPU matris malzemelerinden oluşan kompozit malzemelerin sertlik değerleri baktığımızda Tablo 8.4.'de de görüldüğü üzere TPU yüzde oranı arttıkça sertlik değerinin azalma olduğu görülmektedir. Bu azalma değeri 69 sertlik değerinden 58,7 sertlik değerine kadar değişmektedir. %100 TPU içeren kompozit numunelerin sertlik değerlerine baktığımızda ise %h-BN oranının artması ile sertlik değerlerinde azda olsa (1 birim) artış gözlenmektedir.

Ayrıca h-BN içeren % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozitler incelendiğinde arasındaki sertlik değerleri karşılaştırıldığında ise %B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozit (BCK-5) numunenin 2 birim kadar düşük olduğu görülmüştür. Şekil 8.19.'de sertlik değerlerine baktığımızda da bu bahsedilen artış ve azalışlar daha net bir şekilde gözükmemektedir.

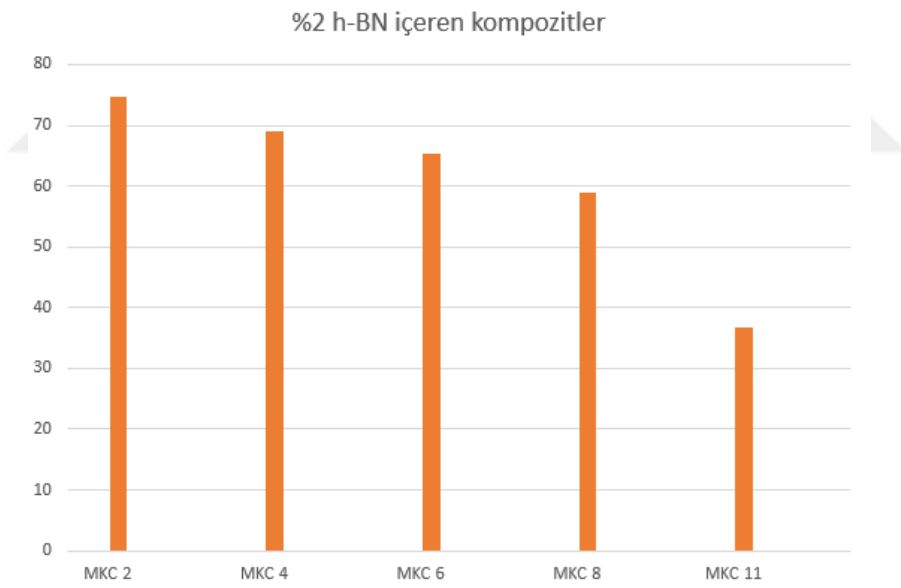
**Tablo 8.4.** Kompozit numunelerin sertlik sonuçları

<b>SERTLİK ÖLÇÜMLERİ /SHORE D</b>				
<b>NUMUNE İSMİ</b>	<b>1.ÖLÇÜM</b>	<b>2.ÖLÇÜM</b>	<b>3.ÖLÇÜM</b>	<b>ORT.</b>
% 100 PP MKC 1	65	69	69	67,7
% 100 PP + % 2 h- BN MKC 2	74	75	75	74,7
% 100 PP + % 4 h- BN MKC 3	65	65	65	65
% 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN MKC 4	68	69	70	69
% 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN MKC 5	69	70	70	69
% 50 PP + % 50 TPU + % 2 h- BN MKC 6	64	66	66	65,4
% 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN MKC 7	65	65	65	65
% 25 PP + % 75 TPU + % 2 h- BN MKC 8	58	60	59	59
% 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN MKC 9	58	59	59	58,7
% 100 TPU MKC 10	38	35	37	36,7
% 100 TPU + % 2 h-BN MKC 11	36	36	38	37
% 100 TPU + % 4 h-BN MKC 12	40	40	39	39,7
% 75 TPU + % 25 TPU % 2 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> BCK 5	65	68	68	67

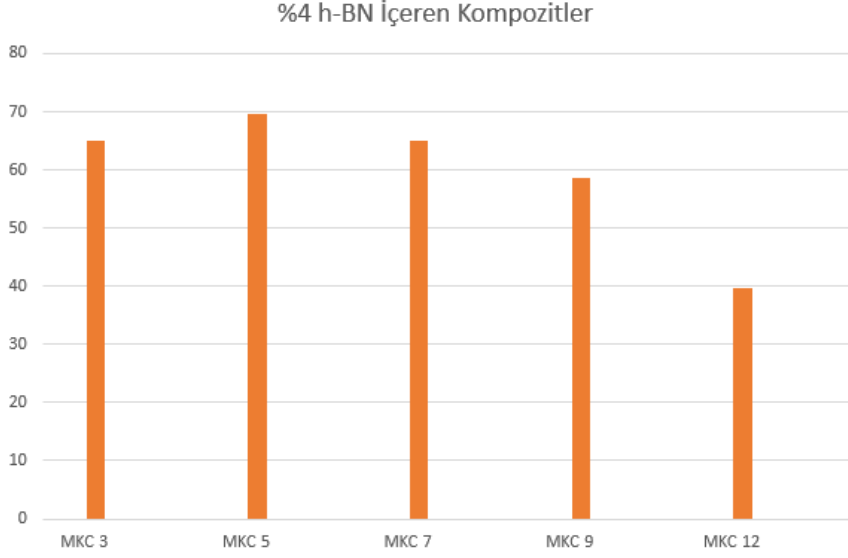




**Şekil 8.19.** Numunelerin Sertlik Ölçüm Grafiği



**Şekil 8.20.** %2 h-BN İçeren Numunelerin Sertlik Ölçüm Grafiği



**Şekil 8.21.** %4 h-BN İçeren Numunelerin Sertlik Ölçüm Grafiği

#### 8.4. SEM Görüntüleri

Bu tez çalışmasında saf PP, saf TPU, farklı bileşimlerde PP - TPU ve h-BN takviye edilmesiyle elde edilen kompozit malzemelerin Bölüm 7.2.8.'de bahsedildiği gibi kaplama yapılarak yüzey ve kesit görüntüleri 500X, 1.00X, 5.00KX ve 10.00KX farklı büyütmelerde morfolojik yapısı incelenmiştir. Ayrıca bu büyütmelerin yüzey ve kesit SEM görüntüleri Ek 7'de ayrıntılı olarak verilmiştir. %100 PP, %100 TPU, ve farklı oranlardaki PP/TPU matris malzemelerin %4 h-BN ilavesi ile yapıdaki değişiklikler incelenmiştir.

Farklı büyütmelerle saf PP ve saf TPU ile Nanokompozit malzemeler karşılaştırıldığında; TPU'nun yapısal özelliği göz önünde bulundurulduğunda kopma bölgelerinin kesit görüntülerinde lif şeklinde uzayan bölgelerin görülmesi malzemenin uzadığı göstermektedir. %100PP'nin kesit görüntülerinde uzamanın fazla olmadığı kopmanın homojen şekilde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar literatür bilgileriyle örtüşmektedir.

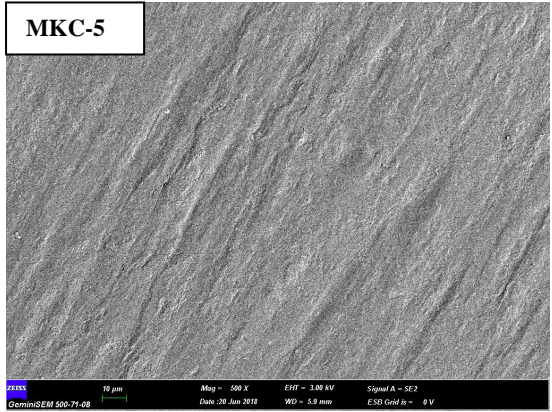
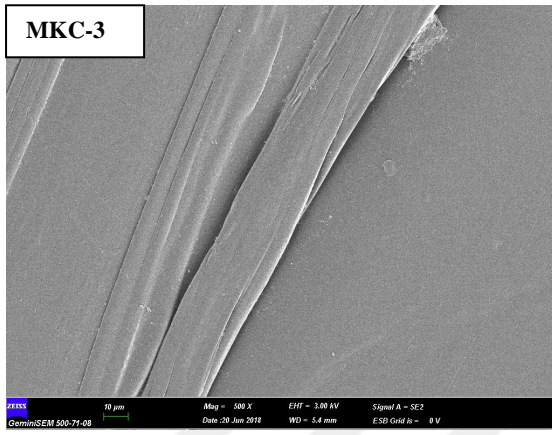
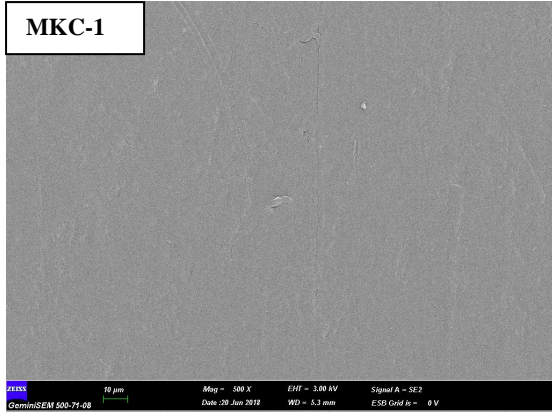
%100PP' ye %4 h-BN takviye malzemesinin ilavesi ile morfolojik yapısına bakıldığında; takviye malzemesinin matris içerisinde hem yüzey hem de kesit görüntülerinde homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür. Buda takviye malzemesi ile matris malzemesinin ara yüzey oluşturma özelliğinin daha iyi olduğunu göstermektedir.

%100 TPU'ya %4 h-BN takviyenin ilavesinde ise, %100 TPU görüntüsüne ile kıyaslandığında yapıda homojenleşme olduğu ve özellikle kesit bölgelerinde partiküllerin ara yüzey bağ oluşturmaları ile yapının toparlandığı ve yapıya homojenlik kazandırdığı görülmektedir.

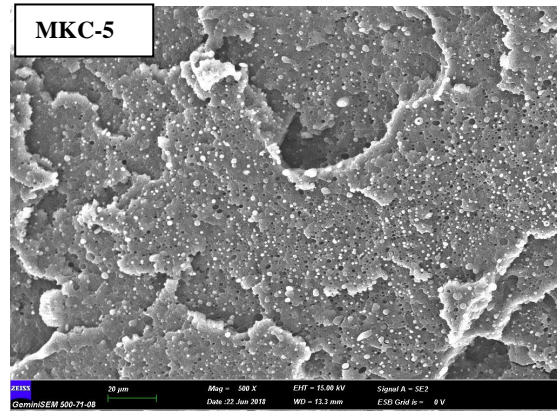
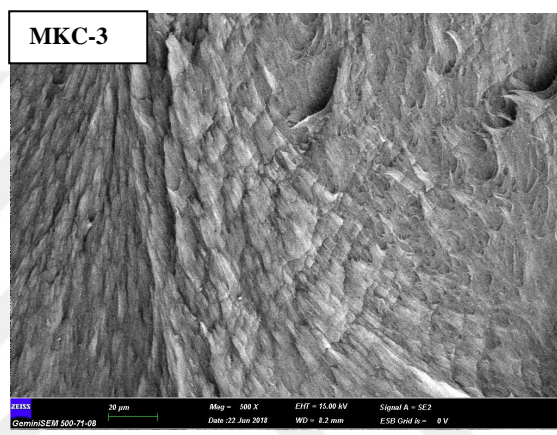
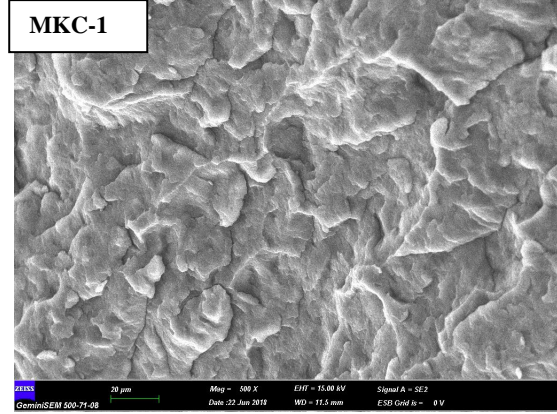
Farklı oranlarda PP/TPU matris malzemesi ihtiva eden kompozit malzemeler incelendiğinde TPU miktarının artması ile yüzey görüntülerinde heterojenleşme görülmesine karşılık kesit bölgelerinde ise kopmanın kuvveti dağıtarak homojen yapı sergilediği görülmüştür. Fakat buna karşılık TPU'nun artması ile morfolojik yapının heterojenleşmesi istenilen bir durum değildir. Bu bilgiler ve düşünceler göz önünde bulundurularak %50 PP ve %50 TPU içeren kompozit numunelerin daha homejen olarak görüntü vermesi ve morfolojik açıdan olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.

Ayrıca h-BN takviyesi içeren MKC-4 (%75PP+%25TPU+%2h-BN) kompoziti ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi bulunan BCK-5 (%75PP+%25TPU+%2B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompoziti karşılaştırıldığında; B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi bulunduran nanokompozit yapının içerisinde yüzey görüntüsünde B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin dağılımının heterojen ve kümeleşme olduğu, kesit bölgelerinde ise kompozitin heterojen yapının dışında gözenekli yapının olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin matris malzemeleri ile ara yüzey bağ enerjilerinin düşük olduğu düşünülmektedir.

Yüzey görüntülerinin  
500 X Büyütme

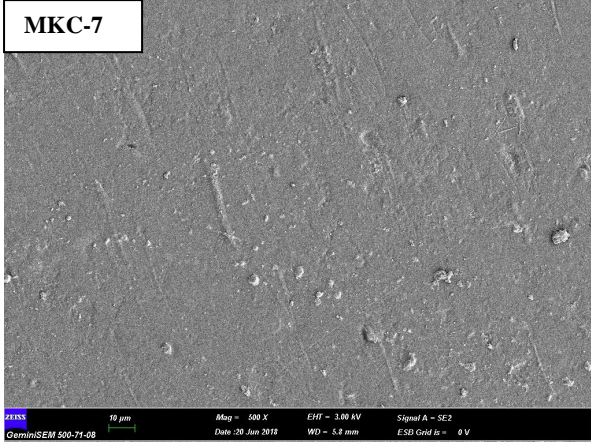


Kesit görüntülerinin  
500 X Büyütme

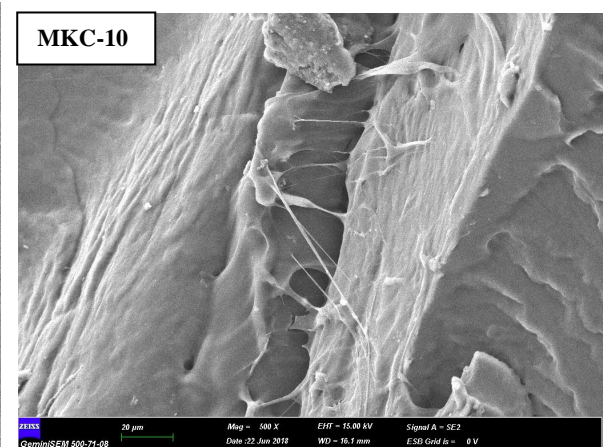
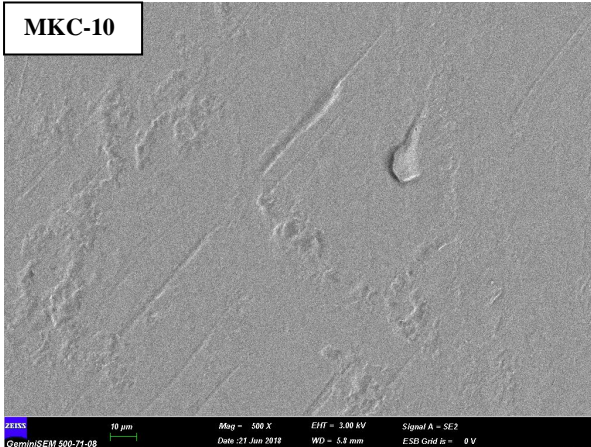
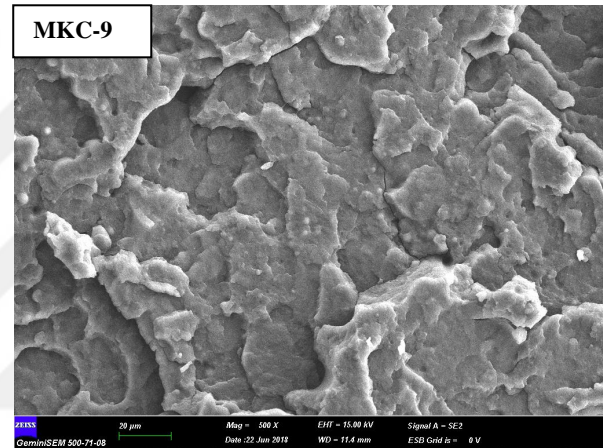
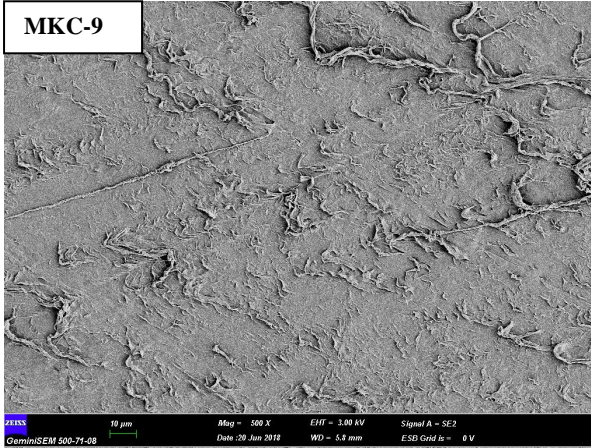
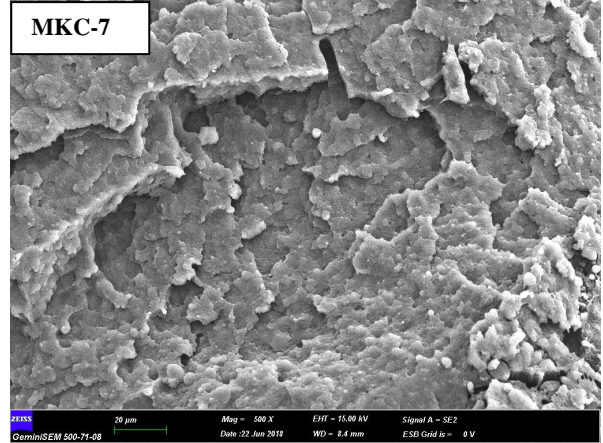


Şekil 8.22. %4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 500X büyütmeleri

Yüzey görüntülerinin  
500 X Büyütme

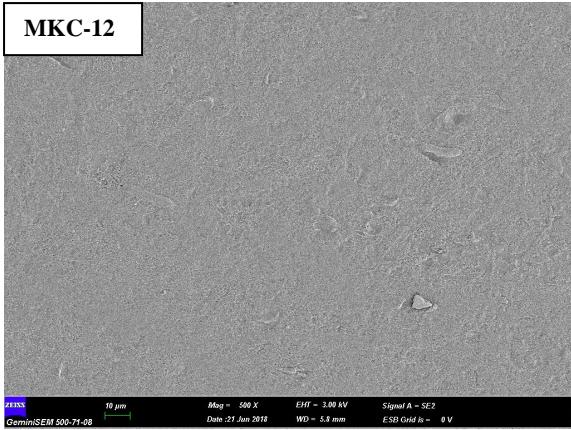


Kesit görüntülerinin  
500 X Büyütme

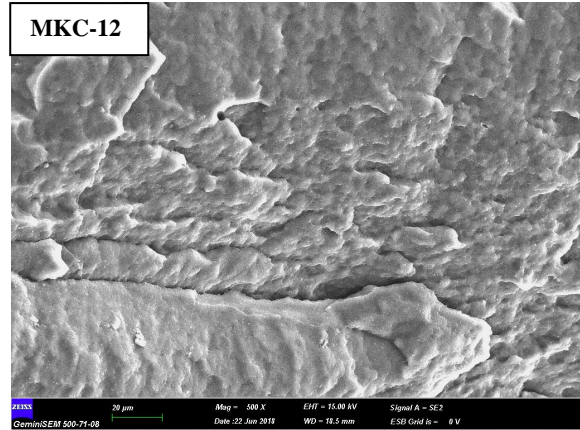


Şekil 8.23. %4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 500X büyütmeleri

Yüzey görüntülerinin  
500 X Büyütme

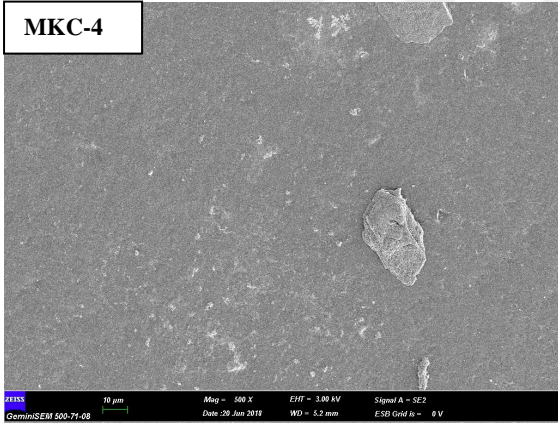


Kesit görüntülerinin  
500 X Büyütme

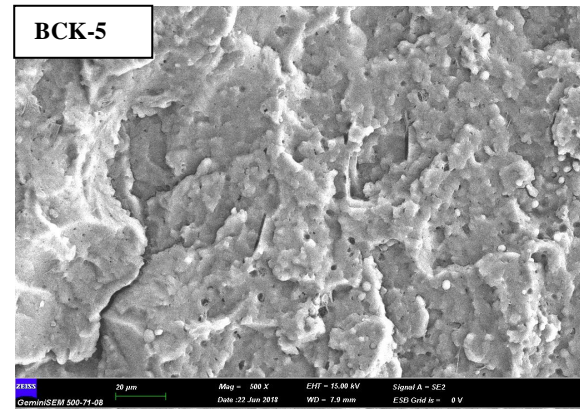
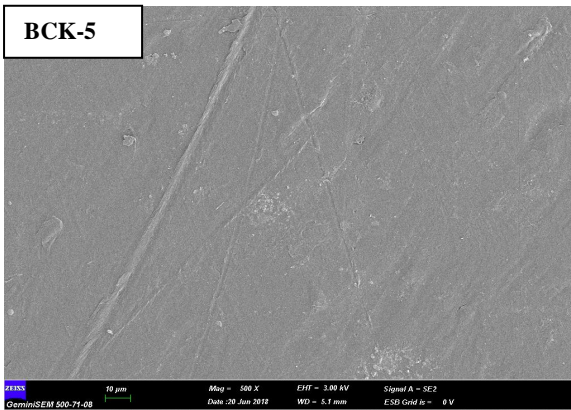
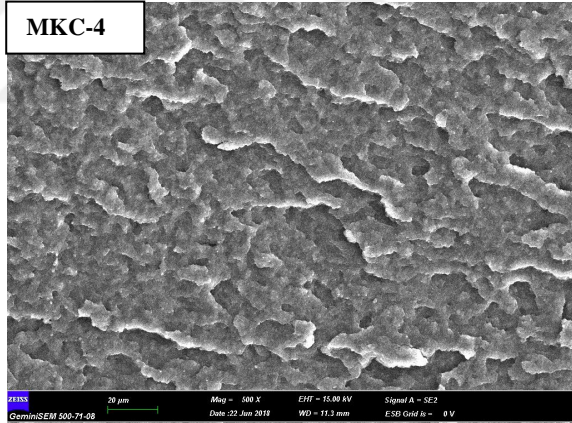


Şekil 8.24. %4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 500X büyütmeleri

Yüzey görüntülerinin  
500 X Büyütme



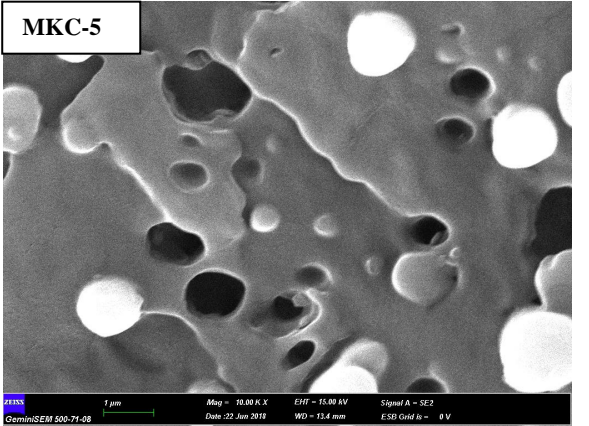
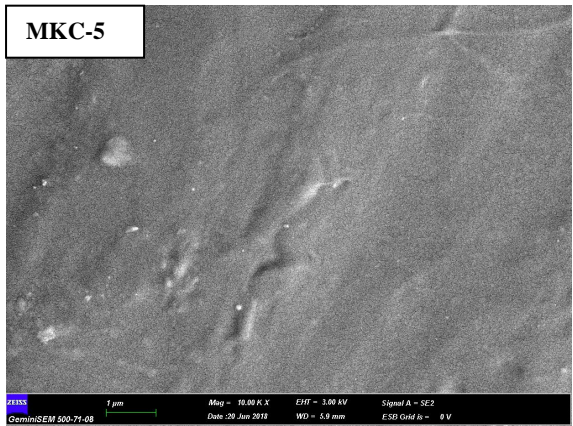
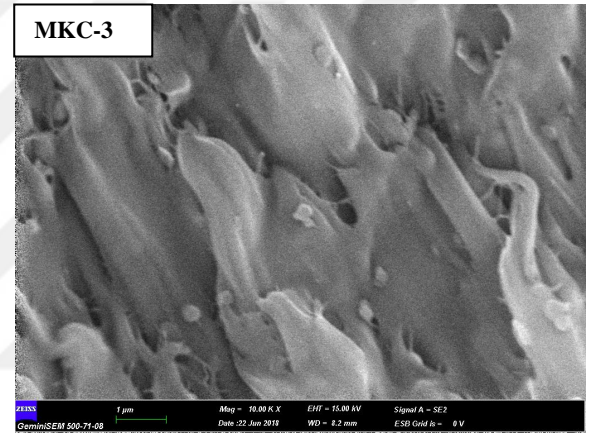
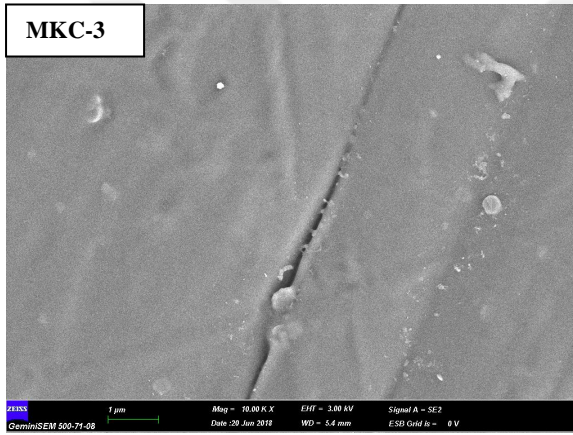
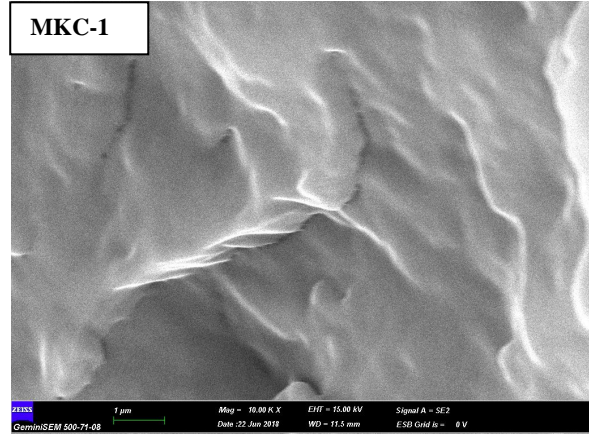
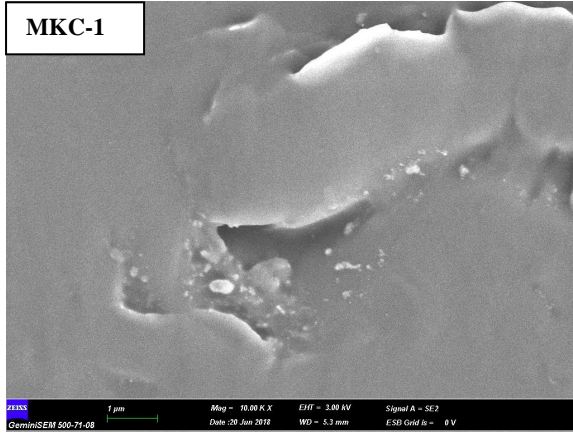
Kesit görüntülerinin  
500 X Büyütme



Şekil 8.25. %2 h-BN ve %2B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 500X büyütmeleri

Yüzey görüntülerinin  
10.00 KX Büyütme

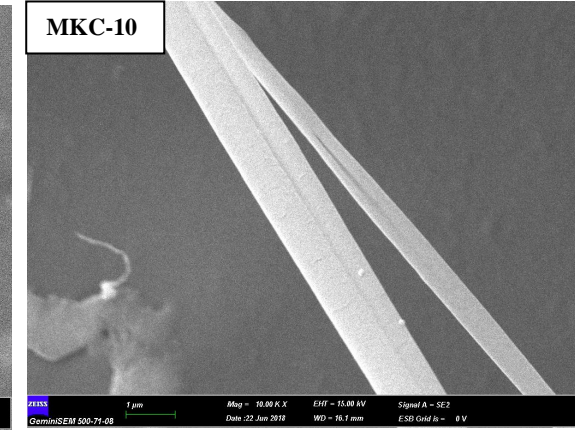
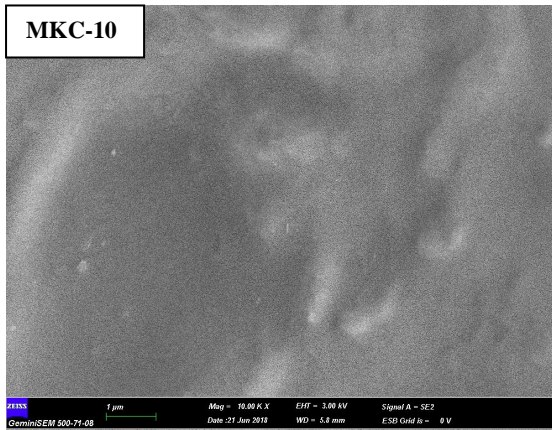
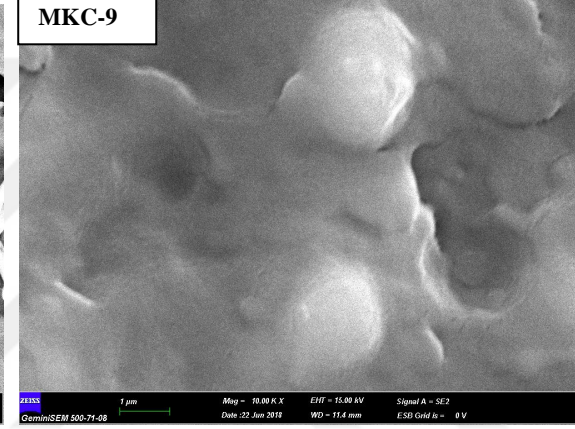
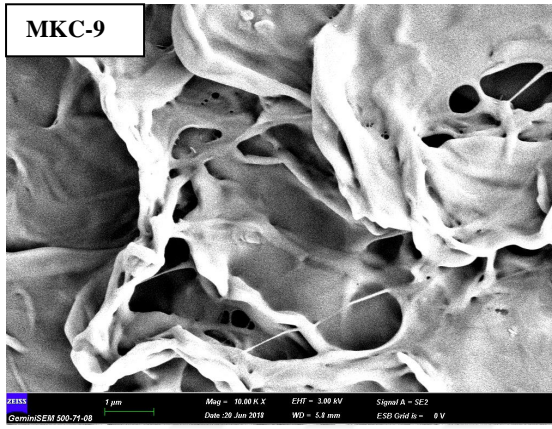
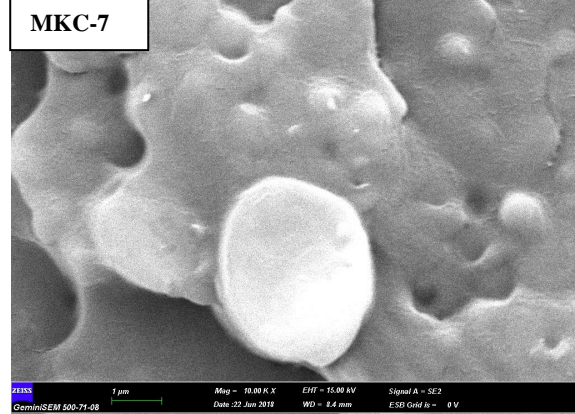
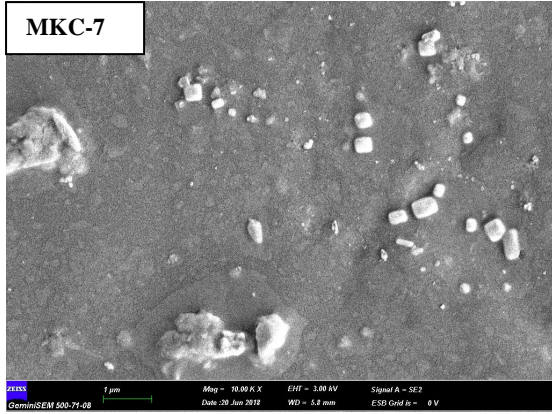
Kesit görüntülerinin  
10.00KX Büyütme



Şekil 8.26. %4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 10.00KX büyütmeleri

Yüzey görüntülerinin  
10.00 KX Büyütme

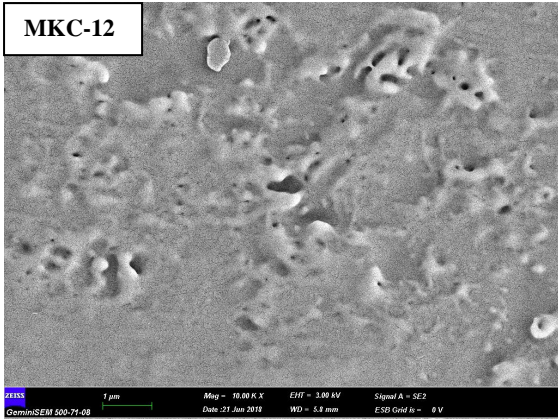
Kesit görüntülerinin  
10.00KX Büyütme



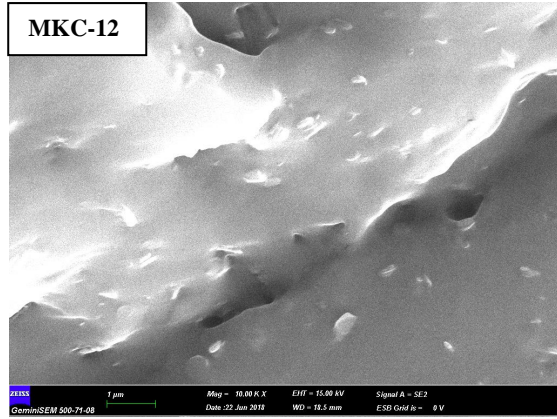
Şekil 8.27. %4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 10.00KX büyütmeleri



Yüzey görüntülerinin  
10.00 KX Büyütme

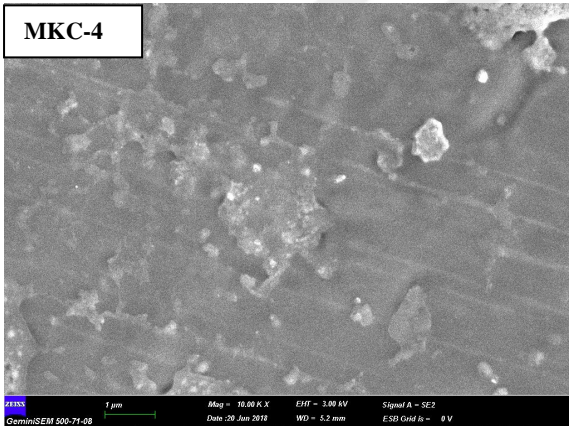


Kesit görüntülerinin  
10.00KX Büyütme

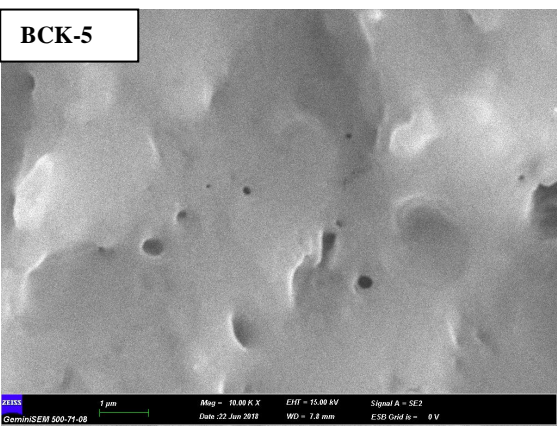
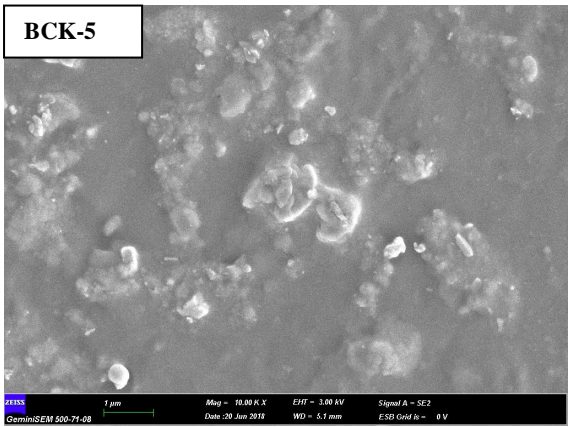
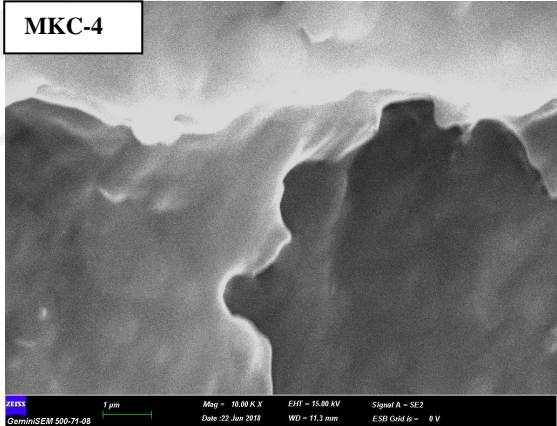


Şekil 8.28. %4 h-BN içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 10.00KX büyütmeleri

Yüzey görüntülerinin  
10.00 KX Büyütme



Kesit görüntülerinin  
10.00KX Büyütme



Şekil 8.29. %2 h-BN ve %2B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozitlerin yüzey ve kesitlerin 10.00KX büyütmeleri

## 9.SONUÇ

Bu tez kapsamında; polimer malzemelerin mekanik, termal, morfolojik özelliklerini iyileştirmek amacı ile polimer nanokompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Matris malzemesi olarak PP ve TPU kullanılmıştır. Bu matrislere h-BN ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin takviye edilmesiyle kompozit malzemeler elde edilmiştir. Sentezleme işleminden geçirilerek elde edilen h-BN partiküllerinin kullanılması bu çalışmaya ayrı bir özellikte katmaktadır. Nanokompozit kombinasyonların sonuçları doğru yorumlanabilecek şekilde karar verilmesi için her bir numunede işlem parametrelerinin sabit tutulması ile deney esnasında oluşabilecek hata oranları minimize edilmiştir.

Kompozit numuneler Tablo 7.1. oranlarda hazırlandı. Hazırlanan karışımları ilk olarak ekstrüderden geçirilerek kompozit granüller oluşturuldu. Oluşan granüller daha sonra enjeksiyon makinasında ergitilip kalıp numunelere basılarak numuneler analizler için hazır hale getirildi.

Nanokompozit malzemelerin yapı analizleri FT-IR spektrometresi ile yapıldı. Elde edilen nanokompozitlerin FT-IR spektromünde PP, TPU ve h-BN (veya B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ait karakteristik keskin piklerin görülmesi yapının oluştuğunu doğrulamaktadır (Bölüm 8.1.1.'de, Şekil 8.1, Şekil 8.2, Şekil 8.3 ve Şekil 8.4).

Elde edilen kompozit malzemelerin termal analizleri DSC ve TGA ile yapıldı. DSC analiz sonuçlarına göre %2 h-BN içeren kompozitlerin PP oranı azalıp TPU oranı arttıkça 1,1 ile 2,3 °C değişen oranlarda erime noktalarında düşüş gözlenmekte. Benzer şekilde % 4 h-BN içeren nanokompozitleri PP oranı azalıp TPU oranı arttıkça 1 ile 1,5 °C arasında erime noktalarında düşme gözlenmiştir. Ancak aynı oranlardaki PP/TPU kompozitlerinde %2 h-BN ilavesi ile %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren nanokompozitin erime noktaları arasında yaklaşık 1 °C fark vardır. Bu değerler literatür ile uyumludur. %2 h-BN içeren PP/TPU nanokompozit TGA eğrileri incelendiğinde (Tablo 8.2. ve Şekil 8.7 'de), PP oranı azalıp TPU oranı artan numunelerde bozunmanın daha düşük sıcaklıklarda başladığı gözlenirken, TPU oranı %75 olan kompozit malzemede bozunma sıcaklığının yüksek olduğu gözlenmektedir. Ayrıca %4 h-BN içeren kompozit numuneler incelendiğinde ise (Tablo 8.2. ve şekil 8.8'de) PP oranı azalıp TPU oranı artan numunelerde bozunma düşük sıcaklıkta gözlenirken, TPU oranı %75 olan kompozit malzemede bozunma başlangıç sıcaklığının yüksek olduğu gözlenmektedir. Ayrıca aynı oranlardaki PP/TPU matrislerine %2 h-BN içeren ile %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren takviye malzemeler karşılaştırıldığında %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanokompozitin bozunma sıcaklığı daha düşük sıcaklık değerlerinde başladığı görülmektedir.

Kompozit numunelerin mekanik özellikleri DMA, Çekme, Eğme ve shore-D sertlik analizleri yapılarak incelendi. DMA analizlerine göre nanokompozitlerde saf PP ve saf TPU'ya camsı geçiş sıcaklık değerlerine karşılık gelen benzer geçiş pikleri göstermektedir. Ayrıca PP/TPU matrislerine h-BN takviye malzemesinin ilave edilmesiyle camsı geçiş sıcaklıklarının düştüğü ve loss modulus değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Elastik modulus değerinde ise PP/TPU arasındaki ara yüzeyin büyüklüğü niteliğine bağlı olarak PP/TPU nanokompozitlerin modül değerleri artan sıcaklıkla azaldığı görülmektedir. Saf PP'ye h-BN ilavesi ile elastik modül değeri artmaktadır. Fakat matris malzemesi olarak TPU oranının yapı içerisinde artması ile elastik modül değerinin düştüğü görülmektedir. Fakat aynı oranlardaki farklı bor bileşikleri (%2h-BN veya %2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) içeren nanokompozitlerin elastik modül değerleri karşılaştırıldığında h-BN içerikli kompozitin elastik modül değeri daha yüksek olduğu görülmektedir.

Nanokompozitlerin çekme test sonuçlarına göre; %2 h-BN içeren kompozit malzemelerin %4 h-BN içeren kompozit malzemelere oranla gerilme ve yüzde uzamalarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre partikül oranının artması ile malzemenin daha düşük yüklere maruz kaldığında dahi deformasyona uğraması daha hızlı olacağını göstermektedir. %2 h-BN partikül ihtiva eden nanokompozit malzemeler kendi arasında kıyaslandığında TPU miktarının artması ile Tablo 8.3.'de de görüldüğü gibi malzemelerin gerilme değerleri ile yüzde uzama değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca aynı oranlardaki PP/TPU matris malzemelere farklı bor bileşikleri ilavesi ile (h-BN, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ilavesi arasındaki özelliklere baktığımızda ise gerilme değerlerini fazla değişmediğini fakat yüzde uzama olarak B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitin çok düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Çekme mukavemeti açısından bu iki bor bileşiği kıyaslandığında ise h-BN takviyesinin bu çalışmada daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Elde edilen nanokompozitlerin shore-D sertlik değerleri karşılaştırıldığında; %100 PP ve %2 h-BN içeren kompozit numunenin sertlik değeri %100 PP ve %4h-BN içeren kompozite göre daha yüksektir. %100 TPU matris malzemesine %2 ve %4 h-BN ilavesi ile her iki numunenin sertliğinin arttığı görülmektedir. Ancak h-BN içeren PP/TPU kompozitlerinde TPU oranının artması ile kompozit numunelerin sertlik değerinin düştüğü görülmektedir. Buna göre sertlik açısından PP/TPU kullanılarak üretilen kompozit malzemelerde TPU oranı dikkate alarak üretim yapılması gerekir. Ayrıca farklı bir bor bileşiği içeren B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi ile üretilen kompozitin sertlik değerleri h-BN içeren kompozitlerle kıyaslandığında ciddi bir fark olmamakla birlikte 2 birim düşüş gözlenmiştir.

Elde edilen kompozit malzemelerin yüzey ve kesit morfolojileri takviye oranı %4 h-BN içeren numunelerin SEM görüntüleri incelendi. Nanokompozit malzemelerde partiküllerin PP oranının yüksek olduğu numunelerde hem yüzey hem kesit bölgelerinde daha homojen dağıldığı görülmektedir. Fakat yüksek oranda TPU içeren nanokompozitlerin kesit bölgelerinin homojen kopma görülmemesi ise termoplastik poliüretanın elastik özelliğinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak PP/TPU nanokompozitlerinde termoplastik poliüretan oranının çok yüksek olmadığı numunelerde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca aynı oranlarda farklı bor bileşiği içeren (h-BN ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) PP/TPU kompozitleri kıyaslandığında; B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin yapı içerisindeki dağılımının heterojen ve kümeleşme olduğu görülmüştür. Ve kesit bölgelerinin B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi bulunduran kompozitin kesit görüntüsünde heterojen yapının dışında gözenekli yapının olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin matris malzemeleri ile ara yüzey bağ enerjilerinin düşük olduğu görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında bütün bu sonuçlar değerlendirildiğinde farklı oranlarda h-BN içeren PP/TPU ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren PP/TPU nanokompozitlerin termal, mekanik ve morfolojik sonuçları karşılaştırıldığında takviye malzemesi içeren kompozitlerin malzemelerin farklı sonuçlar verdiği görülmüştür.

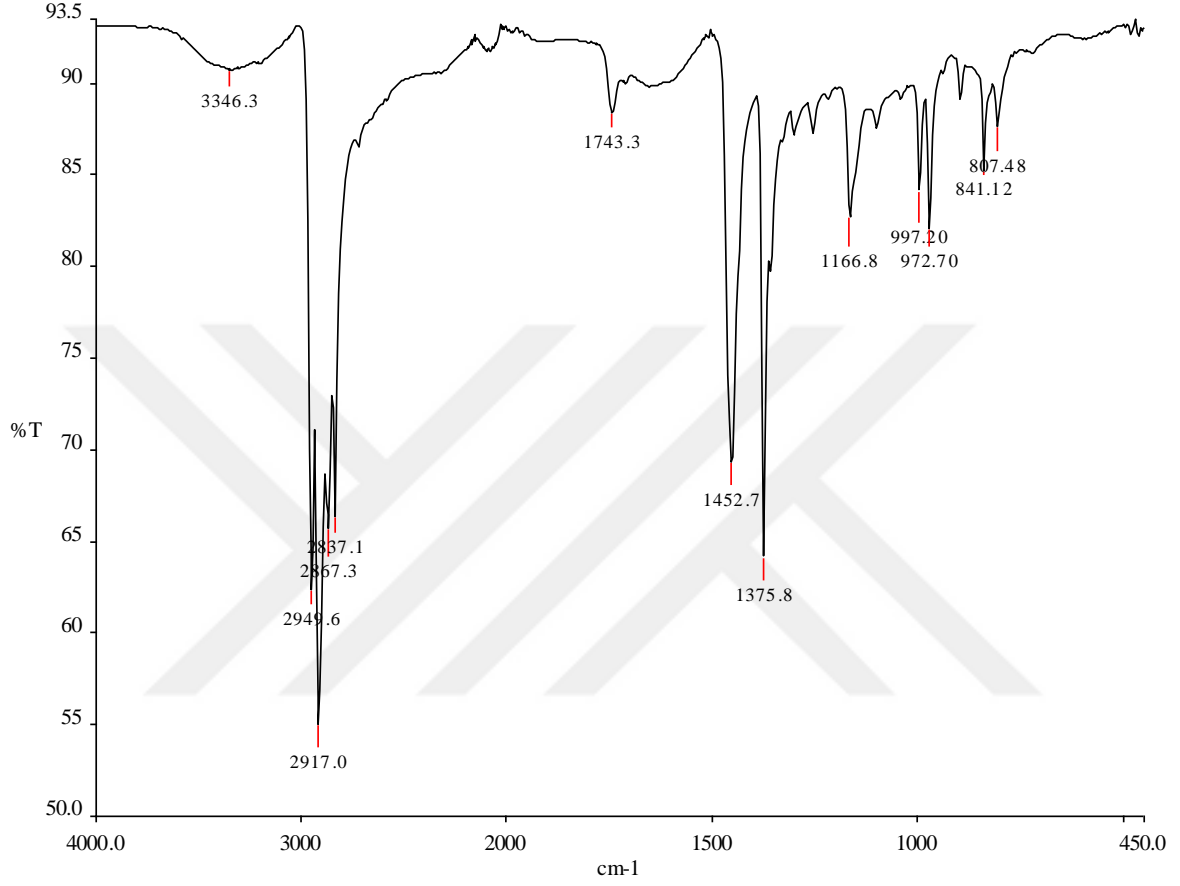
## KAYNAKLAR

- Deniz, M.E., 2005. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneğin Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye
- Arıcasoy, O., 2006. *Kompozit Sektör Raporu*, İstanbul Ticaret Odası, Türkiye
- Onat, A., 2015. Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Sakarya, Türkiye
- Taşgetiren, S., 1999. Kompozit Malzemeler Giriş Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayını, Afyon, Türkiye
- Güven, C., 2014. Bilimsel Bilgiye Erişim ve Bilgiyi Sunma Semineri Kompozit Malzemeler Ders Sunumu Atatürk Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Erzurum, Türkiye
- Biron, M., 2007. Thermoplastics and Thermoplastic Composites: Technical Information for Plastic Users, Elsevier – Butterwoth-Heinemann: Oxford.
- Hull, D., and Clyne, T.W., 1996. An Introduction to Composite Materials, Cambridge university pres, Cambridge, UK.
- Sönmez, M., 2009. Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği; Türkiye’de Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- Yıldızhan, H., 2008. Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye
- Chawla, K.K., 1987. Composite Materials Science and Engineering. 140-283s Springer Verlag New York Inc.
- Rouchan, J., 1987. “Materiaux composites pour d’aeronefs”, Ecole Nationale Superieure d’Ingenieurs de Constructions Aeronautiques. s.95.
- Saçak, M., 2010. Polimer Kimyası, Gazi Kitapevi, Ankara.
- Marsoğlu, M., 1986. Plastik Malzemeler, Arpaz Matbaacılık, İstanbul.
- Çoban, O., 2011. Polimer Matrisli Kompozitlerde Partikül Takviyesinin Malzeme İç Yapısına, Mekanik ve Tribolojik Özelliklere Etkisi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, Türkiye

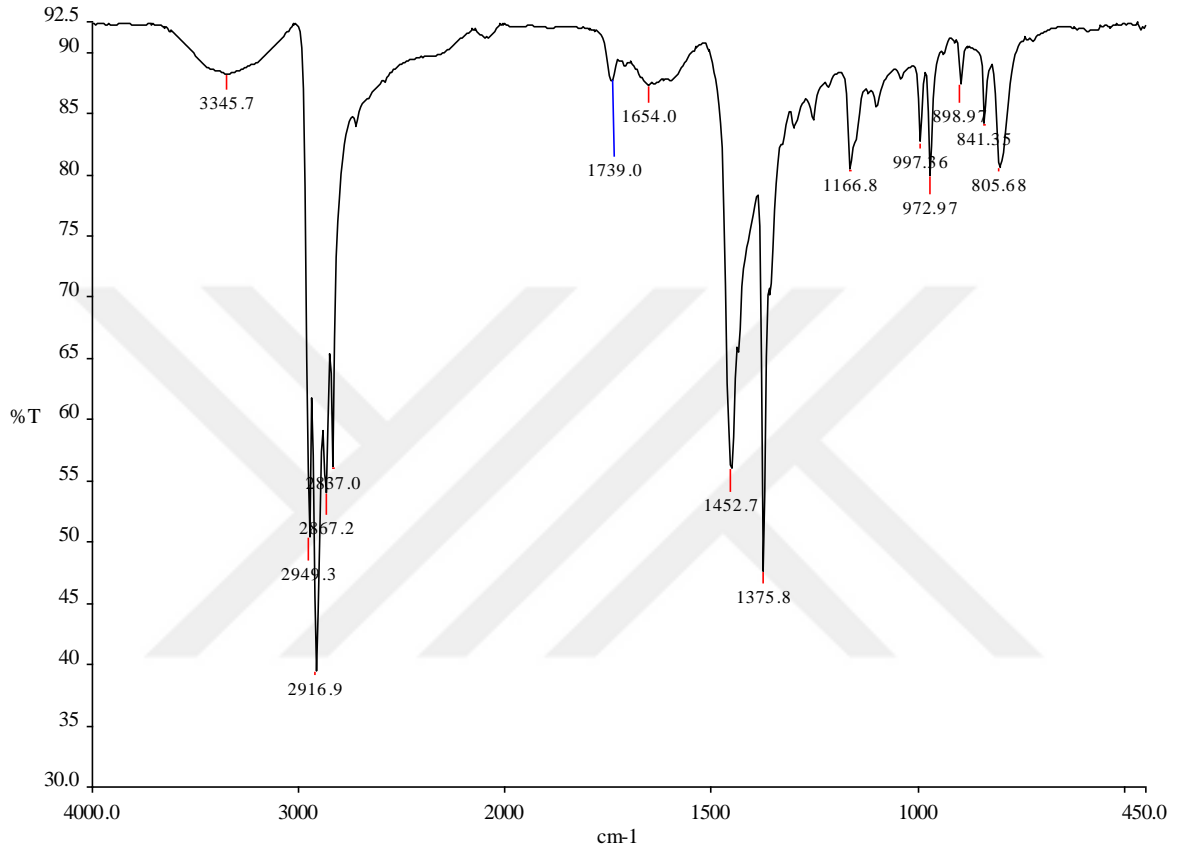
- Savaş, S., Al-Obaidi A.Y., 2017. Influence of PP-g-MA Compatibilization on the Mechanical and Wear Properties of Polypropylene/ Thermoplastic Polyurethane Blends, *Tribology Transactions*, syf 1-11
- Maiti, P., Nam, P.H., Okamoto, M., Kotaka, T., Hasegawa, N., Usuki, A. 2002. Influence of crystallization on intercalation, morphology, and mechanical properties of propylene/clay nanocomposites, *Macromolecules* 35, 2042–2049,
- Şahin, Y., 2006. Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. As, Ankara
- Basan, S., 2013. Polimer Kimyası, ISBN 6053440635.
- Patnaik, A., Satapathy, A., Chand, N., Barkoula, N.M., Biswas, S. 2010. Solid particle erosion wear characteristics of fiber and particulate filled polymer composites : A review, *Wear* 268, 249-263
- Joni, I.M., Nishiwaki, T., Okuyama, K., Isoi, S., Kuribayashi, R. 2010. Enhancement of the thermal stability and mechanical properties of a PMMA/aluminum trihydroxide composite synthesized via bead milling, *Powder Technology*, 204, 145-153,
- Liang-xu Lin , Ying Zheng , Yong Zheng , Ke-mei Wei, 2007, synthesis of hexagonal boron nitride fibers and flowers, *Materials Letters* 61 (1735-1737)
- URL-1, 2013, Kompozit malzemelerin avantajları [https://www.metalurjik.net/tag/ kompozit-malzemelerin-avantajlari](https://www.metalurjik.net/tag/kompozit-malzemelerin-avantajlari) (10.06.2018)
- Kostoglou, N., Polychronopoulou, K., Rebholz, C., 2015. Thermal and chemical stability of hexagonal boron nitride (h-BN) nanoplatelets, *Vacuum* 42-45
- Gu, Y.L., Zheng, M.T., Liu, Y.L., Xu, Z.L., 2007. Synthesis and characterization of boron nitride sponges as a novel support for metal nanoparticles, *Journal American Ceramic Soc.*, 90: 1589-1591.
- Cheewawuttipong, W., Fuoka, D., Tanoue, S., Uematsu, H., and Iemoto, Y., 2013. Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene/ Boron Nitride Composites, 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Energy Procedia 808-817
- Mendelovici, E., Frost, R.L., Klopogge, J.T., 2001. Modification of chrysotile surface by organosilanes: An IR- Phoacoustic spectroscopy study, *Journal of Colloid Interface Science*, 238 (2): 273-278.
- Bajsić, E.G., Šmit, I., Leskovac, M., 2007. Blends of thermoplastic polyurethane and polypropylene. I. Mechanical and phase behavior. *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 3980-3985.
- Atagül, M., 2016. Farklı Yapıya sahip kil mineralleri ile TPU kullanılarak polimer matrisli kompozit mazleme üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

## EKLER

### EK 1 IR Spektrumları

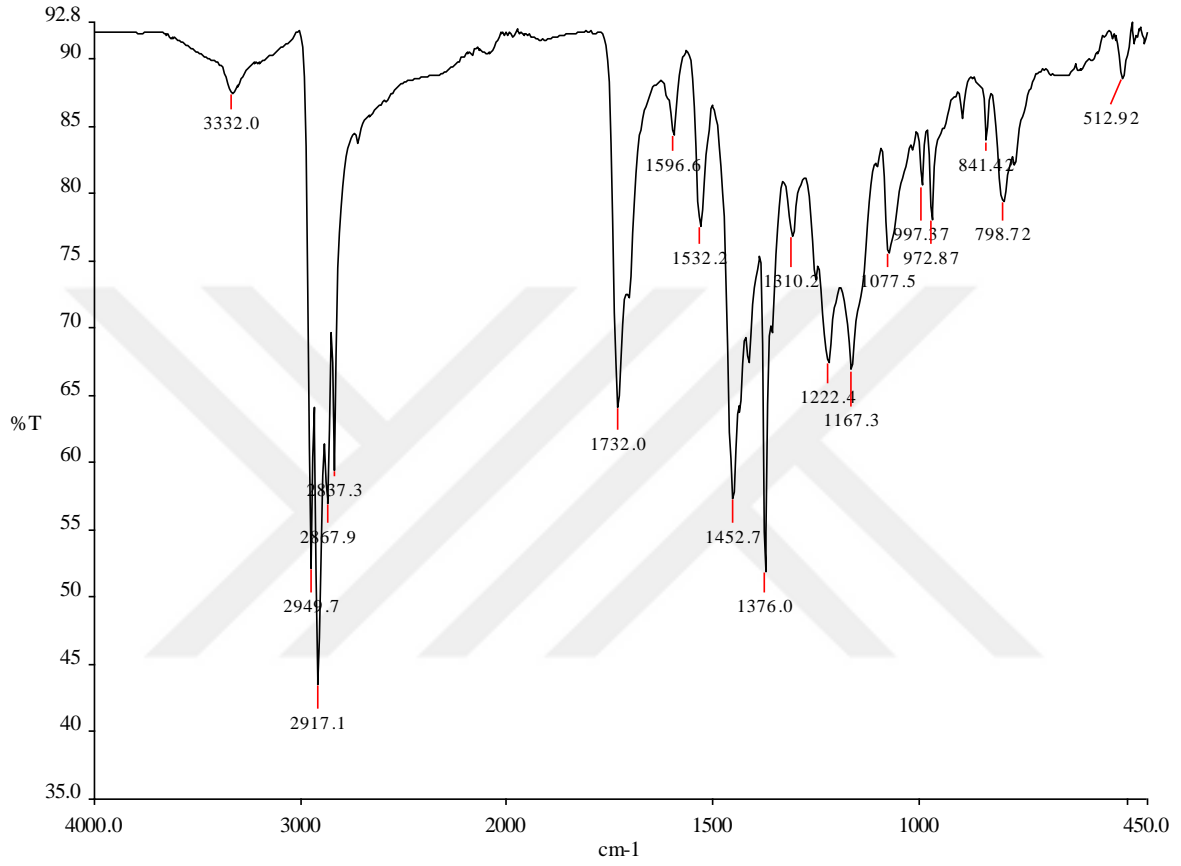


**EK 1 - Şekil 8.1. % 100 PP Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-1)**

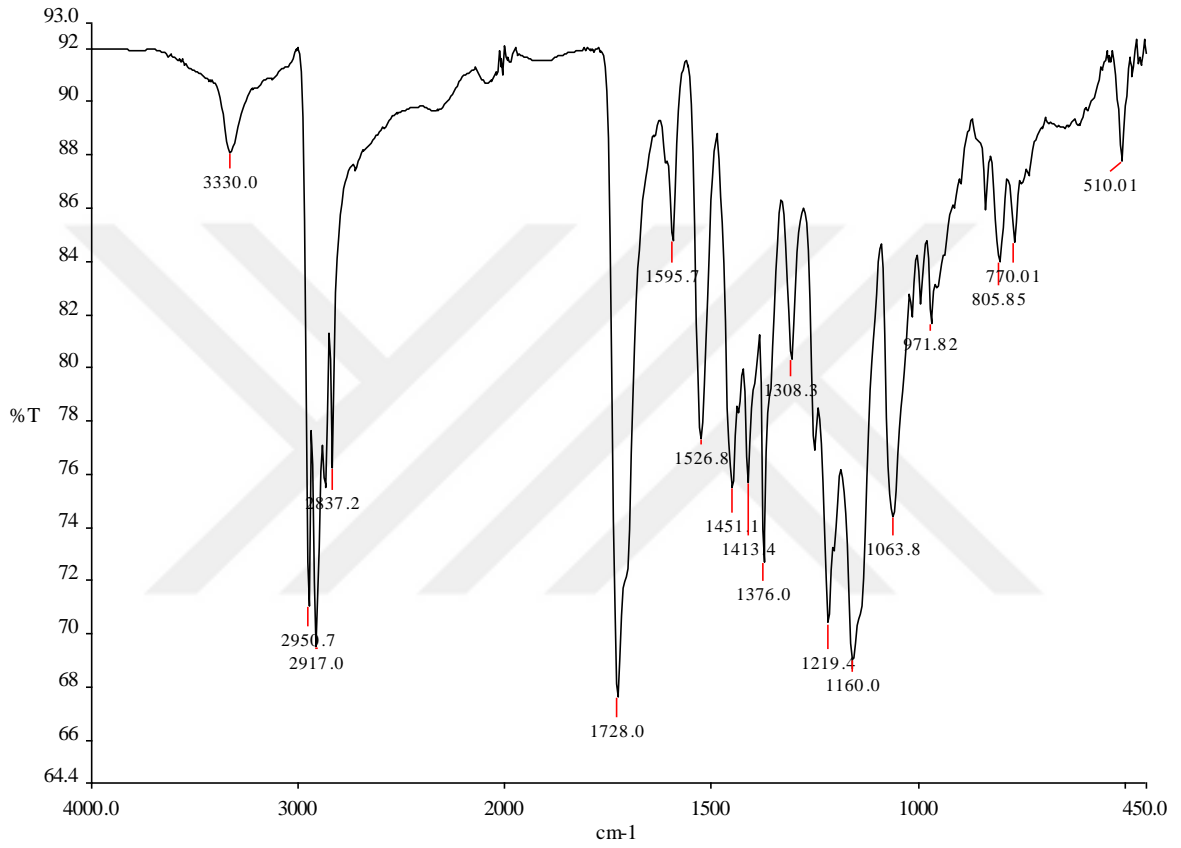


**EK 1 - Şekil 8.2.** % 100 PP + % 2 h- BN Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-2)

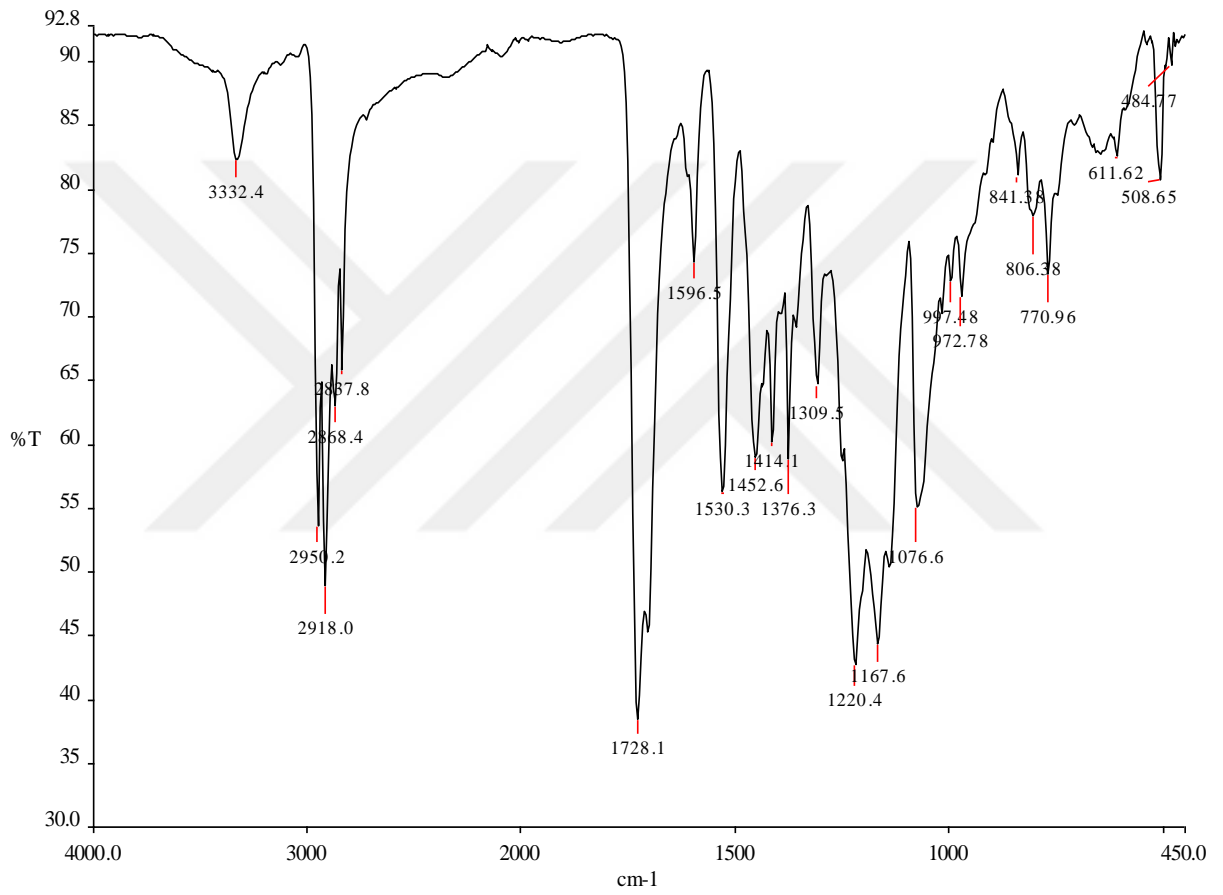




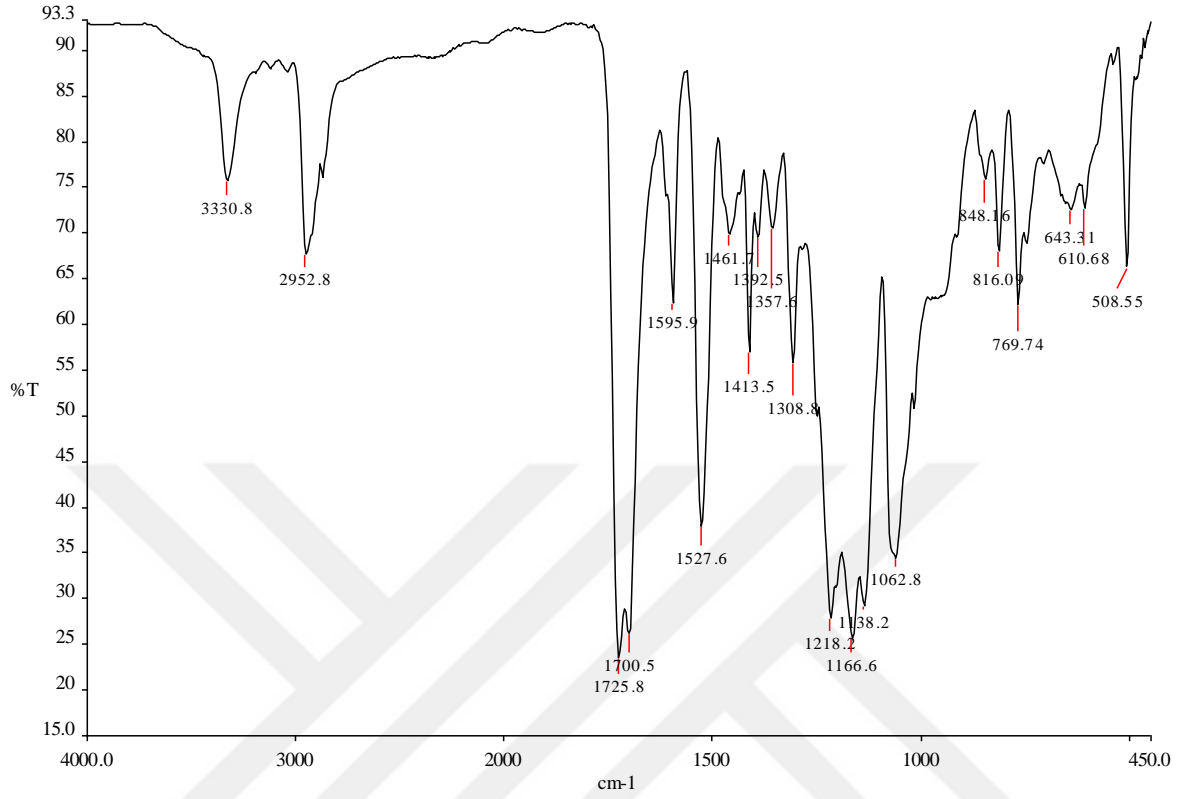
**EK 1 - Şekil 8.3.** % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin FTIR Spektrumu(MKC-4)



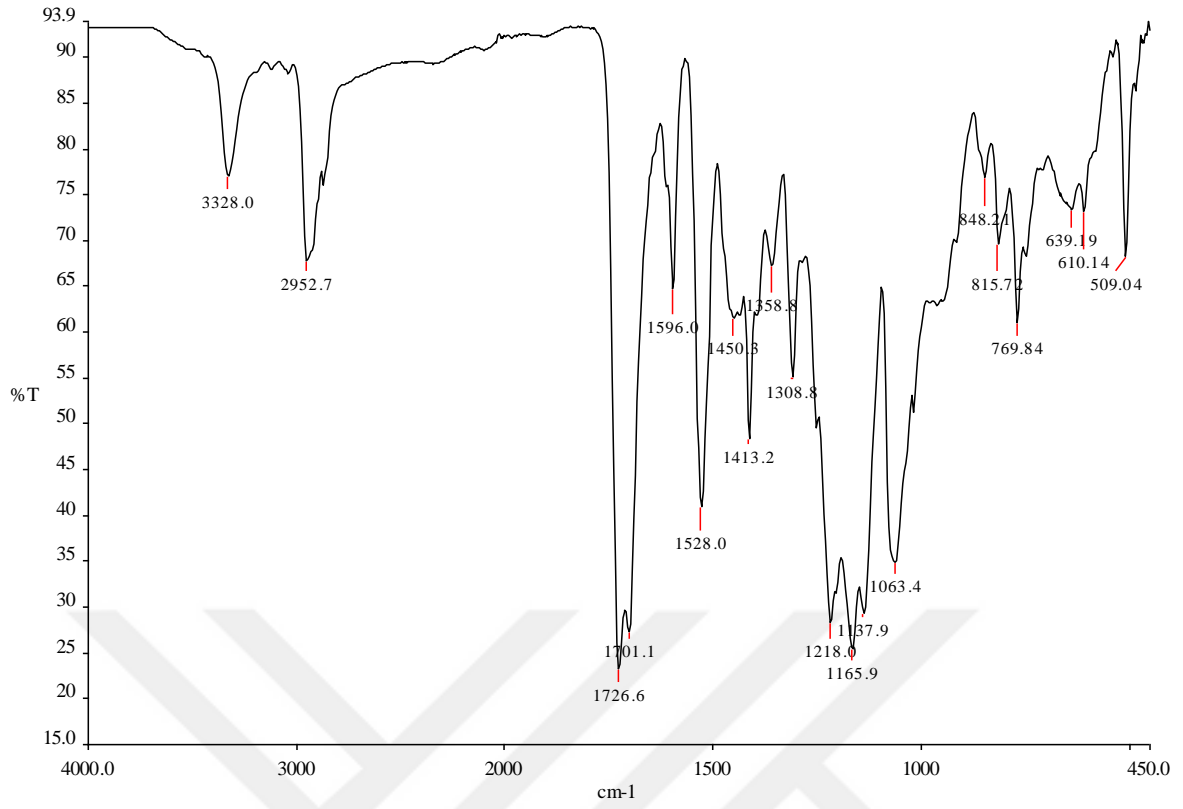
**EK 1 - Şekil 8.4.** %50 PP + %50 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin FTIR Spektrum (MKC-6)



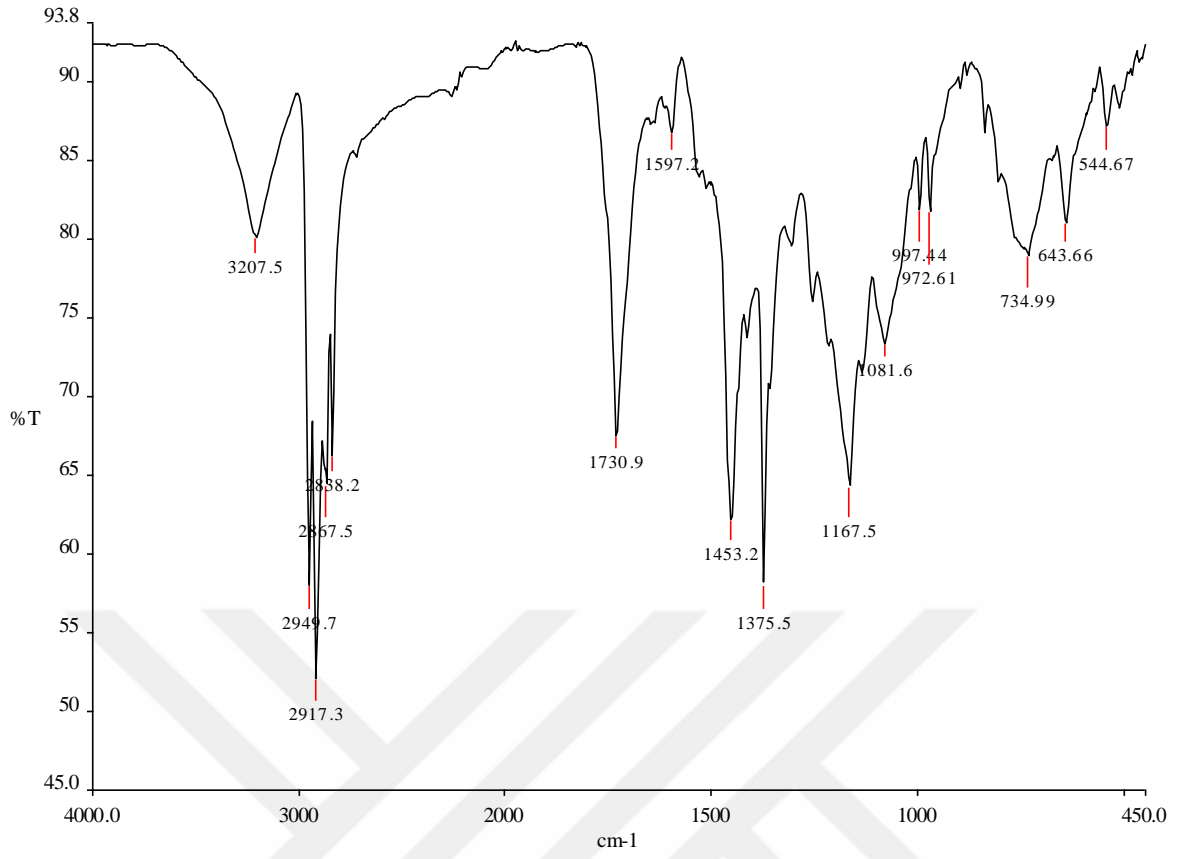
**EK 1 - Şekil 8.5.** % 25 PP + % 75 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin FTIR Spektrum (MKC-8)



**EK 1 - Şekil 8.6. % 100 TPU Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-10)**

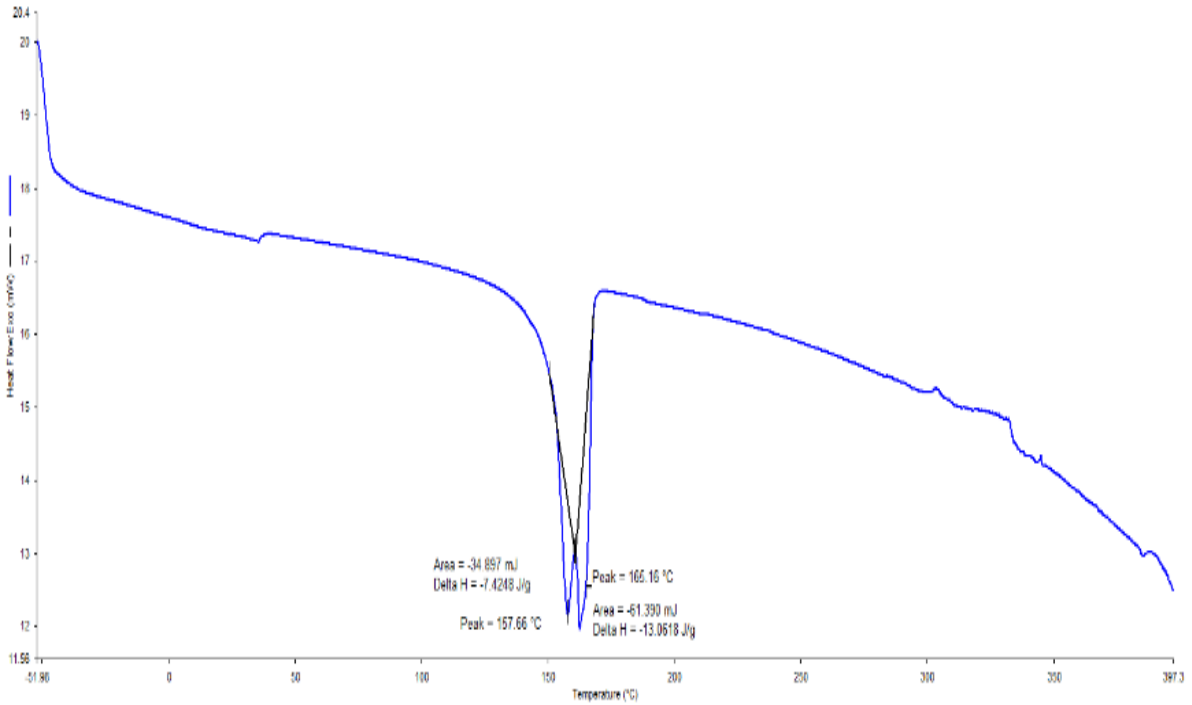
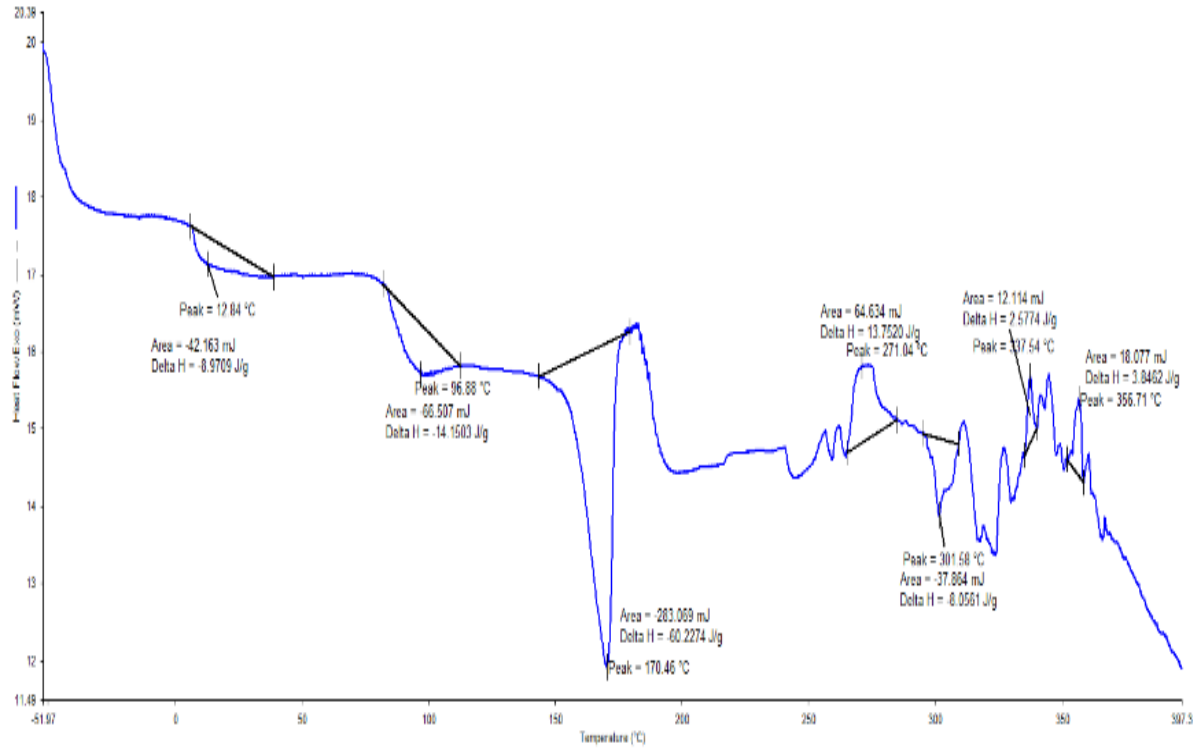


**EK 1 - Şekil 8.7. % 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin FTIR Spektrumu (MKC-11)**

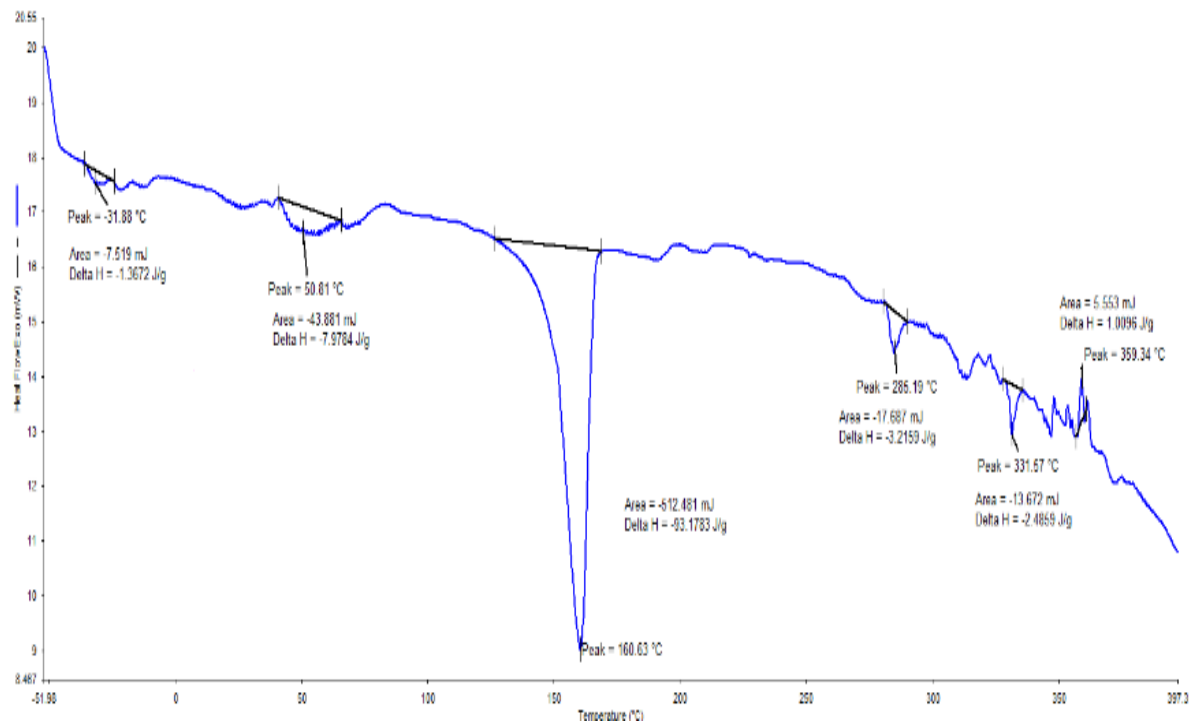
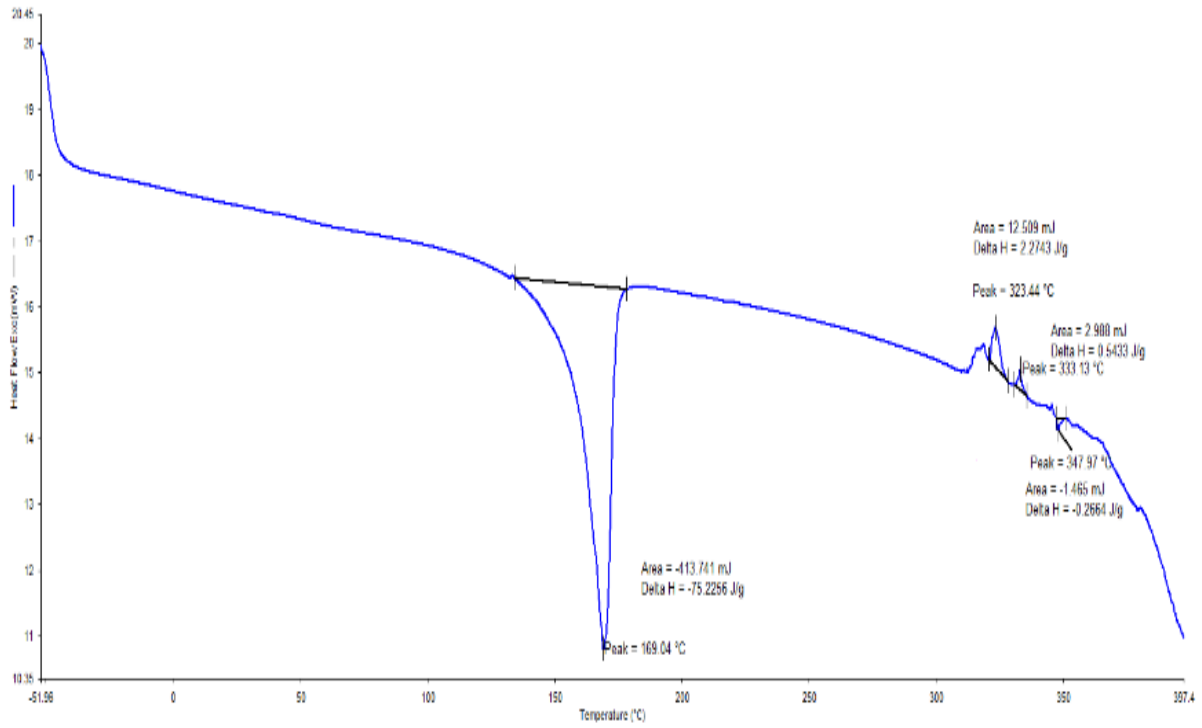


**EK 1 - Şekil 8.8. % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B2O3 Kompozitinin FTIR Spektrumu (BCK-5 )**

## EK 2 DSC Analizleri

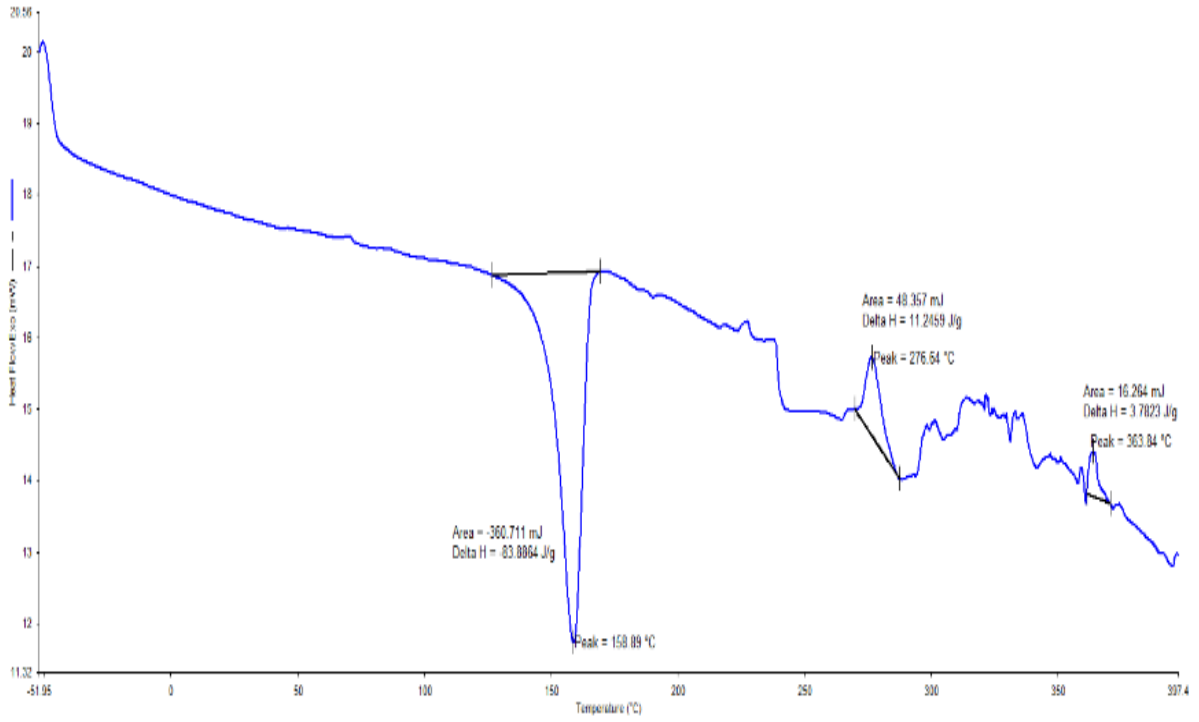
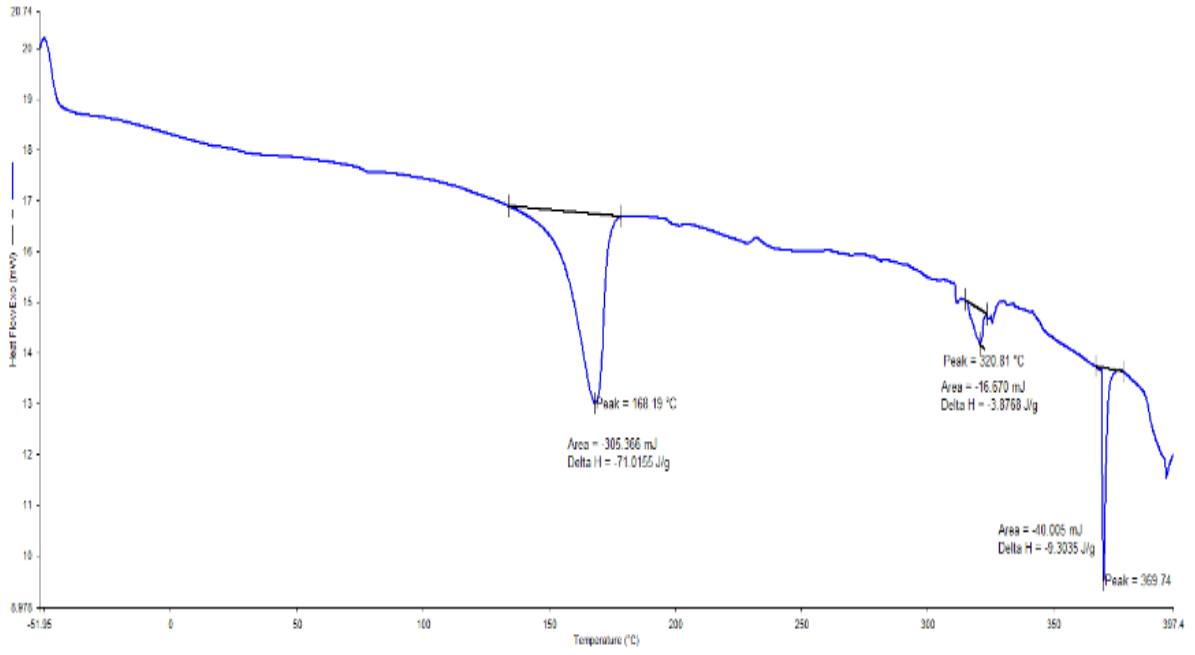


EK 2 - Şekil 8.1. % 100 PP Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-1)

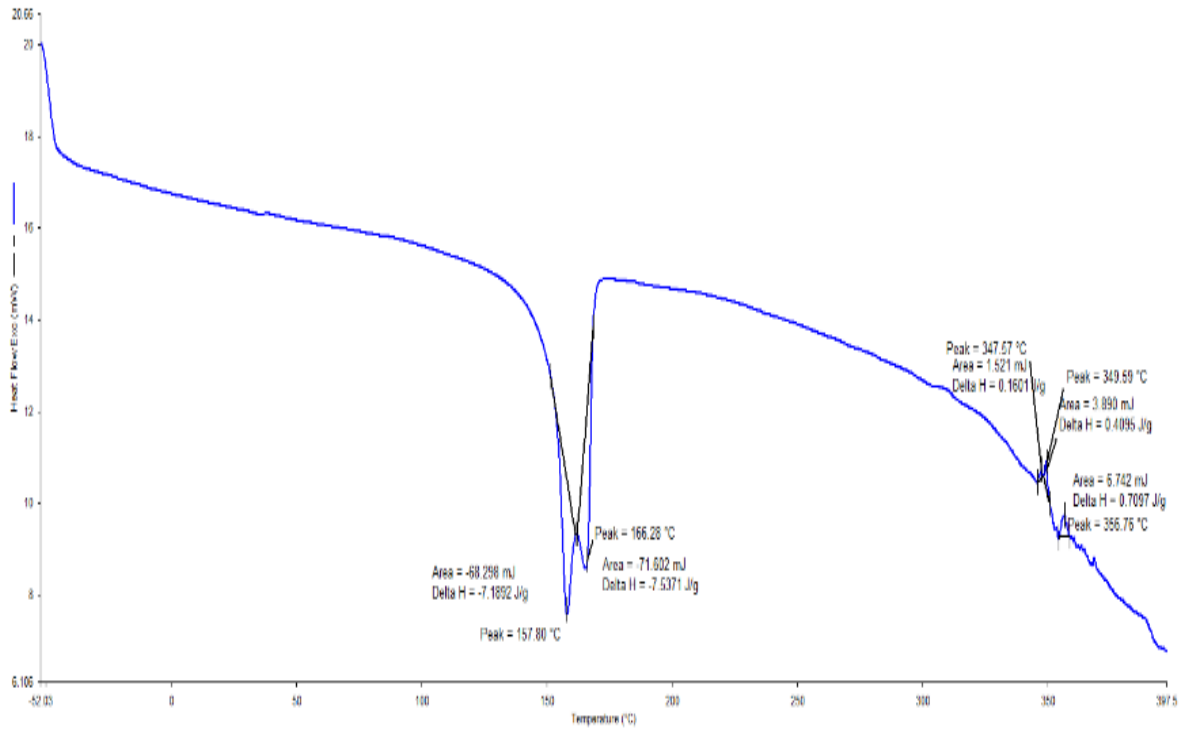
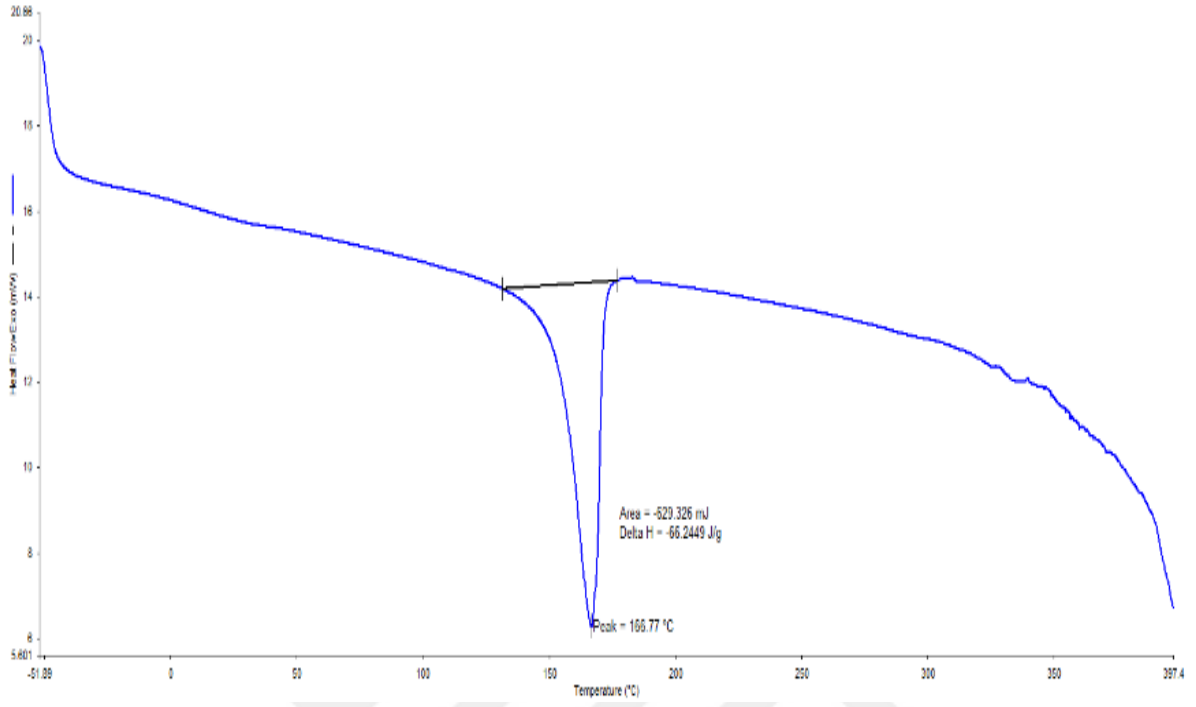


**EK 2 - Şekil 8.2.** % 100 PP + % 2 h- BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-2)

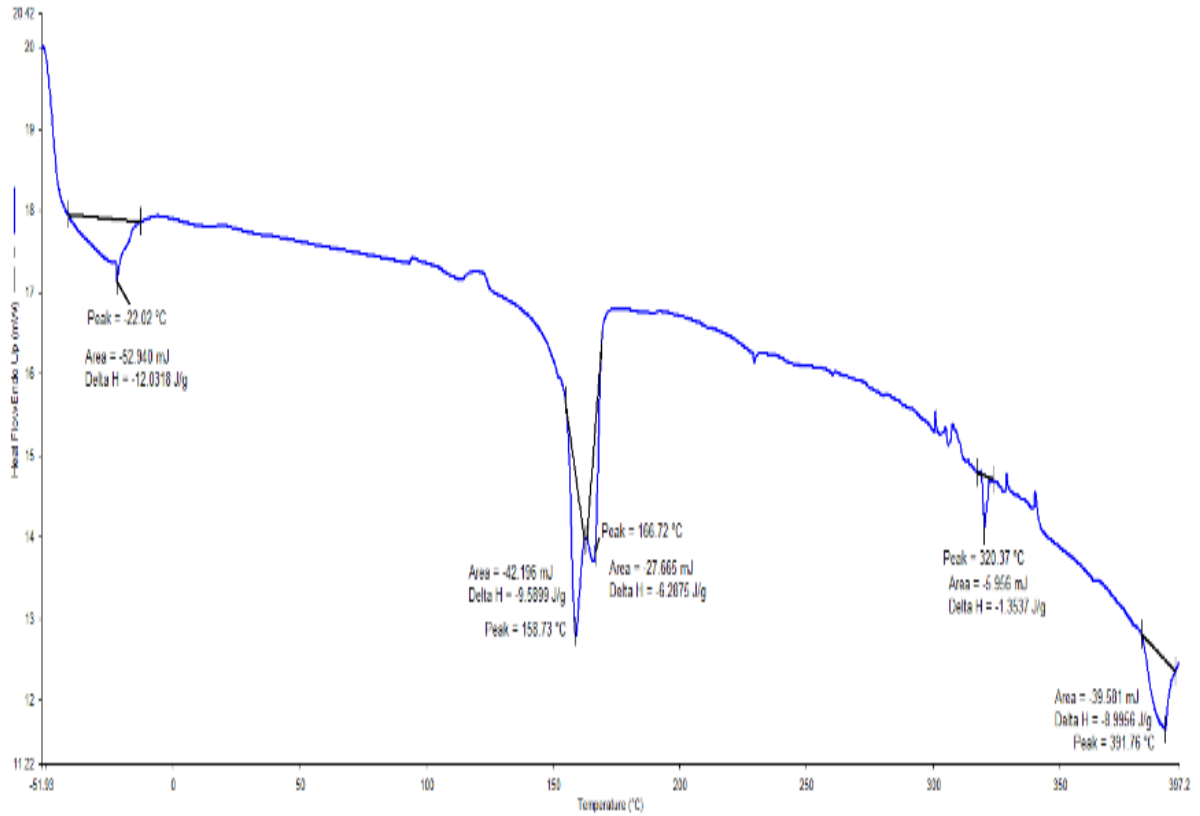
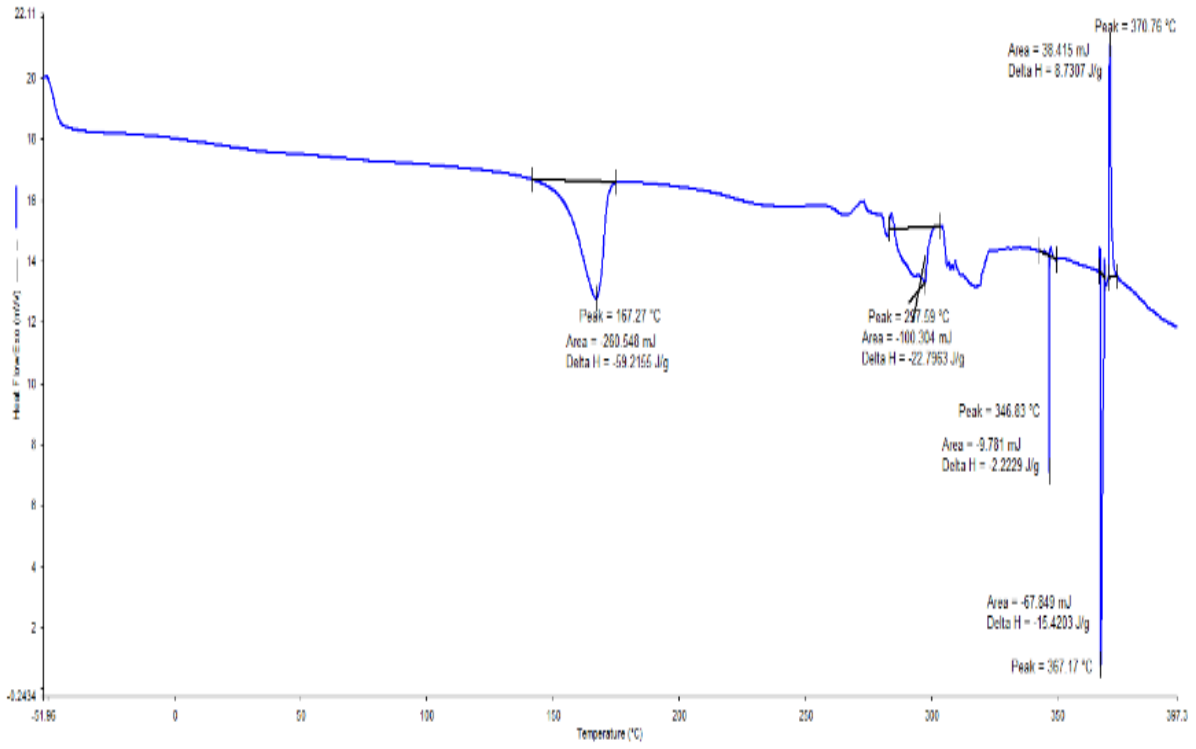




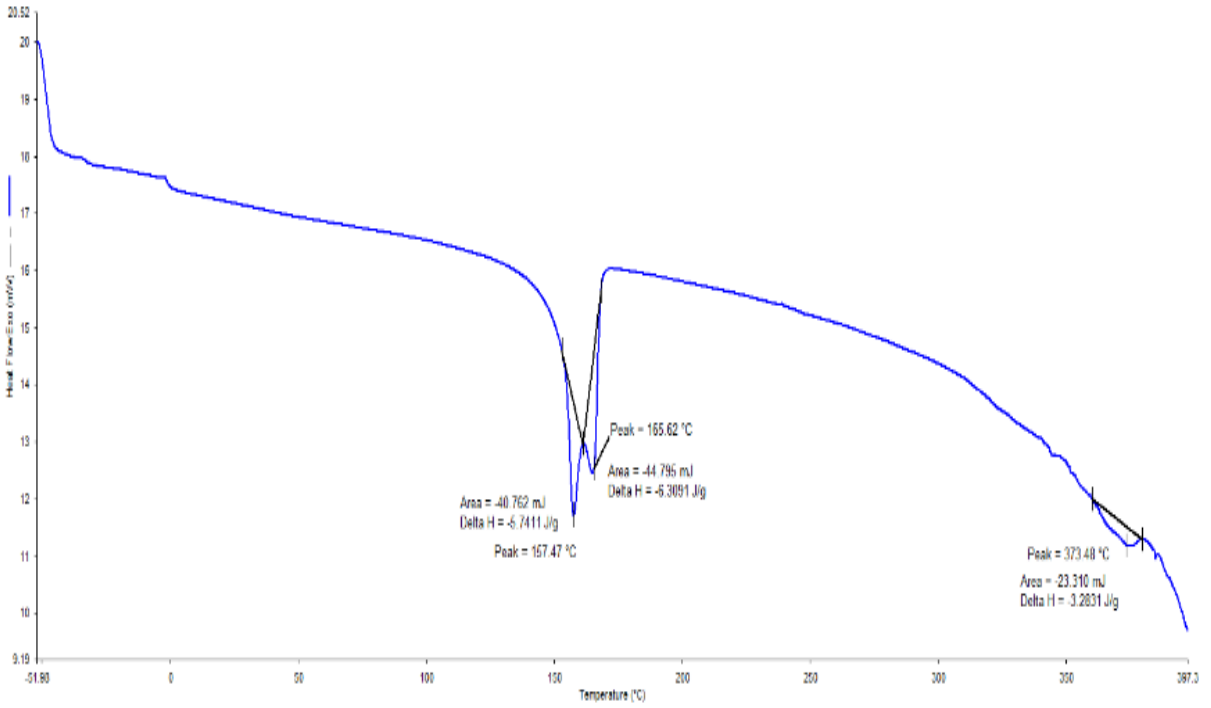
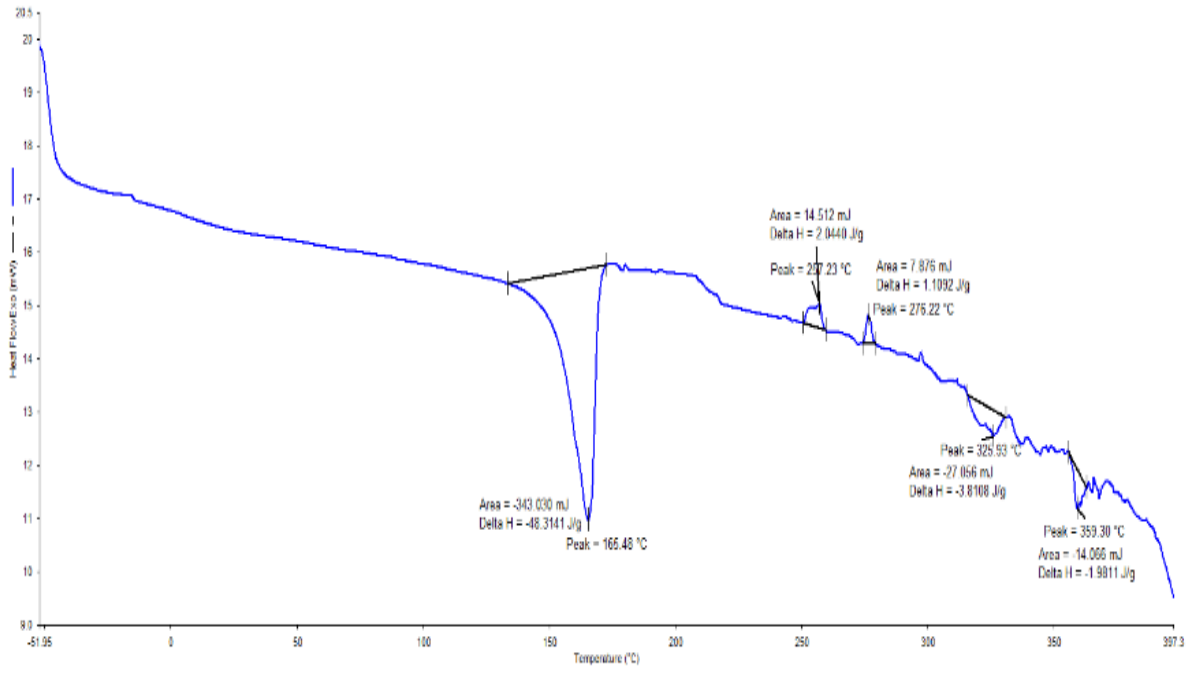
**EK 2 - Şekil 8.3. % 100 PP + % 4 h- BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-3)**



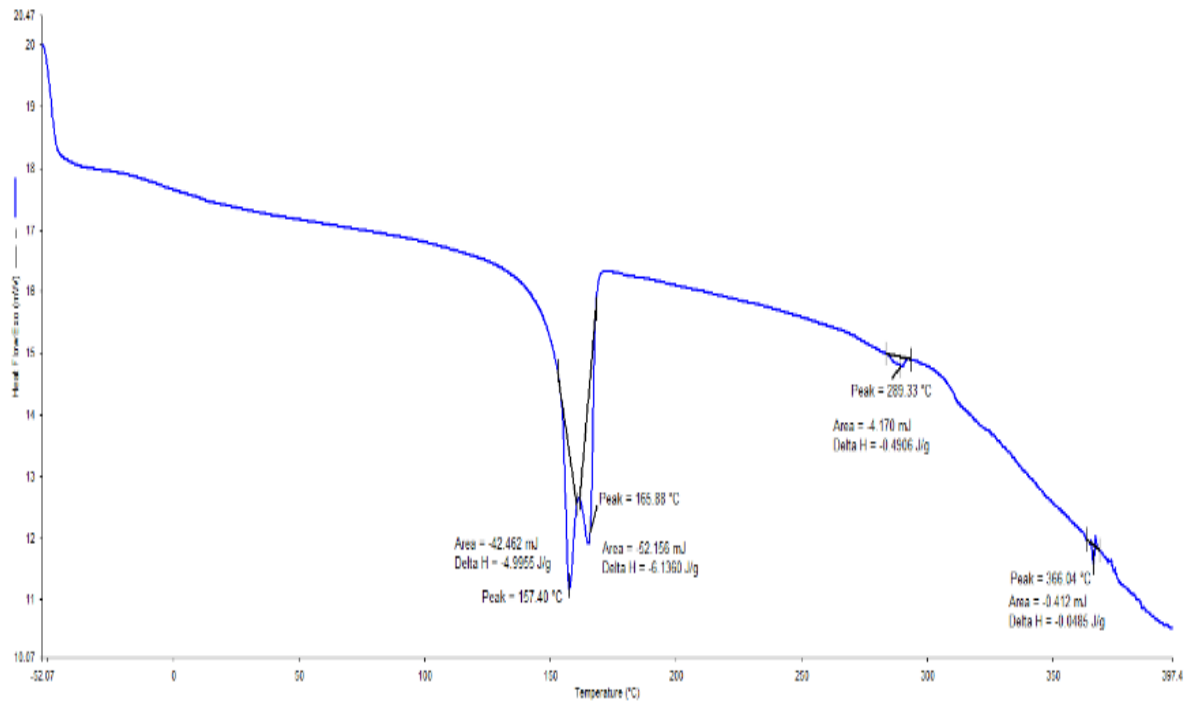
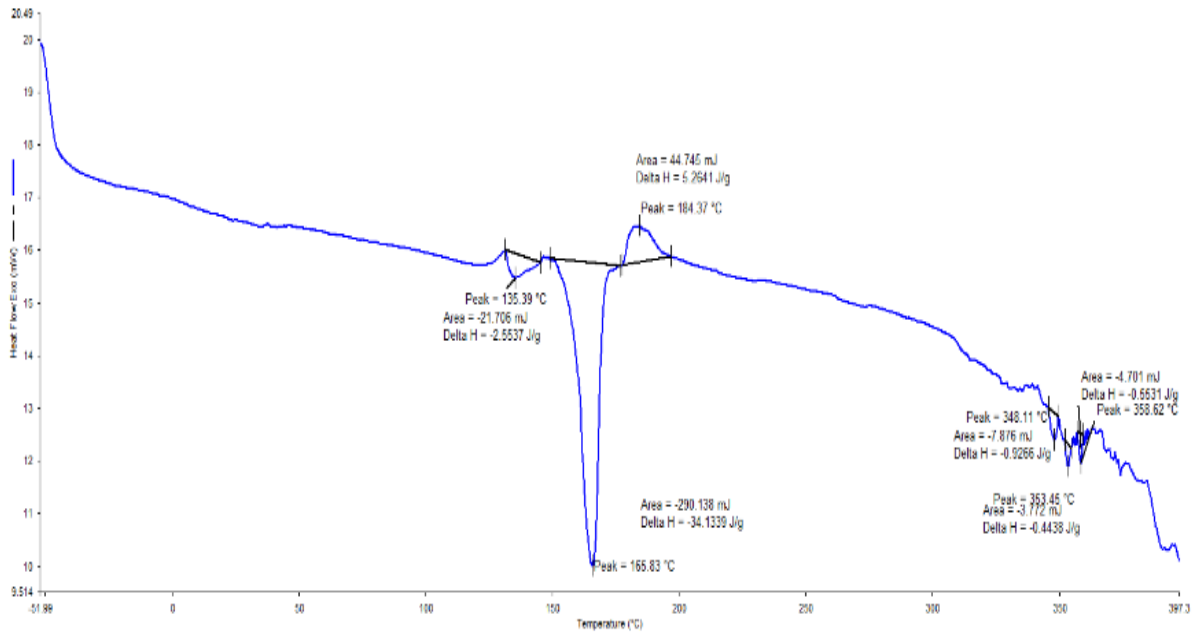
**EK 2 - Şekil 8.4. % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-4)**



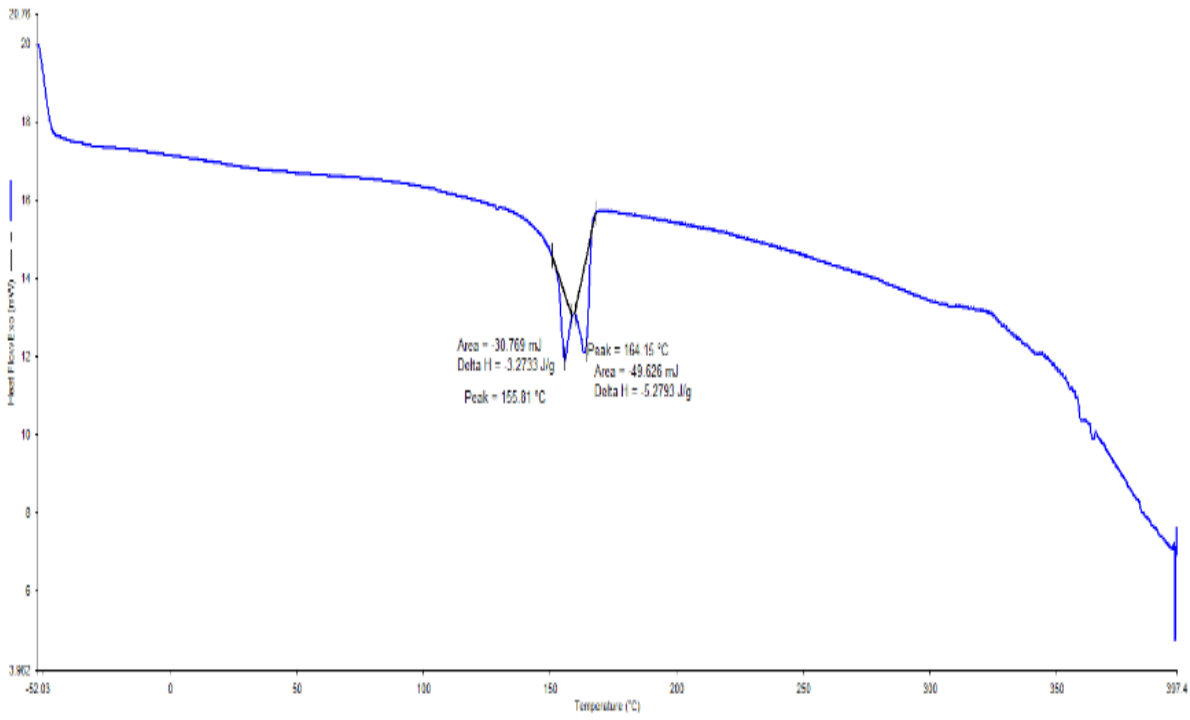
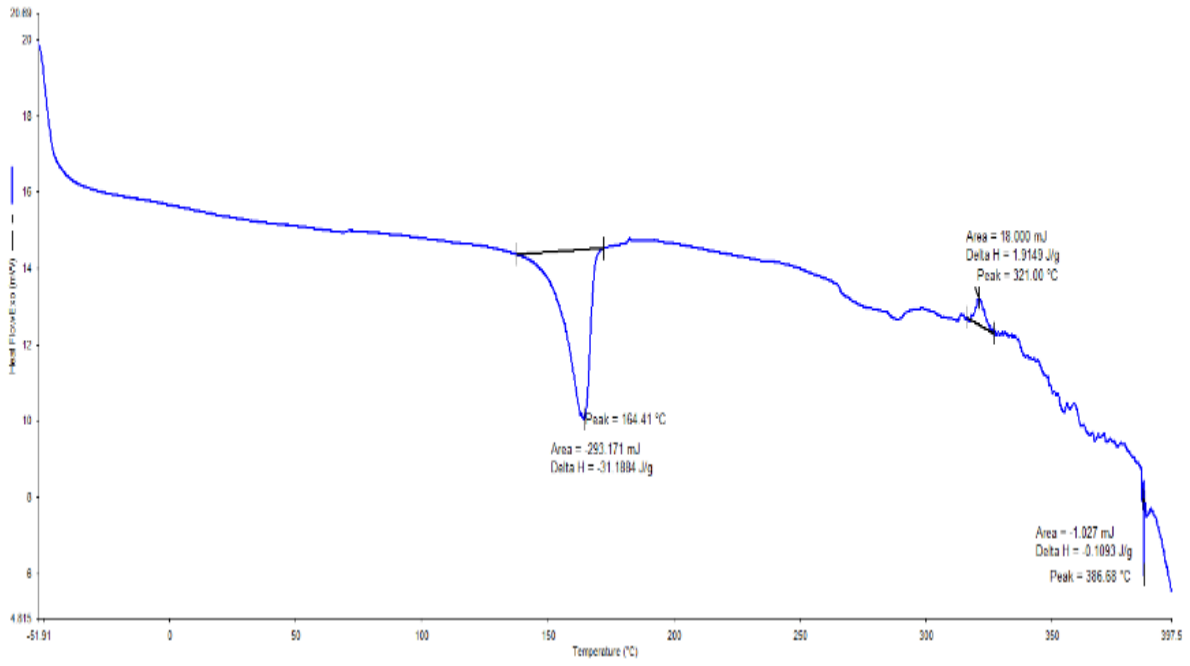
**EK 2 - Şekil 8.5. % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-5)**



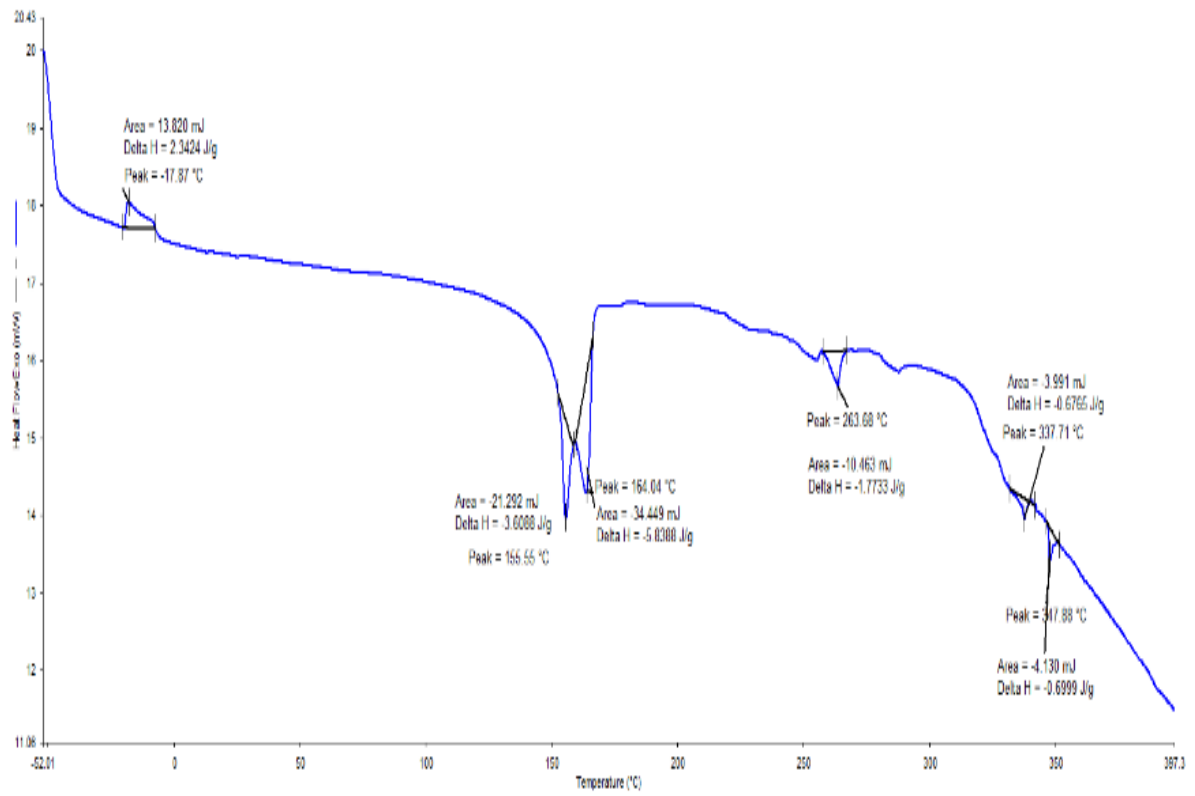
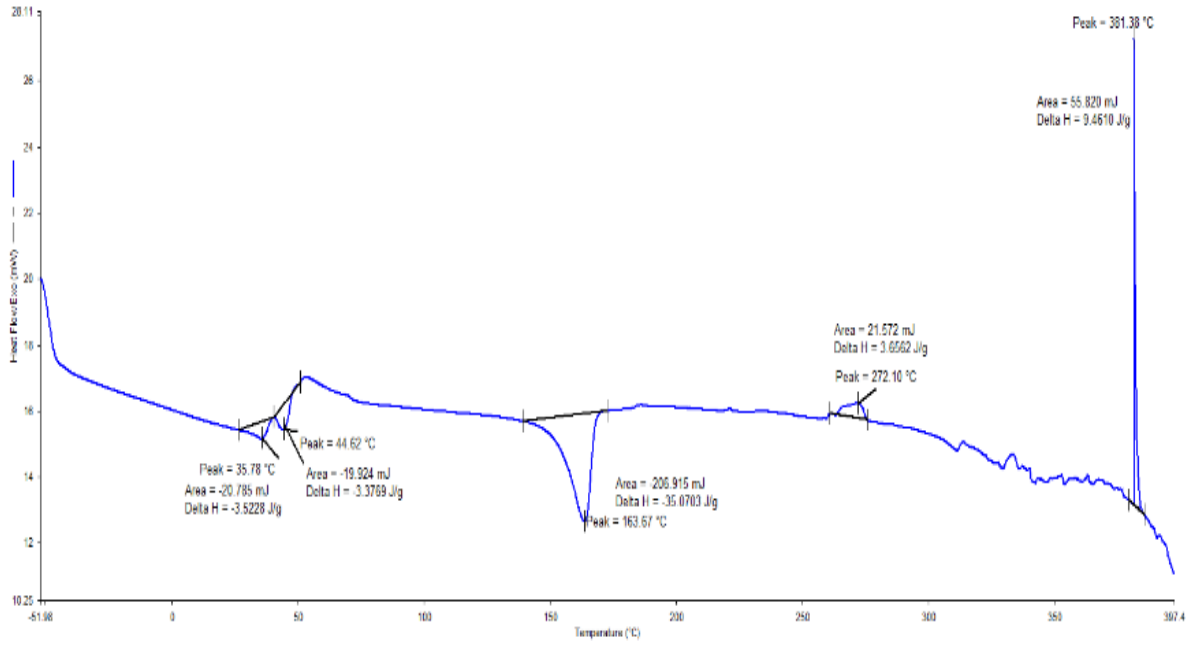
**EK 2 - Şekil 8.6. % 50 PP + % 50 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-6)**



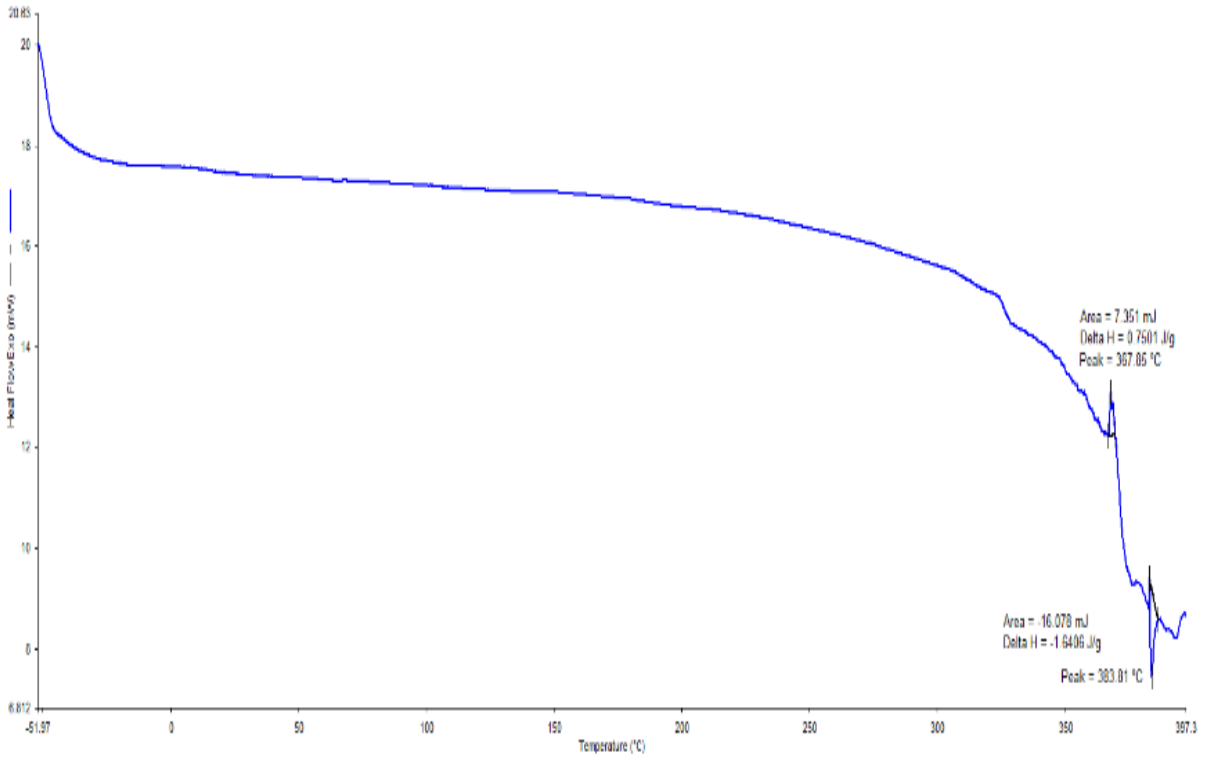
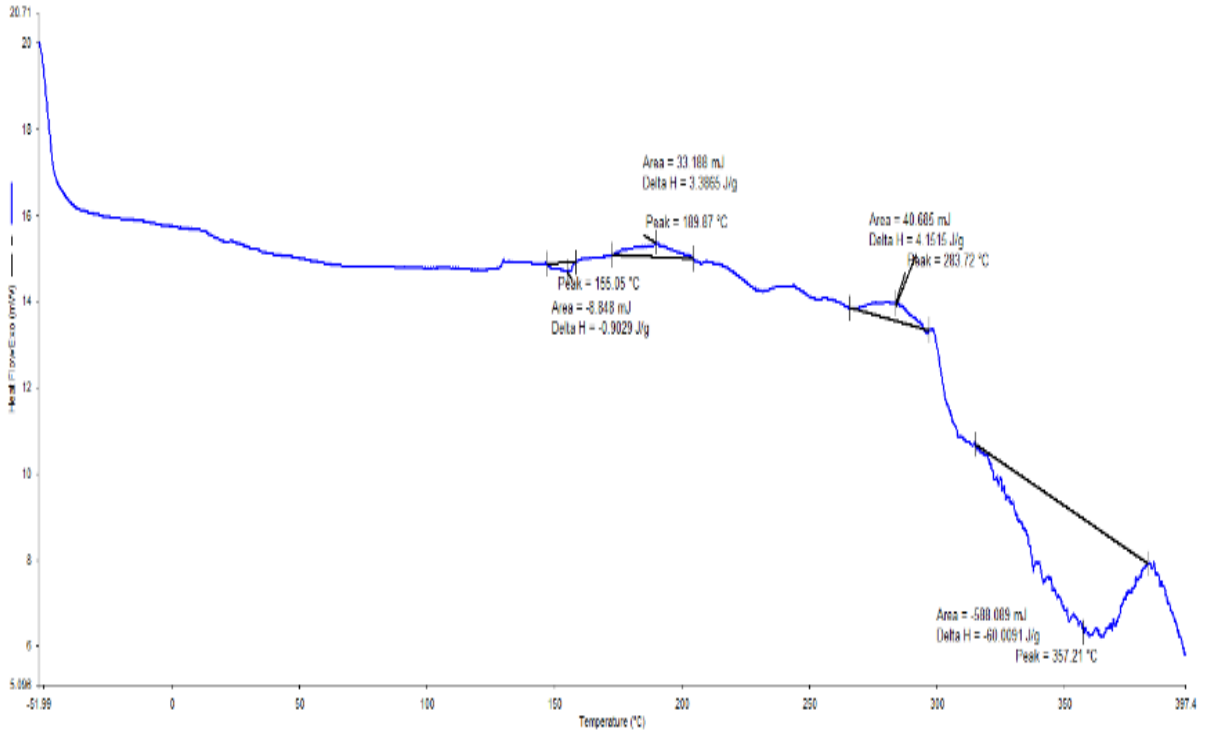
**EK 2 - Şekil 8.7. % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-7)**



**EK 2 - Şekil 8.8. % 25 PP + % 75 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-8)**

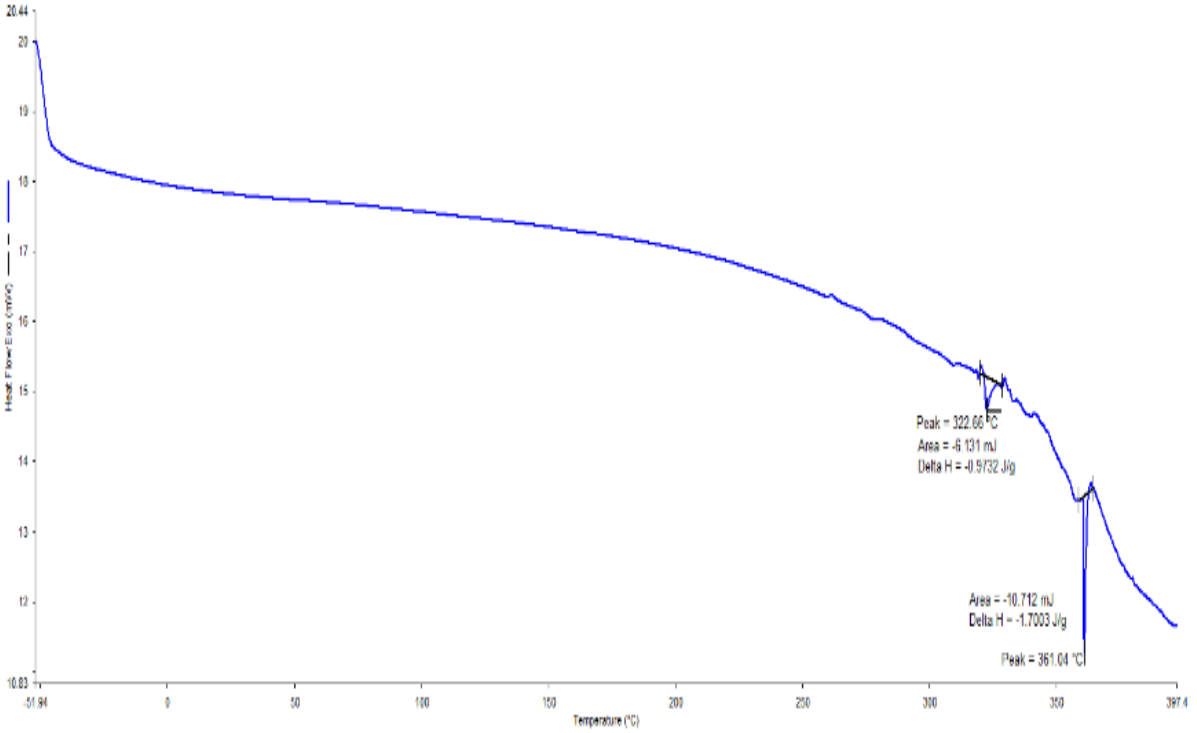
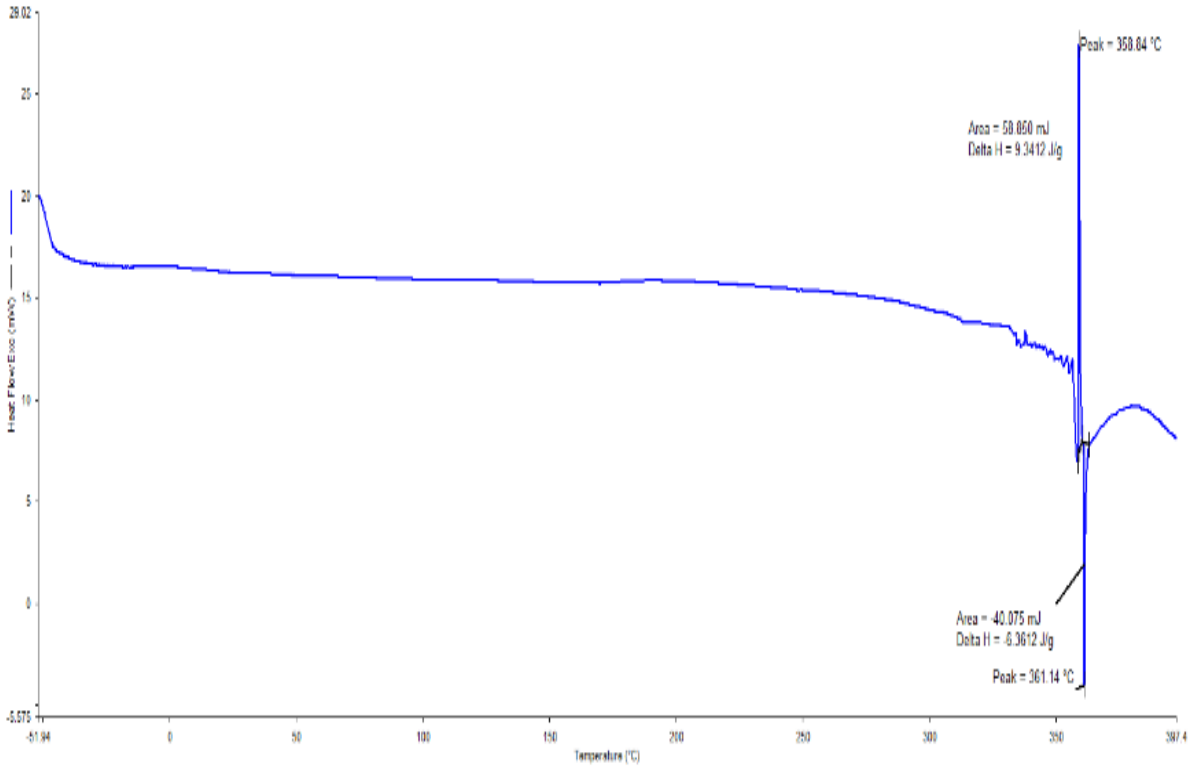


**EK 2 - Şekil 8.9. % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-9)**

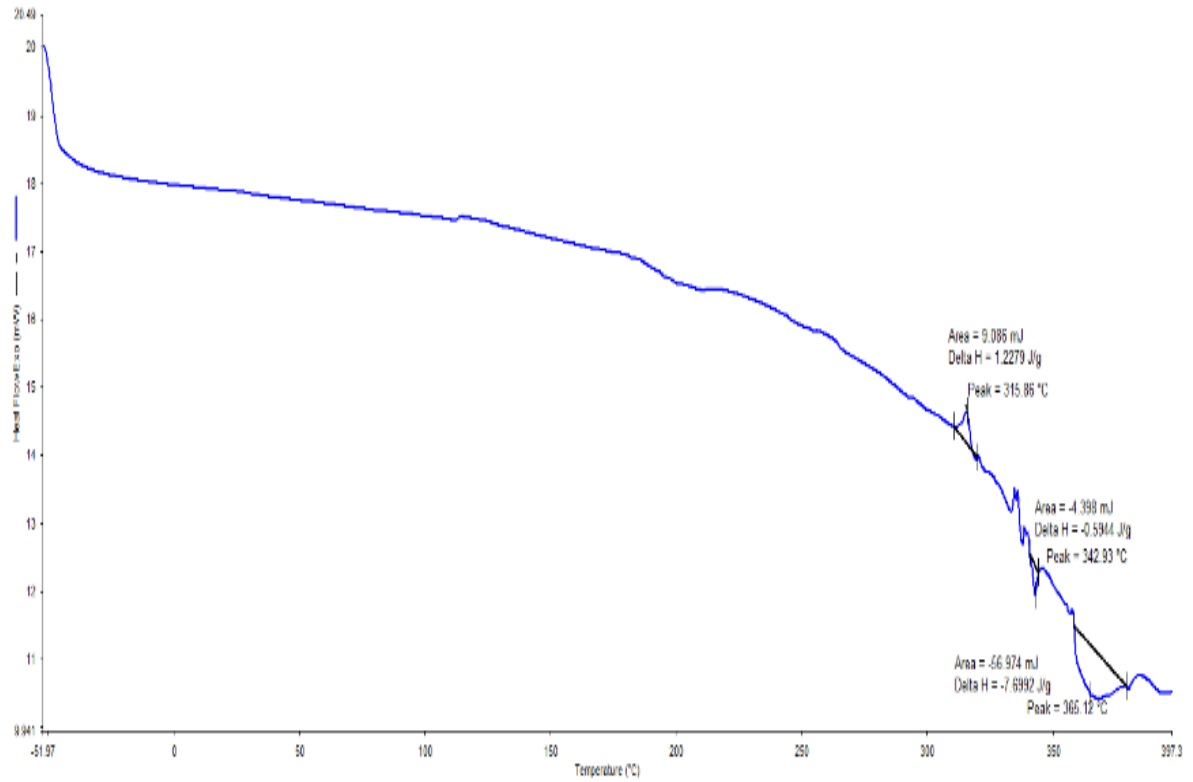
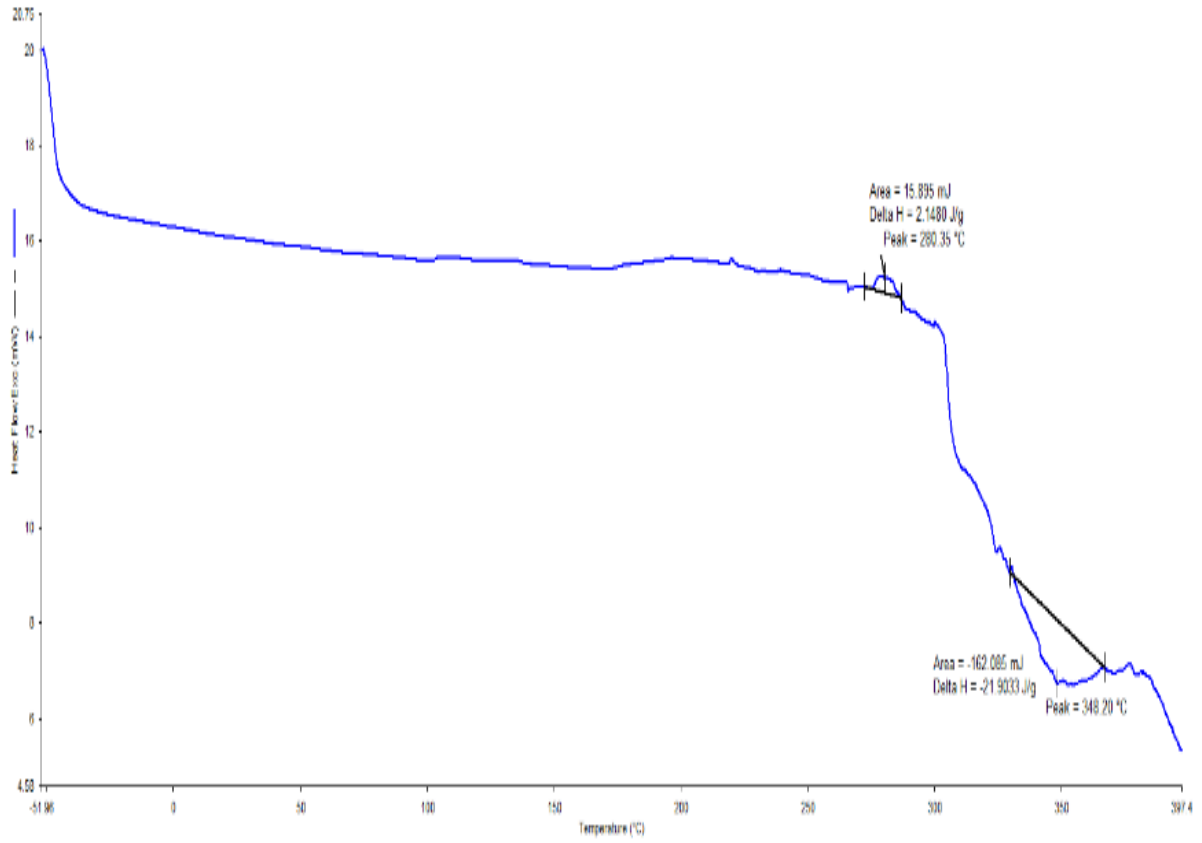


**EK 2 - Şekil 8.10. % 100 TPU Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-10)**

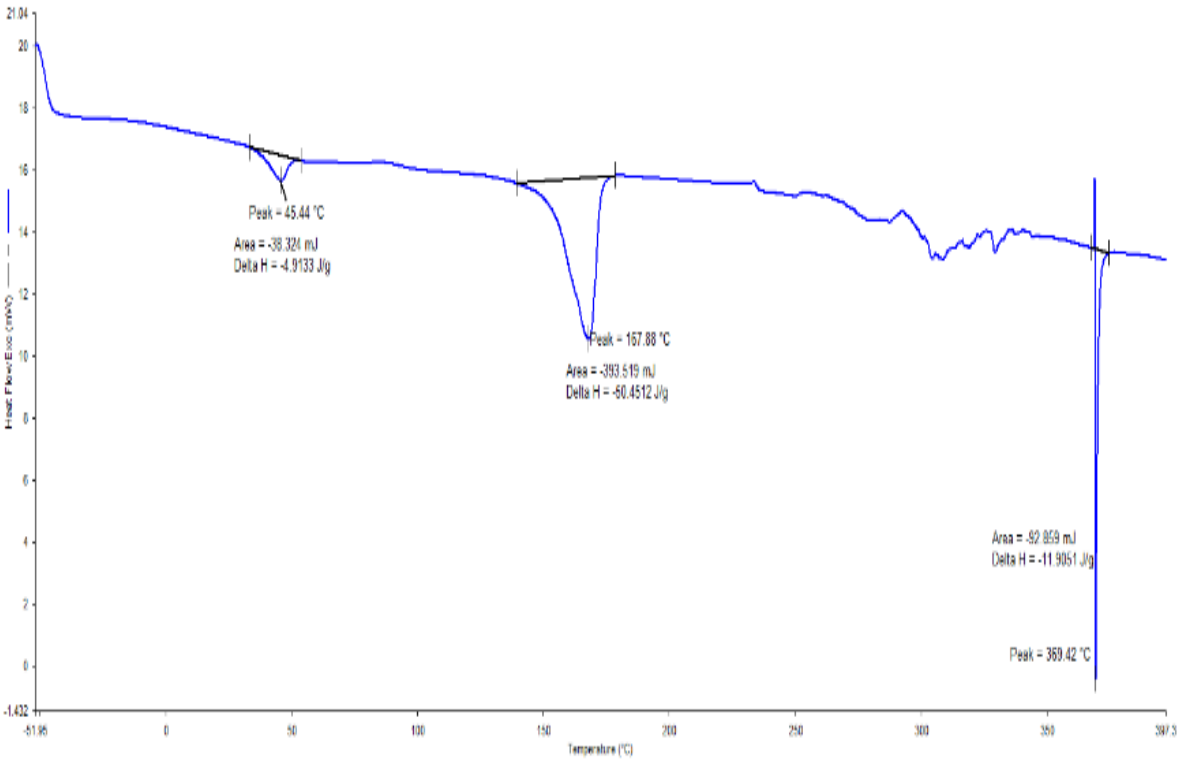
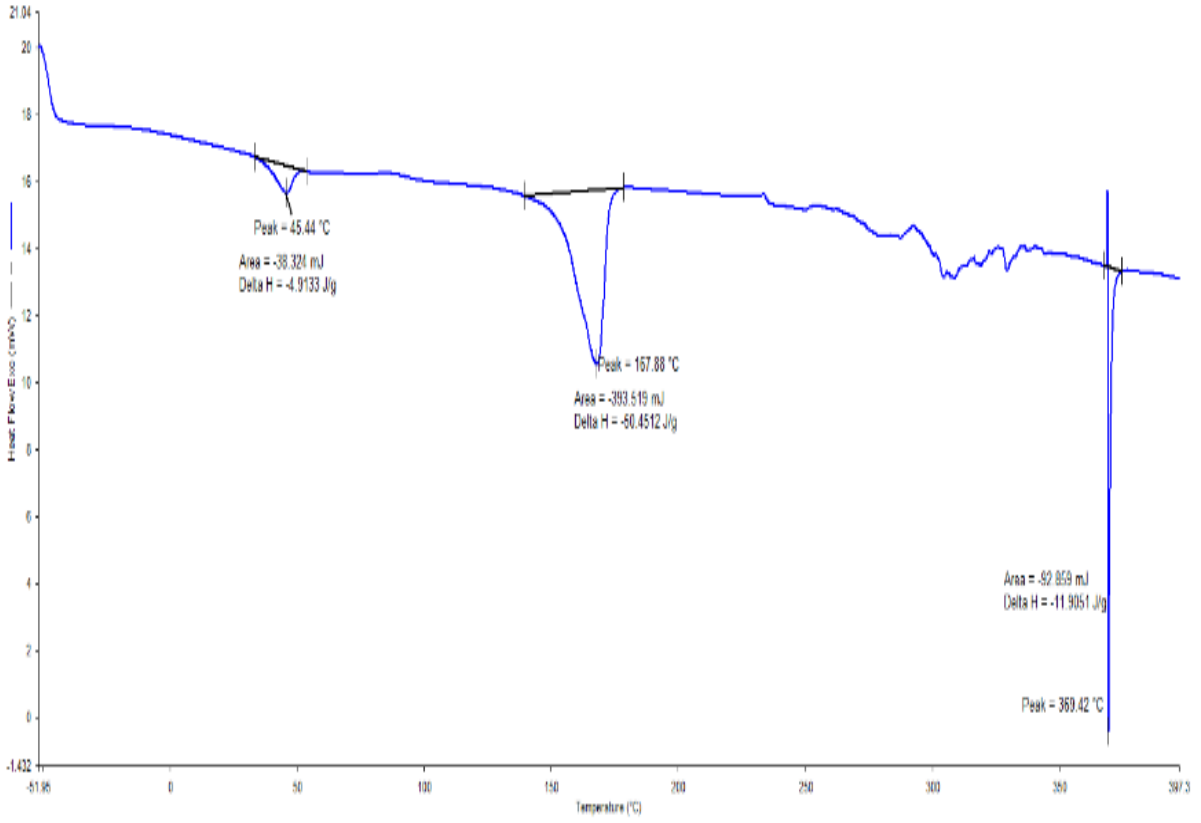




**EK 2 - Şekil 8.11. % 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-11)**

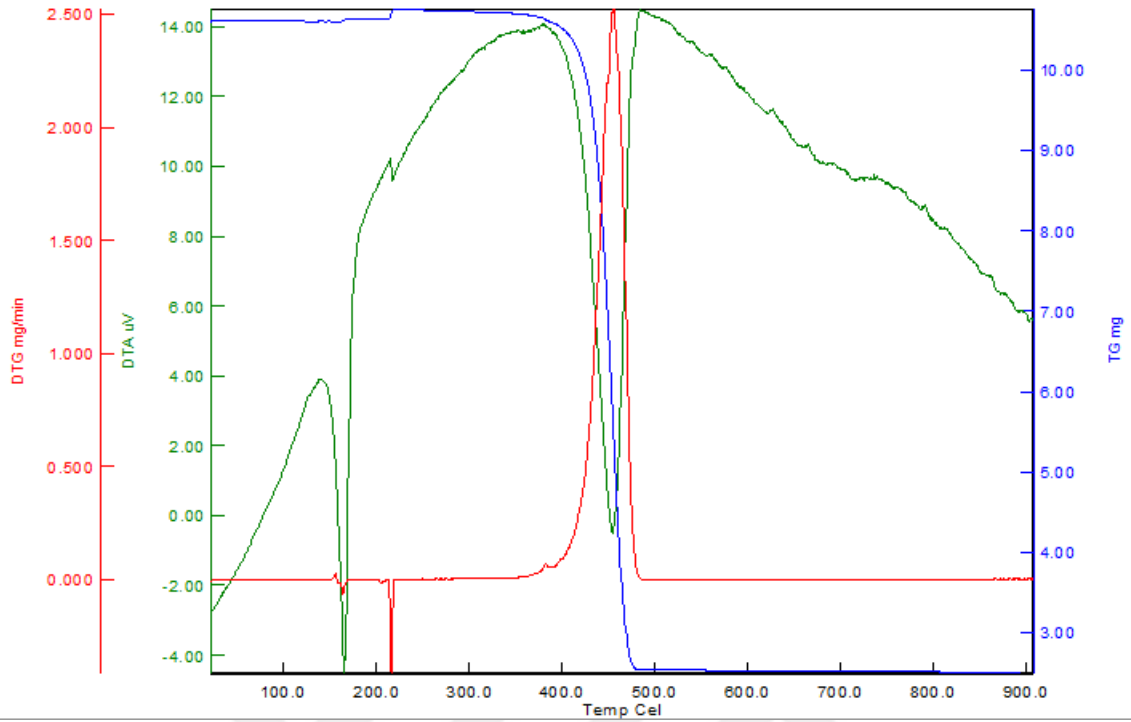


**EK 2 - Şekil 8.12. % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DSC Grafiği (MKC-12)**

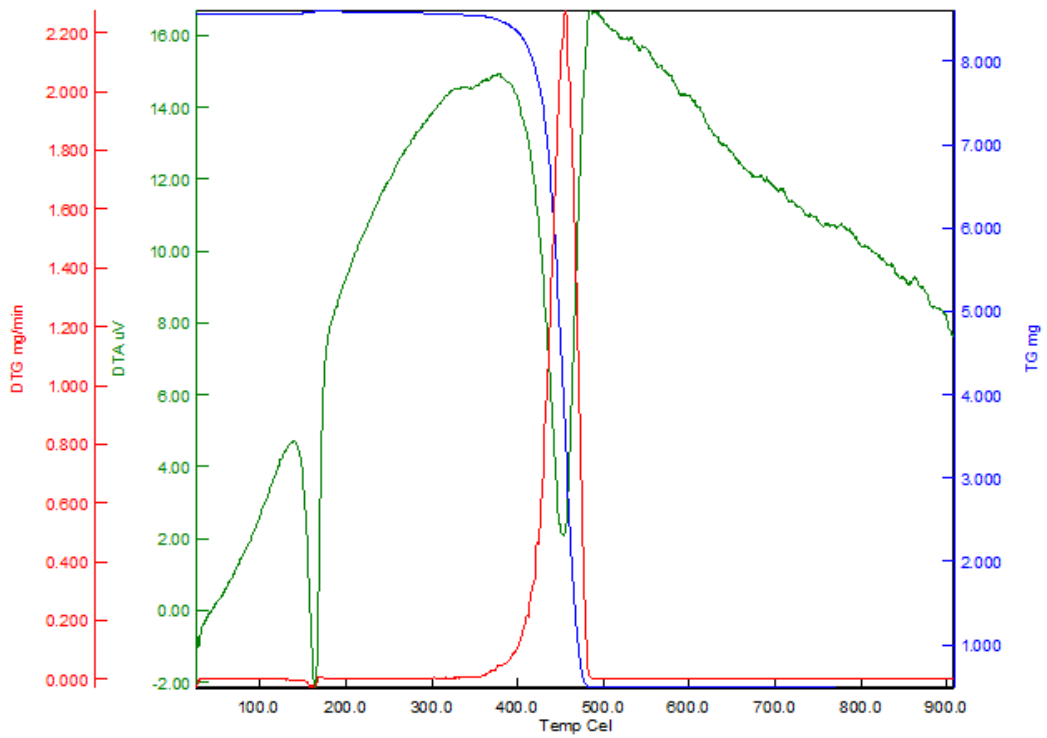


**EK 2 - Şekil 8.13. % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B2O3 Kompozitinin DSC Grafiği (BCK 5)**

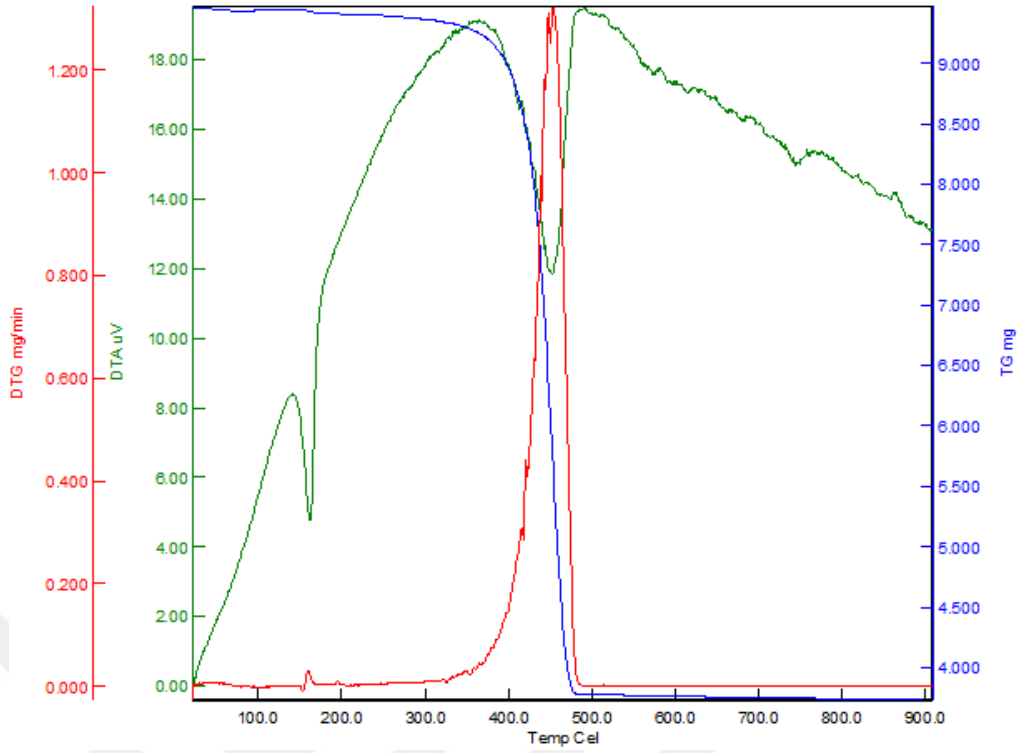
## EK 3 TGA Analizleri



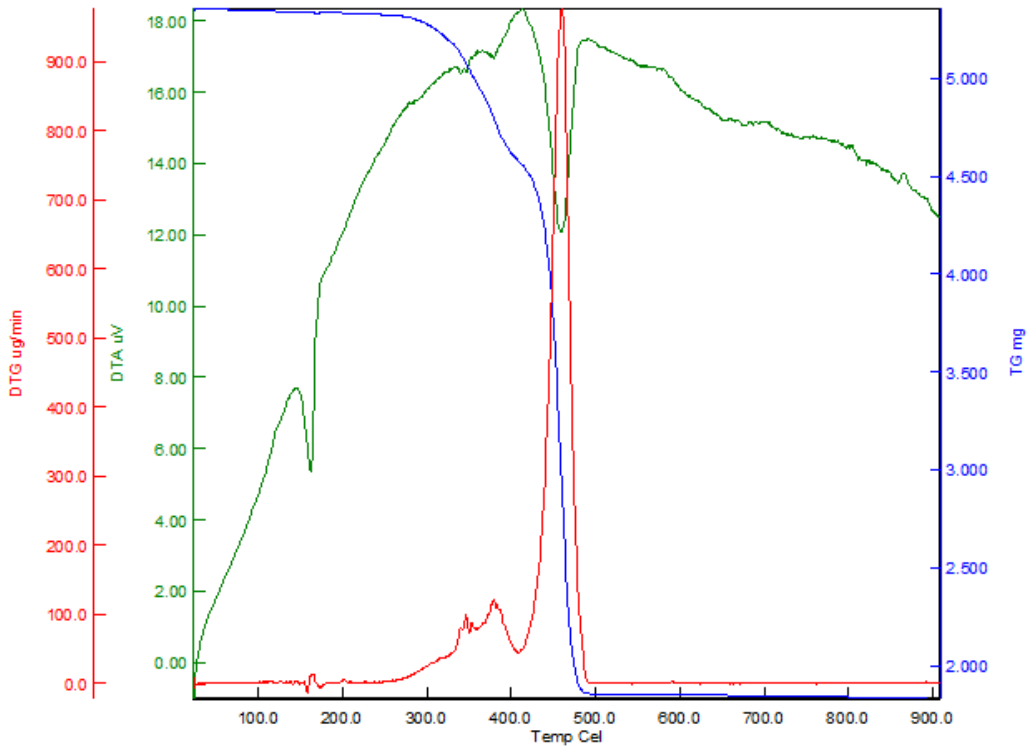
EK 3 - Şekil 8.1. % 100 PP Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-1)



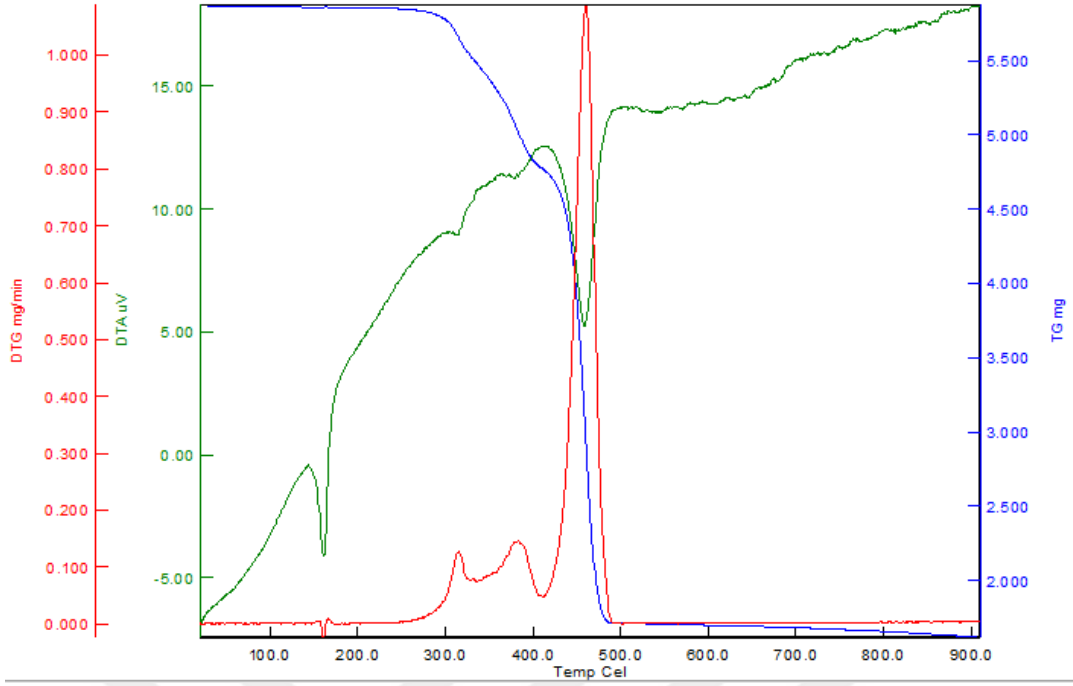
EK 3 - Şekil 8.2. % 100 PP + % 2 h- BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-2)



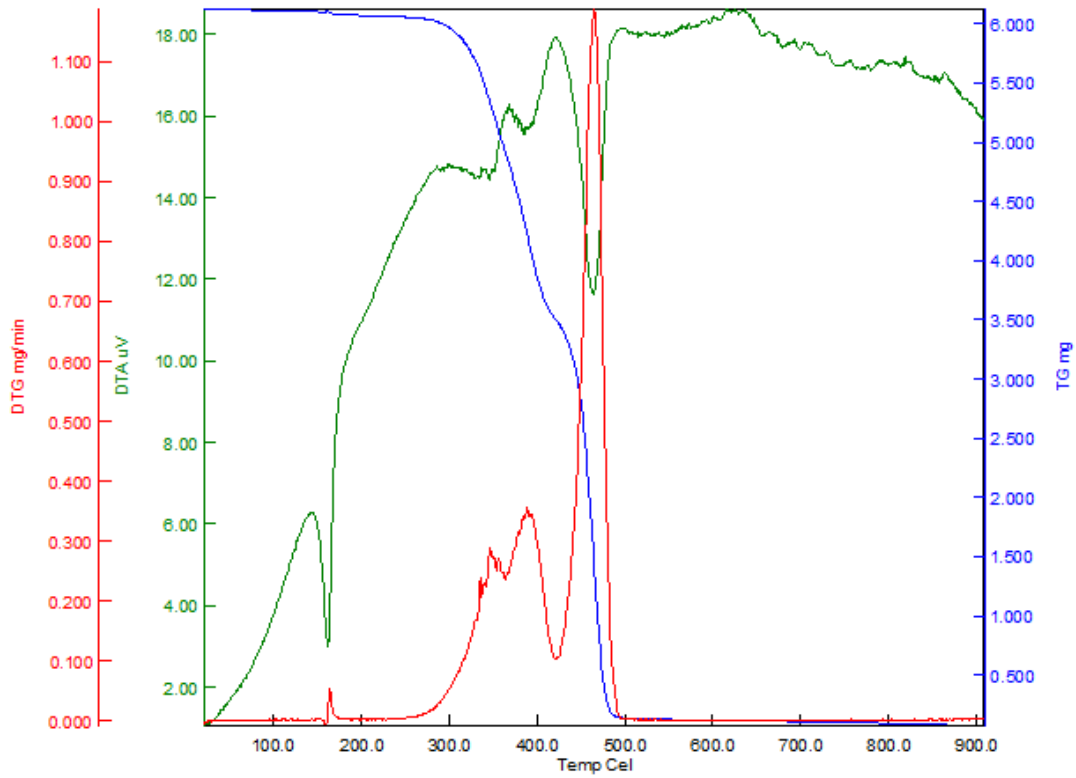
**EK 3 - Şekil 8.3.** % 100 PP + % 4 h- BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-3)



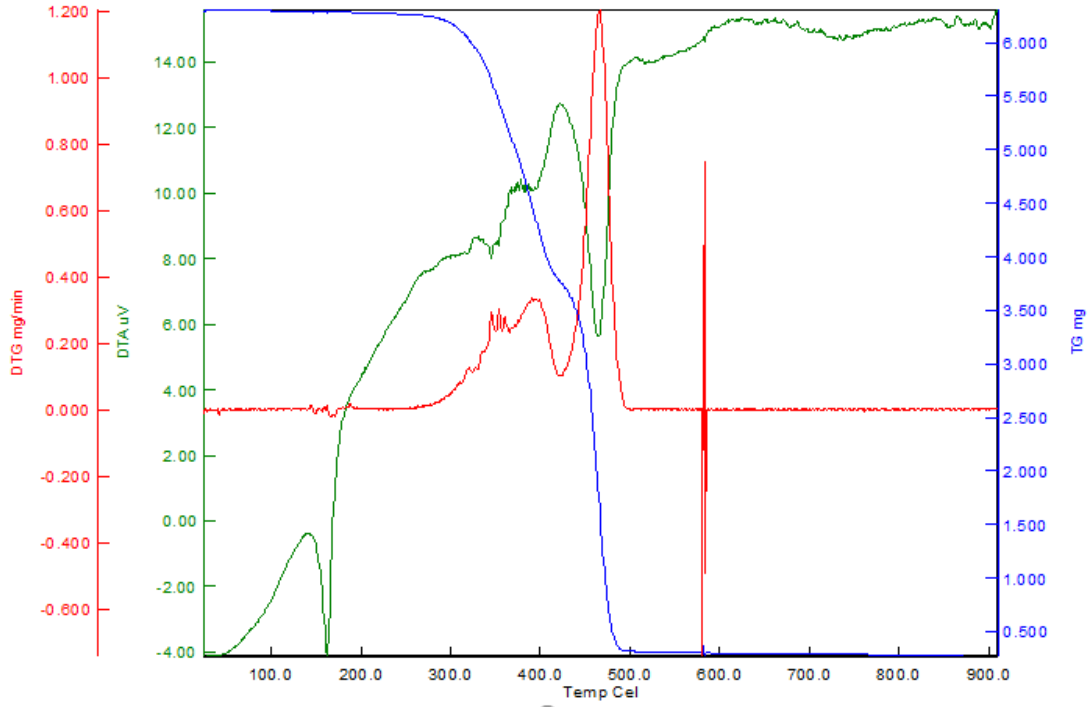
**EK 3 - Şekil 8.4.** % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-4)



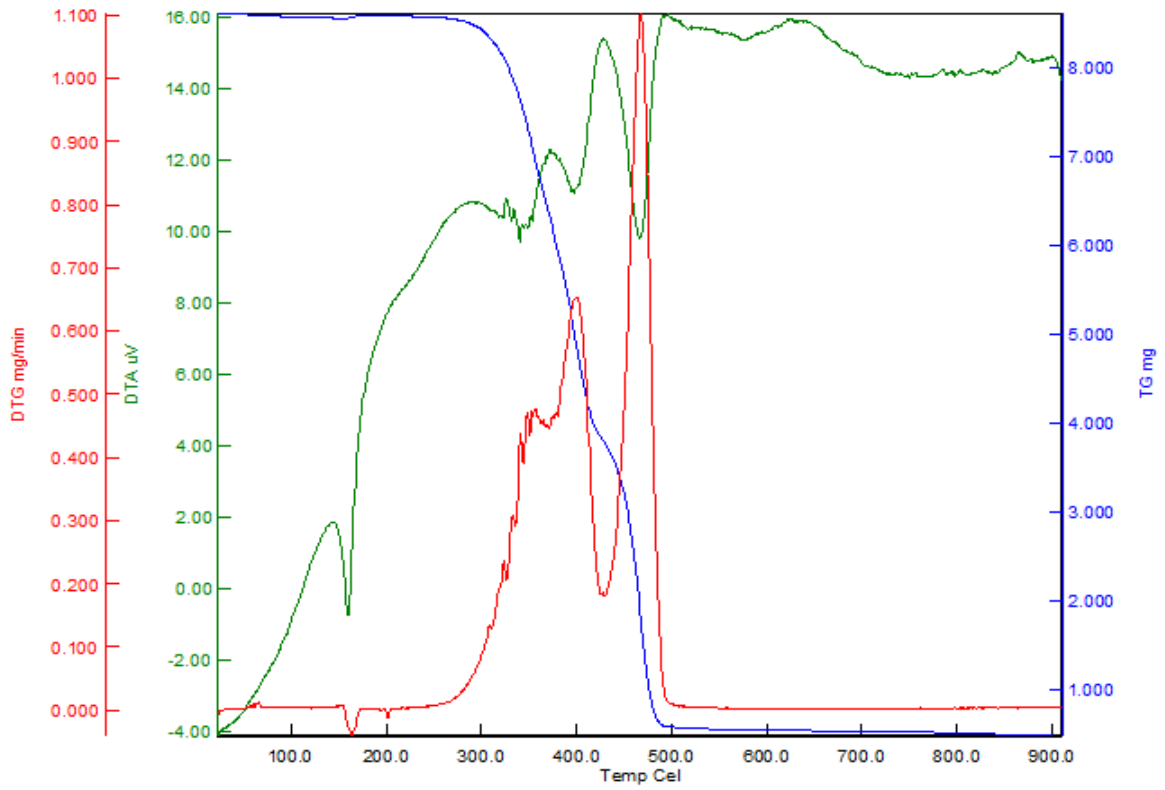
**EK 3 - Şekil 8.5. % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-5)**



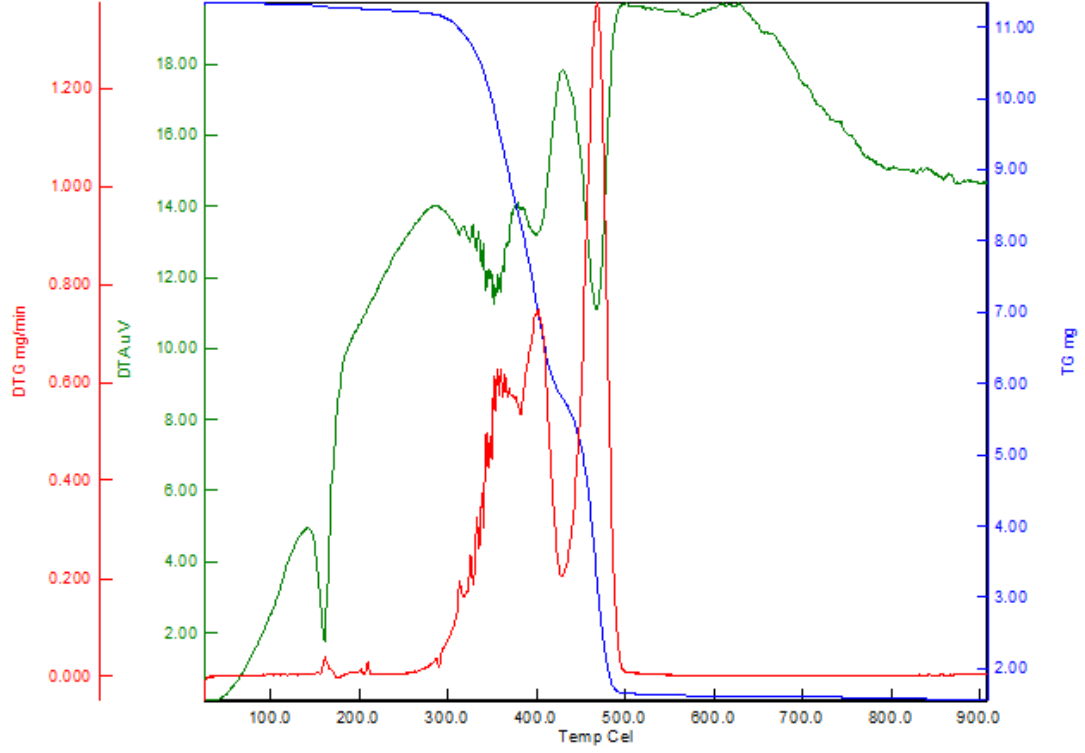
**EK 3 - Şekil 8.6. % 50 PP + % 50 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-6)**



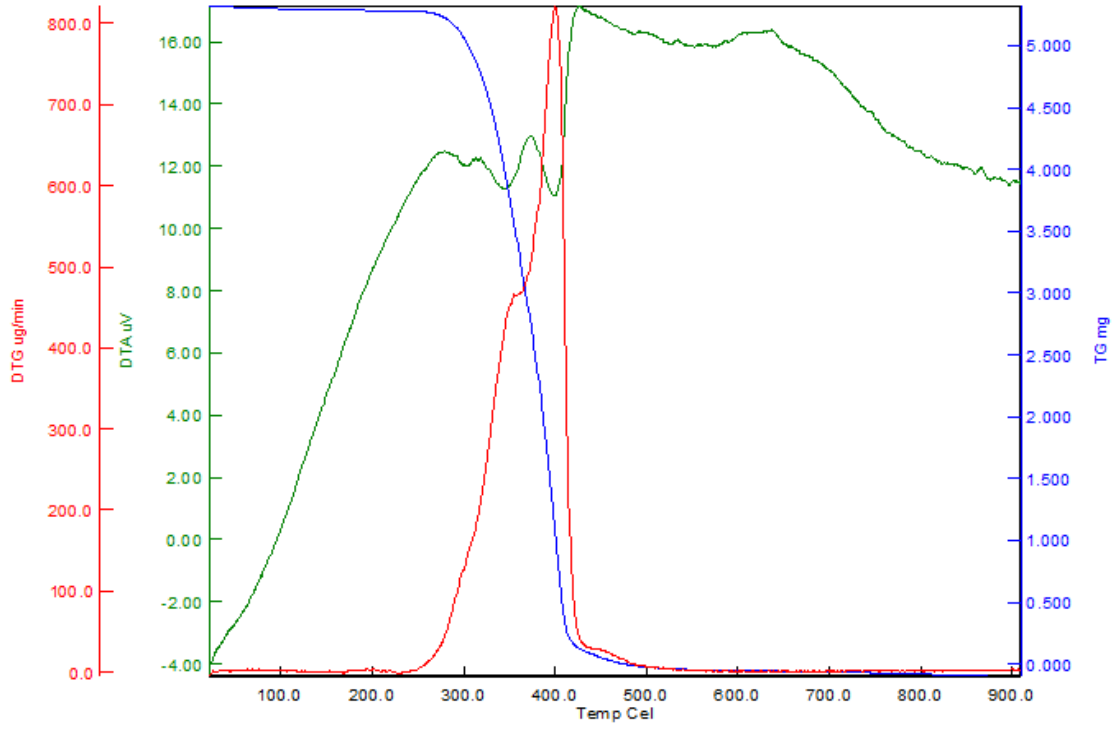
**EK 3 - Şekil 8.7. % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-7)**



**EK 3 - Şekil 8.8. % 25 PP + % 75 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-8)**

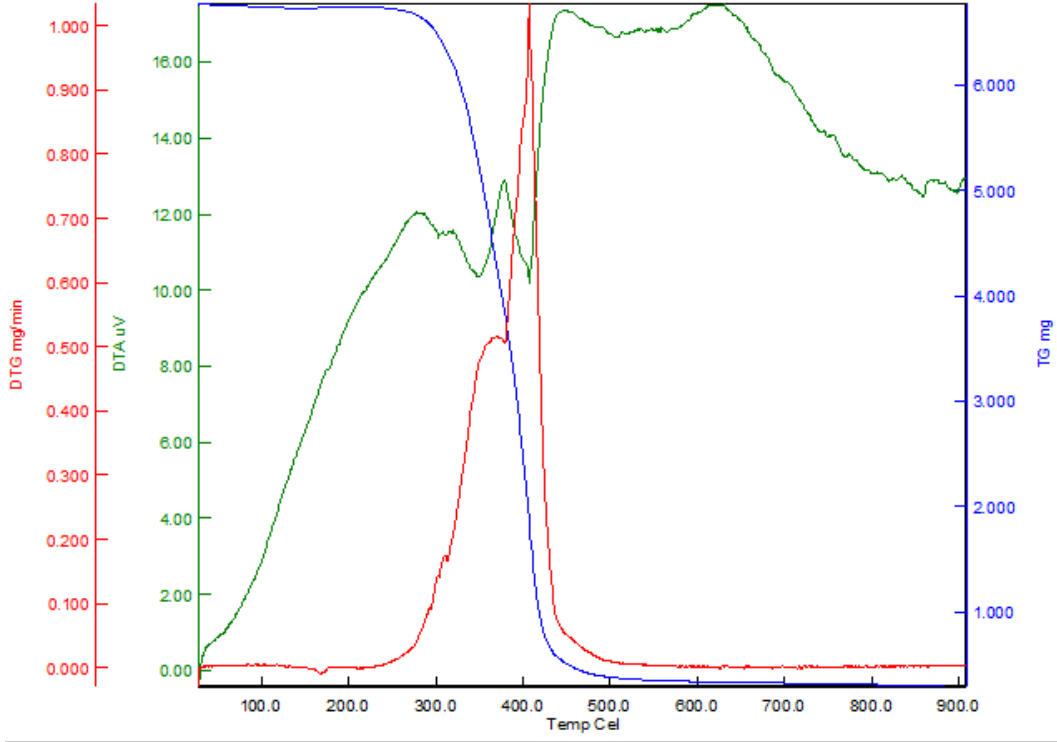


**EK 3 - Şekil 8.9. % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-9)**

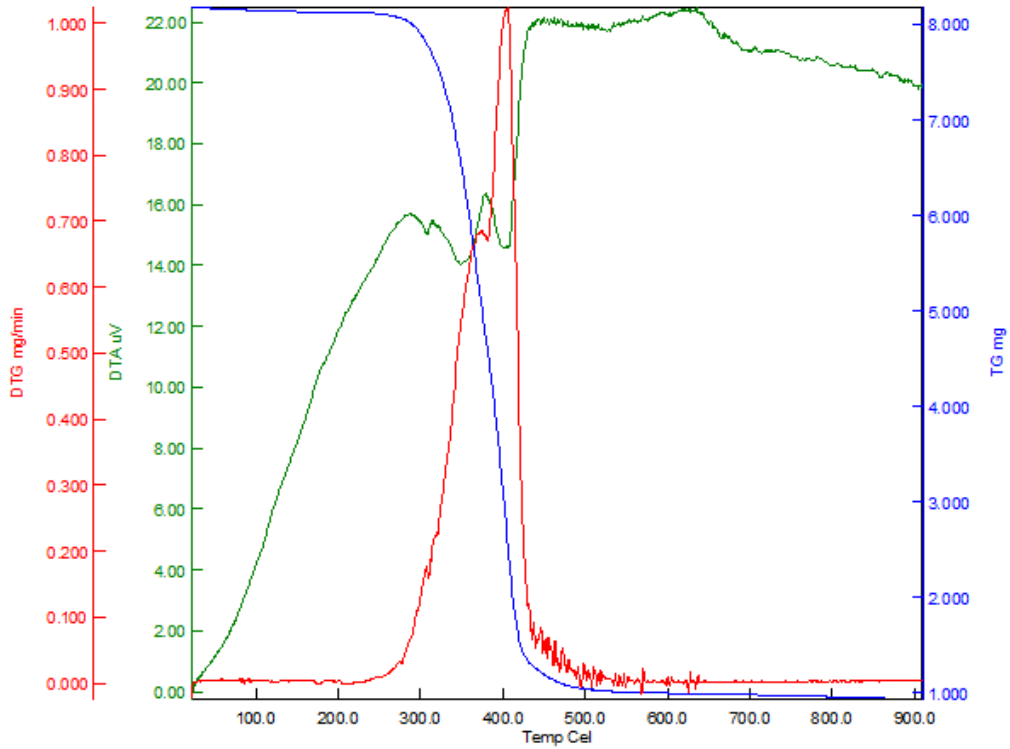


**EK 3 - Şekil 8.10. % 100 TPU Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-10)**

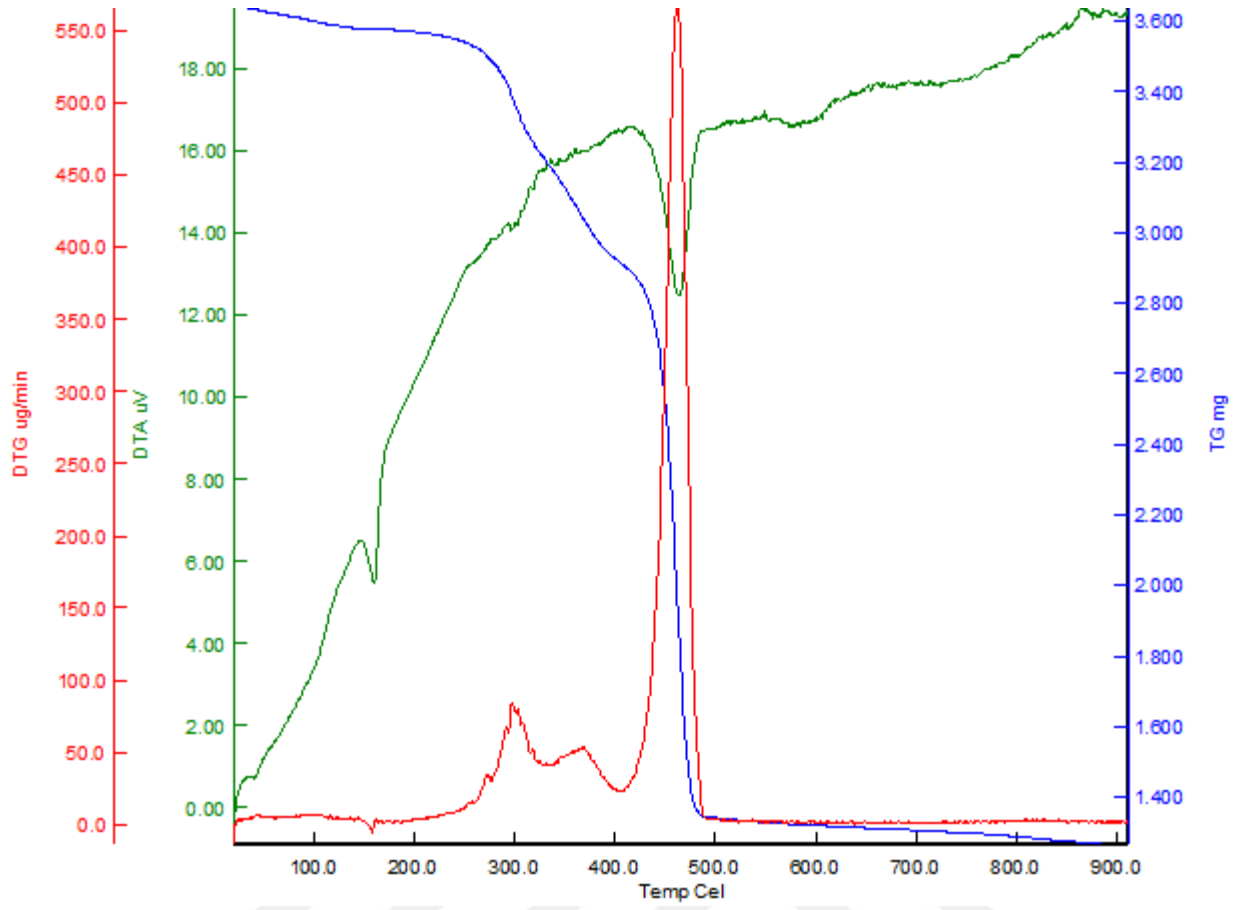




**EK 3 - Şekil 8.11. % 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-11)**

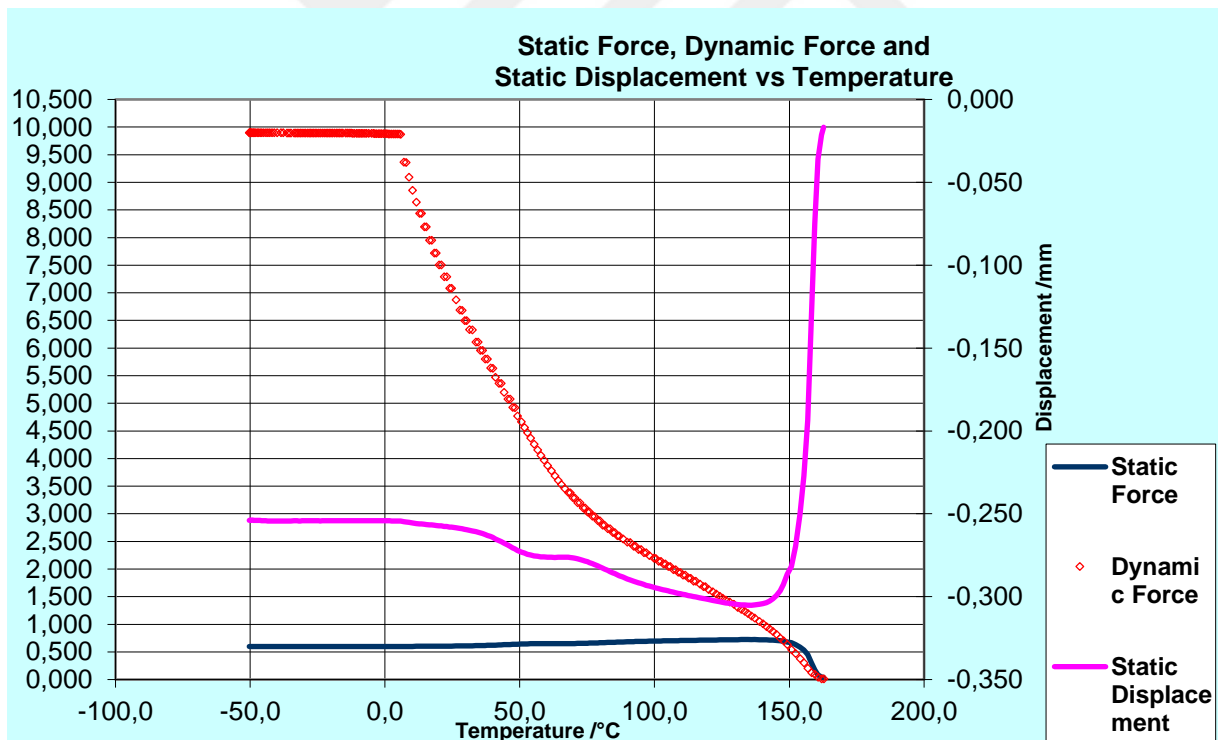
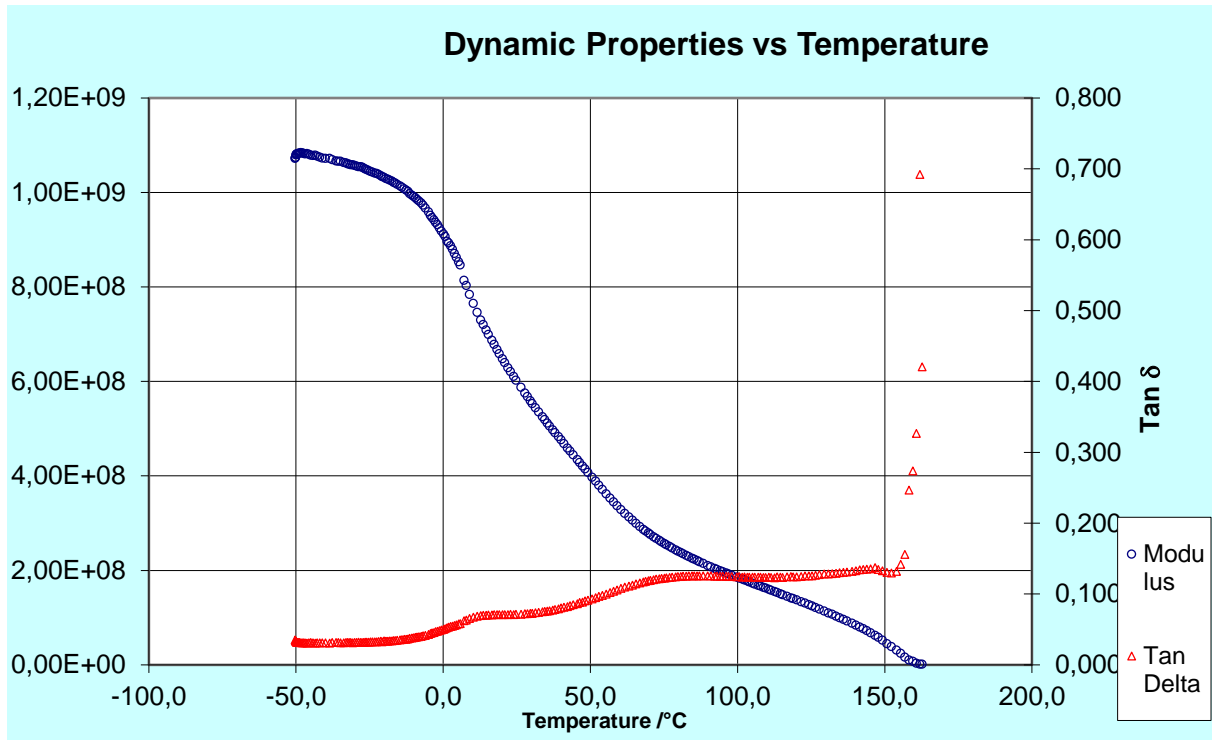


**EK 3 - Şekil 8.12. % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin TGA Grafiği (MKC-12)**

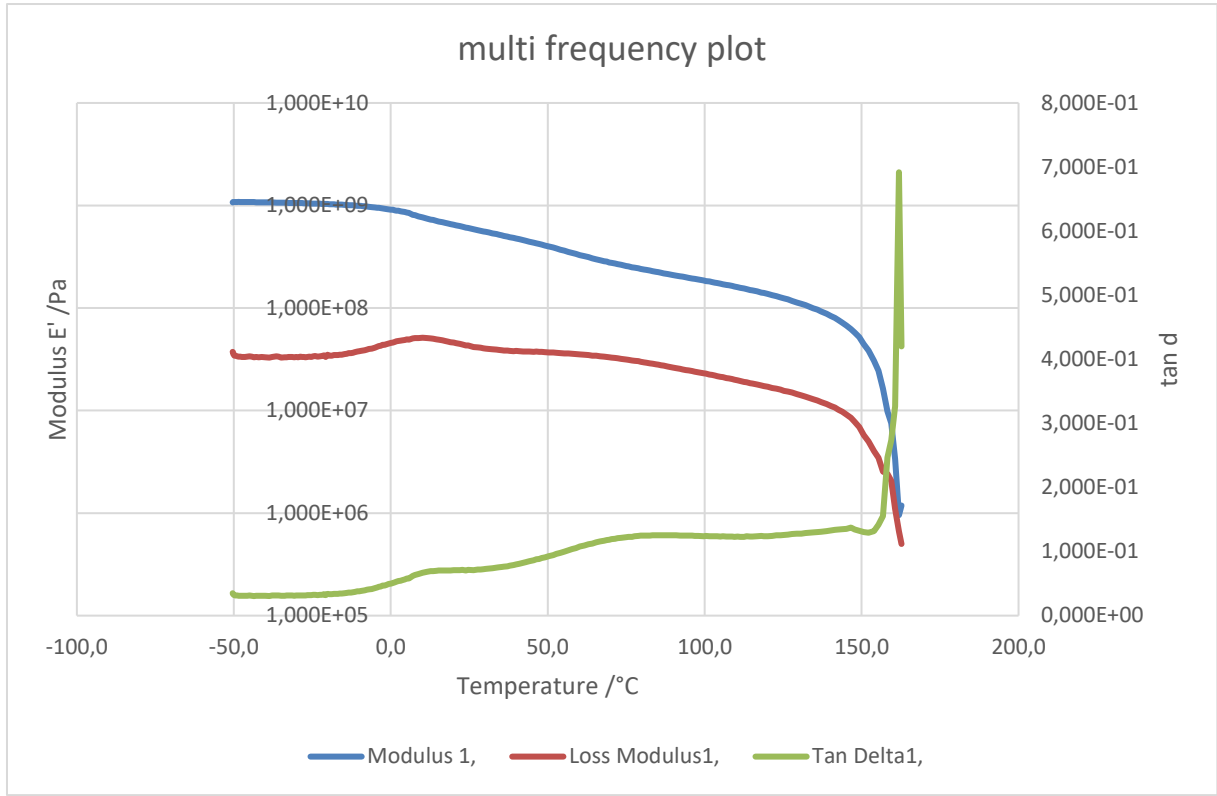


**EK 3 - Şekil 8.13.** % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kompozitinin TGA Grafiği  
(BCK 5)

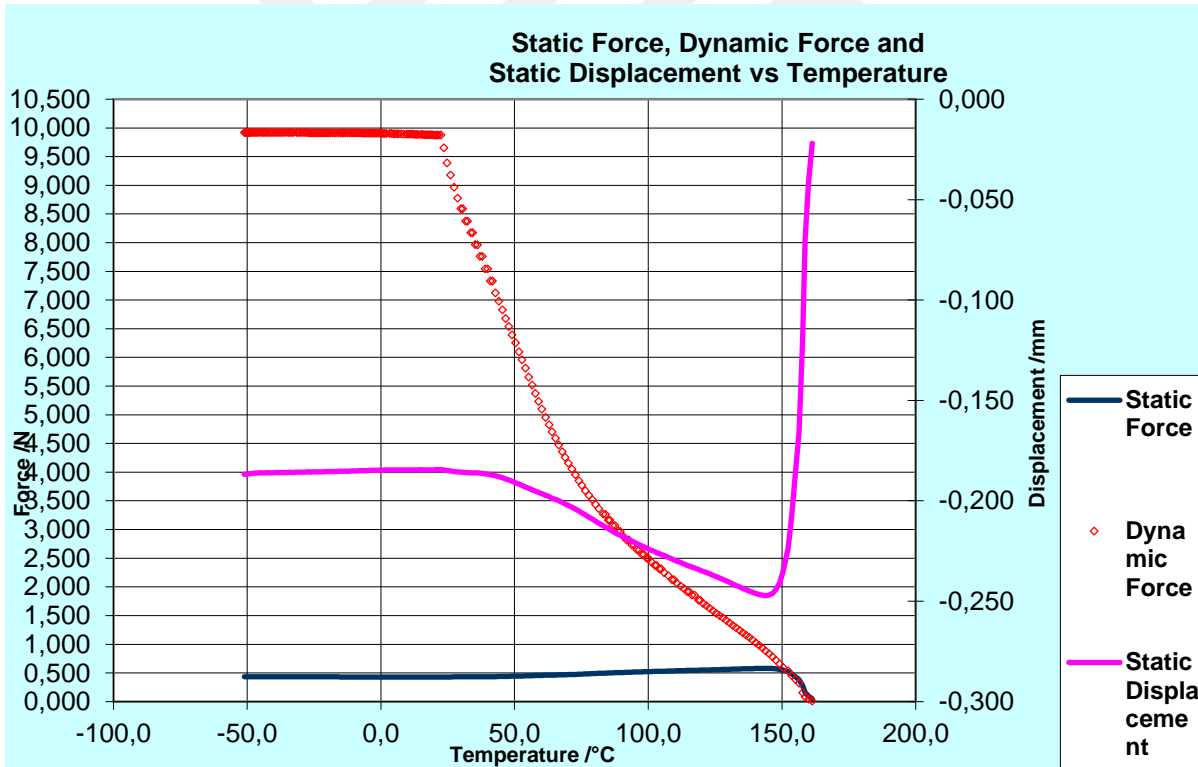
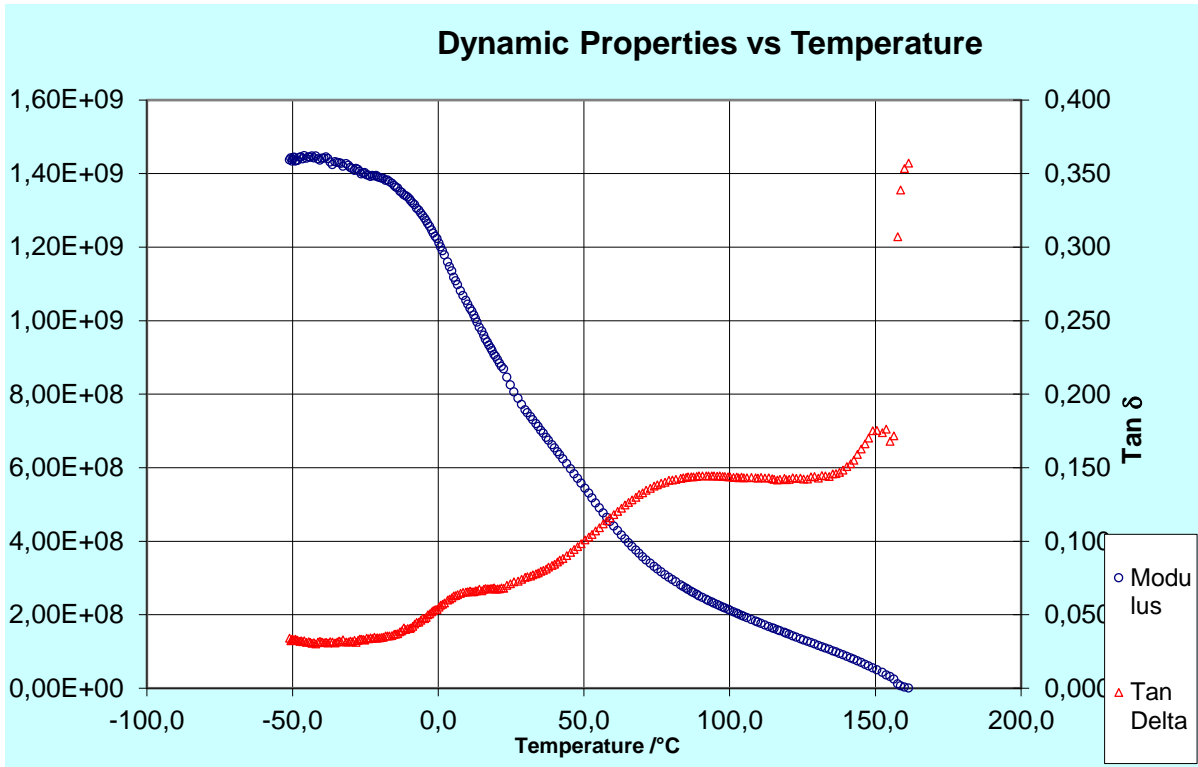
## EK 4 DMA Analizleri



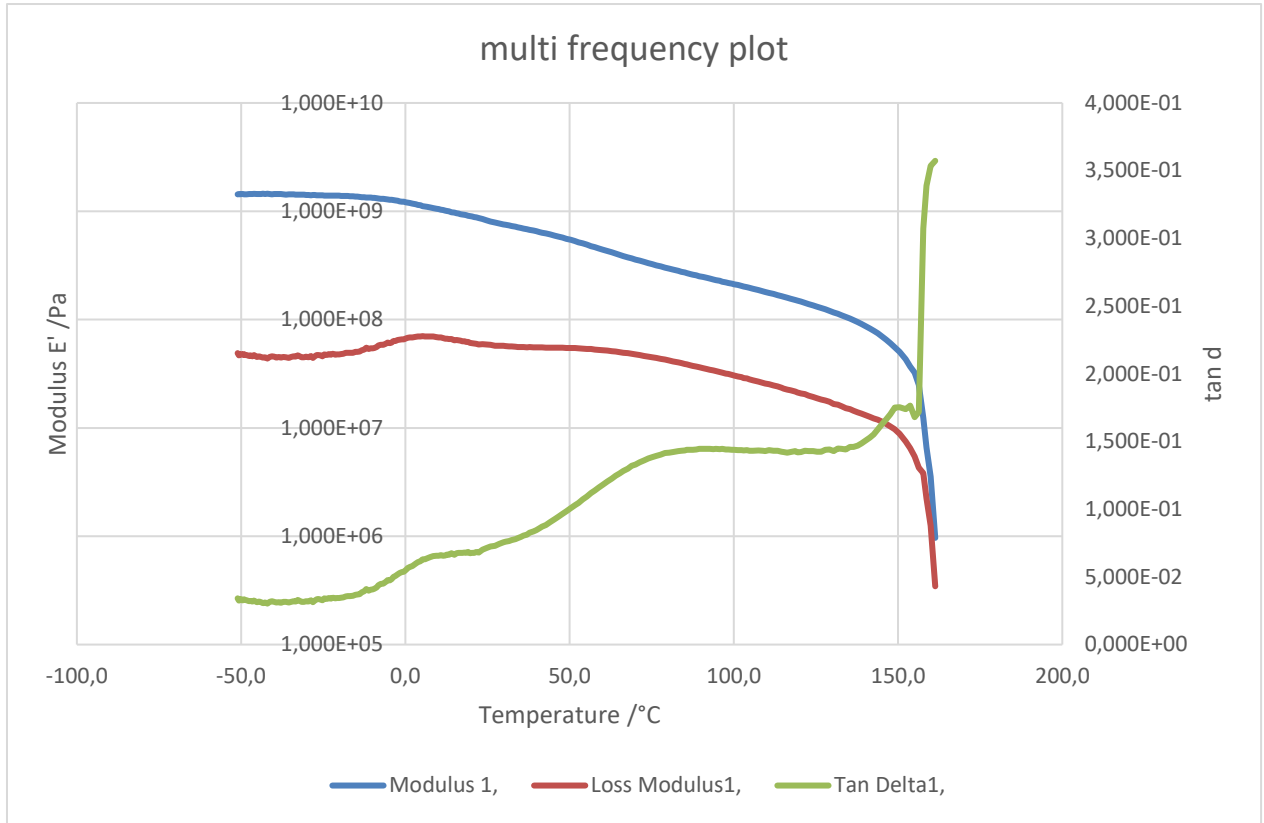
EK 4 - Şekil 8.1. % 100 PP Kompozitinin DMA Analizi (MKC-1)



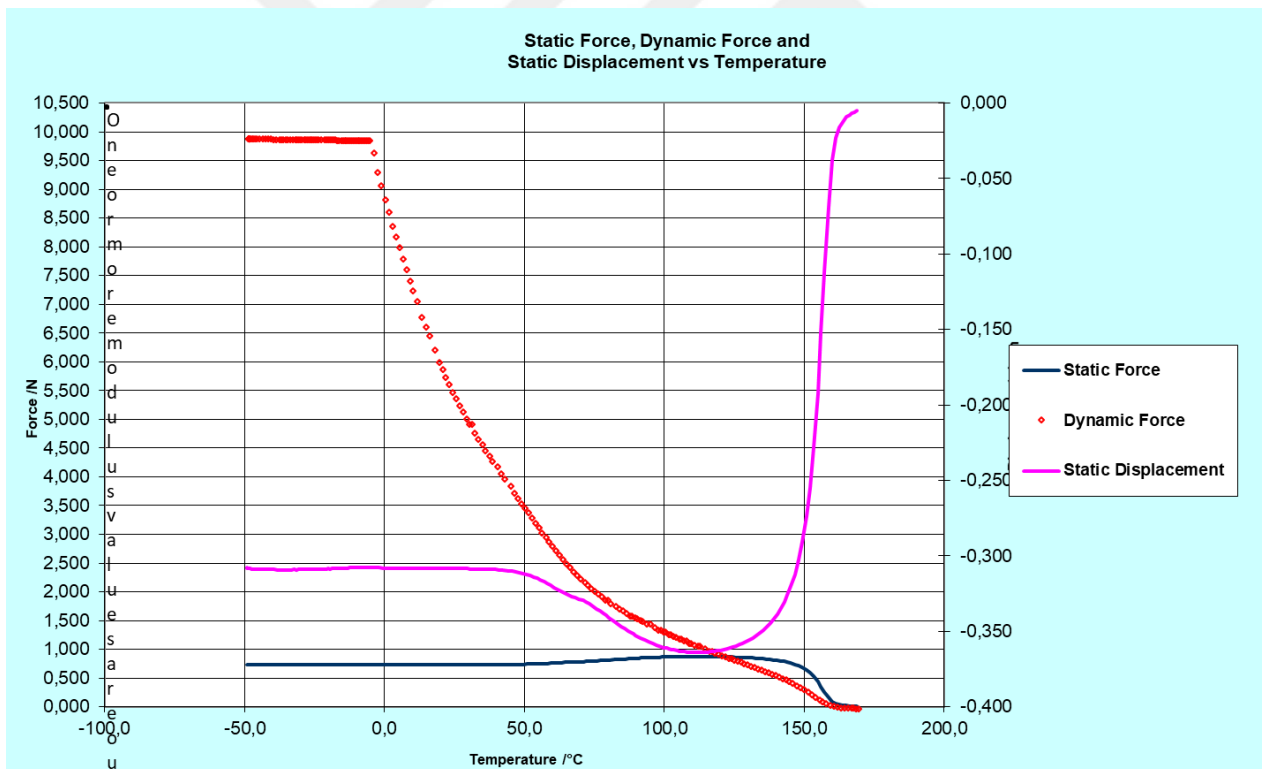
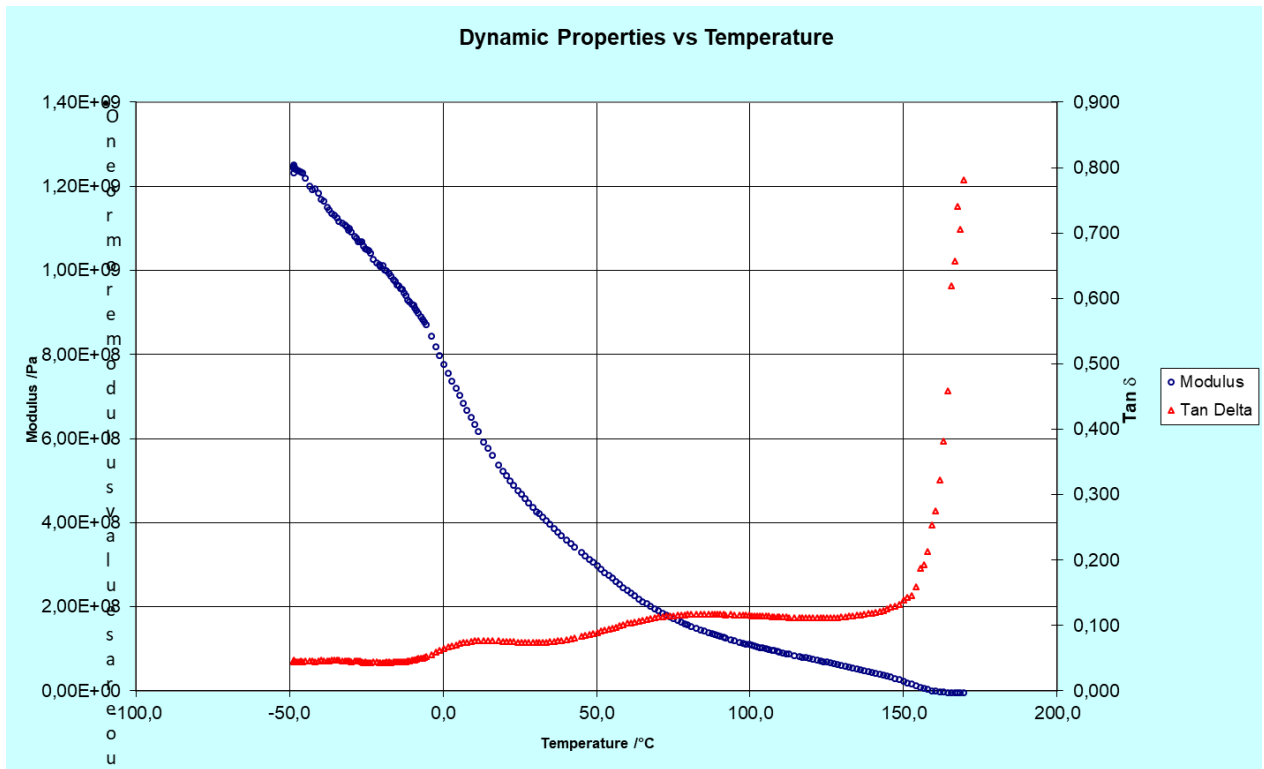
**EK 4 -Şekil 8.2. % 100 PP Kompozitinin DMA Analizi (MKC-1)**



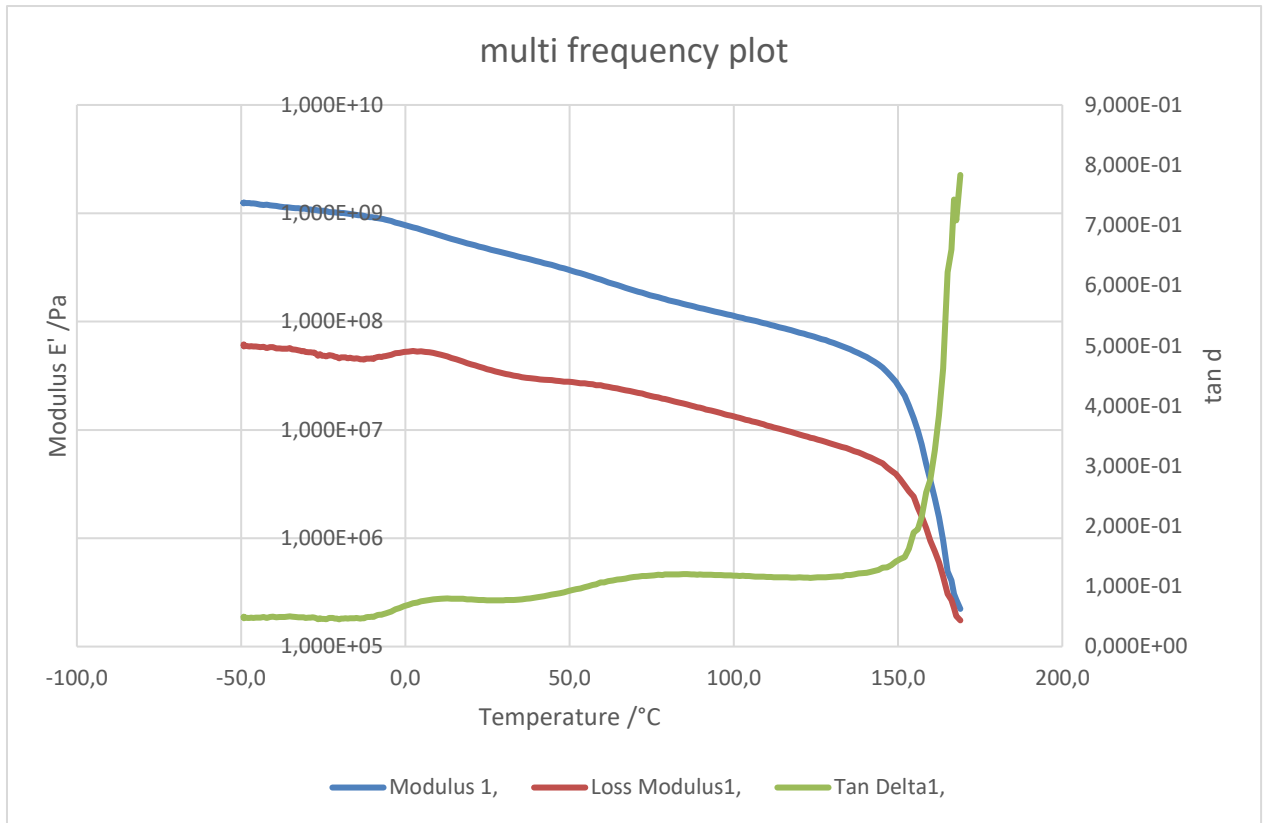
**EK 4 - Şekil 8.3.** % 100 PP + % 4 h- BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-3)



**EK 4 - Şekil 8.4. % 100 PP + % 4 h- BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-3)**

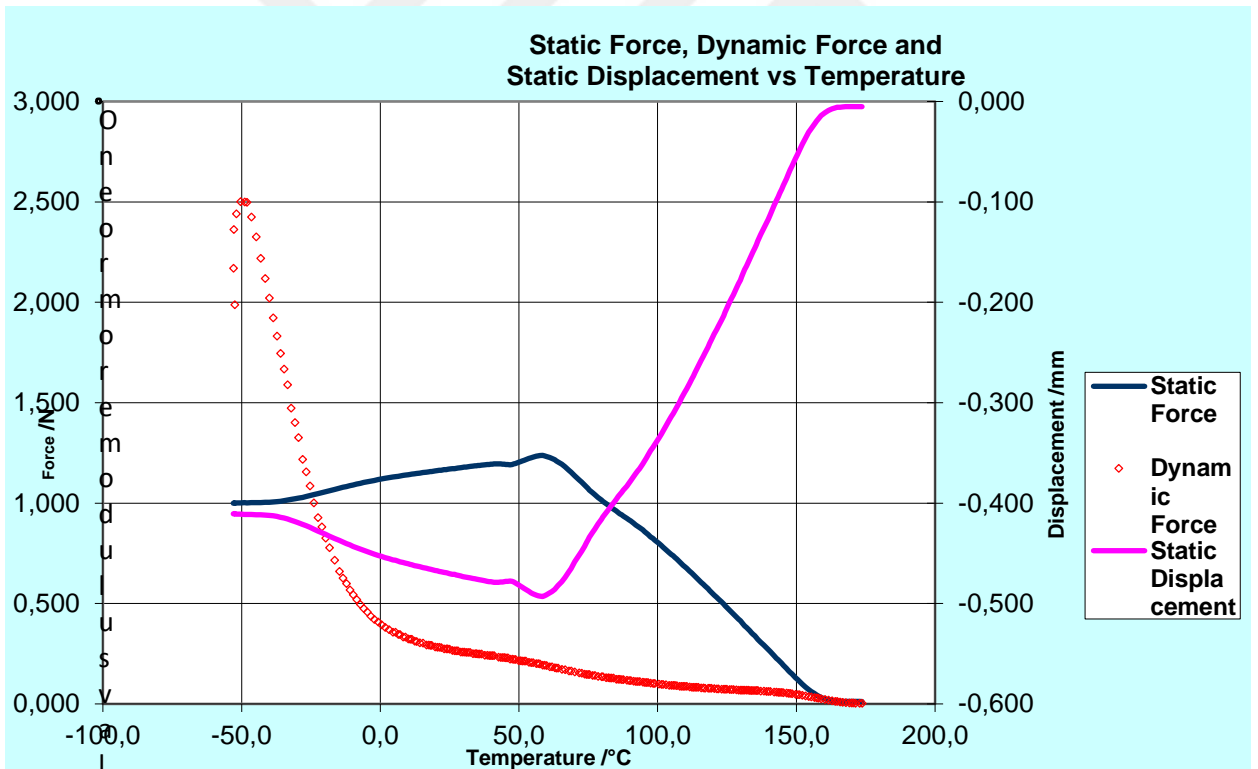
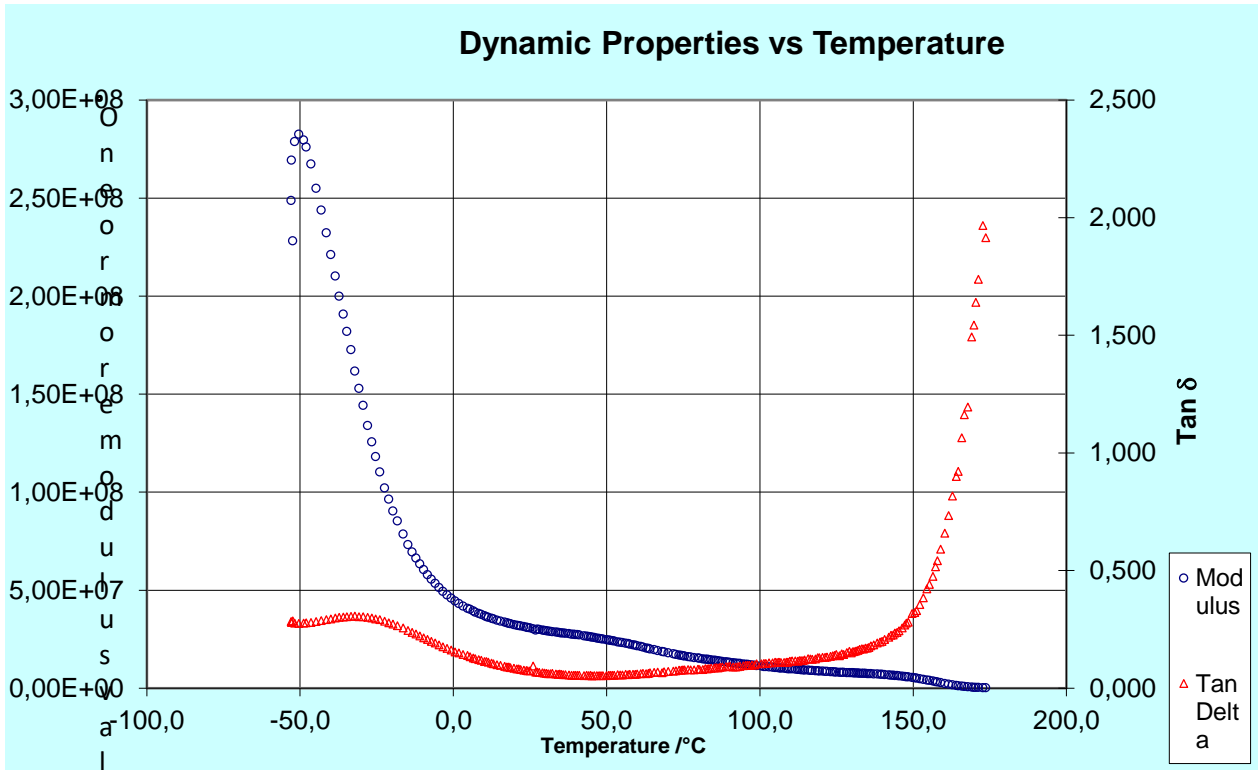


**EK 4 - Şekil 8.5. % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-7)**

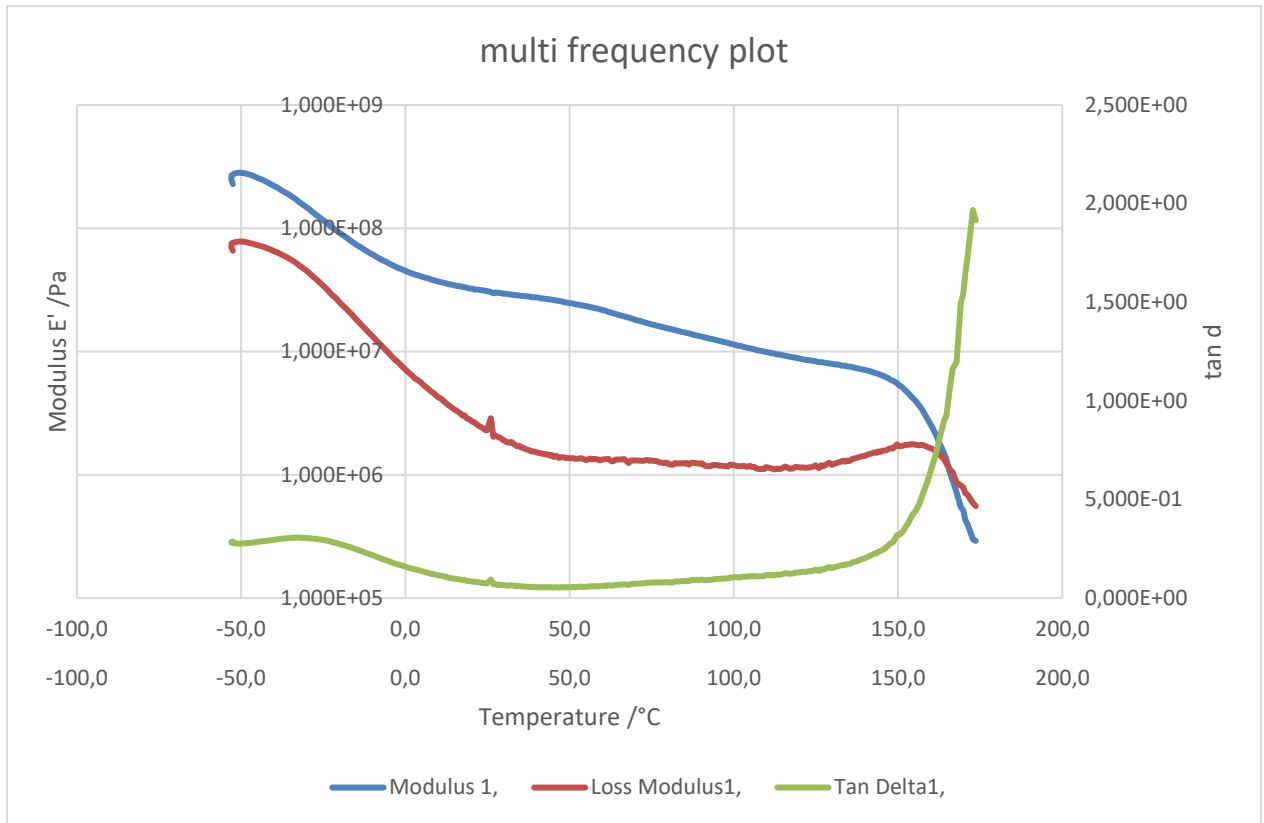


**EK 4 - Şekil 8.6. % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-7)**

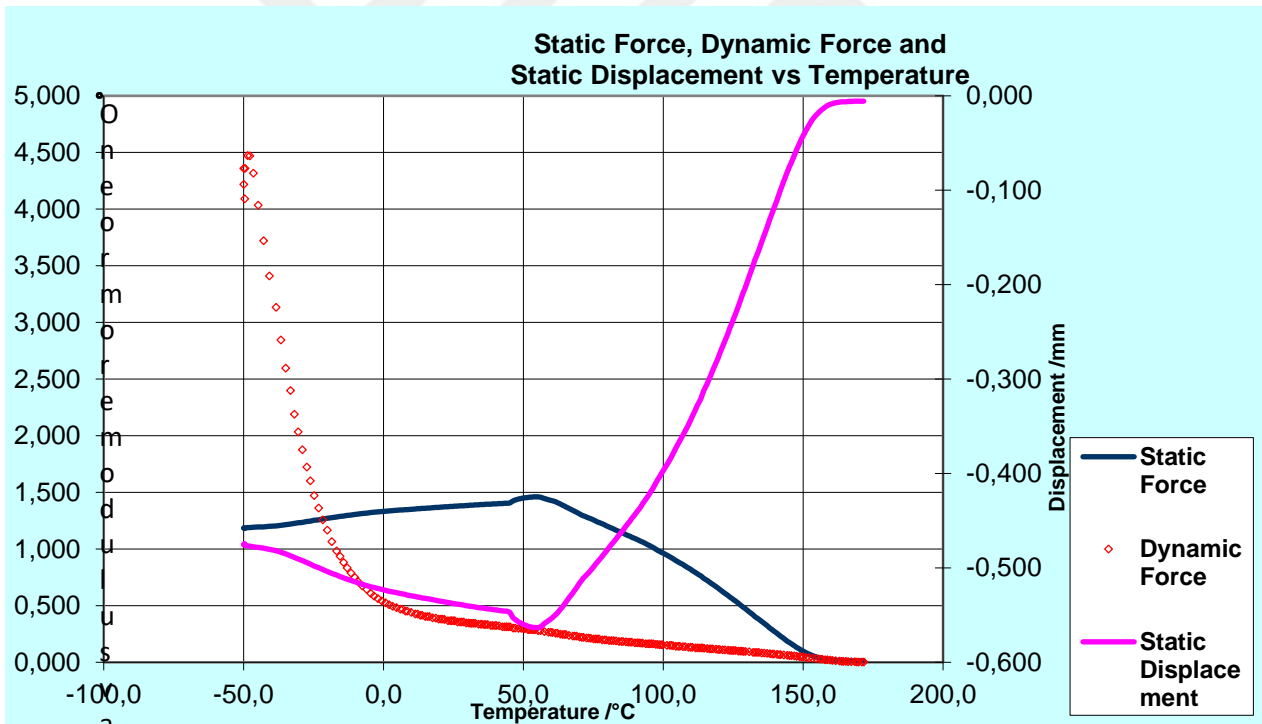
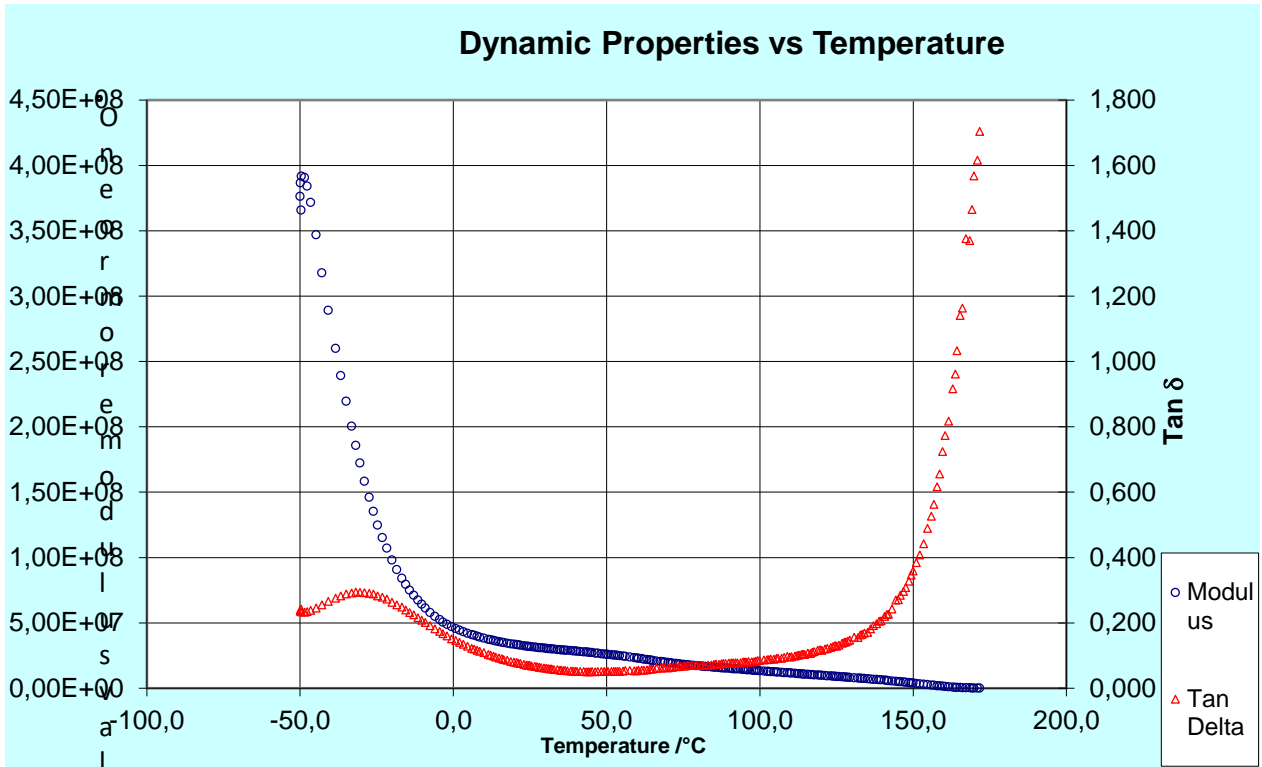




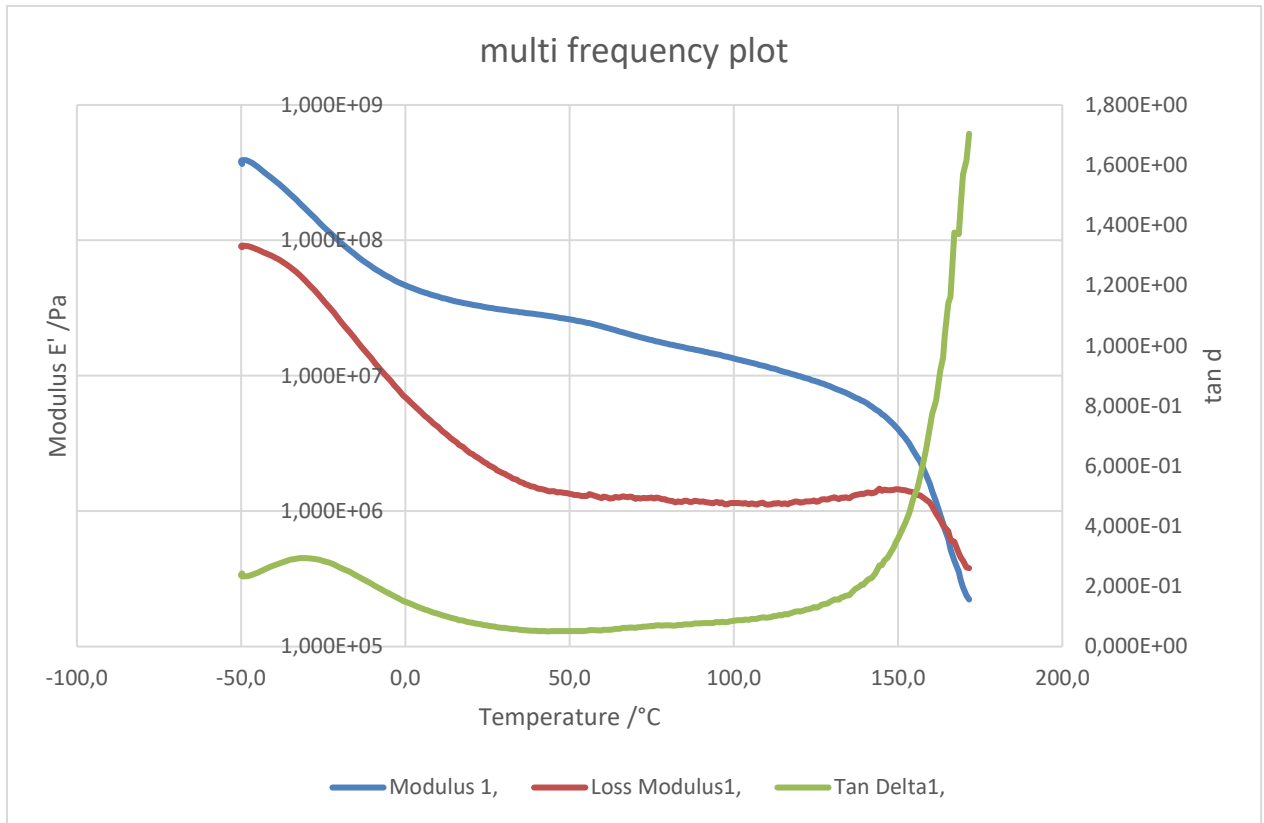
**EK 4 - Şekil 8.7. % 100 TPU Kompozitinin DMA Analizi (MKC-10)**



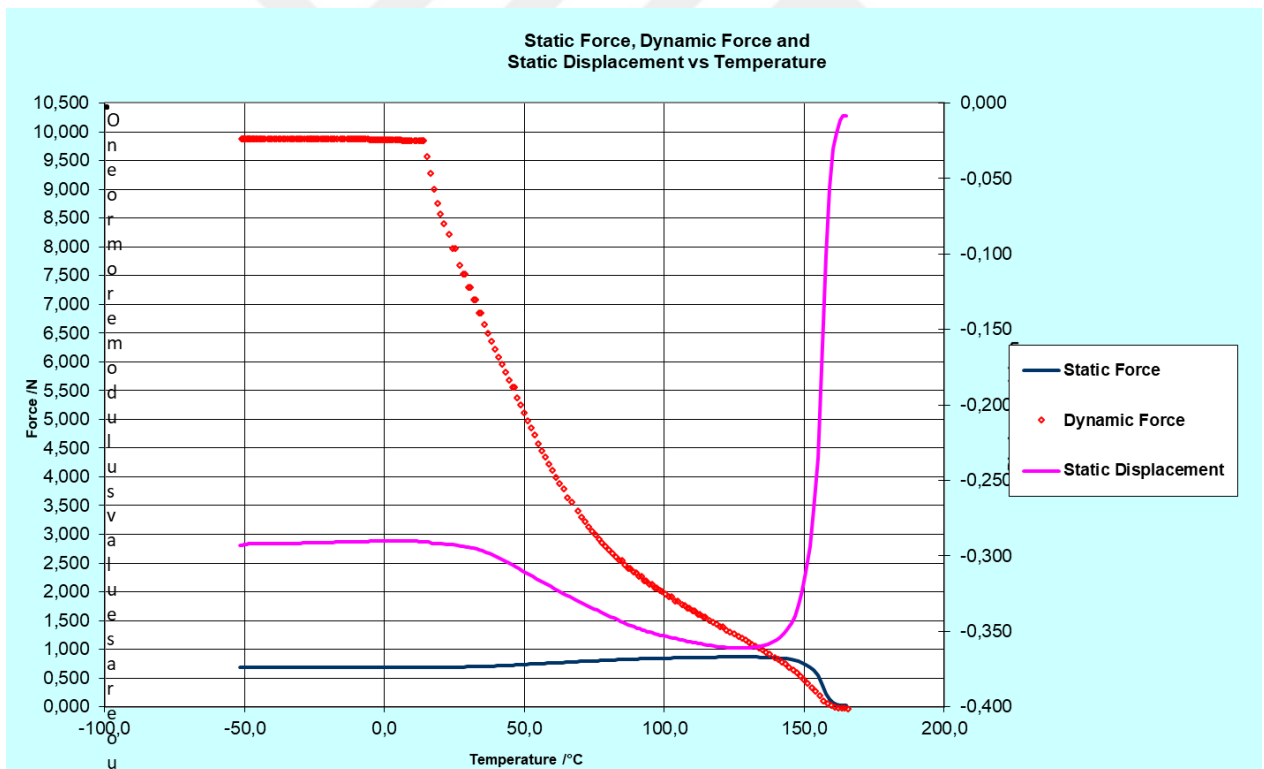
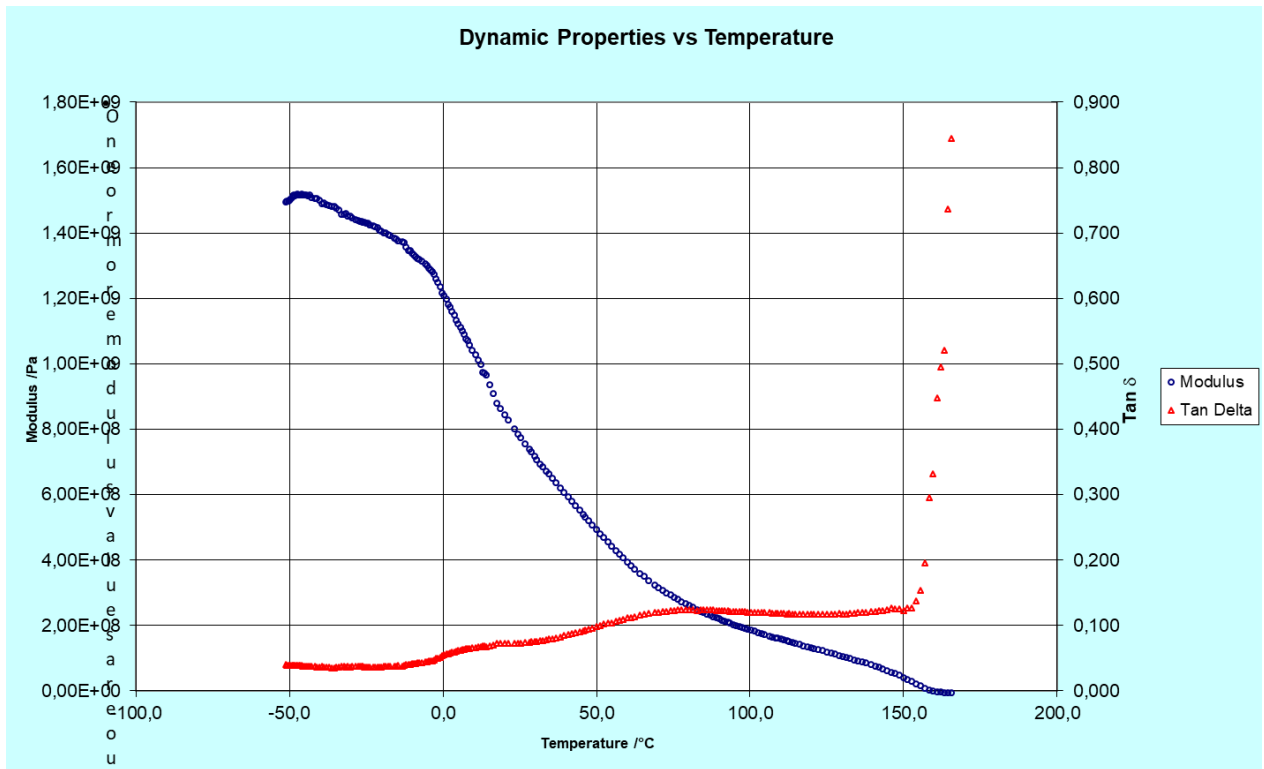
**EK 4 - Şekil 8.8. % 100 TPU Kompozitinin DMA Analizi (MKC-10)**



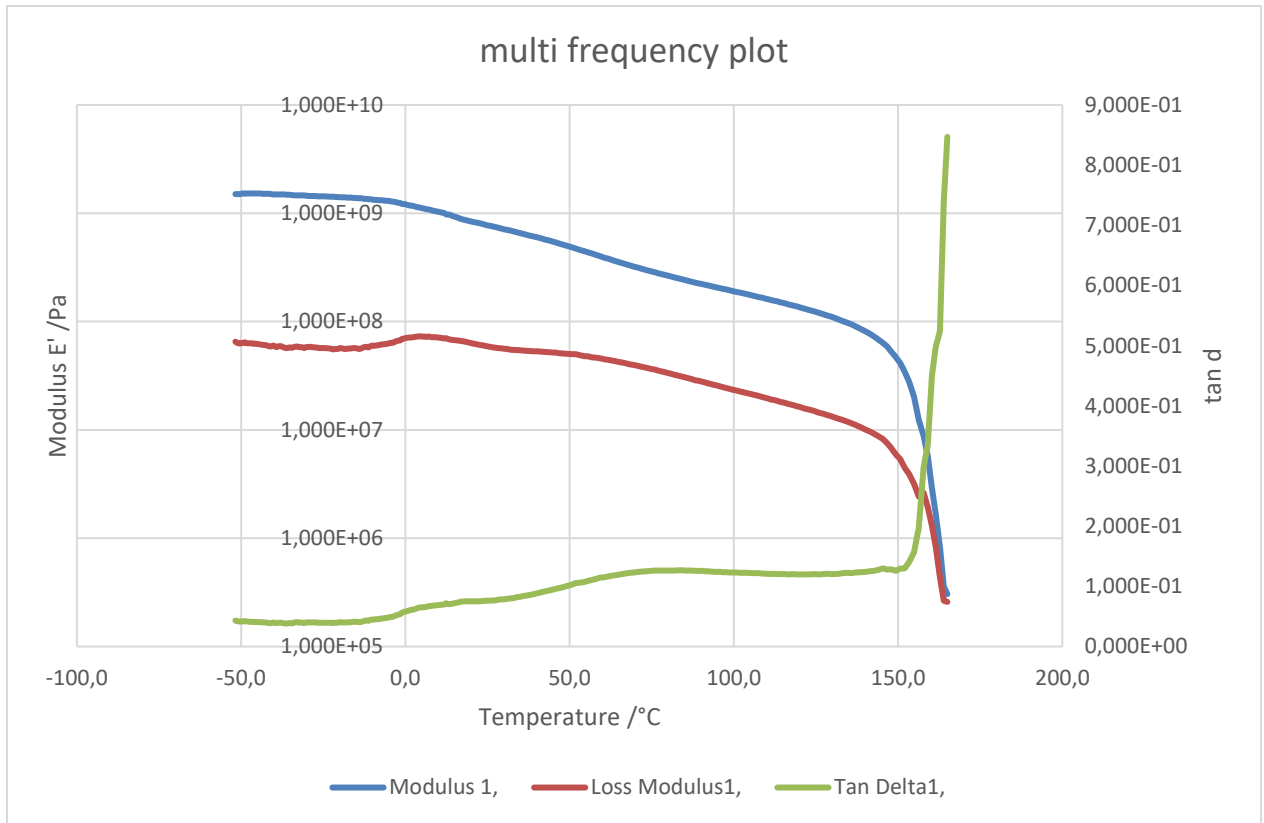
**EK 4 - Şekil 8.9.** % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-12)



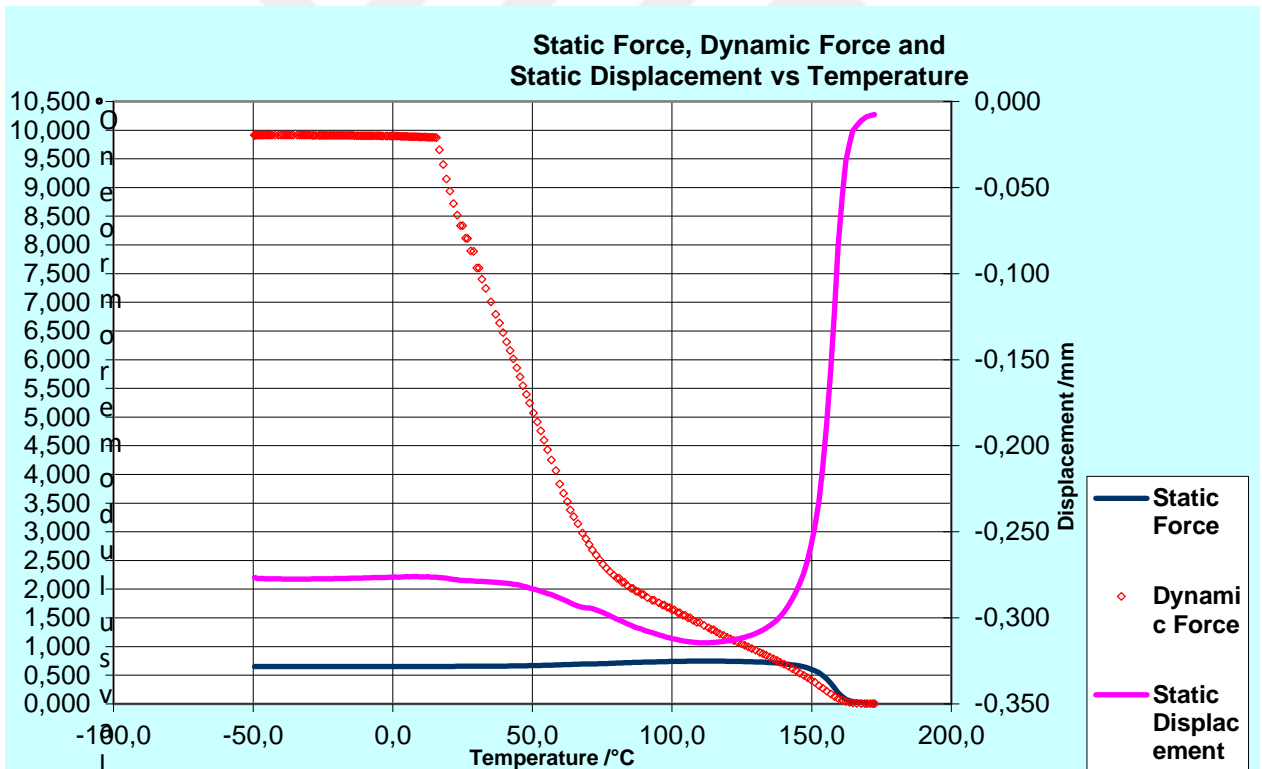
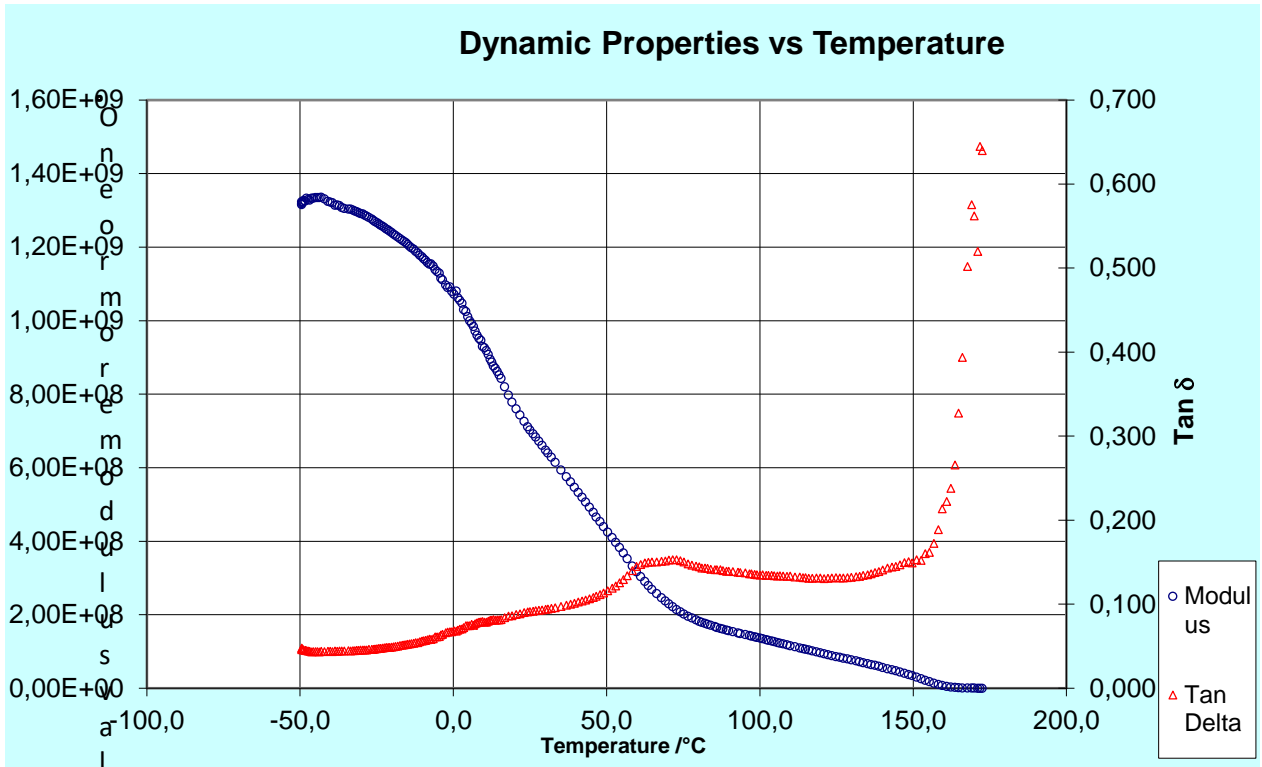
**EK 4 - Şekil 8.10. % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-12)**



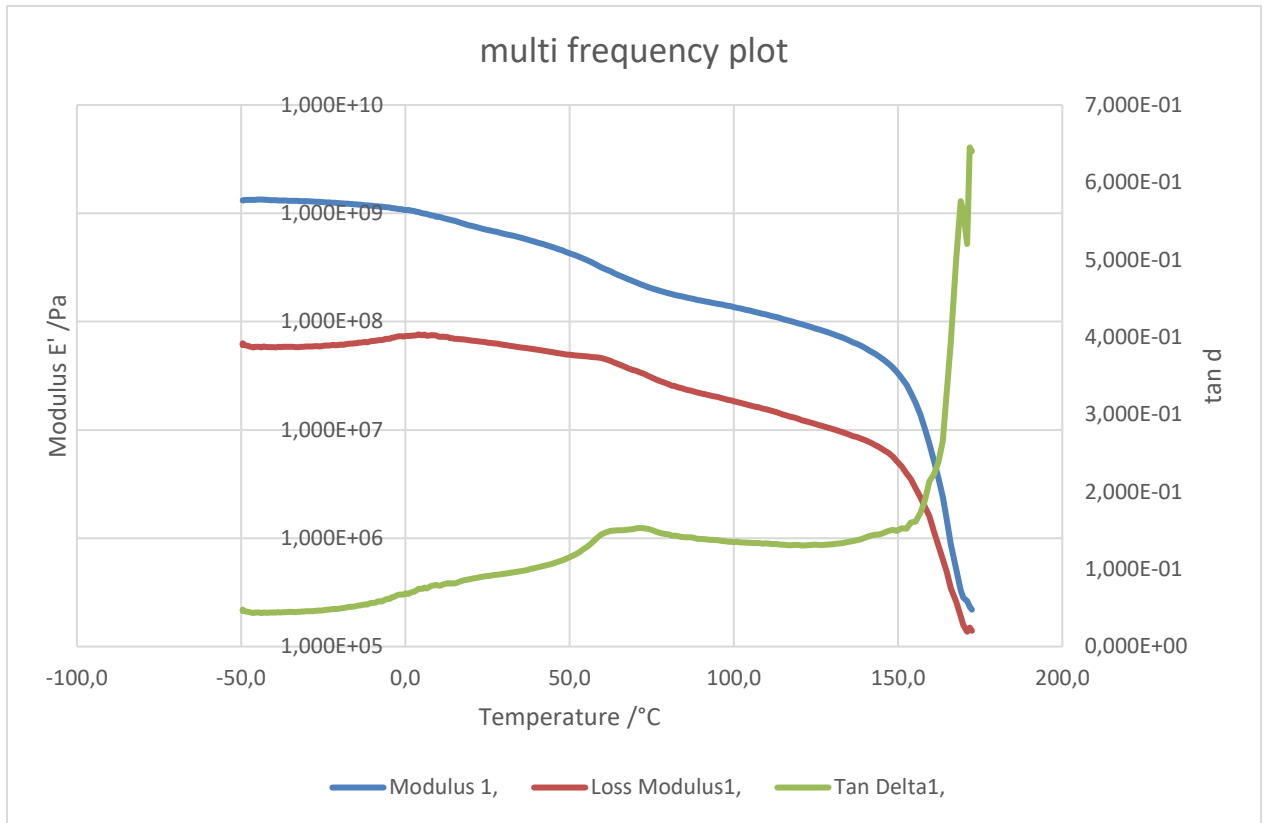
**EK 4 - Şekil 8.11. % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-4)**



**EK 4 - Şekil 8.12. % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin DMA Analizi (MKC-4)**



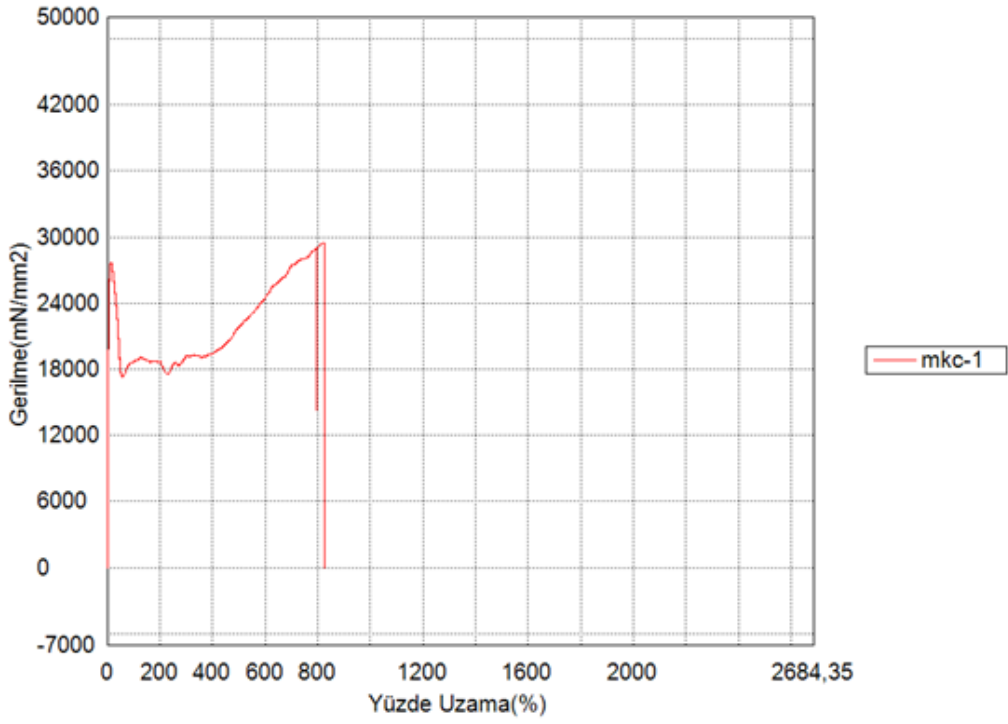
**EK 4 - Şekil 8.13. % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kompozitinin DMA Analizi (BCK-5)**



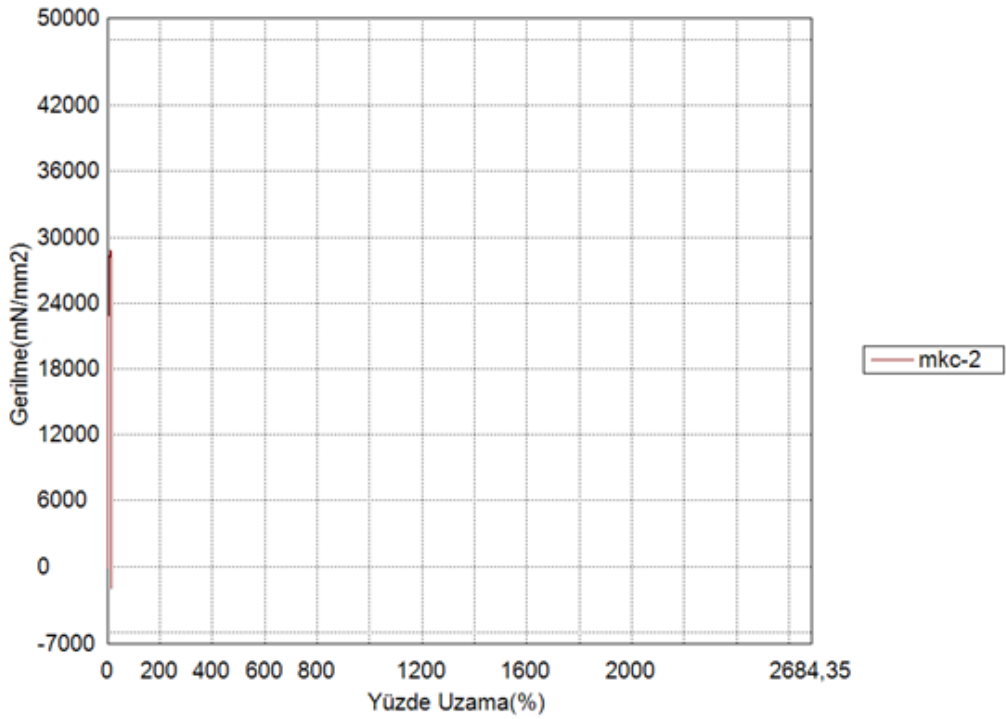
**EK 4 - Şekil 8.14. % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kompozitinin DMA Analizi (BCK-5)**



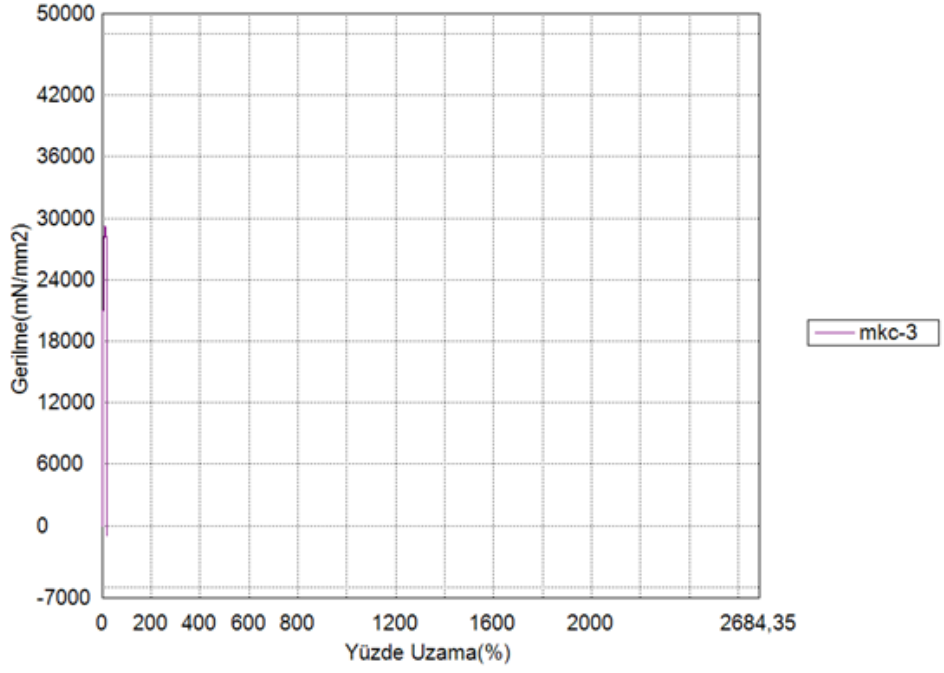
## EK 5 - Çekme-Germe Grakikleri



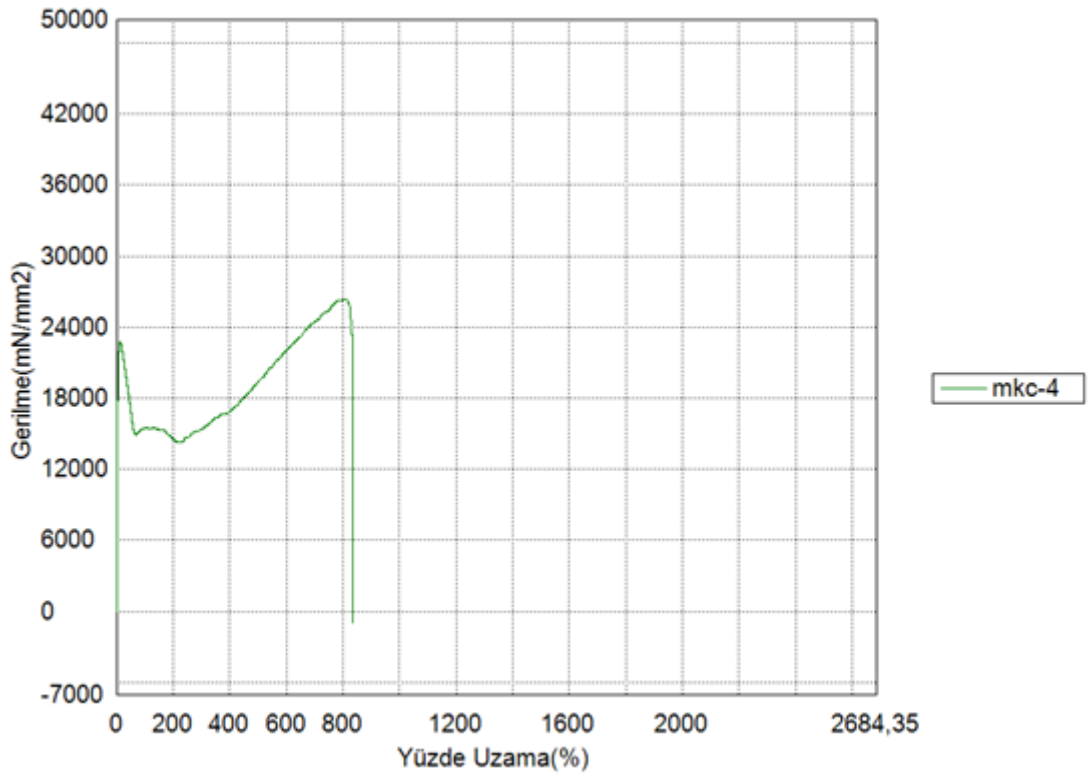
EK 5 - Şekil 8.1. % 100 PP Kompozitiinin Çekme Grafiği (MKC-1)



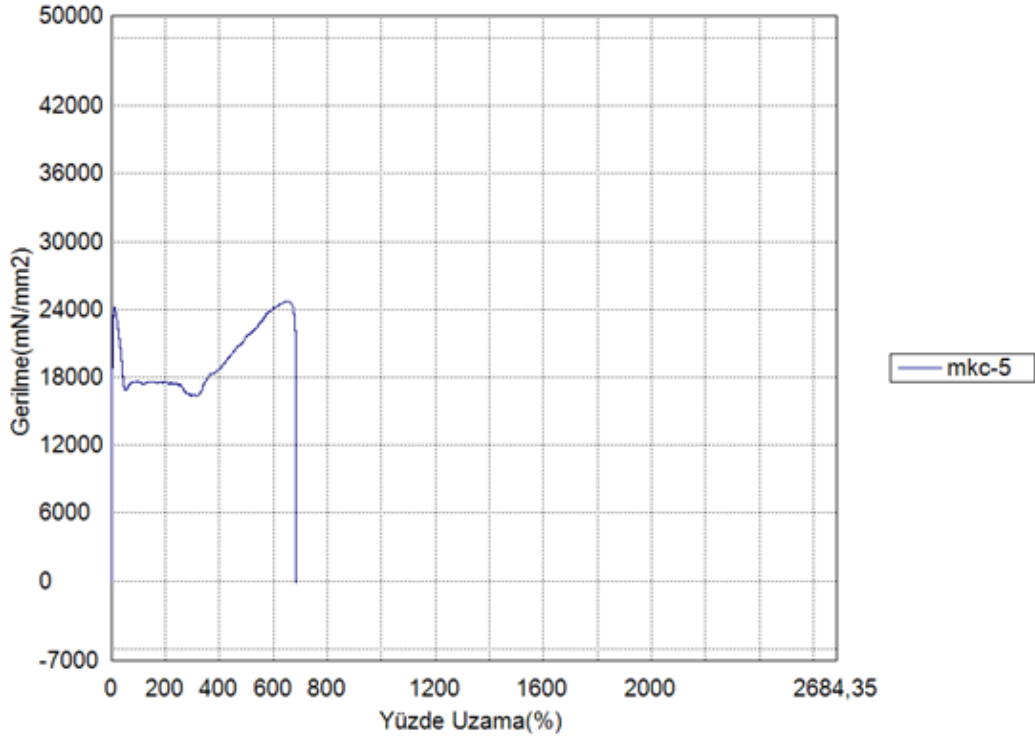
EK 5 - Şekil 8.2. % 100 PP + % 2 h- BN Kompozitiinin Çekme Grafiği (MKC-2)



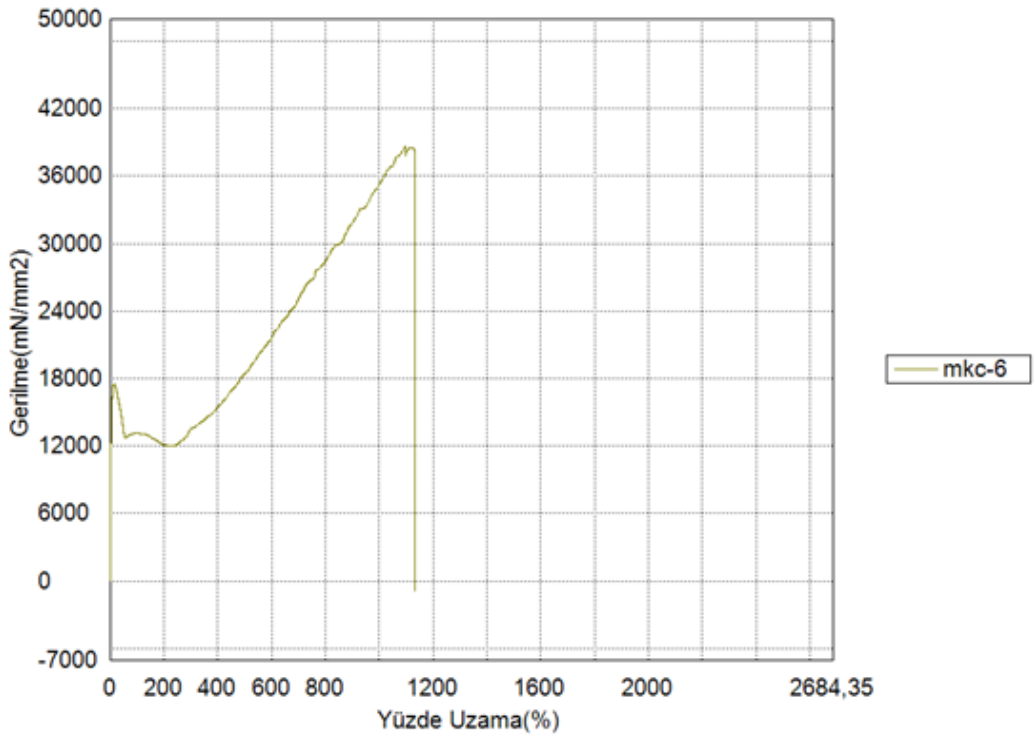
**EK 5 - Şekil 8.3. % 100 PP + % 4 h- BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-3)**



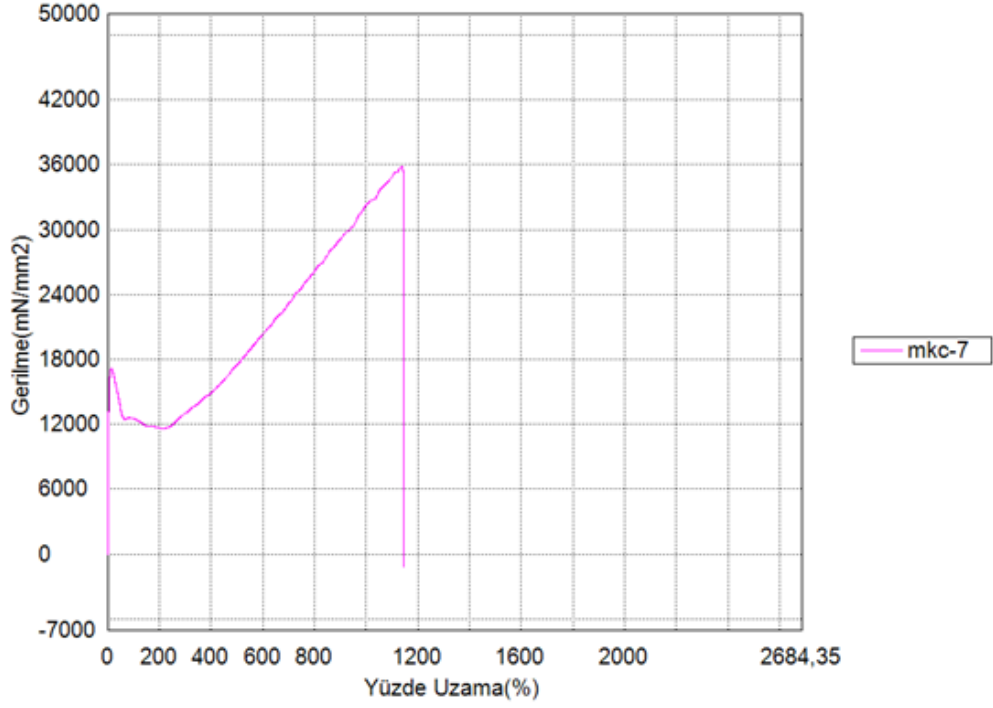
**EK 5 - Şekil 8.4. % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-4)**



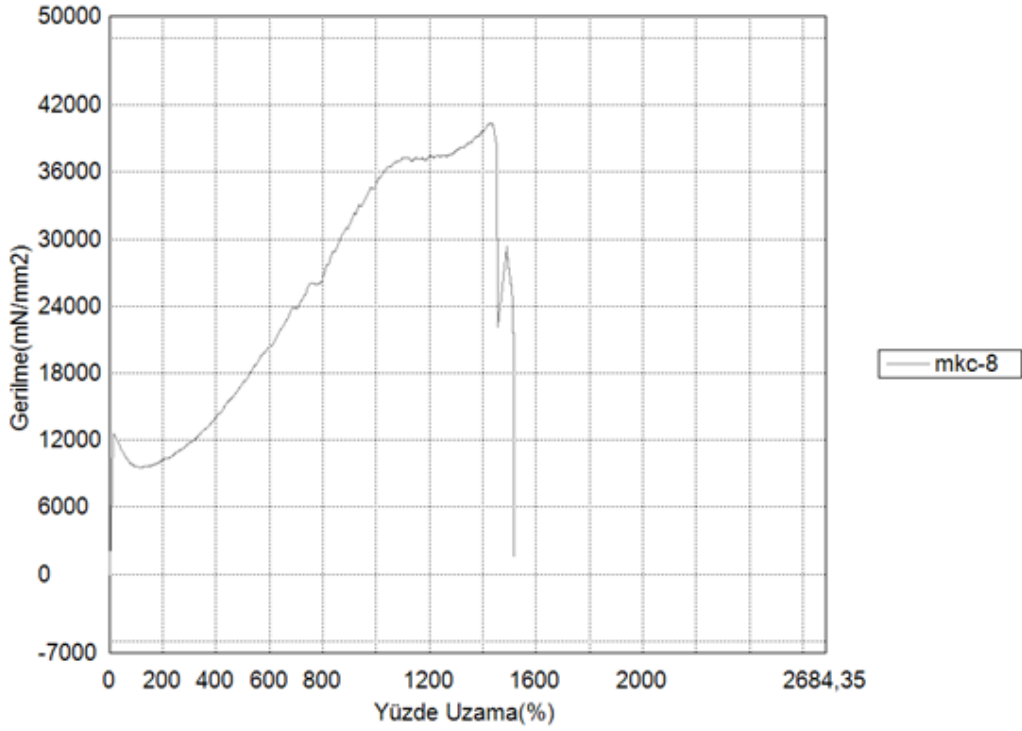
**EK 5 - Şekil 8.5. % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-5)**



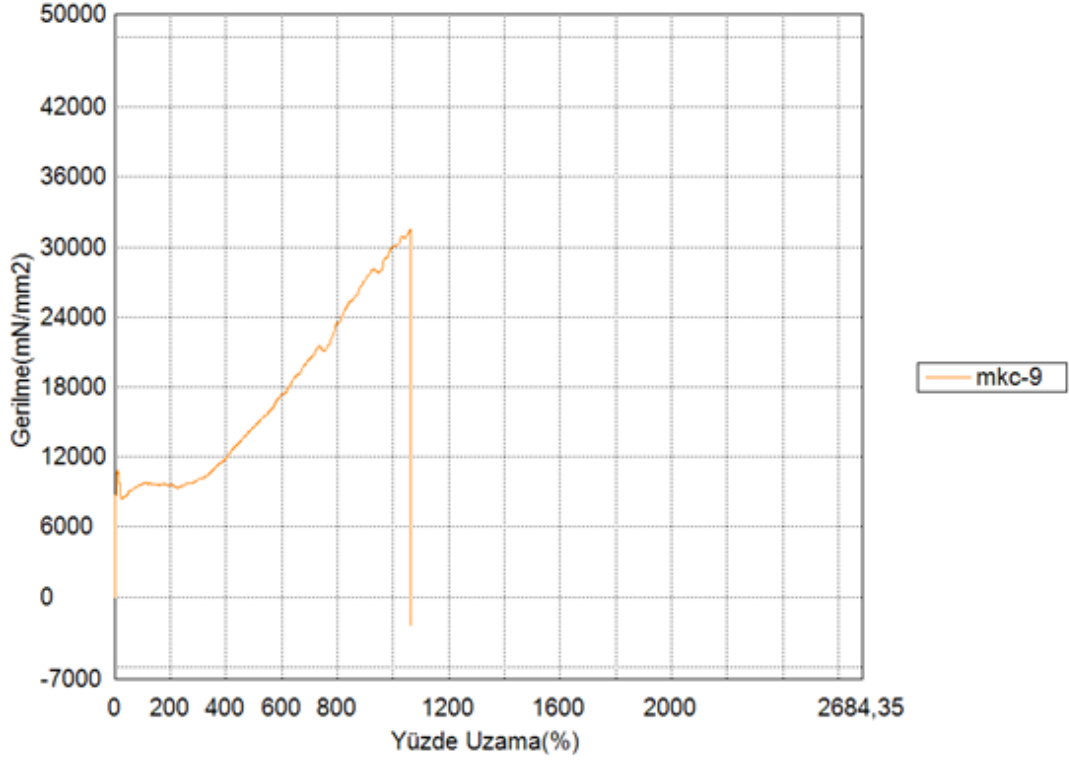
**EK 5 - Şekil 8.6. % 50 PP + % 50 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-6)**



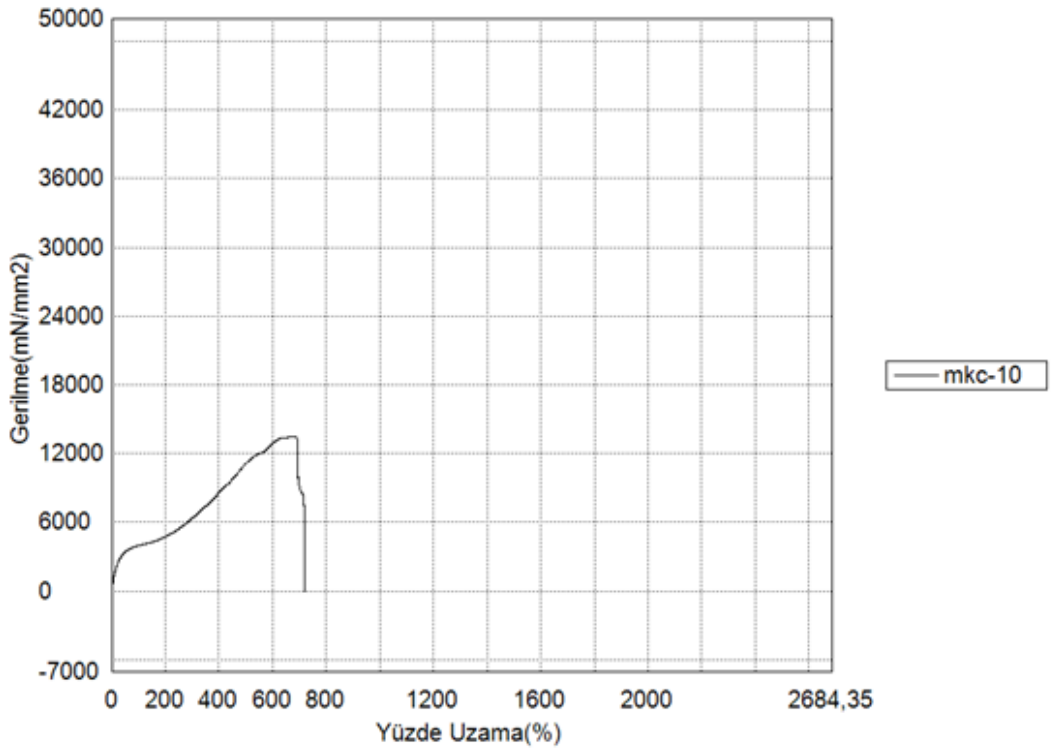
**EK 5 - Şekil 8.7.** % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin Çekme Grafiği  
(MKC-7)



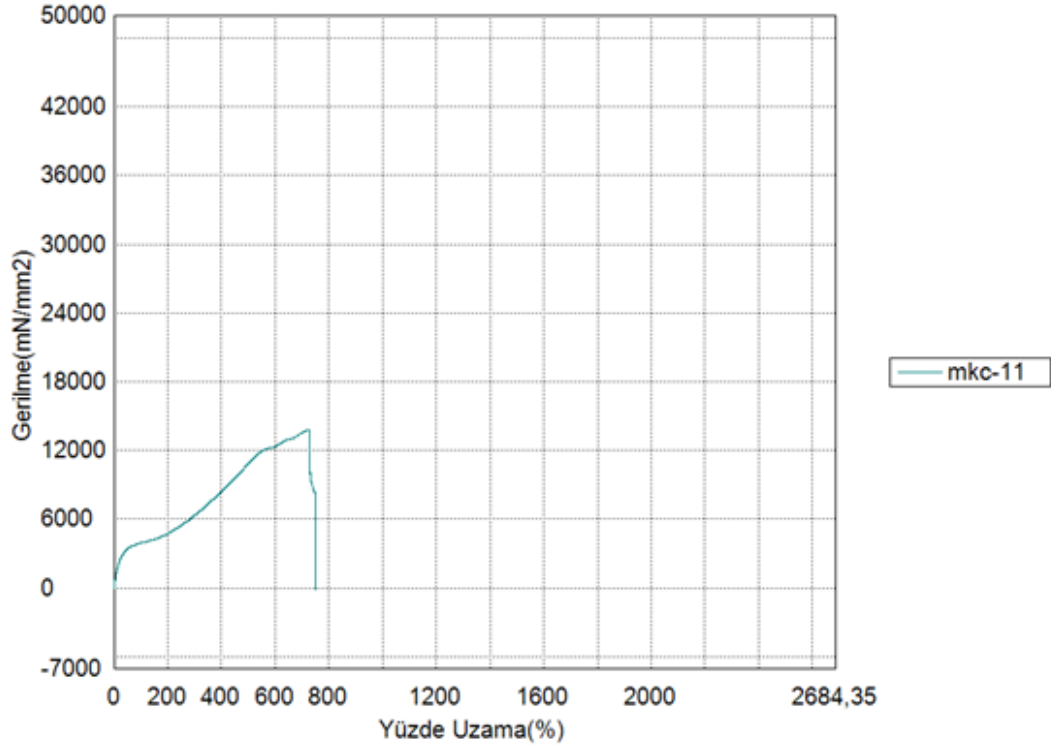
**EK 5 - Şekil 8.8.** % 25 PP + % 75 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin Çekme Grafiği  
(MKC-8)



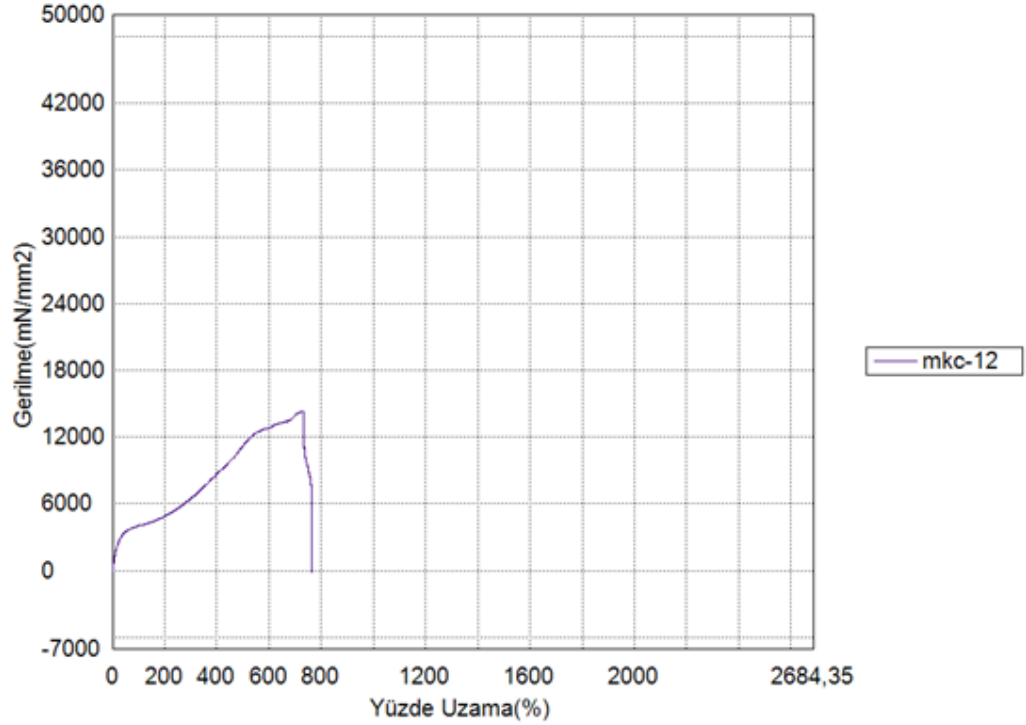
**EK 5 - Şekil 8.9.** % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-9)



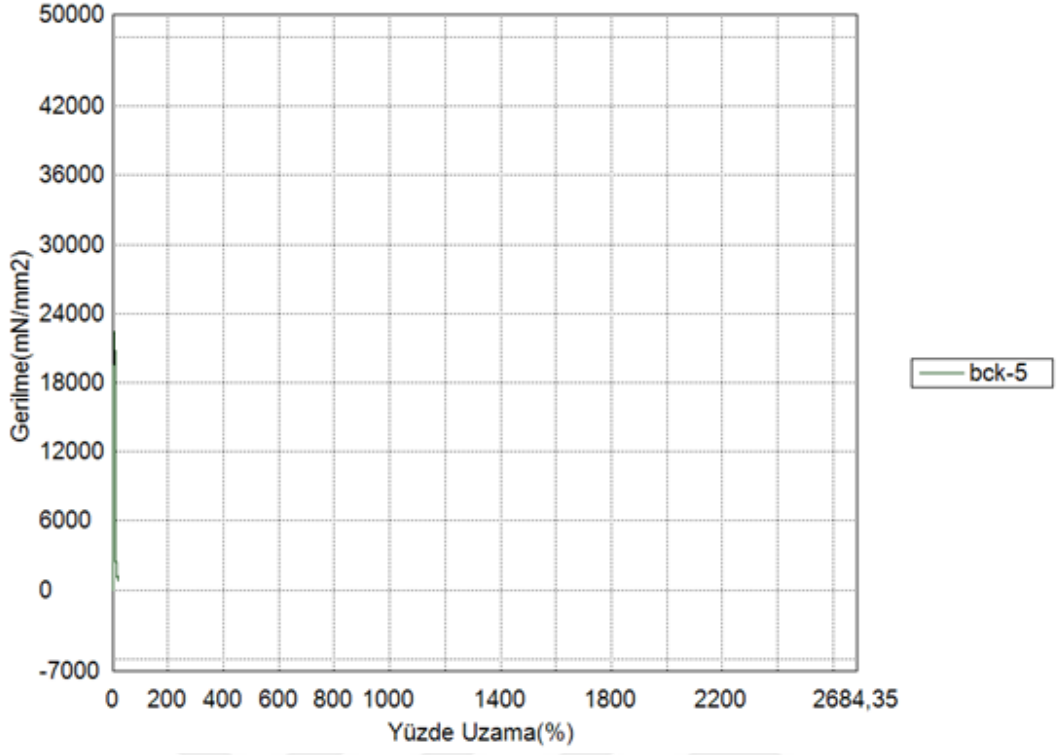
**EK 5 - Şekil 8.10.** % 100 TPU Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-10)



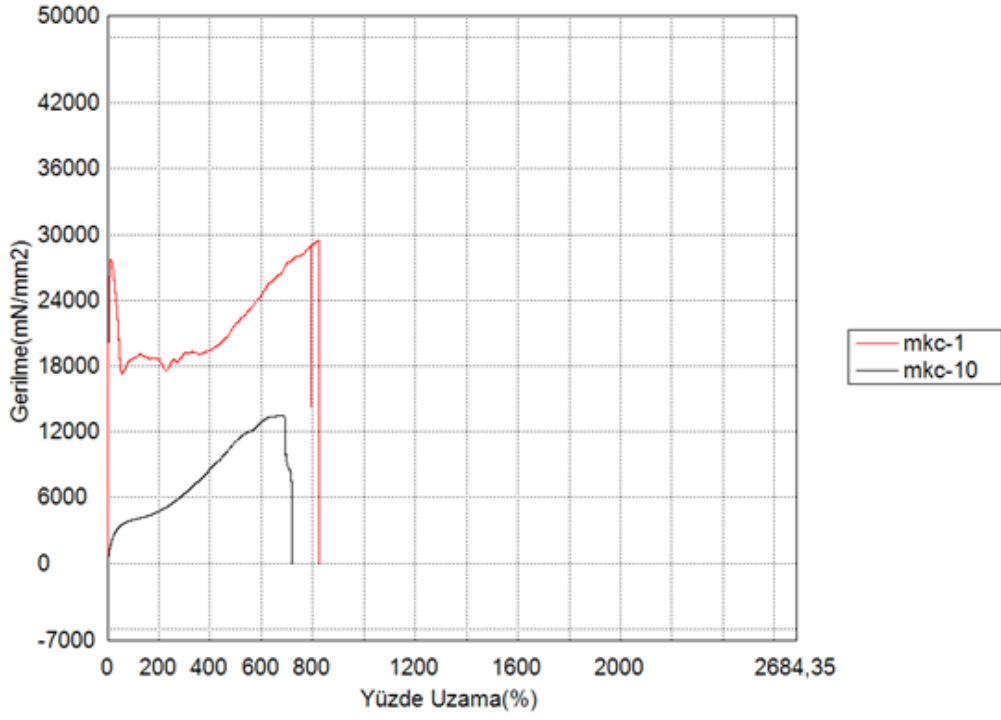
**EK 5 - Şekil 8.11.** % 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-11)



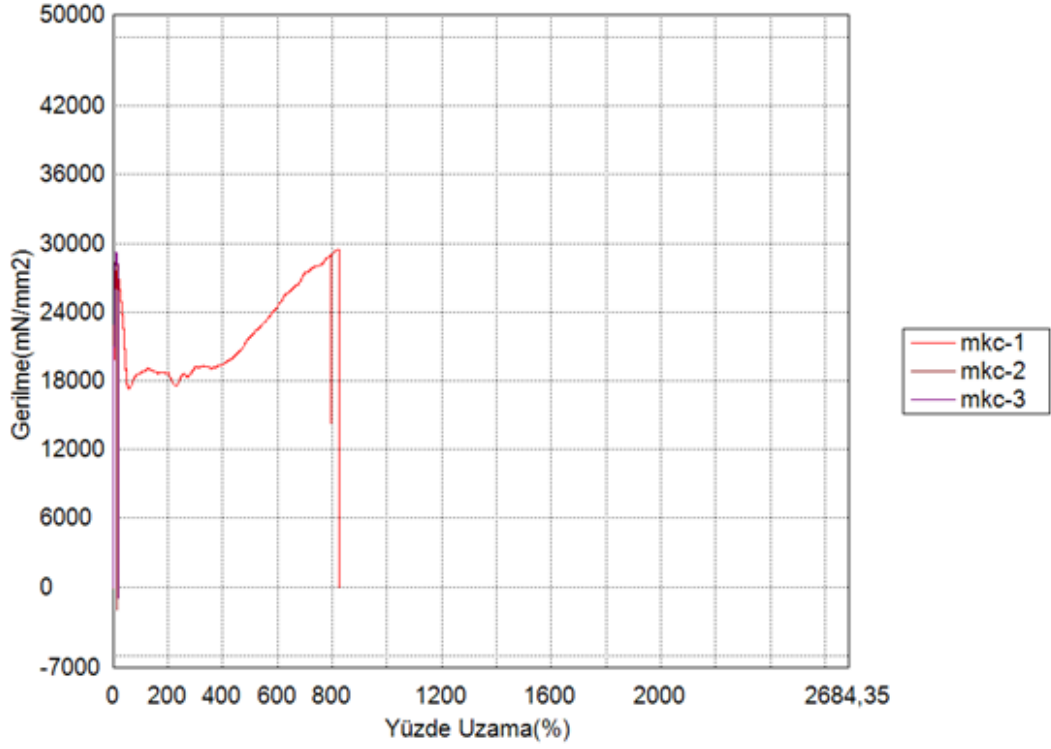
**EK 5 - Şekil 8.12.** % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Çekme Grafiği (MKC-12)



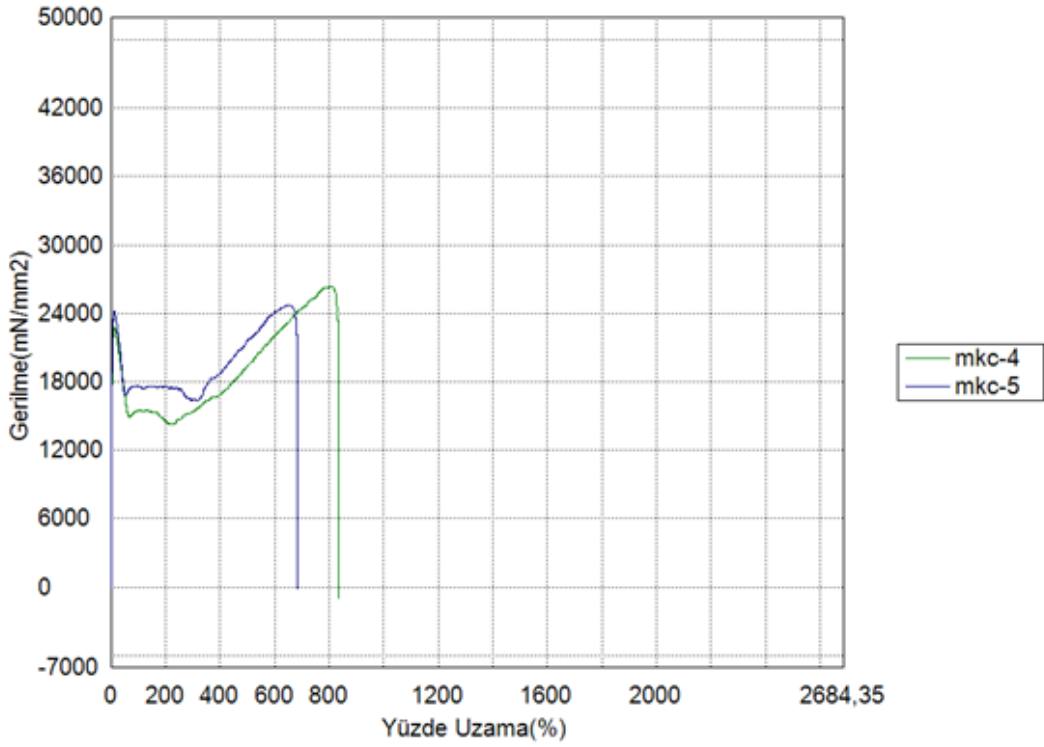
**EK 5 - Şekil 8.13.** % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B2O3 Kompozitinin Çekme Grafiği (BCK-5)



**EK 5 - Şekil 8.14.** % 100 PP , %100 TPU Çekme Grafiği

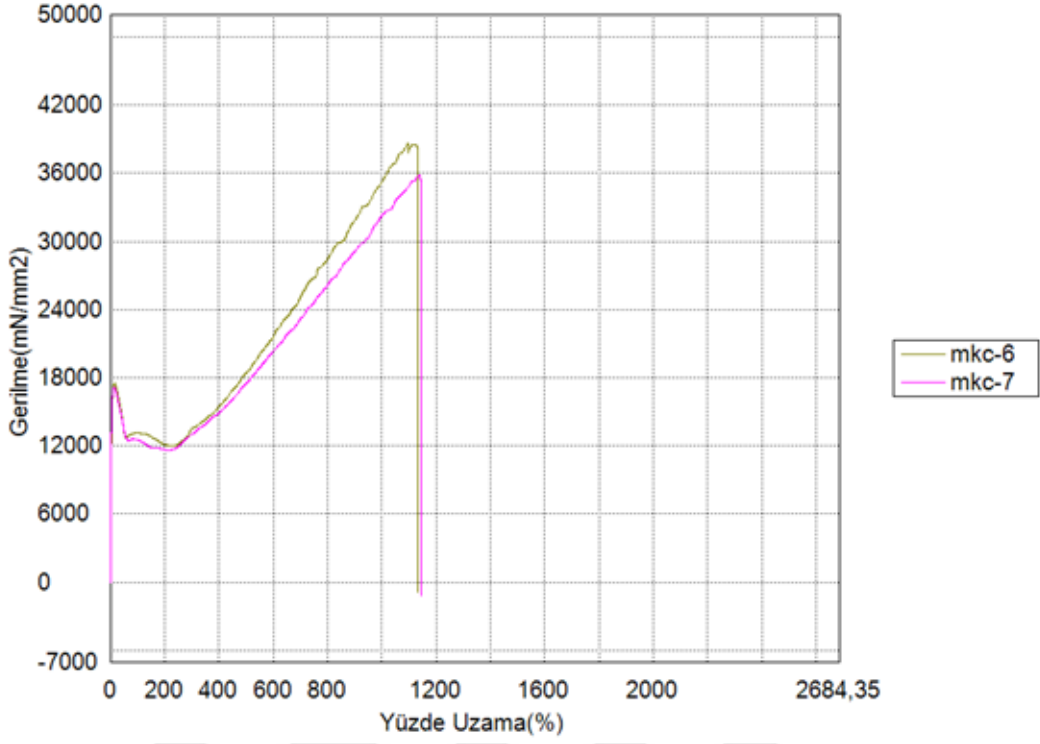


EK 5 - Şekil 8.15. % 100 PP Kompozitlerinin Çekme Grafiği

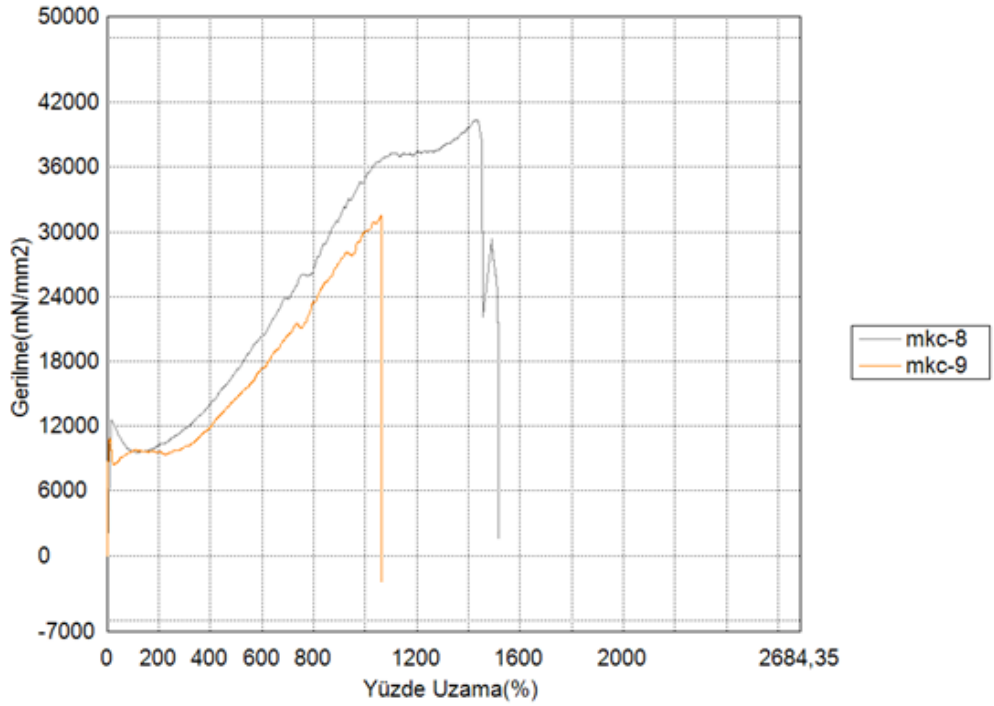


EK 5 - Şekil 8.16. MKC-4 / MKC-5 Kompozitlerinin Çekme Grafiği

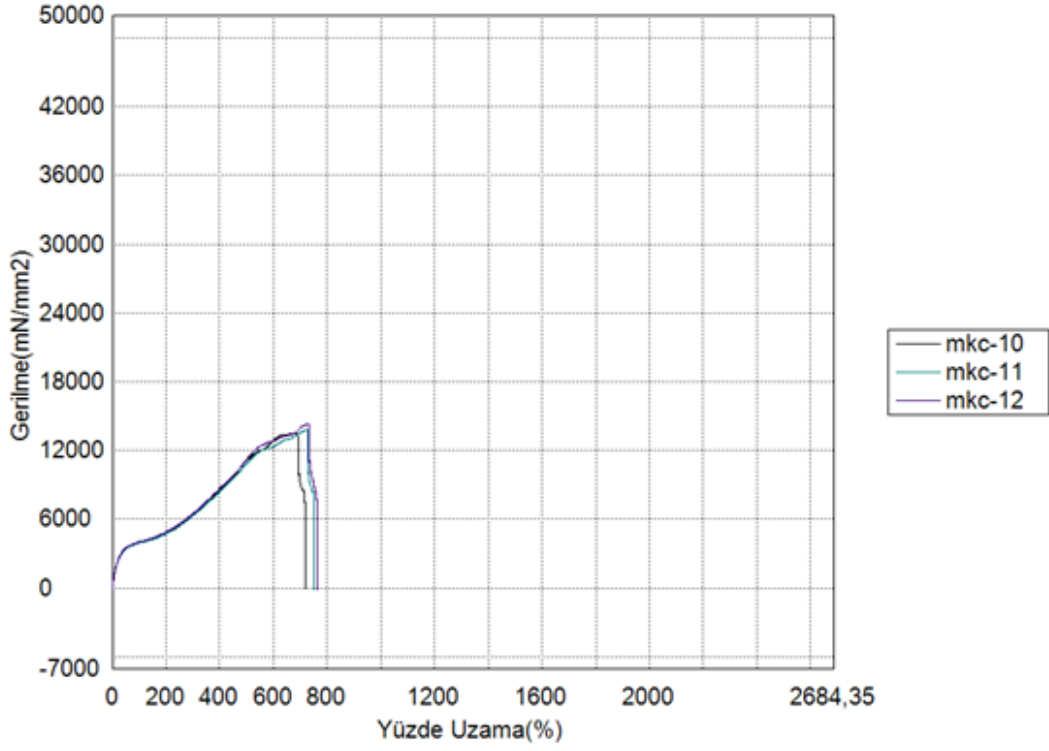




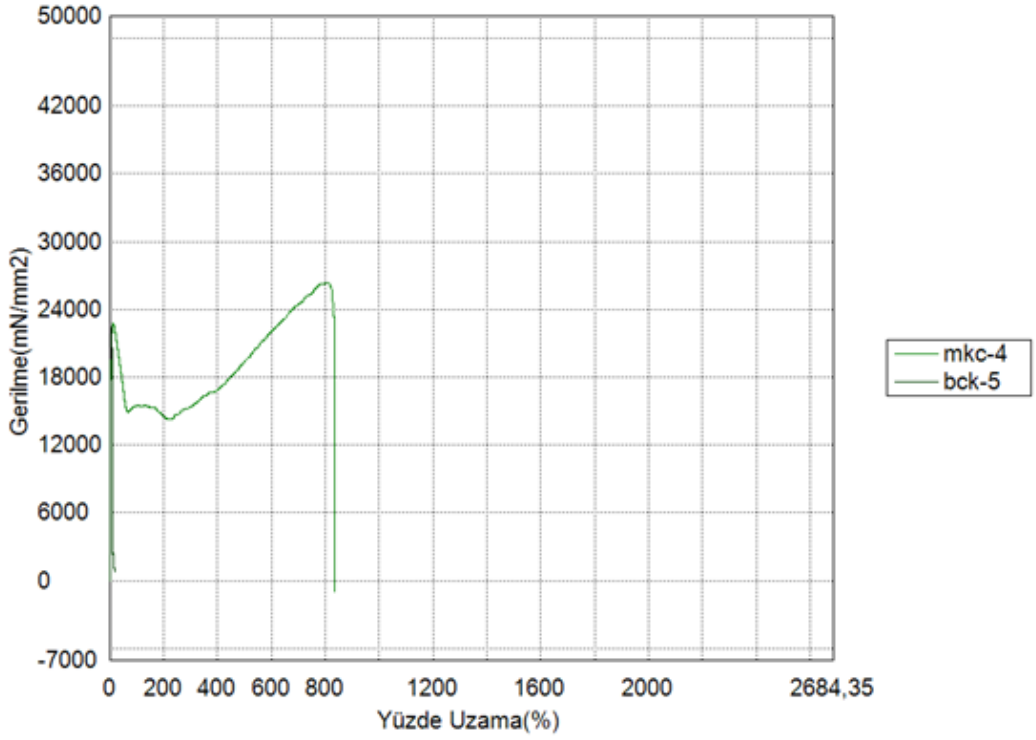
EK 5 - Şekil 8.17. MKC-6 / MKC-7 Kompozitlerinin Çekme Grafiği



EK 5 - Şekil 8.18. MKC-8 / MKC-9 Kompozitlerinin Çekme Grafiği

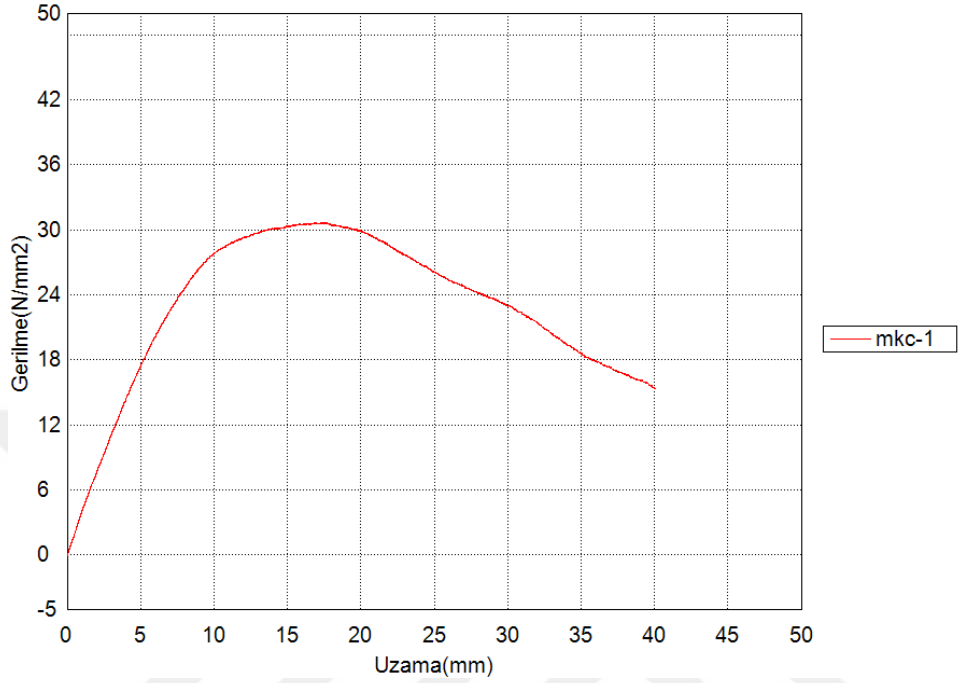


**EK 5 - Şekil 8.19. % 100 TPU Kompozitlerinin Çekme Grafiği**

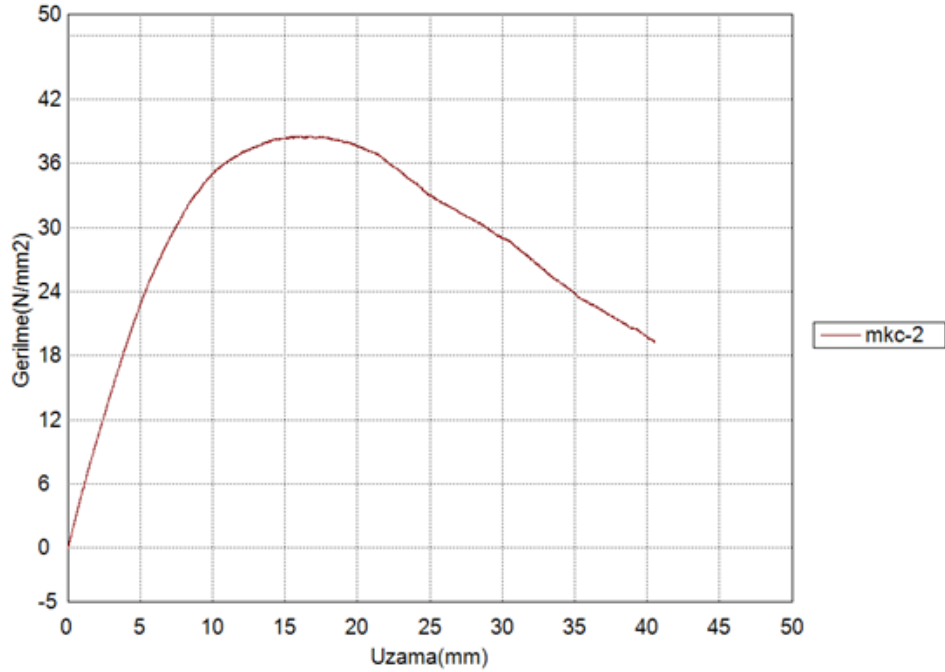


**EK 5 - Şekil 8.20. MKC-4 / BCK-5 Kompozitlerinin Çekme Grafiği**

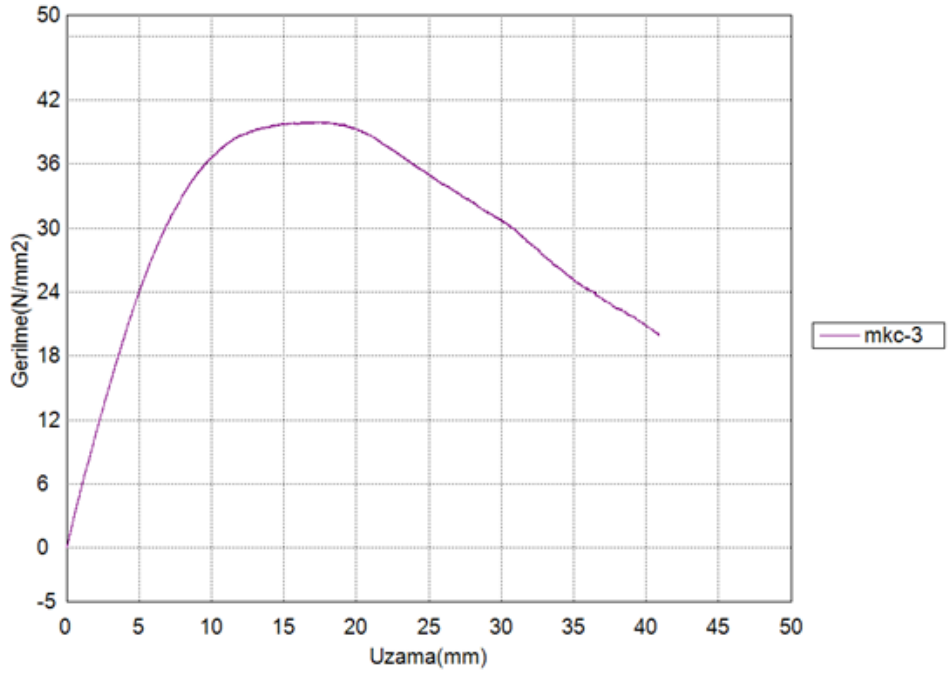
## EK 6 Üç Nokta Eğme Sonuçları



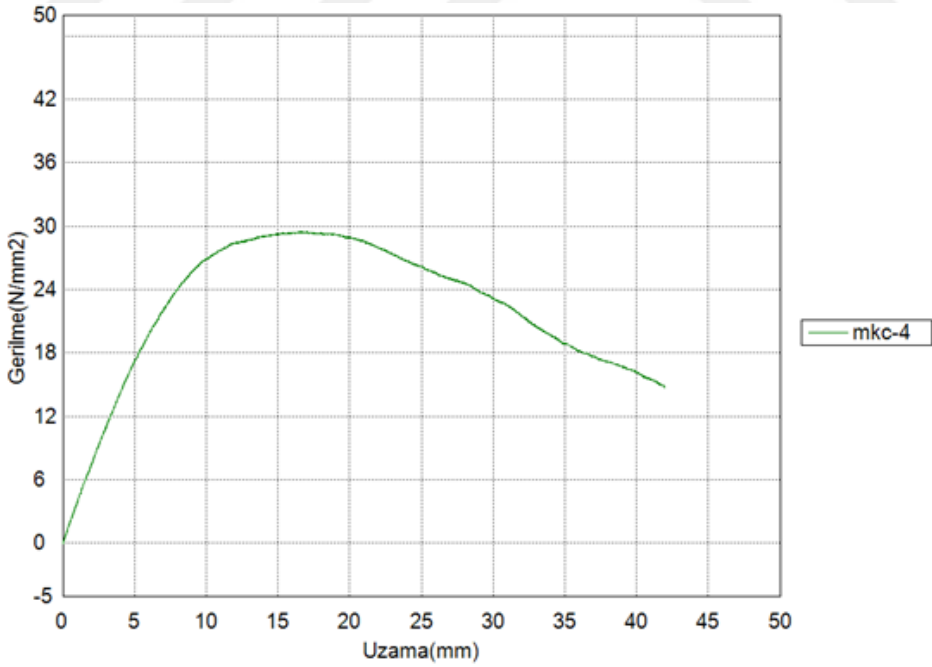
EK 6 - Şekil 8.1. % 100 PP Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-1)



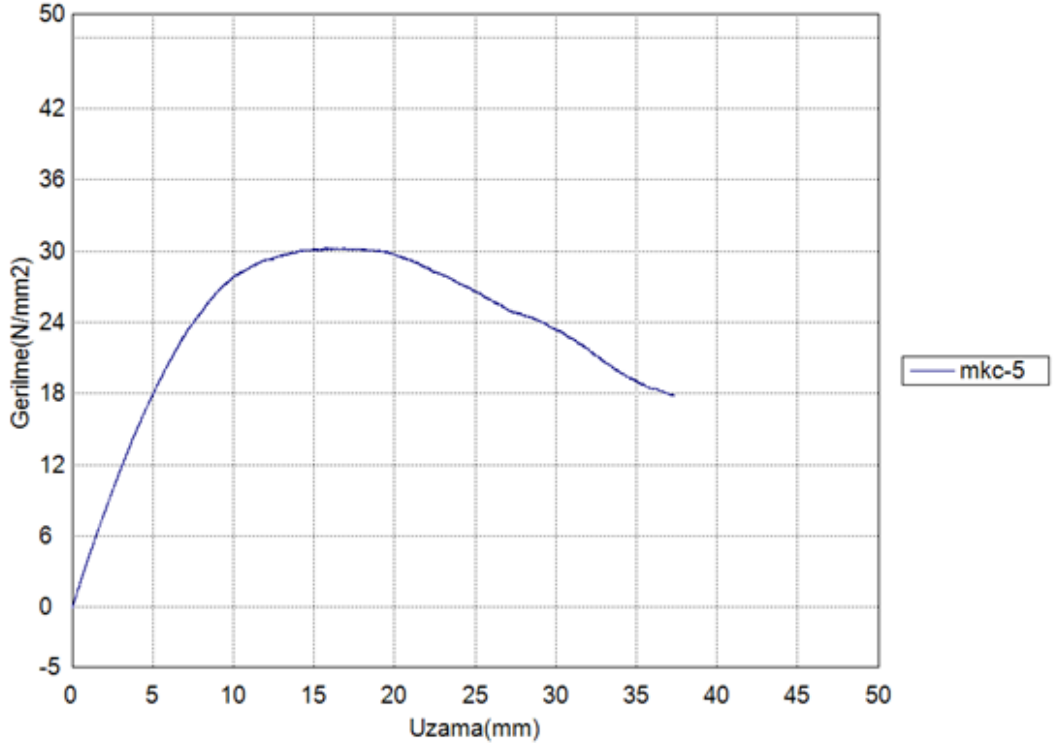
EK 6 - Şekil 8.2. % 100 PP + % 2 h- BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-2)



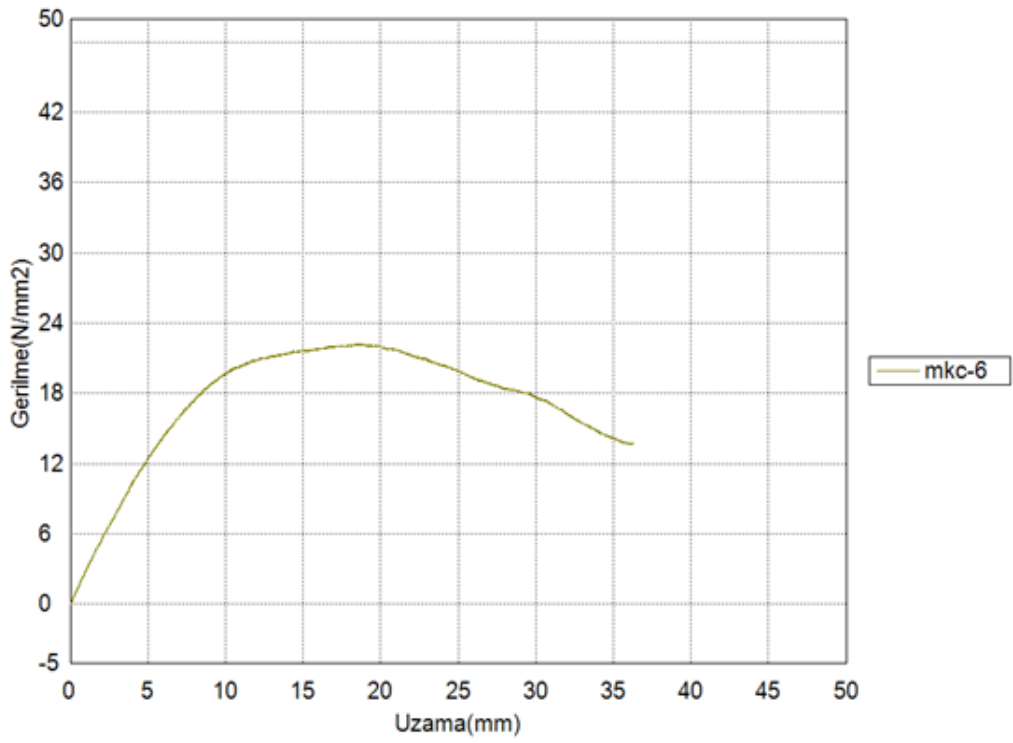
**EK 6 - Şekil 8.6.3. % 100 PP + % 4 h- BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-3)**



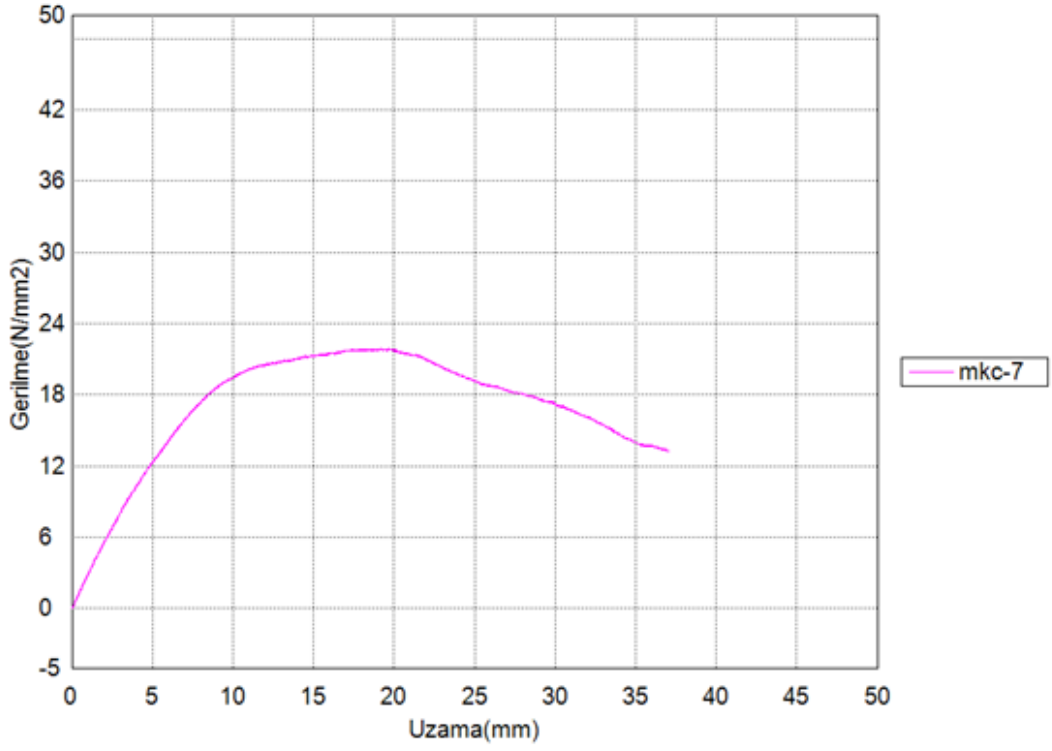
**EK 6 - Şekil 8.4. % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-4)**



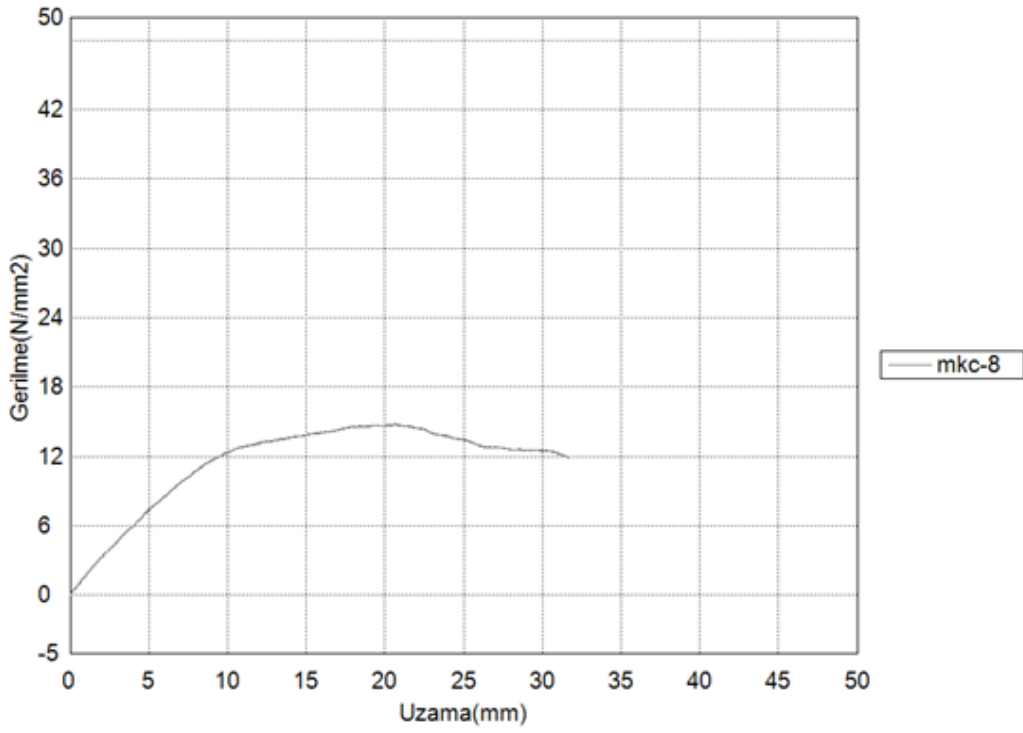
**EK 6- Şekil 8.5. % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-5)**



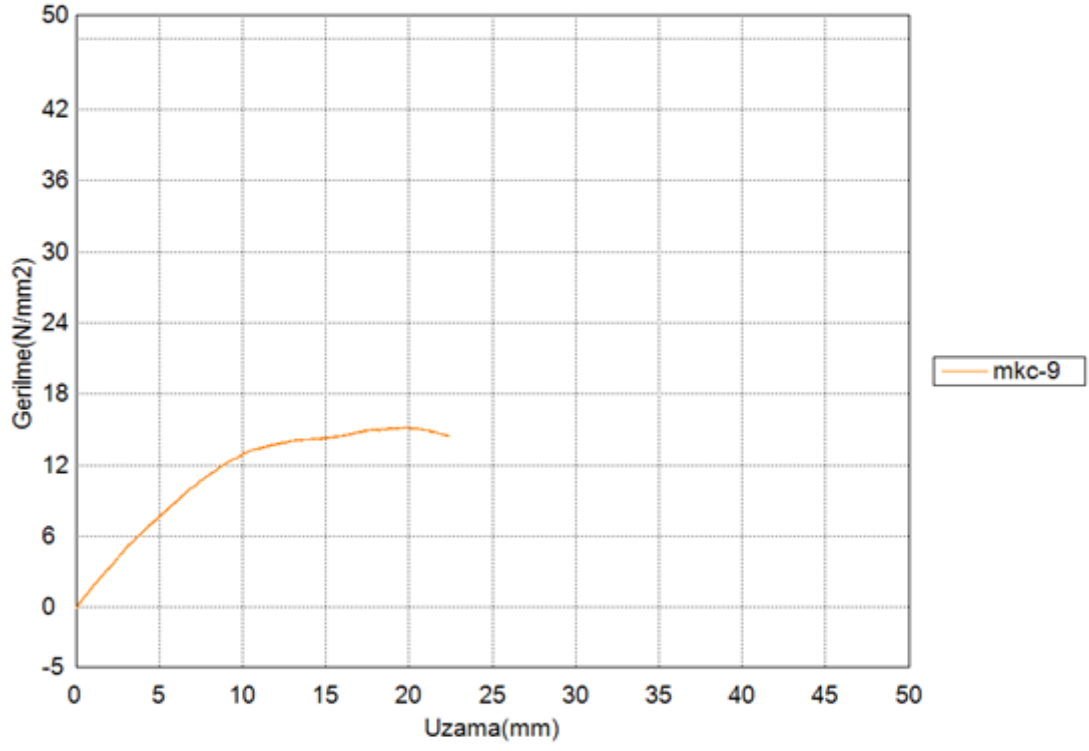
**EK 6 - Şekil 8.6. % 50 PP + % 50 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-6)**



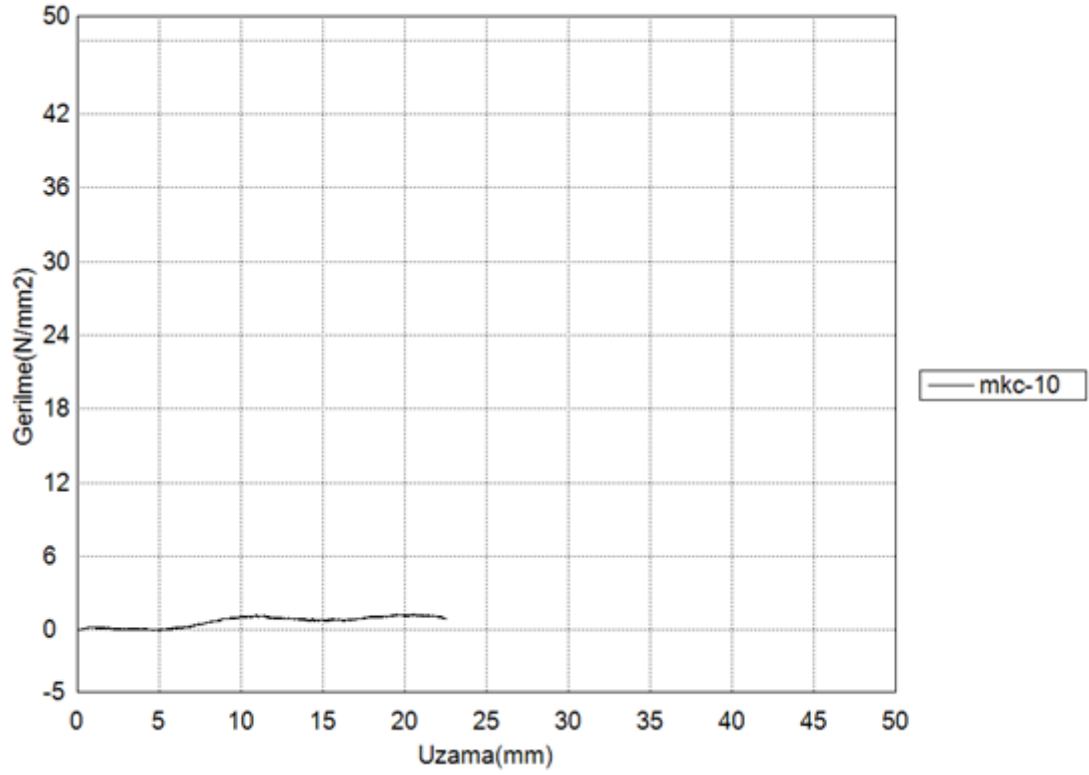
**EK 6 - Şekil 8.7.** % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-7)



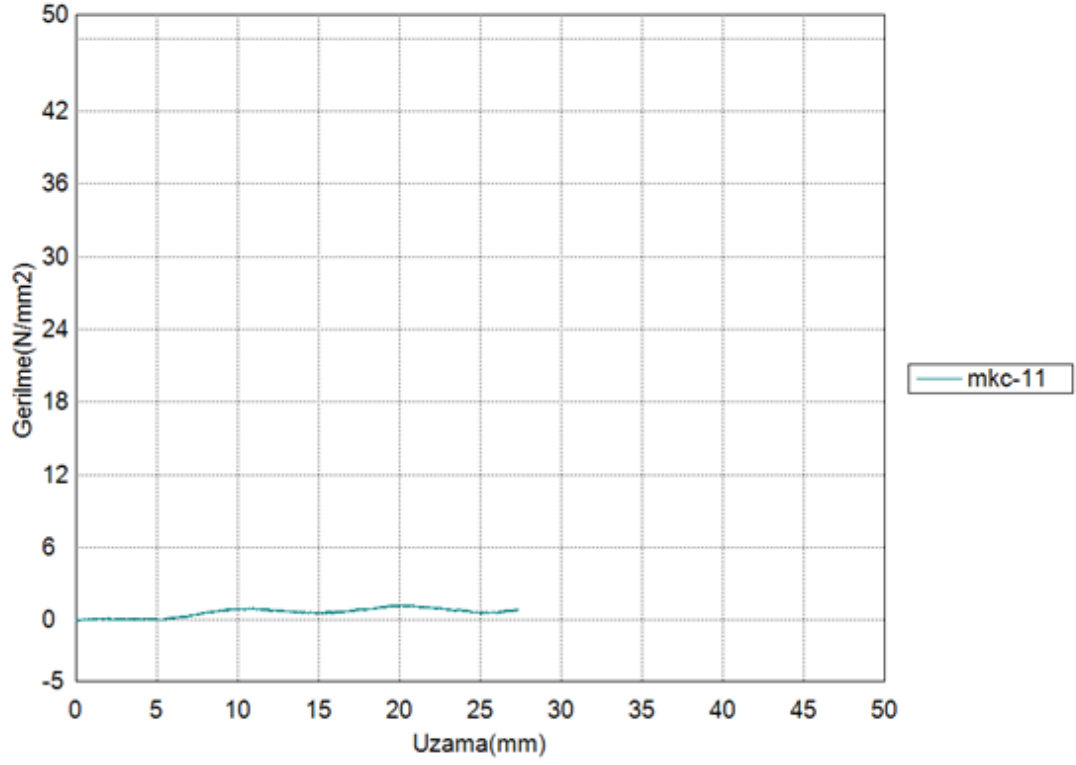
**EK 6 - Şekil 8.8.** % 25 PP + % 75 TPU + % 2 h- BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-8)



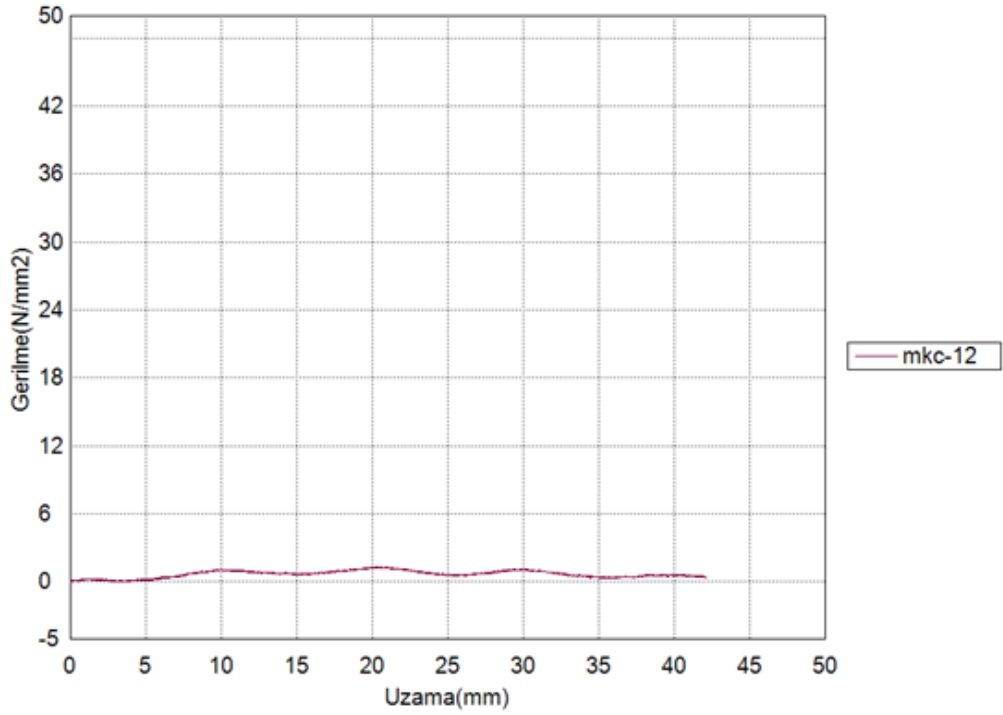
**EK 6 - Şekil 8.9.** % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-9)



**EK 6 - Şekil 8.10.** % 100 TPU Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-10)

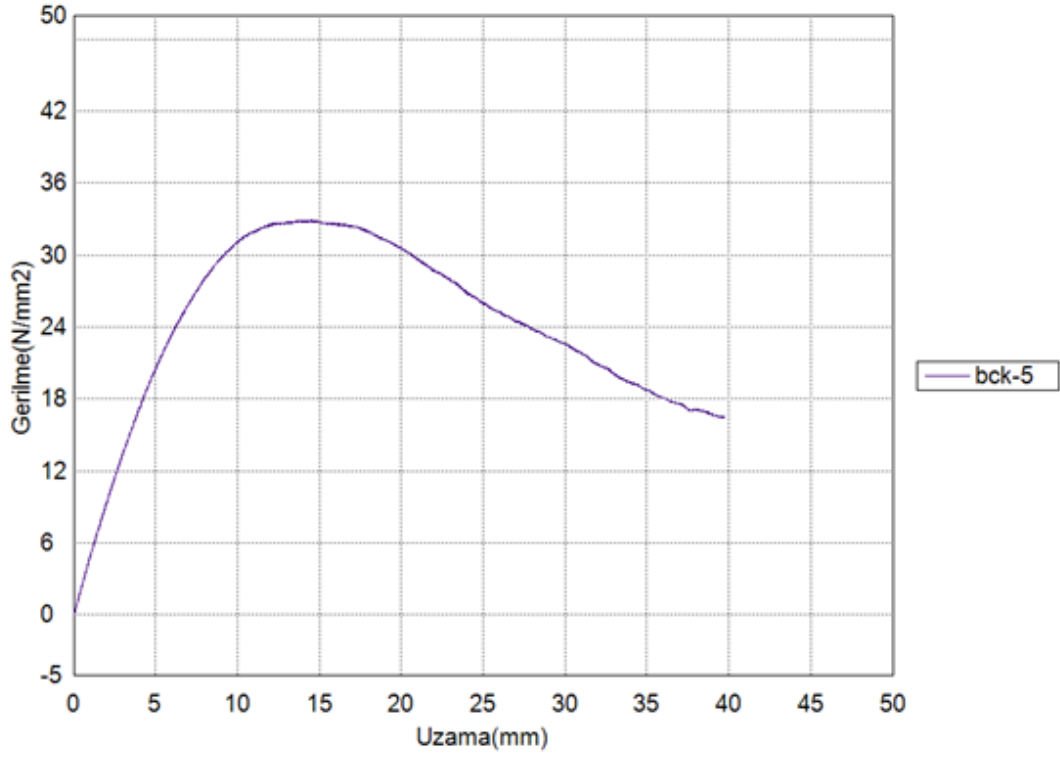


**EK 6 - Şekil 8.11.** % 100 TPU + % 2 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-11)

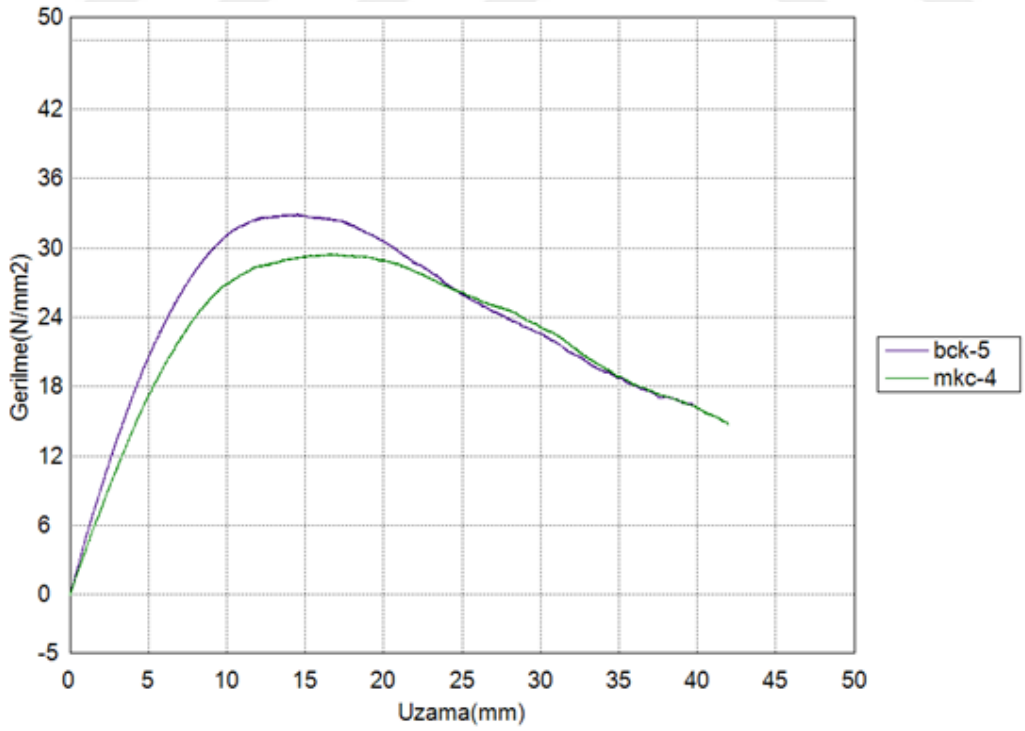


**EK 6 - Şekil 8.12.** % 100 TPU + % 4 h-BN Kompozitinin Üç Nokta Eğme (MKC-12)

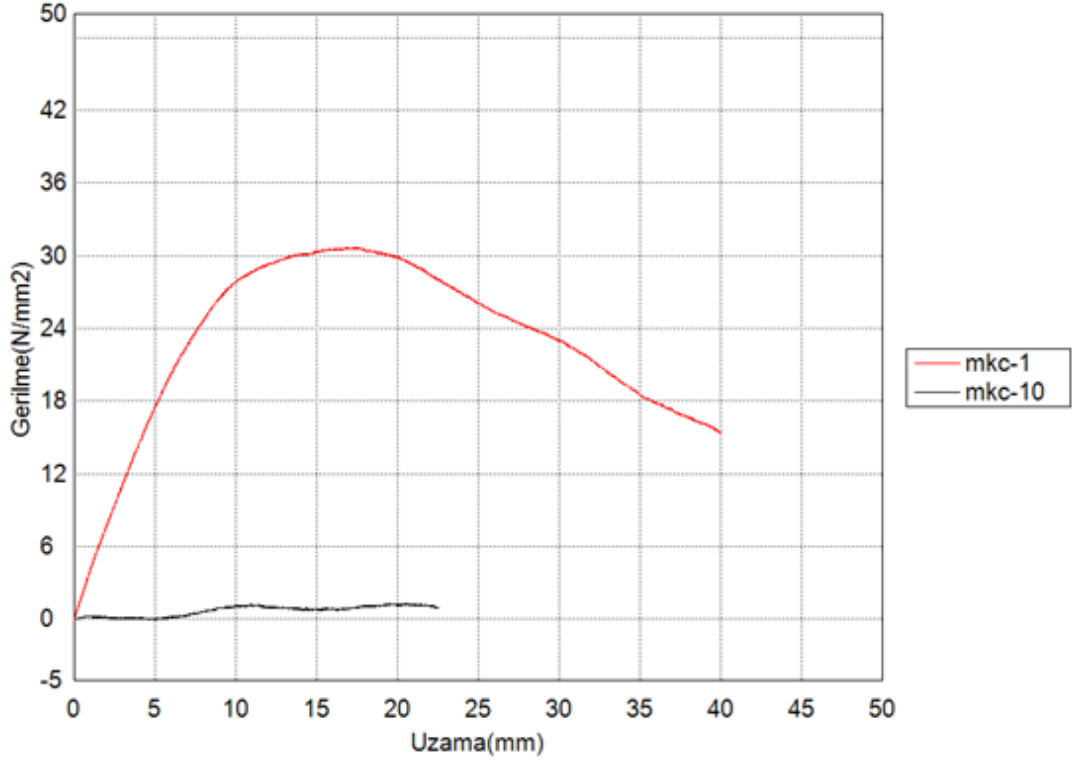




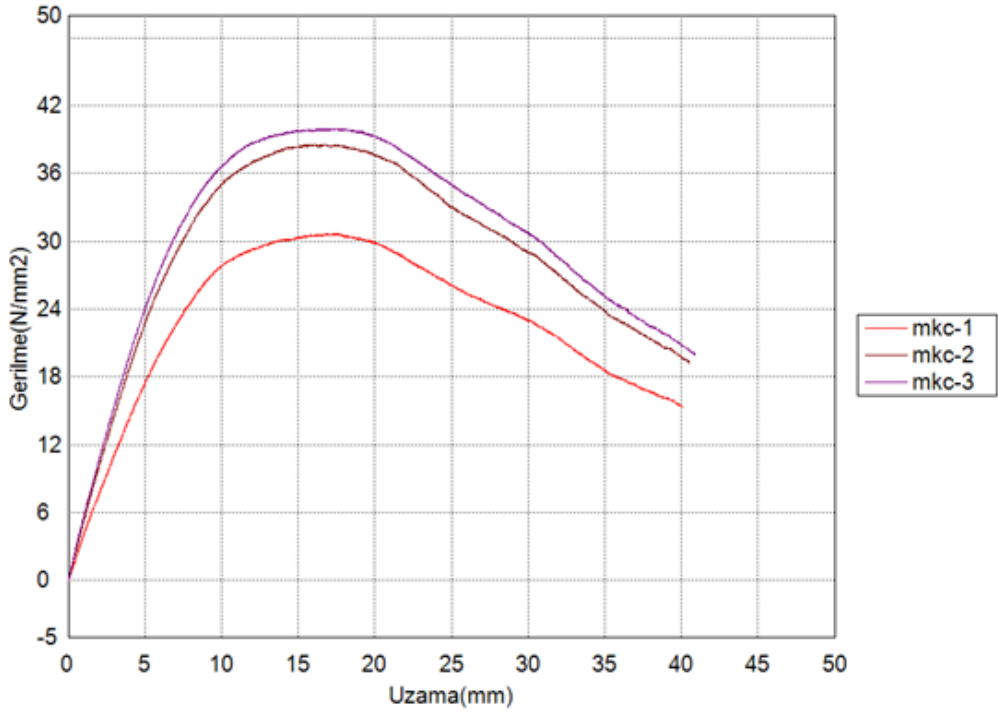
**EK 6 - Şekil 8.13.** % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B2O3 Kompozitinin Üç Nokta Eğme (BCK-5)



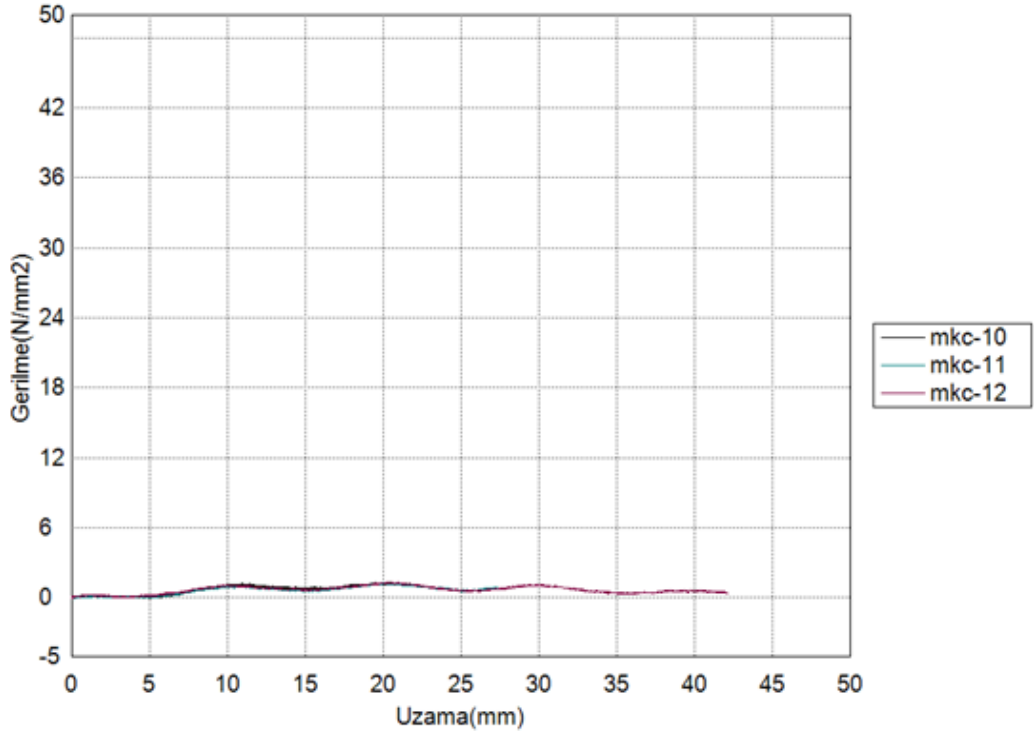
**EK 6 - Şekil 8.14.** MKC-4 / BCK-5 Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme



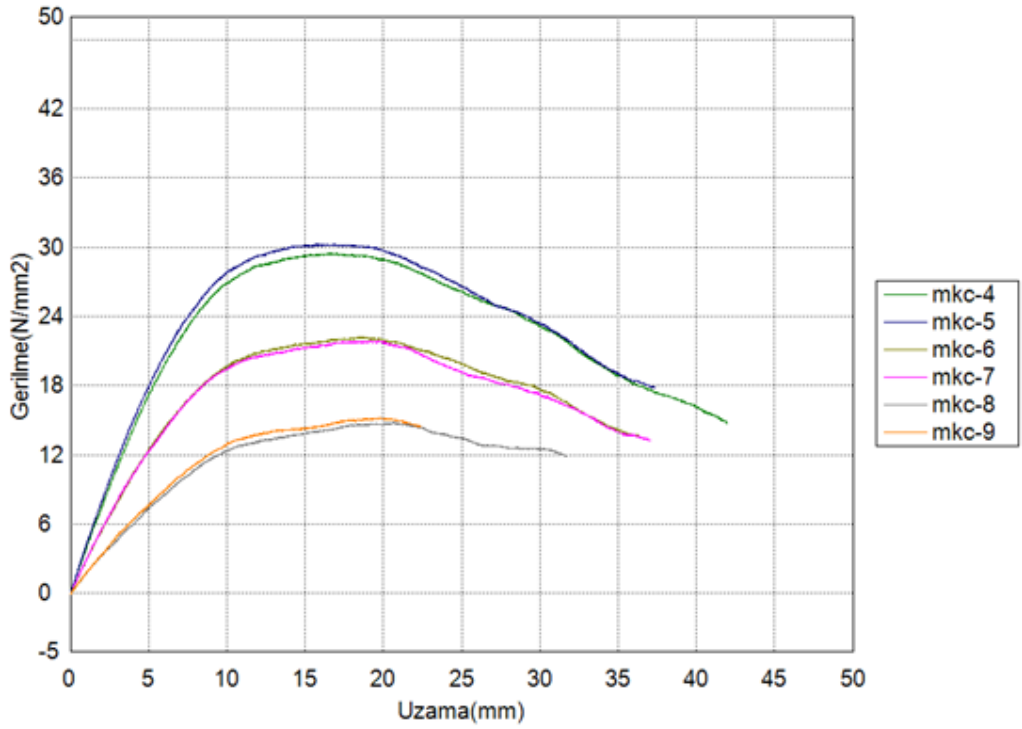
**EK 6 - Şekil 8.15.** % 100 PP , %100 TPU Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme



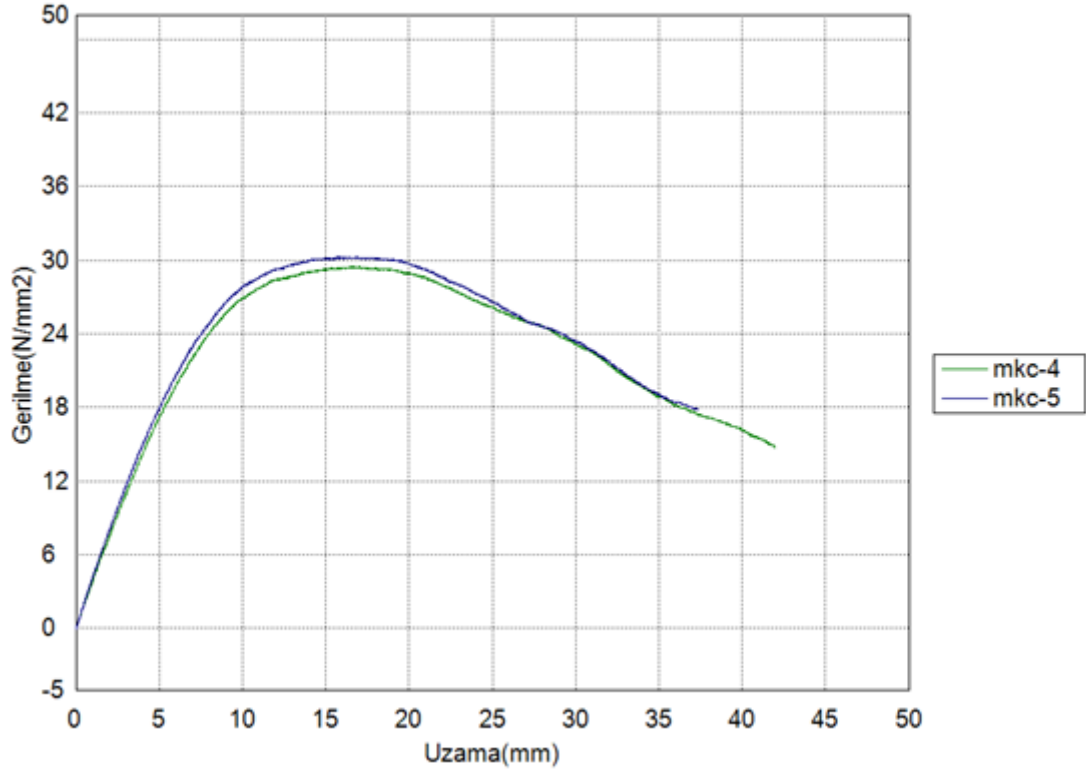
**EK 6 - Şekil 8.16.** % 100 PP Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme



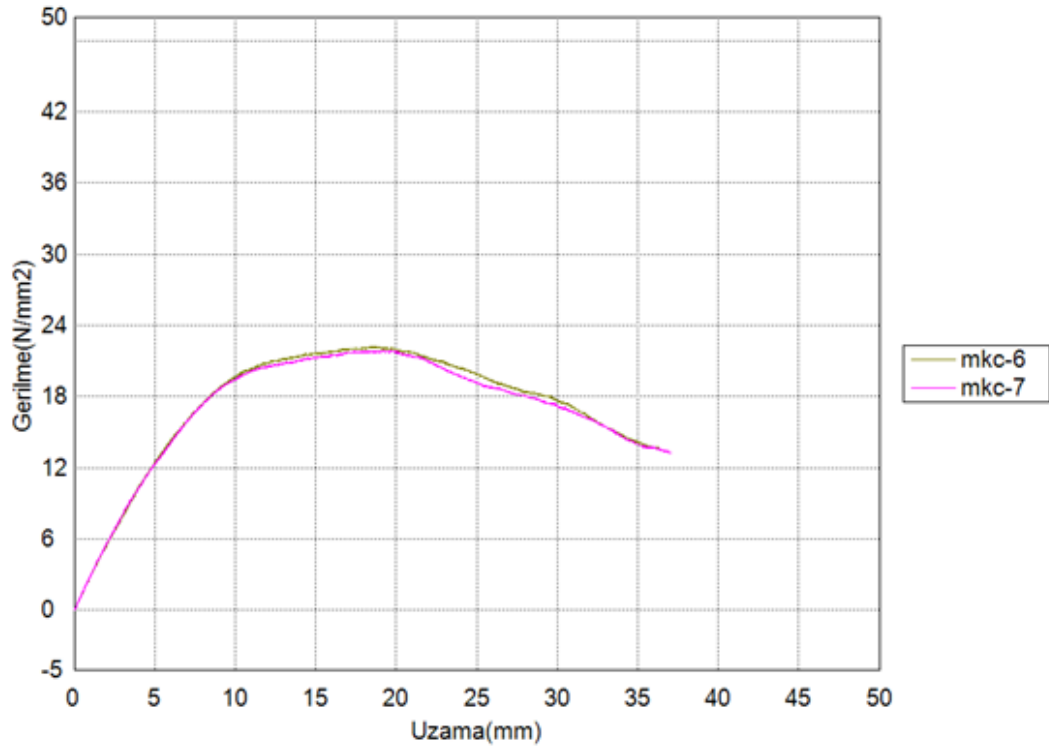
**EK 6 - Şekil 8.17. % 100 TPU Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme**



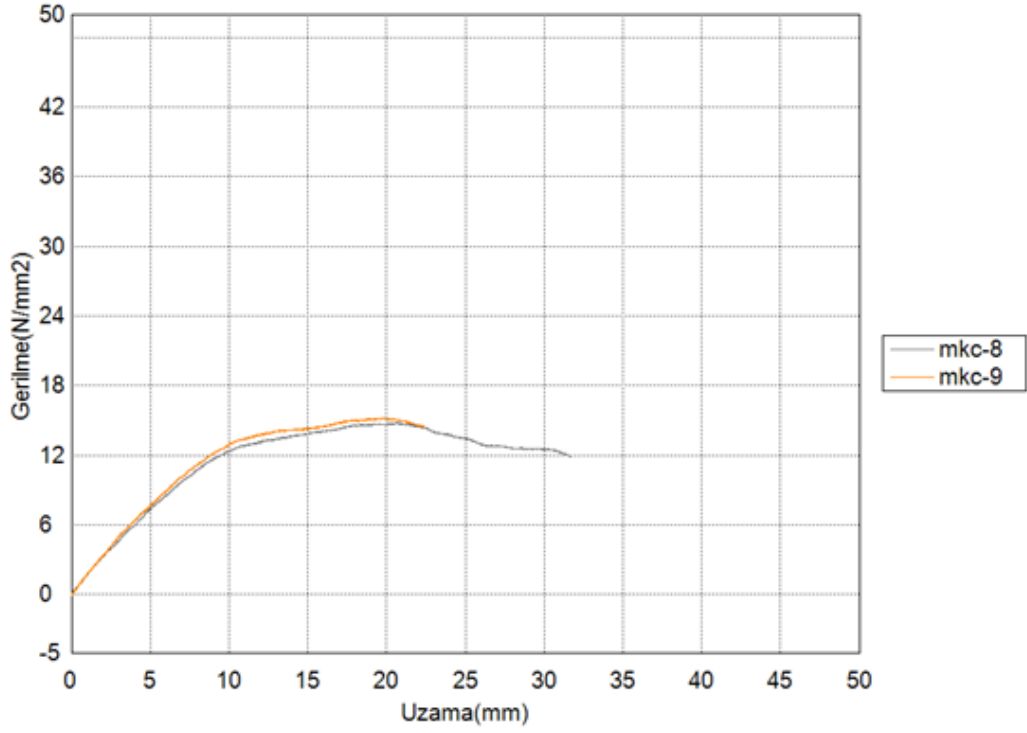
**EK 6 - Şekil 8.18. Şekil 21,22,23 Birleşim Üç Nokta Eğme Grafiği**



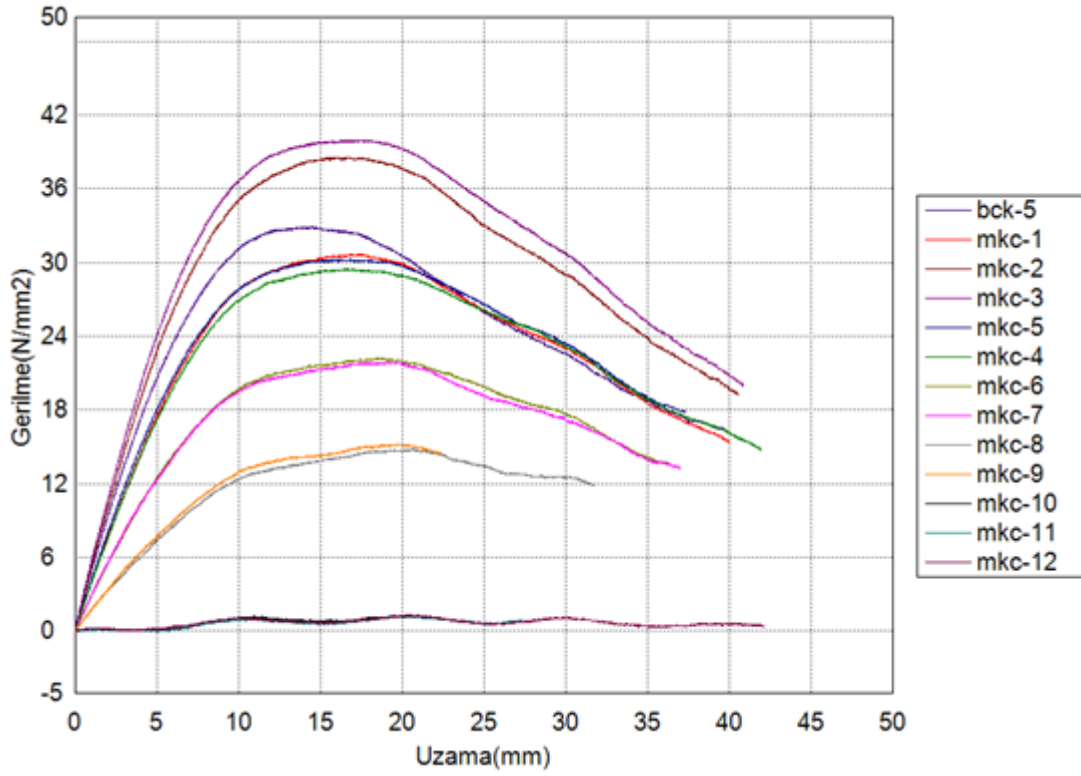
**EK 6 - Şekil 8.19.** MKC-4 / MKC-5 Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme



**EK 6 - Şekil 8.20.** MKC-6 / MKC-7 Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme

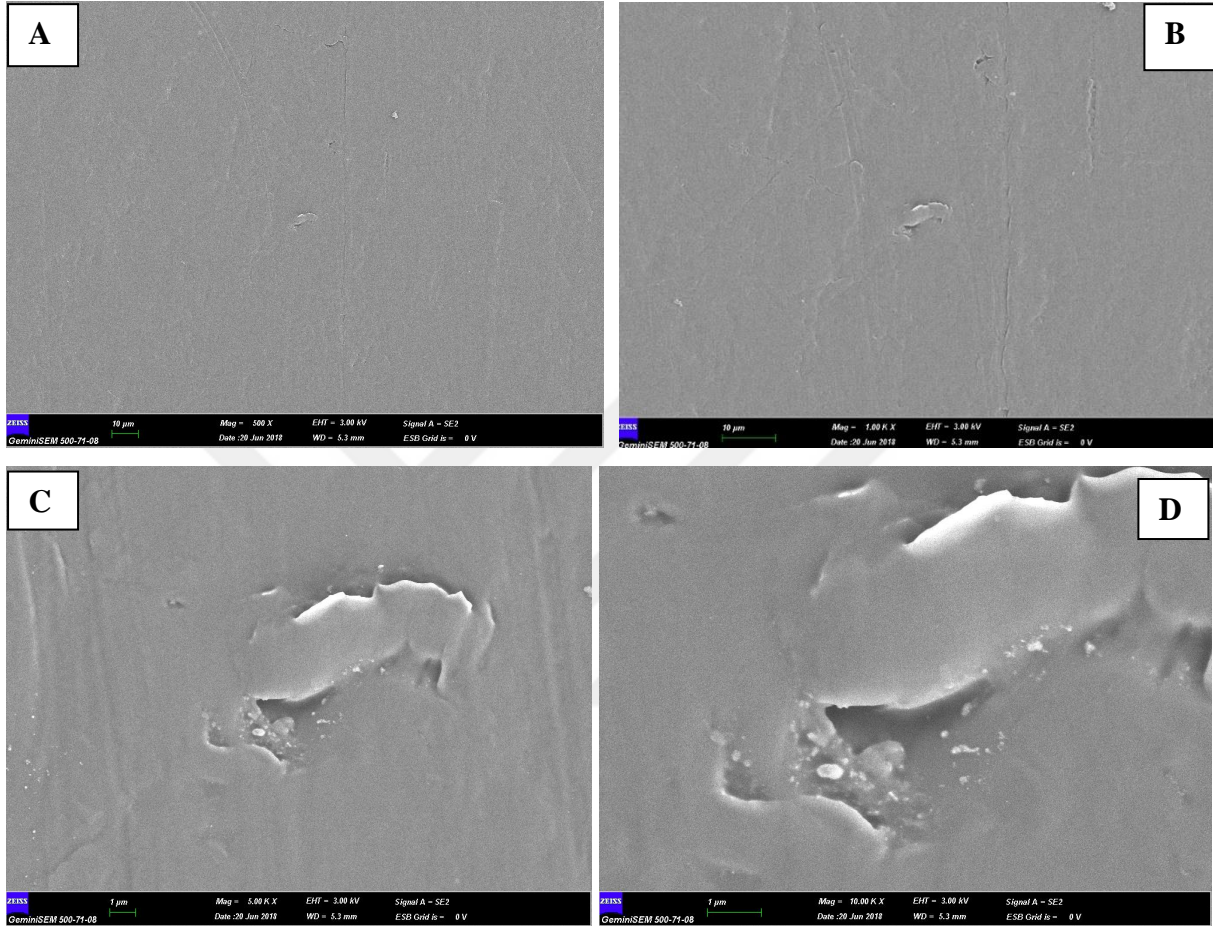


EK 6 - Şekil 8.21. MKC-9 / MKC-8 Kompozitlerinin Üç Nokta Eğme

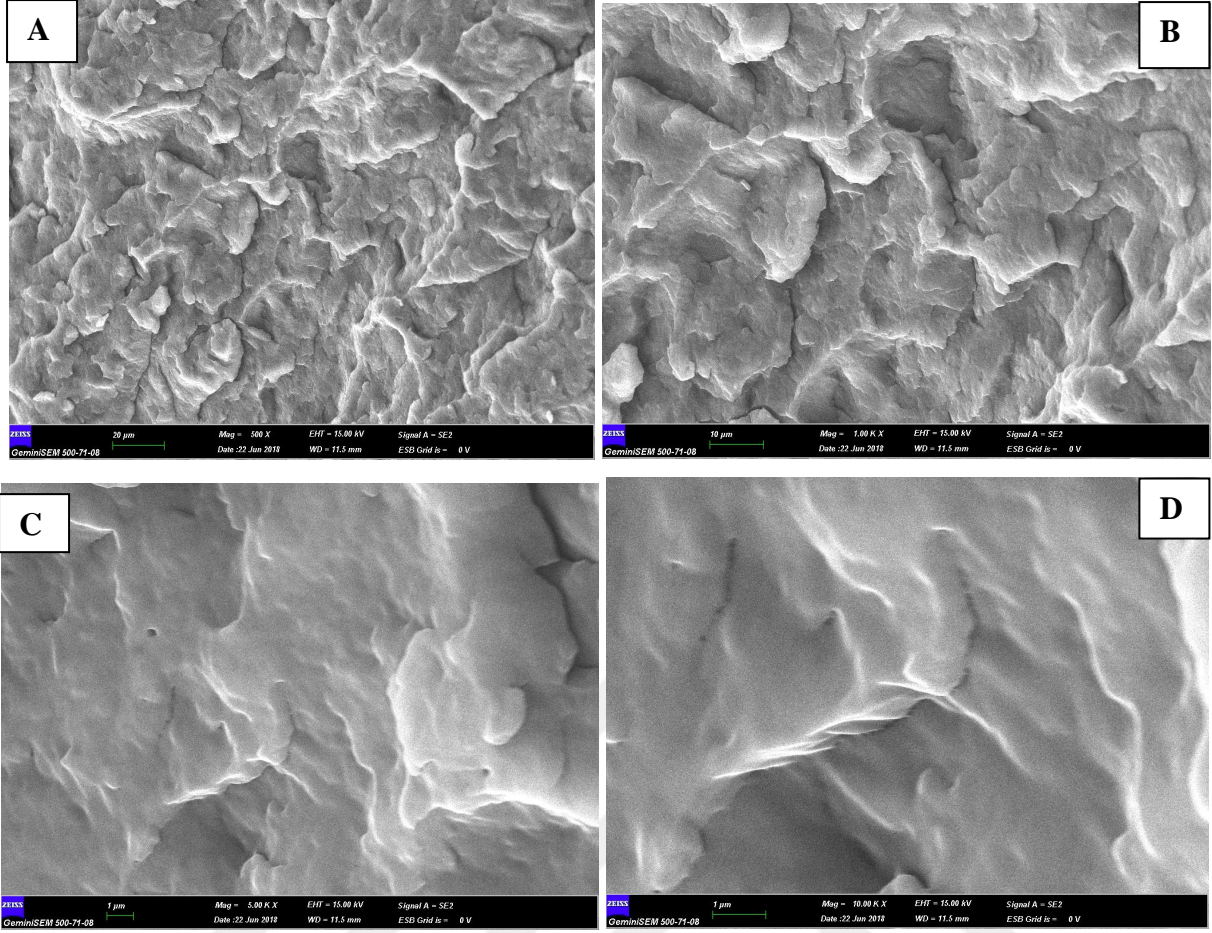


EK 6 - Şekil 8.22. Kompozitler Numunelerinin Üç Nokta Eğme

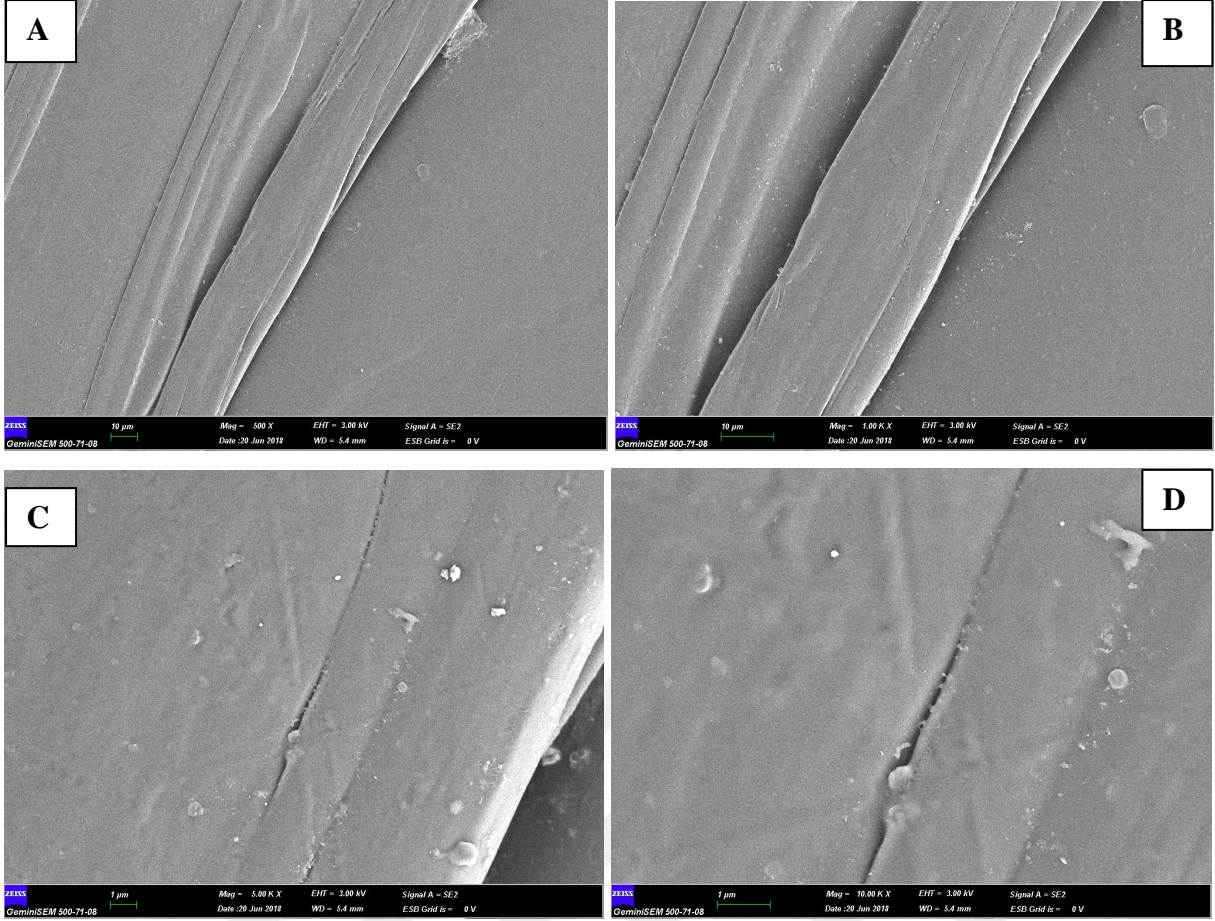
## EK 7 Yüzey ve Kesit SEM Görüntüleri



**EK 7 - Şekil 8.1. % 100 PP (MKC 1) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX**

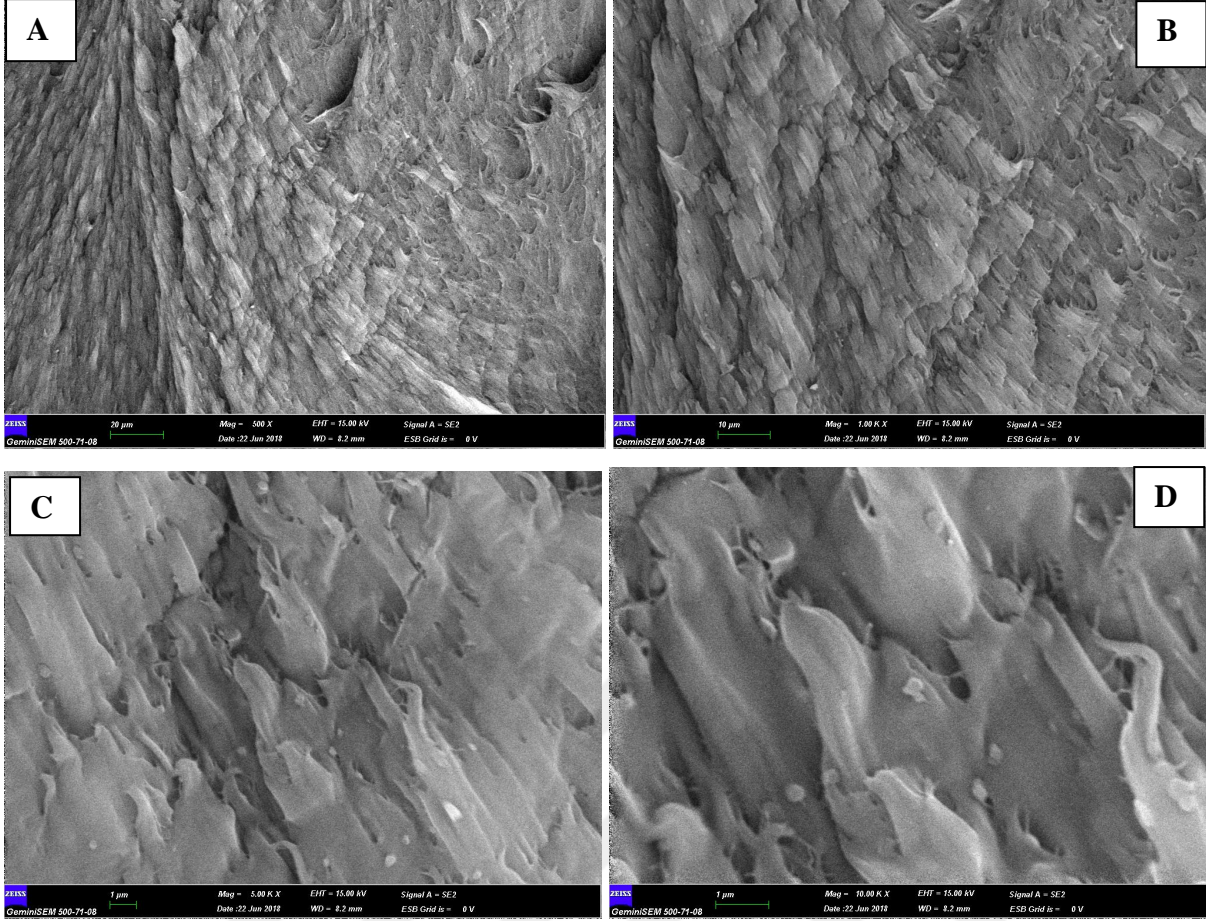


**EK 7 - Şekil 8.2.** % 100 PP (MKC 1) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX

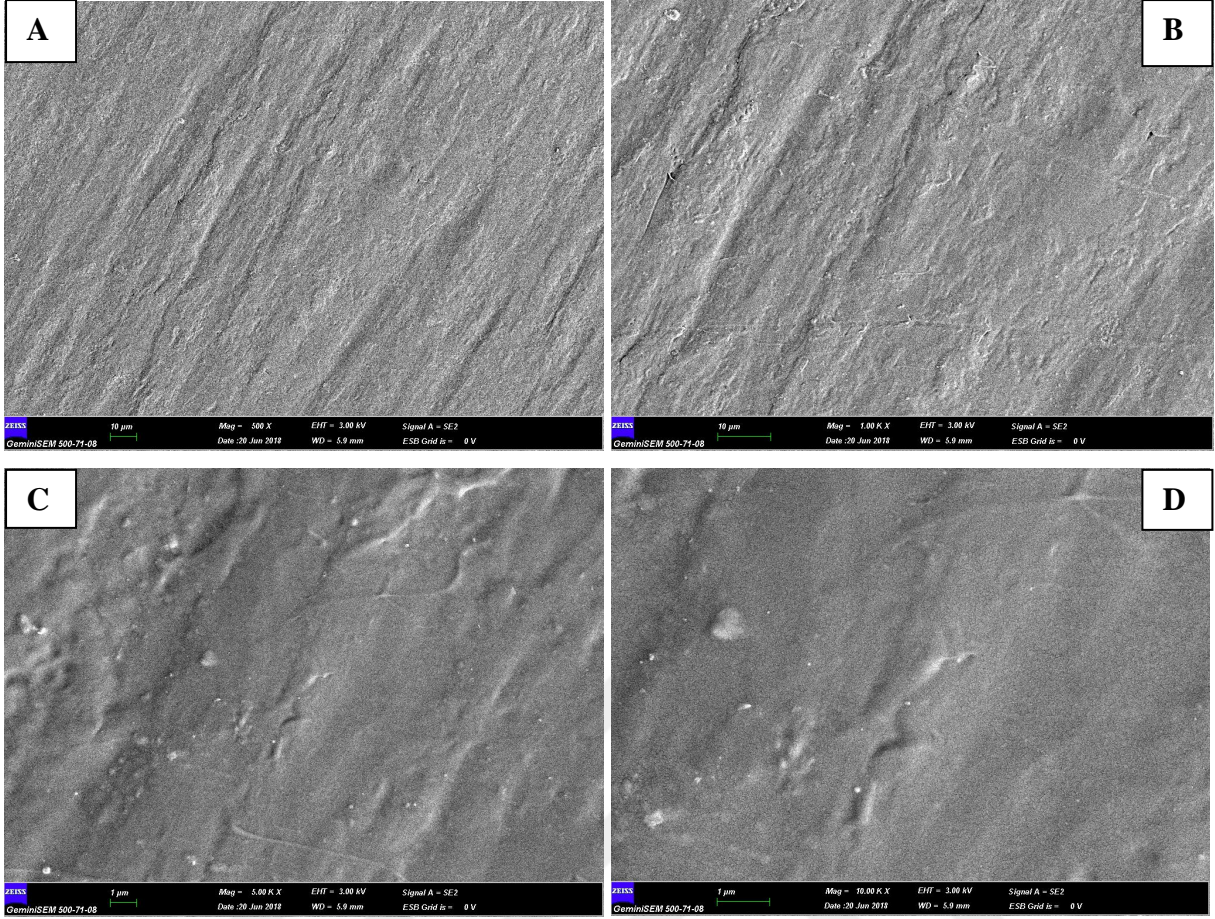


**EK 7 - Şekil 8.3.** % 100 PP + % 4 h- BN (MKC 3) Kompozitinin Yüzeý SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX

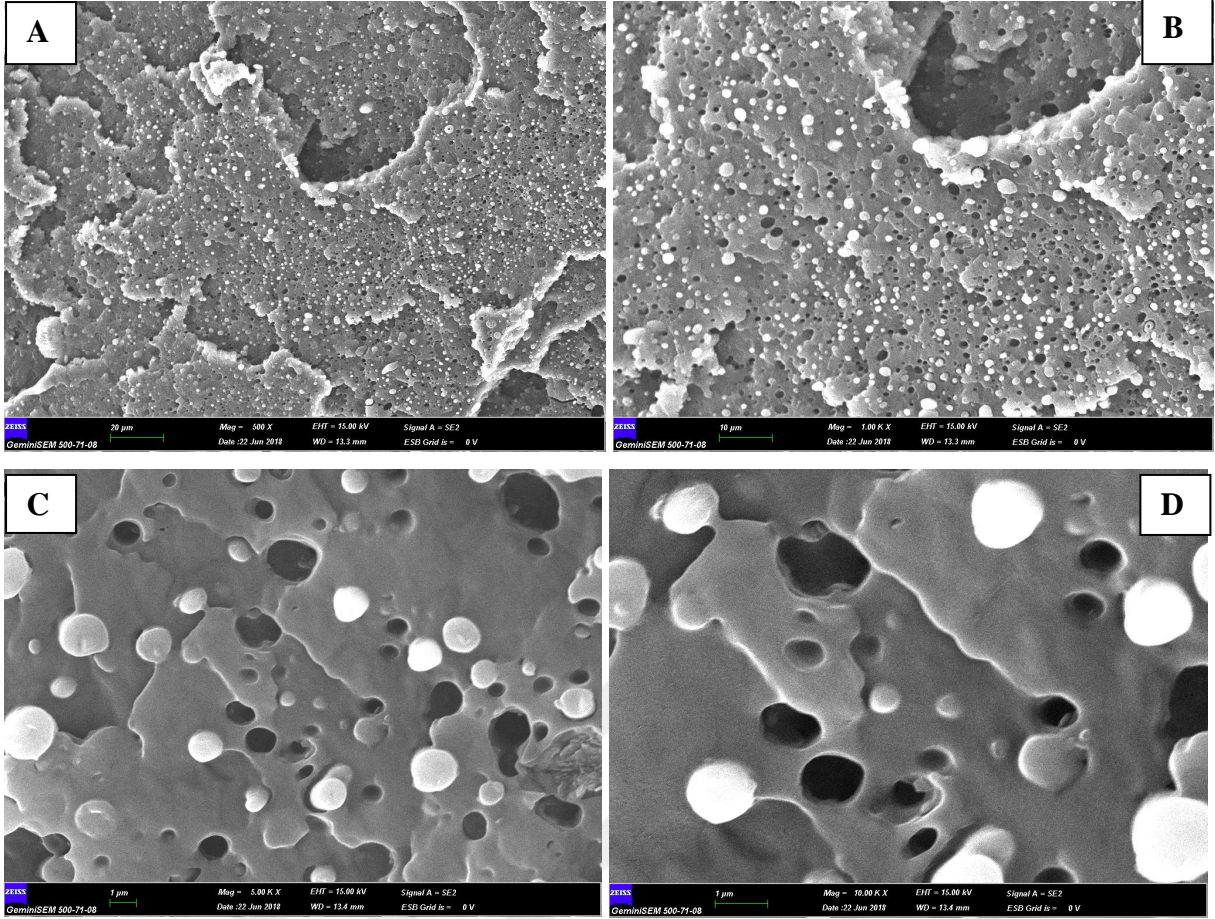




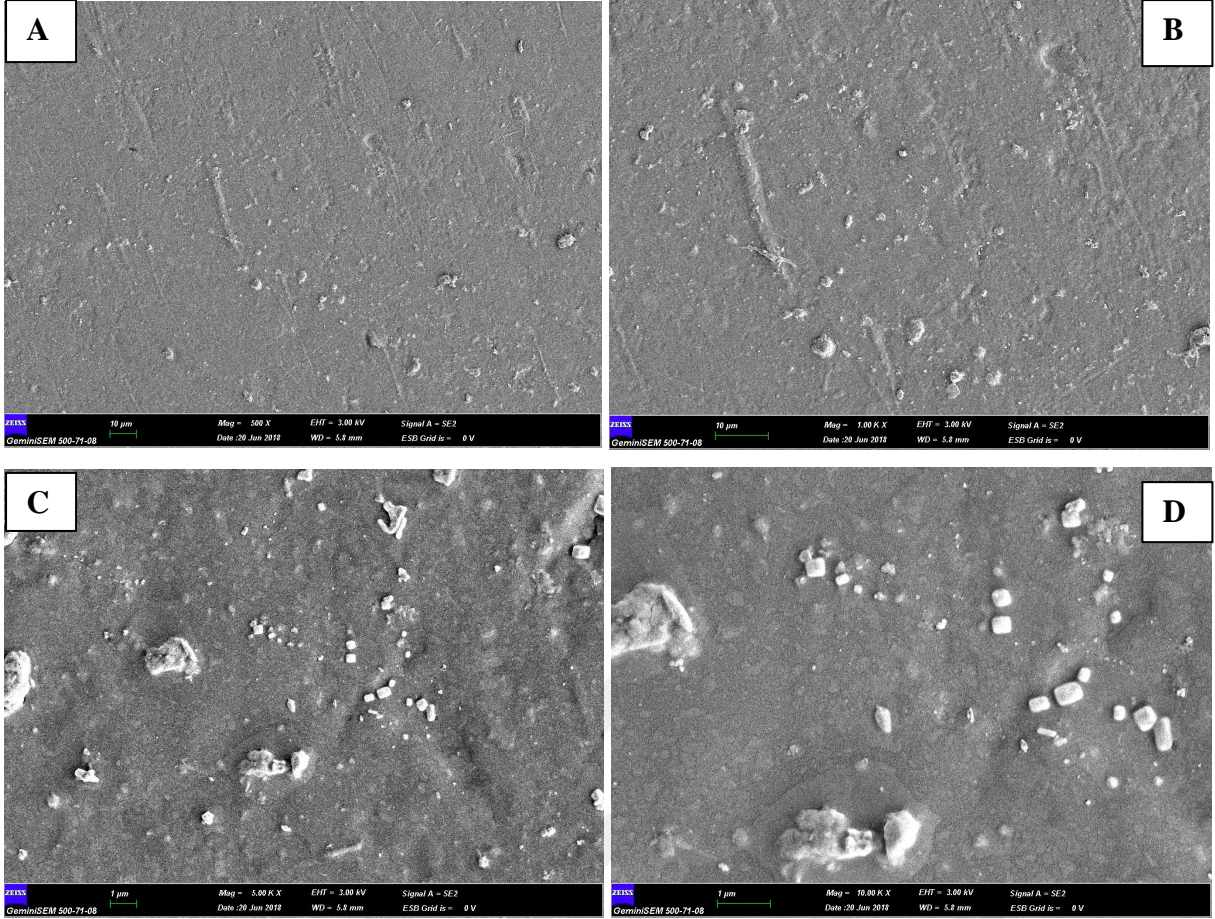
**EK 7 - Şekil 8.4. % 100 PP + % 4 h- BN (MKC 3) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX**



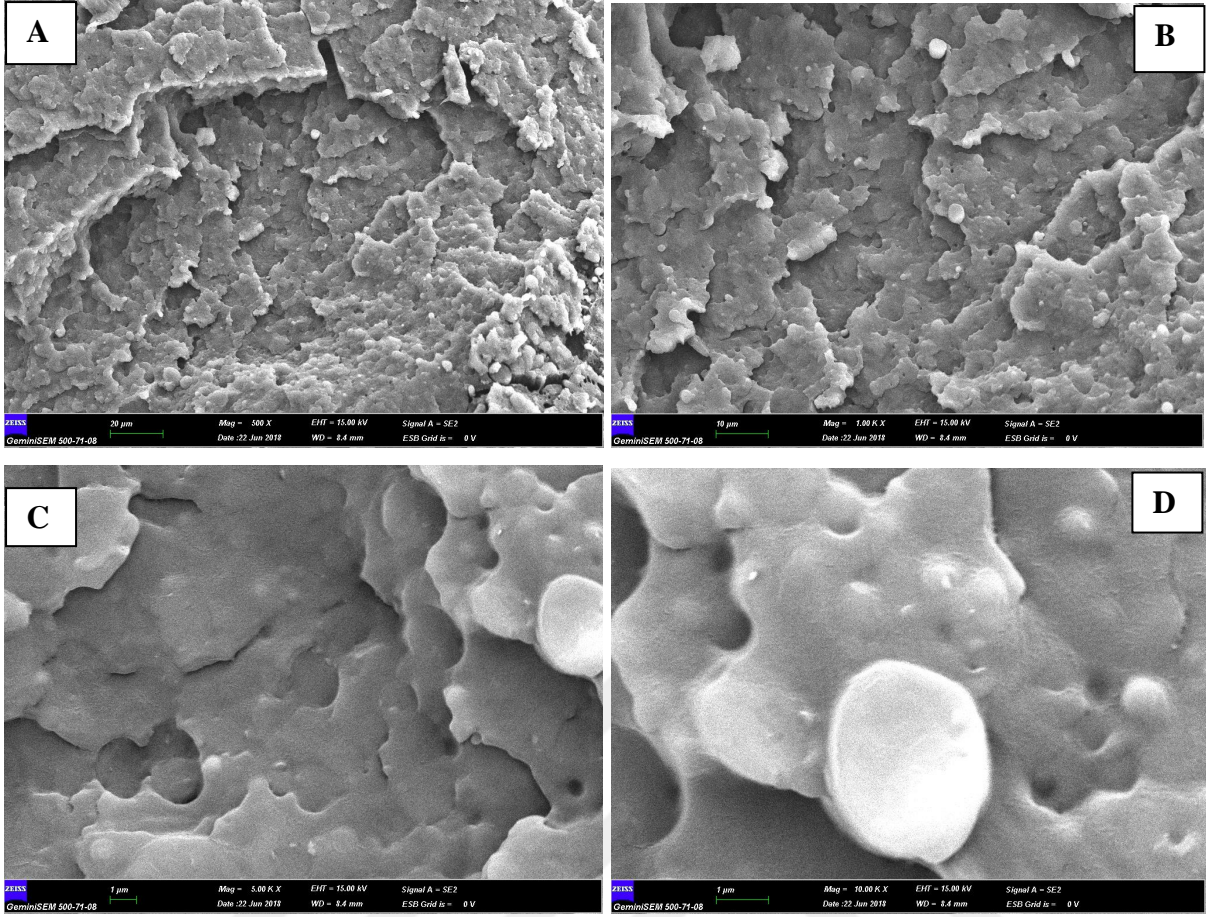
**EK 7 - Şekil 8.5.** % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN (MKC 5) Kompozitinin Yüzeý SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



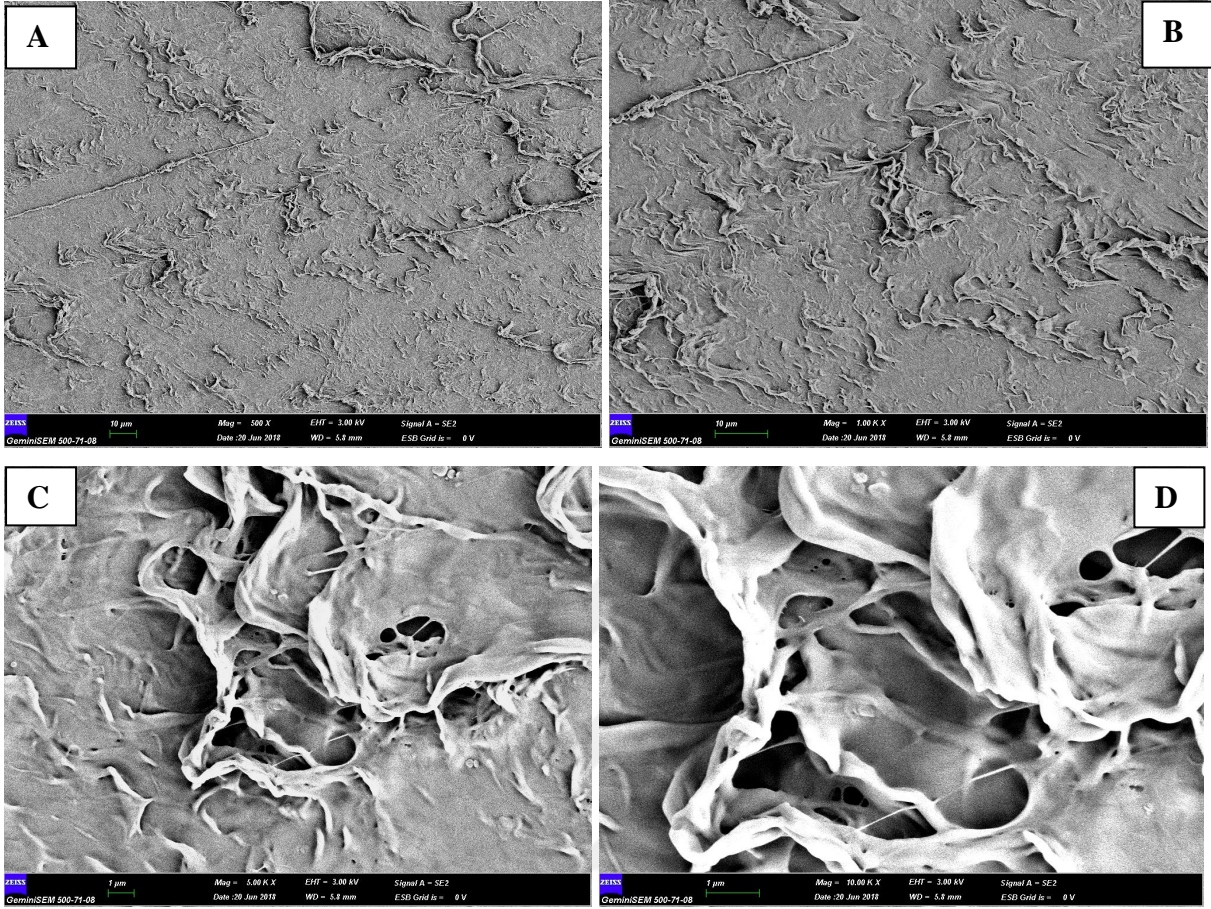
**EK 7 - Şekil 8.6.** % 75 PP + % 25 TPU + % 4 h- BN (MKC 5) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



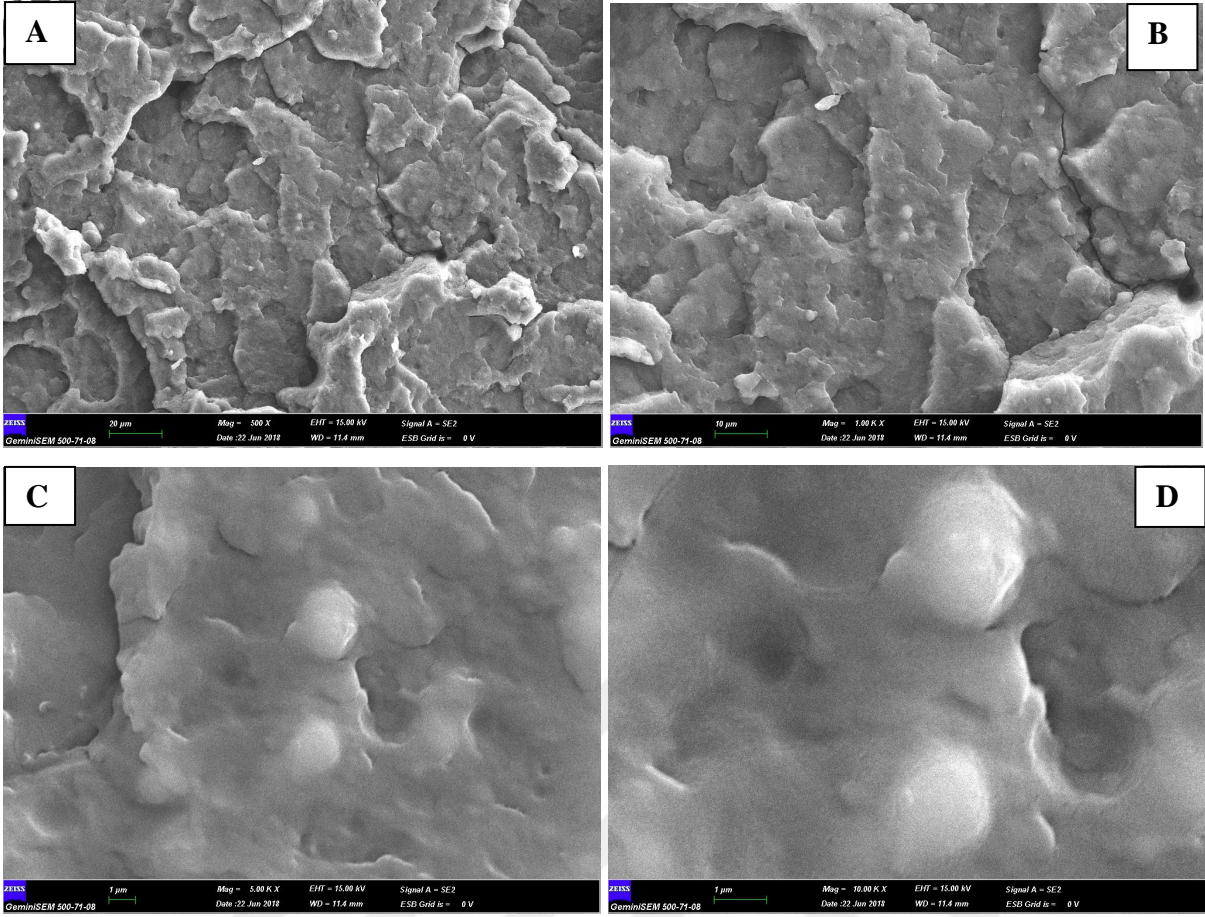
**EK 7 - Şekil 8.7.** % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN (MKC 7) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



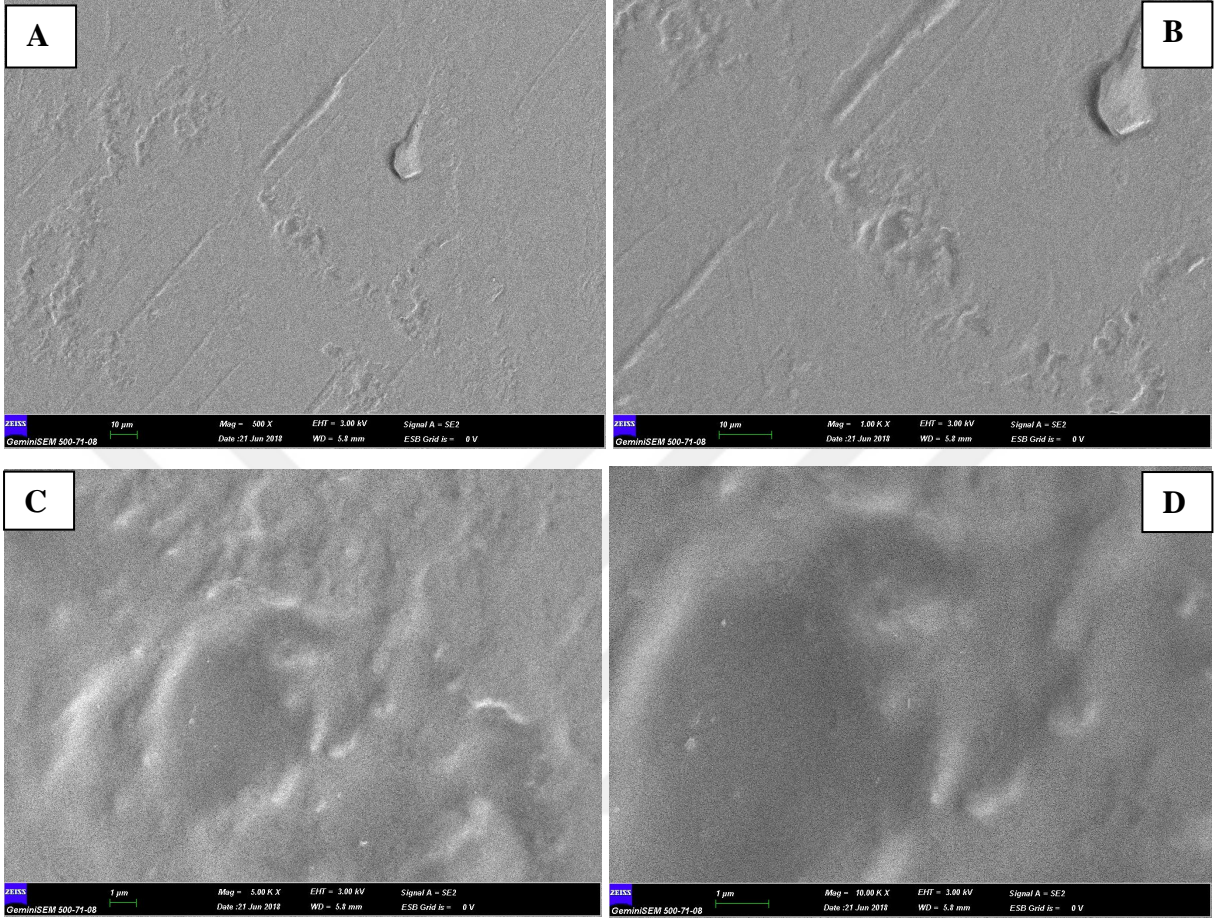
**EK 7 - Şekil 8.8.** % 50 PP + % 50 TPU + % 4 h- BN (MKC 7) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



**EK 7 - Şekil 8.9.** % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN (MKC 9) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX

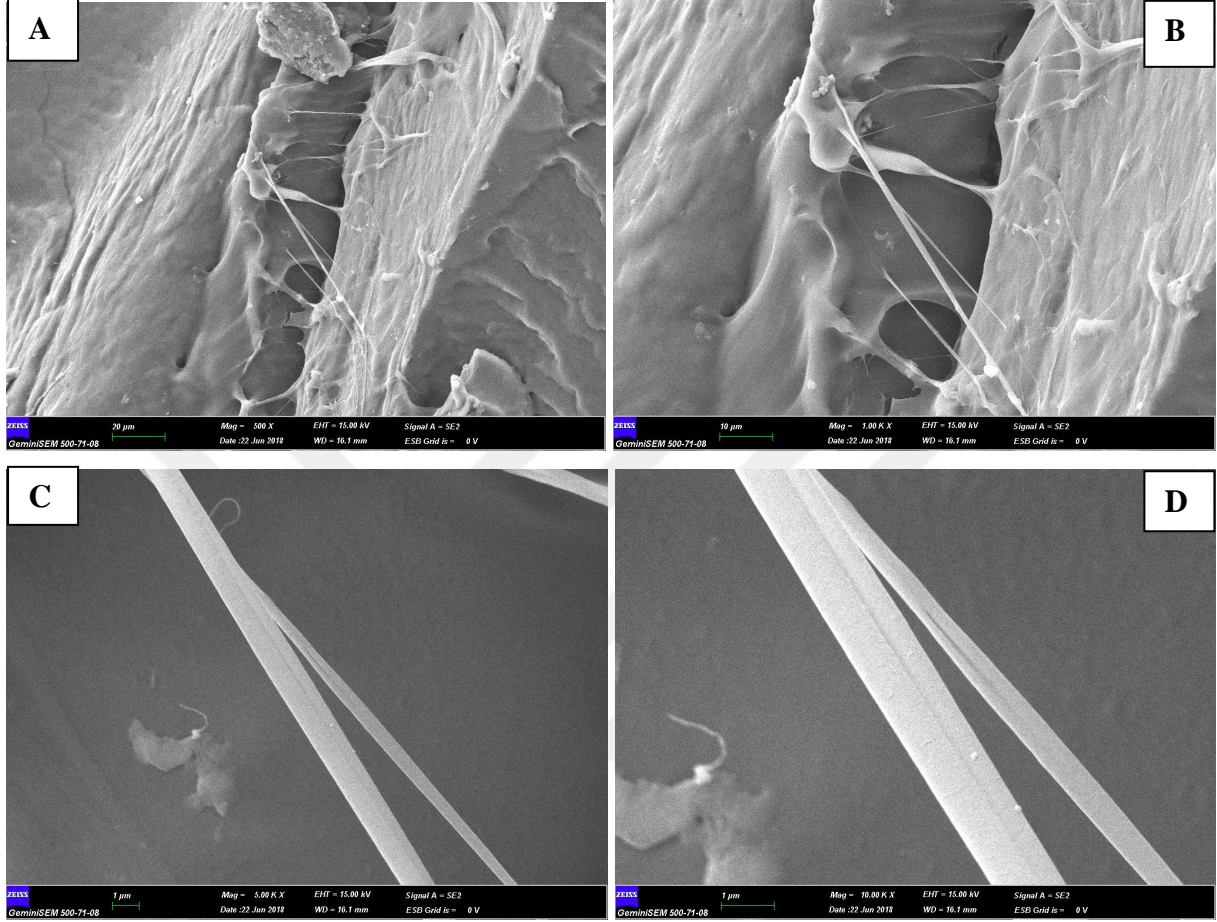


**EK 7 - Şekil 8.10.** % 25 PP + % 75 TPU + % 4 h- BN (MKC 9) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX

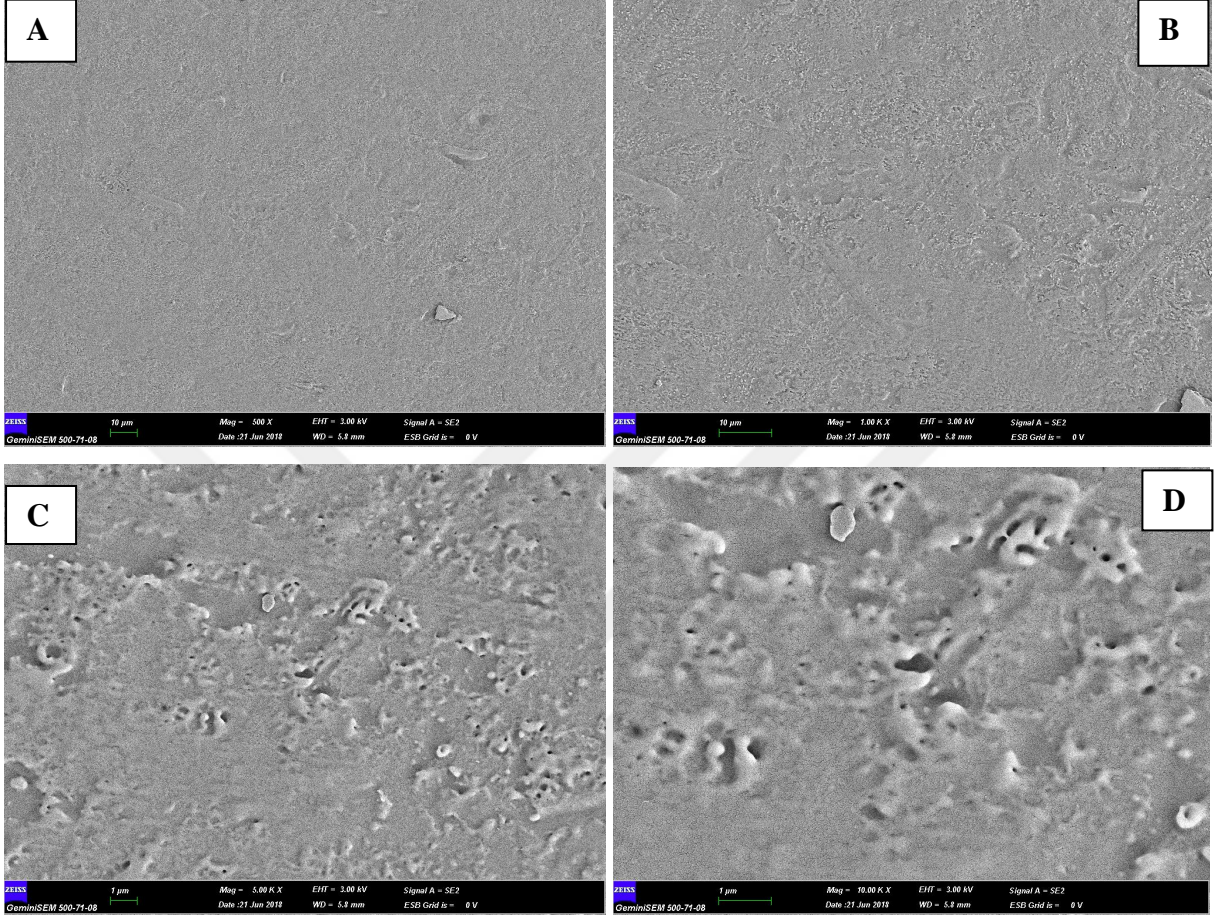


**EK 7 - Şekil 8.11.** % 100 TPU (MKC 10) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX

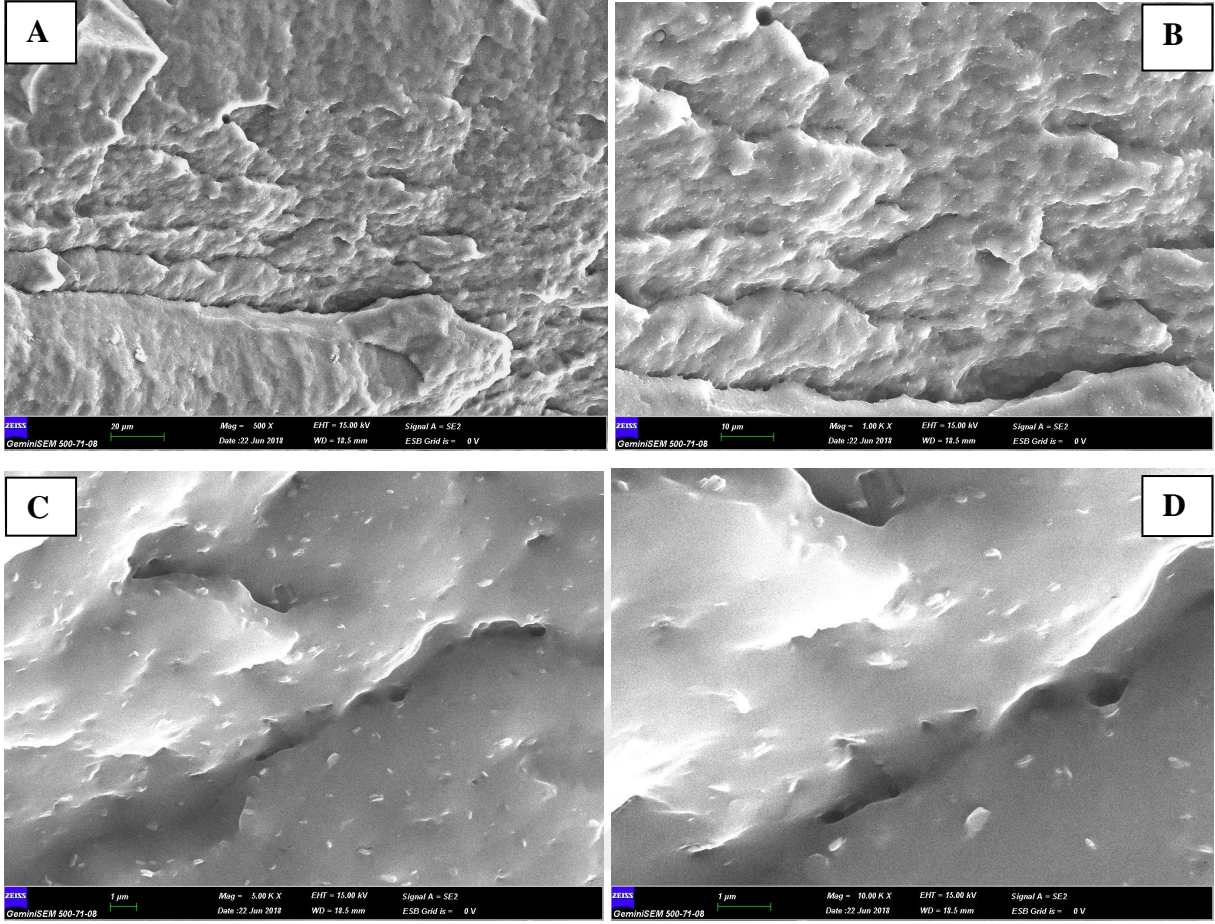




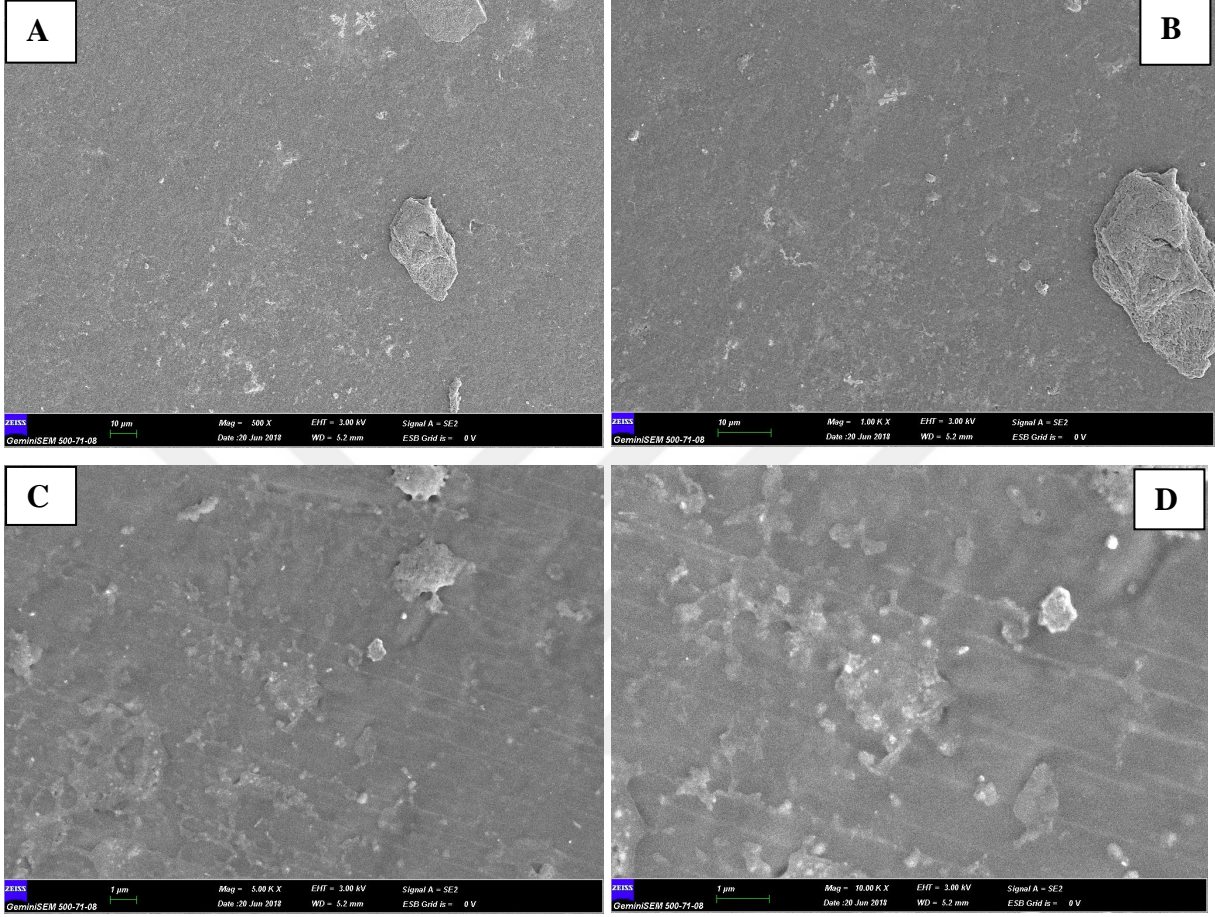
**EK 7 - Şekil 8.12.** % 100 TPU (MKC 10) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri  
A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



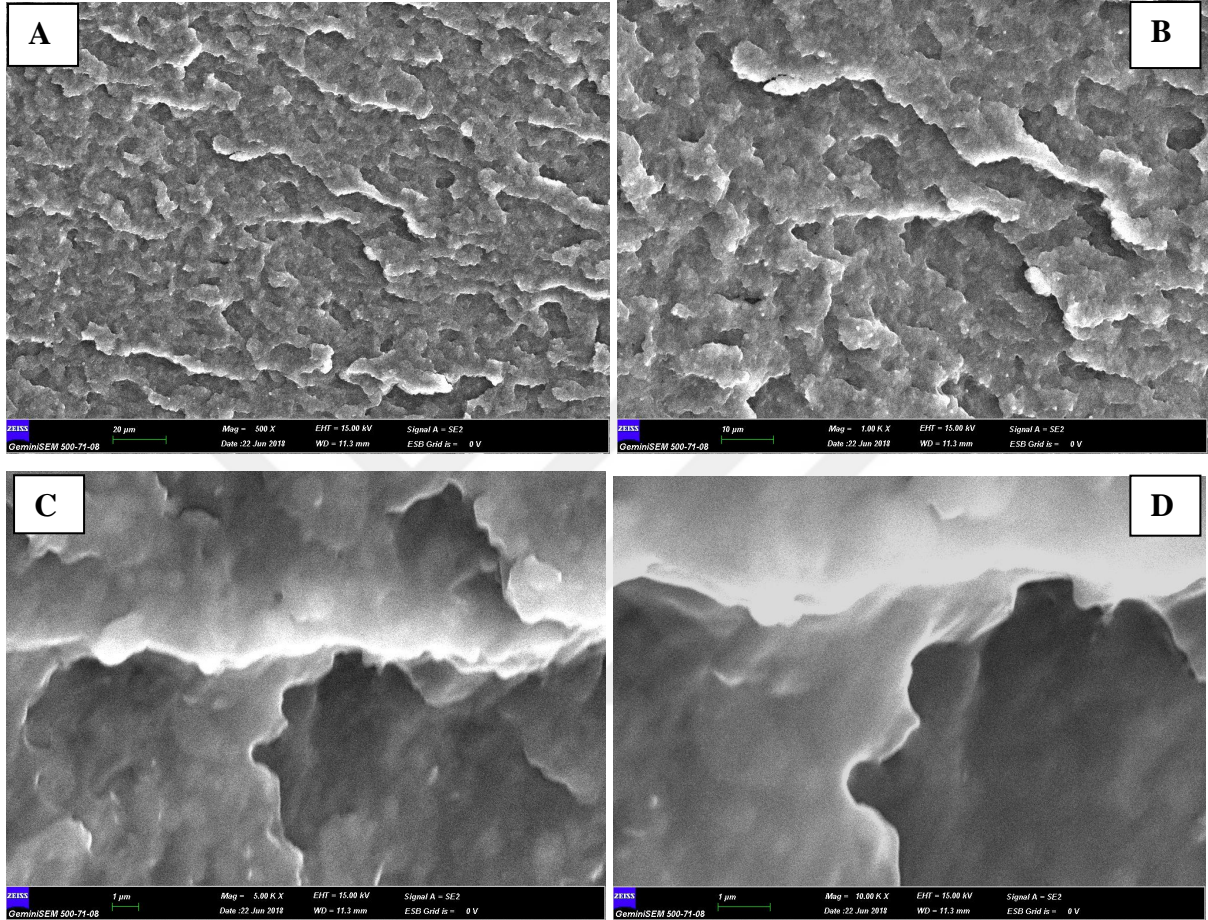
**EK 7 - Şekil 8.13.** % 100 TPU + % 4 h-BN (MKC 12) Kompozitinin Yüze SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



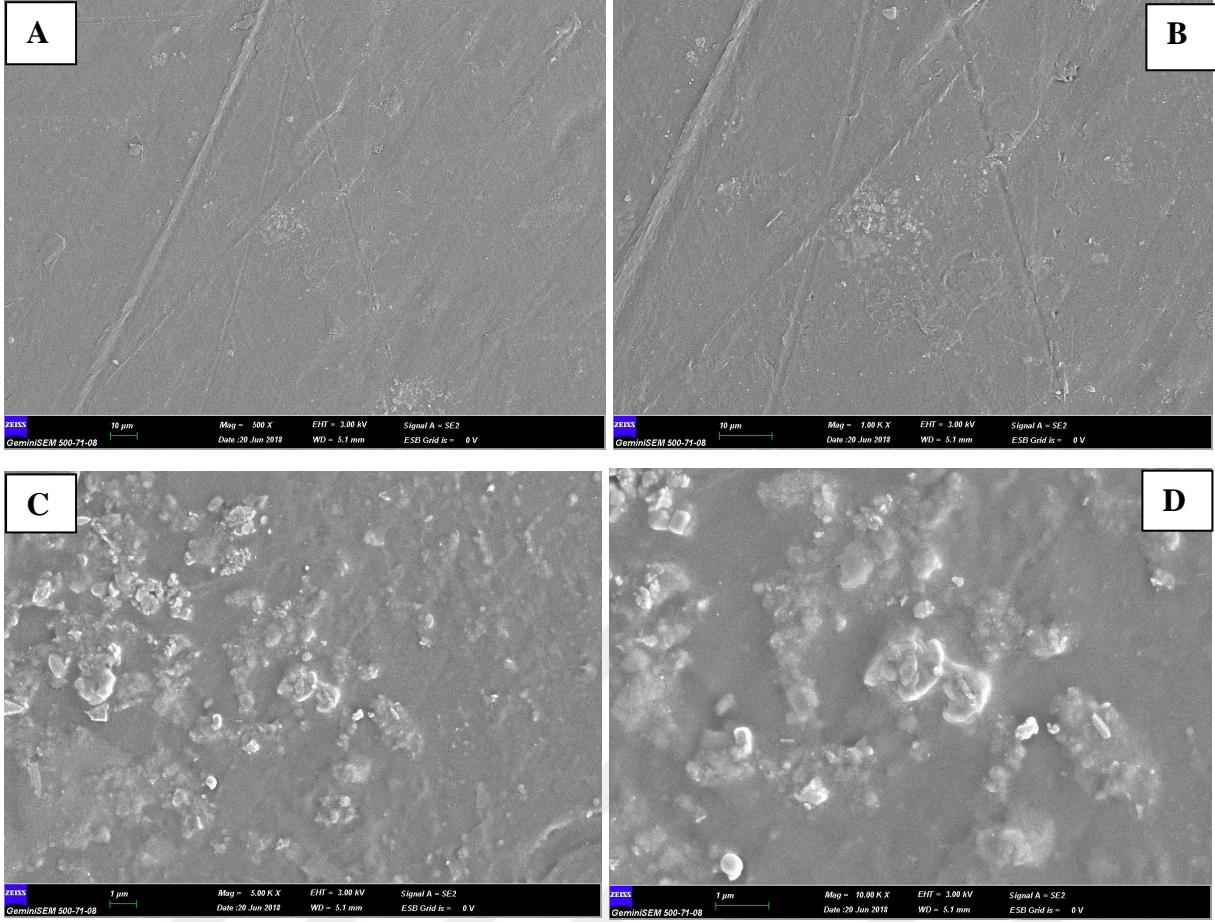
**EK 7 - Şekil 8.14.** % 100 TPU + % 4 h-BN (MKC 12) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



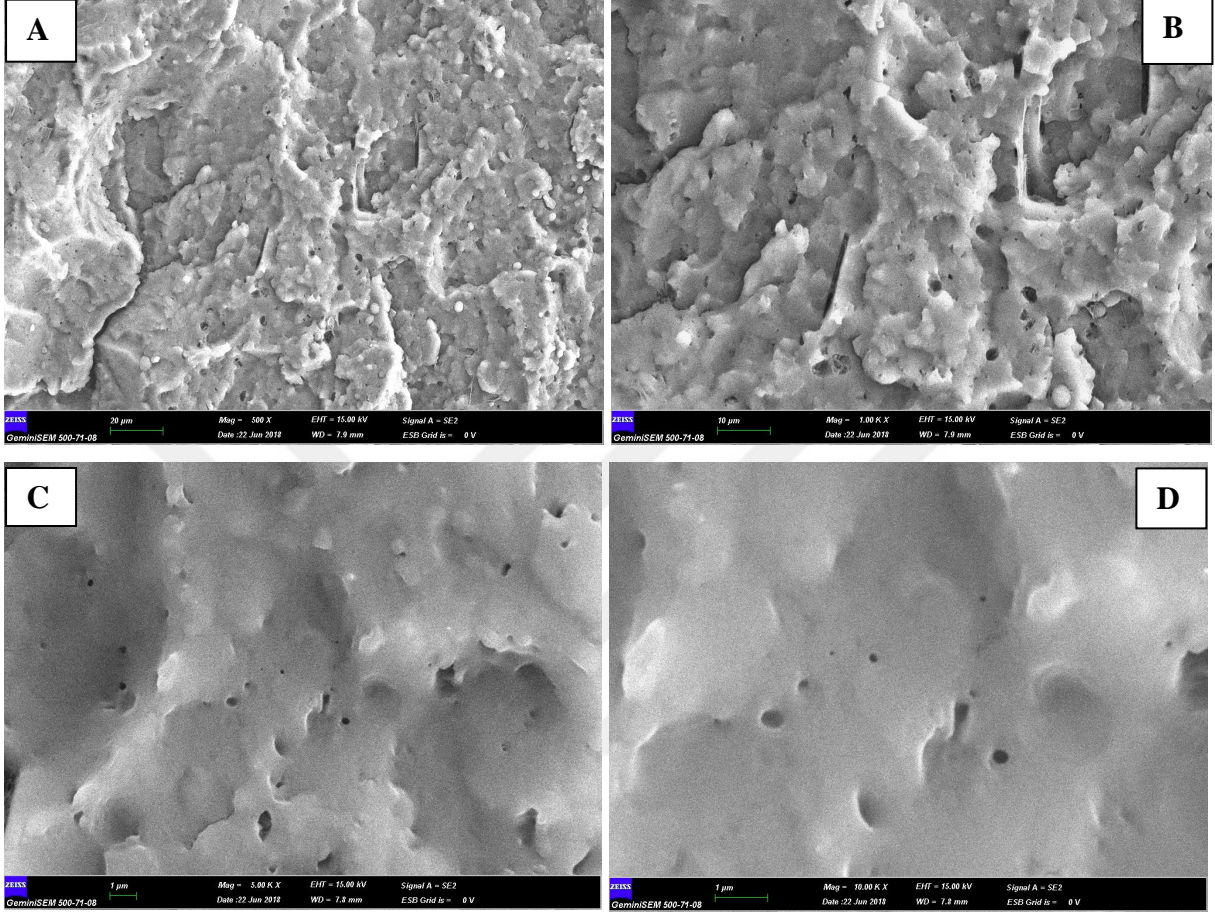
**EK 7 - Şekil 8.15.** % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN (MKC 4) Kompozitinin Yüzeý SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



**EK 7 - Şekil 8.16.** % 75 PP + % 25 TPU + % 2 h- BN (MKC 4) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



**EK 7 - Şekil 8.17.** % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B2O3 (BCK 5) Kompozitinin Yüzey SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX



**EK 7 - Şekil 8.18.** % 75 TPU + % 25 TPU % 2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (BCK 5) Kompozitinin Kesitinin SEM Görüntüleri A) Büyütme 500 X B) Büyütme 1.00 KX C) Büyütme 5.00 KX D) Büyütme 10.00 KX

## ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Musa Kazım ÇAVLI

Doğum Yeri ve Yılı :Denizli / 1991



### Eğitim Durumu

	<u>Yıl</u>
Lise :Nalan Kaynak Anadolu Lisesi	2009
Lisans :ERÜ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği	2015
Yüksek Lisans : MAKÜ Malzeme Teknolojileri A.B.D.	2018

### Çalıştığı Kurum / Kurumlar

	<u>Yıl</u>
1- Kürkar Döküm Sanayi Ltd. Şti. KONYA	2018