

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**POLİMER ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERE FARKLI  
DOLGU MADDELERİNİN İLAVESİNİN MEKANİK VE ISIL  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**ERKİN AKDOĞAN**

**DENİZLİ, TEMMUZ - 2019**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**POLİMER ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERE FARKLI  
DOLGU MADDELERİNİN İLAVESİNİN MEKANİK VE ISIL  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**ERKİN AKDOĞAN**

**DENİZLİ, TEMMUZ - 2019**



## KABUL VE ONAY SAYFASI

ERKİN AKDOĞAN tarafından hazırlanan “POLİMER ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERE FARKLI DOLGU MADDELERİNİN İLAVESİNİN MEKANİK VE ISIL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 05.07.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ



Üye  
Prof. Dr. Nazım USTA  
(Pamukkale Üniversitesi)



Üye  
Doç. Dr. Metin SAYER  
(Pamukkale Üniversitesi)



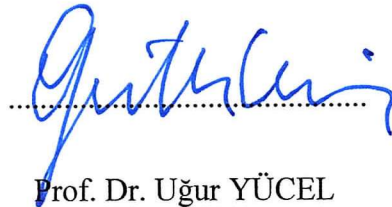
Üye  
Prof. Dr. Osman ASİ  
(Uşak Üniversitesi)



Üye  
Doç. Dr. Yusuf ARMAN  
(Dokuz Eylül Üniversitesi)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
31/07/2019 tarih ve ..31/10..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

✓

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi tarafından 2014FBE031 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**



**ERKİN AKDOĞAN**

## ÖZET

### **POLİMER ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERE FARKLI DOLGU MADDELERİNİN İLAVESİNİN MEKANİK VE ISIL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**ERKİN AKDOĞAN**

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI:PROF. DR. NUMAN BEHLÜL BEKTAŞ)**

**DENİZLİ, TEMMUZ - 2019**

Polimerik malzemeler günlük hayatımızda birçok alanda kullanılmaktadır. Poli çoklu, mer ise yapı anlamındadır. Dolayısıyla polimer çoklu yapı anlamına gelmektedir. Petrol esaslı polimerler karbon ve hidrojenlerden oluşmaktadır. Hidrokarbonlardan oluşan bu çoklu yapılar son derece yanıcıdır. Farklı oranlarda farklı organik ve inorganik maddelerin ilavesi ile bu malzemelerin yanmaya karşı dirençleri artırılabilir. Fakat ilave edilen bu maddeler hidrokarbonların yanmaya karşı direncini artırırken mekanik özelliklerini de değiştirebilmektedir. Bu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) malzemelere farklı oranlarda kabaran alev geciktirici sistem ve inorganik madde ilavesi yapılmıştır. Kabaran alev geciktirici sistem olarak amonyum polifosfat (APP), melamin (MEL) ve pentaeritrol (PER) ilave edilmiştir. İnorganik dolgu maddesi olarak nanokil (NC) ilave edilmiştir. Karışım işlemini ve üretimi kolaylaştırmak için katkı maddesi olarak maleik anhidrit içerikli polimer (SC) ve polidimetilsiloksan (PDMS) ilave edilmiştir. Karıştırma işleminde çift vidalı ekstrüder kullanılmıştır. Ekstrüderde karıştırma işlemi tamamlanan polimer-katkı-dolgu karışımlarıyla, plastik enjeksiyon makinesi kullanılarak numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik, termal ve yanma deneyleri yapılmıştır. Bunun yanında bazı fiziksel testleri, iç yapı incelemeleri ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. İlave edilen inorganik maddeler ve kabaran alev geciktiriciler; polimerlerin yoğunluk, sertlik, su çekme miktarı, eğilme dayanımı ve elastisite modülü değerlerini artırırken ısıl genleşme katsayısı, çekme dayanımı ve yırtılma direnci değerlerini düşürmektedir. Izod darbe deneylerinde ortam sıcaklıkları düşükçe numunelerin darbe dirençleri düşmüştür. Polimer matrise nanokil ilavesiyle kompozitlerin erime sıcaklıkları ve kristal oranları artmıştır. PP'e, APP ve PER ilavesi camı geçiş sıcaklığını düşürmüştür. Termogravimetrik analizlerde polimer matrise ilave edilen APP, PER, MEL ve NC 1000 °C'de kalan kütle miktarını arttırmaktadır. Kütlece %25 oranında APP ve PER ilavesiyle LOI değeri HDPE'de %26,1 değerine çıkarken, PP'de ise %29 değerine çıkmaktadır. UL 94 testlerinde kabaran alev geciktirici sistem olarak APP ve PER ilavesinde HDPE'de V2 değeri elde edilirken PP'de V0 değerine ulaşılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen, kabaran alev geciktirici, inorganik madde, mekanik özellikler, termal özellikler

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATIONS THE EFFECTS OF DIFFERENT FILLERS ON MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF POLYMER BASED COMPOSITE MATERIALS**

**PH.D THESIS**

**ERKİN AKDOĞAN**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF. DR. NUMAN BEHLÜL BEKTAŞ)**

**DENİZLİ, JULY 2019**

Polymeric materials find usage in most places in our daily life. Poly means multi, meros means structure. So that the polymer refers to multi-structure which called as polymer. Petroleum-based polymers are composed of carbon atoms and hydrogen atoms. These multi-structures, made up of hydrocarbons, are extremely flammable. The fire resistance of these materials can be increased by the addition of different organic and inorganic materials in different proportions. However, added materials can change mechanical properties of hydracarbons while increasing resistance to fire. In this study, intumescent flame retardant system and inorganic material were added to high density polyethylene (HDPE) and polypropylene (PP) materials at different ratios. Ammonium polyphosphate (APP), melamine (MEL) and pentaerythritol (PER) were added as intumescent flame retardant system. Nanoclay (NC) was added as inorganic filler material. Maleic anhydride containing polymer (SC) and polydimethylsiloxane (PDMS) were added as an additive to facilitate mixing and production. Twin screw extruder was used for mixing. Samples were produced in plastic injection machine with extruded polymer-filler-additive mixtures. Mechanical, thermal and burning experiments of the specimens were carried out. Besides, some physical tests, internal structure analyzes and chemical analyzes were performed. Inorganic materials and intumescent flame retardants increase the density, hardness, water absorption ratio, flexural strength and elasticity modulus while decreases the thermal expansion coefficient, tensile strength and tear strength values. As the conditioning temperatures decreased in Izod impact tests, the impact resistance of the samples were decreased. Melting temperatures and crystallinity of the composites increased with the addition of NC to polymer matrix. The addition of APP and PER to PP decreased the glass transition temperature. The amount of mass remaining at 1000 ° C increases with the addition of intumescent flame retardant and nanoclay to polymer matrix in thermogravimetric analysis. While the addition of 25 wt% APP and PER to HDPE, LOI values increases to 26,1% and 29% in PP. In the UL 94 tests, V2 value was obtained in HDPE and V0 value was reached in PP by adding APP and PER as an intumescent flame retardant.

**KEYWORDS:** High density polyethylene, polypropylene, intumescent flame retardant, inorganic materials, mechanical properties, thermal properties

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ .....	v
TABLO LİSTESİ .....	xii
SEMBOL LİSTESİ .....	xv
KISALTMA LİSTESİ .....	xvii
ÖNSÖZ.....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 Genel Bilgiler .....	2
1.3 Termoplastik Malzemelerin Üretim Yöntemleri .....	5
1.4 Termoplastiklerin Kullanım Alanları .....	7
1.5 Dünya Plastik Sektöründe Gelişmeler.....	8
1.6 Çalışmada Kullanılan Polimerler .....	9
1.6.1 Polietilen .....	9
1.6.2 Polipropilen.....	11
<b>2. LİTERATÜR BİLGİSİ.....</b>	<b>13</b>
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>26</b>
3.1 Kullanılan Polimer Malzemeler .....	26
3.2 Kompozit Malzemelerin Üretimi .....	27
3.2.1 HDPE-PP-NC-PDMS kompozitleri.....	27
3.2.2 HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitleri .....	31
3.2.3 HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitleri .....	37
3.3 Fiziksel ve Mekanik Deneyler.....	42
3.3.1 Yoğunluk hesabı .....	42
3.3.2 Sertlik ölçüm deneyi .....	43
3.3.3 FTIR analizi .....	44
3.3.4 Izod darbe deneyi.....	44
3.3.5 Su absorpsiyon deneyi .....	46
3.3.6 SEM içyapı görüntüleme .....	47
3.3.7 Çekme deneyi .....	48
3.3.8 Üç nokta eğme deneyi.....	51
3.3.9 Yırtılma deneyi .....	54
3.4 Termal ve Yanma Deneyleri .....	57
3.4.1 Isıl genleşme deneyi.....	57
3.4.2 Isıl iletkenlik deneyi.....	59
3.4.3 Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi .....	60
3.4.4 Termogravimetrik analiz.....	64
3.4.5 UL 94 dikey yanma deneyi.....	66
3.4.6 LOI deneyi .....	68
<b>4. DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>69</b>
4.1 Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçları.....	69
4.1.1 Yoğunluk sonuçları.....	69
4.1.2 Sertlik ölçüm sonuçları .....	72

4.1.3	FTIR analizi .....	76
4.1.4	Izod darbe deneyi sonuçları .....	90
4.1.5	Su absorpsiyon deneyi sonuçları.....	118
4.1.6	SEM içyapı görüntüleme .....	121
4.1.7	Çekme deneyi sonuçları.....	188
4.1.8	Üç nokta eğme deneyi sonuçları.....	204
4.1.9	Yırtılma deneyi .....	212
4.2	Termal ve Yanma Deney Sonuçları .....	216
4.2.1	Isıl genişleme deneyi sonuçları.....	216
4.2.2	Isıl iletkenlik deneyi sonuçları.....	220
4.2.3	DSC analizi .....	224
4.2.4	TG analizi .....	246
4.2.5	UL 94 deneyi sonuçları.....	273
4.2.6	LOI deneyi sonuçları .....	276
<b>5.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>279</b>
5.1	Sonuçlar.....	279
5.2	Öneriler.....	285
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>286</b>
<b>7.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>296</b>

# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 1.1: Polimerizasyon tepkimesi .....	2
Şekil 1.2: Amorf, yarı-kristal ve kristal maddeler için ısıl geçişler .....	4
Şekil 1.3: Polimerlerin sınıflandırılması .....	5
Şekil 1.4: Polimerlerin üretim yöntemleri.....	6
Şekil 1.5: Bazı üretim yöntemlerinin şematik gösterimleri .....	6
Şekil 1.6: Polimerlerin kullanım alanlarına örnekler .....	7
Şekil 1.7: Dünyada plastik üretimi.....	8
Şekil 3.1: HDPE ve PP polimerlerinin kimyasal yapısı.....	26
Şekil 3.2: NC dolgu malzemesinin tane boyutu.....	28
Şekil 3.3: (a) Hassas terazide tartım, (b) mekanik karıştırıcıda karıştırma ve (c) dolgu maddesi ilave edilmiş granüller.....	29
Şekil 3.4: Granül malzeme üzerine tutunan NC.....	30
Şekil 3.5: (a) Polimer-tozun kurutulması ve (b) plastik enjeksiyonda üretim ..	30
Şekil 3.6: (a) HDPE-NC nano kompoziti ve (b) PP-NC nano kompoziti.....	31
Şekil 3.7: APP, (b) MEL ve (c) NC hammaddeleri .....	31
Şekil 3.8: Brabender Plasti-Corder PL2000 çift vidalı ekstrüder .....	32
Şekil 3.9: Granül-polidimetil siloksanın karışım işlemi .....	34
Şekil 3.10: Katkı ve dolgu maddelerinin tartımı ve karıştırılması.....	34
Şekil 3.11: (a) HDPE ve (b) PP APP-MEL-NC-PDMS ön karışımları .....	35
Şekil 3.12: Granül-toz malzeme karışımının ekstrüderde karıştırılması.....	35
Şekil 3.13: (a) HDPE ve (b) PP APP-MEL-NC-PDMS karışımlarının ekstrüde edilmiş hali.....	36
Şekil 3.14: (a) HDPE ve (b) PP APP-MEL-NC-PDMS kompozitler .....	37
Şekil 3.15: TSEB2113GB ve TPPP9012GA katkılarının kimyasal yapısı .....	38
Şekil 3.16: El ile karıştırılmış polimer-toz karışımı.....	39
Şekil 3.17: Granül-toz malzeme karışımının ekstrüderde karıştırılması.....	40
Şekil 3.18: (a) HDPE ve (b) PP APP-PER-SC karışımlarının ekstrüde edilmiş hali .....	40
Şekil 3.19: (a) HDPE ve (b) PP APP-PER-SC kompozitleri.....	41
Şekil 3.20: Nüve TK 252 şartlandırıcı ünitesi.....	42
Şekil 3.21: Numune boyutlarının ölçülmesi ve tartılması.....	43
Şekil 3.22: Yoğunluk hesabı için kullanılan numune boyutları.....	43
Şekil 3.23: X.F Shore D sertlik ölçüm cihazı ve ölçüm alma .....	43
Şekil 3.24: Perkin Elmer Spectrum Two FTIR spektrometresi .....	44
Şekil 3.25: CEAST marka darbe test cihazı ve numunenin yerleştirilmesi .....	44
Şekil 3.26: (a) Çentiksiz ve (b) çentikli numune boyutları .....	45
Şekil 3.27: Numunelerin derin dondurucuya yerleştirilmesi .....	45
Şekil 3.28: (a) Çentiksiz ve (b) çentikli Izod darbe deneyi numune kesitleri ...	46
Şekil 3.29: (a) Fırın, (b) desikatör, (c) hassas terazi ve (d) saf suya daldırma..	46
Şekil 3.30: (a) ZEISS Supra 40VP alan SEM cihazı ve (b) Quorum marka Q150R ES model SEM/TEM kaplama cihazı.....	47
Şekil 3.31: Çekme deneyi numune boyutları .....	48
Şekil 3.32: Instron 8801 üniversal çekme-basma test cihazı .....	48
Şekil 3.33: Farklı çekme hızlarında numunelerde oluşan deformasyonlar .....	49



Şekil 3.34: HDPE ve PP malzemelerin (a) Kuvvet (N) - Uzama (mm) ve (b) Gerilme (MPa) - Uzama (%) eğrileri.....	49
Şekil 3.35: HDPE ve PP malzemelerin elastik bölgeleri .....	50
Şekil 3.36: HDPE ve PP malzemelerin Gerilme (MPa) - Uzama (%) eğrileri .	51
Şekil 3.37: Üç nokta eğme deneyi numune boyutları .....	51
Şekil 3.38: HDPE malzemenin üç nokta eğme aparatına bağlanması .....	52
Şekil 3.39: HDPE ve PP malzemelerinin (a) Kuvvet (N) - Deplasman (mm) ve (b) Gerilme (MPa) - Deformasyon (%) eğrileri. ....	53
Şekil 3.40: HDPE ve PP malzemelerin Kuvvet (N) - Deplasman (mm) eğrileri .....	54
Şekil 3.41: Yırtılma deneyi numune boyutları.....	55
Şekil 3.42: Tinius Olsen H10KT üniversal test cihazı ve yırtılma numunesinin çenelere bağlanması.....	55
Şekil 3.43: HDPE ve PP malzemelerin Kuvvet (N) - Uzama (mm) eğrileri.....	56
Şekil 3.44: Linseis DMA-L77 dinamik mekanik analiz cihazı.....	57
Şekil 3.45: Isıl genişleme deney numunesi boyutları.....	57
Şekil 3.46: Isıl genişleme test numunesinin boyutlarının ölçülmesi ve cihaza yerleştirilmesi .....	58
Şekil 3.47: Kyoto Electronics (QTM-500) model ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı .....	59
Şekil 3.48: Isı iletim katsayısı deney numunesi boyutları .....	59
Şekil 3.49: (a) Perkin Elmer marka Pyris 6 DSC cihazı, (b) alüminyum kap ve kabın kapatılmış hali ve (c) alüminyum kapların yerleştirildiği hazne .....	61
Şekil 3.50: Katkısız (a) HDPE ve (b) PP Isı akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) grafikleri .....	61
Şekil 3.51: Katkısız (a) HDPE ve (b) PP malzemelerin hesaplanan camsı geçiş sıcaklıkları .....	62
Şekil 3.52: Cihazda çizdirilen katkısız (a) HDPE ve (b) PP Isı akısı (mW) - Sıcaklık (°C) grafikleri .....	63
Şekil 3.53: Perkin Elmer Diamond TG/DTA SII model cihaz, referans ve numune kaplarının yerleştirilmesi .....	65
Şekil 3.54: HDPE ve PP malzemelerinin (a) Kütle (%) - Sıcaklık (°C) ve (b) Anlık Kütle Kaybı (%/min) - Sıcaklık (°C) eğrileri .....	65
Şekil 3.55: UL 94 yanma deneyi kabini ve UL 94 dikey yanma düzeneği.....	66
Şekil 3.56: UL 94 yanma deneyinin şematik gösterimi (UL 94) .....	66
Şekil 3.57: UL 94 dikey yanma numune boyutları .....	67
Şekil 3.58: Qualitest LOI deney ekipmanı .....	68
Şekil 3.59: LOI numune boyutları .....	68
Şekil 4.1: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin yoğunlukları. ....	69
Şekil 4.2: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin yoğunlukları.....	70
Şekil 4.3: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yoğunlukları.....	72
Şekil 4.4: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin sertlikleri .....	73
Şekil 4.5: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin sertlikleri.....	74
Şekil 4.6: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin sertlikleri.....	75
Şekil 4.7: Hammaddelerin FTIR grafikleri .....	77
Şekil 4.8: HDPE-NC-PDMS FTIR grafikleri .....	80
Şekil 4.9: PP-NC-PDMS FTIR grafikleri .....	81
Şekil 4.10: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS FTIR grafikleri.....	83
Şekil 4.11: PP-APP-MEL-NC-PDMS FTIR grafikleri.....	85

Şekil 4.12: HDPE-APP-PER-SC FTIR grafikleri.....	87
Şekil 4.13: PP-APP-PER-SC FTIR grafikleri.....	90
Şekil 4.14: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri.....	91
Şekil 4.15: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri.....	93
Şekil 4.16: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri.....	94
Şekil 4.17: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri.....	95
Şekil 4.18: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri.....	97
Şekil 4.19: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri.....	101
Şekil 4.20: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri.....	104
Şekil 4.21: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri.....	108
Şekil 4.22: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri.....	111
Şekil 4.23: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri.....	113
Şekil 4.24: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri.....	115
Şekil 4.25: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri.....	117
Şekil 4.26: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme miktarı grafikleri.....	118
Şekil 4.27: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme miktarı grafikleri.....	119
Şekil 4.28: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin su çekme miktarı grafikleri.....	121
Şekil 4.29: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X).....	122
Şekil 4.30: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X).....	123
Şekil 4.31: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)....	124
Şekil 4.32: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)....	125
Şekil 4.33: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri.....	126
Şekil 4.34: HDPE-10NC kompozitinin EDX-MAPPING görüntüleri.....	127
Şekil 4.35: PP-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X).....	128
Şekil 4.36: PP-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X).....	129
Şekil 4.37: PP-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X).....	130
Şekil 4.38: PP-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X).....	131
Şekil 4.39: PP-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri.....	132
Şekil 4.40: PP-10NC kompozitinin EDX-MAPPING görüntüleri.....	133
Şekil 4.41: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X).....	134
Şekil 4.42: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X).....	137
Şekil 4.43: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X).....	140

Şekil 4.44: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X) .....	143
Şekil 4.45: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri...	146
Şekil 4.46: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri .....	148
Şekil 4.47: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X) .....	151
Şekil 4.48: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X) .....	154
Şekil 4.49: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X) .....	157
Şekil 4.50: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X) .....	160
Şekil 4.51: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri.....	163
Şekil 4.52: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri .....	165
Şekil 4.53: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X) .	168
Şekil 4.54: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X) .	170
Şekil 4.55: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)	172
Şekil 4.56: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)	174
Şekil 4.57: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX analizleri.....	176
Şekil 4.58: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri .....	177
Şekil 4.59: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X) .....	178
Şekil 4.60: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X) .....	180
Şekil 4.61: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X) .....	182
Şekil 4.62: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X) .....	184
Şekil 4.63: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX analizleri.....	186
Şekil 4.64: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri	187
Şekil 4.65: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çekme eğrileri .....	188
Şekil 4.66: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri .	189
Şekil 4.67: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çekme eğrileri .....	190
Şekil 4.68: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri .....	191
Şekil 4.69: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme eğrileri....	192
Şekil 4.70: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri .....	194
Şekil 4.71: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme eğrileri.....	196
Şekil 4.72: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri .....	198
Şekil 4.73: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme eğrileri.....	199
Şekil 4.74: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri...	200
Şekil 4.75: PP-APP-PER-LH15C-1251-SC kompozitlerinin çekme eğrileri .	202
Şekil 4.76: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri.....	203
Şekil 4.77: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri .....	204
Şekil 4.78: PP-NC-PDMS kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri .....	205
Şekil 4.79: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri .....	206

Şekil 4.80: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri .....	208
Şekil 4.81: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri .....	209
Şekil 4.82: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin üç noktadan eğilme .....	211
Şekil 4.83: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin yırtılma dayanımı grafikleri .....	212
Şekil 4.84: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin yırtılma dayanımı grafikleri .....	213
Şekil 4.85: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yırtılma dayanımı grafikleri .....	215
Şekil 4.86: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısı genleşme katsayısı grafikleri .....	216
Şekil 4.87: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısı genleşme katsayısı grafikleri .....	217
Şekil 4.88: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısı genleşme katsayısı grafikleri .....	219
Şekil 4.89: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısı iletim katsayısı grafikleri .....	220
Şekil 4.90: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısı iletim katsayısı grafikleri .....	221
Şekil 4.91: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısı iletim katsayısı grafikleri .....	223
Şekil 4.92: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri .	224
Şekil 4.93: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin $T_m$ , $H_m$ ve $c_{pm}$ grafikleri .....	225
Şekil 4.94: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin $X_c$ , $T_c$ , $H_c$ ve $c_{pc}$ grafikleri....	226
Şekil 4.95: PP-NC-PDMS kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri .	227
Şekil 4.96: PP-NC-PDMS kompozitlerinin $T_g$ , $T_m$ , $H_m$ ve $c_{pm}$ grafikleri .....	228
Şekil 4.97: PP-NC-PDMS kompozitlerinin $X_c$ , $T_c$ , $H_c$ ve $c_{pc}$ grafikleri.....	229
Şekil 4.98: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri .....	230
Şekil 4.99: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin $T_m$ , $H_m$ ve $c_{pm}$ grafikleri .....	231
Şekil 4.100: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin $X_c$ , $T_c$ , $H_c$ ve $c_{pc}$ grafikleri.....	233
Şekil 4.101: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri .	235
Şekil 4.102: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin $T_g$ , $T_m$ , $H_m$ ve $c_{pm}$ grafikleri .....	236
Şekil 4.103: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin $X_c$ , $T_c$ , $H_c$ ve $c_{pc}$ grafikleri .....	238
Şekil 4.104: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri .	240
Şekil 4.105: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin $T_m$ , $H_m$ ve $c_{pm}$ grafikleri	241
Şekil 4.106: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin $X_c$ , $T_c$ , $H_c$ ve $c_{pc}$ grafikleri .....	242

Şekil 4.107: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri .	243
Şekil 4.108: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin $T_g$ , $T_m$ , $H_m$ ve $c_{pm}$ grafikleri.	244
Şekil 4.109: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin $X_c$ , $T_c$ , $H_c$ ve $c_{pc}$ grafikleri ...	245
Şekil 4.110: Kullanılan hammaddelerin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	246
Şekil 4.111: HDPE ve PP hammaddelerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri ...	248
Şekil 4.112: PDMS, TSEB2113GB ve TPPP9012GA hammaddelerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri.....	249
Şekil 4.113: APP, PER ve MEL hammaddelerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	249
Şekil 4.114: NC hammaddesinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	250
Şekil 4.115: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	251
Şekil 4.116: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları, (b) 1000 °C'de kalan kütle miktarı ve (c) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	252
Şekil 4.117: PP-NC-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri ...	253
Şekil 4.118: PP-NC-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları, (b) 1000 °C'de kalan kütle miktarı ve (c) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	254
Şekil 4.119: HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri.....	255
Şekil 4.120: HDPE, HDPE-Ekstrüde, HDPE-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	256
Şekil 4.121: HDPE-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	257
Şekil 4.122: HDPE-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	257
Şekil 4.123: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	258
Şekil 4.124: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	259
Şekil 4.125: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin 1000 °C'de kalan kütle miktarları .....	260
Şekil 4.126: PP, PP-Ekstrüde ve PP-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	261
Şekil 4.127: PP, PP-Ekstrüde, PP-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	261
Şekil 4.128: PP-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	262
Şekil 4.129: PP-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	263
Şekil 4.130: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	264

Şekil 4.131: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	265
Şekil 4.132: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin 1000 °C’de kalan kütle miktarları .....	266
Şekil 4.133: HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-SC malzemelerin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	266
Şekil 4.134: HDPE, HDPE-Ekstrüde, HDPE-SC kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları.....	267
Şekil 4.135: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	268
Şekil 4.136: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	269
Şekil 4.137: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin 1000 °C’de kalan kütle miktarları .....	269
Şekil 4.138: PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC kompozitlerin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	270
Şekil 4.139: PP, PP-Ekstrüde, PP-SC kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	271
Şekil 4.140: PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC kompozitlerin (a) TG ve (b) DTG grafikleri .....	271
Şekil 4.141: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları .....	272
Şekil 4.142: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin 1000 °C’de kalan kütle miktarları .....	273
Şekil 4.143: (a) HDPE ve (b) PP APP-PER-LH15C-1251-SC kompozitlerinin yanma sonrası görüntüleri.....	274
Şekil 4.144: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin LOI değerleri.....	276
Şekil 4.145: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin LOI değerleri.....	276
Şekil 4.146: HDPE-PP-APP-PER kompozitlerinin LOI değerleri .....	278

# TABLO LİSTESİ

## Sayfa

Tablo 1.1: Plastikleri meydana getirmek için kullanılan atomlar .....	3
Tablo 1.2: Bazı polimerlerin camsı geçiş sıcaklıkları ve erime sıcaklıkları .....	4
Tablo 1.3: Başlıca ülkelerin plastik üretimi .....	8
Tablo 3.1: HDPE ve PP malzemelerin özellikleri.....	27
Tablo 3.2: NC dolgu maddesinin kütlece % içeriği .....	28
Tablo 3.3: PDMS'in teknik özellikleri.....	28
Tablo 3.4: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin % oranları.....	29
Tablo 3.5: APP'in teknik özellikleri .....	32
Tablo 3.6: MEL'in teknik özellikleri .....	33
Tablo 3.7: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin % oranları .....	33
Tablo 3.8: PER'ün teknik özellikleri .....	37
Tablo 3.9: TSEB2113GB ve TPPP9012GA katkılarının özellikleri.....	38
Tablo 3.10: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin % oranları .....	39
Tablo 3.11: Isıl genişleme ölçümü için cihaza girilen değerler .....	58
Tablo 3.12: Isıl iletkenlik ölçümü için cihaza girilen değerler .....	59
Tablo 3.13: Tek katlı ve üç katlı HDPE ve PP malzemelerin ısı iletim katsayısı değerleri.....	60
Tablo 3.14: HDPE ve PP malzemelerinin DSC analizi sonuçları.....	64
Tablo 3.15: HDPE ve PP malzemelerinin TG analiz sonuçları .....	66
Tablo 3.16: UL 94 dikey yanma deneyi sınıflandırması .....	67
Tablo 3.17: LOI sınıflandırması.....	68
Tablo 4.1: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin yoğunluk değerleri .....	70
Tablo 4.2: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin yoğunluk değerleri.....	71
Tablo 4.3: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yoğunluk değerleri.....	71
Tablo 4.4: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin sertlik değerleri .....	73
Tablo 4.5: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin sertlik değerleri.....	74
Tablo 4.6: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin sertlik değerleri.....	75
Tablo 4.7: Hammaddelerin piklere karşılık gelen dalga boyları.....	78
Tablo 4.8: HDPE-NC-PDMS piklere karşılık gelen dalga boyları .....	80
Tablo 4.9: PP-NC-PDMS piklere karşılık gelen dalga boyları .....	82
Tablo 4.10: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS piklere karşılık gelen dalga boyları.....	84
Tablo 4.11: PP-APP-MEL-NC-PDMS piklere karşılık gelen dalga boyları.....	86
Tablo 4.12: HDPE-APP-PER-SC piklere karşılık gelen dalga boyları.....	88
Tablo 4.13: PP-APP-PER-SC piklere karşılık gelen dalga boyları.....	89
Tablo 4.14: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları .....	92
Tablo 4.15: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları .....	93
Tablo 4.16: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları .....	94
Tablo 4.17: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları .....	96

Tablo 4.18: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları.....	99
Tablo 4.19: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları.....	103
Tablo 4.20: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları.....	106
Tablo 4.21: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları.....	110
Tablo 4.22: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları.....	112
Tablo 4.23: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları.....	114
Tablo 4.24: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları .....	116
Tablo 4.25: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları .....	118
Tablo 4.26: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme miktarı değerleri.....	119
Tablo 4.27: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme miktarı değerleri .....	120
Tablo 4.28: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin su çekme miktarı değerleri.....	121
Tablo 4.29: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları .....	188
Tablo 4.30: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları .....	190
Tablo 4.31: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları .....	193
Tablo 4.32: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları .....	197
Tablo 4.33: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları ..	199
Tablo 4.34: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları .....	202
Tablo 4.35: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları .....	205
Tablo 4.36: PP-NC-PDMS kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları	205
Tablo 4.37: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları.....	207
Tablo 4.38: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları.....	209
Tablo 4.39: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları .....	210
Tablo 4.40: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları .....	211
Tablo 4.41: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin yırtılma dayanımı değerleri.....	212
Tablo 4.42: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin yırtılma dayanımı değerleri.....	214
Tablo 4.43: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yırtılma dayanımı değerleri.....	215
Tablo 4.44: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısı genleşme katsayısı değerleri.....	217



Tablo 4.45: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısıl genişleme katsayısı değerleri.....	218
Tablo 4.46: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısıl genişleme katsayısı değerleri.....	219
Tablo 4.47: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısı iletim katsayısı değerleri.....	220
Tablo 4.48: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısı iletim katsayısı değerleri.....	222
Tablo 4.49: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısı iletim katsayısı değerleri.....	223
Tablo 4.50: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin DSC sonuçları.....	225
Tablo 4.51: PP-NC-PDMS kompozitlerinin DSC sonuçları.....	227
Tablo 4.52: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin DSC sonuçları ..	229
Tablo 4.53: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin DSC sonuçları .....	234
Tablo 4.54: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin DSC sonuçları .....	239
Tablo 4.55: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin DSC sonuçları .....	243
Tablo 4.56: Kullanılan hammaddelerin %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları (°C) ve 100 °C artışta kalan kütle miktarları (%).....	247
Tablo 4.57: Kullanılan hammaddelerin bozunma hızları ve sıcaklıkları .....	247
Tablo 4.58: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları .....	251
Tablo 4.59: PP-NC-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları .....	253
Tablo 4.60: HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları .....	255
Tablo 4.61: HDPE-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları.....	256
Tablo 4.62: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları..	259
Tablo 4.63: PP, PP-Ekstrüde ve PP-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları .	260
Tablo 4.64: PP-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları.....	262
Tablo 4.65: PP-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları.....	264
Tablo 4.66: HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-SC kompozitlerinin TGA sonuçları .....	267
Tablo 4.67: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin TGA sonuçları.....	267
Tablo 4.68: PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC malzemelerin TGA sonuçları.....	270
Tablo 4.69: PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC kompozitlerin TGA sonuçları .....	272
Tablo 4.70: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin UL 94 sonuçları .....	275

## SEMBOL LİSTESİ

<b>a</b>	:	Numune Kalınlığı (mm)
<b>A</b>	:	Kesit Alanı (m <sup>2</sup> )
<b>A<sub>ç</sub></b>	:	Çekme Gerilmesi İçin Hesaplanan Alan (mm <sup>2</sup> )
<b>b</b>	:	Kiriş Genişliği (mm)
<b>c<sub>p</sub></b>	:	Özgöl Isısı (J/(g.°C))
<b>d</b>	:	Kiriş Kalınlığı (mm)
<b>D</b>	:	Orta Noktanın Deplasman Miktarı (mm)
<b>D<sub>1</sub></b>	:	1 Noktasındaki Deplasman Değeri (mm)
<b>D<sub>2</sub></b>	:	2 Noktasındaki Deplasman Değeri (mm)
<b>DD</b>	:	Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )
<b>E</b>	:	Absorplanan Enerji (kJ)
<b>E'</b>	:	Depolama Modülü (MPa)
<b>E''</b>	:	Kayıp Modülü (MPa)
<b>E<sub>ç</sub></b>	:	Çekme Durumuna Göre Elastisite Modülü (MPa)
<b>E<sub>e</sub></b>	:	Eğilme Elastisite Modülü (MPa)
<b>F</b>	:	Kuvvet-Uzama Grafiğinden Belirlenen En Yüksek Kuvvet Değeri (N)
<b>F<sub>max</sub></b>	:	Kuvvet-Uzama Eğrisinden Belirlenen Maksimum Kuvvet Değeri (N)
<b>H<sub>c</sub></b>	:	Kristallenme Entalpisi (J/g)
<b>H<sub>m</sub></b>	:	Erime Entalpisi (J/g)
<b>L</b>	:	Kiriş Uzunluğu (mm)
<b>L<sub>0</sub></b>	:	Malzemenin Çekme Öncesindeki İlk Boyu (mm)
<b>L<sub>1</sub></b>	:	Malzemenin Çekme Deneyindeki Son Boyu (mm)
<b>L<sub>ilk</sub></b>	:	T <sub>ilk</sub> Sıcaklığındaki Boy (mm)
<b>L<sub>son</sub></b>	:	T <sub>son</sub> Sıcaklığındaki Boy (mm)
<b>m</b>	:	Kütle (kg)
<b>m<sub>p</sub></b>	:	Karışımdaki Polimer Kütle (g)
<b>m<sub>t</sub></b>	:	Toplam Karışımın Kütle (g)
<b>n</b>	:	Kuvvet-Deplasman Eğrisinin Lineer Bölgesinin Eğimi (N/mm)
<b>P</b>	:	Kuvvet-Deplasman Eğrisinden %5 Çökmedeki Kuvvet Değeri (N)
<b>P<sub>1</sub></b>	:	1 Noktasındaki Kuvvet Değeri (N)
<b>P<sub>2</sub></b>	:	2 Noktasındaki Kuvvet Değeri (N)
<b>r</b>	:	Gerinim (mm/mm)
<b>R</b>	:	İlerleme Hızı (mm/min)
<b>R<sub>1</sub></b>	:	Birinci En Yüksek Bozunma Hızı (%/min)
<b>R<sub>2</sub></b>	:	İkinci En Yüksek Bozunma Hızı (%/min)
<b>R<sub>3</sub></b>	:	Üçüncü En Yüksek Bozunma Hızı (%/min)
<b>t</b>	:	Çekme Numunesinin Dar Bölgesinin Kalınlığı (mm)
<b>T<sub>1</sub></b>	:	Birinci En Yüksek Bozunma Hızındaki Sıcaklık (°C)
<b>T<sub>2</sub></b>	:	İkinci En Yüksek Bozunma Hızındaki Sıcaklık (°C)
<b>T<sub>3</sub></b>	:	Üçüncü En Yüksek Bozunma Hızındaki Sıcaklık (°C)
<b>T<sub>5 wt %</sub></b>	:	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)
<b>T<sub>10 wt %</sub></b>	:	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)
<b>T<sub>50 wt %</sub></b>	:	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)
<b>T<sub>c</sub></b>	:	Kristallenme Sıcaklığı (°C)
<b>T<sub>g</sub></b>	:	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)
<b>T<sub>ilk</sub></b>	:	İlk Sıcaklık (°C)

<b>T<sub>m</sub></b>	:	Erime Sıcaklığı (°C)
<b>T<sub>son</sub></b>	:	Son Sıcaklık (°C)
<b>T<sub>y</sub></b>	:	Yırtılma Dayanımı (N/mm)
<b>V</b>	:	Hacim (m <sup>3</sup> )
<b>V0</b>	:	Dikey UL 94 Deneyinde En Üst Yanmazlık Sınıfı
<b>V1</b>	:	Dikey UL 94 Deneyinde Orta Yanmazlık Sınıfı
<b>V2</b>	:	Dikey UL 94 Deneyinde En Alt Yanmazlık Sınıfı
<b>w</b>	:	Çekme Numunesinin Dar Bölgesinin Genişliği (mm)
<b>W</b>	:	Su Absorbsiyon Yüzdesi (%)
<b>W<sub>0</sub></b>	:	İlk Ölçülen Kütle (g)
<b>W<sub>1</sub></b>	:	Suya Daldırıldıktan Sonra Ölçülen Kütle (g)
<b>w<sub>p</sub></b>	:	Polimer Matrisin Kütlece Oranı (g/g)
<b>X<sub>c</sub></b>	:	Kristallinite (%)
<b>z</b>	:	Şekil Değiştirme Hızı (mm/mm/min)
<b>α</b>	:	Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m/°C)
<b>ΔH<sub>0</sub></b>	:	% 100 Kristal Polimerin Erime Entalpisi (J/g)
<b>ΔH<sub>m</sub></b>	:	Erime Entalpisi (J/g)
<b>ΔL</b>	:	Boydaki Değişim (mm)
<b>ΔT</b>	:	Sıcaklık değişimi (mm)
<b>ε</b>	:	Uzama oranı (%)
<b>ε<sub>1</sub></b>	:	1 Noktasındaki Uzama Değeri (%)
<b>ε<sub>2</sub></b>	:	2 Noktasındaki Uzama Değeri (%)
<b>ε<sub>e</sub></b>	:	Şekil Değişimi (%)
<b>σ<sub>1</sub></b>	:	1 Noktasındaki Gerilme Değeri (MPa)
<b>σ<sub>2</sub></b>	:	2 Noktasındaki Gerilme Değeri (MPa)
<b>σ<sub>ç</sub></b>	:	Çekme Dayanımı (MPa)
<b>σ<sub>e</sub></b>	:	Eğilme Dayanımı (MPa)
<b>ρ</b>	:	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )

## KISALTMA LİSTESİ

<b>a-PP</b>	:	Ataktik Polipropilen
<b>ABS</b>	:	Akrilonitril Bütadien Stiren
<b>APP</b>	:	Amonyum Polifosfat
<b>ASB</b>	:	Açı Duyarlı Geri Saçılımlı Detektör
<b>ASTM</b>	:	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
<b>AT</b>	:	Antimoni Trioksit
<b>ATH</b>	:	Alüminyum Trihidrat
<b>BA</b>	:	Borik Asit
<b>BC</b>	:	Bor Bileşikleri
<b>BR</b>	:	Dekabromo Difenil Oksit
<b>BSil</b>	:	Boro Siloksan
<b>BX</b>	:	Boraks
<b>CA</b>	:	Selülozik Asetat
<b>CMT</b>	:	Bor İçerikli Kolemanit
<b>DAP</b>	:	Diamonyum Fosfat
<b>DSC</b>	:	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
<b>DMA</b>	:	Dinamik Mekanik Analiz
<b>DTA</b>	:	Diferansiyel Termal Analiz
<b>EB</b>	:	Elektron Işını
<b>EBA</b>	:	Etilen Bütil Akrilat
<b>EDX</b>	:	Enerji Dağılımlı X-Işını Analizi
<b>EG</b>	:	Genleştirilebilir Grafit
<b>EMA</b>	:	Etilen Metil Akrilat
<b>EVA</b>	:	Etilen Vinil Asetat
<b>FE-SEM</b>	:	Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>FTIR</b>	:	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi
<b>HDPE</b>	:	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
<b>HH</b>	:	Huntit Hidromanyezit
<b>hZB</b>	:	Hidrofobik Çinko Borat
<b>i-PP</b>	:	İzotaktik Polipropilen
<b>KAG</b>	:	Kabaran Alev Geciktirici
<b>LDPE</b>	:	Düşük Yoğunluklu Polietilen
<b>LLDPE</b>	:	Lineer Bağlı Düşük Yoğunluklu Polietilen
<b>LOI</b>	:	Limitli Oksijen İndeksi
<b>MAH</b>	:	Maleik Anhidrit
<b>MAP</b>	:	Monoamonyum Fosfat
<b>MAPE</b>	:	Maleik Anhidrit Polietilen
<b>MAPP</b>	:	Maleik Anhidrit Polipropilen
<b>MEL</b>	:	Melamin
<b>MFI</b>	:	Erime Akış İndeksi
<b>MFR</b>	:	Erime Akış İndeksi
<b>MH</b>	:	Magnezyum Hidroksit
<b>MP</b>	:	Melamin Fosfat
<b>MWCNT</b>	:	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
<b>NC</b>	:	Nanokil
<b>OBSi</b>	:	Borik Asit Siloksan
<b>PA</b>	:	Poliamid

<b>PBT</b>	:	Polibütülen Tereftalat
<b>PC</b>	:	Polikarbonat
<b>PDMS</b>	:	Polidimetil Siloksan
<b>PE</b>	:	Poliäten
<b>PEEK</b>	:	Polieter Eter Keton
<b>PEI</b>	:	Polieterimid
<b>PER</b>	:	Pentaeritritol
<b>PET</b>	:	Poletilen Teraftalat
<b>PETG</b>	:	Poletilen Teraftalat Glikol
<b>PMMA</b>	:	Polimetil Metakrilat
<b>PMP</b>	:	Polimetilpenten
<b>POE</b>	:	Poliölefin Elastomer
<b>POM</b>	:	Polioksi Metilen
<b>PP</b>	:	Polipropilen
<b>PPE</b>	:	Polifenilen Eter
<b>PPO</b>	:	Polifenilen Oksit
<b>PPS</b>	:	Polifenilen Sülfid
<b>PS</b>	:	Polistiren
<b>PVC</b>	:	Polivinil Klorür
<b>s-PP</b>	:	Sindiotaktik Polipropilen
<b>SC</b>	:	Maleik Anhidrit İçeren Katkı
<b>SE2</b>	:	İkincil Elektron Detektörü
<b>SEM</b>	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>SS</b>	:	Standart Sapma
<b>TEM</b>	:	Geçirimli Elektron Mikroskobu
<b>TG</b>	:	Termogravimetri
<b>TGA</b>	:	Termogravimetrik Analiz
<b>TPP</b>	:	Tetra Pak Paketleme Malzemesi
<b>TPU</b>	:	Termoplastik Poliüretan
<b>UHMWPE</b>	:	Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen
<b>UL</b>	:	Underwriter Laboratuvarları
<b>UV</b>	:	Ultraviyole
<b>WF</b>	:	Odun Tozu
<b>XLPE</b>	:	Çapraz Bağlı Polietilen
<b>XRD</b>	:	X-Işın Kırınım Yöntemi
<b>ZB</b>	:	Çinko Borat
<b>ZnO</b>	:	Çinko Oksit

## ÖNSÖZ

Lisansüstü çalışmalarına 108T246 numaralı TÜBİTAK çalışması ile 2009 yılında başlamıştım. Aynı zamanda kıymetli hocam Prof. Dr. Nazım USTA bu projenin yürütücüsüydü. O süre zarfından bu zamana kadar benden her türlü yardımını esirgemeyen Prof. Dr. Nazım USTA'ya, mekanik deneyler ve kompozit üretimi hakkında bilgi sahibi olmamı sağlayan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ'a, mekanik analizlerimin irdelenmesinde yardımcı olan Doç. Dr. Metin SAYER'e, çalışmalarımnda ne zaman yanına gitsem hiçbir zaman beni geri çevirmeyen ve her zaman yardımcı olmaya çalışan Dr. Öğr. Üyesi Recep YURTSEVEN'e, 14 yıllık lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimimde arkadaşım, kardeşim ve her daim yanımda olan yardımlarını hiç esirgemeyen okul ve mesai arkadaşım Arş. Gör. İnan AĞIR'a bunların yanında Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde çalışmakta olan tüm akademik personeline teşekkürü bir borç bilirim.

Pamukkale Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nde FTIR analizlerini gerçekleştirmemde yardımcı olan Arş. Gör. Gülnihal ERTEN'e, kimyasal analizleri ve SEM görüntülerinin alımı için Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde çalışmakta olan Öğr. Gör. Betül Tülin ASAN, Nilüfer AYDINLIK ve Öğr. Gör. Tufan TOPAL'a, LOI analizlerinin yapılması için yardımcı olan Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde özveriyle ve gayretle çalışmakta olan mesai arkadaşım Arş. Gör. Ece KALAYCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Karışımların ekstrüderde gerçekleştirilmesi için ve kıymetli katkılarından dolayı PETKİM, Arge Müdürlüğü'nde çalışmakta olan Ürün Geliştirme Yöneticisi Dr. Ayhan EZDEŞİR'e sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan cihazlar ve ekipmanlar, 108T246 nolu TÜBİTAK projesi ve 2014FBE031 nolu Pamukkale Üniversitesi BAP projesi kapsamında temin edildiğinden dolayı TÜBİTAK'a ve Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca, bana her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama, ablama, biricik eşim Ayşe'ye ve dünyalar tatlısı kızım Yaren'e minnettarım.

# 1. GİRİŞ

Polimerler birçok farklı sektörde kullanılan önemli malzemelerdir. Otomotivden gıda sektörüne, kablo sektöründen kimyasal ve deterjan kaplarına, ev ve mutfak eşyalarından deniz ve gemicilik sektörüne, oyuncak sektöründen elektronik sektörüne, ambalaj sektöründen uzay sektörüne ve basınçlı akışkan ve su borularından çeşitli gıda kaplarına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Polimerlerin avantajları arasında ürün çeşitliliği, üretim türünün çeşitliliği, kolay üretilebilirlik, birim üretimde düşük maliyet, geri dönüştürülebilir olması ve farklı özellikler bir araya getirilerek yeni kompozit polimerler oluşturulabilir olması bulunmaktadır. Bununla birlikte ısı iletkenlikleri ve elektrik iletkenlikleri düşük olup kimyasallara karşı dirençleri yüksektir. Polimerlerin başlıca dezavantajları ise petrol bazlı oldukları için üretim maliyetlerinin yüksek olması, sıcaklığa karşı dirençlerinin düşük olması, kolayca yanması ve zehirli gazlar açığa çıkarmalarıdır.

Polimer malzemeler, çoğu kullanım alanında ısıya maruz kalmaktadır. Oluşan ısı, malzemenin bozulması ve bazı fiziksel özelliklerini kaybetmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu malzemelerin ısıl bozunma ve yanma dirençlerinin artırılması ve kullanım yerine göre mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Sürekli gelişen teknoloji ile bu konuda araştırma ve geliştirme olanağı artmıştır. Literatürde bu konuyla ilgili oldukça fazla araştırma mevcuttur, fakat bu alandaki boşluk henüz doldurulamamıştır.

## 1.1 Amaç ve Kapsam

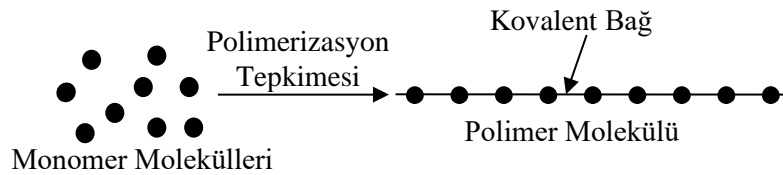
Polimer matrise farklı oranlarda ilave edilen katkı ve dolgu maddeleri polimerin termal özelliklerini iyileştirirken, mekanik ve diğer fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkilememesi gerekmektedir. Hatta mekanik ve diğer fiziksel özelliklerine olumlu yönde katkıda bulunması beklenmektedir. Plastik sektöründe kullanılan hammaddeler ve katkı maddelerinin fiyatlarının pahalı olması sebebiyle,

ilave edilecek maliyeti daha ucuz olan katkı ve dolgu maddeleri ile malzemenin maliyetinin düşürülmesi mümkündür.

Bu çalışmada, polimer malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi için yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) malzemelere farklı oranlarda dolgu maddesi ve kabaran alev geciktiriciler ilave edilmiştir. Dolgu maddesi olarak nanokil (NC) kullanılmış olup kabaran alev geciktirici sistem olarak amonyum polifosfat (APP), melamin (MEL) ve pentaeritritol (PER) katkıları kullanılmıştır. Bu konuda yerli kaynakların kullanımı önemsenmiştir. Dolgu ve katkı maddelerinin polimer malzemelere ilavesi ile yerli kaynakların kullanımına ağırlık verilmesinin yanı sıra endüstriyel olarak kullanılan HDPE ve PP polimer malzemelerin özelliklerinde iyileşme sağlanmıştır. Oluşturulan polimer-toz kompozit yapıların mekanik, fiziksel, termal ve yanma özellikleri belirlenmiştir.

## 1.2 Genel Bilgiler

Polimer malzemeler hafif, ucuz, yeterli mekanik özellik, kolay şekillendirilebilen, dekoratif, kimyasal açıdan dirençli ve değişik amaçlarda kullanılabilen malzemelerdir. Bu özellikleri sebebiyle makine, kimya, fizik, tekstil, endüstri, tıp, biyokimya, biyofizik ve fizik gibi alanlarda geniş kullanıma sahiptir. Polimer kelimesi poli-çoklu ve meros-yapı kelimelerinin birleşimiyle polimer yani çoklu yapı anlamına gelmektedir. Polimerler monomerlerden oluşmaktadır. Monomerler, birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen yapılardır. Monomerlerin mol kütleleri küçüktür. Şekil 1.1’de şematik olarak polimerizasyon tepkimesi gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Polimerizasyon tepkimesi (Saçak 2008)

Plastikleri imal etmek için sadece 8 atom kullanılmaktadır. Bunlar karbon (C), hidrojen (H), azot (N), oksijen (O), flor (F), silisyum (Si), kükürt (S) ve klor (Cl) atomlarıdır. Bu atomların Tablo 1.1’de atom ağırlıkları ve enerji bağ kapasiteleri verilmiştir (Akkurt 2007).

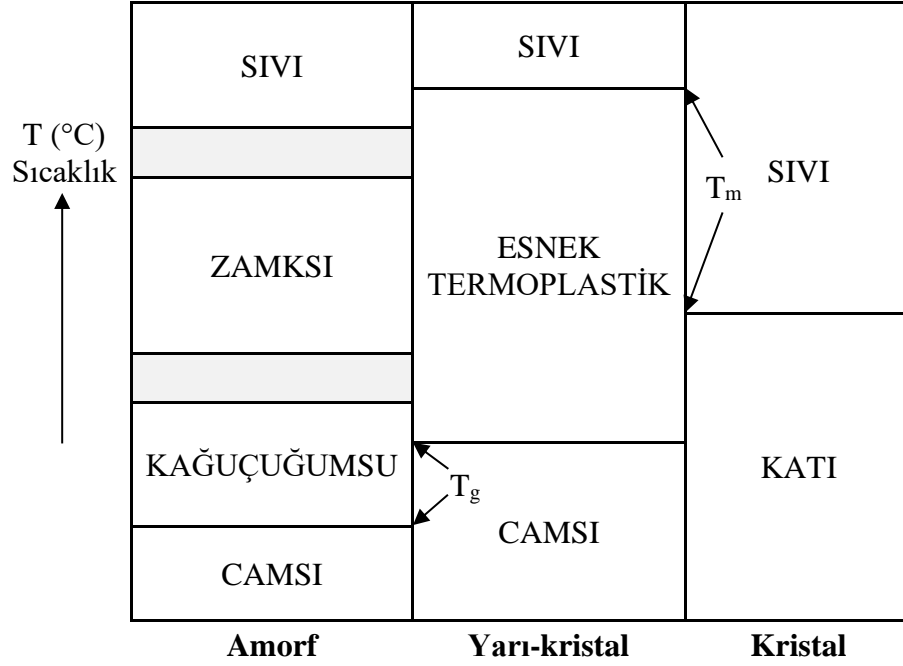


Tablo 1.1: Plastikleri meydana getirmek için kullanılan atomlar (Akkurt 2018)

Element	Atom Ağırlığı	Enerji Bağları	
Hidrojen	1	H—	1
Karbon	12	$\begin{array}{c}   \\ -C- \\   \end{array}$	4
Azot	14	$\begin{array}{c}   \\ -N- \\   \end{array}$	3
Oksijen	16	—O—	2
Flor	19	—F	1
Silisyum	28	$\begin{array}{c}   \\ -Si- \\   \end{array}$	4
Kükürt	32	—S—	2
Klor	35	—Cl—	1

Polimerlerin sentezi farklı kimyasal tepkimelerden yararlanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu tepkimeler genel işleyiş mekanizmaları açısından basamaklı polimerizasyon ve katılma polimerizasyonu olmak üzere iki temel polimerizasyon yöntemi altında toplanmaktadır. Basamaklı polimerizasyon üzerinden elde edilen polimerlere basamaklı polimer, katılma polimerizasyonu ile elde edilen polimerlere ise katılma polimeri denilmektedir. Basamaklı polimerizasyon ortamında farklı büyüklükte moleküller bulunmaktadır. Farklı büyüklükteki moleküller birbirleriyle tepkimeye girerek zincirler büyütülebilmektedir. Katılma polimerizasyonunda monomer molekülleri ve uzun polimer zincirleri bulunmaktadır. Bu polimerizasyonda büyüme tepkimeleri yalnızca aktif zincirler ve monomer molekülleri arasındadır (Saçak 2008).

Polimerlerin ısı karşısında davranışı kristal, yarı-kristal ve amorf olmasıyla yakından ilişkilidir. Amorf polimerler düşük sıcaklıklarda sert ve kırılğandır. Yarı-kristal polimerlerde amorf ve kristal bölgeler birlikte bulunmaktadır. Bu polimerler camsı geçiş sıcaklıkları altında amorf polimerler gibi kırılğandır. Kırılğalık özelliklerini camsı geçiş sıcaklığına kadar korurlar. Camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) üzerinde belli derecede yumuşaklık kazanmakla birlikte kristal yapılarından dolayı esnek termoplastik davranışa geçerler. Erime sıcaklığına ( $T_e$ ) kadar termoplastik özelliklerini değiştirmezler ve erime sıcaklığında kristal yapıları yıkılarak viskoz sıvı halinde erirler. Şekil 1.2’de amorf, yarı-kristal ve kristal maddeler için ısı geçişler ve gözlemlenen davranış değişiklikleri gösterilmektedir (Saçak 2008). Tam kristal polimerler serttirler ve camsı geçiş göstermezler.



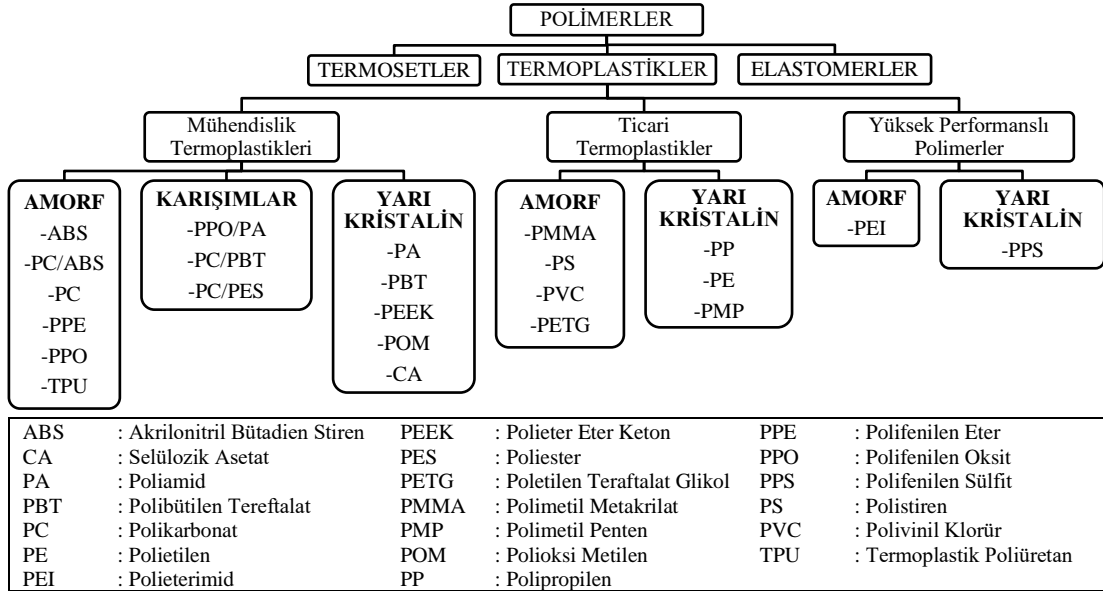
Şekil 1.2: Amorf, yarı-kristal ve kristal maddeler için ısıl geçişler (Saçak 2008)

Polimerler belirli erime sıcaklığında erirler. Bu malzemelerin işleme sıcaklıkları oda sıcaklığından yaklaşık 250 °C dereceye kadar ve özel durumlarda 400 °C dereceye kadar değişen aralıktadır. Tablo 1.2’de bazı polimerlerin camısı geçiş sıcaklıkları ve erime sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 1.2: Bazı polimerlerin camısı geçiş sıcaklıkları ve erime sıcaklıkları [URL\_1]

Polimer	Camsı Geçiş Sıcaklığı (T <sub>g</sub> )	Erime Sıcaklığı (T <sub>m</sub> )
Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS)	107	235
Selülozik Asetat (CA)	102	160
Poliamid (PA)	50	260
Polibütlen Tereftalat (PBT)	60	224
Polikarbonat (PC)	146	290
Polietilen (HDPE)	-110	135
Polietilen (LDPE)	-120	108
Polieterimid (PEI)	205	296
Polieter Eter Keton (PEEK)	150	333
Poletilen Teraftalat (PET)	73	246
Poletilen Teraftalat Glikol (PETG)	80	260
Polimetil Metakrilat (PMMA)	90	160
Polimetil Penten (PMP)	30	240
Plioksi Metilen (POM)	-65	178
Polipropilen (PP)	-10	164
Polifenilen Oksit (PPO)	214	270
Polifenilen Sülfid (PPS)	90	281
Polistiren (PS)	100	230
Polivinil Klorür (PVC)	81	212
Termoplastik Poliüretan (TPU)	-40	200

Polimerler molekül yapılarına, bağlanma mekanizmasının tiplerine ve mekanik özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 1.3'te polimerlerin sınıflandırılması verilmiştir.



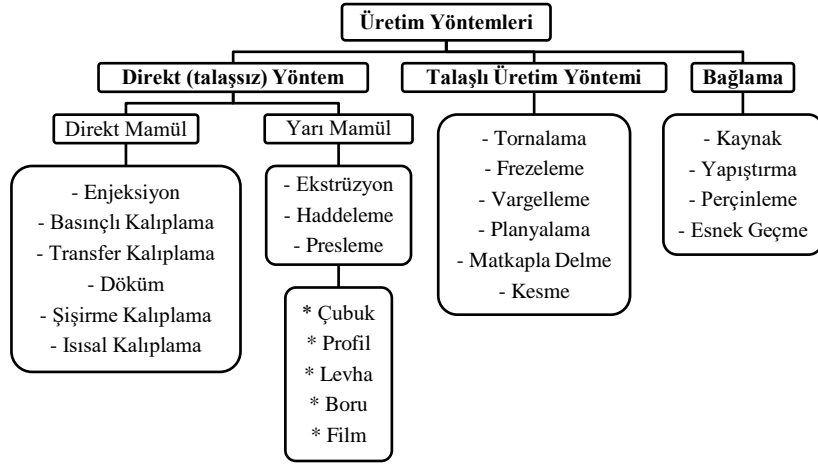
Şekil 1.3: Polimerlerin sınıflandırılması (Akcan ve diğ. 2018)

Termoplastikler ısı ve basıncın altında yumuşayan ve akan; bu durumdayken herhangi bir şekli alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen plastiklerdir. Tekrar ısıtıldığında yumuşayabilen, kalıplanabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen polimerlerdir. Bu işlem esnasında kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişim oluşmamaktadır. Termosetler ısı işlemiyle kürlenir ve tek seferde istenilen şekil alabilen polimerlerdir. Tekrar ısıtılmakla şekillendirilemezler (Akkurt 2007).

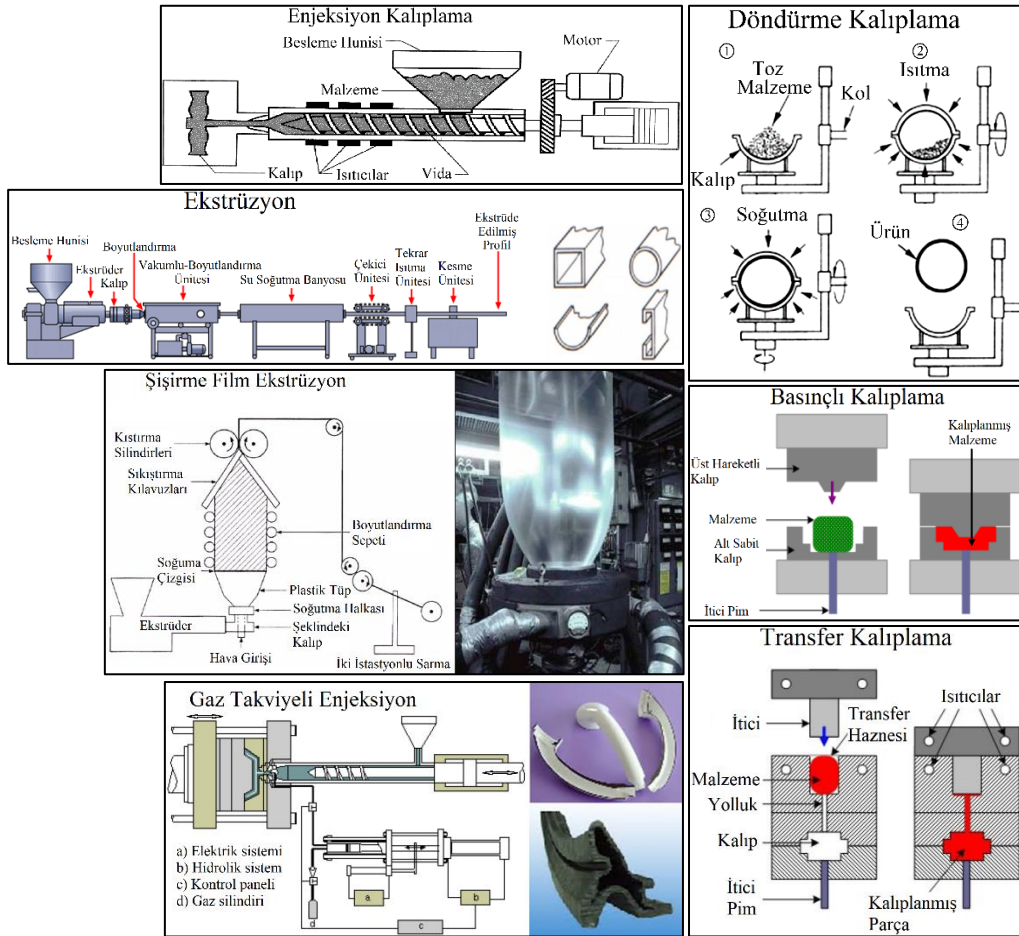
### 1.3 Termoplastik Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Termoplastik parçaların üretiminde iki kademe vardır. Birincisi kimyasal proses olan polimerizasyon işlemi adı verilen işlemle plastik hammaddesi üretimidir. İkincisi ise mekanik işlemle birlikte üretimini tamamlama, ürünün son halini alması işlemidir.

Plastikleri son halini vermek için üç çeşit temel üretim yöntemi vardır. Bunlar direkt (talaşsız şekil verme), talaşlı şekil verme ve bağlama yöntemleridir (Akkurt 2007). Şekil 1.4'te üretim yöntemlerinin sınıflandırılması verilmiştir. Şekil 1.5'te bazı üretim yöntemlerinin şematik gösterimleri verilmiştir.



Şekil 1.4: Polimerlerin üretim yöntemleri (Akkurt 2007)



Şekil 1.5: Bazı üretim yöntemlerinin şematik gösterimleri [URL\_2 - URL\_4]

## 1.4 Termoplastiklerin Kullanım Alanları

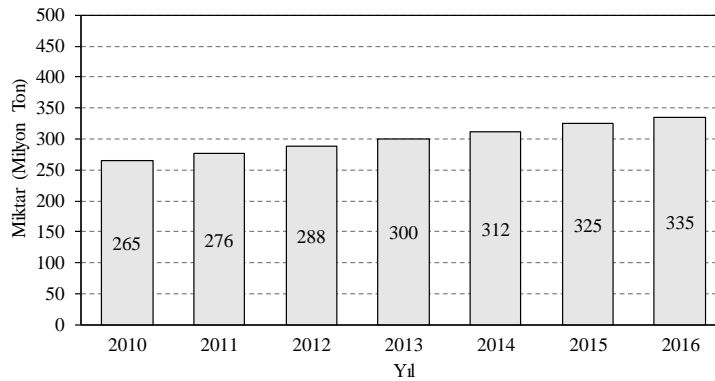
Termoplastikler günlük hayatımızda birçok farklı sektörde kullanılan önemli malzemelerdir. Otomotiv, gemicilik ve denizaltı, havacılık ve uzay, gıda ve temizlik kapları, kablo ve basınçlı boru imalatı, çeşitli kimyasal ve deterjan kapları imalatı, ev ve mutfak eşyaları, eğlence ve oyuncak sektörü, elektrik ve elektronik sektörü, ambalaj ve kaplama sektörü, mobilya ve dekorasyon, sağlık sektörü gibi günlük hayatımızda her yerde karşımıza çıkmaktadır. Şekil 1.6'da örnek kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 1.6: Polimerlerin kullanım alanlarına örnekler [URL\_5 - URL\_12]

## 1.5 Dünya Plastik Sektöründe Gelişmeler

Ürün çeşitliliği, üretim türünün çeşitliliği, kolay üretilebilirlik, birim üretimde düşük maliyet, geri dönüştürülebilir olması, tasarım ve uygulama alanının genişliği nedeniyle plastik üretimi son 70 yılda hızla gelişmiştir. 1950 yılında 1,5 milyon ton olan plastik üretiminin 2010-2016 yılları arasında ortalama %4 büyüme hızı ile artarak 2016 yılında 335 milyon tona çıktığı görülmektedir. Şekil 1.7’de dünyada üretilen plastik mamül üretimi görülmektedir. 2016 yılında üretilen 335 milyon ton plastiğin %25’ini Çin, %21’ini Avrupa ülkeleri toplamı, %20’sini Kuzey Amerika Ülkeleri, %16’sını Çin dışındaki Asya ülkeleri, %8’ini Orta Doğu ve Afrika ülkeleri ve %7’sini ise Güney Amerika ülkeleri üretmiştir, 2016 yılı verilerine göre dünyada toplam plastik üretiminde Türkiye 8,9 milyon ton ile %2,7’lik paya sahiptir. Tablo 1.3’te Türkiye’nin, Avrupa’da Almanya’dan sonra 2. büyük plastik üretimine sahip olduğu görülmektedir (URL\_13).



Şekil 1.7: Dünyada plastik üretimi [URL\_13]

Tablo 1.3: Başlıca ülkelerin plastik üretimi [URL\_13]

	Milyon Ton	%
Çin	83,8	25
ABD	48,9	14,6
Almanya	17,4	5,2
Hindistan	13,4	4
Tayland	10,1	3
Türkiye	8,9	2,7
İtalya	8,7	2,6
Brezilya	8	2,4
Fransa	7,7	2,3
Polonya	7,4	2,2
Rusya	7,4	2,2
Endonezya	5	1,5
Kanada	5	1,5
Malezya	4	1,2
Diğerleri	99,2	29,6
<b>Toplam</b>	<b>335</b>	<b>100</b>

## 1.6 Çalışmada Kullanılan Polimerler

Yapılan tez çalışmasında polimer kompozitlerin matris malzemesi olarak HDPE ve PP termoplastikleri kullanılmıştır. Bu iki polimer de termoplastik grubunun poliolefinler ailesinde yer almaktadır.

### 1.6.1 Polietilen

Polietilenin tek kristali, Keller ve Till tarafından, 1957 yılında polimerin seyreltik çözeltilisinden yapılan kristallendirmeyeyle elde edilmiştir (Saçak 2008). Kimyasal formülü  $\text{CH}_3\text{-CH}_3$  olan etanın sıcaklık ve basınçla iki hidrojenini kaybeder ve karbon atomları arasında çift bağ ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) oluşur. Böylelikle karbon atomunun dört enerji bağı doymuş olur ve etilen monomeri denilen stabil bir yapı elde edilir (Akkurt 2007).

Polietilen polimeri genel olarak; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), lineer bağlı düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE) ve çapraz bağlı polietilen (XLPE) olmak üzere beş farklı çeşittir. Üretim prosesine göre polietilen farklı çeşitlerde bulunabilmektedir. LDPE ve LLDPE, HDPE'nin aksine uzun zincir ve dallanmadan yoksundur. Etilenin bir diğer farklılığı ise bütan, oktan ve hekzen komonomeri ile reaktörde polimerize edilmesidir. LLDPE, LDPE'e göre daha dar bir aralıkta moleküler ağırlığa sahiptir. Diğer bir farklılığı ise LLDPE reaktör çıkışında toz şeklinde çıkmaktadır, ekstrüder ve granülatörden katkılarla karıştırılarak granül oluşturabilirler (Campo 2006).

Üç temel HDPE üretim yöntemi vardır. Bunlar; aktif parçacıklı yöntem, gaz faz yöntemi ve yeni metalosen teknolojisi ile üretim yöntemleridir. Metalosen teknolojisi, iki siklopentadienil arasına metal atomu bağlanarak sağlanmaktadır. Bu katalizörler nikel ve paladyum metalleri ile mümkün olmaktadır. Bu metaller polietilen (PE)'de çok geniş molekül ağırlıkları ve dallanmaya sebep olmaktadır. Polar ve polar olmayan komonomerler içermesi, etilen vinil asetat (EVA) ve etilen metil akrilat (EMA) kopolimerlerinin düşük basınçta üretimini sağlamaktadır (Campo 2006).

HDPE, neme dayanım ve düşük maliyet özelliklerinden dolayı çok farklı şekillerde termoplastik üretim işlemlerinde şekillendirilebilmektedir. Düşük sıcaklıkta kullanılabilirliğinden dolayı polietilenin kullanımı sınırlıdır. Şişirme kalıplamada çoğunlukla HDPE kullanılmaktadır. HDPE, %35 civarında şişirme kalıplamada, %30 oranında ekstrüde işleminde ve %20 oranında plastik enjeksiyon kalıplamada kullanılmaktadır. HDPE reçineler yüksek dayanıma sahiptirler ve paketleme filmlerinde, levha üretiminde, borularda, büyük şişirme ve savurma kalıplama ürünlerinde kullanılmaktadır (Campo 2006).

LDPE reçinelerin üretiminde ise ekstrüzyon işlemi ön plana çıkmaktadır. LDPE, yiyecek kaplama ve paketleme üretiminde kullanılan PE türüdür. LDPE, enjeksiyon kalıplama, şişirme kalıplama ve savurma kalıplama yöntemlerinde de kullanılabilir. Yüksek molekül ağırlıklı LDPE reçineler, iyi tokluk ve ısıl yapışmanın yanında yüksek parlaklık ve yüksek şeffaflık göstermektedir. Tüp şeklinde ve otoklavda yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı polimerizasyon reaktörleri, LDPE üretimi için kullanılmaktadır. LDPE'nin moleküler yapısındaki uzun yan dallanmalar reçineye esneklik, saydamlık ve işlenebilirlik sağlamaktadır (Campo 2006).

Kimyasal dayanım, üstün mekanik özellikler, iyi yalıtım özelliği ve kolay imalatı yönünden PE kablo yalıtımında geniş bir kullanım alanına sahiptir. HDPE'in sahip olduğu iyi derecede mekanik özellikler, uygun kimyasal dayanım ve kolay üretim avantajlarından ötürü kablo yalıtım malzemesi üretiminde kullanılması ön plana çıkmaktadır. Fakat yüksek sıcaklık ve aleve karşı dayanım istenilen yerlerde bu malzemenin kullanılmasının sakıncalı olduğu ortaya konulmuştur (An ve diğ. 2009). LDPE'in halojen içermemesi açısından elektrik ve elektronik endüstrisinde kullanımı yaygındır. Fakat düşük erime sıcaklığı (105-110 °C) bu malzemelerin dezavantajıdır. Bu dezavantajı XLPE ile aşmak mümkün olmaktadır (Arrighi 1986).

HDPE; ev eşyalarında, spor tesislerinde, oyuncak ve eğlence alanlarında, ambalaj filmlerinde, boru ve basınçlı borularda, su dağıtım ve sulama borularında, gaz ve kanalizasyon sistemlerinde, deterjan ve kozmetik kaplarında, su ve gaz bidonlarında, poşetlerde, laminasyon işlemlerinde ve file çuval yapımında ve daha birçok alanda kullanılmaktadır.



## 1.6.2 Polipropilen

Polipropilen (PP), poliolefin ailesinin üçüncü büyük hacimli üretimi olan ve kullanılan plastiklerden biridir. Ticari polipropilen 1937 yılında bulunmuştur. PP, petrol rafinerilerinde bulunan gaz sızıntılarında geri kazanılan yüksek saflıkta propilen gazının polimerize edilmesiyle elde edilmektedir. Polimerizasyon reaksiyonu Ziegler-Natta katalizörleri (alüminyum alkiler ve titanyum halojenürler) kullanan düşük basınçlı bir işlemdir. Katalizörler, hidrokarbon karışımında ısı transferini kolaylaştırmak için bir bulamaç haline getirilir. Tepkime, 50~80 °C arasındaki sıcaklıklarda ve 5~25 atm arasındaki basınçta sürekli reaktörler içinde gerçekleştirilir (Ebewele 2000).

Polipropilen, izotaktik (i-PP), sindiotaktik (s-PP) ve ataktik (a-PP) formlarda yapılabilir. Ziegler-Natta tipi katalizörler stereo düzenli polipropilen üretmek için kullanılır. Genellikle ticari bakımdan, %90'ın üzerinde PP polimeri izotaktik formundadır. İzotaktik PP polimerde, propilen moleküllerinin lineer ve düzenli bir zincir yerleşimi mevcuttur. Polietilenden farklı olarak, hacimli metil gruplarının sterik engeli nedeniyle izotaktik PP düzlemsel bir zikzak konformasyonunda kristalleşmez. Bunun yerine i-PP sarmal olarak kristalleşir ve sarmalın dönüşü başına üç monomer birimi ( $\text{CH}_2\text{-CH-CH}_3$ ) ile oluşur. İzotaktik polipropilen, yüksek oranda kristalindir ve 165~171 °C aralığında erime noktasına sahiptir. Bununla birlikte 0,9~0,91 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukla en hafif ve çoğunlukla kullanılan ticari termoplastiklerdendir (Ebewele 2000).

PP, mükemmel elektriksel ve yalıtıcı özelliklere sahipken aynı zamanda kimyasal direnci ve neme karşı direnci yüksek polar olmayan bir hidrokarbon polimerdir. Bu polimer çeşitli kimyasallara ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır bununla birlikte tüm organik çözücülerde oda sıcaklığında çözünmez. Polipropilenin çözücüleri emilim miktarı, sıcaklık arttıkça ve polarlığı azaldıkça artar. Polipropilenin yüksek kristal oranı yüksek mukavemet, rijitlik ve sertlik sağlar. Ancak, polietilene kıyasla, termal, ışık ve oksidatif bozunmalara karşı daha az dirence sahiptir. Sonuç olarak, polipropilene termal stabilizatörler, ultraviyole (UV) emiciler ve antioksidanlar dahil edilerek daha iyi işleme ve kullanım koşulları sağlanabilmektedir (Ebewele 2000).

Polipropilen, enjeksiyonla ve şişirme yöntemiyle kalıplanmış ürünler ile elyaf ve filamentlerden filmlere ve ekstrüzyon kaplamalarına kadar olan uygulamalarda kullanılır. Otomotiv ve cihaz üretimi alanlarındaki uygulamalarda kullanılan polipropilenin yarısı enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmektedir. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretim şeklinde otomotivde distribütör kapakları, radyatör fanları, gaz pedalları ve akü kutularının yapımında kullanılmaktadır. Günlük kullanımda ise hap ve ilaç kapları, dolap kapıları, şişe kasaları, bidon kutuları, bardak, tabak, poşet dosya ve oyuncak yapımında kullanılmaktadır. Ekstrüzyon ile üretim yöntemiyle halılar, dokuma çuvallar, döşemelik kumaşlar, halat ve hortumlar için dokuma ipliği üretimi ve bunlara ek olarak hipodermik şırıngalar, yeniden kullanılabilir havlular, sigaralar ve fonograf kayıtları için üst kaplamalar, tek kullanımlık çocuk bezleri için astarlar, mobilya toz kılıfı, yol stabilizasyonu ve erozyonu engellemek için jeotekstil ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır (Ebewele 2000).

## 2. LİTERATÜR BİLGİSİ

Malzemelerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için literatürde yapılan çalışmalar henüz tamamlanmamış olup yapılacak çalışmalara temel oluşturmaktadır. Bu bölümde tez konusuyla alakalı yapılmış çalışmaların özetleri ve bulgular verilmiştir.

Xie ve diğ. (2001) yaptıkları çalışmada LLDPE malzemeye çinko borat (ZB) ve genişletilebilir grafit (EG) ilavesi yapmışlardır. ZB alev geciktiricisi, yanan yüzey üzerinde oluşan karbonlaşan tabakanın yapısını güçlendirdiğini belirtmişlerdir. 400 °C'lerde su açığa çıkartarak yanmaya karşı direnci arttırdığını tespit etmişlerdir.

Ahmad ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada lineer düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) polimerine kütlece %5 ve %10 oranlarında maleik anhidrit polietilen (MAPE) ilavesi yaparak kopolimer oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu kopolimere 55 phr magnezyum hidroksit (MH) ve 5 phr sepiyolit ilave etmişlerdir. Kompozit malzemelere 50 kGy, 100 kGy ve 150 kGy gama ışını vermişlerdir. Artan gama ışını oranlarında malzemenin çekme dayanımı, kopma uzaması, ısıl eğilme sıcaklığı ve camsı geçiş noktası sıcaklığı değerlerinin yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Chand ve diğ. (2011), çalışmalarında kablo yalıtım malzemesi olarak kullanılan LDPE malzemelerin aşınma direncini arttırmak için karışıma silikon hidrid ile işlenmiş uçucu kül takviyesi yapmışlardır. Silikon hidrid ile işlenmiş ve işlenmemiş olmak üzere uçucu külleri polimer matrise ilave etmişlerdir. Dolgu oranı arttıkça aşınma direncinin düşmekte olduğunu, fakat %10 oranında dolgu ilaveli kompozitin maksimum aşınma direnci gösterdiğini belirlemişlerdir. Silikon hidrid ile işlenmiş uçucu küllü kompozitlerde polimer zincirlerinin uzamasının ve kırılmasının engellendiğini taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlemlemişlerdir.

Basfar ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada kablo sektöründe yalıtım malzemesi olarak kullanılan EVA ile birlikte LDPE kompozitini üretmişlerdir. Polimer karışım içerisine 35 phr amonyum polifosfat (APP), %1 phr talk ve %1,5 phr BA ilave etmektedirler. Yeni kompozit malzemenin hem mekanik hem termal

özelliklerinde iyileşme olduğu tespit edilmiş olup buna ek olarak BA ilavesi ile LOI değerlerinde artış tespit edilmiştir.

Bahattab ve diğ. (2010), EVA ve LDPE karışımlarından oluşan polimer matrise alüminyum trihidrat (ATH) ve magnezyum hidroksit (MH) alev geciktiricilerini eklemiştir. MH katkılı kompozit malzemenin, ATH katkılı kompozit malzemeye göre daha iyi mekanik özellik ve alev geciktirme özelliği sağladığını tespit etmişlerdir.

Shukri ve diğ. (2008), yaptıkları çalışmada LDPE ve EVA karışımına talk ekleyerek oluşturulan kompozit malzemenin yanmaya karşı davranışını incelemiştir. Alevlenmenin, karışımdaki talk miktarına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Belirli bir miktara kadar talk ilavesinin limitli oksijen indeksi (LOI) değerlerini arttırmasına rağmen, artan oranlardaki talk miktarı LOI değerlerini düşürdüğünü belirlemiştir.

Beyer (2005), kablo yalıtım malzemesinde kullanılan PE polimerine, çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ve organokil takviyesi yapmıştır. MWCNT katkısı, kalan külü arttırma etkisi yaptığı tespit edilmiştir. Kompozit malzemede MWCNT ile birlikte organokil kullanımının ısı yayılımını düşürmede sinerjik etkisini ortaya çıkarmıştır.

Wu ve diğ. (2009) çalışmalarında düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) malzemeye, kabaran alev geciktirici (KAG) ve nano boyutta çinko borat (ZB) ilavesi yapmışlardır. Kabaran alev geciktirici sistemi olarak amonyum polifosfat (APP) ve pentaeritritol (PER) katkılarını APP:PER(3:2) oranında kullanmaktadırlar. Kütlece %4,2 ZB ilavesi yapmışlardır. ZB takviyeli kompozit malzeme UL-94 testinde V0 seviyesine ulaşmaktadır. Konik kalorimetre testlerinin sonucundan ZB ilaveli kompozitte kütle kayıp oranı azalmakta ve kalan kütle miktarı artmaktadır. ZB katkısı grafit gibi aromatik hidrokarbonların oluşmasına sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklıkta oluşan bor ortofosfat gibi ürünler yanmış tabakanın kalitesini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Sabet ve diğ. (2014) çalışmalarında 100 phr düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) malzemeye 20 phr, 30 phr, 40 phr, 60 phr, 80 phr ve 100 phr etilen vinil

asetat (EVA) ilave etmişlerdir. Oluşturulan kopolimer karışıma ayrı ayrı 100 phr ATH ve 100 phr MH ilave edilerek kompozit malzemeler oluşturulmuştur. Bu alev geciktiricilere ek olarak 15 phr çinko borat (ZB) ilave etmişlerdir. Mekanik özelliklerini iyileştirmek, üretimin kolaylığını ve ilave edilen katkı maddesinin homojen yayılımını sağlamak için 6 phr, 8 phr, 10 phr ve 12 phr oranlarında MAPE ilave etmişlerdir.

Sirocic ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) malzemeye kütlece %3 oranında kalsiyum karbonat, silan, siterik asit, dibenzoil peroksit ile modifiye edilmiş nanokil takviyesi yapmışlardır. Nanokilin bu katkılarla ilavesinin LDPE malzemenin termal kararlılığını artırdığını tespit etmişlerdir. Kalsiyum karbonat ve siterik asit ilavesi yanma esnasında O<sub>2</sub> gazına karşı bariyer etkisini arttırdığını belirlemişlerdir.

Isıtman ve Kaynak (2012) yaptıkları çalışmada LDPE malzemeye, kütlece %35, %40, %45, %50, %55, %60 ve %65 oranlarında ATH ve bor içerikli alev geciktirici kolemanit (CMT) ilavesi yapmışlardır. Polimer matrise kütlece %5, %10 ve %20 oranlarında CMT ilavesi yapmışlardır. Artan oranlarda CMT ilaveli polimerler ATH ilaveli polimerlere göre alev dayanımını arttırdığını gözlemlemişlerdir. ATH yerine CMT kullanımı ile limitli oksijen indeksi (LOI) değerlerinde iyileşme görüldüğü belirtilmiştir (Şekil 3.6). CMT dolgusunun, ATH dolgusuna göre daha yüksek sıcaklıklarda dehidrasyona uğradığı tespit edilmiştir. CMT oranı arttıkça malzemenin tokluğu ve esnekliğinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Kwon ve diğ. (2012), kablo yalıtım uygulamalarında kullanılan XLPE ve poliolefin elastomer (POE) karışımına metal hidroksitler ilave etmişlerdir. Metal hidroksit olarak ATH ve MH kullanmışlardır. Aynı oranda MH ilaveli kompozit, ATH ilaveli kompozite göre daha iyi yanmazlık özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.

Sener ve Demirhan (2008), çalışmalarında kablo yalıtım malzemesi olarak kullanılan XLPE polimerine MH katkısını alev geciktirici olarak eklemişlerdir. Artan MH oranlarında çekme dayanımında ve kopma uzamasında düşüş, LOI değerlerinde artış saptamışlardır. Ayrıca MH oranının artmasının, malzemenin yanma direncinin artmasına da yardımcı olduğu belirlemişlerdir.

Haurie ve diğ. (2007), çalışmalarında kablo yalıtım malzemesinde hidromanyezitin alev geciktirici dolgu maddesi olarak kullanımını araştırmışlardır. TG analizlerinde partikül boyutu küçüldükçe bozunma oranının arttığı saptanmıştır.

Li ve diğ. (2010) çalışmalarında PE malzemeye ZB ilavesi yapmışlardır. ZB bileşikleri polimer matriste yayılması zor olmaktadır. Bu durumu aşmak için oleik asitle birlikte çinko oksit (ZnO) ve borik asit ( $H_3BO_3$ ) ile sentezlenen hidrofobik çinko borat (hZB) bileşimini elde etmişlerdir. Polietilen matrise kütlece %0,5, %1, %2, %5, %10, %20 ve %30 oranlarında hZB ilave etmişlerdir. hZB takviyesi PE malzemede alev geciktirme özelliğini iyileştirmekte olduğu tespit edilmiştir. Üretilen kompozitlerde %2 oranında hZB ilavesi en iyi alev geciktirme özelliği gösterdiği ortaya çıkarılmıştır.

Stark ve diğ. (2010) çalışmalarında PE malzemeye %50 oranında odun tozu (WF) ve sırası ile %10 oranında dekabromo difenil oksit (BR)/antimoni trioksit (AT), MH, çinko borat (ZB), melamin fosfat (MP) ve amonyum polifosfat (APP) alev geciktiricilerini ilave etmişlerdir. Odun tozu ilavesi ile PE'e göre LOI değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte alev geciktirici ilavesi ile LOI değerlerinin daha da arttığı tespit edilmiştir. Alev alma sürelerinde ise bor içerikli BR ve ZB katkılarında artış gözlemlenmişlerdir. APP katkısı alev dayanımını arttırmada en etkili olarak tespit edilmiş fakat mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediğini gözlemlenmişlerdir. Elastisite modüllerine bakıldığında diğer katkılarla elde edilen PE-WF kompozitlerine göre ve katkısız PE-WF kompozitine göre bor içerikli katkı ile üretilen kompozit daha yüksek değerlere sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Eğme dayanımında bor içerikli kompozitlerde artış görüldüğünü belirlemişlerdir.

Xu ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada HDPE malzemeye geri dönüştürülmüş Tetra Pak paketlenme malzemesi (TPP) ve kabaran alev geciktirici sistem olarak APP ve melamin (MEL) ilavesi yapmışlardır. %70 TPP, %26 HDPE ve %4 oranında (%3 MAPE ve %1 yağ asidi metal sabunu) ön karışımı yapmışlardır. Ardından elde edilen karışıma kütlece %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında APP/MEL ilavesi yapıp çift vidalı ekstrüder ile ekstrüde edilerek karışımları elde etmişlerdir. Elde edilen karışımlar enjeksiyon makinesi kullanarak numuneleri üretmişlerdir. APP'nin MEL'e oranını sırasıyla 1:1, 2:1, 3:1 ve 4:1 oranlarında olacak şekilde karışımlarını gerçekleştirmişlerdir. Kütlece %30 üzerinde APP/MEL ilavesi mekanik özellikleri

olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Kütlece %40 ve %50 oranında APP ilavesi UL 94 testlerinde V0 seviyesine ulaşırken, %30 APP ilavesinde V1 ve %20 APP ilavesinde V2 seviyesine ulaşmışlardır. Buna karşın %10 APP ilavesinde ise herhangi bir sınıflandırmaya girememiştir. APP:MEL oranı 3:1 olduğunda kütlece %30, %40 ve %50 ilavesinde V0 değerine ulaşırken, APP:MEL oranı 2:1, 3:1 ve 4:1 olduğunda kütlece %30 ilavesinde de V0 değerine ulaştığını gözlemlemişlerdir. APP ve MEL ilavesinin LOI değerlerini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Ayrılmış (2013) yaptığı çalışmada HDPE malzemeye kütlece %4, %8 ve %12 oranlarında boraks/borik asit (BX/BA) ve çinko borat (ZB) alev geciktirici ilavesi yapmıştır. Bununla birlikte polimer matrise kütlece dolgu maddesi olarak %30 ila %40 oranlarında odun tozu ilavesi yapmıştır. İlave edilen bor içerikli alev geciktiriciler kompozit malzemenin çekme dayanımlarını düşürdüğü tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerini iyileştirmek için kütlece %2, %4 ve %6 oranlarında uyumlaştırıcı olarak MAPE ilavesi yapılmıştır. MAPE oranı arttıkça elastisite modülü değerleri arttığı gözlemlenmiştir. Artan bor oranlarında eğmeye göre elastisite modülü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Su absorpsiyon oranı artan bor oranlarında artmakta olduğu fakat artan MAPE ile birlikte artan bor oranlarında su absorpsiyon oranının düştüğü belirtilmiştir. Artan bor oranlarının çentik darbe dayanımlarını düşürmekte olduğu fakat MAPE takviyesi ile katkısız ürüne göre artan bor oranlarında çentik darbe dayanımlarının arttığı belirtilmiştir.

Pan ve diğ. (2014) çalışmalarında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) polimerine nano silikon dioksit (nano-SiO<sub>2</sub>), amonyum polifosfat (APP) ve odun tozu ilavesi yapmışlardır. Matris içerisinde kütlece %30 oranında odun tozunu sabit tutup toplamda kütlece %14 oranında APP ve nano-SiO<sub>2</sub> katkısının oranlarını değiştirmişlerdir. APP oranı %8 ve nano-SiO<sub>2</sub> oranı %6 ilaveli kompozitte termal özelliklerinin en iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Szustakiewicz ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada HDPE polimerine maleik anhidrid polietilen (PIb), organo bentonit (ZR2), organo kil (ZG1), melamin polifosfat (MPP) ve APP ilavesi yapmışlardır. İnorganik dolgu maddesi ilavesi ile LOI değerlerinde artış gözlemlemişlerdir.

Faghihi ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeye alev geciktirici madde olarak ATH ve boraks ilavesi yapmışlardır. Alev geciktirici ilavesi ile oluşturulan kompozit malzemede kopma dayanımı, uzama miktarı ve darbe direnci değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerinin iyileşmesi için kompozit malzemeye, etilen vinil asetat (EVA) ilavesinin olumlu etkisi belirlenmiştir. EVA kullanımı ile darbe dayanım değerlerinde artış gözlemlenmiştir. ATH ile birlikte BX kullanımının sinerjik etkisi olarak yanan kısım, daha iyi termal özellik ve alev bariyeri oluşturduğu tespit edilmiştir.

Kamila ve Joanna (2013) yaptıkları çalışmada geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeye kütlece %6, %17 ve %32 oranlarında yer fıstığı kabuğu ilavesi yapmışlardır. İlave edilen dolgu maddesi oluşturulan kompozit yapının çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. Termogravimetrik analiz sonuçlarından kalan kütle miktarının artan dolgu oranlarında arttığı gözlemlenmiştir.

Kurt ve diğ. (2012) çalışmalarında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) polimerine bor bileşikleri (BC) ile amonyum polifosfat (APP) alev geciktirici takviyesi yapmışlardır. Buna ek olarak dolgu maddesi olarak kütlece %30 oranında odun tozu ilavesi yapmışlardır. Sadece APP ilavesi mekanik özellikleri bozmakta olduğunu, BC ilaveli kompozitler takviyesiz kompozitlere göre mekanik özelliklerini çok az düşürdüğünü ortaya çıkarmışlardır. BC ile APP takviyesi sinerjik etki oluşturarak mekanik ve alev geciktirme özelliklerini iyileştirmekte olduğunu belirlemişlerdir.

Zhang ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada kütlece %30 oranında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ile kütlece %70 oranında polipropilen (PP) polimerini karıştırmışlardır. Oluşturulan polimer matrise kütlece %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında nano kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) ilave etmişlerdir. Oluşturulan bu kompozitlerde, kalsiyum karbonat ilavesi yapılmayan HDPE-PP kopolimerinin Izod darbe dayanımı saf PP'e göre daha yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Artan kalsiyum karbonat oranlarında Izod darbe dayanım değerlerinin düştüğünü gözlemlenmiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) sonuçlarına göre kompozit yapı içerisinde HDPE miktarı arttıkça grafikte iki farklı pik fakat sadece



CaCO<sub>3</sub> ilavesi ile pikin tekli hale geldiğini gözlemlemişlerdir. Kompozit malzemelerde CaCO<sub>3</sub> ilavesi ile T<sub>c</sub> (kristalizasyon sıcaklığı)'nın arttığı, T<sub>m</sub> (ergime sıcaklığı)'nın düştüğünü belirlemişlerdir.

Coudreuse ve diğ. (2010) çalışmalarında kablo yalıtım malzemesi olarak kullanılan LDPE/EVA(10/90 phr) kopolimerine huntit/hidromanyezit katkısını, magnezyum hidroksit katkısını 90 phr oranında ve ayrı ayrı talk (10 phr) ve nanokil (10 phr) talk/nanokil (5 phr/5 phr) ilave etmişlerdir. Tüm formülasyonlarda 0,3 phr parrafın mumu ve 0,3 phr Irganox kullanmışlardır. Polimer kompozit malzemelere 75, 100 ve 150 kGy dozlarda elektron ışını (EB) işlemi uygulayarak çapraz bağ oluşturmuşlardır. Yüksek dozlarda uygulanan kompozitlerde alev alma süresinin arttığını buna karşın LOI değerlerinin de azaldığını belirlemişlerdir.

Atay ve Çelik (2010) yaptıkları çalışmada etilen vinil asetat (EVA) polimerine huntit/hidromanyezit oranı %60 olan karışımları iki milli karıştırıcıda gerçekleştirmişlerdir. Partikül olarak 0,1 µm, 1 µm ve 10 µm boyutlu mineralleri kullanmışlardır. EVA içersinde kütlece %49,75'ten başlayıp %71,23'e kadar çıkmışlardır. LOI değerlerinde ATH ve kalsiyum karbonata göre çok daha fazla etkili olduğunu belirtmişlerdir. Polimer kompozit içersinde partikül boyutunun küçülmesi ile birlikte alev geciktirme özelliğinin artmasını yüzey alanının artmasıyla ilişkilendirmişlerdir. Polimer matris içersinde kütlece artan huntit/hidromanyezit oranlarında daha fazla alev geciktirme özelliğinin sağlandığını belirtmişlerdir.

Atay ve Çelik (2013) çalışmalarında EVA polimerine kütlece %49, 55, 61, 64, 67 ve 69 oranlarında huntit/hidromanyezit ilavesi yapmışlardır. En yüksek çekme dayanımını %49 katkılı üründe elde ederken %66 katkılı ürüne kadar çekme dayanımlarında düşüş gözlemlemişlerdir. %69 ve %71 oranlı ürünlerde artış gözlemlemişlerdir. Artan oranlarda kopma uzaması değerleri düşmektedir. İlave edilen katkının partikül boyutunun etkisini araştırmak için kütlece %60 katkılı üründe sırası ile 0,1 µm, 1 µm ve 10 µm boyutlarında katkı ilave etmişlerdir. Partikül boyutları küçüldükçe çekme dayanımlarının arttığını tespit etmişlerdir. Partikül boyutu 1 µm olan kompozitte en yüksek kopma uzaması gözlemişlerdir. 10 mikron partikül boyutlu kompozitin ise en düşük kopma uzamasına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Artan katkı oranları yırtılma dayanımı değerlerini düşürmekte olduğunu

bulmuşlardır. Partikül boyutlarının küçülmesi ile yırtılma direnci değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Basfar ve Bae (2010) yaptıkları çalışmada EVA kopolimerine kütlece %90, 120, 150, 180 oranlarında MH ve kütlece %90, 120, 150, 180 oranlarında huntit/hidromanyezit (HH) ilavesi yapmışlardır. Buna ek olarak %1,5 Irganox (antioksidant), %3 dikumil peroksit ilaveli ve ilavesiz olarak üretimlerini gerçekleştirmişlerdir. Polimer kompozit malzemelere 50, 100 ve 150 ve 200 kGy dozlarda elektron ışını (EB) işlemi uygulayarak çapraz bağ oluşturmuşlardır. MG ve HH oranlarının artmasıyla çekme dayanım değerlerinin arttığını buna karşın kopma uzamalarının düştüğünü belirlemişlerdir. MH ilaveli kompozitler daha yüksek çekme dayanımı gösterdiğini HH ilaveli kompozitler daha düşük kopma uzaması gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Hollingbery ve Hull (2012) yaptıkları çalışmada değişen huntit/hidromanyezit oranlarının kendi içinde değişiminin EVA kopolimerin termal özelliklerine etkilerini çalışmışlardır ve alüminyum tri hidroksit ve magnezyum hidroksit ile kıyaslamışlardır. Konik kalorimetre sonuçlarından yüksek hidromanyezit içerikli olan kompozitler yanma sonrasında daha gri renkte bir yüzey tabakası oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Saf huntit içerikli kompozitlerin yanma sonrasında beyaz kül içeren tabaka oluşturduğunu bununda daha az kalan karbon miktarının kanıtı olduğunu belirlemişlerdir. Saf huntit içeriği yanma sonrası oluşan tabakanın çatlamasının daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Hidromanyezit miktarı arttıkça yanma yüzeyinde derin çatlak oluşumunun arttığını gözlemlemişlerdir. Yüzey çatlaklarının artması hızlı bozulmaların gerçekleştiğinin sonucu olduğunu tespit etmişlerdir.

Seki ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada poliestere matris içerisine kütlece %1, %3 ve %5 huntit minerali ilavesi yapmışlardır. Mekanik özellik olarak çekme deneyi ve üç noktadan eğme deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Termal özellik olarak termogravimetrik analiz ve diferansiyel taramalı kalorimetre deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Çekme deneyleri sonucu maksimum çekme dayanımına kütlece %3 huntit katkılı üründe elde etmişlerdir. Huntit ilavesi ham ürüne göre malzemenin çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerini arttırdığını buna karşın uzama miktarlarında düşme olduğunu belirlemişlerdir. Üç noktadan eğme deneyleri

sonucunda eğilme dayanımı değerleri huntit ilavesi ile artmış en yüksek değerini kütlece %3 katkılı üründe olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer şekilde eğilme modülü de arttığı %3 katkılı üründe en yüksek değere ulaştığını belirlemişlerdir. TGA analizlerinde ise kütlece %3 katkılı kompozit bozulma sıcaklığını 16 °C arttırdığını tespit etmişlerdir.

Hong ve diğ. (2005a), çalışmalarında PP polimer ile POE dört farklı işlem uygulanmış MH katkısını alev geciktirici olarak kütlece %60 oranında ilave etmişlerdir. PP oranı POE oranına göre arttıkça akma dayanımının arttığını gözlemlemişlerdir.

Hong ve diğ. (2005b), kablo yalıtım malzemesi olarak kullanılan PP malzemeye organik modifiye edilmiş kil takviyesi yapmışlardır. Ağırlıkça %10 kil takviyeli kompozitin en yüksek akma dayanımına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Konik kalorimetre sonuçlarından ısı yayılım miktarının kil takviyeli kompozitin, katkısız olan kompozite göre düştüğünü gözlemlemişlerdir. Fakat kilin tek başına kullanımının alev geciktirici olarak yeterli olmadığını belirlemişlerdir.

Yoshino ve diğ. (2004), farklı PP türlerini elektrik güç kablosu yalıtım malzemesinde kullanımını araştırmışlardır. PP türlerini, kimyasal dizilimlerinin izotaktik ve sindiyotaktik olmasının farklılıklarını ve XLPE ile karşılaştırılmasını incelemişlerdir. İzotaktik PP'in, sindiyotaktik PP'e göre daha yüksek akma dayanımı gösterdiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, sindiyotaktisite arttıkça ergime noktasının arttığı ve kopma uzamasının azaldığını tespit etmişlerdir. Sindiyotaktik PP ile birlikte PE kompozitinin kullanımı ile daha düşük sıcaklıkta kırılma eğilimine sahip olduğunu bulmuşlardır.

Ayrılmış ve diğ. (2012) çalışmalarında PP malzemeye dolgu maddesi olarak %31 ila %40 oranlarında WF ve alev geciktirici olarak kütlece %4, %8 ve %12 oranlarında BA, BX, ZB, monoamonyum fosfat (MAP) ve diamonyum fosfat (DAP) ilave etmişlerdir. Alev geciktiricilerin mekanik olarak olumsuz etkilerini gidermek için kütlece %2, %4 ve %6 oranlarında maleik anhidrit polipropilen (MAPP) takviyesi yapmışlardır. ZB ilaveli kompozit en yüksek su direncine ve mekanik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Alev geciktiricili kompozitlerin çentik darbe dayanımları katkısız kompozite göre düştüğü belirtilmektedir. Artan alev

geciktirici oranlarına paralel olarak elastisite modüllerinin arttığı, konik kalorimetre testinden alev geciktirici ilavesi ısı yayılım miktarlarını düşürdüğü tespit edilmiştir.

Suppakarn ve Jarukumjorn (2009) çalışmalarında PP malzemeye %15 ve %30 oranlarında sisal kenevir fiberi (Si) eklenerek kompozit yapı oluşturmuşlardır. Kompozit yapıya kütlece %5, %10, %15 ve %30 oranlarında MH ve ZB ilave etmişlerdir. Alev geciktiricilerin polimer matriste homojen yayılmasını sağlamak ve polimer matrisle uyum sağlaması için kütlece %3 oranında MAPP kullanılmıştır. Alev geciktirici ilavesi ile polimer matrisin viskozitesi düştüğü belirlenmiştir. Alev ilerleme hızı alev geciktirici ilavesi ile %70PP-%30Si kompozitine göre düşme gösterdiği tespit edilmiştir. MH ilavesi ZB ilavesine göre alev ilerleme hızını daha fazla düşürdüğü görülmüştür. Ham PP malzemesine göre ilave edilen Si ve alev geciktiriciler oluşan kompozit yapının darbe dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir.

Peng ve Wang (2009) yaptıkları çalışmada PP malzemeye KAG ile birlikte BA alev geciktiricisi takviyesi yapmışlardır. Sadece %1 BA ilavesi ile UL 94 testinde V0 mertebesinde yanma dayanımı gösterdiği belirlenmiştir. BA ile birlikte KAG kullanımı ile LOI değerlerinde artış görüldüğü bununla birlikte BA karbonlaşan yanmış yüzeyin yapısını kuvvetlendirdiği tespit edilmiştir.

Wang ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada kütlece %60 oranında PP ve %40 oranında odun tozu (WF) ön karışımı yapıp oluşturulan polimer-odun tozu karışımına kütlece %30 oranında APP ve PER ilavesi yapmışlardır. APP:PER oranlarını sırasıyla 1:0, 4:1, 3:1 ve 2:1 değerlerinde tutmuşlardır. Alev geciktirme bakımından en iyi APP:PER oranının 3:1 olduğunu belirtmişlerdir. PER oranının artması mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediğini belirlemişlerdir. WF ilavesi PP'in LOI değerlerini %17,6'dan %20,4'e, sadece APP ilavesiyle bu değer %24'e, APP ile PER ilavesiyle %25 civarlarında olduğunu gözlemlemişlerdir. İlave edilen WF çekme dayanımı, kopma uzaması, elastisite modülü ve darbe direnci değerlerini düşürdüğünü, APP ilavesi ile bir miktar daha düştüğü ve PER ilavesi ile bir miktar daha azaldığını belirlemişlerdir.

Fontaine ve diğ. (2008) çalışmalarında PP matrise kütlece %30 oranında KAG sistemi ile birlikte %1 ve %2 oranında ZB ilave etmişlerdir. Çok az miktarda ZB ilavesi ile LOI ve UL 94 değerlerinde önemli bir gelişme sağlandığı görülmüştür.

Konik kalorimetre sonuçlarından ZB ilavesi ile ısı yayılım miktarlarının düştüğünü tespit etmişlerdir.

Ramazani ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada PP malzemeye kütlece %10, %20 ve %30 oranlarında ZB ve ATH alev geciktiricisi ilave etmişlerdir. Buna ek olarak ZB/ATH karışımını kütlece 10/1 oranında karıştırarak polimer matriste kütlece %10, %20 ve %30 oranlarında üretimlerini gerçekleştirmişlerdir. Artan alev geciktirici ile birlikte elastisite modüllerinde artış buna karşın kopma uzaması ve darbe dayanım değerlerinde düşme görüldüğü belirtilmiştir. MAPP ilavesi ile alev geciktiriciler polimer kompozit içerisinde daha homojen bir yayılma göstermesi ile mekanik özelliklerinde iyileşme saptamışlardır. Fakat MAPP ilavesi LOI değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. ZB ilavesi ile birlikte LOI değerlerinde artış görülmekte olduğunu bununla birlikte alev geciktirme özelliğini arttırdığını belirlemişlerdir.

Atıklar ve diğ. (2006) yaptıkları çalışmada polipropilen malzemeye KAG olarak APP ve PER ve bor içerikli kolemanit ilavesi yapmışlardır. Kolemanit 600 °C'de CaO ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'e ayrışarak kompozit malzemenin yanan yüzeyinde ısıya dayanıklı bir tabaka oluşturduğunu belirlemişlerdir. Kabaran alev geciktirici ile birlikte kolemanit kullanımının, LOI değerlerinde artışa sebep olduğunu tespit etmişlerdir.

Sain ve diğ. (2004) çalışmalarında PP ile birlikte odun tozu ve pirinç kabuğu gibi doğal lif takviyesi yapmışlardır. Alev geciktirici olarak MH, BA ve ZB ilave etmişlerdir. Sadece MH alev geciktiricisinin kullanımı ile kompozitin alevlenme özelliğinin bir miktar azalmakta olduğunu tespit etmişlerdir. MH ile birlikte BA ve ZB kullanımı ile sinerjik etki oluşarak alev geciktirme özelliği daha da iyileştiği ortaya konulmuştur.

Marosi ve diğ. (2003) yaptıkları çalışmada polipropilen malzemeye dolgu maddesi olarak nano boyutta montmorillonit, KAG ve BA ilave etmişlerdir. BA ilavesi ile yanmış yüzey kırılğan ve sert olmaktan kurtulup daha esnek ve dayanıklı bir yüzeye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun yanan yüzeyin mekanik etkilerle yıkılmasına ve yanma direncinin azalmasına engel olduğunu belirlemişlerdir.

Anna ve diğ. (2002) çalışmalarında polipropilen malzemeye KAG sistem olarak APP ve PER ile birlikte borosiloksan (BSil) takviyesi yapmışlardır. İlave edilen BSil, PER ile birlikte yüksek sıcaklıkta APP-BSil ile reaksiyona girerek kabaran yanmış yüzeyin sert ve kırılğan olmasını engelleyip daha esnek ve dayanıklı bir yanmış yüzey elde edilebildiğini tespit etmişlerdir.

Marosi ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada polipropilen polimerine KAG, BSil ve montmorillonit takviyesi yapmışlardır. BSil takviyesi ile birlikte montmorillonit dolgusu, kompozitte, ham ürüne göre UL-94 deneyi sonucunda V2 kademesinden V0 kademesine getirdiği tespit edilmiştir. BSil ilavesi ile yanma esnasında ergime durumunda polimerin viskozitesini arttırarak damlamaya engel olduğunu tespit etmişlerdir.

Ravadits ve diğ. (2001) yaptıkları çalışmada PP malzemeye organik olarak modifiye edilmiş borik asit siloksan (OBSi) ve KAG ilavesi yapmışlardır. OBSi ilavesi ile yanmış yüzeyin esnekliğini arttırarak alev geciktirmede yanmış yüzeyin mekanik özelliklerinin önemini gözlemlemişlerdir. Bu durum OBSi ile birlikte KAG sistemi dayanıklı bir oksijen bariyeri oluşturmakta olduğunu ve aleve karşı direncin önemli bir şekilde arttığını belirlemişlerdir.

Anna ve diğ. (2001) çalışmalarında polipropilen malzemeye KAG ve kütlece %1, %1,5, %2, ve %3 oranlarında BSil takviyesi yapmışlardır. %1,5 oranında BSil ilavesi ile LOI değerleri en yüksek seviyeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Artan BSil miktarı ile ergimiş polimerin viskozitesi arttığı tespit edilmiştir. Ergiyip damlayan polimerin viskozitesinin artması ile yanan yüzeyin bariyer etkisini arttırması, yanmaya karşı direnci arttırdığını belirlemişlerdir. BSil içeriğinde polimere göre toplam %0,8 oranında BA olan kompozitin termal olarak en iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Sain ve Kokta (1994) yaptıkları çalışmada PP malzemeye ahşap lif takviyesi ile birlikte alev geciktirici olarak sodyum borat, borik asit ve fenolik reçine ilavesi yapmışlardır. Ahşap lif takviyesi ile oluşturulan PP kompozitin, takviyesiz PP'e göre mekanik özelliklerinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. İlave edilen alev geciktiriciler ile oluşturulan kompozit yapının yanmaya karşı direncinin artmakta olduğunu ve yanma oranını düşürmekte olduğunu tespit etmişlerdir.

Kurt ve Mengeloğlu (2011) yaptıkları çalışmada polipropilen (PP) matrise kütlece %30 oranında odun tozu (WF), mekanik özellikleri iyileştirmek ve alev geciktiricilerin homojen yayılmasını sağlamak için kütlece %3 oranında maleik anhidrit polipropilen (MAPP) takviyesi yapmaktadır. Alev geciktirici olarak kütlece %22 oranında amonyum polifosfat (APP) ve %3 oranında borik asit (BA), boraks (BX), BA/BX karışımı ve çinko borat (ZB) ilave etmektedirler. APP ilavesi ile elastisite modülleri fazla değişmemektedir fakat bor içerikli alev geciktirici ilavesi ile bir miktar artış gözlemlenmektedir. APP ilavesi ile çekme dayanımı düşmekte fakat BA/BX karışımının sinerjik etkisi olarak çekme dayanımlarında artış görülmektedir. En yüksek darbe dayanımı APP ilaveli kompozitte tespit edilmiştir. Bor içerikli alev geciktiricilerde yanma hızı belirgin bir şekilde düştüğünü belirlemişlerdir.

Doğan ve diğ. (2010) alışmalarında polipropilen (PP) malzemeye kütlece %17 ila %20 arasında kabaran alev geciktirici sistemi (KAG) kütlece APP'nin PER'e oranı 3:1 (APP/PER:3/1) ve kütlece %1 ile %3 oranlarında çinko borat (ZB), borofosfat (BPO<sub>4</sub>), bor ve silikon içerikli oligomer (BSi) ve lantanyum borat (LaB) takviyesi yapmaktadırlar. UL-94 testlerinden en iyi yanma direnci bor içerikli alev geciktiricilerle sağlandığı görülmektedir. BPO<sub>4</sub> takviyeli kompozit en yüksek LOI değerine sahip olmaktadır. TGA analizlerinden bor içerikli kompozitlerde karbonlaşan tabaka kalıntıları artmaktadır. Konik kalorimetre testinden ısı yayılım miktarlarının düştüğünü gözlemlenmişlerdir.

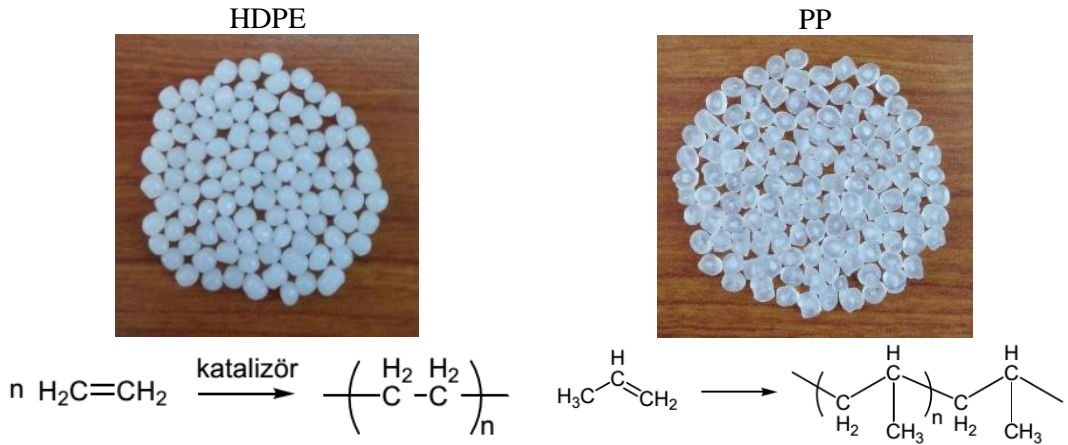
Diğer bir çalışma olarak Wang ve diğ. (2012), EVA kopolimerine kabaran alev geciktirici sistemi ilavesi yapmışlardır. Kabaran alev geciktirici sisteminde APP ve PER kullanmışlardır. Bu katkıları silan ile mikro boyutta kaplama işlemine tabi tutarak polimer matrise ilave etmişlerdir. Bu işleme tabi tutularak üretilen kompozit malzemenin daha iyi termal ve yanma özelliklerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar sırasıyla polimer kompozitlerin ön karışım işlemi, ekstrüderde karışım, enjeksiyon makinesinde numune üretimi, deneyler öncesi şartlandırma işlemi, 15 farklı fiziksel, mekanik ve termal deneyin uygulanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Polimer kompozitlerin üretimi ön karışım yapılarak doğrudan enjeksiyon makinesinde üretilerek ve ön karışım yapılarak ekstrüderde karıştırılıp enjeksiyon makinesinde üretilerek gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1 Kullanılan Polimer Malzemeler

Polimer malzeme olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) kullanılmıştır. HDPE ve PP malzemeler granül halinde Petkim Petrokimya Holding A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Her iki polimer için de enjeksiyon ile kalıplamaya uygun HDPE malzeme için Petilen YY I 668 ve PP malzeme için de Petoplen MH 418 ticari ürünü seçilmiştir. HDPE ve PP polimerlerinin granül görüntüsü ve kimyasal yapısı Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1: HDPE ve PP polimerlerinin kimyasal yapısı

HDPE ve PP polimer malzemelerin özellikleri Tablo 3.1’de verilmektedir. Yüksek yoğunluklu polietilen için elastisite modülü değeri 420-1260 MPa civarlarında, polipropilen için elastisite modülü değerleri 1120-1500 MPa civarlarında bulunmaktadır.



Tablo 3.1: HDPE ve PP malzemelerin özellikleri [URL\_14]

Özellikleri	Metodu	Birimi	Petilen YY I 668	Petoplen MH 418
Kütlesel erime akış hızı (230 °C, 2160 g)	ASTM D1238	g/10min	5,5	4,5
Akmada gerilme dayanımı	ASTM D638	MPa	30	34
Kopmada gerilme dayanımı	ASTM D638	MPa	17	42
Kopmada uzama	ASTM D638	%	1250	-
Erime noktası (DSC)	ASTM D3417	°C	134	163
Deformasyon sıcaklığı, 68 psi	ASTM D648	°C	-	113
Izod darbe dayanımı	ASTM D256	J/m	50	21,6
Rockwell sertliği	ASTM D785	R-Scale	-	94
Sertlik (Shore D)	ASTM D1706	-	66	-
Vicat yumuşama noktası	ASTM D1525	°C	124	-
Yoğunluk, 23 °C	ASTM D1505	g/cm <sup>3</sup>	0,965	0,905
Eğilme modülü, 23 °C	TS EN ISO 178	MPa	1100	1420
Kırılma sıcaklığı	ASTM D746	°C	< -80	25
Çevresel baskıyla kırılma dayanımı (F50)	ASTM D1693	h	4	-
Su absorpsiyonu	ASTM D570	% w	-	<0,03

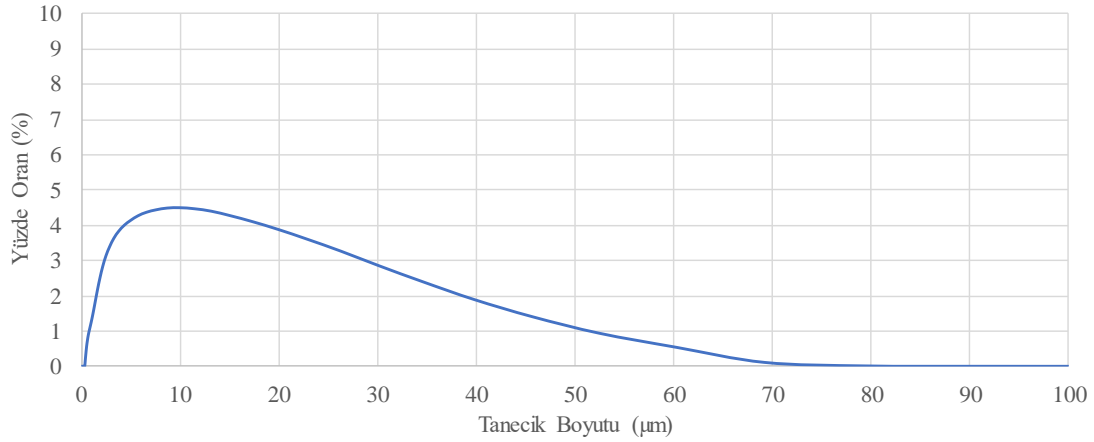
### 3.2 Kompozit Malzemelerin Üretimi

Kompozit malzemelerin üretimi üç farklı reçete ile iki farklı polimer malzemede, ön karışım yapılarak ekstrüdersiz ve ekstrüderde karıştırılıp enjeksiyon makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.1 HDPE-PP-NC-PDMS kompozitleri

HDPE ve PP polimer malzemelere nano boyutta kil ilave edilmiştir. Nanokil (NC) dolgu maddesi Nanokil İth. İhr. İnş. Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. NC'in kimyasal bileşimi Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde XRF spektrometresi ile yapılmıştır. NC dolgu malzemesinin kütlece % içeriği Tablo 3.2'de verilmiştir. Kil katkısının tane boyutu analizi Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan Mastersizer cihazı ile gerçekleştirilmiş olup Şekil 3.2'de verilmiştir. Yapısında bol miktarda silisyum oksit (SiO<sub>2</sub>) ve alümiyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) bulunmakta olup kütlece %10'un altında demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnezyum oksit (MgO), kalsiyum oksit (CaO), sodyum oksit (Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve kütlece %1'in altında

potasyum oksit (K<sub>2</sub>O) ve titanyum oksit (TiO<sub>2</sub>) bulundurmaktadır. Nanokilin ortalama yoğunluk değeri 2,35 g/cm<sup>3</sup>'tür.



Şekil 3.2: NC dolgu malzemesinin tane boyutu

Tablo 3.2: NC dolgu maddesinin kütlece % içeriği

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)
53,28	22,52	6,13	2,82	2,24	1,13	0,82	0,63

Kil takviyesi, polimer malzeme polidimetil siloksan (PDMS) ile karıştırılarak, polimer granül üzerine tutunması sağlanmıştır. PDMS'in diğer kullanım adları dimetil silikon, metil silikon, silikon yağı, emülsifiye silikon yağı ve dimetikondur. PDMS olarak Siltech Firmasının Siltech F-12,500 ürünü kullanılmıştır. Polidimetil siloksanın teknik özellikleri ve kimyasal yapısı Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: PDMS'in teknik özellikleri [URL\_15 ve URL\_16]

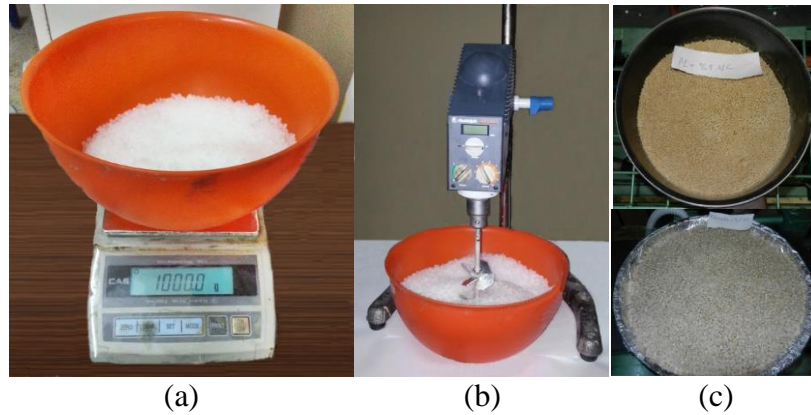
Özellikleri	Birimi	Değeri
Görünüm	-	Şeffaf sıvı
Kompozisyon	-	Sıvı polidimetil siloksan
Molekül formülü	-	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> OSi
Viskozitesi (25 °C)	mPa.s	12500
Yoğunluğu (25 °C)	g/cm <sup>3</sup>	0,963
Erime noktası	°C	-50
Kaynama noktası	°C	200
Etkin içerik	%	100
Suda çözünübilirliği	-	Çözünmez
$\text{H}_3\text{C} - \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} - \text{O} - \left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n - \text{O} - \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} - \text{CH}_3$		

Kil ilavesi dolgu maddesi olarak düşünülmüştür ve ilave edilen kütleler % olarak Tablo 3.4'te verilmektedir.

Tablo 3.4: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin % oranları

Kod	HDPE (%)	PP (%)	NC (%)	PDMS (%)	TOP (%)
HDPE	100	-	-	-	100
HDPE-PDMS	99	-	-	1	100
HDPE-05NC	94	-	5	1	100
HDPE-10NC	89	-	10	1	100
PP	-	100	-	-	100
PP-PDMS	-	99	-	1	100
PP-05NC	-	94	5	1	100
PP-10NC	-	89	10	1	100

Polietilen ve polipropilen malzemeler granül şeklindedirler. Granül malzeme CAS marka MW-II model hassas terazi yardımıyla tartılır (Şekil 3.3a). Tablo 3.4'teki gibi oranlar elde edilir. PDMS'in etkisini görmek için silikon yağsız ham ürün ve silikon yağlı ham ürün ayrı ayrı üretilmiştir. Karışım işlemi Heidolph marka RZR 2021 model mekanik karıştırıcı ile sağlanmıştır (Şekil 3.3b). İlave edilen dolgu maddeleri PDMS ile kaplanmış polimer granülleri üzerine yapışması mekanik karıştırıcı ile 200 rpm dönüş hızında 2 dakika karıştırılarak sağlanmıştır (Şekil 3.3c).



Şekil 3.3: (a) Hassas terazide tartım, (b) mekanik karıştırıcıda karıştırma ve (c) dolgu maddesi ilave edilmiş granüller

Karıştırma işleminde oranlar ayarlandıktan sonra PDMS, polimere göre kütlece %1 oranında ilave edilir. Daha sonra mekanik karıştırıcı ile silikon yağı tüm polimer matrise dağıtılır. Bu işlem 5 dakika kadar sürmektedir. Ardından yüzde oranına göre ilave edilmesi gereken nanokil, silikon yağı sürülmüş granül malzeme üzerine ilave edilir ve mekanik karıştırıcı da karışım işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem

için 2 dakika yeterli olmaktadır. Daha fazla süre karıştırmada ise granül üzerine yapışan nanokil granül üzerinden ayrılmakta ve dökülmektedir (Şekil 3.4).

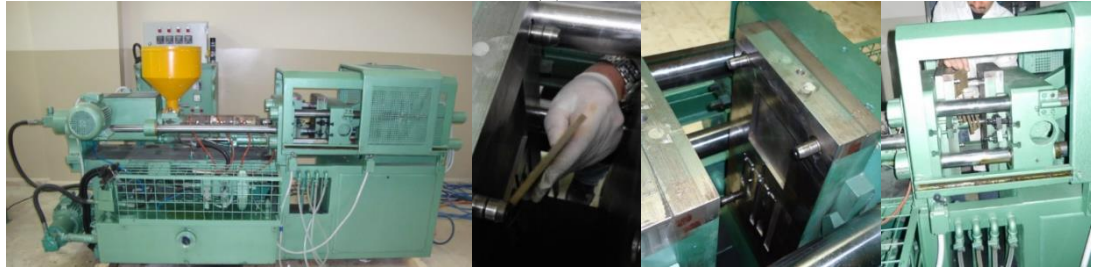


Şekil 3.4: Granül malzeme üzerine tutunan NC

Elde edilen karışımlar etüvde 60 °C'de 4 saat kadar bekletilmiştir (Şekil 3.5a). Sırası ile etüvden alınan karışımların plastik enjeksiyon makinesi ile üretimleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5b). Elde edilen granül-toz ön karışımların plastik enjeksiyon makinesinde 170-180-190-200 °C'de basım işlemleri gerçekleştirilmiştir.



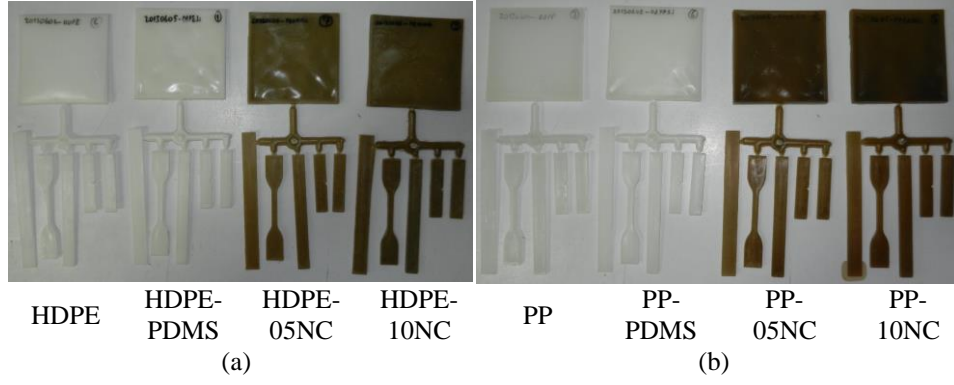
(a)



(b)

Şekil 3.5: (a) Polimer-tozun kurutulması ve (b) plastik enjeksiyonda üretim

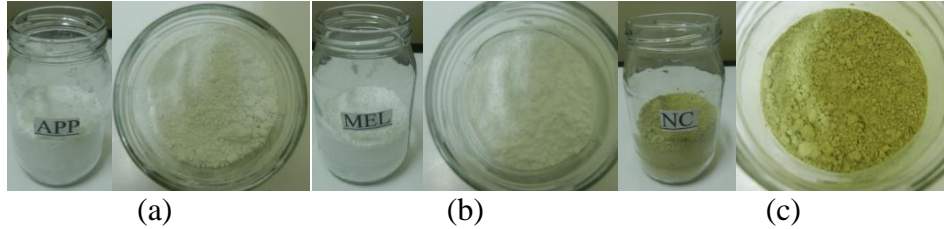
Katkısız HDPE ve PP, PDMS ilaveli HDPE ve PP ve kütlece %5 ve %10 ilaveli HDPE ve PP kompozitleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Her bir karışımdan 25 adet numune seti elde edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: (a) HDPE-NC nano kompoziti ve (b) PP-NC nano kompoziti

### 3.2.2 HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitleri

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) malzemeye farklı oranlarda amonyum polifosfat (APP), melamin (MEL) ve nanokil (NC) ilavesi yapılmıştır. Amonyum polifosfat katkısı Clariant firmasının Exolit AP 423 ticari ürünü, melamin katkısı DSM firmasının MelaminebyDSM ticari ürünü ve nanokil ise Nanokil İth. İhr. İnş. Tic. Ltd. Şti.'den tedarik edilmiştir (Şekil 3.7). APP ve MEL katkılarının teknik özellikleri Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da verilmiştir. Karışımların kütlece yüzde oranları Tablo 3.7'de verilmiştir.



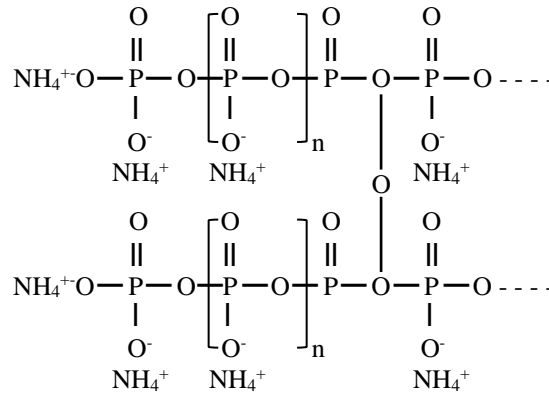
Şekil 3.7: APP, (b) MEL ve (c) NC hammaddeleri

Gerekli tartımların yapılması için kullanılan CAS marka MW-II model hassas terazi, polidimetil siloksanın granüle karıştırılması için gerekli Heidolph marka RZR 2021 model mekanik karıştırıcı, PETKİM arge müdürlüğünde bulunan polimer toz karışımını gerçekleştirmek için kullanılan Brabender marka Plasti-Corder PL2000 model L/D oranı 20 olan 18 mm vida çaplı 4 ısıtma bölgesi çift vidalı ekstrüder (Şekil 3.8) ve üretim işlemlerinin yapılabilmesi için plastik enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Yapılması planlanan reçeteler için gerekli üretimler iki ana işlemde gerçekleştirilmiştir. Bunlar sırası ile katkı maddesini polimer matrise homojen yayılmasını ve üretimi kolaylaştırmak için yapılan ön karışım ve sonrasında çift

vidalı ekstrüderde ön karışımı yapılan malzemelerin uygun sıcaklıklarda ergitilerek kompozit granül haline getirilmesi işlemidir.

Tablo 3.5: APP'ın teknik özellikleri [URL\_17]

Özellikleri	Test Metodu	Birimi	Tipik Değeri
Kimyasal formülü	-	-	$[\text{NH}_4\text{PO}_3]_n$ N > 1000
Fosfor	Oksitlenme çözeltisinden sonraki fotometre	%	31-32
Su/Nem	130 °C'de termogravimetrik analiz verileri	%	Maksimum 0,5
Azot	Elementel analiz	%	14-15
Yoğunluk	25 °C'de	g/cm <sup>3</sup>	1,9
Yığın yoğunluğu	-	g/cm <sup>3</sup>	~0,7
Viskozitesi	25 °C'de %10 sıvı süspansiyon karışımında	mPa.s	Maksimum 100
pH değeri	%10'luk sıvı çözeltisinde potansiyometri	-	5-7,5
Suda çözünübilirlik	25 °C'de %10'luk sıvı çözeltisinde filtreleme işleminden sonra gravimetre	%	Maksimum 1
Bozunma sıcaklığı	Amonyumun başlangıç ayrışımı	°C	>275
Ortalama partikül boyutu (D50)	-	µm	~8
Tane boyut dağılımı	Hava püskürtme ile eleme	µm	<24



Şekil 3.8: Brabender Plasti-Corder PL2000 çift vidalı ekstrüder

Tablo 3.6: MEL'in teknik özellikleri [URL\_18]

Özellikleri	Test Metodu	Birimi	Tipik Değeri
Partikül boyutu	MSC-TIS 009	µm	350>
Serbest yığın yoğunluğu	MSC-TIS 006	g/cm <sup>3</sup>	0,65-0,75
Oturtulmuş yığın yoğunluğu	MSC-TIS 006	g/cm <sup>3</sup>	0,9-1
Yoğunluk	-	g/cm <sup>3</sup>	1,573
Suda çözünürlüğü (20 °C)	-	g/100 ml	0,3
Erime noktası	-	°C	354
pH değeri (%10'luk su çözeltisinde)	MSC-TIS 007	-	8,2-9,4
Reaktifliği	MSC-TIS 012	min	45-55
Melamin oranı	MSC-TIS 002	%	Minimum 99,8
Su oranı	MSC-TIS 174	%	Maksimum 0,1
Kül oranı	MSC-TIS 001	%	Maksimum 0,01
Demir oranı	MSC-TIS 004	mg/kg	Maksimum 1

Tablo 3.7: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin % oranları

Kod	HDPE (%)	PP (%)	(%20)		NC (%)	PDMS (%)	TOP (%)
			APP (%)	MEL (%)			
HDPE	100	-	-	-	-	-	100
HDPE-Ekstrüde	100	-	-	-	-	-	100
HDPE-PDMS	99	-	-	-	-	1	100
HDPE-20APP	78	-	20	-	-	2	100
HDPE-20APP3MEL1	78	-	15	5	-	2	100
HDPE-20APP2MEL1	78	-	13,33	6,67	-	2	100
HDPE-NC	96	-	-	-	2	2	100
HDPE-20APPNC	76	-	20	-	2	2	100
HDPE-20APP3MEL1NC	76	-	15	5	2	2	100
HDPE-20APP2MEL1NC	76	-	13,33	6,67	2	2	100
PP	-	100	-	-	-	-	100
PP-Ekstrüde	-	100	-	-	-	-	100
PP-PDMS	-	99	-	-	-	1	100
PP-20APP	-	78	20	-	-	2	100
PP-20APP3MEL1	-	78	15	5	-	2	100
PP-20APP2MEL1	-	78	13,33	6,67	-	2	100
PP-NC	-	96	-	-	2	2	100
PP-20APPNC	-	76	20	-	2	2	100
PP-20APP3MEL1NC	-	76	15	5	2	2	100
PP-20APP2MEL1NC	-	76	13,33	6,67	2	2	100



Yapılacak karışım için gerekli granül hammaddesinin tartım işlemi yapıp üzerine Tablo 3.7'deki belirtilen miktarlarda PDMS ilavesi yapılarak mekanik karıştırıcı ile 200 rpm hızda 5 min karıştırılıp granül yüzeyine tamamen yayılması sağlanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Granül-polidimetil siloksanın karışım işlemi

İlave edilecek olan katkı maddeleri kavanoz içerisinde tartım işlemleri gerçekleştirilip katkı maddeleri kendi içerisinde 5 dakika boyunca karıştırılmıştır (Şekil 3.10). Karıştırılan toz malzemeler yağlanan granül malzemeler üzerine boşaltılıp mekanik karıştırıcı ile 200 rpm hızda 5 dakika boyunca karıştırılıp ön karışım işlemi tamamlanmıştır. Şekil 3.11'de bütün ön karışımların etiketlenmesi ve son görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.10: Katkı ve dolgu maddelerinin tartımı ve karıştırılması

HDPE katkılı ürünler için vida hızı 40 rpm, sırası ile besleme bölgesinden çıkış bölgesine kadar 170-180-190-200 °C sıcaklıklarda ekstrüde edilerek su banyosunda soğutulup kırıcıda granül haline getirilmiştir. PP katkılı ürünler ise 45 rpm hızda, sırası ile besleme bölgesinden çıkış bölgesine kadar 170-180-190-200 °C



sıcaklıklarda ekstrüde edilerek su banyosunda soğutulup kırıcıda granül haline getirilmiştir (Şekil 3.12).

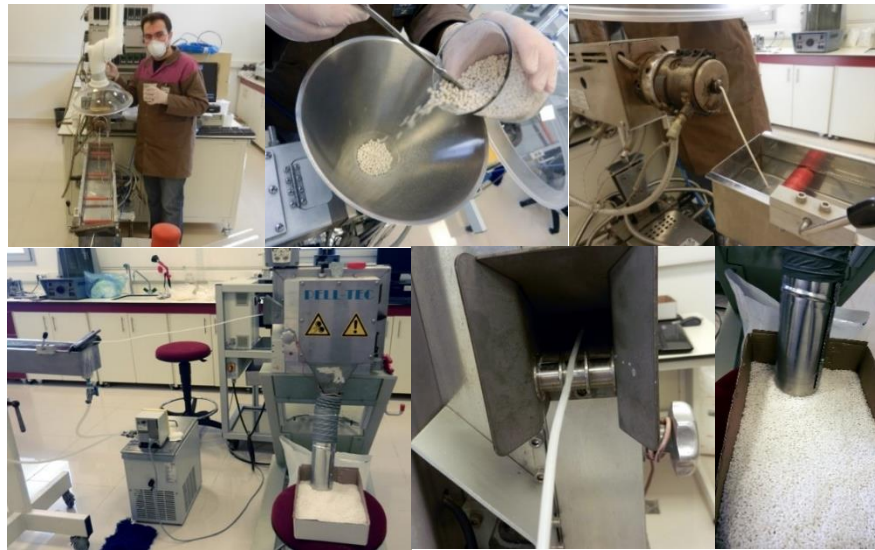


(a)



(b)

Şekil 3.11: (a) HDPE ve (b) PP APP-MEL-NC-PDMS ön karışımları



Şekil 3.12: Granül-toz malzeme karışımının ekstrüderde karıştırılması

Ekstrüde edilmiş granüllerin görüntüsü Şekil 3.13'te verilmiştir. Ekstrüderde karıştırılan granüller plastik enjeksiyon makinesinde basılmadan önce 60 °C'de 4 saat etüvde kurutulmuştur. Elde edilen granül karışımların plastik enjeksiyon makinesinde 170-180-190-200 °C'de basım işlemleri gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.13: (a) HDPE ve (b) PP APP-MEL-NC-PDMS karışımlarının ekstrüde edilmiş hali

Üretilen numuneler Şekil 3.14'te verilmiştir. Her karışımdan toplamda 25 adet numune seti üretilmiştir.





(a)



(b)

Şekil 3.14: (a) HDPE ve (b) PP APP-MEL-NC-PDMS kompozitler

### 3.2.3 HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitleri

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) polimerlerine kabaran alev geciktirici (KAG) sistem olarak amonyum polifosfat (APP) ve pentaeritritol (PER) kullanılmıştır. PER'ün kimyasal yapısı ve içeriği Tablo 3.8'de verilmiştir. PER hammaddesi MKS Marmara Entegre Kimya Sanayi A.Ş.'nin Bursa üretim tesislerinden temin edilmiştir.

Tablo 3.8: PER'ün teknik özellikleri [URL\_19]

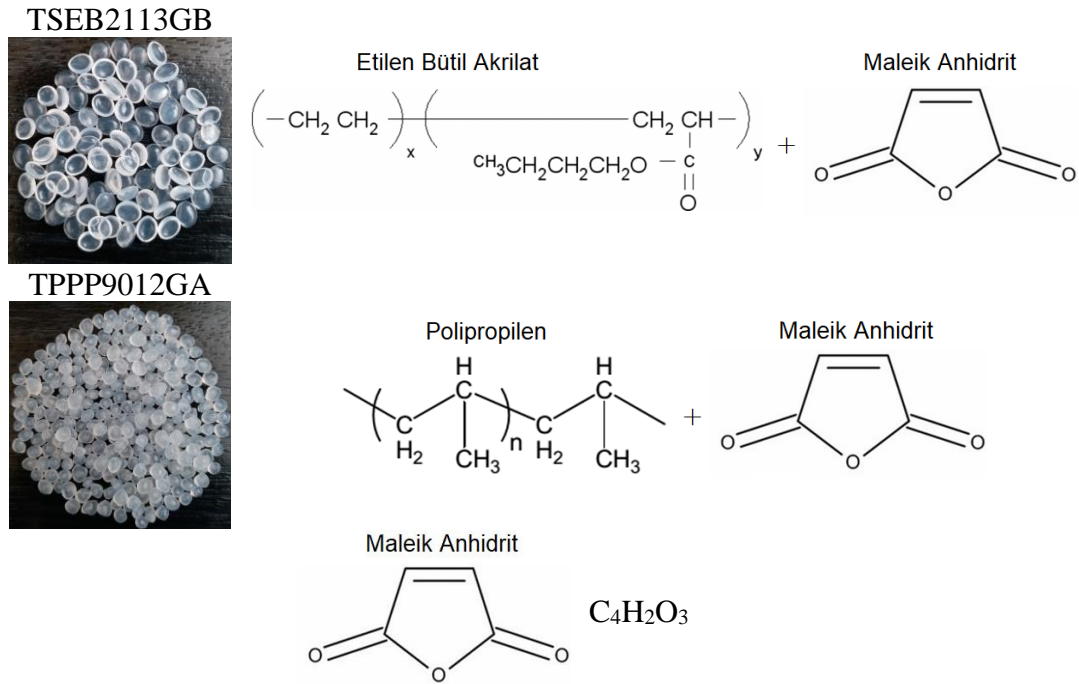
Kimyasal Bileşimi	Özellikleri	Birimi	Değer
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{HOH}_2\text{C} - \text{C} - \text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	Monopentaeritritol	%	97,1
	Hidroksil muhtevası	%	49
	Erime noktası	°C	257
	Nem	%	0,25
	Kül, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> olarak	%	0,005
	Renk, ftalat ester, Gardner	-	1
	Tane iriliği, 0,1 mm üzeri	%	55
	Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	1,4

APP ve PER katkısının polimer matris içerisinde tutunması ve daha homojen dağılması için maleik anhidrit (MAH) içerikli katkıları kullanılmıştır. HDPE malzeme

için TSEB2113GB ve PP malzeme için ise TPPP9012GA ticari ürünü BYK Katkı maddeleri ve Ekipmanları Şirketinden Wesel/Almanya'dan tedarik edilmiş olup Tablo 3.9'da fiziksel özellikleri verilmiştir. TSEB 2113GB maleik anhidritle fonksiyonelleştirilmiş etilen bütül akrilat (EBA) ve TPPP 9012GA ise maleik anhidritle foksionelleştirilmiş PP katkısıdır (Şekil 3.15).

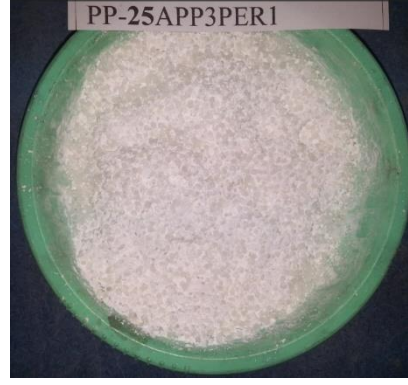
Tablo 3.9: TSEB2113GB ve TPPP9012GA katkılarının özellikleri [URL\_20 ve URL\_21]

Özellikleri	Metodu	Birimi	TSEB 2113GB	TPPP 9012GA
Hacimsel erime akış hızı (190 °C, 2160 g)	ASTM D1238	cm <sup>3</sup> /10d	3-8	-
Kütlesel erime akış hızı (190 °C, 2160 g)	ASTM D1238	g/10d	-	50-110
Kurutma kaybı (3 h, 110 °C)	ASTM C566	%	<0,5	<0,5
MAH içeriği	-	%	0,6	>0,9
Tane şekli	-	-	Granül	Granül



Şekil 3.15: TSEB2113GB ve TPPP9012GA katkılarının kimyasal yapısı [URL\_22 ve URL\_23]

Hassas terazi yardımıyla miktarları ayarlanan toz karışımları önce bir kap içerisinde karıştırılıp belirlenen polimer toz karışımı ön karışım için bir kaba konulup el ile mekanik karıştırılıp poşetler içerisine konmuştur. El ile karıştırılmış polimer-toz karışımının örnek görüntüsü Şekil 3.16'da verilmiştir. HDPE ve PP granüllere ilave edilecek maleik anhidritli polimer katkısı (SC), APP ve PER miktarları Tablo 3.10'da kütlege yüzde olarak verilmiştir.



Şekil 3.16: El ile karıştırılmış polimer-toz karışımı

Kabaran alev geciktirici sistemi APP:PER(3:1) olacak şekilde ayarlanmıştır. Polimer karışımına teknik data dosyasındaki tavsiye oranlarında HDPE’de kütlece %5’i, PP’de ise kütlece %2’si kadar SC ilavesi yapılmıştır.

Tablo 3.10: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin % oranları

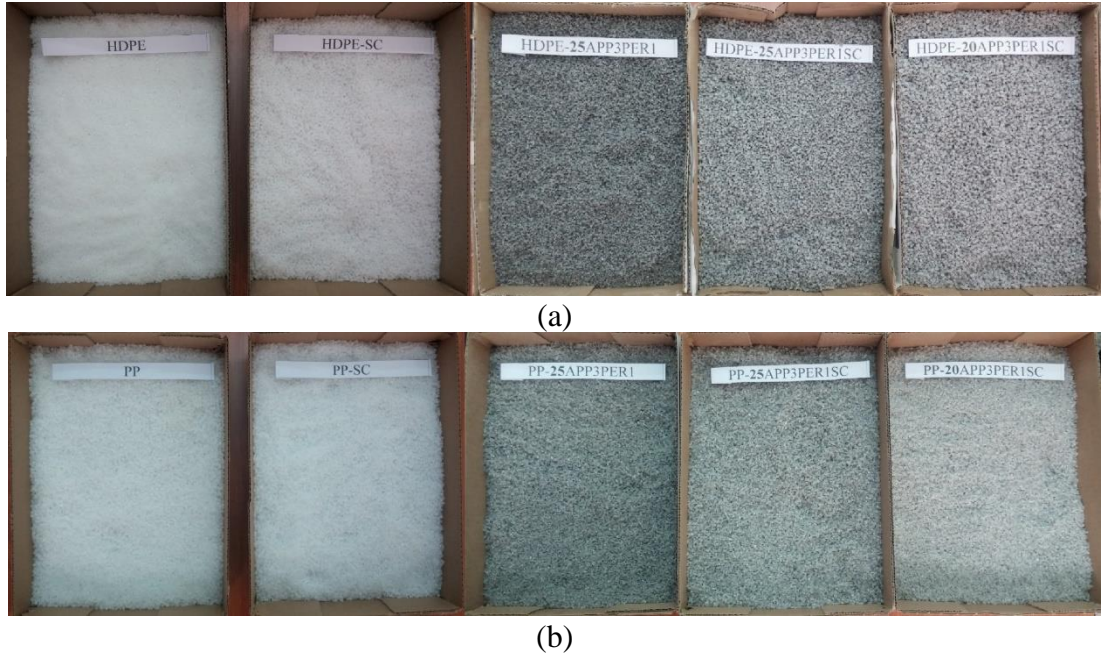
Kod	HDPE (%)	PP (%)	APP:PER (3:1) (%)	SC (TSEB 2113 GB) (%)	SC (TPPP 9012 GA) (%)	TOP (%)
HDPE	100	-	-	-	-	100
HDPE-Ekstrüde	100	-	-	-	-	100
HDPE-SC	95	-	-	5	-	100
HDPE-25APP3PER1	75	-	25	-	-	100
HDPE-25APP3PER1SC	71,25	-	25	3,75	-	100
HDPE-20APP3PER1SC	76	-	20	4	-	100
PP	-	100	-	-	-	100
PP-Ekstrüde	-	100	-	-	-	100
PP-SC	-	98	-	-	2	100
PP-25APP3PER1	-	75	25	-	-	100
PP-25APP3PER1SC	-	73,5	25	-	1,5	100
PP-20APP3PER1SC	-	78,4	20	-	1,6	100

Ön karışımları yapılan granül-toz karışımları PETKİM Arge Müdürlüğü’nde bulunan Brabender marka Plasti-Corder PL2000 model L/D oranı 20 olan 18 mm vida çaplı 4 ısıtma bölgeli çift vidalı ekstrüderde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17). HDPE katkılı ürünler için vida hızı 50 rpm hızda, sırası ile besleme bölgesinden çıkış bölgesine kadar 170-180-190-200 °C sıcaklıklarda ekstrüde edilerek su banyosunda soğutulup kırıcıda granül haline getirilmiştir. PP katkılı ürünler ise 50 rpm hızda, sırası ile besleme bölgesinden çıkış bölgesine kadar 170-180-190-200 °C sıcaklıklarda ekstrüde edilerek su banyosunda soğutulup kırıcıda granül haline getirilmiştir. Granül haline gelmiş karışımlar Şekil 3.18’de gösterilmiştir.





Şekil 3.17: Granül-toz malzeme karışımının ekstrüderde karıştırılması



Şekil 3.18: (a) HDPE ve (b) PP APP-PER-SC karışımlarının ekstrüde edilmiş hali

Ekstrüderde karıştırılan granüller plastik enjeksiyon makinesinde basılmadan önce etüvde 60 °C’de 4 saat kurutulmuştur. Plastik enjeksiyon makinesinde 170-180-190-200 °C’de basım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.19’da üretilmiş numunelerin görüntüleri verilmiştir. Her bir reçeteden 25 adet numune seti üretimi gerçekleştirilmiştir.



HDPE HDPE- HDPE- HDPE- HDPE- HDPE-  
Ekstrüde SC 25APP3 25APP3 20APP3  
PER1 PER1SC PER1SC

(a)



PP PP- PP- PP- PP- PP-  
Ekstrüde SC 25APP3 25APP3 20APP3  
PER1 PER1SC PER1SC

(b)

Şekil 3.19: (a) HDPE ve (b) PP APP-PER-SC kompozitleri

### 3.3 Fiziksel ve Mekanik Deneyler

Üretilen polimer kompozitler fiziksel ve mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneylerden yoğunluk hesapları, sertlik ölçüm deneyleri, FTIR analizleri, Izod darbe deneylerinde normal koşullarda gerçekleştirilmiş deneylerde, SEM içyapı görüntülemeleri, çekme deneyleri, üç nokta eğme deneyleri ve yırtılma deneyleri öncesinde Nüve marka TK252 model şartlandırıcı ünitesinde (Şekil 3.20) ASTM D618 standardına göre 7 mm kalınlık altı üretilmiş plastikler için 23 °C ve %50 bağıl nemde 40 saat bekletilmiştir.



Şekil 3.20: Nüve TK 252 şartlandırıcı ünitesi

#### 3.3.1 Yoğunluk hesabı

Her bir numunenin 3 boyutu da kumpas ile ölçülüp hacimleri hesaplanmıştır (Şekil 3.21). Hassas terazi ile kütleleri ölçülmüş ve hacimleri hesaplanan numunelerin yoğunlukları kütle-hacim oranı ile denklem (3.1)'e göre hesaplanır. Her bir üretimden 6 adet numune hesaplanmış olup ortalamaları, en yüksek ve en düşük değerleri ile birlikte standart sapma değerleri verilmiştir. Yoğunluk hesabı için kullanılan numunenin boyutları Şekil 3.22'de verilmiştir.

$$\rho = m / V \quad (3.1)$$

$\rho$ : Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

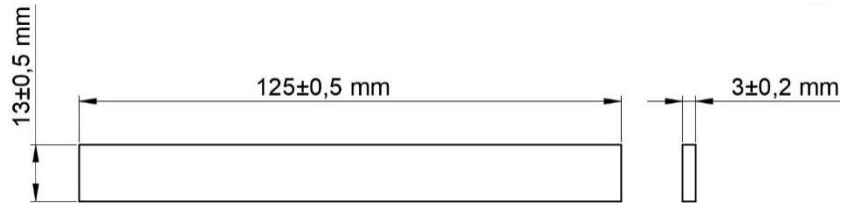
$m$ : Kütle (g)

$V$ : Hacim ( $\text{cm}^3$ )





Şekil 3.21: Numune boyutlarının ölçülmesi ve tartılması



Şekil 3.22: Yoğunluk hesabı için kullanılan numune boyutları

### 3.3.2 Sertlik ölçüm deneyi

Polimerlerin sertlikleri üretim şekline, ilave edilen katkı ve dolgu maddesine ve gördüğü ısıl işlemlere göre değişmektedir. Sertlik ölçümleri ASTM D2240 standardına göre X-F Shore D sertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.23).

Sertlik ölçüm cihazının batıcı uç kısmı ölçülecek malzemenin yüzeyine batırılarak yoğunluk ölçülen numunelerden ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her bir üretimden 6 adet numuneye sertlik ölçüm deneyi gerçekleştirilmiş olup ortalamaları, en yüksek ve en düşük değerleri ve standart sapma değerleri verilmiştir.

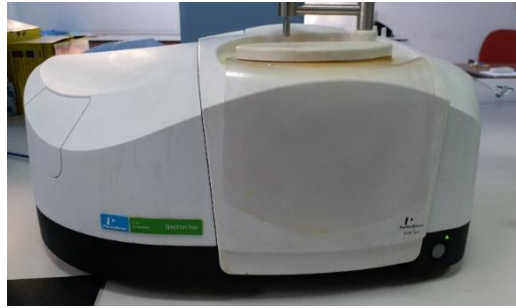


Şekil 3.23: X.F Shore D sertlik ölçüm cihazı ve ölçüm alma

### 3.3.3 FTIR analizi

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FTIR) polimerlerin karakterizasyonu için kullanılan bir tekniktir. Kızılötesi tekniğinde, moleküllerdeki kimyasal bağların titreme, eğilme, bükülme ve sallanma hareketleri için gerekli olan enerji infrared ışınların elektro-manyetik enerjisinden absorblanır (Sırımoğlu 2010).

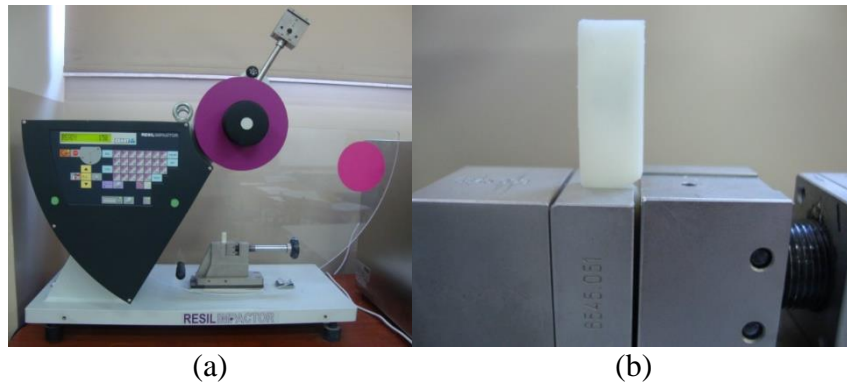
Organik bileşiklerin yapılarındaki fonksiyonel gruplar ve iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu ve bağlanma yerleri belirlenebilmektedir. Deneyle Perkin Elmer marka Spectrum Two model cihazda  $400\sim 4000\text{ cm}^{-1}$  dalga boylarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24: Perkin Elmer Spectrum Two FTIR spektrometresi

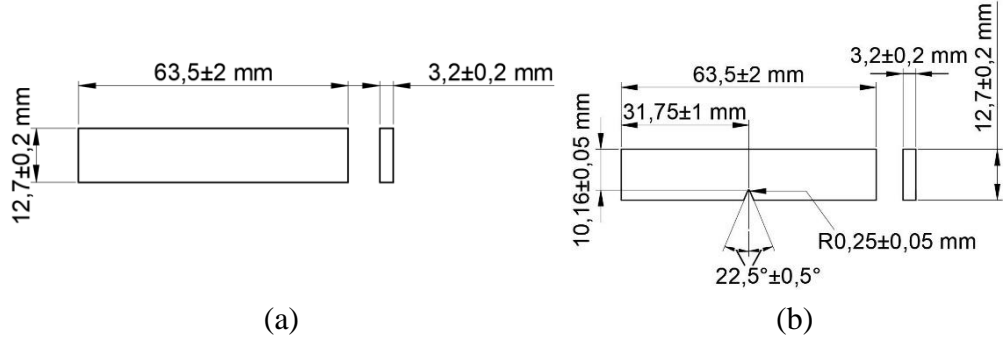
### 3.3.4 Izod darbe deneyi

Üretilen çentiksiz ve çentikli numuneler Izod darbe deneyine tabi tutulmuştur. Izod darbe deneyleri 7,5 J'lük çekiç ile CEAST marka test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.25).



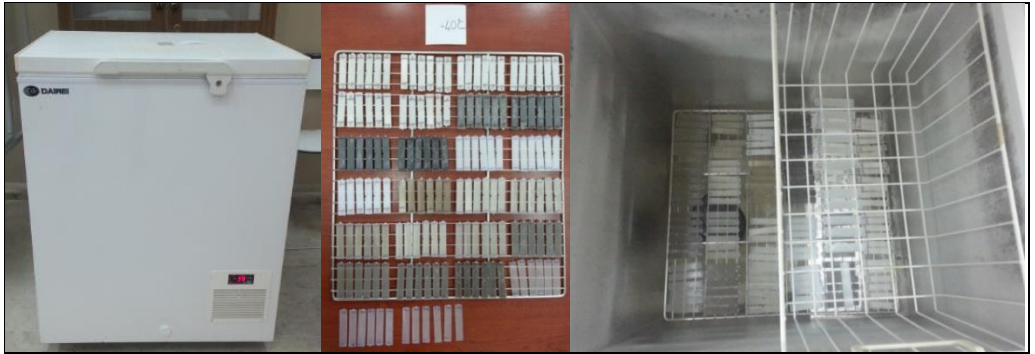
Şekil 3.25: CEAST marka darbe test cihazı ve numunenin yerleştirilmesi

Deney koşulları ve numune boyutlarında ASTM D256 standardına uyulmuştur. Numune boyutları Şekil 3.26’da verilmiştir. Çentikli numune olarak 2,54 mm derinliğinde 45° açılı “V” kanallı numune ve çentiksiz numune olarak ise aynı boyutlarda çentiksiz numune kullanılmıştır (Şekil 3.26).



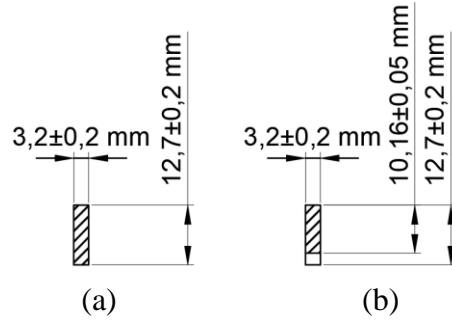
Şekil 3.26: (a) Çentiksiz ve (b) çentikli numune boyutları

Çentiksiz kırılmayan HDPE numunelerde 7,5 J ile numuneler kırılmamış olup çekiç numuneyi eğip diğer tarafa geçmiştir. Vurucu çekiçin enerji değeri 25 J’a çıkartılıp tekrar denenmiştir benzer şekilde çekiç numuneyi eğip diğer tarafa geçmiştir. Şartlandırmalar 40 saat boyunca 23 °C, 0 °C, -20 °C ve -40 °C’de yapılmıştır. 0 °C ve altı sıcaklıklar endüstriyel derin dondurucuda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.27). Beş adet, dört farklı koşulda şartlandırılmış numunelerin Izod darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.27: Numunelerin derin dondurucuya yerleştirilmesi

Cihazdan absorbe edilen enerji değerleri Joule (J) cinsinden alınıp kesit alanına (Şekil 3.28) bölünerek darbe direnci denklem (3.2)’ye göre hesap edilmiştir. Sonuçların ortalamaları alınıp en yüksek ve en düşük değerler ve standart sapma değerleri sonuçlar kısmında verilmiştir.



Şekil 3.28: (a) Çentiksiz ve (b) çentikli Izod darbe deneyi numune kesitleri

$$DD = E / A \quad (3.2)$$

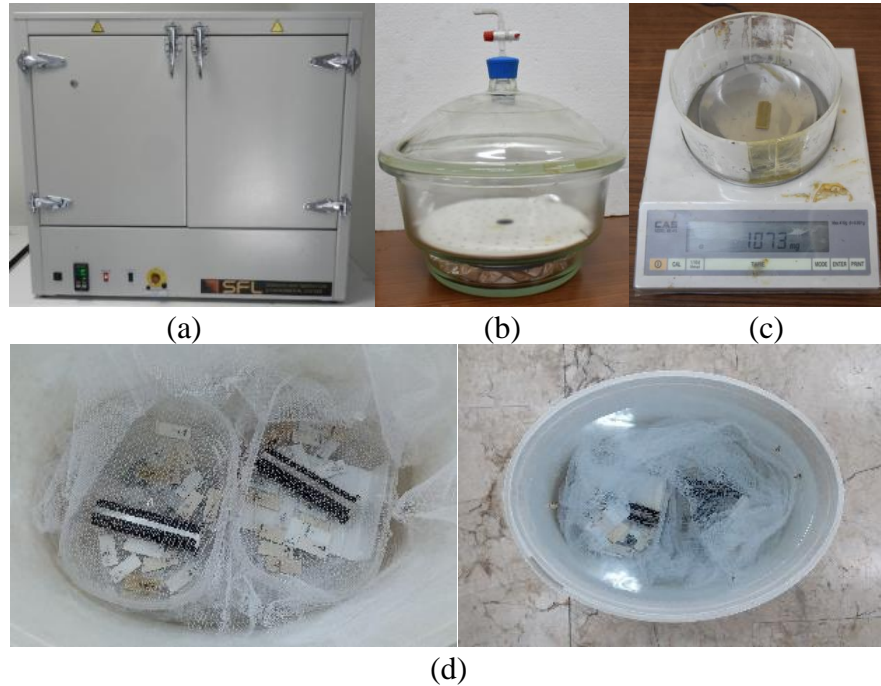
DD: Darbe direnci (kJ/m<sup>2</sup>)

E: Absorplanan enerji (kJ)

A: Kesit alanı (m<sup>2</sup>)

### 3.3.5 Su absorpsiyon deneyi

Polimer malzemeler günlük hayatta suya maruz kaldığı için bu testin gerçekleştirilmesi de önem arz etmektedir. Plastik malzemenin su içerisine tamamen daldırılması ile belirli şartlarda ve sürelerde absorbe ettiği su miktarı su absorpsiyon deneyi ile gerçekleştirilir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29: (a) Fırın, (b) desikatör, (c) hassas terazi ve (d) saf suya daldırma

Üretilen kompozitlerden beş adet çentiksiz Izod darbe deneyi numunelerinden kullanılmıştır. Sonuçların ortalamaları alınıp en yüksek ve en düşük değerler sonuçlar kısmında verilmiştir. ASTM D570 standardına göre testten önce 50 °C’de Şekil 3.29(a)’daki fırında 24 saat boyunca tutulduktan sonra 23 °C’de desikatörde soğutulup kütleleri 0,001 g hassasiyetinde tartılmıştır (Şekil 3.29(b) ve Şekil 3.29(c)). Ardından 24 saat boyunca saf suya daldırılmıştır (Şekil 3.29(d)). Sonrasında numuneler çıkartılıp yüzeyleri kuru bez ile silinip hızlıca tartılmıştır. Kütle kayıp miktarları yüzde olarak denklem (3.3)’e göre hesaplanmıştır.

$$W (\%) = [(W_1 - W_0) / W_0] \cdot 100\% \quad (3.3)$$

W: Su absorpsiyon yüzdesi (%)

W<sub>0</sub>: İlk ölçülen kütle -kurutulduktan sonra- (g)

W<sub>1</sub>: Son ölçülen kütle -suya daldırıldıktan sonra- (g)

### 3.3.6 SEM içyapı görüntüleme

ZEISS marka Supra 40VP model alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) ile iç yapı incelemesi gerçekleştirildi (Şekil 3.30). Her numuneden 100x, 500x, 1000x ve 5000x büyütmelerde, SE2 ve ASB detektörde sırasıyla 20 kV ve 5 kV voltajda kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm numunelerin enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analizleri gerçekleştirilmiş olup yüksek oranlarda NC, MEL, APP ve PER katkılı numunelerin haritalama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Izod darbe deneylerinde -40 °C’de kırılan çentikli numunelerin kırık yüzeyinden Şekil 3.30’da gösterilen Quorum marka Q150R ES model SEM/TEM kaplama cihazında altın-paladyum kaplanarak inceleme yapılmıştır.

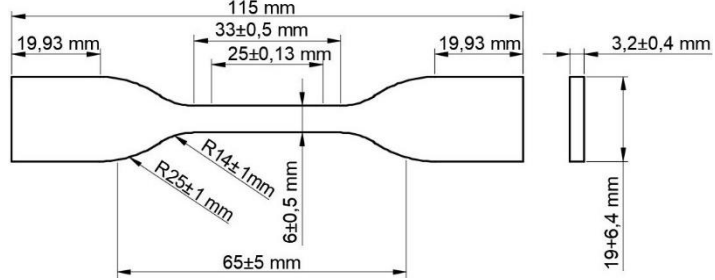


Şekil 3.30: (a) ZEISS Supra 40VP alan SEM cihazı ve (b) Quorum marka Q150R ES model SEM/TEM kaplama cihazı



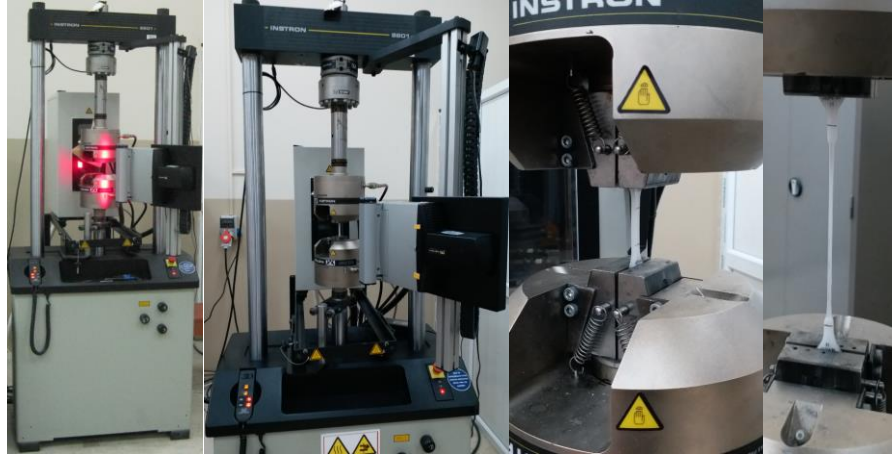
### 3.3.7 Çekme deneyi

Üretilen numuneler çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deney koşulları ve numune boyutlarında ASTM D638 standardına uyulmuştur. Numuneler ASTM D638 standardında verilen Tip 4 boyutunda üretilmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31: Çekme deneyi numune boyutları

Şartlandırmalar 40 saat boyunca 23 °C sıcaklık ve %50 bağıl nemde gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri 50 kN yük kapasiteli Instron 8801 universal çekme-basma test cihazında 50 ± 5 mm/min çekme hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32: Instron 8801 universal çekme-basma test cihazı

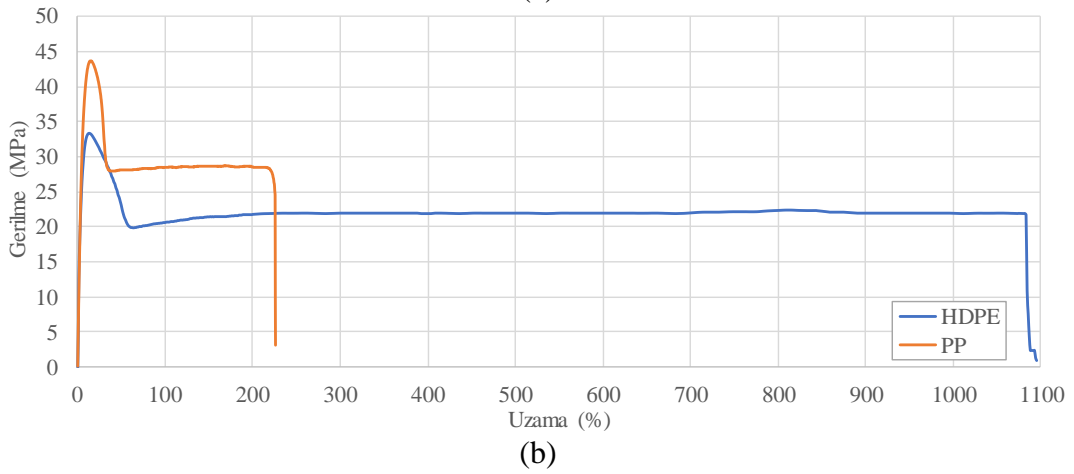
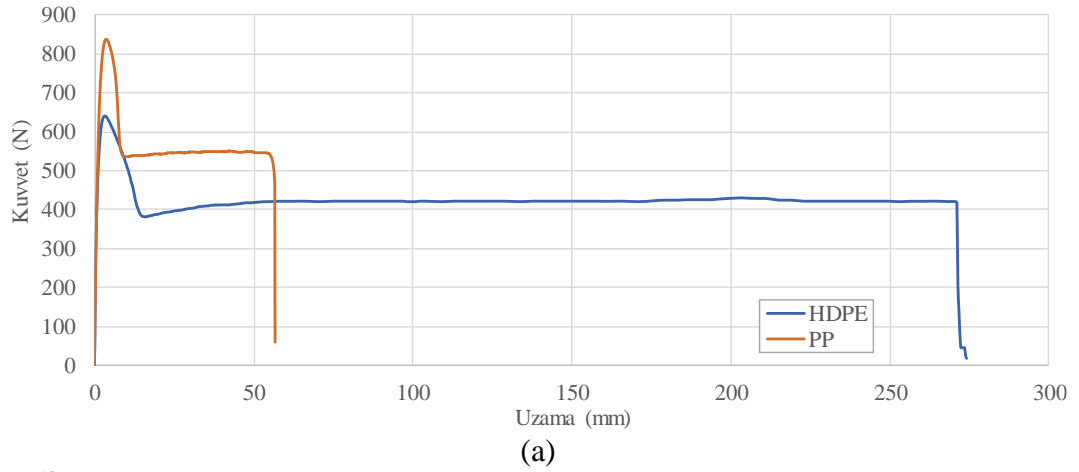
Her bir reçeteden 6 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarından çekme dayanımı, elastisite modülü, kopma uzaması ve tokluk değerleri hesaplanmıştır. Ortalama değerleri, en yüksek ve en düşük değerleri ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Katkısız HDPE malzemeye deneme amaçlı Şekil 3.33'teki gibi soldan sağa doğru 500 mm/min, 50 mm/min ve 5 mm/min hızlarda deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.33: Farklı çekme hızlarında numunelerde oluşan deformasyonlar

Şekil 3.34'te HDPE ve PP malzemelerin kuvvet-uzama ve gerilme-uzama grafikleri verilmiştir. En uygun çekme hızı olarak 50 mm/min değeri tüm deneylerde uygulanmıştır.



Şekil 3.34: HDPE ve PP malzemelerin (a) Kuvvet (N) - Uzama (mm) ve (b) Gerilme (MPa) - Uzama (%) eğrileri

Çekme dayanımının hesabı kuvvet-uzama eğrisinden bulunan maksimum kuvvetin çekme numunesinin dar kesit alanına bölünmesi ile denklem (3.4)'e göre hesaplanmıştır. Denklem (3.5)'te ise kesit alan hesabı verilmiştir.

$$\sigma_{\text{ç}} = F_{\text{max}} / A_{\text{ç}} \quad (3.4)$$

$$A_{\text{ç}} = t \cdot w \quad (3.5)$$

$\sigma_{\text{ç}}$ : Çekme dayanımı (MPa)

$F_{\text{max}}$ : Kuvvet-uzama eğrisinden belirlenen maksimum kuvvet değeri (N)

$A_{\text{ç}}$ : Çekme gerilmesi için hesaplanan alan (mm<sup>2</sup>)

$w$ : Çekme numunesinin dar bölgesinin genişliği (mm)

$t$ : Çekme numunesinin dar bölgesinin kalınlığı (mm)

Uzama değeri denklem (3.6)'ya göre belirlenmiştir. Maksimum uzama miktarı eğrinin sonlandığı maksimum uzama değerindeki değerdir. Bu değer malzemenin aynı zamanda koptuğu uzama miktarıdır.

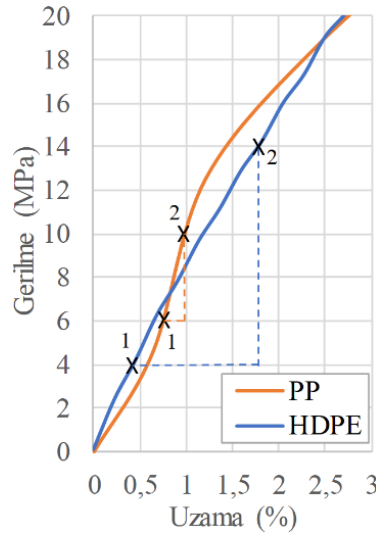
$$\varepsilon = [(L_1 - L_0) / L_0] \cdot 100 \quad (3.6)$$

$\varepsilon$ : Uzama oranı (%)

$L_1$ : Malzemenin çekme deneyindeki son boyu (mm)

$L_0$ : Malzemenin çekme öncesindeki ilk boyu -ASTM D638'e göre 25 mm- (mm)

Gerilme-uzama grafiğinden malzemenin elastik bölgesinde lineer kabul edilen doğrunun eğiminden elastisite modülü hesabı yapılmıştır (Şekil 3.35). Çekmeye göre elastisite modülünün hesabı denklem (3.7)'de verilmiştir.



Şekil 3.35: HDPE ve PP malzemelerin elastik bölgeleri



$$E_t = [(\sigma_2 - \sigma_1) / (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)] \cdot 100 \quad (3.7)$$

$E_t$ : Çekme durumuna göre elastisite modülü (MPa)

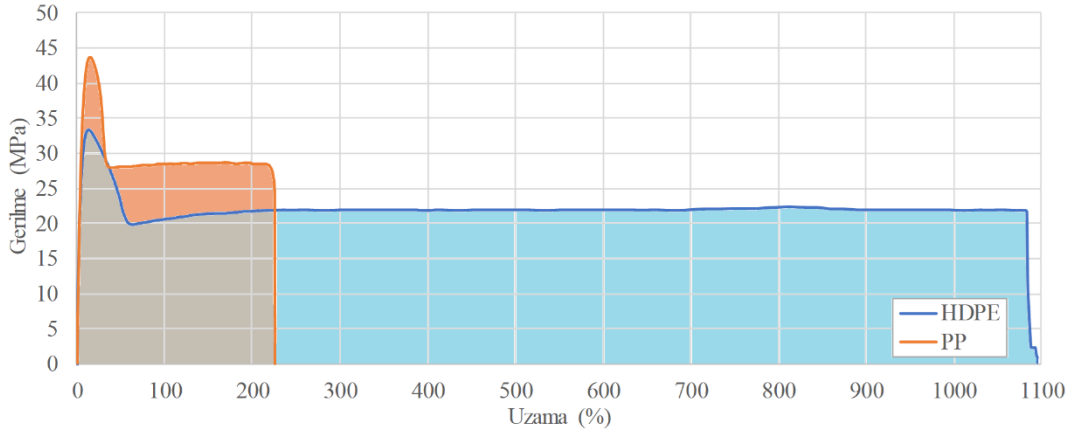
$\sigma_1$ : 1 noktasındaki gerilme değeri (MPa)

$\sigma_2$ : 2 noktasındaki gerilme değeri (MPa)

$\varepsilon_1$ : 1 noktasındaki uzama değeri (%)

$\varepsilon_2$ : 2 noktasındaki uzama değeri (%)

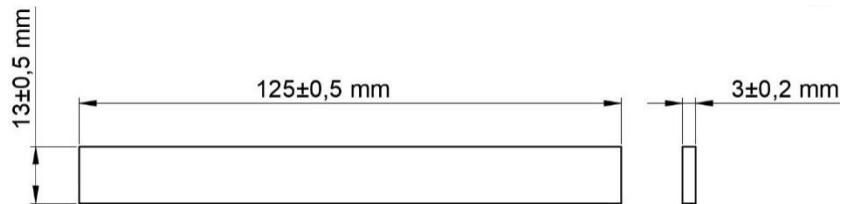
Şekil 3.36'da gerilme-uzama eğrilerinin altındaki alan excel programı yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer malzemenin tokluk değerini vermektedir. Birimi  $J/mm^3$  olarak verilmektedir.



Şekil 3.36: HDPE ve PP malzemelerin Gerilme (MPa) - Uzama (%) eğrileri

### 3.3.8 Üç nokta eğme deneyi

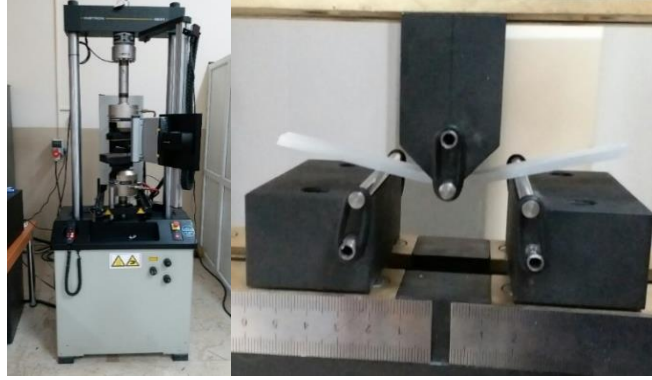
Üretilen polimer kompozitlerin eğilme davranışlarını tespit etmek için üç nokta eğme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin eğilme dayanımı ve eğilmedeki elastisite modülü değerleri tespit edilmiştir. ASTM D790 standardına göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları Şekil 3.37'de verilmiştir.



Şekil 3.37: Üç nokta eğme deneyi numune boyutları

Her bir kompozit üretim reçetesi için 6 adet numune test edilmiştir. Deneyler Instron 8801 universal yorulma test cihazında üç noktadan eğme aparatı ile

gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.38). İlerleme hızının hesabı için denklem 3.8 ve kiriş uzunluğunun hesabı için denklem 3.9 kullanılmıştır.



Şekil 3.38: HDPE malzemenin üç nokta eğme aparatına bağlanması

$$R = z \cdot L^2 / (6 \cdot d) \quad (3.8)$$

$$L = (16 \pm 1) \cdot d \quad (3.9)$$

R: İlerleme hızı (mm/min)

L: Kiriş uzunluğu

d: Kiriş kalınlığı (mm)

z: Şekil değiştirme hızı -z = 0,01 kabul edilmiştir- (mm/mm/min)

$L = 16 \cdot 3,2 = 51,2$  mm kiriş uzunluğu hesaplanmıştır.

$R = 0,01 \cdot 51,2^2 / (6 \cdot 3) = 1,4564$  mm/min ilerleme hızı hesaplanmıştır.

Toplam çökme miktarı hesabı için denklem 3.10 kullanılmıştır.

$$D = r \cdot L^2 / (6 \cdot d) \quad (3.10)$$

D: Orta noktanın deplasman miktarı (mm)

r: Gerinim -r = 0,05 kabul edilmiştir- (mm/mm)

L: Kiriş uzunluğu (mm)

d: Kiriş kalınlığı (mm)

$D = 0,05 \cdot 51,2^2 / (6 \cdot 3) = 7,2818$  mm toplam deplasman miktarı hesaplanmıştır.

Eğilme dayanımı hesabı için denklem 3.11 kullanılmıştır.

$$\sigma_e = 3 \cdot P \cdot L / (2 \cdot b \cdot d^2) \quad (3.11)$$

$\sigma_e$  : Eğilme dayanımı (MPa)

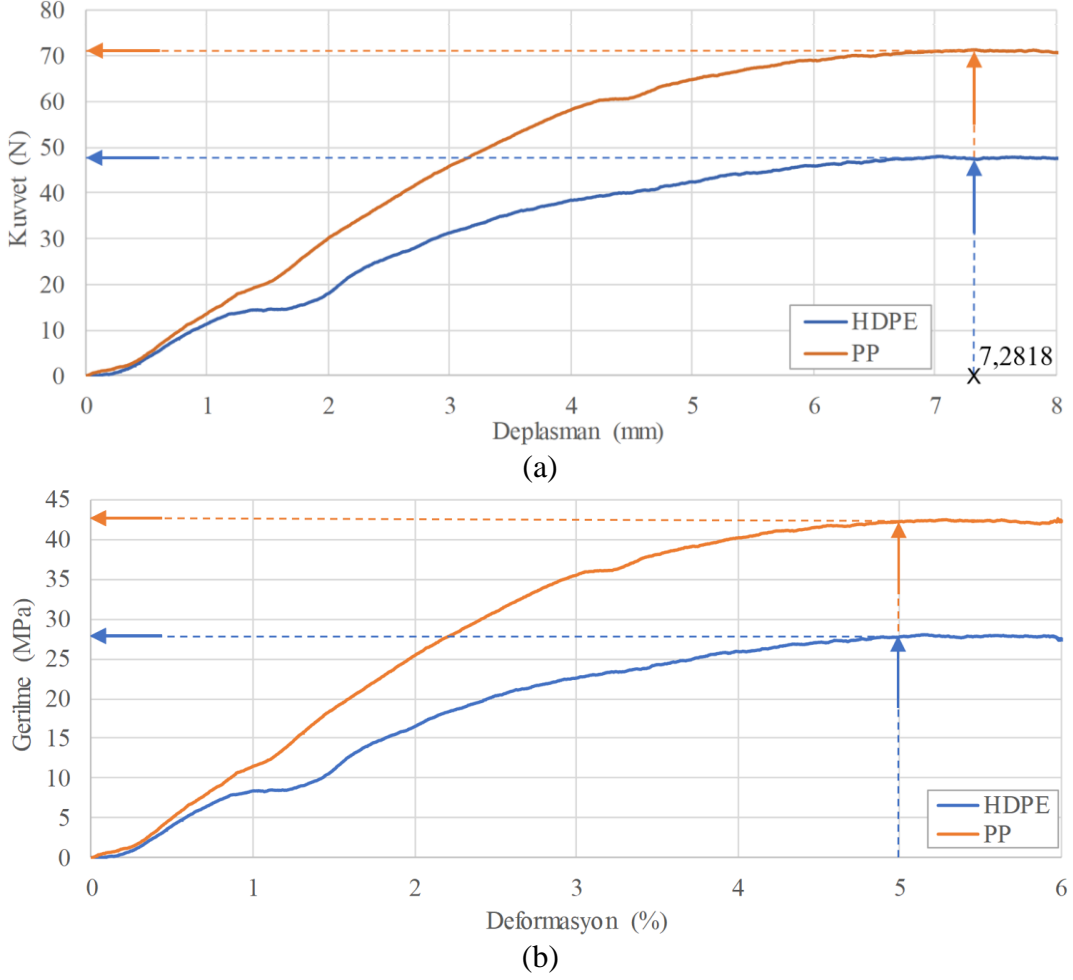
P: Kuvvet-Deplasman eğrisinden 7,2818 mm deplasmanda belirlenen kuvvet değeri (N)

L: Kiriş uzunluğu (mm)

b: Kiriş genişliği (mm)

d: Kiriş kalınlığı (mm)

Buna ek olarak eğilme dayanımı değeri Gerilme (MPa) - Deformasyon (%) değişimi grafiğinden %5 şekil değişimi için grafikten okunabilmektedir (Şekil 3.39).



Şekil 3.39: HDPE ve PP malzemelerinin (a) Kuvvet (N) - Deplasman (mm) ve (b) Gerilme (MPa) - Deformasyon (%) eğrileri.

Şekil değişimi hesabı için denklem 3.12 kullanılmıştır.

$$\epsilon_e = 6 \cdot D \cdot d \cdot 100 / L^2 \quad (3.12)$$

$\epsilon_e$ : Şekil değişimi (%)

D: Orta noktanın deplasman miktarı (mm)

L: Kiriş uzunluğu (mm)

d: Kiriş kalınlığı (mm)

$\epsilon_e = 6 \cdot 7,2818 \cdot 3 \cdot 100 / 51,2^2 = 5$  toplamda %5 şekil değişimindeki gerilme değeri eğilme dayanımı olarak belirlenmiştir.

Eğilmedeki elastisite modülü için ASTM D790 standardındaki tanjant elastisite modülünü veren denklem (3.13) kullanılmıştır. Kuvvet-deplasman eğrisinin

lineer bölgesinin eğiminin hesabı denklem 3.14'te verilmiştir. Şekil 3.40'ta kuvvet-deplasman eğrisinin lineer bölgesi gösterilmiştir.

$$E_f = L^3 \cdot n / (4 \cdot b \cdot d^3) \quad (3.13)$$

$E_e$ : Eğilme elastisite modülü (MPa)

$L$ : Kiriş uzunluğu (mm)

$b$ : Kiriş genişliği (mm)

$d$ : Kiriş kalınlığı (mm)

$n$ : Kuvvet-Deplasman eğrisinin lineer olduğu bölgenin eğimi (N/mm)

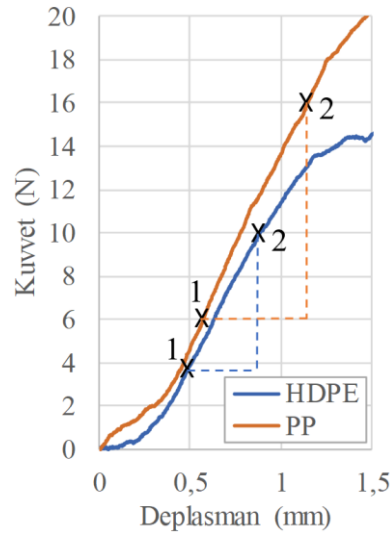
$$n = (P_2 - P_1) / (D_2 - D_1) \quad (3.14)$$

$P_1$ : 1 noktasındaki kuvvet değeri (N)

$P_2$ : 2 noktasındaki kuvvet değeri (N)

$D_1$ : 1 noktasındaki deplasman değeri (mm)

$D_2$ : 2 noktasındaki deplasman değeri (mm)

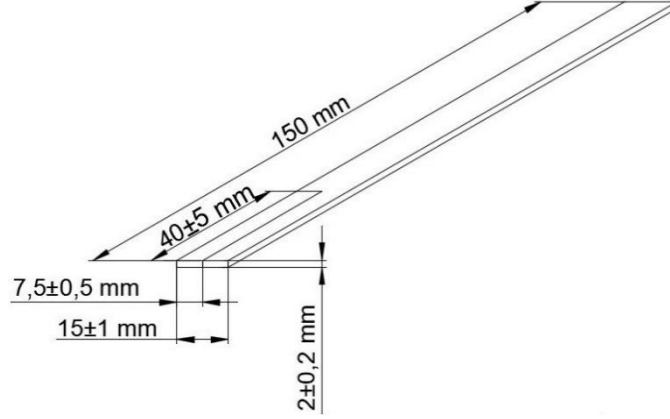


Şekil 3.40: HDPE ve PP malzemelerin Kuvvet (N) - Deplasman (mm) eğrileri

### 3.3.9 Yırtılma deneyi

Üretilen numuneler, yırtılma deneyine tabi tutulmuştur. Deney koşulları ve numune boyutlarında ASTM D624 standardına uyulmuştur. Her numune kumpas ile hassas bir şekilde ölçülmüştür. Numune boyutları Şekil 3.41'de verilmiştir. Numunenin bir ucunun tam ortasından 40 mm boyunda kesilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Şartlandırmalar 40 saat boyunca 23 °C sıcaklık ve %50 bağıl nemde gerçekleştirilmiştir. T tipi numune için 50±5 mm/min çekme hızı uygulanmıştır. Her

üretimden 6 adet numune bu deneye tabi tutulmuş olup en yüksek, en düşük ve ortalama değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.41: Yırtılma deneyi numune boyutları

Deneysel 10 kN yük kapasiteli Tinius Olsen marka H10KT üniversal çekme-basma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Numunenin çekme çenelerine bağlanması ve deneyin uygulama görüntüsü Şekil 3.42’de verilmiştir.



Şekil 3.42: Tinius Olsen H10KT üniversal test cihazı ve yırtılma numunesinin çenelere bağlanması

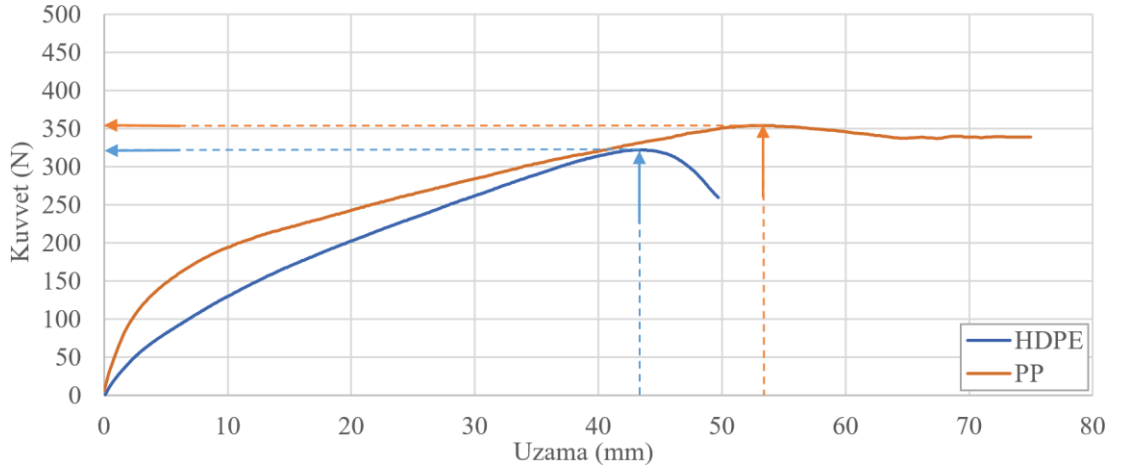
Yırtılma dayanımı denklem (3.15)’e göre hesaplanmıştır. En yüksek kuvvet değeri Şekil 3.43’te verilen kuvvet-uzama grafiğinden alınmıştır.

$$T_y = F / a \quad (3.15)$$

$T_y$ : Yırtılma dayanımı (N/mm)

$F$ : Kuvvet-uzama grafiğinden belirlenen en yüksek kuvvet değeri (N)

$a$ : Numune kalınlığı (mm)



Şekil 3.43: HDPE ve PP malzemelerin Kuvvet (N) - Uzama (mm) eğrileri

### 3.4 Termal ve Yanma Deneyleri

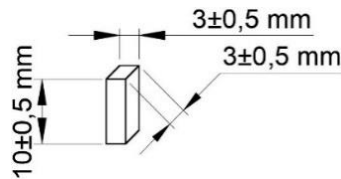
Üretilen polimer kompozitlerin termal özellikleri ve yanma davranışları belirlemek için ısı genleşme deneyi, ısı iletkenlik deneyleri, DSC analizleri, TGA analizleri, UL 94 deneyleri ve LOI deneyleri yapılmıştır. Deneylerin öncesinde Nüve marka TK252 model şartlandırıcı ünitesinde ASTM D618 standardına göre 7 mm kalınlık altı üretilmiş plastikler için 23 °C ve %50 bağıl nemde 40 saat bekletilmiştir.

#### 3.4.1 Isıl genleşme deneyi

Isıl genleşme katsayılarının tespiti için Linseis DMA-L77 dinamik mekanik analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.44). Deneyler Tablo 3.11’de belirtilen şartlarda gerçekleştirilmiş olup üç noktadan eğme numunelerinin ucundan falçata ve kıl testere ile  $10\pm 0,5$  mm boyunda kesilmiştir (Şekil 3.45).



Şekil 3.44: Linseis DMA-L77 dinamik mekanik analiz cihazı



Şekil 3.45: Isıl genleşme deney numunesi boyutları

Kesilen numuneler kumpas ile hassas bir şekilde ölçülmüş (Şekil 3.46) ve cihazın quartz ölçüm bölmesine yerleştirilmiştir. Cihazda bulunan quartz piston ile ölçüm gerçekleştirilir. Sıcaklıkla genişleyen numune pistonu yukarı iter ve pistonun yer değiştirmesinden genişleme miktarı ölçülür. Quartz pistonun numune yüzeyine değdiğinden emin olmak için 0,05 mN’luk bir ön kuvvet uygulanmıştır.



Şekil 3.46: Isıl genleşme test numunesinin boyutlarının ölçülmesi ve cihaza yerleştirilmesi

Üretilen polimer kompozitin termal geçmişini sıfırlamak için deneyler aynı şartlarda iki döngü şeklinde yapılmış olup ikinci ölçümlerden ısıl genleşme katsayıları denklem 3.16'ya göre hesaplanmıştır. Boydaki değişim  $\Delta L$ , denklem 3.17'ye göre sıcaklık değişimi  $\Delta T$  denklem 3.18'e göre hesaplanmıştır.

$$\alpha = (\Delta L / L_{ilk}) / (\Delta T \cdot 10^6) \quad (3.16)$$

$\alpha$ : Isıl genleşme katsayısı ( $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$ )

$\Delta L$ : Boydaki değişim (mm)

$\Delta T$ : Sıcaklık değişimi (mm)

$$\Delta L = L_{son} - L_{ilk} \quad (3.17)$$

$L_{ilk}$ :  $T_{ilk}$  sıcaklığındaki boy (mm)

$L_{son}$ :  $T_{son}$  sıcaklığındaki boy (mm)

$$\Delta T = T_{son} - T_{ilk} \quad (3.18)$$

$T_{ilk}$ : İlk sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{son}$ : Son sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )

Üretilen tüm serilerden üçer adet numune deneye tabi tutulmuş, ortalamaları alınıp en yüksek ve en düşük değerler sonuçlar kısmında verilmiştir. Tablo 3.11'de deney şartları ve sistemde girilen değerleri verilmiştir. PP malzeme  $125^\circ\text{C}$  derecede ve HDPE  $95^\circ\text{C}$  derecelerde yumuşamaya başladıkları için son sıcaklıklar sırasıyla  $120^\circ\text{C}$  ve  $90^\circ\text{C}$  alınmıştır.

Tablo 3.11: Isıl genleşme ölçümü için cihaza girilen değerler

Girilen Parametreler	Değerler
Numune Ölçüm Aralığı	1 s
Toplam Ölçüm Süresi	20 min (PP için), 15 min (HDPE için)
Son Sıcaklık	$120^\circ\text{C}$ (PP için), $90^\circ\text{C}$ (HDPE için)
Isıtma Hızı	$5^\circ\text{C}/\text{min}$
Uygulanan Kuvvet	0,05 mN
Frekans	0,2 Hz
Ölçüm aralığı	$250 \mu\text{m}$
$L_{ilk}$	Kumpas ile ölçülen numunenin ilk boyu (mm)



### 3.4.2 Isıl iletkenlik deneyi

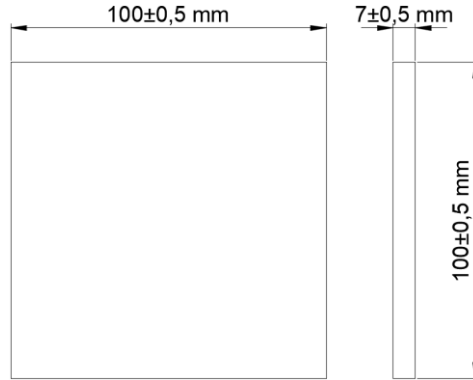
Deneyle ASTM C1113 standardına uygun bir şekilde sıcak-tel metodunu kullanan Kyoto Electronics (QTM-500) model cihazda PD-11 prob kullanılarak her numune setinden 7 adet ölçüm ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.47). Tablo 3.12’de ölçüm parametreleri verilmiştir. Şekil 3.48’de ısıl iletkenlik deneyi için kullanılan numune boyutları verilmiştir.



Şekil 3.47: Kyoto Electronics (QTM-500) model ısıl iletkenlik ölçüm cihazı

Tablo 3.12: Isıl iletkenlik ölçümü için cihaza girilen değerler

Girilen Parametreler	Değerler
Deneysel Modu	Fine
$l^2$	0,625
Referans plakası	Silikon kauçuk (0,237 W/(m.K))



Şekil 3.48: Isıl iletkenlik deney numunesi boyutları

Her set sonunda referans plakasından ölçüm alınarak sapması hesaplanıp üretilen polimer kompozitlerin ısıl iletkenlik katsayısı ölçülmüştür. Isıl iletkenlik katsayısı ölçüm cihazında ölçülecek numunenin 20 mm altında olmaması istenilmiştir. HDPE ve PP polimerlerinden üç adet numune üst üste konularak ölçüm alınmış ve bir adet numuneden ölçüm alıp kıyaslanmıştır. Tablo 3.13’te her iki polimer için üç katlı ve

tek katlı numunelerin ölçüm sonuçları verilmiştir. Sonuçlarda farklılık görülmediği için diğer numunelerden tek katlı ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.13: Tek katlı ve üç katlı HDPE ve PP malzemelerin ısı iletim katsayısı değerleri

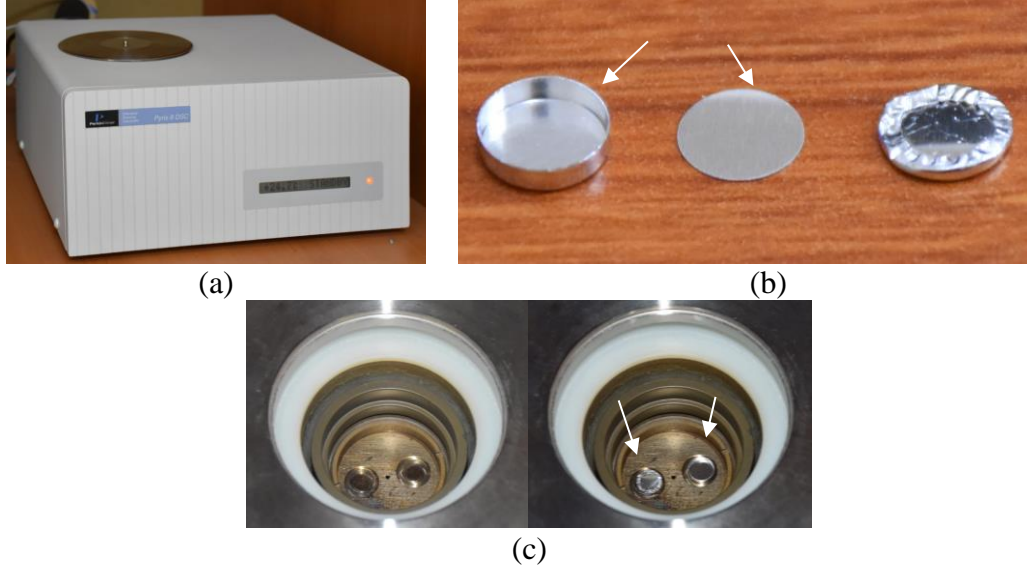
	Isı İletim Katsayısı (W/(m.K))								Standart Sapma (SS)
	1	2	3	4	5	6	7	Ort.	
HDPE (1 katlı)	0,446	0,445	0,453	0,446	0,454	0,447	0,453	0,449	0,004
HDPE (3 katlı)	0,431	0,440	0,452	0,443	0,449	0,449	0,449	0,445	0,007
PP (1 Katlı)	0,240	0,244	0,241	0,251	0,249	0,245	0,241	0,244	0,004
PP (3 Katlı)	0,250	0,247	0,249	0,247	0,249	0,249	0,247	0,248	0,001

### 3.4.3 Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi

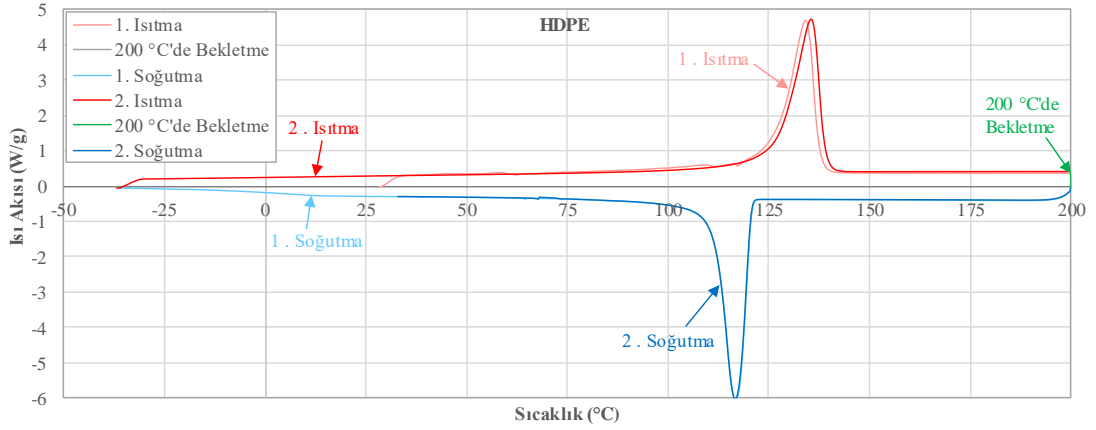
Polimerik malzemelerin termofiziksel özelliklerinin tespiti için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) kullanılmaktadır. Kütlesi bilinen numune ısıtılır veya soğutulur ve ısı kapasitesindeki değişiklikler ısı akışındaki değişiklikler olarak görülür. Malzemelerin özgül ısısı ( $c_p$ ), erime sıcaklığı ( $T_m$ ), erime entalpisi ( $H_m$ ), kristallenme sıcaklığı ( $T_c$ ), kristallenme entalpisi ( $H_c$ ), kristal oranı ( $X_c$ ) ve camı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) tespit edilebilmektedir. İlâveten özgül ısı akısı grafikleri elde edilmiştir.

Analizler Perkin Elmer marka Pyris 6 DSC model cihazda (Şekil 3.49(a)) 20 ml/min akış hızlı yüksek saflıkta azot (%99,999 saflıkta) atmosferinde 6,67 mm çapında 1,7 mm yüksekliğinde ve saf alüminyum kaplarda (%99,99 saflıkta) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.49(b)).

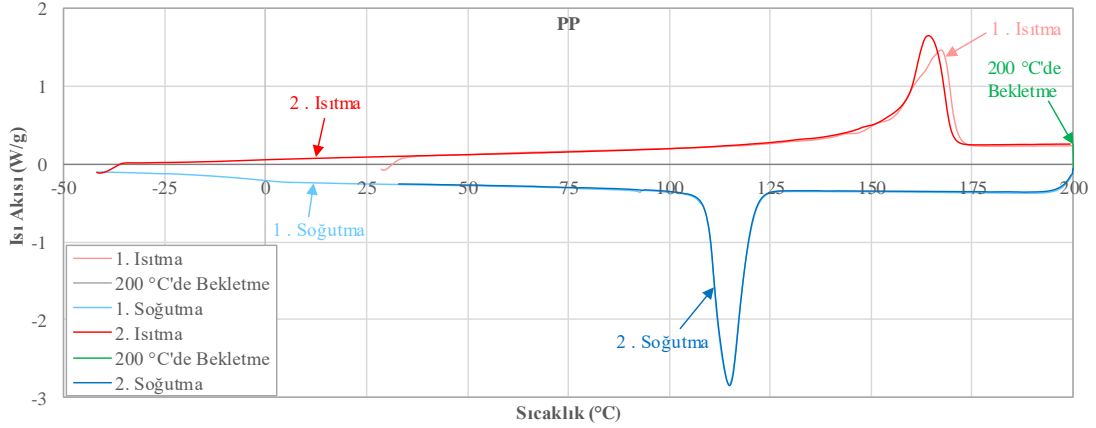
Analizleri gerçekleştirilen cihaz ısı akılı DSC sistemidir. Bu sistemde referans ve numune kapları aynı ortamda bulunur ve bu kapların sıcaklık değişimleri cihazın sensörleri tarafından saptanarak alınan veya verilen ısı akıları hesaplanır. Alüminyum kap ve kapatılmış alüminyum kap Şekil 3.50(b)'de ve bu kapların yerleştirildiği hazne Şekil 3.49(c)'de gösterilmiştir. Sol tarafa referans kabı, sağ tarafa ise kapatılmış numune kabı konulmuştur. Üretilen numuneler iki adet ısıtma ve soğutma çevrimine tabi tutulmuştur (Şekil 3.50).



Şekil 3.49: (a) Perkin Elmer marka Pyris 6 DSC cihazı, (b) alüminyum kap ve kabin kapatılmış hali ve (c) alüminyum kapların yerleştirildiği hazne



(a)

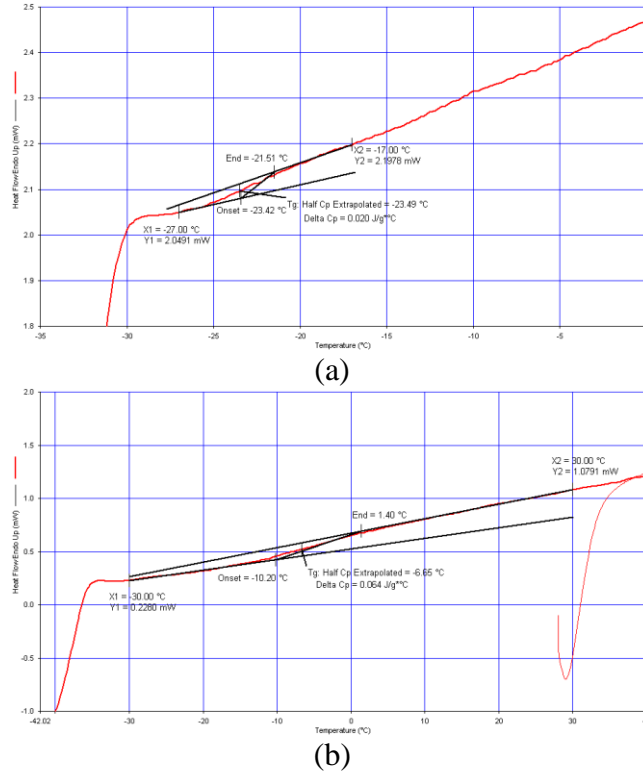


(b)

Şekil 3.50: Katkısız (a) HDPE ve (b) PP Isı akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) grafikleri

HDPE malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı  $-110\text{ °C}$  civarlarında olduğu için ve mevcut cihazda  $-50\text{ °C}$ 'nin altına inilememesi sebebiyle hesaplanan camsı geçiş sıcaklığı değerleri geçerli değildir. Buna karşın PP malzemelerin camsı geçiş

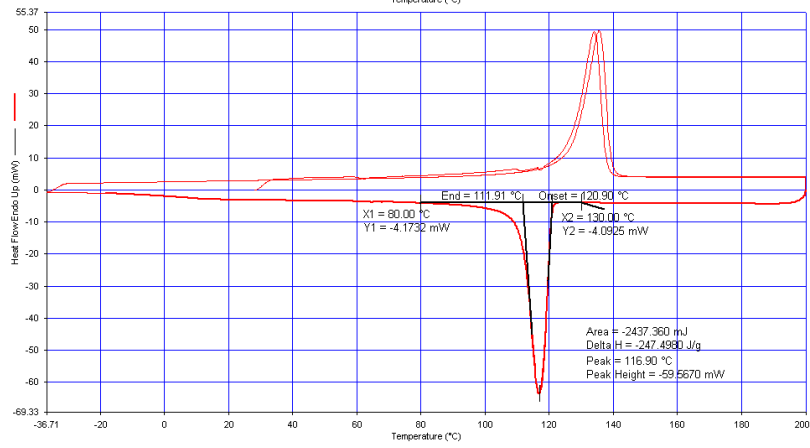
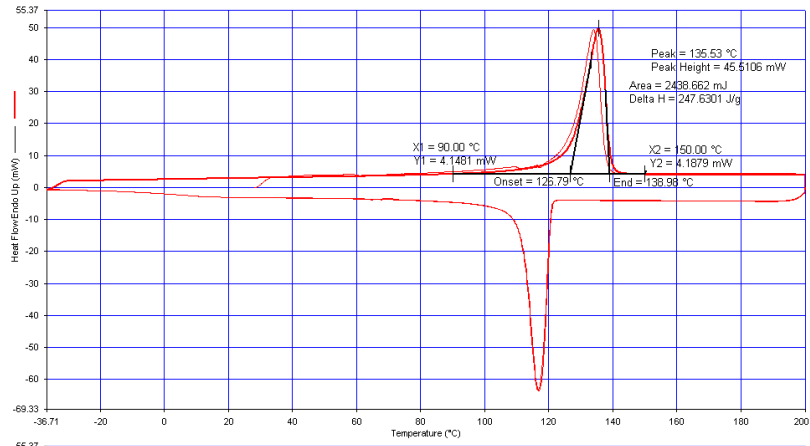
sıcaklığı  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarlarında olduğu için hesaplanan camsı geçiş sıcaklığı değerleri geçerli sayılmaktadır. Cihazın Pyris Software v7.0.0.0110 yazılımından 2. ısıtma eğrisinden camsı geçiş sıcaklıkları ( $T_g$ ) hesap edilmiştir (Şekil 3.51).



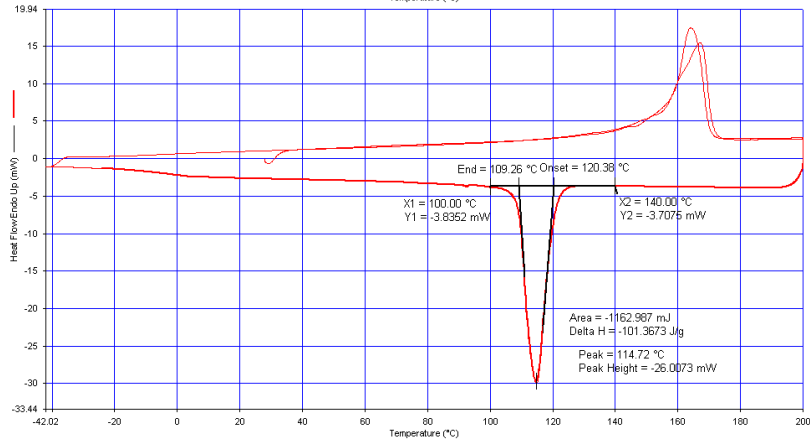
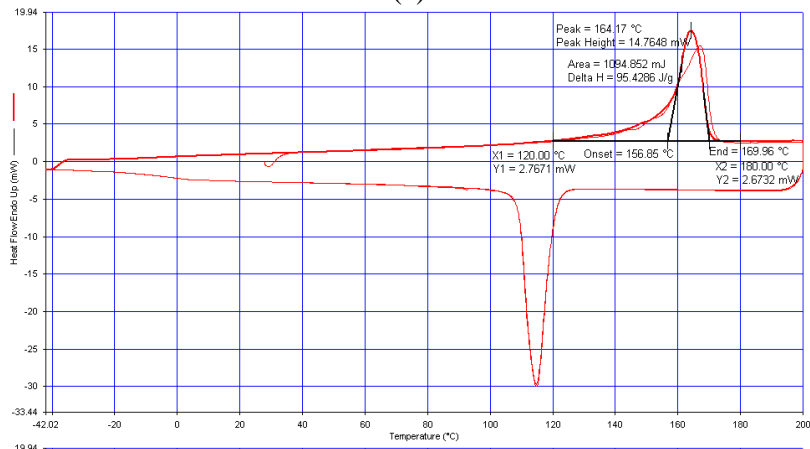
Şekil 3.51: Katkısız (a) HDPE ve (b) PP malzemelerin hesaplanan camsı geçiş sıcaklıkları

Birinci ısıtma malzemenin termal geçişini sıfırlamak için yapılmıştır. İlk etapta  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  hızda ısıtılmış,  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 5 min bekletilmiştir ardından  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  hızda soğutulmuş  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 5 min tutulmuştur. Sonraki etapta  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  hızda ısıtılmış  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 5 min tekrar tutulmuş ve  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  hızda soğutulmuş ve tüm çevrim tamamlanmıştır. Gerekli değerlerin bulunabilmesi için ikinci ısıtma ve ikinci soğutma hesaba katılmıştır.

Cihazın Pyris Software v7.0.0.0110 yazılımından alınan 2. ısıtma grafiğinden hesap edilen erime noktası sıcaklığı (Peak) ve erime entalpisi (Delta H) değerleri gösterilmiştir (Şekil 3.52(a)). 2. soğutma eğrisinden ise kristallenme sıcaklığı (Peak) ve kristallenme entalpisi (Delta H) değerleri hesap edilmiştir (Şekil 3.52(b)).



(a)



(b)

Şekil 3.52: Cihazda çizdirilen katkısız (a) HDPE ve (b) PP Isı akısı (mW) - Sıcaklık (°C) grafikleri

Kristal oranı ise denklem 3.19'a göre hesaplanmıştır. %100 kristal HDPE'in erime entalpisi 290 J/g (Szustakiewicz ve diğ. 2013) ve %100 kristal PP'in erime entalpisi 209 J/g (Kaya ve diğ. 2017) alınmıştır. Polimer matrisin kütlece oranı denklem 3.20'ye göre hesaplanmıştır.

$$X_c = \Delta H_m \cdot 100 / (\Delta H_0 \cdot w_p) \quad (3.19)$$

$X_c$ : Kristallinite (%)

$\Delta H_m$ : Erime entalpisi (J/g)

$\Delta H_0$ : %100 kristal polimerin erime entalpisi (J/g)

$w_p$ : Polimer matrisin kütlece oranı (g/g)

$$w_p = m_p / m_t \quad (3.20)$$

$m_p$ : Karışımdaki polimer kütlesi (g)

$m_t$ : Toplam karışımın kütlesi (g)

Tablo 3.14'te HDPE ve PP polimerlerinin camsı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, erime entalpisi, kristallenme sıcaklığı, kristallenme entalpisi ve kristallinite oranı verilmiştir.

Tablo 3.14: HDPE ve PP malzemelerinin DSC analizi sonuçları

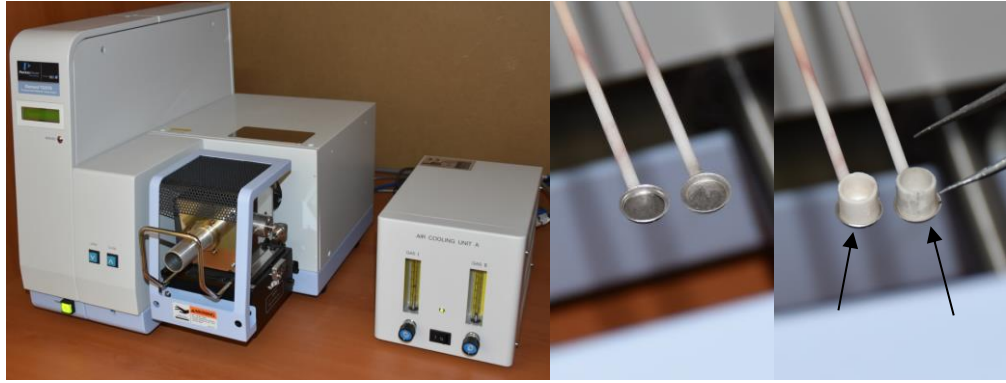
	Camsı Geçiş Sıcaklığı °C ( $T_g$ )	Erime Sıcaklığı °C ( $T_m$ )	Erime Entalpisi J/g ( $H_m$ )	Kristallenme Sıcaklığı °C ( $T_c$ )	Kristallenme Entalpisi J/g ( $H_c$ )	Kristallinite % ( $X_c$ )
HDPE	-23,5	135,5	247,6	116,9	-247,5	85,4
PP	-6,7	164,2	95,4	114,7	-101,4	45,7

#### 3.4.4 Termogravimetrik analiz

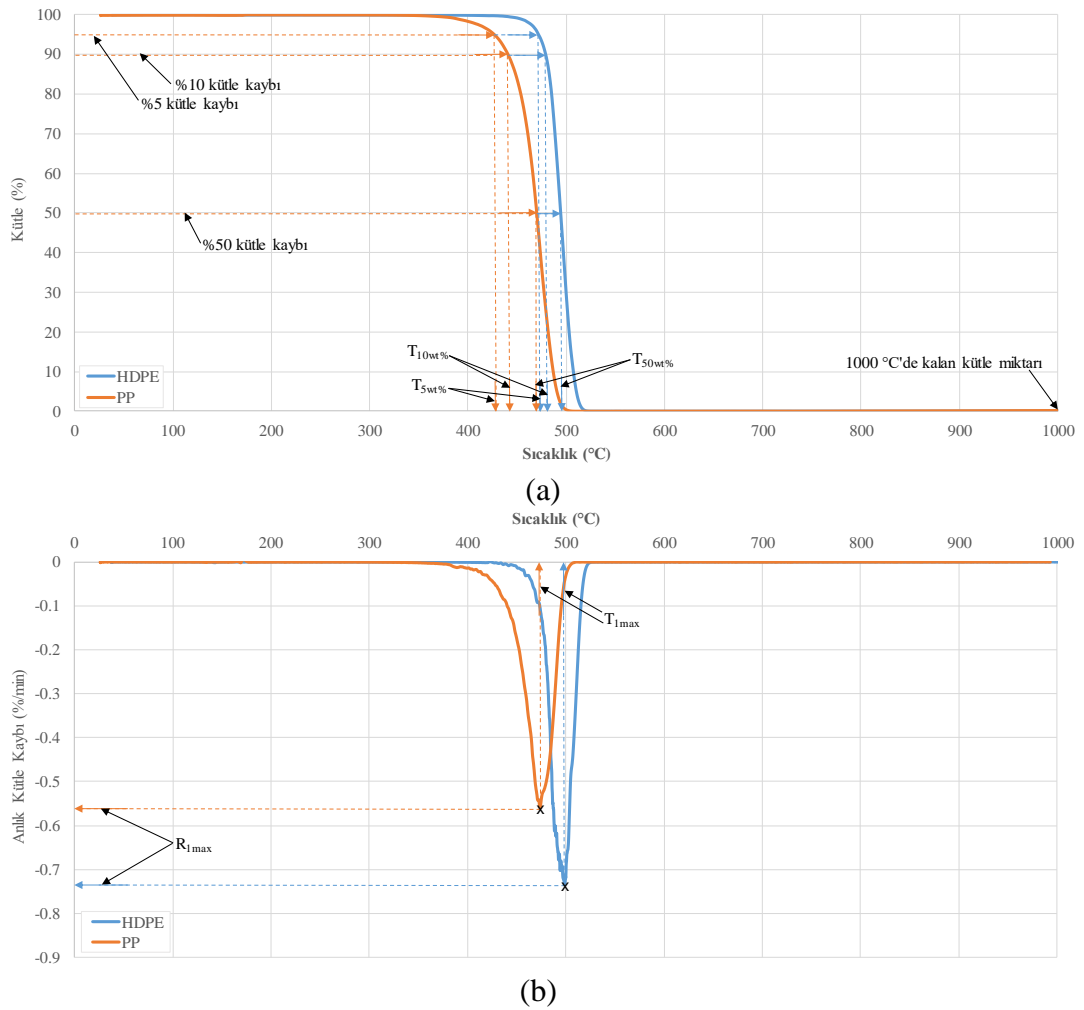
Termogravimetrik analiz (TGA), polimerik malzemelerin sıcaklık karşısında kütle değişimi ile malzemelerin ısıya karşı dirençlerini ve ısıl davranışları hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Perkin Elmer Diamond TG/DTA SII cihazında, 30 °C ile 1000 °C arasında, 20 °C/min ısıtma hızında ve 200 ml/min yüksek saflıkta (%99,999 saflıkta) azot atmosferinde çalışılmış olup  $\pm 2$  K ve  $\pm 0,02$  kütle ölçüm hassasiyetinde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

1600 °C sıcaklığa dayanıklı 5,2 mm çapında, 5 mm yüksekliğinde alümina ( $Al_2O_3$ ) seramik kaplarda (Şekil 3.53), kütlece yaklaşık 10 mg civarında numune hassas bir şekilde TGA cihazında tartılıp sıcaklığa bağlı kütle değişim grafikleri elde

edilmiştir (Şekil 3.54). Cihazın sol haznesine referans kabı sağ haznesine numune kabı konulmuştur. Tablo 3.15'te HDPE ve PP polimerlerinin %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları, en yüksek bozunma hızı ve 1000 °C'de kalan kütle miktarları verilmiştir.



Şekil 3.53: Perkin Elmer Diamond TG/DTA SII model cihaz, referans ve numune kaplarının yerleştirilmesi



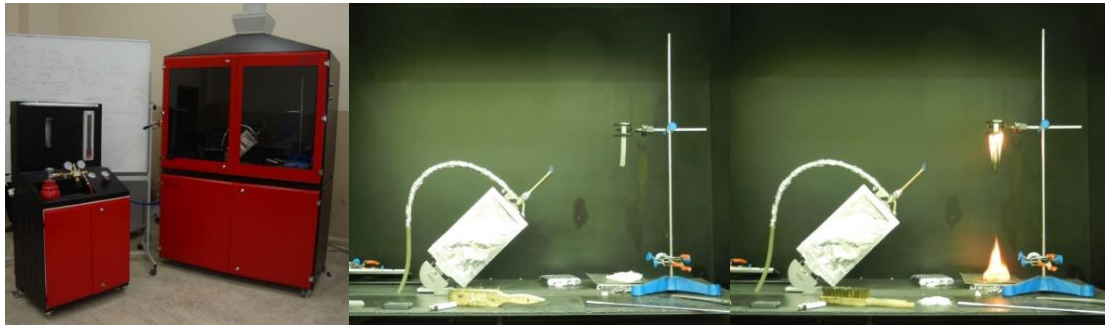
Şekil 3.54: HDPE ve PP malzemelerinin (a) Kütle (%) - Sıcaklık (°C) ve (b) Anlık Kütle Kaybı (%/min) - Sıcaklık (°C) eğrileri

Tablo 3.15: HDPE ve PP malzemelerinin TG analiz sonuçları

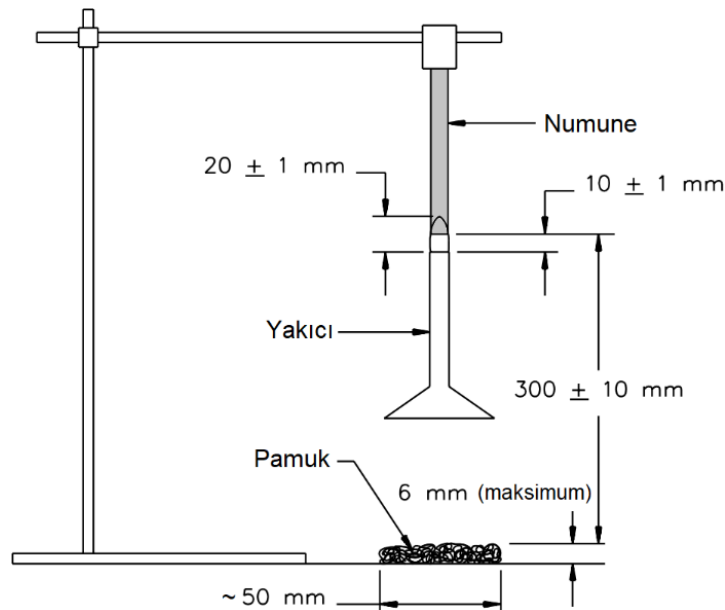
	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
HDPE	471,6	478,9	494,2	-0,734	498,7	0,07
PP	426,7	440,8	469,8	-0,560	473,7	0,18

### 3.4.5 UL 94 dikey yanma deneyi

Plastik enjeksiyon makinesinde üretilen UL 94 yanma deneyi numuneleri dikey pozisyonda Şekil 3.55'te görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği önceki çalıştığım 108T246 numaralı TÜBİTAK projesinde ürettirilmiş olup gaz kalibrasyonları yapılmıştır. Şematik olarak Şekil 3.56'da gösterilmiştir.



Şekil 3.55: UL 94 yanma deneyi kabini ve UL 94 dikey yanma düzeneği



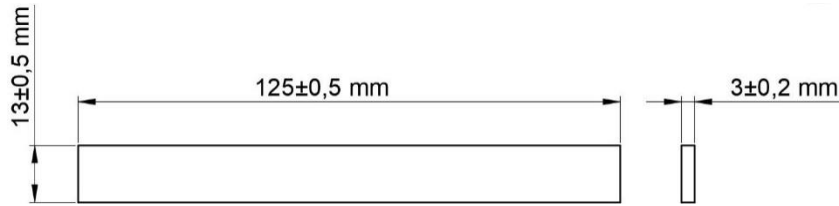
Şekil 3.56: UL 94 yanma deneyinin şematik gösterimi (UL 94)



Alev yüksekliği  $20 \pm 1$  mm yüksekliğinde ayarlanmış olup sarı uçlu mavi alev elde edilmiştir. Yakıcı ile numune arasında  $10 \pm 1$  mm mesafe olmalıdır. Numune ile pamuk arasında  $300 \pm 10$  mm yükseklik vardır. Pamuk  $50$  mm x  $50$  mm x  $6$  mm boyutlarındadır.

İlk olarak numuneye 10 saniye alev uygulanır ardından  $300$  mm/s hızla  $150$  mm uzağa çekildikten sonra süre başlatılır ve sönene kadar alev  $t_1$  (ilk alev uygulamasında yanma süresi) tespit edilir. Alev sönerse tekrar yaklaştırılır aynı prosedür tekrar uygulanır bu şekilde  $t_2$  (ikinci yanma sırasında yanma süresi) ve  $t_3$  (korlanma süresi) tespit edilir. Deneylerde korlanma görülmemiştir.

Numune boyutları Şekil 3.57’de gösterilmiştir. Numuneler deneyden önce  $23$  °C sıcaklık ve %50 bağıl nem koşullarında 48 saat şartlandırıcıda bekletilmiştir. Her reçeteden 5 adet numune deneye tabi tutulmuştur.



Şekil 3.57: UL 94 dikey yanma numune boyutları

Bu deney sonucunda tutuşma süresi, yanmanın ilerlemesi, damlama ve yanmanın sona ermesi ile ilgili bilgi alınmakta ve UL 94 dikey yanma sınıflandırılması yapılabilmektedir. Bu sınıflandırma UL 94 deney standardına göre Tablo 3.16’da verilmektedir.

Tablo 3.16: UL 94 dikey yanma deneyi sınıflandırması

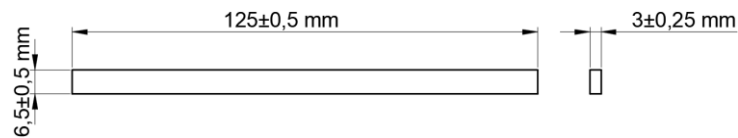
Kriter Koşulları	UL 94 Yanma seviyesi		
	V0	V1	V2
Alev uygulamasından sonra yanma süresi $t_1$ veya $t_2$ (s)	$\leq 10$ s	$\leq 30$ s	$\leq 30$ s
Toplam yanma süresi (5 yanma uygulaması) $t_3$ (s)	$\leq 50$ s	$\leq 250$ s	$\leq 250$ s
İkinci yanma ve korlanma süresi $t_2 + t_3$ (s)	$\leq 30$ s	$\leq 60$ s	$\leq 60$ s
Yanan numunenin damlaması (pamuğun yanması)	Hayır	Hayır	Evet
Numunenin tamamen yanması	Hayır	Hayır	Hayır

### 3.4.6 LOI deneyi

Limitli oksijen indeksi (LOI) deneyi malzemenin yanması için gerekli minimum oksijen miktarının tespiti ile gerçekleştirmektedir. Sınırlandırılmış bir hacim içerisinde oksijen ve azot konsantrasyonları değiştirilerek gerekli şartlar oluşturulur. Saf azot (%99,995 saflıkta) ve saf oksijen (%99,5 saflıkta). Ardından malzeme üst ucundan yakıcı ile tutuşturulur. Test edilecek malzemenin minimum oksijen konsantrasyonunda yanması tespit edilir. LOI deneyi ASTM D2863 standardına göre Qualitest LOI deney ekipmanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.58). Numuneler bu standarda göre Tip 4'e göre uyarlanmıştır. Numune boyutları  $125\pm 0,5$  mm x  $6,5\pm 0,5$  mm x  $3,2\pm 0,25$  mm ebatlarında olup her reçeteden 5 adet numune deneye tabi tutulmuştur (Şekil 3.59). Tablo 3.17'de LOI sınıflandırması verilmiştir (Atay ve Çelik 2010). %24 LOI değerinde yanıcı, %24-28 arasında limitli yanma direnci, %29-34 arası yanmaya dirençli ve %34 üzerinde ekstra yanma dirençli olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.58: Qualitest LOI deney ekipmanı



Şekil 3.59: LOI numune boyutları

Tablo 3.17: LOI sınıflandırması

Gruplandırma	LOI sınıflandırma	
Alev yayılması	<%24	Yanıcı
Aleve dayanıklılık	%24-28	Limitli yanma direnci
Alev gazları	%29-34	Yanmaya dirençli
Özellikli yanma direnci	>%34	Ekstra yanma dirençli

## 4. DENEY SONUÇLARI

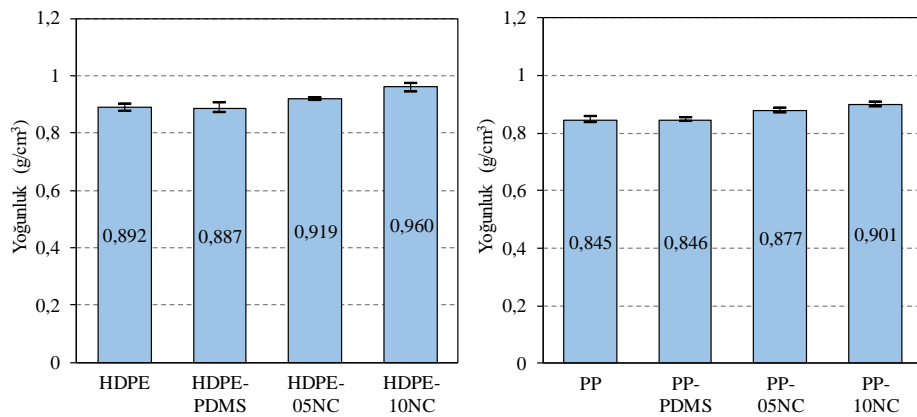
Deneyisel çalışmalar fiziksel ve mekanik deney sonuçları ve termal ve yanma deney sonuçları olarak iki ana başlık altında incelenmiştir.

### 4.1 Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçları

Fiziksel ve mekanik deneyler kısmında yoğunluk, sertlik ölçümü, FTIR analizi, Izod darbe deneyi, su absorpsiyon deneyi, SEM iç yapı görüntüleme, çekme deneyi, üç nokta eğme deneyi ve yırtılma deneyi sonuçları verilmiştir. Hesap edilen verilerin ortalama, maksimum ve minimum değerleri ile birlikte standart sapma değerleri tablo şeklinde verilmiştir. Daha ayrıntılı kıyaslayabilmek için her bir üretim setinin karşılaştırmalı olarak grafikleri verilmiştir.

#### 4.1.1 Yoğunluk sonuçları

HDPE ve PP polimer matrise PDMS ilavesi yoğunluk değerlerini çok az miktarda düşürmüş olup NC ilavesi ile yoğunluk değerleri belirgin bir artış göstermiştir. Şekil 4.1'de NC ve PDMS ilavesinin yoğunluk değerlerine etkisi gösterilmiştir. Tablo 4.1'de ortalama, en yüksek ve en düşük yoğunluk değerleri ile birlikte standart sapma değerleri verilmiştir.

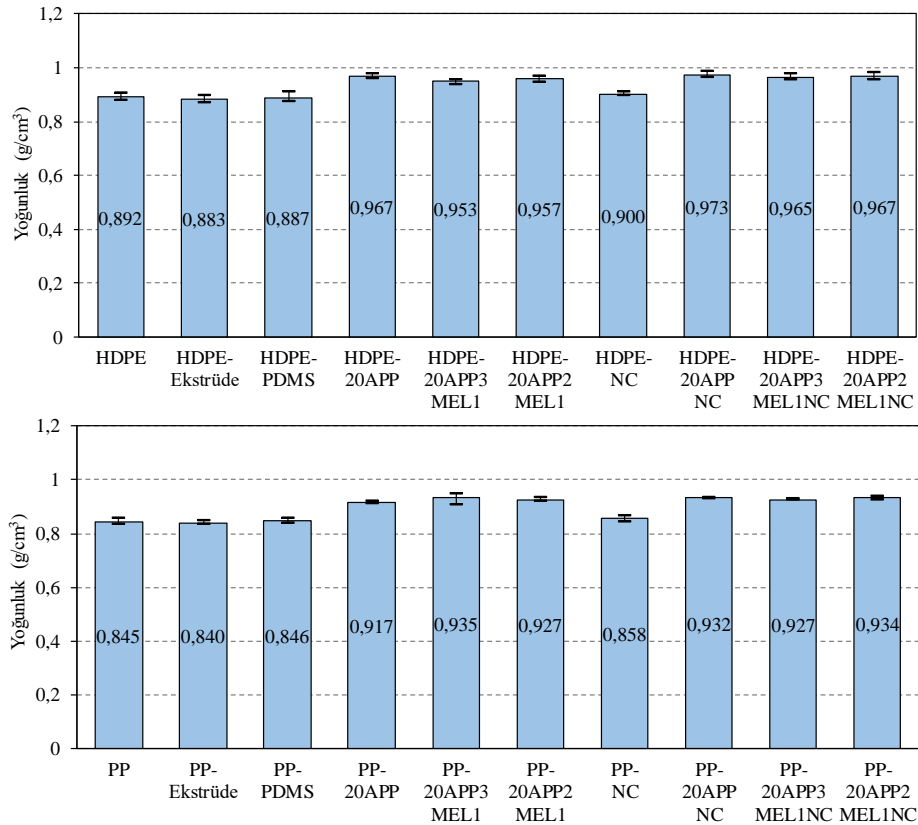


Şekil 4.1: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin yoğunlukları.

Tablo 4.1: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin yoğunluk değerleri

	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)		Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)
HDPE	0,892±0,014	0,008	PP	0,845±0,010	0,007
HDPE-PDMS	0,887±0,017	0,009	PP-PDMS	0,846±0,008	0,007
HDPE-05NC	0,919±0,005	0,004	PP-05NC	0,877±0,007	0,007
HDPE-10NC	0,960±0,013	0,011	PP-10NC	0,901±0,009	0,009

HDPE ve PP malzemelerine APP, MEL, NC ve PDMS katkılarının ilavesinin oluşturulan kompozit malzemelerin yoğunluklarına etkisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Ekstrüzyon işlemi ve PDMS ilavesi yoğunluk değerlerini çok fazla değiştirmezken ilave edilen katkı malzemelerinin yoğunluk değerlerini arttırdığı görülmüştür. Tablo 4.2’de ortalama, en yüksek ve en düşük yoğunluk değerleri ile birlikte standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.2: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin yoğunlukları

HDPE-PDMS polimerine %20 APP ilavesi ile yoğunluk değeri %9 artış, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %7,4'lük artış ve %20 APP2MEL1 ilavesinde ise %7,9'lük artış görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %1,5'lük artış gözlemlenirken sırası ile %20 APPNC ilavesinde %9,7'lik, %20APP3MEL1NC ilavesinde %8,8'lik ve %20

APP2MEL1NC ilavesinde %9'lük artış gözlemlenmiştir. Benzer şekilde yoğunluklardaki değişim PP-PDMS kompozitine %20 APP ilavesi ile %8,4'lük artış, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %10,5'lik artış ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %9,6'lık artış görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %1,4'lük artış gözlemlenirken %20 APPNC ilavesinde %10,2'lik artış gözlemlenirken, %20 APP3MEL1NC ilavesinde %9,6'lık artış ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %10,4'lük artış görülmüştür.

Tablo 4.2: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin yoğunluk değerleri

	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)		Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)
HDPE	0,892±0,014	0,008	PP	0,845±0,01	0,007
HDPE-Ekstrüde	0,883±0,014	0,009	PP-Ekstrüde	0,840±0,007	0,005
HDPE-PDMS	0,887±0,017	0,009	PP-PDMS	0,846±0,008	0,007
HDPE-20APP	0,967±0,009	0,007	PP-20APP	0,917±0,004	0,003
HDPE-20APP3MEL1	0,953±0,010	0,009	PP-20APP3MEL1	0,935±0,02	0,016
HDPE-20APP2MEL1	0,957±0,011	0,009	PP-20APP2MEL1	0,927±0,007	0,005
HDPE-NC	0,900±0,007	0,005	PP-NC	0,858±0,010	0,008
HDPE-20APPNC	0,973±0,012	0,013	PP-20APPNC	0,932±0,002	0,002
HDPE-20APP3MEL1NC	0,965±0,012	0,009	PP-20APP3MEL1NC	0,927±0,003	0,002
HDPE-20APP2MEL1NC	0,967±0,013	0,009	PP-20APP2MEL1NC	0,934±0,005	0,004

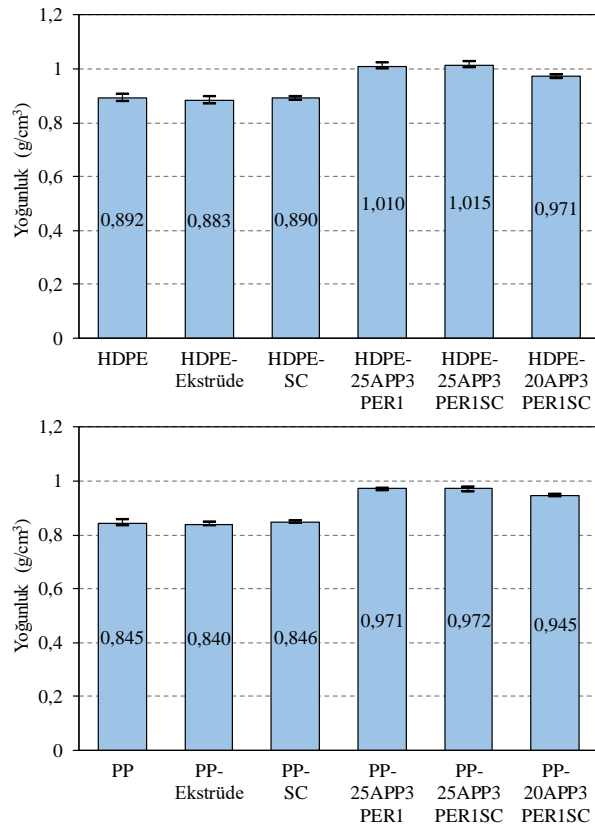
HDPE ve PP polimerlerine ilave edilen APP, PER ve SC katkılarının yoğunluğa etkisi Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Yoğunluk ölçüm sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir. İlave edilen katkı ve dolgu maddeleri oluşturulan kompozit malzemelerin yoğunluklarını arttırdığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.3: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yoğunluk değerleri

	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)		Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)
HDPE	0,892±0,014	0,008	PP	0,845±0,010	0,007
HDPE-Ekstrüde	0,883±0,014	0,009	PP-Ekstrüde	0,840±0,007	0,005
HDPE-SC	0,890±0,006	0,005	PP-SC	0,846±0,004	0,004
HDPE-25APP3PER1	1,010±0,012	0,010	PP-25APP3PER1	0,971±0,005	0,004
HDPE-25APP3PER1SC	1,015±0,012	0,010	PP-25APP3PER1SC	0,972±0,009	0,007
HDPE-20APP3PER1SC	0,971±0,005	0,004	PP-20APP3PER1SC	0,945±0,006	0,005

HDPE polimerine %5 SC ilavesi yoğunluk değerini %0,8, %25 APP3PER1 ilavesi ile %13,5'lik, %25 APP3PER1SC ilavesi ile %14,1'lik ve %20 APP3PER1SC ilavesi ile %9,1'lik artış görülmüştür.

PP kompozitlerde yoğunluk değerleri HDPE'e benzer şekilde değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Yoğunluk değerlerinde %2 SC ilavesi ile %0,7'lik, %25 APP3PER1 ilavesi ile %14,8'lik, %25 APP3PER1SC ilavesi ile %14,9'luk, %20 APP3PER1SC ilavesi ile %11,7'lik artış gözlemlenmiştir.

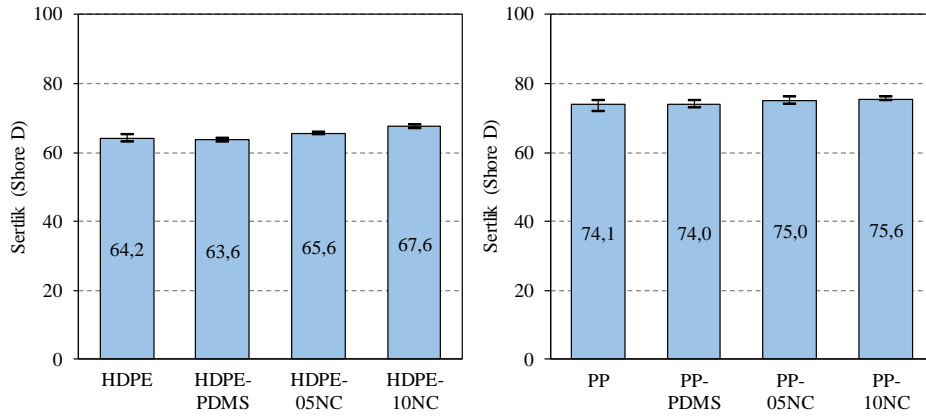


Şekil 4.3: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yoğunlukları

#### 4.1.2 Sertlik ölçüm sonuçları

İlave edilen NC inorganik maddesinin sertlik değeri kullanılan polimer matrisin sertlik değerinden daha yüksek olduğu için yeni oluşturulan kompozitlerin sertlik değerlerinin arttığı buna karşın PDMS ilavesinin çok az miktarda düşürdüğü gözlemlenmiştir (Şekil 4.4). Deka ve Maji (2013) yaptıkları çalışmada polimer matrise ilave ettikleri dolgu maddelerinin sertlik değerlerini arttırdığını gözlemlenmiştir.

Oluşturulan kompozitlerin sertliklerinin ortalama değerleri, en yüksek ve en düşük değerleri ve standart sapma değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir. HDPE ve PP matrisine ilave edilen PDMS katkısı oluşturulan kompozit polimerin sertlik değerlerini sırası ile %0,9 ve %0,1 oranında düşürdüğü görülmüştür. HDPE ve PP polimerlerinin sertlik değerlerinde sırası ile kütlece %5 NC ilavesinde %3,2 ve %1,4'lük artış, %10 NC ilavesinde %6,3 ve %2,2'lik artış tespit edilmiştir.



Şekil 4.4: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin sertlikleri

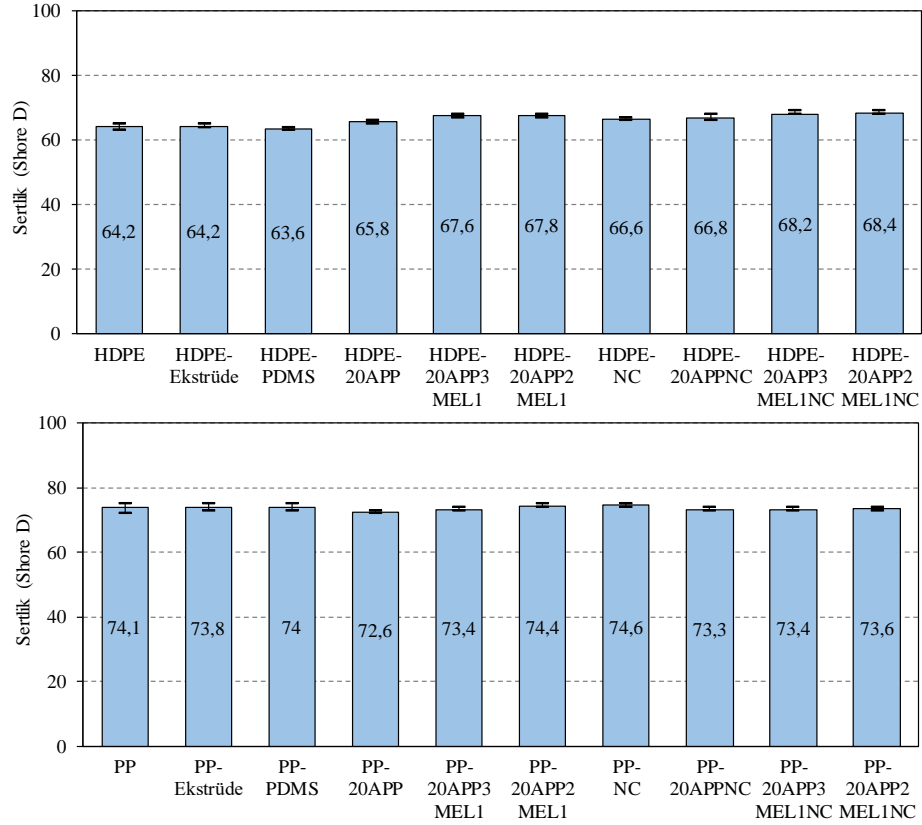
Tablo 4.4: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin sertlik değerleri

	Sertlik (Shore D)	Standart Sapma (SS)		Sertlik (Shore D)	Standart Sapma (SS)
HDPE	64,2±1	0,56	PP	74,1±1,5	0,83
HDPE-PDMS	63,6±0,5	0,51	PP-PDMS	74±1	0,69
HDPE-05NC	65,6±0,5	0,53	PP-05NC	75±1	0,58
HDPE-10NC	67,6±0,5	0,53	PP-10NC	75,6±0,5	0,53

APP, MEL, NC ve PDMS katkılarının HDPE ve PP polimerlerinin sertliklerine etkisi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Ekstrüzyon işlemi HDPE'de sertlik değerini değiştirmezken PP'de %0,4 oranında düşüş görülmüştür. PDMS ilavesi ise HDPE ve PP malzemede sırası ile %0,9 ve %0,1'lik düşüğe sebep olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 4.5'te sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

HDPE'e kütlece %20 APP ilavesi sertlik değerini %2,5 arttırırken %20 APP3MEL1 ilavesi ile %5,3 ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %5,6'lık artış görülmüştür. %2 NC ilavesi sertlik değerlerini %3,7 arttırmıştır. %20 APPNC ilavesi %4,1, %20 APP3MEL1NC ilavesi %6,2 ve %20 APP2MEL1NC ilavesi %6,5 oranında arttırmıştır.

PP'e kütlece %20 APP ilavesi sertlik değerini %1,9 düşürdüğü görülmüştür. Kütlece %20 APP3MEL1 ilavesi %0,8 oranında düşürürken %20 APP2MEL1ilavesi %0,5 arttırdığı tespit edilmiştir. PP malzemeye %2 NC ilavesi %0,8 arttırırken %20 APPNC ilavesi ile %1 oranında düşürdüğü görülmüştür. PP polimerine kütlece %20 APP3MEL1NC ve %20 APP2MEL1NC ilavesi sırası ile %0,8 ve %0,5 oranında düşüş gösterdiği belirlenmiştir.



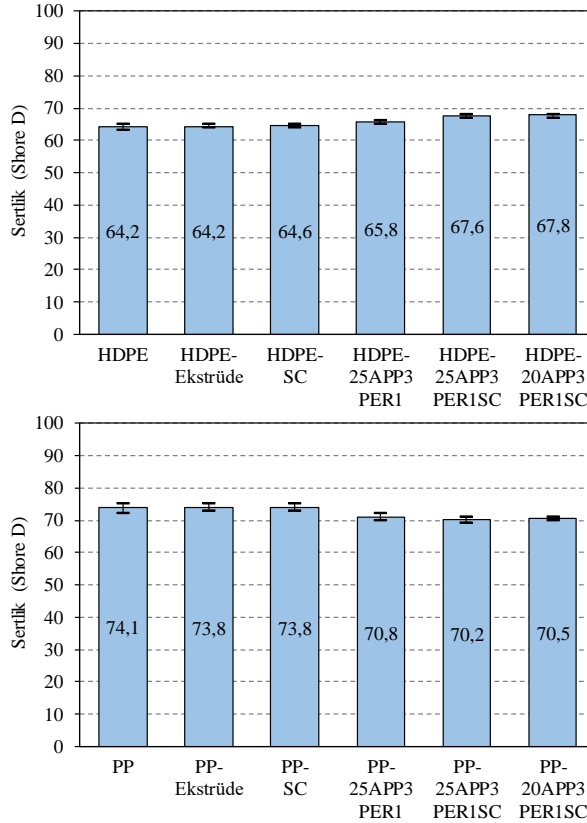
Şekil 4.5: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin sertlikleri

Tablo 4.5: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin sertlik değerleri

	Sertlik (Shore D)	Standart Sapma (SS)		Sertlik (Shore D)	Standart Sapma (SS)
HDPE	64,2±1	0,56	PP	74,1±1,5	0,83
HDPE-Ekstrüde	64,2±0,5	0,42	PP-Ekstrüde	73,8±1	0,92
HDPE-PDMS	63,6±0,5	0,51	PP-PDMS	74±1	0,69
HDPE-20APP	65,8±0,5	0,45	PP-20APP	72,6±0,5	0,55
HDPE-20APP3MEL1	67,6±0,5	0,55	PP-20APP3MEL1	73,4±0,5	0,55
HDPE-20APP2MEL1	67,8±0,5	0,45	PP-20APP2MEL1	74,4±0,5	0,55
HDPE-NC	66,6±0,5	0,55	PP-NC	74,6±0,5	0,55
HDPE-20APPNC	66,8±1	0,84	PP-20APPNC	73,3±0,5	0,49
HDPE-20APP3MEL1NC	68,2±0,5	0,45	PP-20APP3MEL1NC	73,4±0,5	0,55
HDPE-20APP2MEL1NC	68,4±0,5	0,55	PP-20APP2MEL1NC	73,6±0,5	0,55



HDPE ve PP polimerlerine ilave edilen APP, PER ve SC katkılarının sertliğe etkisi Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Tablo 4.6’da sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. HDPE malzemesinin ekstrüzyon işleminden sonra sertliğinin sabit kaldığı buna karşın PP malzemenin ekstrüzyon sonrası sertliği %0,4 oranında azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.6: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin sertlikleri

Tablo 4.6: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin sertlik değerleri

	Sertlik (Shore D)	Standart Sapma (SS)		Sertlik (Shore D)	Standart Sapma (SS)
HDPE	64,2±1	0,56	PP	74,1±1,5	0,83
HDPE-Ekstrüde	64,2±0,5	0,42	PP-Ekstrüde	73,8±1	0,92
HDPE-SC	64,6±0,5	0,55	PP-SC	73,8±1	0,75
HDPE-25APP3PER1	65,8±0,5	0,45	PP-25APP3PER1	70,8±1	0,75
HDPE-25APP3PER1SC	67,6±0,5	0,55	PP-25APP3PER1SC	70,2±1	0,84
HDPE-20APP3PER1SC	67,8±0,5	0,45	PP-20APP3PER1SC	70,5±0,5	0,55

HDPE’ye kütleli olarak %5 SC ilavesi sertlik değerini %0,6 arttırdığı buna karşın PP’e %2 SC ilavesi %0,4 düşürdüğü gözlemlenmiştir. HDPE polimerine %25 APP3PER1 ilavesi sertlik değerini %2,5 arttırdığı, kütlece %25 APP3PER1SC

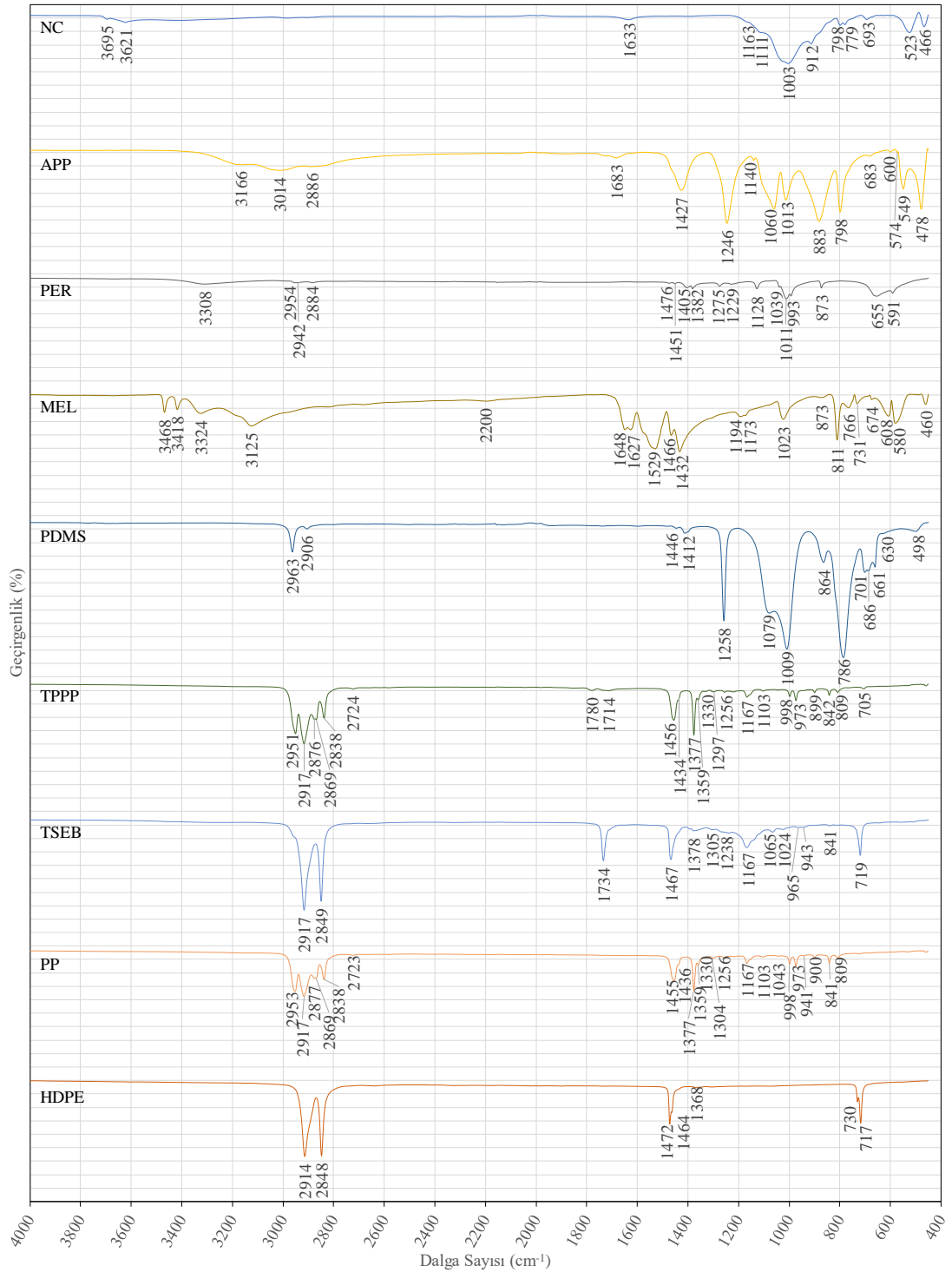
ilavesi sertlik değerini %5,3 oranında arttırdığı, PP polimerinde ise %25 APP3PER1 ve %25 APP3PER1SC ilavesinde sırasıyla %4,1 ve %4,9 oranında düşürdüğü görülmüştür. HDPE kompozitte kütlece %20 APP3PER1SC ilave edilmiş üründe %5,6 oranında artış görülürken PP kompozitte %4,5 oranında azaldığı belirlenmiştir.

#### 4.1.3 FTIR analizi

Polimer kompozitlerde kullanılan tüm hammaddelerin FTIR grafikleri Şekil 4.7'de verilmiş olup bulunan pik değerleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen metilen poli alken sınıfından metilen (CH<sub>2</sub>) gruplarının n molekül sayısında bağlanmasıyla oluşmaktadır. CH<sub>2</sub> gruplarında 2935-2915 cm<sup>-1</sup> bandında C-H gerilme ve asimetrik bağlanma, 2865-2845 cm<sup>-1</sup> bandında gerilme ve simetrik bağlanma, 1484-1445 cm<sup>-1</sup> bandında C-H eğilme, 750-720 cm<sup>-1</sup> bandında C-H eğilme, 1368 cm<sup>-1</sup> bandında (CH<sub>2</sub>) sallanma durumu görülmektedir (Mark 2009 ve Verleye 2001).

Polipropilen polimeri poly( $\alpha$ -olefin) sınıfından  $-\text{[CH}_2\text{CH(CH}_3\text{)]}-$  gruplarının n molekül sayısında bağlanmasıyla oluşmaktadır. Metil (CH<sub>3</sub>) grupları için 2970-2950 cm<sup>-1</sup> bandında C-H gerilme ve asimetrik bağlanma, 2880-2860 cm<sup>-1</sup> bandında gerilme ve simetrik bağlanma, 1470-1430 cm<sup>-1</sup> bandında C-H eğilme ve asimetrik bağlanma, 1380-1370 cm<sup>-1</sup> bandında C-H eğilme ve simetrik bağlanma durumu görülmektedir. PP polimerinde bulunan CH<sub>2</sub>, HDPE polimerinde bulunan CH<sub>2</sub> gruplarındaki bantları kapsamakta olup ilaveten 1055-1000 cm<sup>-1</sup> ve 1005-925 cm<sup>-1</sup> bantlarında ise sikloheksan halka görülmektedir. Metin (CH) gruplarında ise 2900-2880 cm<sup>-1</sup> bandında C-H gerilme, 1350-1330 cm<sup>-1</sup> bandında C-H eğilme, 1300-1700 cm<sup>-1</sup> bandında C-C vibrasyon durumu görülmektedir. CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub> ve CH gruplarında 1256 cm<sup>-1</sup>, 1167 cm<sup>-1</sup> ve 1103 cm<sup>-1</sup> bantlarında çeşitli eğilme, sallanma, dönme ve gerilme durumları görülmektedir. 809 cm<sup>-1</sup> ve 841 cm<sup>-1</sup> bantlarında C-C gerilme durumu görülmektedir (Mark 2009 ve Verleye 2001).

TPPP katkısı maleik anhidritle fonksiyonelleştirilmiş PP'den oluşmuştur. PP'e benzer pikler vermiş olup ilaveten 1780 cm<sup>-1</sup> ve 1714 cm<sup>-1</sup> bantlarında sırasıyla C=O gerilme, 1300 cm<sup>-1</sup> ve 900 cm<sup>-1</sup> bandında C-O gerilme durumu görülmektedir. 705 cm<sup>-1</sup> bandında CH<sub>2</sub> eğilme durumu görülmektedir (Mark 2009 ve Verleye 2001).



Şekil 4.7: Hammaddelerin FTIR grafikleri

TSEB katkısı maleik anhidritle fonksiyonelleştirilmiş etilen bütül akrilat kopolimerinden oluşmuştur. Etilen bütül akrilatın kimyasal formülü  $(\text{CH}_2\text{CH}_2)_x[\text{CH}_2\text{CH}[\text{CO}_2(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3]]_y$  şeklindedir (Savaş ve Üvez 2018). Maleik anhidritin formülü  $\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$  şeklindedir (John ve diğ. 2019).  $\text{CH}_2$  gruplarında  $2917 \text{ cm}^{-1}$  bandında C–H gerilme ve asimetrik bağlanma,  $2849 \text{ cm}^{-1}$  bandında gerilme ve simetrik bağlanma,  $1467 \text{ cm}^{-1}$  bandında C–H eğilme,  $719 \text{ cm}^{-1}$  bandında C–H

eğilme, 1378 cm<sup>-1</sup> bandında (CH<sub>2</sub>) sallanma durumu görülmektedir. Metil (CH<sub>3</sub>) grupları için 1467 cm<sup>-1</sup> bandında C–H eğilme ve asimetric bağlanma, 1378 cm<sup>-1</sup> bandında C–H eğilme ve simetric bağlanma durumu görülmektedir. Metin (CH) grubunda ise 1305 cm<sup>-1</sup> bandında C–C vibrasyon durumu görülmektedir. 900 cm<sup>-1</sup> bandında C–H eğilme, 809 cm<sup>-1</sup> ve 841 cm<sup>-1</sup> bantlarında C–C gerilme durumu görülmektedir. 1055-1000 cm<sup>-1</sup> ve 1005-925 cm<sup>-1</sup> bantlarında ise sikloheksan halka görülmektedir 1734 cm<sup>-1</sup> bandında C=O gerilme durumu görülmektedir (Mark 2009 ve Verleye 2001).

Tablo 4.7: Hammaddelerin piklere karşılık gelen dalga boyları

NC	APP	PER	MEL	PDMS	TPPP	TSEB	PP	HDPE
3695	3166	3308	3468	2963	2951	2917	2953	2914
3621	3014	2954	3418	2906	2917	2849	2917	2848
1633	2886	2942	3324	1446	2876	1734	2877	1472
1163	1683	2884	3125	1412	2869	1467	2869	1464
1111	1427	1476	2200	1258	2838	1378	2838	1368
1003	1246	1451	1648	1079	2724	1305	2723	730
912	1140	1405	1627	1009	1780	1238	1455	717
798	1060	1382	1529	864	1714	1167	1436	
779	1013	1275	1466	786	1456	1065	1377	
693	883	1229	1432	701	1434	1024	1359	
523	798	1128	1194	686	1377	965	1330	
466	683	1039	1173	661	1359	943	1304	
	600	1011	1023	630	1330	841	1256	
	574	993	873	498	1297	719	1167	
	549	873	811		1256		1103	
	478	655	766		1167		1043	
		591	731		1103		998	
			674		998		973	
			608		973		941	
			580		899		900	
			460		842		841	
					809		809	
					705			
					459			

PDMS katkısı C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>OSi kimyasal formülüne sahiptir. 786 cm<sup>-1</sup> bandında Si–CH<sub>3</sub> grubunda CH<sub>3</sub> sallanma, Si–C gerilme görülmektedir. 1009 cm<sup>-1</sup> ve 1079

$\text{cm}^{-1}$  bantlarında Si–O–Si gerilme, 1258  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si–CH<sub>3</sub> grubunda CH<sub>3</sub> deformasyonu görülmektedir. 2963  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si–CH<sub>3</sub> grubunda asimetrik CH<sub>3</sub> gerilmesi, 1412  $\text{cm}^{-1}$  ve 1446  $\text{cm}^{-1}$  bandında C=C gerilme durumu görülmektedir (Johnson ve diğ. 2013).

Melaminin kimyasal formülü C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>N<sub>6</sub> şeklinde olup C<sub>3</sub>N<sub>3</sub>(NH<sub>2</sub>)<sub>3</sub> açık formülüne sahiptir. 3468  $\text{cm}^{-1}$  bandında N–H simetrik ve asimetrik gerilme, 3418, 3324, 3125, 1648 ve 1627  $\text{cm}^{-1}$  bantlarında N–H gerilme, 1529, 1466, 1432, 1194 ve 1173  $\text{cm}^{-1}$  bantlarında C–N gerilme ve NH<sub>2</sub> eğilme titreşimleri ve 674  $\text{cm}^{-1}$  bandında simetrik gerilme görülmektedir. 2200  $\text{cm}^{-1}$  bandında C≡N gerilme ve 811  $\text{cm}^{-1}$  bandında N–H eğilme görülmektedir (Mircescu ve diğ. 2012).

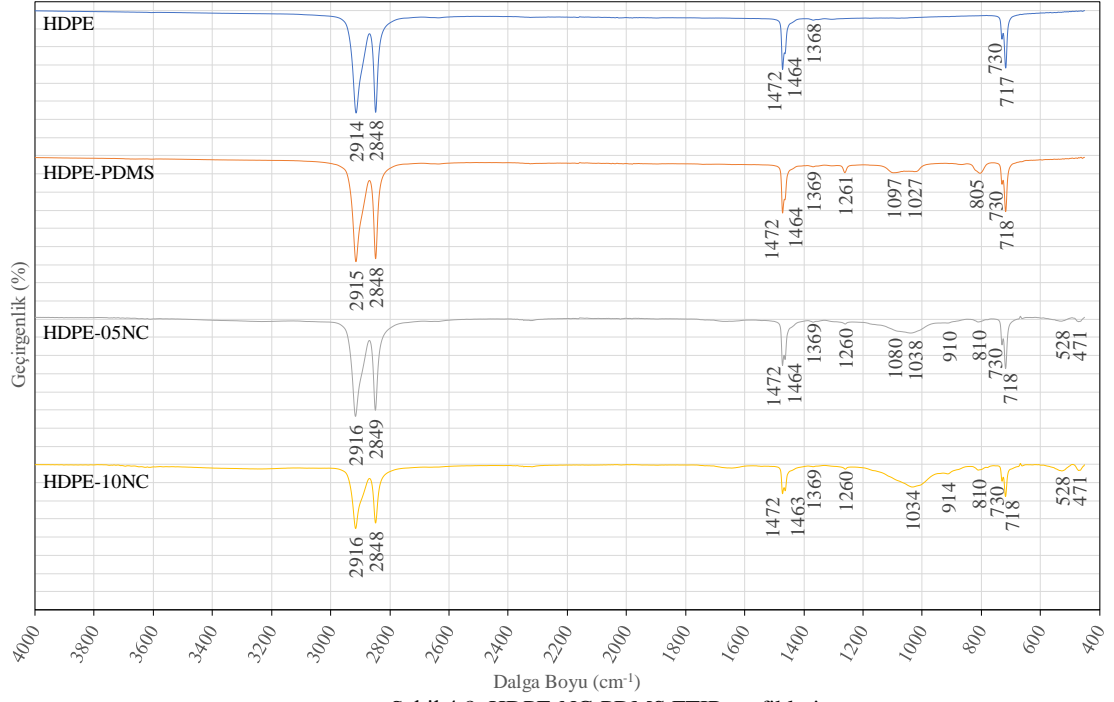
Pentaeritrolün kimyasal formülü C(CH<sub>2</sub>OH)<sub>4</sub> şeklindedir. 2954  $\text{cm}^{-1}$  ve 2942  $\text{cm}^{-1}$  bantları C–H gerilme, 1476  $\text{cm}^{-1}$  ve 993  $\text{cm}^{-1}$  bantları -CH düzlem bozulması, 1275-1128  $\text{cm}^{-1}$  arasında C–O gerilme durumları görülmektedir (Oueslati ve diğ. 2011). 3308  $\text{cm}^{-1}$  bandında O–H gerilme titreşimi, 1476  $\text{cm}^{-1}$  CH<sub>2</sub> eğilme titreşimi, 1405  $\text{cm}^{-1}$  CH<sub>3</sub> yüzey eğilmesi, 1039  $\text{cm}^{-1}$  C–O gerilme titreşimi görülmektedir (Tang ve diğ. 2014).

Amonyum polifosfatın kimyasal yapısı NH<sub>4</sub>PO<sub>3</sub> şeklindedir. 3166  $\text{cm}^{-1}$  bandı O–H titreşimi, 1246  $\text{cm}^{-1}$  bandı P–O titreşimi, 683  $\text{cm}^{-1}$  bandı –OH gerilme titreşimi ve 600  $\text{cm}^{-1}$  bandı O–P–O titreşim durumundan kaynaklanmaktadır (Sherief ve diğ. 2014). 1000-1100  $\text{cm}^{-1}$  aralığında P–O–C titreşim görülmektedir (Gu ve diğ. 2007). 883  $\text{cm}^{-1}$  bandında P–O asimetrik gerilme titreşimi, 1013  $\text{cm}^{-1}$  bandında PO<sub>2</sub> ve PO<sub>3</sub> simetrik titreşim, 1075  $\text{cm}^{-1}$  bandında P–O simetrik gerilme titreşim, 798  $\text{cm}^{-1}$  bandı P–O–P asimetrik gerilme titreşimi görülmektedir (Tang ve diğ. 2014).

Nanokil yapısında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O ve TiO<sub>2</sub> bileşiklerini barındırır. Hidroksil gruplarında 912  $\text{cm}^{-1}$  bandında O–H eğilme titreşimi, 466  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si–O–Si, Al–OH titreşimleri 779  $\text{cm}^{-1}$  ve 798  $\text{cm}^{-1}$  bandında görülmektedir. 523  $\text{cm}^{-1}$  bandı Al–O–Si titreşiminden, 3621  $\text{cm}^{-1}$  bandı silikat ve su etkileşiminden O–H gerilmesi, 1633  $\text{cm}^{-1}$  bandında absorbe edilmiş sudan dolayı –OH eğilme, 1113  $\text{cm}^{-1}$  bandında saf kilde Si–O gerilmesi ve düzlem dışı Si–O gerilmesi, 1000  $\text{cm}^{-1}$  bandında saf tabakalı silikatlarda düzlemsel gerilme titreşimi görülmektedir. 693, 798 ve 912  $\text{cm}^{-1}$  bantlarında Al–Al–OH ve Al–Mg–OH

eğilme titreşimi görülmektedir.  $3695\text{ cm}^{-1}$  bandında oktahedral Mg iyonlarındaki hidroksil grubunda Mg–OH gerilmesi ve  $1163\text{ cm}^{-1}$  bandında Si–O titreşimlerinden ötürü koordinasyon bandı görülmektedir (Jawaid 2016).

HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin FTIR analiz grafikleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Tablo 4.8’de pik noktalarının değerleri verilmiştir. İlave edilen katkılar hammaddelerdeki piklerle uyum içerisinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8: HDPE-NC-PDMS FTIR grafikleri

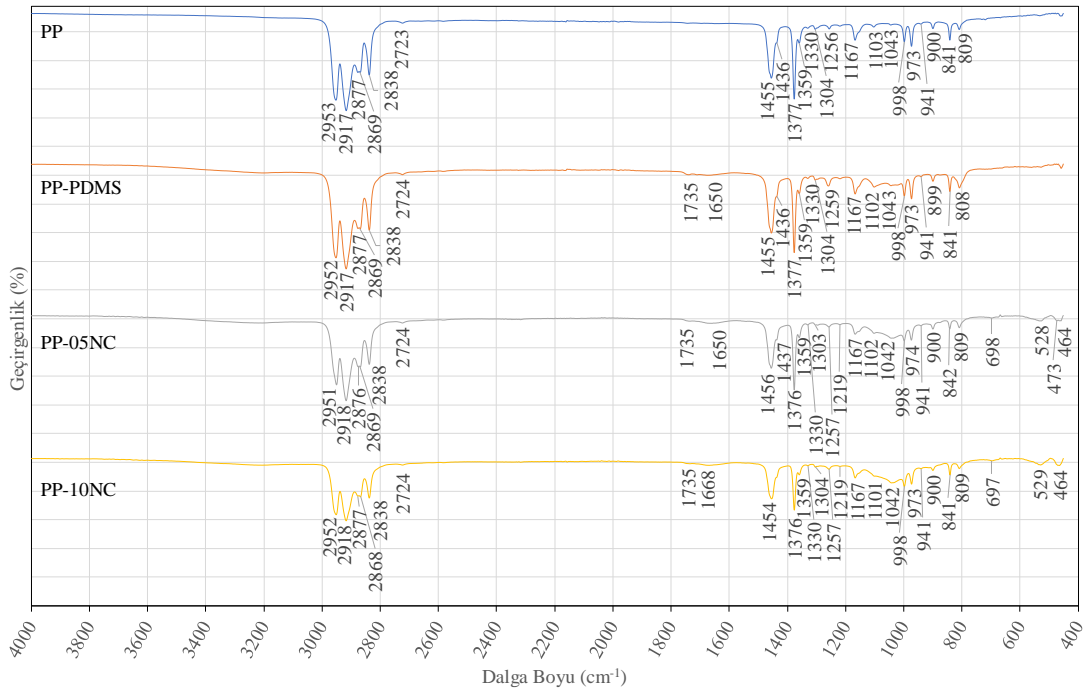
Tablo 4.8: HDPE-NC-PDMS piklere karşılık gelen dalga boyları

HDPE	HDPE-PDMS	HDPE-05NC	HDPE-10NC
2914	2915	2916	2916
2848	2848	2849	2848
1472	1472	1659	1472
1464	1464	1472	1463
1368	1394	1464	1369
730	1369	1369	1260
717	1261	1260	1034
	1197	1080	914
	1097	1038	810
	1027	910	730
	805	810	718
	730	730	528
	718	718	471
		528	

PDMS ilavesiyle HDPE polimerinde; 1261  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si-CH<sub>3</sub> grubunda CH<sub>3</sub> deformasyonu, 1097 ve 1027  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si-C gerilme ve 805  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si-CH<sub>3</sub> grubunda CH<sub>3</sub> sallanma durumu görülmüştür.

Nanokil içeriğinde bulunan Al, Si ve O atomları arasında 528  $\text{cm}^{-1}$  bandında Al-O-Si titreşim durumu, Si ve O atomları arasında 471  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si-O-Si titreşim durumu, 910 ve 914  $\text{cm}^{-1}$  bantlarında Al-Al-OH ve Al-Mg-OH eğilme titreşimi durumu görülmüştür.

PP-NC-PDMS kompozitlerinin FTIR analiz grafikleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Tablo 4.9'da pik noktalarının değerleri verilmiştir.



PP polimerine PDMS ilavesiyle 1261  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si-CH<sub>3</sub> grubunda CH<sub>3</sub> deformasyonu, 1097 ve 1027  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si-C gerilme ve 805  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si-CH<sub>3</sub> grubunda CH<sub>3</sub> sallanma durumu görülmüştür.

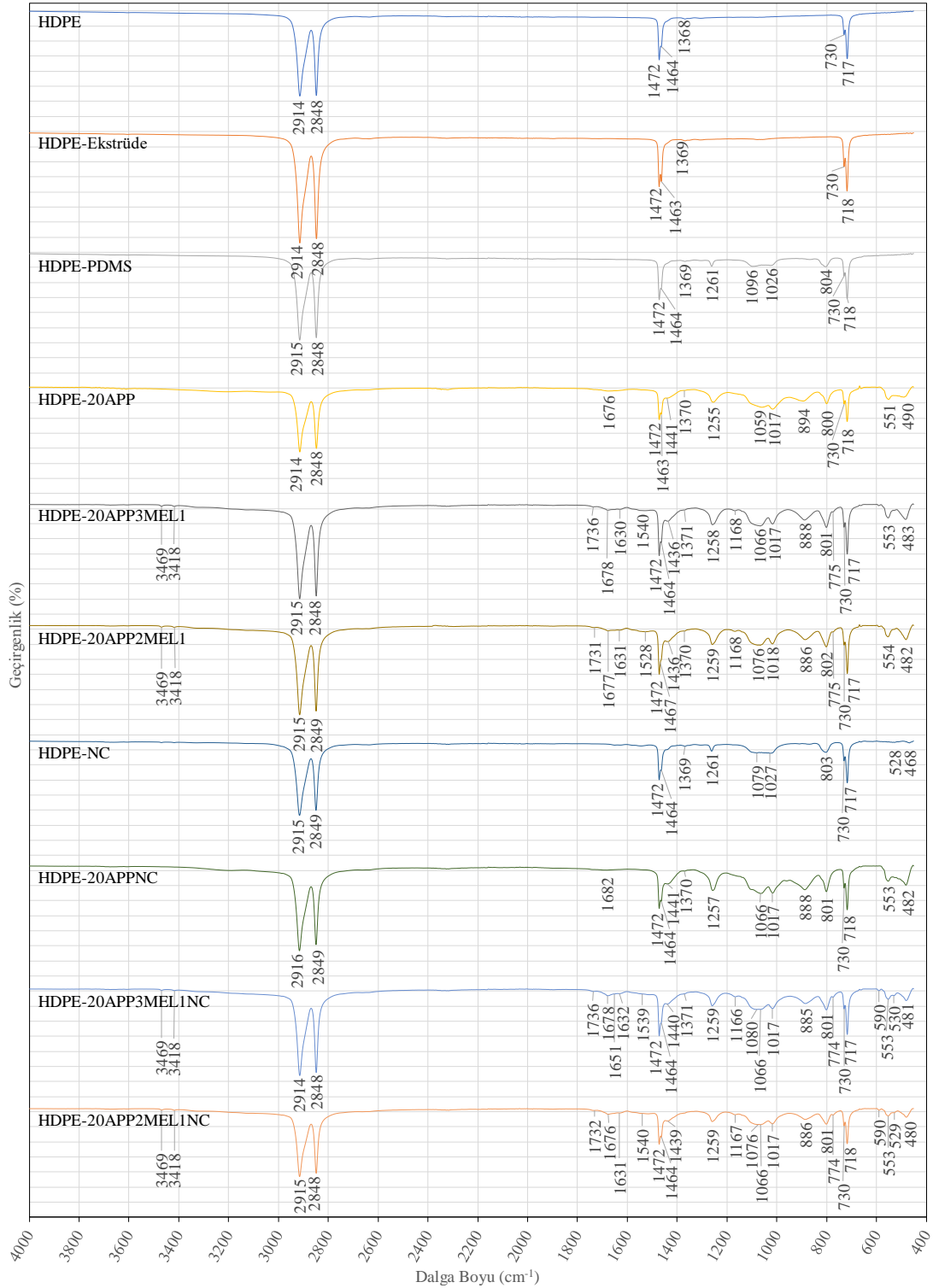
Nanokil içeriğinde bulunan Al, Si ve O atomları arasında 528 ve 529  $\text{cm}^{-1}$  bandında Al-O-Si titreşim durumu, Si ve O atomları arasında 464 ve 473  $\text{cm}^{-1}$  bandında Si-O-Si titreşim durumu ve 697 ve 698  $\text{cm}^{-1}$  bantlarında Al-Al-OH ve Al-Mg-OH eğilme titreşimi görülmüştür.

Tablo 4.9: PP-NC-PDMS piklere karşılık gelen dalga boyları

PP	PP-PDMS	PP-05NC	PP-10NC
2953	2952	2951	2952
2917	2917	2918	2918
2877	2877	2876	2877
2869	2869	2869	2868
2838	2838	2838	2838
2723	2724	2724	2724
1455	1735	1735	1735
1436	1650	1650	1668
1377	1455	1456	1454
1359	1436	1437	1376
1330	1377	1376	1359
1304	1359	1359	1330
1256	1330	1330	1304
1167	1304	1303	1257
1103	1259	1257	1219
1043	1167	1219	1167
998	1102	1167	1101
973	1043	1102	1042
941	998	1042	998
900	973	998	973
841	941	974	941
809	899	941	900
	841	900	841
	808	842	809
		809	697
		698	529
		528	464
		473	
		464	



HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin FTIR analiz grafikleri Şekil 4.10'da verilmiş olup Tablo 4.10'da pik noktalarının değerleri verilmiştir.



Şekil 4.10: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS FTIR grafikleri

HDPE polimerlerine APP ilavesi ile  $1255\text{ cm}^{-1}$  bandı P–O titreşimi,  $894\text{ cm}^{-1}$  bandında P–O asimetrik gerilme titreşimi,  $1059\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$  aralığında P–O–C titreşimi,  $798\text{ cm}^{-1}$  bandı P–O–P asimetrik gerilme titreşimi,  $1013\text{ cm}^{-1}$  bandında  $\text{PO}_2$

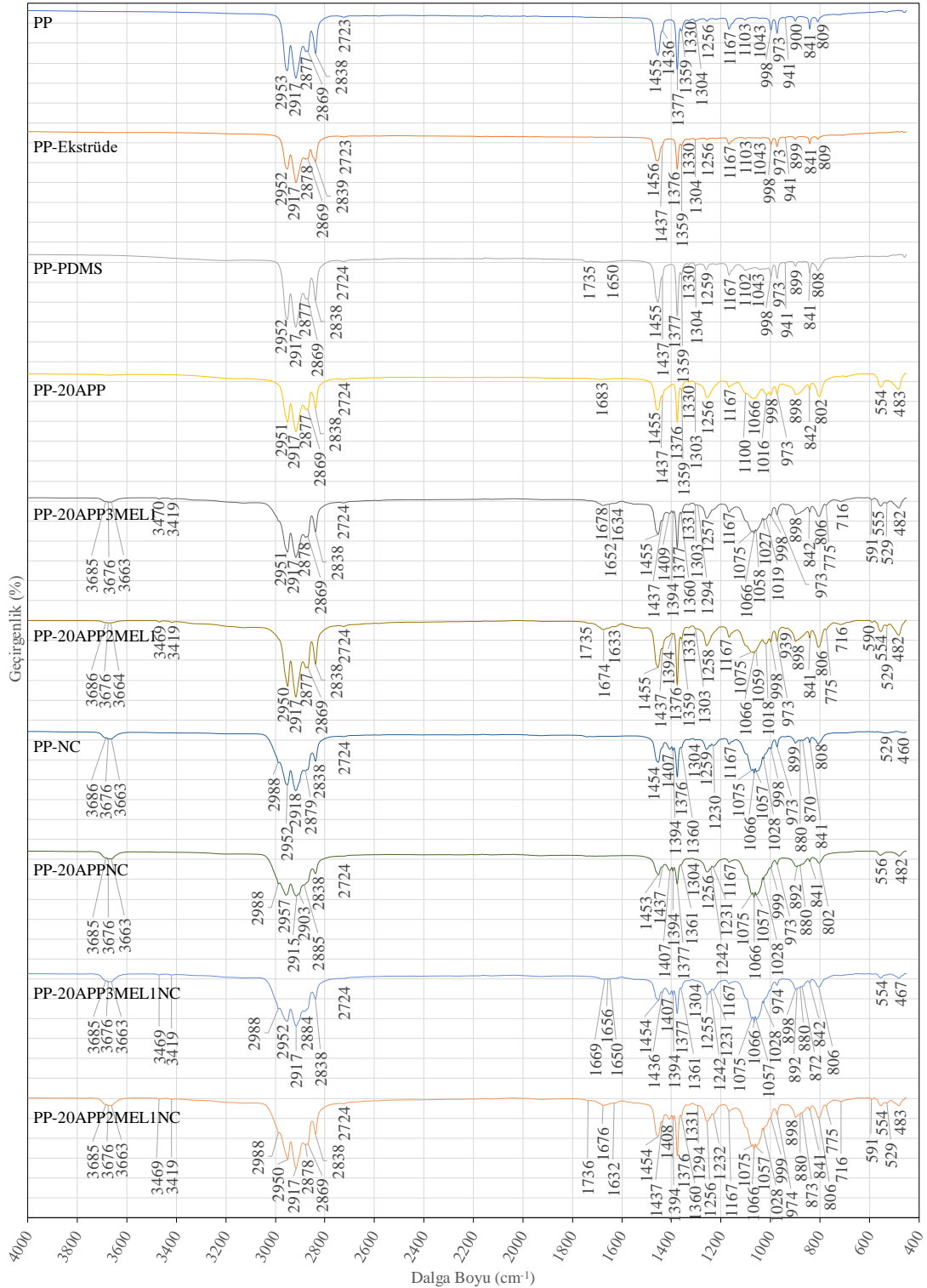
ve PO<sub>3</sub> simetrik titreşimi ve 1075 cm<sup>-1</sup> bandında P–O simetrik gerilme titreşimi görülmüştür.

HDPE polimerlerine MEL ilavesi ile 3469 cm<sup>-1</sup> bandında N–H simetrik ve asimetric gerilme, 3418, 1677 ve 1631 cm<sup>-1</sup> bantlarında N–H gerilme ve 1528 ve 1467 cm<sup>-1</sup> bantlarında C–N gerilme ve NH<sub>2</sub> eğilme titreşimi görülmüştür.

Tablo 4.10: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS piklere karşılık gelen dalga boyları

HDPE	HDPE- Ekstrüde	HDPE- PDMS	HDPE- 20APP	HDPE- 20APP3 MEL1	HDPE- 20APP2 MEL1	HDPE- -NC	HDPE- 20APP NC	HDPE- 20APP3 MEL1NC	HDPE- 20APP2 MEL1NC
2914	2914	2915	2914	3469	3469	2915	2916	3469	3469
2848	2848	2848	2848	3418	3418	2849	2849	3418	3418
1472	1472	1472	1676	2915	2915	1472	1682	2914	2915
1464	1463	1464	1472	2848	2849	1464	1472	2848	2848
1368	1369	1369	1463	1736	1731	1369	1464	1736	1732
730	730	1261	1441	1678	1677	1261	1441	1678	1676
717	718	1096	1370	1630	1631	1079	1370	1651	1631
		1026	1255	1540	1528	1027	1257	1632	1540
		804	1059	1472	1472	803	1066	1539	1472
		730	1017	1464	1467	730	1017	1472	1464
		718	894	1436	1436	717	888	1464	1439
			800	1371	1370	528	801	1440	1259
			730	1258	1259	468	730	1371	1167
			718	1168	1168		718	1259	1076
			551	1066	1076		553	1166	1066
			490	1017	1018		482	1080	1017
				888	886			1066	886
				801	802			1017	801
				775	775			885	774
				730	730			801	730
				717	717			774	718
				553	554			730	590
				483	482			717	553
								590	529
								553	480
								530	
								481	

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin FTIR analiz grafikleri Şekil 4.11’de verilmiş olup Tablo 4.11’de pik noktalarının değerleri verilmiştir.



Şekil 4.11: PP-APP-MEL-NC-PDMS FTIR grafikleri

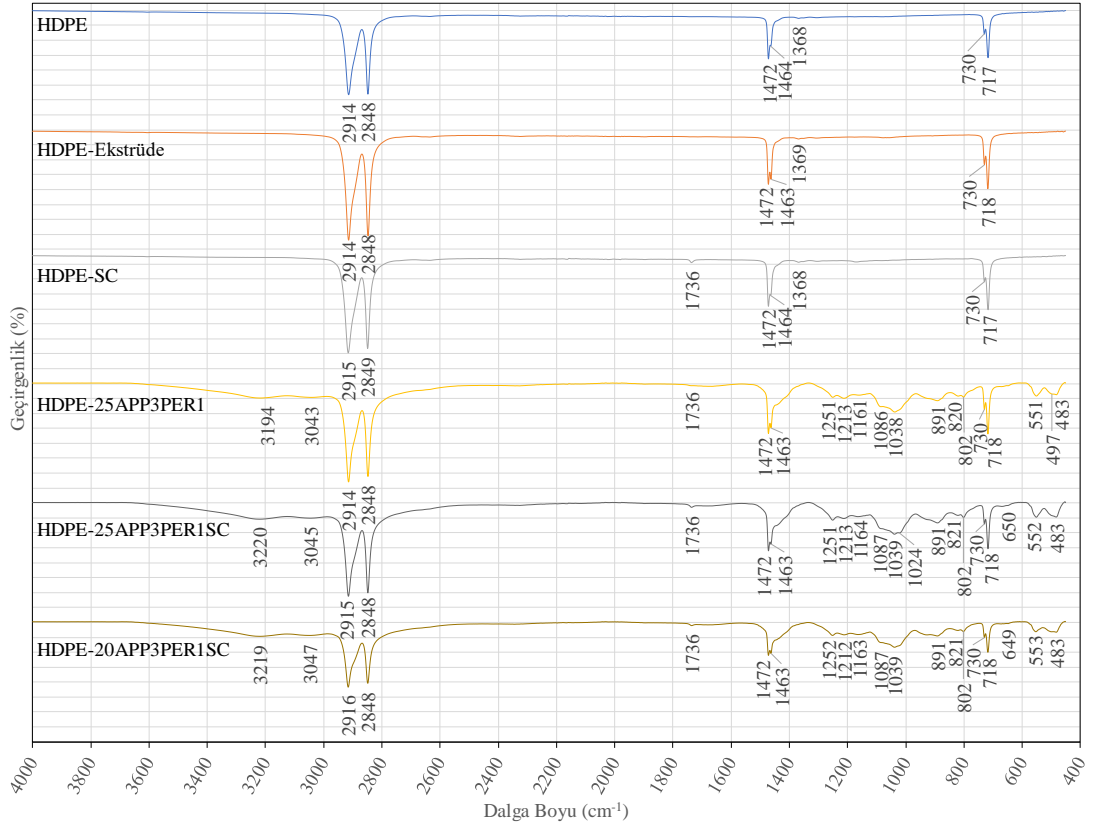
Tablo 4.11: PP-APP-MEL-NC-PDMS piklere karşılık gelen dalga boyları

PP	PP- Ekstrüde	PP- PDMS	PP- 20APP	PP- 20APP3 MEL1	PP- 20APP2 MEL1	PP- NC	PP- 20APP NC	PP- 20APP3 MEL1NC	PP- 20APP2 MEL1NC
2953	2952	2952	2951	3685	3686	3686	3685	3685	3685
2917	2917	2917	2917	3676	3676	3676	3676	3676	3676
2877	2878	2877	2877	3663	3664	3663	3663	3663	3663
2869	2869	2869	2869	3470	3469	2988	2988	3469	3469
2838	2839	2838	2838	3419	3419	2952	2957	3419	3419
2723	2723	2724	2724	2951	2950	2918	2915	2988	2988
1455	1456	1735	1683	2917	2917	2879	2903	2952	2950
1436	1437	1650	1455	2878	2877	2838	2885	2917	2917
1377	1376	1455	1437	2869	2869	2724	2838	2884	2878
1359	1359	1437	1376	2838	2838	1454	2724	2838	2869
1330	1330	1377	1359	2724	2724	1407	1453	2724	2838
1304	1304	1359	1330	1678	1735	1394	1437	1669	2724
1256	1256	1330	1303	1652	1674	1376	1407	1656	1736
1167	1167	1304	1256	1634	1633	1360	1394	1650	1676
1103	1103	1259	1167	1455	1455	1304	1377	1454	1632
1043	1043	1167	1100	1437	1437	1259	1361	1436	1454
998	998	1102	1066	1409	1394	1230	1304	1407	1437
973	973	1043	1016	1394	1376	1167	1256	1394	1408
941	941	998	998	1377	1359	1075	1242	1377	1394
900	899	973	973	1360	1331	1066	1231	1361	1376
841	841	941	898	1331	1303	1057	1167	1304	1360
809	809	899	842	1303	1258	1028	1075	1255	1331
		841	802	1294	1167	998	1066	1242	1294
		808	554	1257	1075	973	1057	1231	1256
			483	1167	1066	899	1028	1167	1232
				1075	1059	880	999	1075	1167
				1066	1018	870	973	1066	1075
				1058	998	841	892	1057	1066
				1027	973	808	880	1028	1057
				1019	939	529	841	974	1028
				998	898	460	802	898	999
				973	841		556	892	974
				898	806		482	880	898
				842	775			872	880
				806	716			842	873
				775	590			806	841
				716	554			554	806
				591	529			467	775
				555	482				716
				529					591
				482					554
									529
									483

PP polimerlerine APP ilavesi ile  $1256\text{ cm}^{-1}$  bandı P–O titreşimi,  $898\text{ cm}^{-1}$  bandında P–O asimetrik gerilme titreşimi,  $1066\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$  aralığında P–O–C titreşimi,  $1016\text{ cm}^{-1}$  bandında  $\text{PO}_2$  ve  $\text{PO}_3$  simetrik titreşim,  $802\text{ cm}^{-1}$  bandı P–O–P asimetrik gerilme titreşimi ve  $1066\text{ cm}^{-1}$  bandında P–O simetrik gerilme titreşimi görülmüştür.

PP polimerlerine MEL ilavesi ile  $3470\text{ cm}^{-1}$  bandında N–H simetrik ve asimetrik gerilme,  $3419$ ,  $1678$  ve  $1634\text{ cm}^{-1}$  bantlarında N–H gerilme ve  $1455\text{ cm}^{-1}$  bantlarında C–N gerilme ve  $\text{NH}_2$  eğilme titreşimleri görülmüştür.

HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin FTIR analiz grafikleri Şekil 4.12’de verilmiş olup Tablo 4.12’de pik noktalarının değerleri verilmiştir.



Şekil 4.12: HDPE-APP-PER-SC FTIR grafikleri

HDPE polimerine TSEB ilavesiyle  $\text{CH}_2$  gruplarında  $2914$ ,  $2915$  ve  $2916\text{ cm}^{-1}$  bandında C–H gerilme ve asimetrik bağlanma,  $2848$  ve  $2849\text{ cm}^{-1}$  bandında gerilme ve simetrik bağlanma,  $1463$  ve  $1464\text{ cm}^{-1}$  bandında C–H eğilme,  $717$  ve  $718\text{ cm}^{-1}$  bandında C–H eğilme,  $891\text{ cm}^{-1}$  bandında C–H eğilme,  $802$  ve  $821\text{ cm}^{-1}$  bantlarında C–C gerilme ve  $1734$  ve  $1736\text{ cm}^{-1}$  bandında C=O gerilme görülmüştür.

HDPE polimerine APP ilavesiyle 649 ve 650  $\text{cm}^{-1}$  bandı –OH gerilme titreşimi, 891  $\text{cm}^{-1}$  bandında P–O asimetrik gerilme titreşimi, 1024  $\text{cm}^{-1}$  bandında  $\text{PO}_2$  ve  $\text{PO}_3$  simetrik titreşimi, 1086  $\text{cm}^{-1}$  bandında P–O simetrik gerilme titreşimi, 802  $\text{cm}^{-1}$  bandı P–O–P asimetrik gerilme titreşimi, 3194, 3220 ve 3219  $\text{cm}^{-1}$  bandında O–H titreşimi, 1251 ve 1252  $\text{cm}^{-1}$  bandı P–O titreşimi ve 1024-1087  $\text{cm}^{-1}$  aralığında P–O–C titreşim görülmüştür.

HDPE polimerine PER ilavesiyle 2954 ve 2942  $\text{cm}^{-1}$  bantları C–H gerilme, 1252-1161  $\text{cm}^{-1}$  arasında C–O gerilme, 1038 ve 1039  $\text{cm}^{-1}$  C–O gerilme titreşimi görülmüştür.

Tablo 4.12: HDPE-APP-PER-SC piklere karşılık gelen dalga boyları

HDPE	HDPE- Ekstrüde	HDPE -SC	HDPE- 25APP3PER1	HDPE- 25APP3PER1SC	HDPE- 20APP3PER1SC
2914	2914	2915	3194	3220	3219
2848	2848	2849	3043	3045	3047
1472	1472	1736	2914	2915	2916
1464	1463	1472	2848	2848	2848
1368	1369	1464	1736	1736	1736
730	730	1368	1472	1472	1472
717	718	730	1463	1463	1463
		717	1251	1251	1252
			1213	1213	1212
			1161	1164	1163
			1086	1087	1087
			1038	1039	1039
			891	1024	891
			820	891	821
			802	821	802
			730	802	730
			718	730	718
			551	718	649
			497	650	553
			483	552	483
				483	

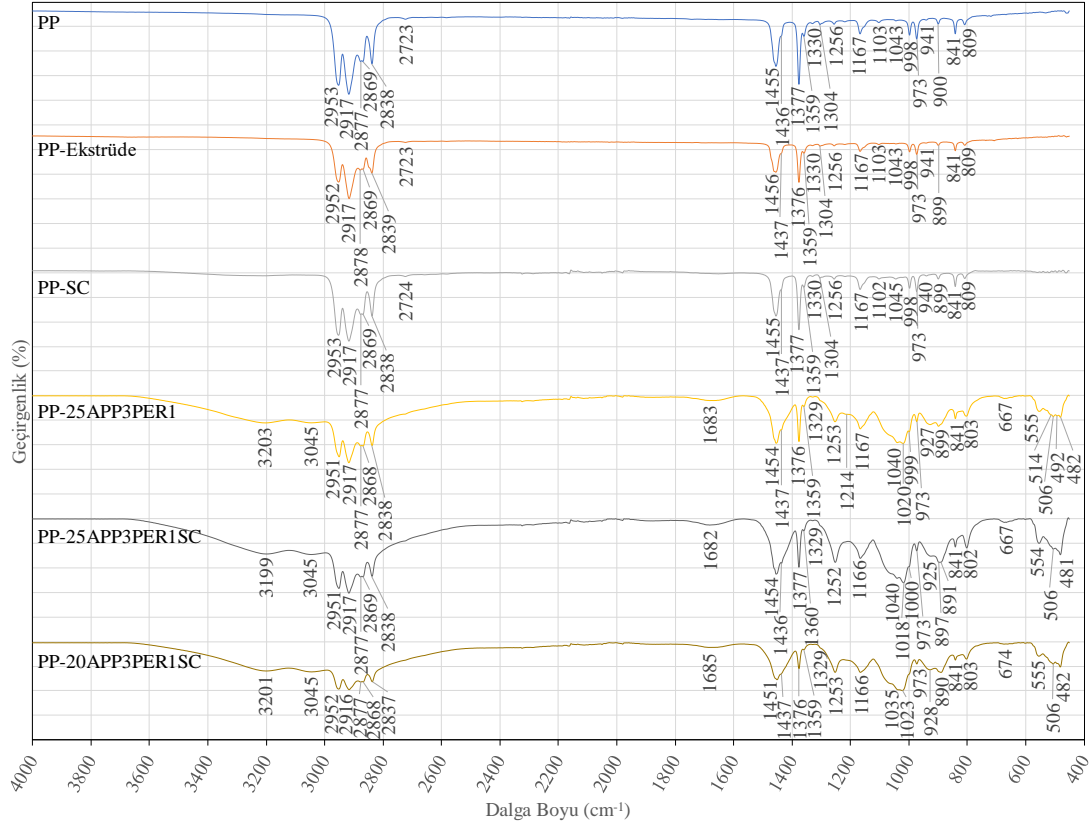
PP-APP-PER-SC kompozitlerinin FTIR analiz grafikleri Şekil 4.13'te verilmiş olup Tablo 4.13'te pik noktalarının değerleri verilmiştir.

Tablo 4.13: PP-APP-PER-SC piklere karşılık gelen dalga boyları

PP	PP- Ekstrüde	PP- SC	PP- 25APP3 PER1	PP- 25APP3 PER1SC	PP- 20APP3 PER1SC
2953	2952	2953	3203	3199	3201
2917	2917	2917	3045	3045	3045
2877	2878	2877	2951	2951	2952
2869	2869	2869	2917	2917	2916
2838	2839	2838	2877	2877	2877
2723	2723	2724	2868	2869	2868
1455	1456	1455	2838	2838	2837
1436	1437	1437	1683	1682	1685
1377	1376	1377	1454	1454	1451
1359	1359	1359	1437	1436	1437
1330	1330	1330	1376	1377	1376
1304	1304	1304	1359	1360	1359
1256	1256	1256	1329	1329	1329
1167	1167	1167	1253	1252	1253
1103	1103	1102	1214	1166	1166
1043	1043	1045	1167	1040	1035
998	998	998	1040	1018	1023
973	973	973	1020	1000	973
941	941	940	999	973	928
900	899	899	973	925	890
841	841	841	927	897	841
809	809	809	899	891	803
			841	841	674
			803	802	555
			667	667	506
			555	554	482
			514	506	
			506	481	
			492		
			482		

PP polimerine APP ilavesiyle 891, 899 ve 890  $\text{cm}^{-1}$  bandında P–O asimetric gerilme titreşimi, 1020, 1018 ve 1023  $\text{cm}^{-1}$  bandında  $\text{PO}_2$  ve  $\text{PO}_3$  simetric titreşim, 803 ve 802  $\text{cm}^{-1}$  bandı P–O–P asimetric gerilme titreşimi, 3203, 3199 ve 3201  $\text{cm}^{-1}$  bandı O–H titreşimi, 1252 ve 1253  $\text{cm}^{-1}$  bandı P–O titreşimi, 667 ve 674  $\text{cm}^{-1}$  bandı –OH gerilme titreşimi ve 1020, 1018 ve 1023  $\text{cm}^{-1}$  aralığında P–O–C titreşimi görülmüştür.

PP polimerine PER ilavesiyle 2951 ve 2952  $\text{cm}^{-1}$  bantları C–H gerilme, 1253-1161  $\text{cm}^{-1}$  arasında C–O gerilme ve 1040 ve 1035  $\text{cm}^{-1}$  C–O gerilme titreşimi görülmüştür.



Şekil 4.13: PP-APP-PER-SC FTIR grafikleri

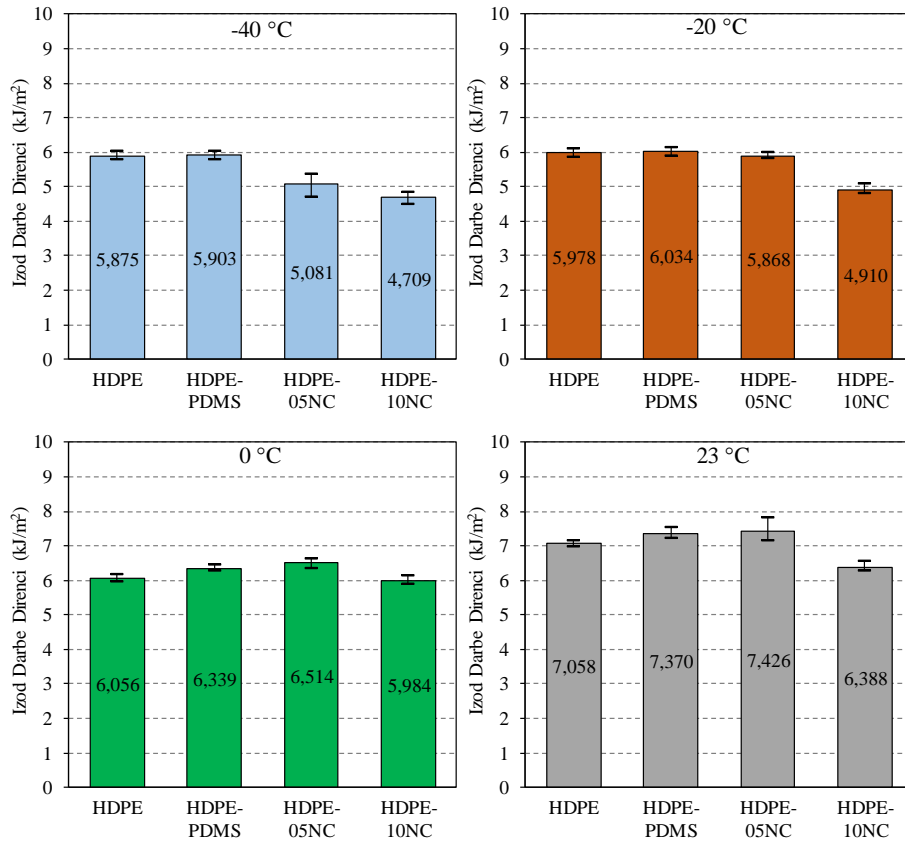
#### 4.1.4 Izod darbe deneyi sonuçları

Yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilen polimerlerinin çentikli ve çentiksiz Izod darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çentikli Izod darbe deneylerinde tüm numuneler kırılırken çentiksiz HDPE kompozitlerin saf HDPE numuneleri ve %2 NC ilaveli HDPE kompozitleri gerçekleştirilen tüm sıcaklıklarda çekicin enerji değeri 25 J'a çıkarılıp denenmesine rağmen kırılmamıştır. İlâveten %5 NC ilaveli çentiksiz HDPE-05NC kompoziti 23 °C'de kırılmamıştır. HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyleri sonuçları Şekil 4.14'te verilmiştir.

PDMS ilavesi ile Izod darbe direnci değeri -40 °C'de %0,5'lik artışla 5,875  $\text{kJ/m}^2$ 'den 5,903  $\text{kJ/m}^2$ 'ye çıktığı buna karşın %5 NC ilavesi ile %13,9'luk düşüşle 5,081  $\text{kJ/m}^2$ 'ye ve %10 NC ilavesi ile %20,2'lik düşüşle 4,709  $\text{kJ/m}^2$ 'ye düştüğü



görülmüştür. Benzer şekilde  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de %0,9'luk artışla  $5,978\text{ kJ/m}^2$ 'den  $6,034\text{ kJ/m}^2$ 'ye çıktığı buna karşın %5 NC ilavesi ile %2,8'lik düşüşle  $5,868\text{ kJ/m}^2$ 'ye ve %10 NC ilavesi ile %18,6'lık düşüşle  $4,910\text{ kJ/m}^2$ 'ye düştüğü belirlenmiştir.  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ise PDMS ilavesi ile %4,7'lik artışla  $6,339\text{ kJ/m}^2$ 'ye ve %5 NC ilavesi ile %7,6'lık artışla  $6,514\text{ kJ/m}^2$ 'ye çıktığı buna karşın %10 NC ilavesi ile birlikte %1,2'lik azalış ile  $5,984\text{ kJ/m}^2$ 'ye düştüğü gözlemlenmiştir.  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ise  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye benzer şekilde PDMS ilavesi ile birlikte %4,4'lük artışla  $7,058\text{ kJ/m}^2$ 'den  $7,370\text{ kJ/m}^2$ 'ye ve %5 NC ilavesi ile birlikte %5,2'lik artışla  $7,426\text{ kJ/m}^2$ 'ye çıktığı fakat %10 NC ilavesi ile %9,5'lik düşüşle  $6,388\text{ kJ/m}^2$ 'ye düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.14: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri

Sıcaklık arttıkça Izod darbe direnci artmaktadır. Tablo 4.14'te sonuçların ortalama değerleri, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir. Katkısız HDPE ürün  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de  $5,875\text{ kJ/m}^2$  iken %1,8'lik artışla  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de  $5,978\text{ kJ/m}^2$ 'ye,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de %3,1'lik artışla  $6,056\text{ kJ/m}^2$ 'ye ve  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de %20,1'lik artışla  $7,058\text{ kJ/m}^2$ 'ye şeklinde artış gözlemlenmiştir. PDMS ilaveli HDPE kompozitte  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de  $5,903\text{ kJ/m}^2$  iken %2,2'lik artışla  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de  $6,034\text{ kJ/m}^2$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de %7,4'lük artışla  $6,339\text{ kJ/m}^2$ ,  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de %24,9'lük artışla  $7,370\text{ kJ/m}^2$  değerlerinde

görülmüştür. %5 NC ilaveli HDPE ürünlerinde -40 °C’de 5,081 kJ/m<sup>2</sup> iken %15,5’lik artışla -20 °C’de 5,868 kJ/m<sup>2</sup>’ye, 0 °C’de %28,2’lik artışla 6,514 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve 23 °C’de %46,2’lik artışla 7,426 kJ/m<sup>2</sup> değeri ile çentikli Izod darbe deneylerinde en yüksek değere ulaştığı tespit edilmiştir. %10 NC ilaveli HDPE ürünlerde ise -40 °C’de 4,709 kJ/m<sup>2</sup> iken -20 °C’de %4,3’lik artışla 4,910 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %27,1’lik artışla 5,984 kJ/m<sup>2</sup>, 23 °C’de %35,7’lik artışla 6,388 kJ/m<sup>2</sup>’lik değere sahip olduğu görülmüştür. Sepet ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada HDPE polimerine NC ilavesiyle darbe direnci değerlerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir.

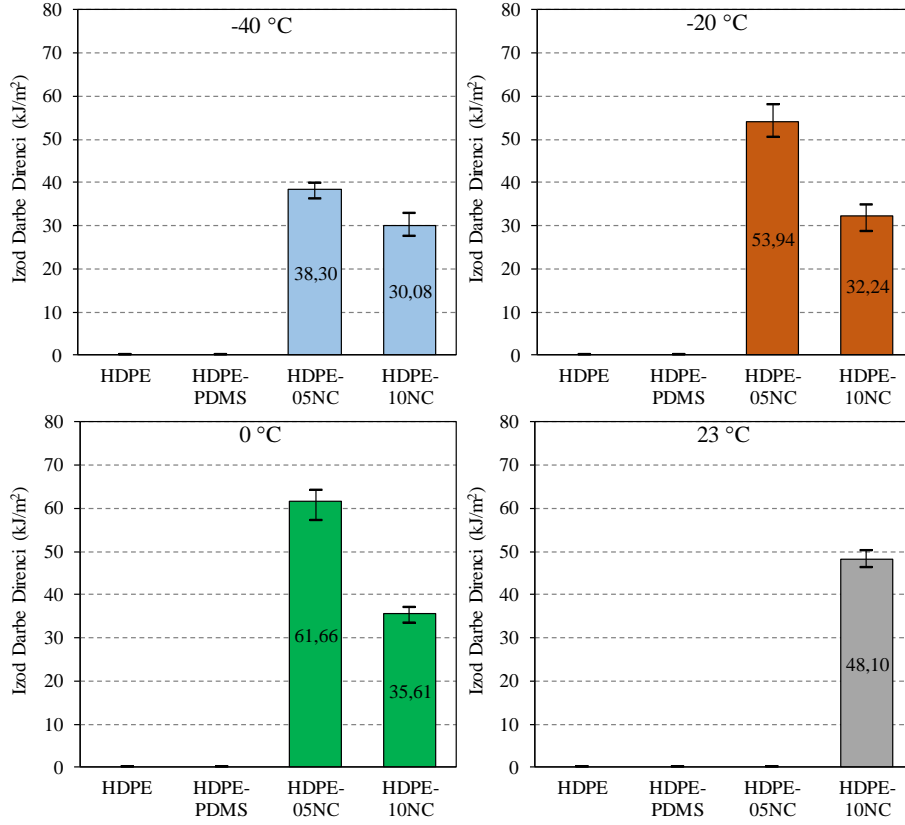
Tablo 4.14: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları

Çentikli	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
HDPE	5,875±0,124	0,126	5,978±0,126	0,127	6,056±0,098	0,100	7,058±0,098	0,098
HDPE-PDMS	5,903±0,114	0,114	6,034±0,109	0,116	6,339±0,101	0,104	7,370±0,163	0,163
HDPE-05NC	5,081±0,345	0,355	5,868±0,088	0,101	6,514±0,138	0,145	7,426±0,337	0,347
HDPE-10NC	4,709±0,185	0,205	4,91±0,145	0,150	5,984±0,138	0,145	6,388±0,148	0,156

HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneylerinde tüm sıcaklıklarda HDPE ve HDPE-PDMS numuneleri kırılmamıştır. Çekiç numuneyi eğerek diğer tarafa geçmiştir. HDPE içerisinde NC miktarı arttıkça Izod darbe direnci değerlerinin düştüğü görülmüştür (Şekil 4.15). Tablo 4.15’te sonuçların ortalama değerleri, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.

-40 °C’de %5 NC katkılı ürün 38,39 kJ/m<sup>2</sup> iken %10 NC katkılı üründe %21,5 düşüşle 30,08 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü gözlemlenmiştir. -20 °C’de %5 NC katkılı ürün 53,94 kJ/m<sup>2</sup> iken %10 NC katkılı ürün %40,2’lik düşüşle 32,24 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü belirlenmiştir. 0 °C’de %5 NC katkılı ürün 61,66 kJ/m<sup>2</sup> iken %10 NC katkılı ürün %42,2’lik düşüşle 35,61 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü tespit edilmiştir. 23 °C’de %5 NC katkılı ürün kırılmamış buna karşın %10 NC katkılı ürünün kırıldığı ve Izod darbe direncinin 48,10 kJ/m<sup>2</sup> değerinde olduğu belirlenmiştir.

%5 NC katkılı HDPE ürün -40 °C’de 38,30 kJ/m<sup>2</sup> iken %40,8’lik artışla -20 °C’de 53,94 kJ/m<sup>2</sup>’ye, 0 °C’de %61’lik artışla 61,66 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve 23 °C’de ise kırılmadığı gözlemlenmiştir. %10 NC katkılı HDPE ürün -40 °C’de 30,08 kJ/m<sup>2</sup> iken %7,2’lik artışla -20 °C’de 32,24 kJ/m<sup>2</sup>’ye, 0 °C’de %18,4’lük artışla 35,61 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve 23 °C’de %59,9’luk artışla 48,1 kJ/m<sup>2</sup>’lik değere sahip olduğu görülmüştür.



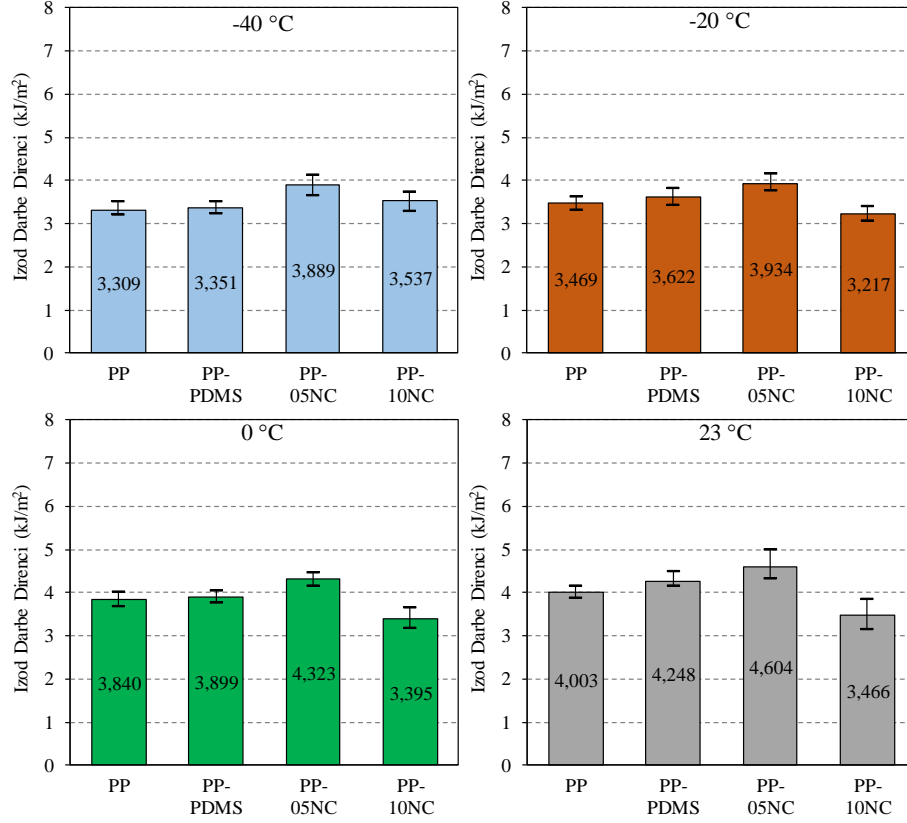
Şekil 4.15: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri

Tablo 4.15: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları

Çentiksiz	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
HDPE	-	-	-	-	-	-	-	-
HDPE-PDMS	-	-	-	-	-	-	-	-
HDPE-05NC	38,30±1,77	1,816	53,94±3,74	3,787	61,66±3,49	3,816	-	-
HDPE-10NC	30,08±2,56	2,564	32,24±3,11	3,249	35,61±1,80	1,880	48,10±2,04	2,047

PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli ve çentiksiz Izod darbe deneylerinde tüm sıcaklıklarda numunelerin tamamı kırılmıştır. Şekil 4.16'da çentikli Izod darbe deneyi sonuçları verilmiştir. -40 °C'de PP polimerine PDMS ilavesi ile Izod darbe direncinde %1,3'lük artış ile 3,309 kJ/m<sup>2</sup>'den 3,351 kJ/m<sup>2</sup>'ye artış, %5 NC ilavesi %17,5'lik artış ile 3,889 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %10 NC ilavesi ile %6,9'luk artış ile 3,537 kJ/m<sup>2</sup>'ye artış gözlemlenmiştir. -20 °C'de PDMS ilavesi ile %4,4'lük artış ile 3,469 kJ/m<sup>2</sup>'den 3,622 kJ/m<sup>2</sup>'ye artış, %5 NC ilavesi %13,4'lük artış ile 3,934 kJ/m<sup>2</sup>'ye buna karşın %10 NC ilavesi ile %7,3'lük azalış ile 3,217 kJ/m<sup>2</sup>'ye düştüğü belirlenmiştir. 0 °C'de PDMS ilavesi ile %1,5'lik artış ile 3,840 kJ/m<sup>2</sup>'den 3,899 kJ/m<sup>2</sup>'ye artış, %5 NC ilavesi %12,6'lık artış ile 4,323 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %10 NC ilavesi ile %11,6'lük azalış ile 3,217 kJ/m<sup>2</sup>'ye düştüğü görülmüştür. 23 °C'de PDMS ilavesi

ile %6,1'lik artış ile 4,003 kJ/m<sup>2</sup>'den 4,248 kJ/m<sup>2</sup>'ye artış, %5 NC ilavesi en yüksek çentikli Izod darbe direncine ulaşmış ve %13,4'lük artış ile 4,604 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %10 NC ilavesinde ise %13,4'lük düşüş ile 3,466 kJ/m<sup>2</sup>'ye azalma tespit edilmiştir.



Şekil 4.16: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri

Tablo 4.16'da sonuçların ortalama değerleri, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.

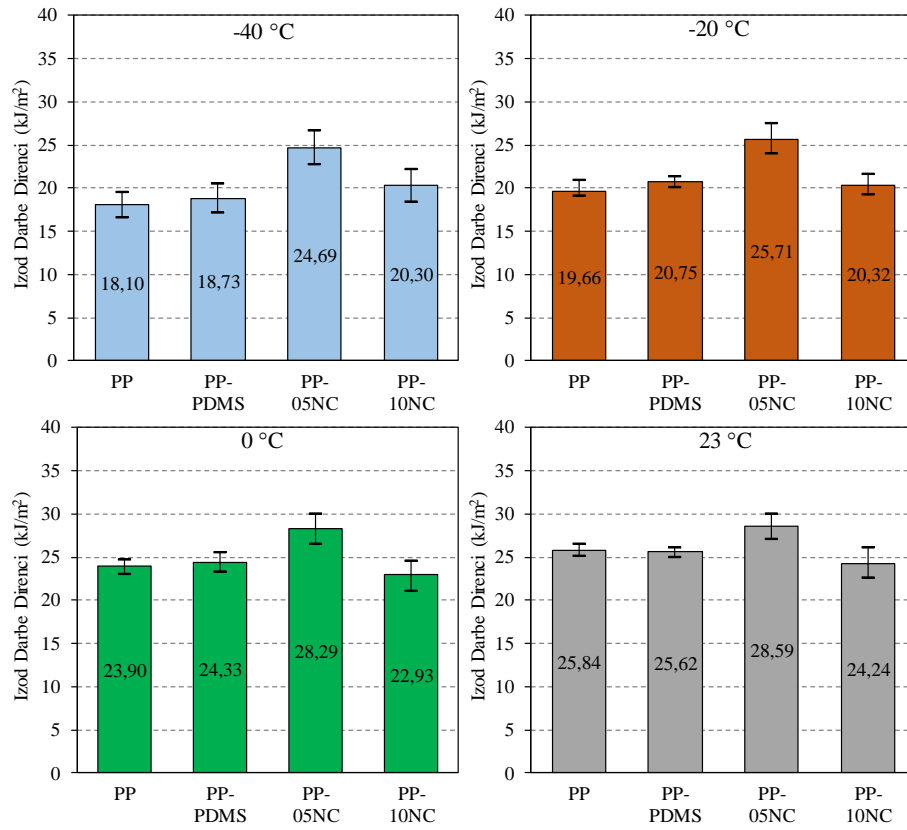
Tablo 4.16: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları

Çentikli	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
PP	3,309±0,164	0,126	3,469±0,150	0,127	3,840±0,163	0,100	4,003±0,138	0,098
PP-PDMS	3,351±0,139	0,114	3,622±0,183	0,116	3,899±0,136	0,104	4,248±0,169	0,163
PP-05NC	3,889±0,243	0,355	3,934±0,198	0,101	4,323±0,158	0,145	4,604±0,340	0,347
PP-10NC	3,537±0,232	0,205	3,217±0,169	0,150	3,395±0,227	0,145	3,466±0,357	0,156

Katkısız PP -40 °C'de 3,309 kJ/m<sup>2</sup> iken %4,8'lik artışla -20 °C'de 3,469 kJ/m<sup>2</sup>'ye, 0 °C'de %16'lık artışla 3,840 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve 23 °C'de %21'lik artışla 4,003 kJ/m<sup>2</sup>'ye artış gözlemlenmiştir. PDMS ilaveli PP kompozitte -40 °C'de 3,351 kJ/m<sup>2</sup> iken %4,8'lik artışla -20 °C'de 3,622 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C'de %16,4'lük artışla 3,899 kJ/m<sup>2</sup>,

23 °C’de %26,8’lik artışla 4,248 kJ/m<sup>2</sup> değerlerinde görülmüştür. %5 NC ilaveli PP kompozitlerde -40 °C’de 3,889 kJ/m<sup>2</sup> iken %1,2’lik artışla -20 °C’de 3,934 kJ/m<sup>2</sup>’ye, 0 °C’de %11,2’lik artışla 4,323 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve 23 °C’de %18,4’lük artışla 4,604 kJ/m<sup>2</sup> değeri ile çentikli Izod darbe deneylerinde en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir. %10 NC ilaveli PP ürünlerde ise -40 °C’de 3,537 kJ/m<sup>2</sup> iken -20 °C’de %9’lük azalma ile 3,217 kJ/m<sup>2</sup>’ye düşüş, 0 °C’de %4’lük azalma ile 3,395 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve 23 °C’de %2’lik azalma ile 3,466 kJ/m<sup>2</sup>’ye düştüğü tespit edilmiştir.

PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe direnci sonuçları Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri

-40 °C’de PDMS ilavesi ile Izod darbe direnci %3,5 oranında artarak 18,1 kJ/m<sup>2</sup>’den 18,73 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %5 NC ilavesi ile %36,4’lük artışla 24,69 kJ/m<sup>2</sup>’ye çıkmış olup %10 NC ilavesi ile %12,2’lik artışla 20,3 kJ/m<sup>2</sup>’ye çıktığı görülmüştür. Benzer şekilde -20 °C’de PP matrisine PDMS ilavesi Izod darbe direncini %5,5 oranında arttırarak 19,66 kJ/m<sup>2</sup>’den 20,75 kJ/m<sup>2</sup> değerine arttırdığı, %5 NC ilavesi ile %30,8 oranında arttırarak 25,71 kJ/m<sup>2</sup>’ye çıkardığı ve %10 NC ilavesi ile %3,4 arttırarak 20,32 kJ/m<sup>2</sup> değerlerine çıkardığı

tespit edilmiştir. 0 °C’de PDMS ilavesi ile %1,8’lik artışla 23,90 kJ/m<sup>2</sup>’den 24,33 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıkardığı, %5 NC ilavesinde %18,4’lük artışla 28,29 kJ/m<sup>2</sup>’ye buna karşın %10 NC ilavesi %4,1’lik azalma ile 22,93 kJ/m<sup>2</sup> değerine düşürdüğü gözlemlenmiştir. 23 °C’de PDMS ilavesi ile %0,9’luk azalma ile 25,84 kJ/m<sup>2</sup>’den 25,62 kJ/m<sup>2</sup> değerine düşüş, %5 NC ilavesi ile %10,6’lık artış ile 28,59 kJ/m<sup>2</sup>’ye çıktığı ve %10 NC ilavesinde ise %6,2’lik azalma ile 24,24 kJ/m<sup>2</sup>’ye düştüğü görülmüştür.

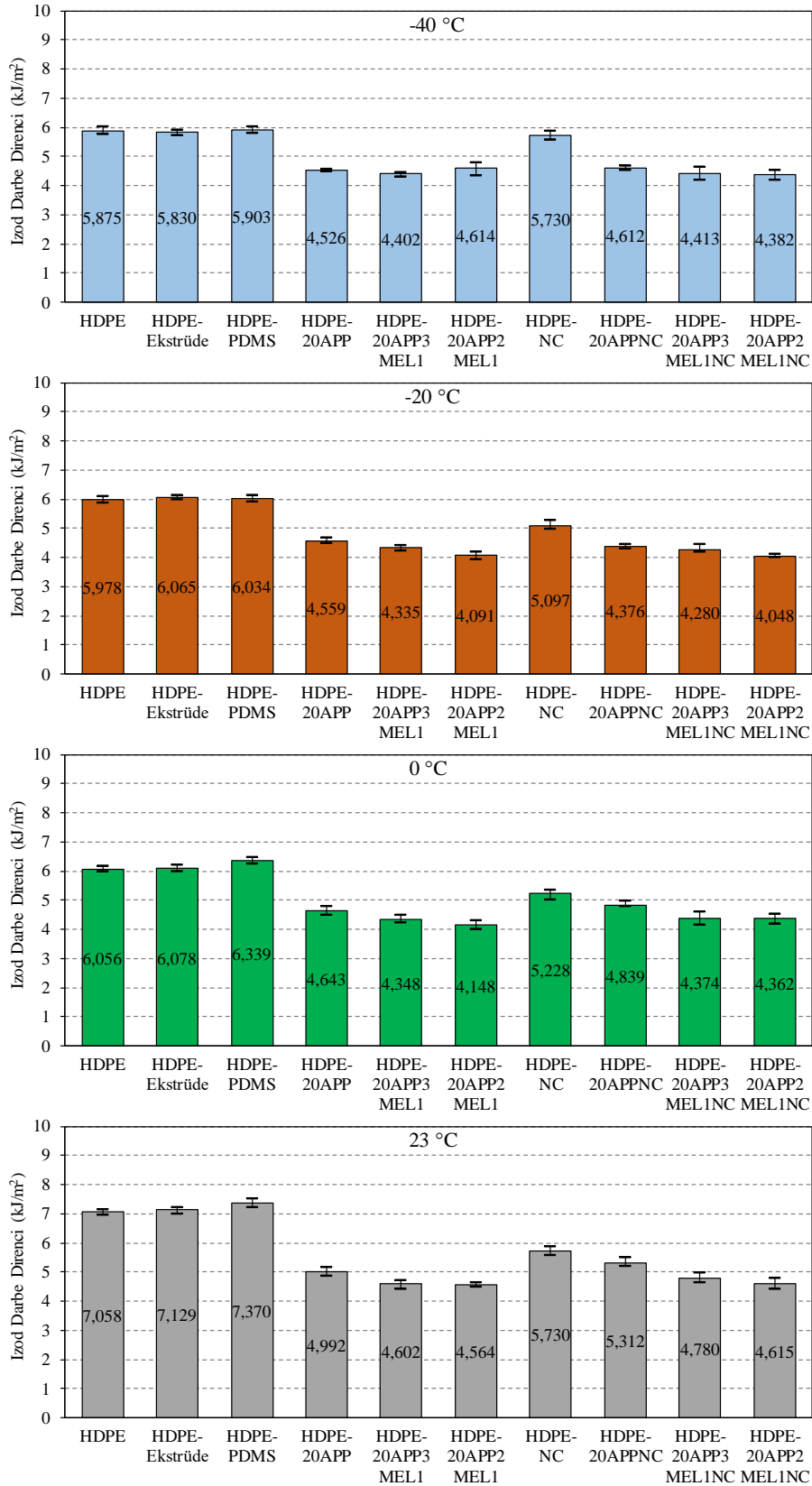
Tablo 4.17’de sonuçların ortalama değerleri, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir. Katkısız PP -40 °C’de 18,10 kJ/m<sup>2</sup> iken %8,6’lık artışla -20 °C’de 19,66 kJ/m<sup>2</sup>’ye, 0 °C’de %32’lik artışla 23,90 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve 23 °C’de %42,8’lik artışla 25,84 kJ/m<sup>2</sup> şeklinde artış görülmüştür. PDMS ilaveli PP kompozitte -40 °C’de 18,73 kJ/m<sup>2</sup> iken %10,8’lik artışla -20 °C’de 20,75 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %29,9’luk artışla 24,33 kJ/m<sup>2</sup>, 23 °C’de %36,8’lik artışla 25,62 kJ/m<sup>2</sup> değerinde olduğu gözlemlenmiştir.

%5 NC ilavesi ile -40 °C’de 24,69 kJ/m<sup>2</sup> değerinde iken %4,1’lik artışla -20 °C’de 25,71 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %14,6’lık artışla 28,29 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %15,8’lik artışla 28,59 kJ/m<sup>2</sup> değeri ile PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneylerinde en yüksek değerini almıştır. %10 NC ilavesi ile -40 °C’de 20,30 kJ/m<sup>2</sup> değerinde iken %0,1’lik artışla -20 °C’de 20,32 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %13’lük artışla 22,93 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %19,4’lük artışla 24,24 kJ/m<sup>2</sup> değerine ulaştığı görülmüştür.

Tablo 4.17: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları

Çentiksiz	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
PP	18,10±1,45	1,460	19,66±0,90	1,031	23,90±0,82	0,820	25,84±0,76	0,762
PP-PDMS	18,73±1,67	1,674	20,75±0,62	0,641	24,33±1,17	1,171	25,62±0,61	0,645
PP-05NC	24,69±1,90	1,898	25,71±1,72	1,718	28,29±1,72	1,722	28,59±1,46	1,464
PP-10NC	20,30±1,93	1,928	20,32±1,20	1,213	22,93±1,78	1,807	24,24±1,73	1,737

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe numunelerinin tamamı kırılmış olup deney sonuçları Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri

-40 °C’de yapılan Izod darbe deneylerinde ekstrüzyondan geçirilmiş katkısız HDPE numunesinde %0,8’lik azalma ile 5,875 kJ/m<sup>2</sup>’den 5,830 kJ/m<sup>2</sup>’ye düşmüş olup buna karşın PDMS ilavesi ile birlikte %0,5’lik artış ile 5,903 kJ/m<sup>2</sup>’ye yükselmiştir. Kütlece %20 APP ilavesi %23’lük azalma, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %25,1’lik azalma ve %20APP2MEL1 ilavesi ile %21,5’lik azalmaya sebep olduğu görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %2,5’lik azalma ile 5,730 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APPNC ilavesi ile %21,5’lik azalma ile 4,612 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %24,9’luk azalma ile 4,413 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %25,4’lük azalma ile 4,382 kJ/m<sup>2</sup>’ye düşüş gözlemlenmiştir.

-20 °C’de yapılan Izod darbe deneylerinde ekstrüde edilmiş HDPE numunesinde %1,5’lik artış ile 5,978 kJ/m<sup>2</sup>’den 6,065 kJ/m<sup>2</sup>’ye, PDMS ilavesi ile birlikte bu değer %0,9’luk artışla 6,034 kJ/m<sup>2</sup>’ye yükseldiği tespit edilmiştir. %20 APP ilavesi ile %23,7 azalma ile 4,559 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APP3MEL1 ilavesi ile 4,335 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile 4,091 kJ/m<sup>2</sup>’ye düşüş gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesi ile %14,7 azalma ile 5,097 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APPNC ilavesi ile %26,8’lik azalma ile 4,376 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %28,4’lük azalma ile 4,280 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %32,3’lük azalma ile 4,048 kJ/m<sup>2</sup>’ye düşüş görülmüştür.

0 °C’deki Izod darbe deneylerinde ekstrüde edilmiş HDPE numunesinde %0,4’lük artışla 6,056 kJ/m<sup>2</sup>’den 6,078 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve PDMS ilavesi ile %4,7’lik artışla 6,339 kJ/m<sup>2</sup>’ye ulaştığı gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesi ile %23,3’lük azalma ile 4,643 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %28,2 azalma ile 4,348 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %31,5’lik azalma ile 4,148 kJ/m<sup>2</sup>’ye düştüğü görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %13,7’lik azalma ile 5,228 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APPNC ilavesi ile %20,1’lik azalma ile 4,839 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %27,8’lik azalma ile 4,374 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %28’lik azalma ile 4,362 kJ/m<sup>2</sup>’ye düştüğü tespit edilmiştir.

23 °C’de Izod darbe deneylerinde ekstrüde edilmiş HDPE numunesinde %1’lik artışla 7,058 kJ/m<sup>2</sup>’den 7,129 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve PDMS ilavesi ile %4,4’lük artışla 7,370 kJ/m<sup>2</sup> ile en yüksek çentikli Izod darbe direnci değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesi ile %29,3’lük azalma ile 4,992 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %34,8’lik azalma ile 4,602 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20 APP2MEL1



ilavesi ile %35,3'lük azalma ile 4,564 kJ/m<sup>2</sup>'ye düştüğü belirlenmiştir. %2 NC ilavesi ile %18,8'lik azalma ile 5,730 kJ/m<sup>2</sup>'ye, %20 APPNC ilavesi ile %24,7'lik azalma ile 5,312 kJ/m<sup>2</sup>'ye, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %32,3'lük azalma ile 4,780 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %34,6'lık azalma ile 4,615 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü görülmüştür.

Tablo 4.18'de deney sonuçlarının ortalama değerleri, en yüksek ve en düşük değerleri ve standart sapma değerleri verilmiştir. Katkısız HDPE -40 °C'de 5,875 kJ/m<sup>2</sup> iken %1,8'lik artışla -20 °C'de 5,978 kJ/m<sup>2</sup>'ye, 0 °C'de %3,1'lik artışla 6,056 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve 23 °C'de %20,1'lik artışla 7,058 kJ/m<sup>2</sup> değerinde olduğu gözlemlenmiştir. Ekstrüde edilmiş HDPE polimeri -40 °C'de 5,830 kJ/m<sup>2</sup> iken %4'lük artışla -20 °C'de 6,065 kJ/m<sup>2</sup>'ye, 0 °C'de %4,3'lük artışla 6,078 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve 23 °C'de %22,3'lük artışla 7,129 kJ/m<sup>2</sup>'ye ulaştığı tespit edilmiştir. PDMS ilavesi ile birlikte -40 °C'de 5,903 kJ/m<sup>2</sup>'den -20 °C'de %2,2'lik artışla 6,034 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı, 0 °C'de %7,4'lük artışla 6,339 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve 23 °C'de %24,9'lük artışla 7,370 kJ/m<sup>2</sup> değeri ile HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitleri içerisinde en yüksek çentikli Izod darbe direnci değerine çıktığı belirlenmiştir.

Tablo 4.18: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları

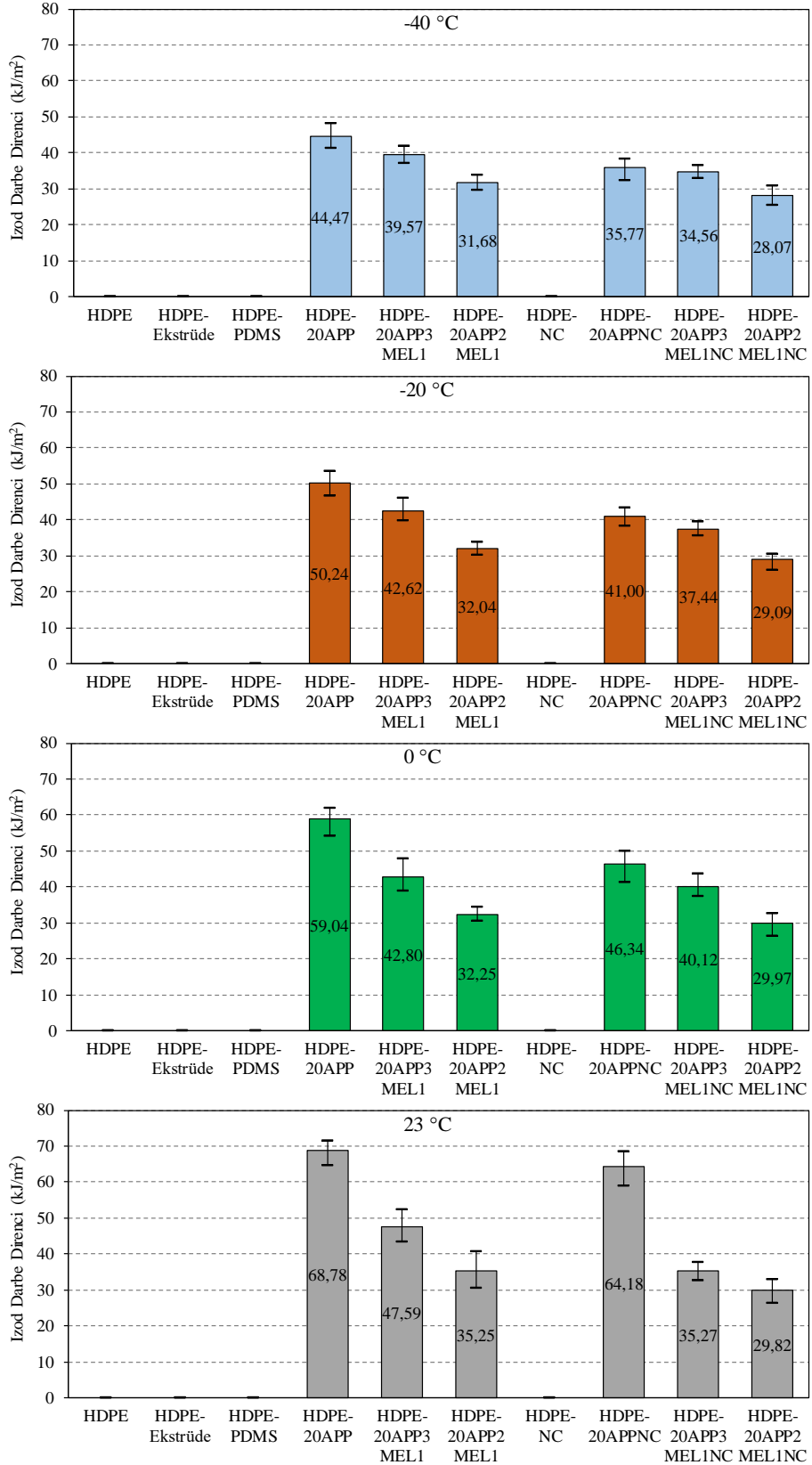
Çentikli	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
HDPE	5,875±0,124	0,126	5,978±0,126	0,127	6,056±0,098	0,100	7,058±0,098	0,098
HDPE-Ekstrüde	5,830±0,105	0,108	6,065±0,068	0,074	6,078±0,103	0,108	7,129±0,120	0,130
HDPE-PDMS	5,903±0,114	0,114	6,034±0,109	0,116	6,339±0,101	0,104	7,370±0,163	0,163
HDPE-20APP	4,526±0,046	0,048	4,559±0,096	0,097	4,643±0,147	0,147	4,992±0,154	0,160
HDPE-20APP3 MEL1	4,402±0,075	0,078	4,335±0,105	0,108	4,348±0,133	0,138	4,602±0,155	0,164
HDPE-20APP2 MEL1	4,614±0,230	0,256	4,091±0,138	0,150	4,148±0,143	0,143	4,564±0,088	0,089
HDPE-NC	5,730±0,154	0,156	5,097±0,154	0,159	5,228±0,179	0,194	5,730±0,154	0,156
HDPE-20APPNC	4,612±0,086	0,089	4,376±0,077	0,080	4,839±0,093	0,104	5,312±0,164	0,176
HDPE-20APP3 MEL1NC	4,413±0,223	0,225	4,280±0,132	0,141	4,374±0,225	0,226	4,780±0,177	0,180
HDPE-20APP2 MEL1NC	4,382±0,175	0,180	4,048±0,071	0,072	4,362±0,167	0,168	4,615±0,179	0,179

HDPE matrise kütlece %20 oranında APP ilavesi ile -40 °C'de 4,526 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %0,7'lik artışla -20 °C'de 4,559 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C'de %2,6'lık artış ile 4,643 kJ/m<sup>2</sup> değerine ve 23 °C'de %10,3'lük artış ile 4,992 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP3MEL1 ilavesi ile -40 °C'de 4,402 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %1,5

azalma ile -20 °C'de 4,335 kJ/m<sup>2</sup> değerine ve 0 °C'de %1,2 azalma ile 4,348 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü buna karşın 23 °C'de %4,5 artış ile 4,602 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP2MEL1 ilavesi ile -40 °C'de 4,614 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %11,3'lük azalma ile -20 °C'de 4,091 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C'de %10,1'lik azalma ile 4,148 kJ/m<sup>2</sup> değerine ve 23 °C'de %1,1'lik azalma ile 4,564 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

HDPE polimerine kütlece %2 NC ilavesi ile -40 °C'de 5,730 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %11'lik azalma ile -20 °C'de 5,097 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C'de %8,8 azalma ile 5,228 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü görülmüş olup 23 °C'de değişim olmadığı, 5,730 kJ/m<sup>2</sup> değerinde çıktığı görülmüştür. % 20APPNC ilavesinde -40 °C'de 4,612 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %5,1'lik azalma ile -20 °C'de 4,376 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü buna karşın 0 °C'de %4,9 artış ile 4,839 kJ/m<sup>2</sup> değerine ve 23 °C'de %15,2'lik artışla 5,312 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı tespit edilmiştir. %20 APP3MEL1NC ilavesinde -40 °C'de 4,413 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %3'lük azalma ile -20 °C'de 4,280 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C'de %0,9'lük azalma ile 4,374 kJ/m<sup>2</sup> değerine düşmesine rağmen 23 °C'de %8,3'lük artış ile 4,780 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP2MEL1NC ilavesinde -40 °C'de 4,382 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %7,6'lık azalma ile -20 °C'de 4,048 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C'de %0,5'lik azalma ile 4,362 kJ/m<sup>2</sup> değerine düşmesine karşın 23 °C'de %5,3'lük artış ile 4,615 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür.

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneylerinde HDPE, HDPE-Ekstrüde, HDPE-PDMS ve HDPE-NC numuneleri tüm deney koşullarında kırılmadığı buna karşın diğer numunelerin kırıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.19). Kırılmayan numunelerde çekiç numuneyi eğip diğer tarafa geçmiş ve geçersiz olmuştur. -40 °C'de %20 APP ilavesi ile 44,47 kJ/m<sup>2</sup> değerinde çentiksiz Izod darbe direnci değerine sahipken bu değerden %11'lik azalma ile %20 APP3MEL1 ilavesi ile 39,57 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %28,8'lik azalma ile 31,68 kJ/m<sup>2</sup>'ye düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesine kıyasla %20 APPNC ilavesi ile %19,6'lık düşüşle 35,77 kJ/m<sup>2</sup>, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %22,3'lük düşüşle 34,56 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %36,9'lük düşüşle 28,07 kJ/m<sup>2</sup> değerinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.19: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri

-20 °C'de %20 APP ilavesi ile 50,24 kJ/m<sup>2</sup> değerinde çentiksiz Izod darbe direnci değerine sahipken bu değerden %15,2'lik azalma ile %20 APP3MEL1 ilavesi

ile 42,62 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %36,2'lik azalma ile 32,04 kJ/m<sup>2</sup>'ye düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesine kıyasla %20 APPNC ilavesi ile %18,4'lük düşüşle 41 kJ/m<sup>2</sup>, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %25,5'lik düşüşle 37,44 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %42,1'lik düşüşle 29,09 kJ/m<sup>2</sup> değerine indiği tespit edilmiştir.

0 °C'de %20 APP ilavesi ile 59,04 kJ/m<sup>2</sup> değerinde çentiksiz Izod darbe direnci değerine sahipken bu değerden %27,5'lik azalma ile %20 APP3MEL1 ilavesi ile 42,80 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %45,4'lük azalma ile 32,25 kJ/m<sup>2</sup>'ye düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesine kıyasla %20 APPNC ilavesi ile %21,5'lik azalmayla 46,34 kJ/m<sup>2</sup>, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %32'lik düşüşle 40,12 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %49,2'lük düşüşle 29,97 kJ/m<sup>2</sup> değerine indiği tespit edilmiştir. 23 °C'de %20 APP ilavesi ile 68,78 kJ/m<sup>2</sup> değerinde çentiksiz Izod darbe direnci değerine sahipken bu değerden %30,8'lik azalma ile %20 APP3MEL1 ilavesi ile 47,59 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %48,7'lik azalma ile 35,25 kJ/m<sup>2</sup>'ye düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesine kıyasla %20 APPNC ilavesi ile %6,7'lik azalmayla 64,18 kJ/m<sup>2</sup>, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %48,7'lik azalmayla 35,27 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %56,6'lük azalmayla 29,82 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü belirlenmiştir.

Deney sonuçlarının ortalama değerleri, en yüksek ve en düşük değerleri ve standart sapma değerleri Tablo 4.19'da verilmiştir. HDPE matrise kütlece %20 oranında APP ilavesi ile -40 °C'de 44,47 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %13'lük artışla -20 °C'de 50,24 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C'de %32,8'lik artış ile 59,04 kJ/m<sup>2</sup> değerine ve 23 °C'de %54,7'lik artış ile en yüksek çentiksiz Izod darbe direnci değeri olan 68,78 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP3MEL1 ilavesi ile -40 °C'de 39,57 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %7,7 artış ile -20 °C'de 42,62 kJ/m<sup>2</sup> değerine ve 0 °C'de %8,2 artış ile 42,8 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C'de %20,3 artış ile 47,59 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP2MEL1 ilavesi ile -40 °C'de 31,68 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %1,1'lik artış ile -20 °C'de 32,04 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C'de %1,8'lik artış ile 32,25 kJ/m<sup>2</sup> değerine ve 23 °C'de %11,3'lük artış ile 35,25 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

HDPE polimerine kütlece % 20APPNC ilavesinde -40 °C'de 35,77 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %14,6'lük artış ile -20 °C'de 41 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C'de %29,5'lik artış ile 46,34 kJ/m<sup>2</sup> değerine ve 23 °C'de %79,4'lük artışla 64,18 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı

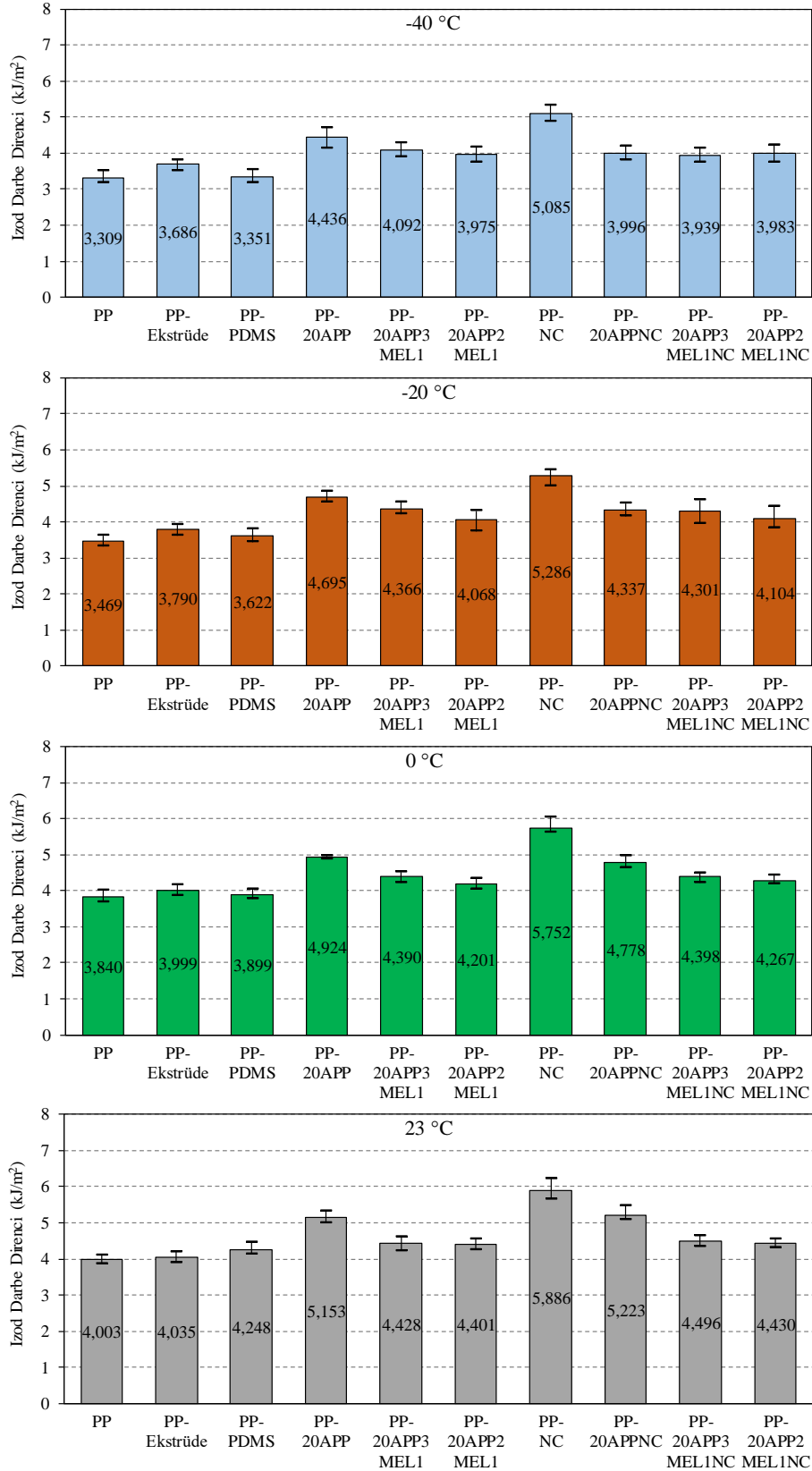
tespit edilmiştir. %20 APP3MEL1NC ilavesinde -40 °C’de 34,56 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %8,3’lük artış ile -20 °C’de 37,44 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C’de %16,1’lik artış ile 40,12 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %2,1’lik artış ile 35,27 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP2MEL1NC ilavesinde -40 °C’de 28,07 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %3,6’lık artış ile -20 °C’de 29,09 kJ/m<sup>2</sup> değerine, 0 °C’de %6,8’lik artış ile 29,97 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %6,2’lik artış ile 29,82 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı belirlenmiştir.

Tablo 4.19: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları

Çentiksiz	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
HDPE	-	-	-	-	-	-	-	-
HDPE-Ekstrüde	-	-	-	-	-	-	-	-
HDPE-PDMS	-	-	-	-	-	-	-	-
HDPE-20APP	44,47±3,31	3,330	50,24±3,48	3,491	59,04±3,92	4,268	68.78±3.37	3,647
HDPE-20APP3 MEL1	39,57±2,42	2,424	42,62±3,18	3,199	42,80±4,56	4,647	47.59±4.46	4,479
HDPE-20APP2 MEL1	31,68±2,02	2,019	32,04±1,80	1,799	32,25±1,90	1,964	35.25±5.1	5,122
HDPE-NC	-	-	-	-	-	-	-	-
HDPE-20APPNC	35,77±3,03	3,156	41,00±2,49	2,497	46,34±4,35	4,519	64.18±4.83	4,912
HDPE-20APP3 MEL1NC	34,56±1,87	1,873	37,44±1,85	1,863	40,12±3,25	3,321	35.27±2.57	2,571
HDPE-20APP2 MEL1NC	28,07±2,74	2,739	29,09±2,23	2,558	29,97±3,12	3,234	29.82±3.31	3,329

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneylerinde tüm deney koşullarında numunelerin tamamının kırıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.20).

-40 °C’de katkısız PP 3,309 kJ/m<sup>2</sup> değerinde çentikli Izod darbe direnci değerine sahipken bu değerden %11,4 artış ile ekstrüde edilmiş PP’de 3,686 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %1 PDMS ilavesi ile %1,3’lük artış ile 3,351 kJ/m<sup>2</sup>’ye çıktığı görülmüştür. Kütlece %20 APP ilavesi ile %34,1’lik artışla 4,436 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %23,7’lik artışla 4,092 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %20,1’lik artışla 3,975 kJ/m<sup>2</sup>’ye çıktığı gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesi ile %53,7 artışla 5,085 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APPNC ilavesi ile 20,8 kJ/m<sup>2</sup>’ye, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %19 artışla 3,939 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20,4’lük artışla 3,983 kJ/m<sup>2</sup>’ye çıktığı belirlenmiştir.



Şekil 4.20: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri

-20 °C'de PP polimeri 3,469 kJ/m<sup>2</sup> çentikli Izod darbe direncine sahip iken ekstrüde edilmiş katkısız PP polimeri %9,3 artışla 3,790 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %1 PDMS

ilavesi ile birlikte %4,4'lük artışla 3,622 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı gözlemlenmiştir. Kütlece %20 APP ilavesi ile birlikte %35,3'lük artışla 4,695 kJ/m<sup>2</sup>'ye, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %25,9'lük artışla 4,366 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %17,3'lük artış ile 4,068 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %52,4'lük artış ile 5,286 kJ/m<sup>2</sup>'ye, %20 APPNC ilavesi ile %25 artışla 4,337 kJ/m<sup>2</sup>'ye, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile birlikte %24 artışla 4,301 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %18,3'lük artış ile 4,104 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı tespit edilmiştir.

0 °C'de PP 3,469 kJ/m<sup>2</sup> çentikli Izod darbe direncine sahip iken ekstrüde edilmiş katkısız PP polimeri %4,1'lik artışla 3,999 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %1 PDMS ilavesi ile birlikte %1,5'lik artışla 3,899 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı gözlemlenmiştir. Kütlece %20 APP ilavesi ile birlikte %28,2'lik artışla 4,924 kJ/m<sup>2</sup>'ye, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %14,3'lük artışla 4,39 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %9,4'lük artış ile 4,201 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %49,8'lik artış ile 5,752 kJ/m<sup>2</sup>'ye, %20 APPNC ilavesi ile %24,4 artışla 4,778 kJ/m<sup>2</sup>'ye, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile birlikte %14,5 artışla 4,398 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %11,1'lik artış ile 4,267 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı belirlenmiştir.

23 °C'de katkısız PP polimeri 4,003 kJ/m<sup>2</sup> çentikli Izod darbe direncine sahip iken ekstrüde edilmiş PP polimerinde %0,8'lik artışla 4,035 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve kütlece %1 PDMS ilavesi ile birlikte %6,1 artışla 4,248 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı görülmüştür. %20 APP ilavesi ile %28,7'lik artışla 5,153 kJ/m<sup>2</sup>, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %10,6 artışla 4,428 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %9,9'lük artışla 4,401 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesi ile %47 artışla en yüksek değer olan 5,886 kJ/m<sup>2</sup> değerine ulaştığı bununla birlikte %20 APPNC ilavesi ile %30,5 artışla 5,223 kJ/m<sup>2</sup>, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %12,3 artışla 4,496 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %10,7'lik artışla 4,430 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı belirlenmiştir.

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.20'de verilmiştir. PP saf numune -40 °C'de 3,309 kJ/m<sup>2</sup> değerinden %4,8 artışla -20 °C'de 3,469 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C'de %16 artışla 3,840 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C'de %21 artışla 4,003 kJ/m<sup>2</sup> değerlerine çıktığı görülmüştür. Ekstrüde edilmiş PP -40 °C'de 3,309 kJ/m<sup>2</sup> değerinde olup %2,8 artışla -20 °C'de 3,790 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C'de %8,5 artışla 3,999 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C'de %9,5 artışla 4,035 kJ/m<sup>2</sup> değerine ulaştığı belirlenmiştir. %1 PDMS

ilaveli PP kompozitlerde -40 °C’de 3,351 kJ/m<sup>2</sup>, -20 °C’de %8,1 artışla 3,622 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %16,4 artışla 3,899 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %26,8’lik artışla 4,248 kJ/m<sup>2</sup> değerine artış görülmüştür.

Tablo 4.20: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları

Çentikli	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
PP	3,309±0,164	0,178	3,469±0,150	0,151	3,84±0,163	0,163	4,003±0,111	0,115
PP-Ekstrüde	3,686±0,148	0,150	3,790±0,137	0,144	3,999±0,151	0,156	4,035±0,153	0,157
PP-PDMS	3,351±0,169	0,172	3,622±0,183	0,183	3,899±0,136	0,136	4,248±0,169	0,195
PP-20APP	4,436±0,279	0,280	4,695±0,156	0,156	4,924±0,045	0,052	5,153±0,162	0,167
PP-20APP3MEL1	4,092±0,199	0,201	4,366±0,157	0,157	4,390±0,150	0,152	4,428±0,196	0,197
PP-20APP2MEL1	3,975±0,203	0,203	4,068±0,277	0,289	4,201±0,160	0,162	4,401±0,153	0,154
PP-NC	5,085±0,220	0,224	5,286±0,234	0,267	5,752±0,221	0,255	5,886±0,293	0,308
PP-20APPNC	3,996±0,195	0,201	4,337±0,186	0,187	4,778±0,165	0,169	5,223±0,189	0,210
PP-20APP3MEL1NC	3,939±0,186	0,187	4,301±0,325	0,328	4,398±0,139	0,161	4,496±0,143	0,145
PP-20APP2MEL1NC	3,983±0,230	0,231	4,104±0,297	0,300	4,267±0,114	0,131	4,430±0,117	0,118

%20 APP ilaveli PP kompozitte -40 °C’de 4,436 kJ/m<sup>2</sup>, -20 °C’de %5,8’lik artışla 4,436 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %11’lik artışla 4,924 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %16,2’lik artışla 5,153 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı belirlenmiştir. %20 APP3MEL1 ilavesi ile -40 °C’de 4,092 kJ/m<sup>2</sup>, -20 °C’de %6,7’lik artışla 4,366 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %7,3’lük artışla 4,39 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %8,2’lik artışla 4,428 kJ/m<sup>2</sup> değerine ulaştığı görülmüştür. PP matrisine %20 APP2MEL1 ilavesi ile -40 °C’de 3,975 kJ/m<sup>2</sup>, -20 °C’de %2,3’lük artışla 4,068 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %5,7’lik artışla 4,201 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %10,7’lik artışla 4,401 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı tespit edilmiştir.

PP polimerine kütlece %2 NC ilave edildiğinde -40 °C’de 5,085 kJ/m<sup>2</sup>, -20 °C’de %4’lük artış ile 5,286 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %13,1’lik artış ile 5,752 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %15,8’lik artış ile 5,886 kJ/m<sup>2</sup> değer ile en yüksek değerini aldığı belirlenmiştir. %20 APPNC ilavesi ile -40 °C’de 3,996 kJ/m<sup>2</sup>, -20 °C’de %8,5 artış ile 4,337 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %19,6’lik artış ile 4,778 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %30,7 artış ile 5,223 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP3MEL1NC ilavesi ile -40 °C’de 3,939 kJ/m<sup>2</sup>, -20 °C’de %9,2 artış ile 4,301 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %11,7 artış ile 4,398 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %14,1 artış ile 4,496 kJ/m<sup>2</sup> değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. %20 APP2MEL1NC ilavesi ile -40 °C’de 3,983 kJ/m<sup>2</sup>, -20 °C’de %3 artış ile 4,104

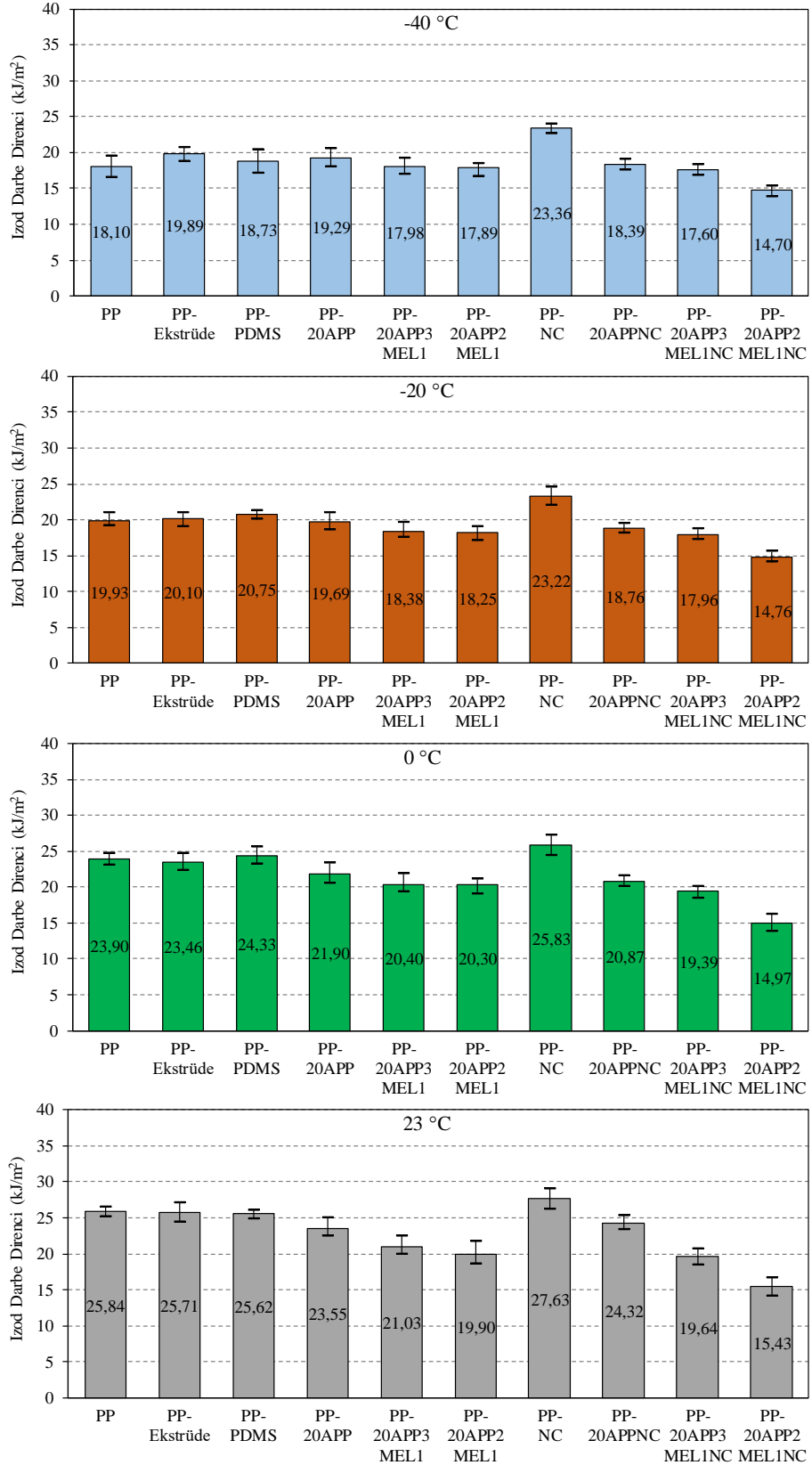


$\text{kJ/m}^2$ ,  $0\text{ }^\circ\text{C}$ 'de %7,1 artış ile  $4,267\text{ kJ/m}^2$  ve  $23\text{ }^\circ\text{C}$ 'de %11,2 artış ile  $4,430\text{ kJ/m}^2$  değerine çıktığı görülmüştür.

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları Şekil 4.21'de verilmiştir. Katkısız PP polimerinin  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 'de darbe direnci değeri  $18,1\text{ kJ/m}^2$  değerinde iken ekstrüde edilmiş PP %9,9'luk artış ile  $19,89\text{ kJ/m}^2$  değerine, %1 PDMS ilavesi ile %3,5 artışla  $18,73\text{ kJ/m}^2$ , %20 APP ilavesi ile %6,6 artışla  $19,29\text{ kJ/m}^2$  çıktığı fakat %20 APP3MEL1 ilavesi ile %0,7 azalmayla  $17,98\text{ kJ/m}^2$  ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %1,2 azalmayla  $17,89\text{ kJ/m}^2$  değerine düştüğü görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %29,1 artışla  $23,36\text{ kJ/m}^2$ 'ye, %20 APPNC ilavesi ile birlikte %1,6 artışla  $18,39\text{ kJ/m}^2$  buna karşın %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %2,8 azalma ile  $17,6\text{ kJ/m}^2$  ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %18,8 azalma ile  $14,7\text{ kJ/m}^2$  değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

$-20\text{ }^\circ\text{C}$ 'de çentiksiz Izod darbe direnci değeri  $19,93\text{ kJ/m}^2$  değerinde iken ekstrüde edilmiş PP %0,9'luk artış ile  $20,10\text{ kJ/m}^2$ , %1 PDMS ilavesi ile %4,1 artışla  $20,75\text{ kJ/m}^2$ , %20 APP ilavesi ile %1,2 azalışla  $19,69\text{ kJ/m}^2$ , %20 APP3MEL1 ilavesi ile %7,8 azalışla  $18,38\text{ kJ/m}^2$  ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %8,4 azalışla  $18,25\text{ kJ/m}^2$  değerine düştüğü görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %16,5 artışla  $23,22\text{ kJ/m}^2$ 'ye, %20 APPNC ilavesi ile birlikte %5,9 azalışla  $18,76\text{ kJ/m}^2$  buna karşın %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %9,9 azalışla  $17,96\text{ kJ/m}^2$  ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %25,9 azalışla  $14,76\text{ kJ/m}^2$  değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

$0\text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $23,9\text{ kJ/m}^2$  değerinde iken ekstrüzyon işleminden geçirilen PP'de %1,8'lik azalma ile  $23,46\text{ kJ/m}^2$ 'ye, %1 PDMS ilavesi ile %1,8'lik artışla  $24,33\text{ kJ/m}^2$ 'ye, %20 APP ilavesi ile %8,4'lük azalma ile  $21,9\text{ kJ/m}^2$ , %20 APP3MEL1 ilavesi ile %14,6 azalma ile  $20,4\text{ kJ/m}^2$  ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %15,1 azalma ile  $20,3\text{ kJ/m}^2$ 'ye düştüğü görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %8,1 artışla  $25,83\text{ kJ/m}^2$  buna karşın %20 APPNC ilavesinde ise %12,7 azalmayla  $20,87\text{ kJ/m}^2$ , %20 APP3MEL1NC ilavesinde %18,9 azalmayla  $19,39\text{ kJ/m}^2$  ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %37,4 azalmayla  $14,97\text{ kJ/m}^2$ 'ye düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 4.21: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri

23 °C’de şartlandırılmış PP kompozitlerden katkısız PP polimeri 25,84 kJ/m<sup>2</sup> Izod darbe direncine sahipken ekstrüde edilmiş PP polimeri %0,5’lik düşüşle 25,71

$\text{kJ/m}^2$ , %1 PDMS ilavesi ile %0,9'luk düşüşle  $25,62 \text{ kJ/m}^2$ , %20 APP ilavesi ile birlikte %8,9 düşüşle  $21,03 \text{ kJ/m}^2$ , %20 APP3MEL1 ilavesi ile %18,6'lık düşüşle  $21,03 \text{ kJ/m}^2$  buna karşın %2 NC ilavesi ile %6,9'luk artışla  $27,63 \text{ kJ/m}^2$  değerine çıkmıştır. %20 APPNC ilavesi ile %5,9 düşüşle  $24,32 \text{ kJ/m}^2$ , %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %24 düşüşle  $19,64 \text{ kJ/m}^2$  ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %40,3'lük düşüşle  $15,43 \text{ kJ/m}^2$ 'ye indiği görülmüştür.

Tablo 4.21'de PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneylerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir. PP polimeri  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $18,1 \text{ kJ/m}^2$  çentiksiz Izod darbe direnci değerine sahipken  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %10,1 artışla  $19,93 \text{ kJ/m}^2$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %32 artışla  $23,90 \text{ kJ/m}^2$  ve  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %42,8'lik artışla  $25,84 \text{ kJ/m}^2$  değerine çıktığı görülmüştür. Ekstrüde edilmiş PP  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $19,89 \text{ kJ/m}^2$ ,  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %1,1 artışla  $20,10 \text{ kJ/m}^2$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %17,9 artışla  $23,46 \text{ kJ/m}^2$  ve  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %29,3'lük artışla  $25,71 \text{ kJ/m}^2$  değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. %1 PDMS ilavesi ile  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $18,73 \text{ kJ/m}^2$ ,  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %10,8 artışla  $20,75 \text{ kJ/m}^2$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %29,9 artışla  $24,33 \text{ kJ/m}^2$  ve  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %36,8'lik artışla  $25,62 \text{ kJ/m}^2$  değerine çıktığı görülmüştür.

Kütlece %20 APP ilave edilmiş PP  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $19,29 \text{ kJ/m}^2$ ,  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %2,1 artışla  $19,69 \text{ kJ/m}^2$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %13,5 artışla  $21,90 \text{ kJ/m}^2$  ve  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %22,1 artışla  $19,69 \text{ kJ/m}^2$  değerine çıktığı belirlenmiştir. PP matrisine %20 APP3MEL1 ilavesi ile  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $17,98 \text{ kJ/m}^2$ ,  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %2,2 artışla  $18,38 \text{ kJ/m}^2$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %13,5 artışla  $20,4 \text{ kJ/m}^2$  ve  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %17 artışla  $21,03 \text{ kJ/m}^2$  değerine çıktığı tespit edilmiştir. %20 APP2MEL1 ilavesi ile  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $17,89 \text{ kJ/m}^2$ ,  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %2 artışla  $18,25 \text{ kJ/m}^2$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %13,5 artışla  $20,3 \text{ kJ/m}^2$  ve  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %11,2 artışla  $19,9 \text{ kJ/m}^2$  değerine çıktığı görülmüştür.

PP polimerine kütlece %2 NC ilave edilmiş PP  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $23,36 \text{ kJ/m}^2$ ,  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %0,6 düşüşle  $19,69 \text{ kJ/m}^2$  buna karşın  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %10,5 artışla  $25,83 \text{ kJ/m}^2$  ve  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %18,3'lük artışla  $27,63 \text{ kJ/m}^2$  değerine çıktığı görülmüştür. PP matrisine %20 APPNC ilavesi ile  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $18,39 \text{ kJ/m}^2$ ,  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %2 artışla  $18,76 \text{ kJ/m}^2$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %13,5 artışla  $20,87 \text{ kJ/m}^2$  ve  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %32,2 artışla  $24,32 \text{ kJ/m}^2$  değerine çıktığı tespit edilmiştir. %20 APP3MEL1NC ilavesi ile  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $17,6 \text{ kJ/m}^2$ ,  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %2 artışla  $17,96 \text{ kJ/m}^2$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %10,2 artışla  $19,39 \text{ kJ/m}^2$  ve  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %11,6'lık artışla  $19,64 \text{ kJ/m}^2$  değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %20 APP2MEL1NC ilavesi ile  $-40$

°C’de 14,7 kJ/m<sup>2</sup>, -20 °C’de %0,4 artışla 14,76 kJ/m<sup>2</sup>, 0 °C’de %1,8 artışla 14,97 kJ/m<sup>2</sup> ve 23 °C’de %5 artışla 15,43 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı belirlenmiştir.

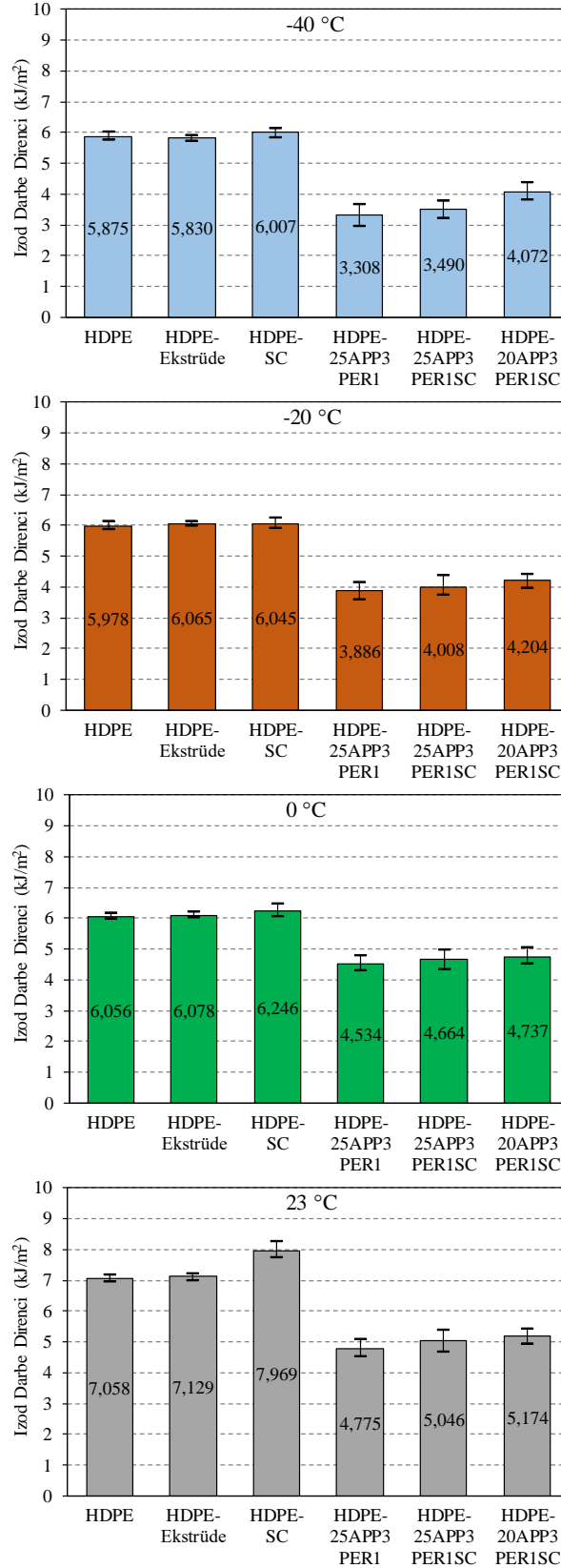
Tablo 4.21: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları

Çentiksiz	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
PP	18,10±1,45	1,460	19,93±0,90	0,898	23,90±0,82	0,820	25,84±0,67	0,669
PP-Ekstrüde	19,89±0,98	1,012	20,10±0,99	1,025	23,46±1,25	1,246	25,71±1,37	1,366
PP-PDMS	18,73±1,67	1,674	20,75±0,62	0,641	24,33±1,17	1,171	25,62±0,61	0,645
PP-20APP	19,29±1,23	1,232	19,69±1,26	1,258	21,90±1,40	1,399	23,55±1,34	1,377
PP-20APP3MEL1	17,98±1,12	1,150	18,38±1,10	1,131	20,40±1,27	1,305	21,03±1,31	1,345
PP-20APP2MEL1	17,89±0,91	1,017	18,25±0,93	1,038	20,30±1,03	1,154	19,90±1,58	1,623
PP-NC	23,36±0,67	0,674	23,22±1,29	1,297	25,83±1,44	1,442	27,63±1,48	1,485
PP-20APPNC	18,39±0,67	0,678	18,76±0,69	0,692	20,87±0,76	0,770	24,32±0,97	0,968
PP-20APP3MEL1NC	17,60±0,73	0,728	17,96±0,74	0,743	19,39±0,83	0,881	19,64±1,11	1,122
PP-20APP2MEL1NC	14,70±0,76	0,761	14,76±0,78	0,778	14,97±1,23	1,234	15,43±1,27	1,272

HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin -40 °C, -20 °C, 0 °C ve 23 °C’de çentikli Izod darbe deneyi sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.22’de verilmiş olup Tablo 4.22’de sayısal sonuçları verilmiştir. -40 °C’de şartlandırılan numunelerin deneylerinde HDPE polimerine %5 SC ilavesiyle %2,2 artışla 6,007 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı buna karşın %25 APP3PER1 ilavesiyle %43,7’lik azalmayla 3,308 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %40,6’lik artışla 3,490 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %30,7’lik azalmayla 4,072 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

-20 °C’de şartlandırılan numunelerin deneylerde HDPE polimerine %5 SC ilavesiyle %1,1 artışla 6,045 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı buna karşın %25 APP3PER1 ilavesiyle %35 azalmayla 3,886 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %33 azalmayla 4,008 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %29,7’lik azalmayla 4,204 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü görülmüştür.

0 °C’de HDPE polimerine %5 SC ilavesiyle darbe direnci değerinde %3,1’lik artışla 6,246 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıkarken %25 APP3PER1 ilavesiyle %25,1 azalmayla 4,534 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %23 azalmayla 4,664 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %21,8 azalmayla 4,734 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 4.22: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri

23 °C’de yapılan Izod darbe deneylerinde HDPE polimerine %5 SC ilavesiyle %1 artışla 7,969 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1 ilavesiyle %32,3 azalmayla 4,775 kJ/m<sup>2</sup>,

%25 APP3PER1SC ilavesiyle %28,5 azalmayla 5,046 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %26,7 azalmayla 5,174 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü belirlenmiştir.

Tablo 4.22: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları

Çentikli	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
HDPE	5,875±0,124	0,126	5,978±0,126	0,127	6,056±0,098	0,100	7,058±0,098	0,098
HDPE-Ekstrüde	5,830±0,105	0,108	6,065±0,068	0,074	6,078±0,103	0,108	7,129±0,120	0,130
HDPE-SC	6,007±0,144	0,147	6,045±0,186	0,191	6,246±0,200	0,203	7,969±0,259	0,263
HDPE-25APP3 PER1	3,308±0,345	0,345	3,886±0,283	0,286	4,534±0,229	0,229	4,775±0,272	0,275
HDPE-25APP3 PER1SC	3,490±0,292	0,292	4,008±0,317	0,321	4,664±0,309	0,310	5,046±0,359	0,360
HDPE-20APP3 PER1SC	4,072±0,271	0,272	4,204±0,234	0,238	4,737±0,261	0,280	5,174±0,247	0,247

HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin -40 °C, -20 °C, 0 °C ve 23 °C’de çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları Şekil 4.23’te verilmiş olup Tablo 4.23’te sayısal sonuçları verilmiştir. Katkısız HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-SC üretimleri kırılmamış olup diğer numuneler kırılmıştır. Kırılmayan numunelerde çekiç numuneyi eğip diğer tarafa geçmiştir dolayısıyla geçersiz olmuştur.

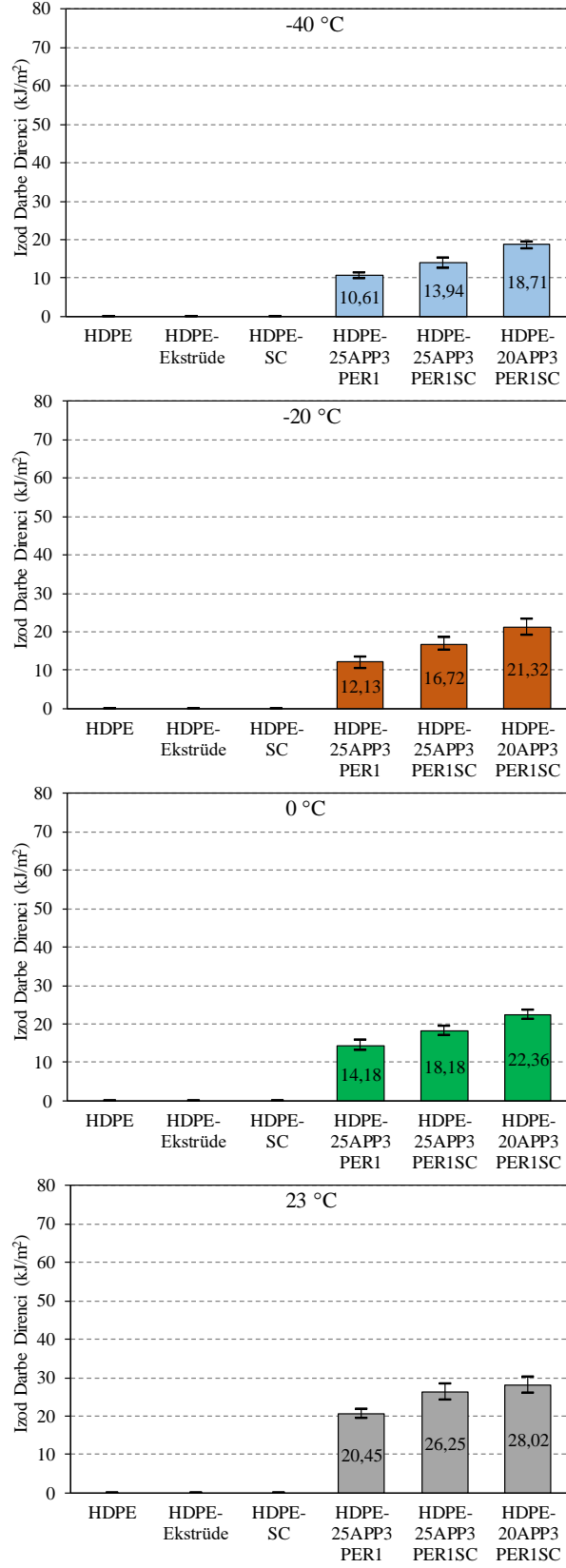
HDPE matrise kütlece %25 oranında APP3PER1 ilavesi ile -40 °C’de 10,61 kJ/m<sup>2</sup> Izod darbe değerine sahipken %25 APP3PER1SC ilavesiyle %31,4’lük artışla 13,94 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüş olup %20 APP3PER1SC ilavesiyle %76,3’lük artışla 18,71 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

-20 °C’de HDPE polimerine kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle Izod darbe direnci 12,13 kJ/m<sup>2</sup> değerindeyken %25 APP3PER1SC ilavesiyle bu değer %37,8 artış göstererek 16,72 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %75,8’lik artışla 21,32 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür.

0 °C’de HDPE’e kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle Izod darbe direnci 14,18 kJ/m<sup>2</sup> değerindeyken %25 APP3PER1SC ilavesiyle %28,2 artışla 18,18 kJ/m<sup>2</sup>’ye ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %57,7’lik artışla 22,36 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür.

23 °C’de HDPE polimerine kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle Izod darbe direnci 20,45 kJ/m<sup>2</sup> değerindeyken %25 APP3PER1SC ilavesiyle %28,4 artışla

26,25 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %37'lik artışla 28,02 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.23: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri

Tablo 4.23: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları

Çentiksiz	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
HDPE	-	-	-	-	-	-	-	-
HDPE-Ekstrüde	-	-	-	-	-	-	-	-
HDPE-SC	-	-	-	-	-	-	-	-
HDPE-25APP3 PER1	10,61±0,66	0,661	12,13±1,60	1,650	14,18±1,24	1,330	20,45±1,20	1,199
HDPE-25APP3 PER1SC	13,94±1,25	1,255	16,72±1,62	1,656	18,18±1,20	1,204	26,25±2,12	2,115
HDPE-20APP3 PER1SC	18,71±0,94	1,072	21,32±2,06	2,080	22,36±1,19	1,197	28,02±2,09	2,095

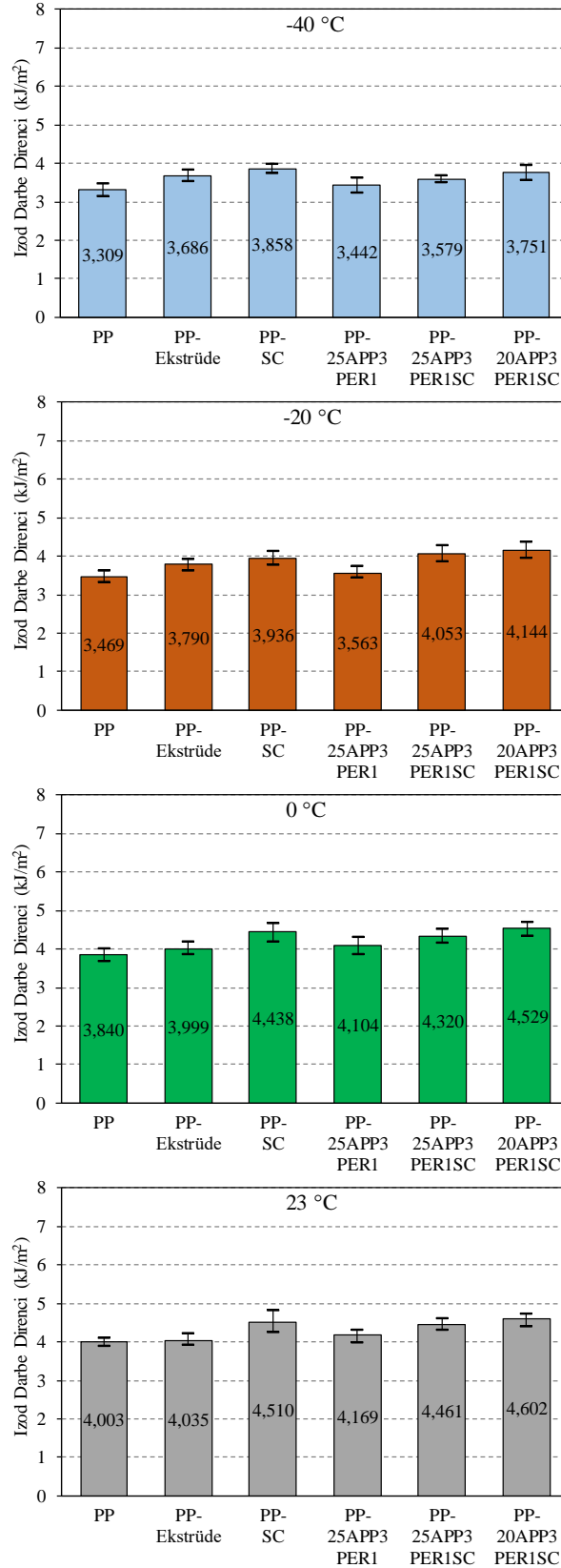
PP-APP-PER-SC kompozitlerinin -40 °C, -20 °C, 0 °C ve 23 °C’de çentikli Izod darbe deneyi sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.24’te verilmiş olup Tablo 4.24’te sayısal sonuçları verilmiştir. -40 °C’de şartlandırılan numunelerin deneylerinde PP polimerine %2 SC ilavesiyle %16,6 artışla 3,858 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüş olup %25 APP3PER1 ilavesiyle %4’lük artışla 3,442 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %8,2’lik artışla 3,579 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %13,4’lük artışla 3,751 kJ/m<sup>2</sup> değerine yükseldiği gözlemlenmiştir.

-20 °C’de şartlandırılan numunelerin deneylerinde PP polimerine kütlece %2 SC ilavesiyle %13,5 artışla 3,936 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüştür. Kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle %2,7’lik artışla 3,563 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %16,8’lik artışla 4,053 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %19,5’lik artışla 4,144 kJ/m<sup>2</sup> değerine yükseldiği gözlemlenmiştir.

0 °C’de PP polimerine kütlece %2 SC ilavesiyle %15,6 artışla 4,438 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı görülmüş olup kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle %6,9’luk artışla 4,104 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %12,5’lik artışla 4,32 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %17,9’luk artışla 4,529 kJ/m<sup>2</sup> değerine çıktığı belirlenmiştir.

23 °C’de PP-SC üretiminde Izod darbe direnci %12,7 artışla 4,51 kJ/m<sup>2</sup>’ye çıktığı kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle %4,1’lik artışla 4,169 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %11,4’lük artışla 4,461 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %15’lik artışla 4,602 kJ/m<sup>2</sup> değerine ulaştığı tespit edilmiştir.





Şekil 4.24: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi grafikleri

Tablo 4.24: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneyi sonuçları

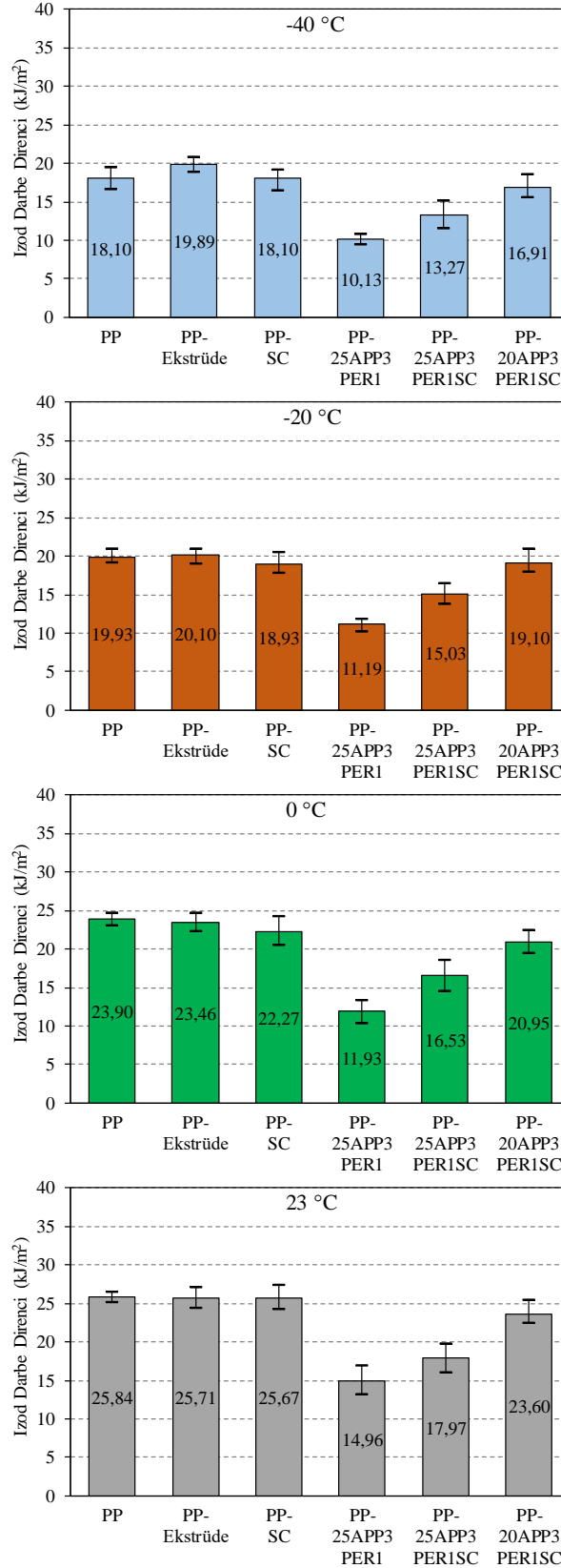
Çentikli	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
PP	3,309±0,167	0,167	3,469±0,150	0,151	3,840±0,163	0,163	4,003±0,111	0,115
PP-Ekstrüde	3,686±0,148	0,150	3,790±0,137	0,144	3,999±0,151	0,156	4,035±0,153	0,157
PP-SC	3,858±0,123	0,124	3,936±0,183	0,185	4,438±0,250	0,252	4,510±0,287	0,289
PP-25APP3 PER1	3,442±0,193	0,196	3,563±0,144	0,146	4,104±0,222	0,227	4,169±0,162	0,171
PP-25APP3 PER1SC	3,579±0,094	0,094	4,053±0,204	0,207	4,320±0,173	0,173	4,461±0,146	0,147
PP-20APP3 PER1SC	3,751±0,194	0,195	4,144±0,215	0,216	4,529±0,186	0,189	4,602±0,154	0,175

PP-APP-PER-SC kompozitlerinin -40 °C, -20 °C, 0 °C ve 23 °C’de çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları Şekil 4.25’te verilmiştir. Deneylerin sayısal sonuçları Tablo 4.25’te verilmiştir. -40 °C’de şartlandırılan numunelerin deneylerinde PP polimerine %2 SC ilavesiyle dikkate değer bir değişim görülmemiştir. Kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle %44 oranında azalma görülerek 10,130 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %26,7’lik azalmayla 13,27 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %6,6’lık azalmayla 16,91 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü görülmüştür.

-20 °C’de şartlandırılmış numunelerde %2 SC ilavesiyle %5 azalmayla 18,93 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1 ilavesiyle %43,9 azalmayla 11,19 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %24,6’lık azalmayla 15,03 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %4,2 azalmayla 19,1 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü gözlenmemiştir.

0 °C’de şartlandırılmış numunelerde kütlece %2 SC ilavesiyle %6,8 azalmayla 22,27 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1 ilavesiyle %50,1 azalmayla 11,93 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %30,8 azalmayla 16,53 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %12,3 azalmayla 20,95 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü tespit edilmiştir.

23 °C’de şartlandırılmış PP kompozitlerde kütlece %2 SC ilavesiyle %0,7 azalmayla 25,67 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1 ilavesiyle %42,1 azalmayla 14,96 kJ/m<sup>2</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %30,5 azalmayla 17,97 kJ/m<sup>2</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %8,7 azalmayla 23,6 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 4.25: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi grafikleri

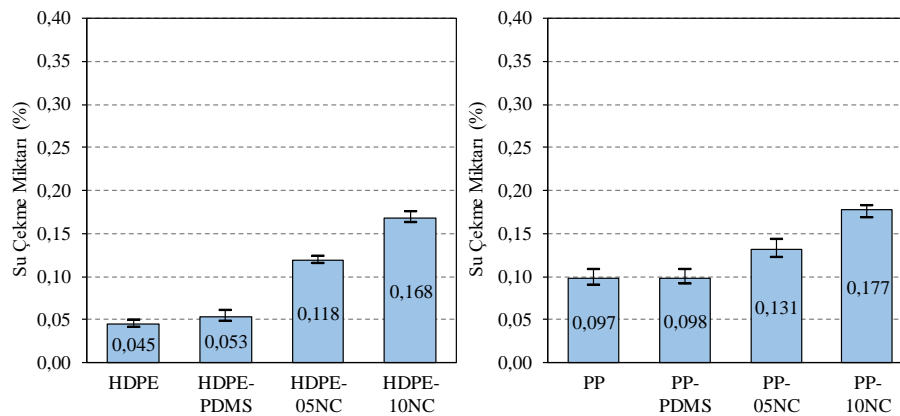
Tablo 4.25: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çentiksiz Izod darbe deneyi sonuçları

Çentiksiz	Izod Darbe Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )							
	-40 °C	SS	-20 °C	SS	0 °C	SS	23 °C	SS
PP	18,10±1,45	1,460	19,93±0,90	0,898	23,9±0,82	0,820	25,84±0,67	0,669
PP-Ekstrüde	19,89±0,98	1,012	20,10±0,99	1,025	23,46±1,25	1,246	25,71±1,37	1,366
PP-SC	18,10±1,41	1,520	18,93±1,33	1,354	22,27±1,87	1,872	25,67±1,52	1,524
PP-25APP3 PER1	10,13±0,68	0,677	11,19±0,88	0,952	11,93±1,46	1,474	14,96±1,89	1,899
PP-25APP3 PER1SC	13,27±1,81	1,808	15,03±1,41	1,411	16,53±1,98	1,979	17,97±1,86	1,871
PP-20APP3 PER1SC	16,91±1,48	1,498	19,10±1,49	1,615	20,95±1,51	1,514	23,60±1,50	1,622

#### 4.1.5 Su absorpsiyon deneyi sonuçları

HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme oranları Şekil 4.26'da verilmiştir. HDPE ve PP polimerlerinde ilave edilen PDMS ve NC katkıları su çekme oranlarını arttırdığı görülmüştür. Hussein vd. (2011) ve Jaffer vd. (2015) yaptıkları çalışmada HDPE polimerine dolgu maddesi ilavesi yapmışlardır. İlave edilen dolgu maddesinin su absorpsiyon değerlerini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Tablo 4.26'da ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Katkısız HDPE %0,045 oranında su absorpsiyon değerine sahip iken %1 PDMS ilavesi ile bu değer %17,8'lik artışla %0,053 oranına çıkmakta olup bu değer %5 NC ilavesi ile %167,2 artışla %0,118 değerine ve %10 NC ilavesi ile %273,3 artışla %0,168 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Katkısız PP polimerinde ise bu değer %0,097 olduğu, %1 PDMS ilavesi ile %1 artışla %0,098, %5 NC ilavesi ile %35,1 artışla %0,131 ve %10 NC ilavesi ile birlikte %82,5 artışla %0,177 oranına çıktığı görülmüştür.

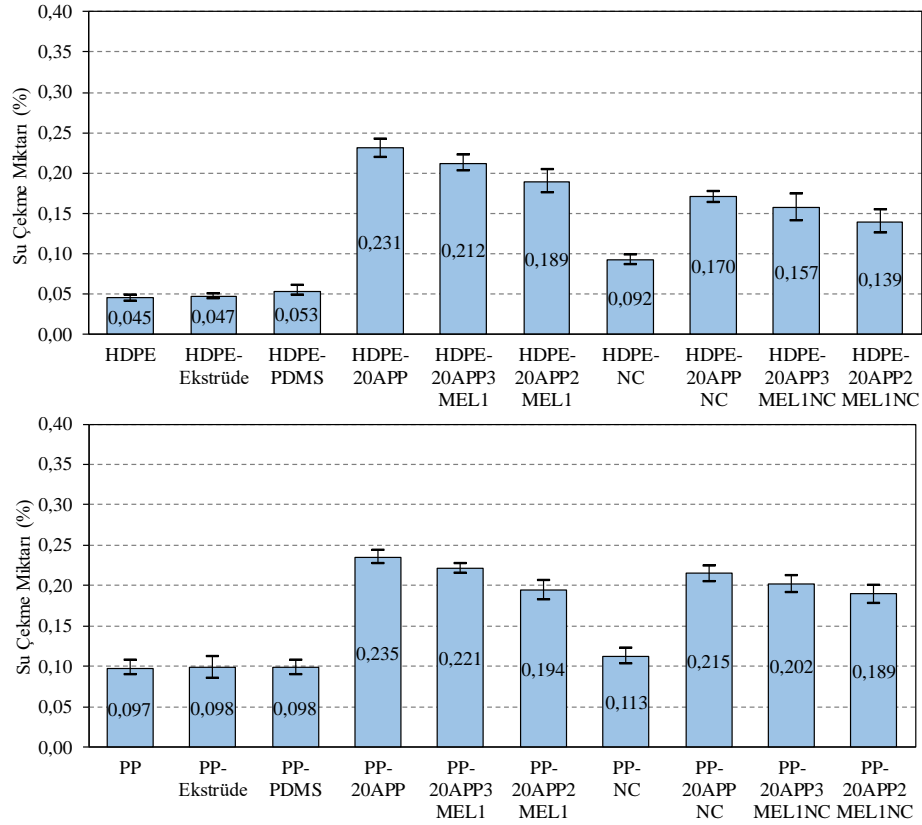


Şekil 4.26: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme miktarı grafikleri

Tablo 4.26: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme miktarı değerleri

	Su Çekme Miktarı (%)	Standart Sapma (SS)		Su Çekme Miktarı (%)	Standart Sapma (SS)
HDPE	0,045±0,004	0,0041	PP	0,097±0,0093	0,0096
HDPE-PDMS	0,053±0,006	0,0062	PP-PDMS	0,098±0,0085	0,0085
HDPE-05NC	0,118±0,004	0,0040	PP-05NC	0,131±0,0106	0,0106
HDPE-10NC	0,168±0,006	0,0060	PP-10NC	0,177±0,0071	0,0080

HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme oranları Şekil 4.27'de verilmiştir. HDPE ve PP polimerlerinde ilave edilen katkıları su çekme miktarlarını arttırdığı bunun yanında APP oranının azalıp MEL oranı artan kompozitlerde su çekme oranının bir miktar düştüğü görülmüştür. Tablo 4.27'de ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.27: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme miktarı grafikleri

Ekstrüde edilmiş katkısız HDPE polimerinin su çekme oranı %4,4 artışla %0,047 ve %1 PDMS ilavesi ile %17,8'lik artışla %0,053 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesi %413,3 oranında artışla %0,231 değerine, %20 APP3MEL1 ilavesi %371,1'lik artışla %0,212 değerine ve %20 APP2MEL1 ilavesi %320'lik artışla %0,189 değerinde su çekme oranına yükseldiği görülmüştür. HDPE

polimerine kütlece %2 NC ilavesi ile %104,4'lük artışla %0,092 değerine, %20 APPNC ilavesi ile %277,8'lik artışla %0,17 değerine, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %248,9'lük artışla %0,157 değerine ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %208,9'lük artışla %0,139 değerine çıkardığı tespit edilmiştir.

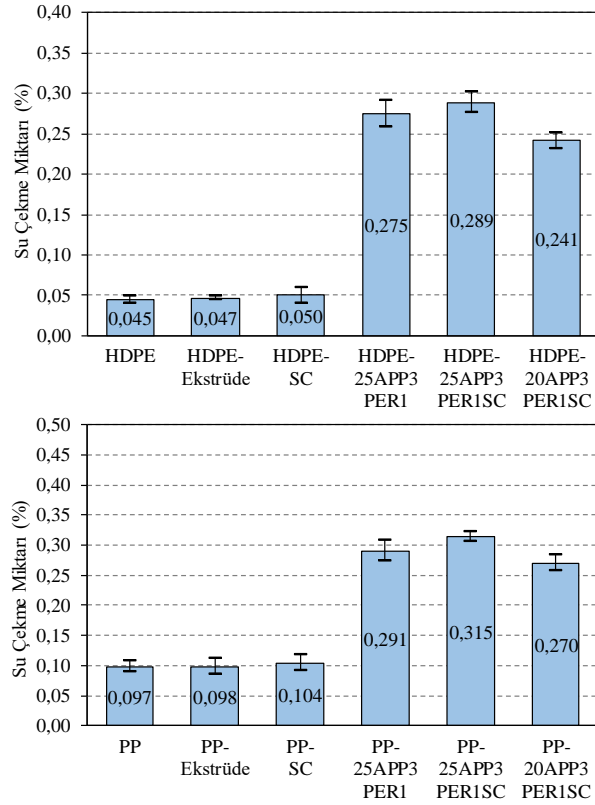
Tablo 4.27: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin su çekme miktarı değerleri

	Su Çekme Miktarı (%)	Standart Sapma (SS)		Su Çekme Miktarı (%)	Standart Sapma (SS)
HDPE	0,045±0,004	0,0041	PP	0,097±0,009	0,0096
HDPE-Ekstrüde	0,047±0,002	0,0035	PP-Ekstrüde	0,098±0,013	0,0190
HDPE-PDMS	0,053±0,006	0,0062	PP-PDMS	0,098±0,008	0,0085
HDPE-20APP	0,231±0,012	0,0163	PP-20APP	0,235±0,008	0,0115
HDPE-20APP3MEL1	0,212±0,010	0,0141	PP-20APP3MEL1	0,221±0,007	0,0092
HDPE-20APP2MEL1	0,189±0,014	0,0203	PP-20APP2MEL1	0,194±0,012	0,0164
HDPE-NC	0,092±0,006	0,0083	PP-NC	0,113±0,010	0,0143
HDPE-20APPNC	0,170±0,007	0,0101	PP-20APPNC	0,215±0,010	0,0139
HDPE-20APP3MEL1NC	0,157±0,016	0,0226	PP-20APP3MEL1NC	0,202±0,010	0,0144
HDPE-20APP2MEL1NC	0,139±0,014	0,0204	PP-20APP2MEL1NC	0,189±0,011	0,0161

Ekstrüzyon işleminden geçirilen katkısız PP polimerinin su çekme oranı %1 artışla %0,098 ve %1 PDMS ilavesi ile %1 artışla %0,098 değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP ilavesi ile %142,3'lük artışla %0,235 değerine, %20 APP3MEL1 ilavesi ile %127,8 artışla %0,221 değerine ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %100'lük artışla %0,194 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. PP polimerine kütlece %2 NC ilavesi ile %16,5'lik artışla %0,113, %20 APPNC ilavesi ile %121,6'lık artışla %0,215, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %108,2'lik artışla %0,202 ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %94,8'lik artışla %0,189 değerine yükseldiği tespit edilmiştir.

HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin su çekme oranları Şekil 4.28'de verilmiş olup Tablo 4.28'de ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir. HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-SC üretimlerinin su çekme miktarlarında dikkate değer değişim görülmezken %25 APP3PER1 ilavesiyle %511'lik artışla %0,275, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %542'lik artışla %0,289 ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %436'lık artışla %0,241 değerinde olduğu görülmüştür. PP polimerinin %0,097 değerinde su çekme oranına sahipken ekstrüde işlemi sonrası dikkate değer bir değişim olmamış ve %0,098 değerinde olduğu

görülmüştür. %2SC ilavesiyle %7'lik artışla %0,104 değerine çıktığı görülmüştür. %25 APP3PER1 ilavesiyle %200'lük artışla %0,291, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %225 artışla %0,315 değerine çıktığı görülmüş olup %20 APP3PER1SC ilavesiyle %178'lik artışla %0,27 değerine yükseldiği belirlenmiştir.



Şekil 4.28: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin su çekme miktarı grafikleri

Tablo 4.28: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin su çekme miktarı değerleri

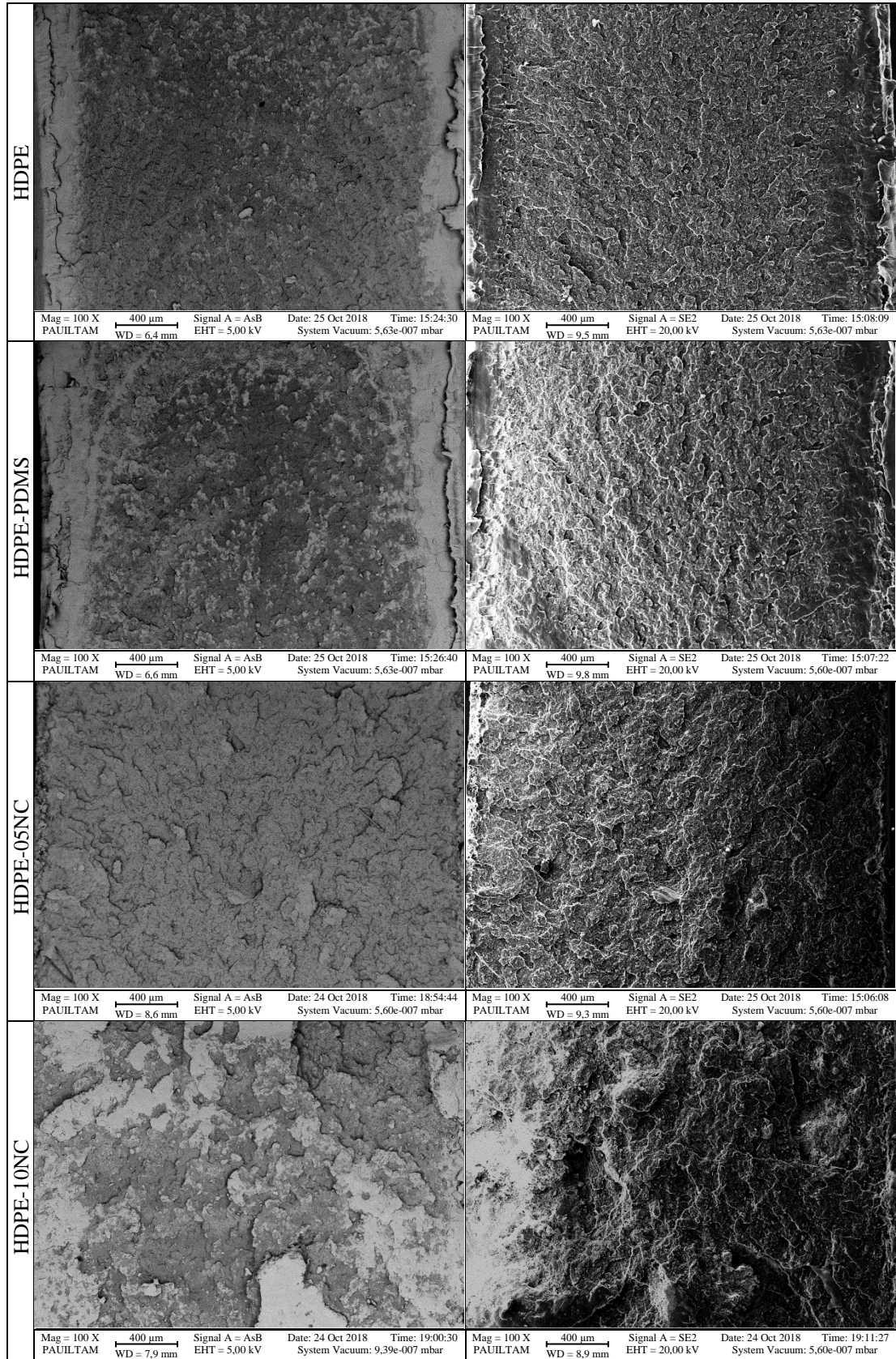
	Su Çekme Miktarı (%)	Standart Sapma (SS)		Su Çekme Miktarı (%)	Standart Sapma (SS)
HDPE	0,045±0,004	0,0041	PP	0,097±0,009	0,0096
HDPE- Ekstrüde	0,047±0,002	0,0035	PP- Ekstrüde	0,098±0,013	0,0190
HDPE-SC	0,050±0,010	0,0142	PP-SC	0,104±0,013	0,0181
HDPE-25APP3PER1	0,275±0,016	0,0229	PP-25APP3PER1	0,291±0,018	0,0249
HDPE-25APP3PER1SC	0,289±0,013	0,0179	PP-25APP3PER1SC	0,315±0,008	0,0112
HDPE-20APP3PER1SC	0,241±0,010	0,0144	PP-20APP3PER1SC	0,270±0,013	0,0187

#### 4.1.6 SEM içyapı görüntüleme

HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 100X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.29'da verilmiştir. HDPE ve HDPE-PDMS te görülen daha açık bölgeler kırılma alanlarını göstermektedir. HDPE-05NC ve



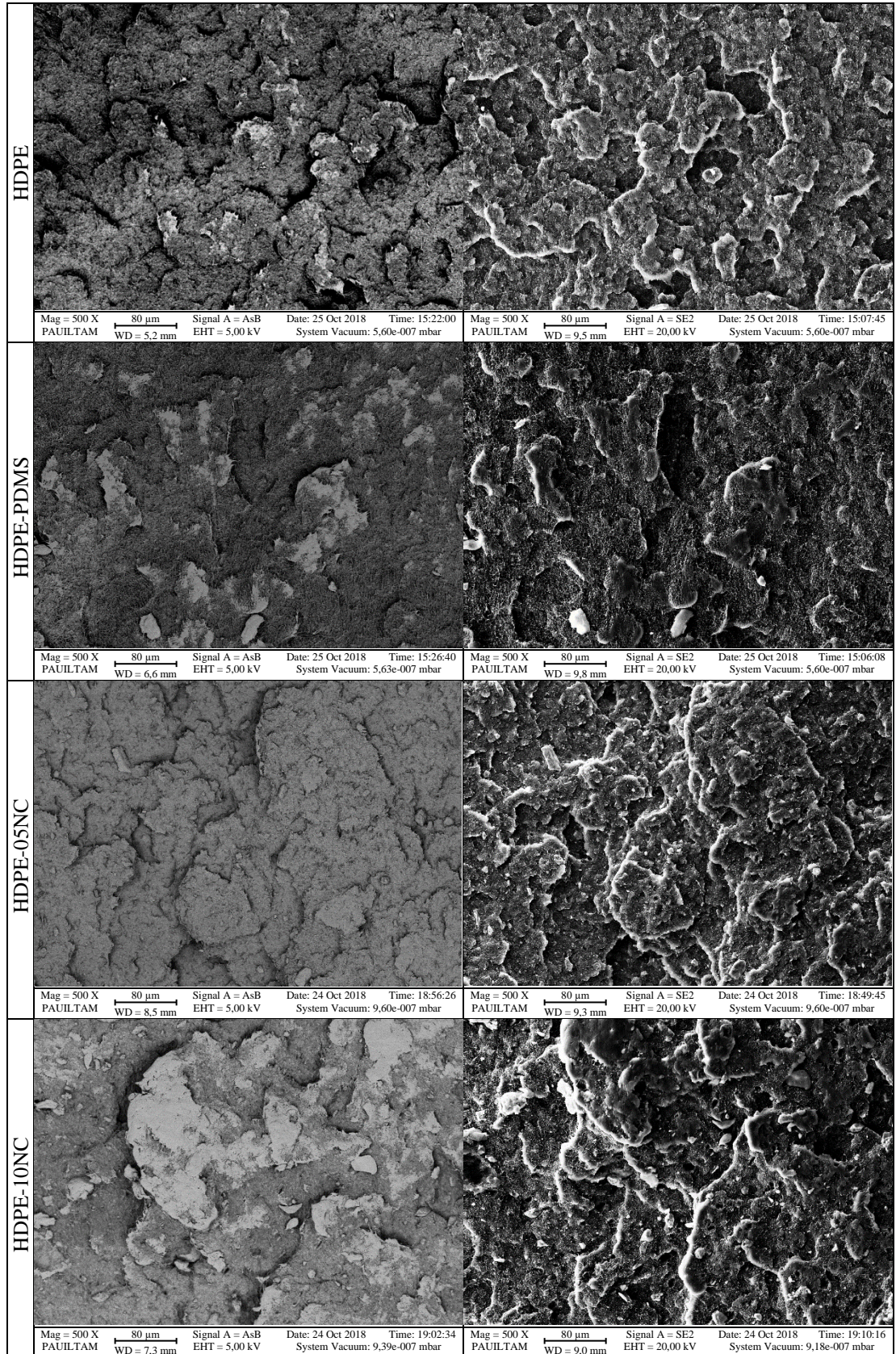
HDPE-10NC kompozitlerinde ise ASB detektörde çekilen görüntülerde ilave edilmiş olan NC daha belirgin görülmektedir.



Şekil 4.29: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)



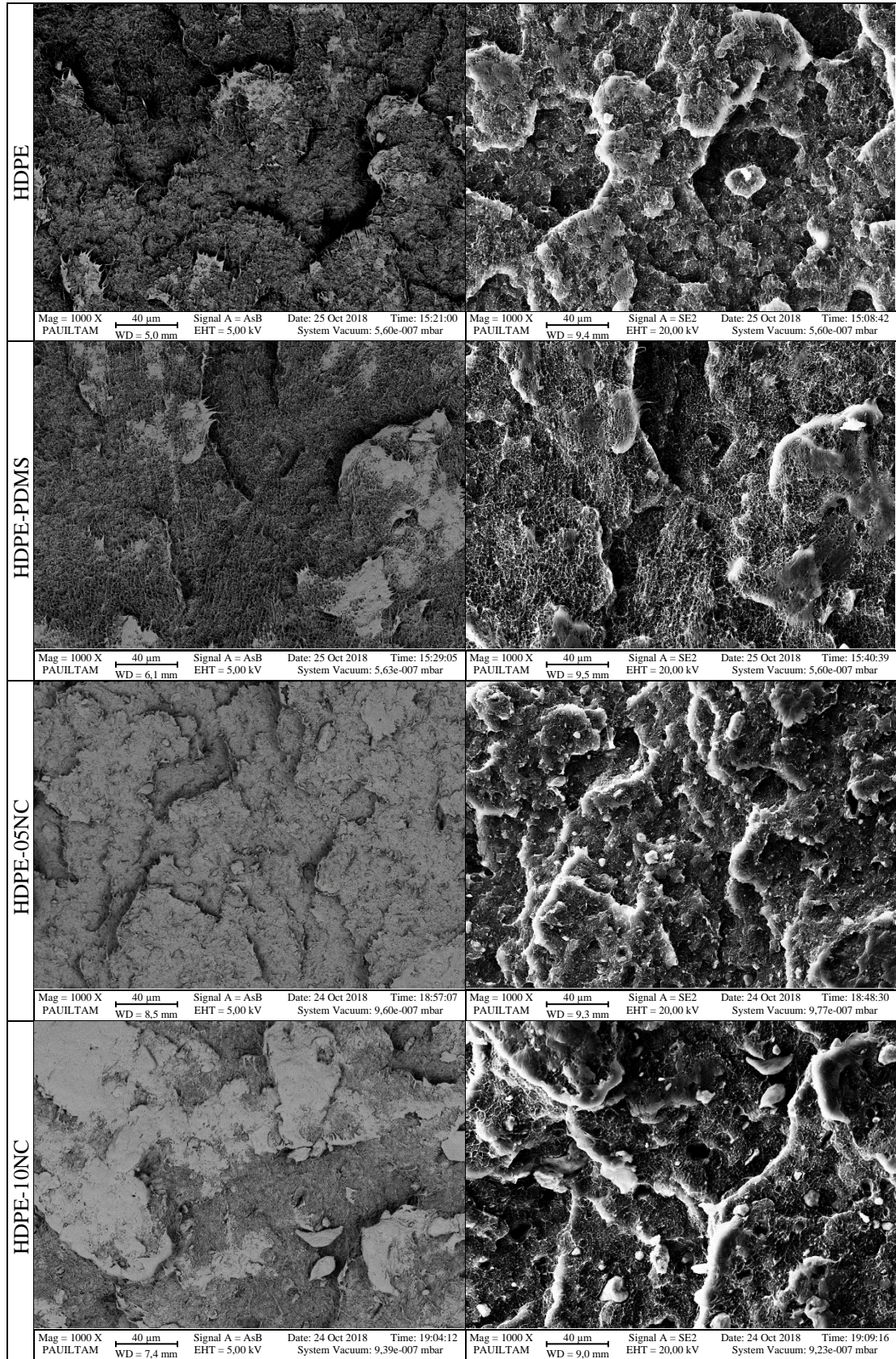
HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 500X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)



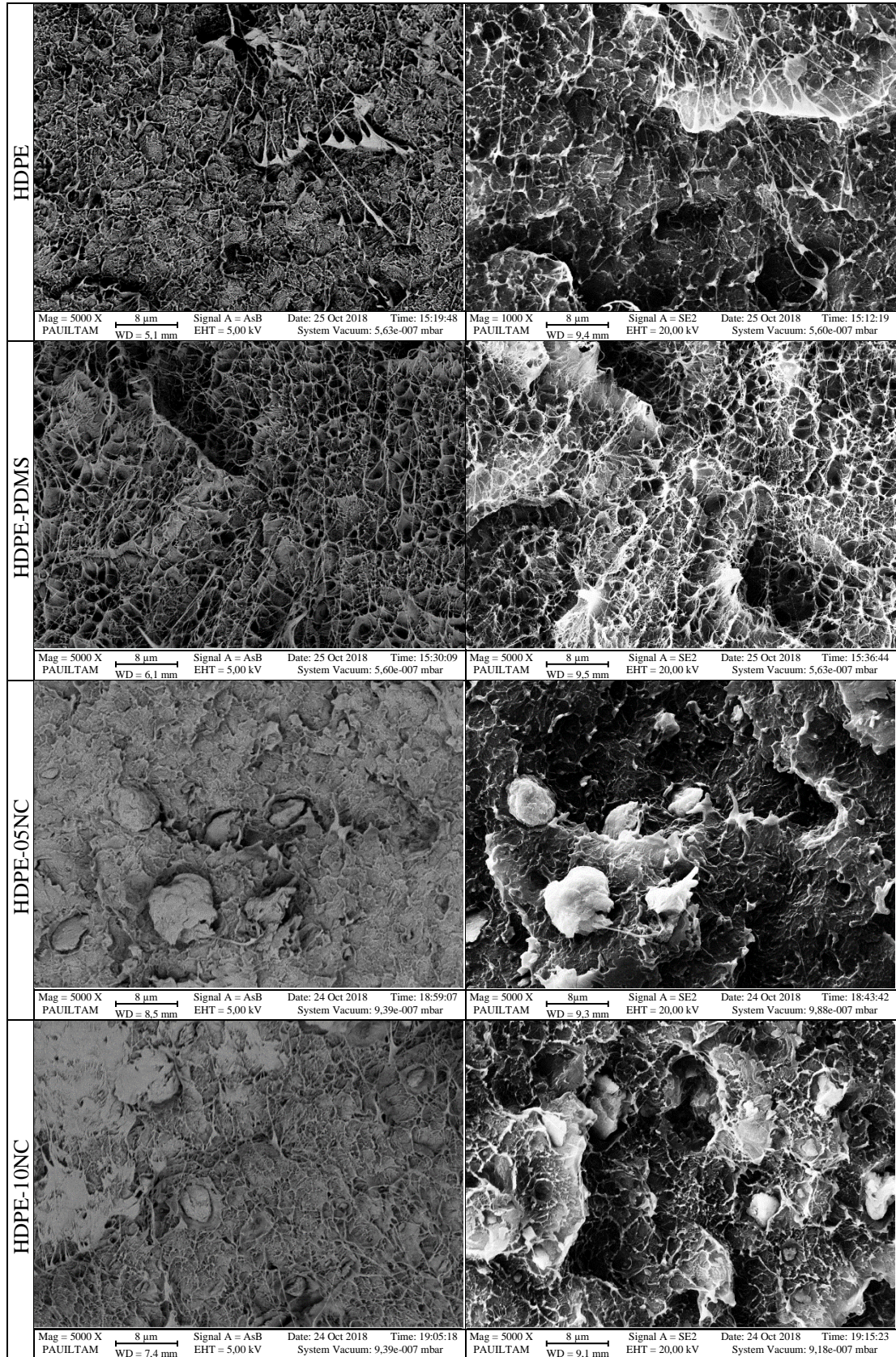
HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 1000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.31’de verilmiştir. NC’ler belirgin hale gelmiştir.



Şekil 4.31: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)



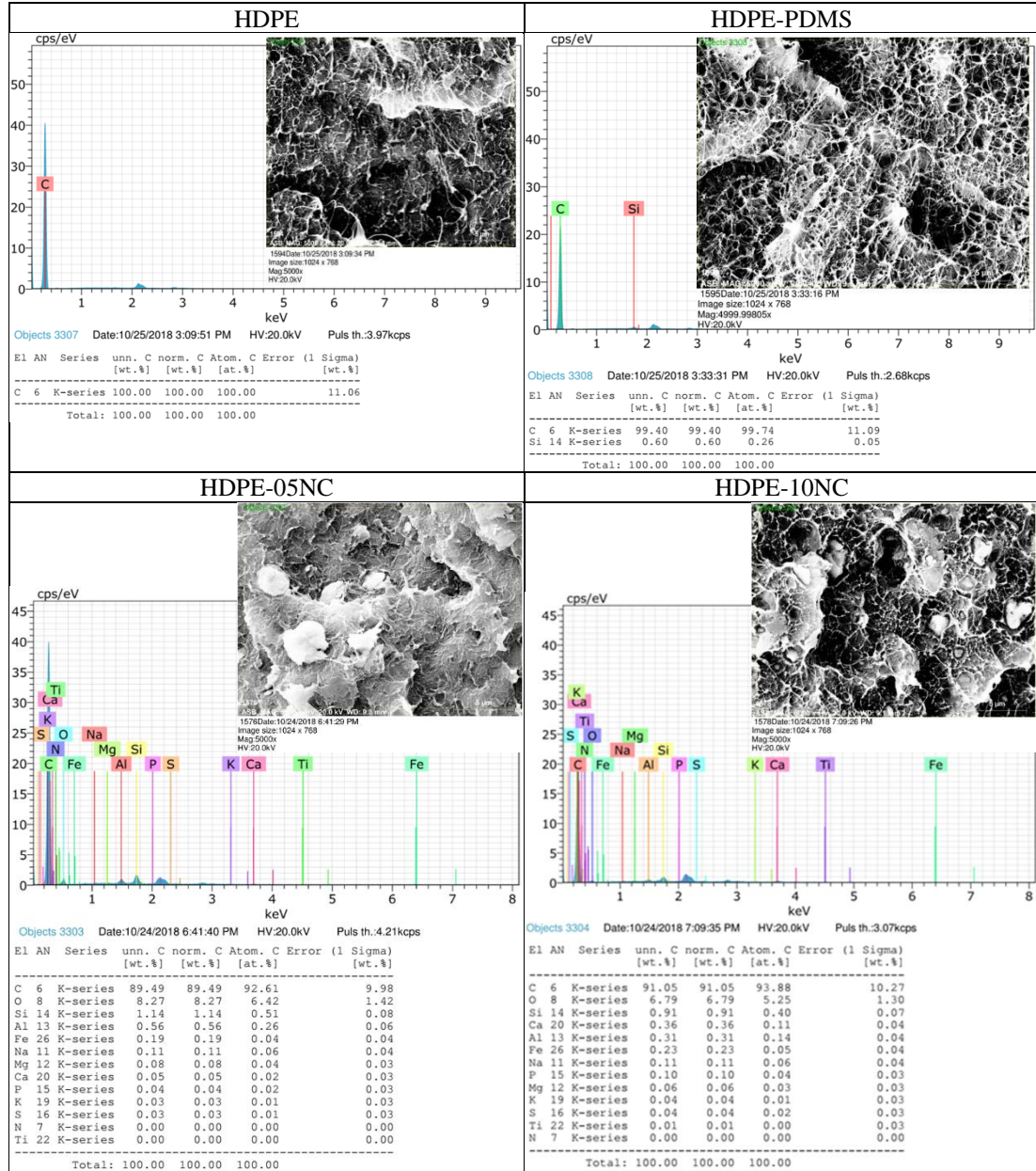
HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 5000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)

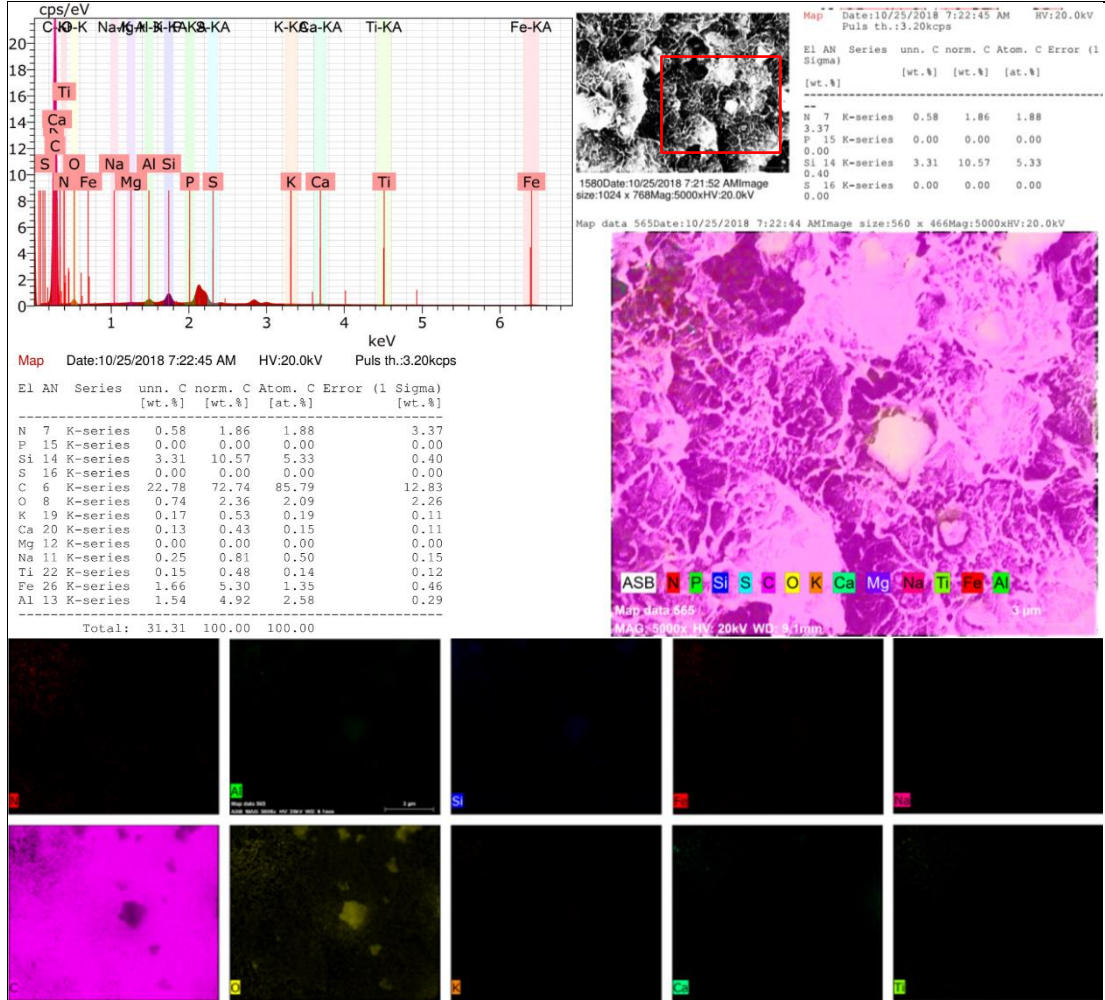


HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri Şekil 4.33'te verilmiştir. HDPE sadece CH<sub>2</sub> monomerlerinden oluştuğu için EDX analizlerinde sadece C piki görülmüştür. PDMS ilavesiyle yapıda Si görülmüştür. %5 ve %10 NC ilavesinde ise NC içerisinde bulunan metal oksitler metal ve oksijen atomları olmak üzere sonuçlarda çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.33: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri

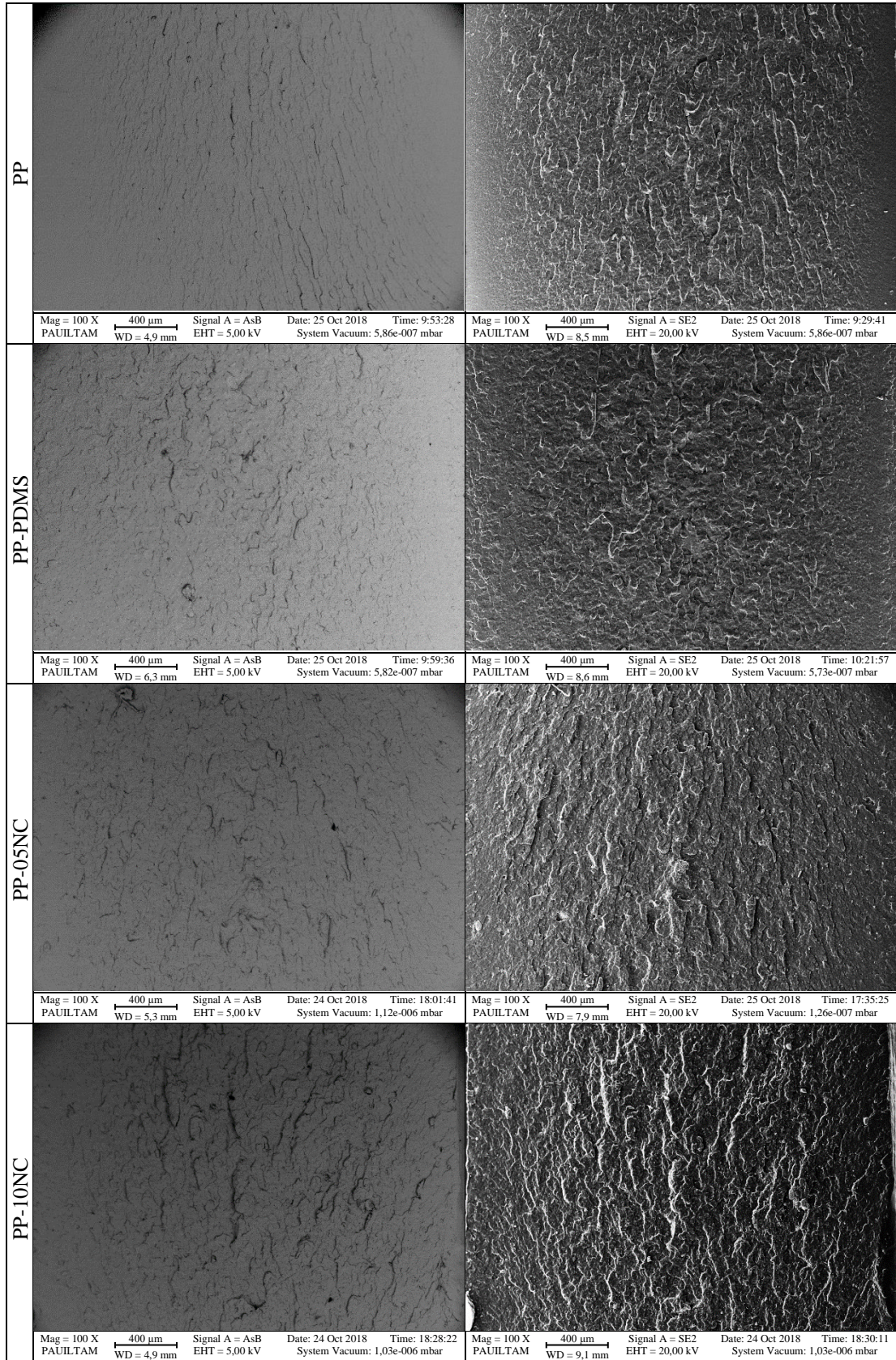
Şekil 4.34'te %10 NC ilaveli kompozitten haritalama işlemi kırmızı dikdörtgen ile seçili alandan gerçekleştirilmiştir. Atomların dağılımı ve EDX sonuçları gösterilmiştir. Haritalama işleminde NC'in içeriğinde bulunan metal oksitler kompozit içeriğinde görülmüştür.



Şekil 4.34: HDPE-10NC kompozitinin EDX-MAPPING görüntüleri



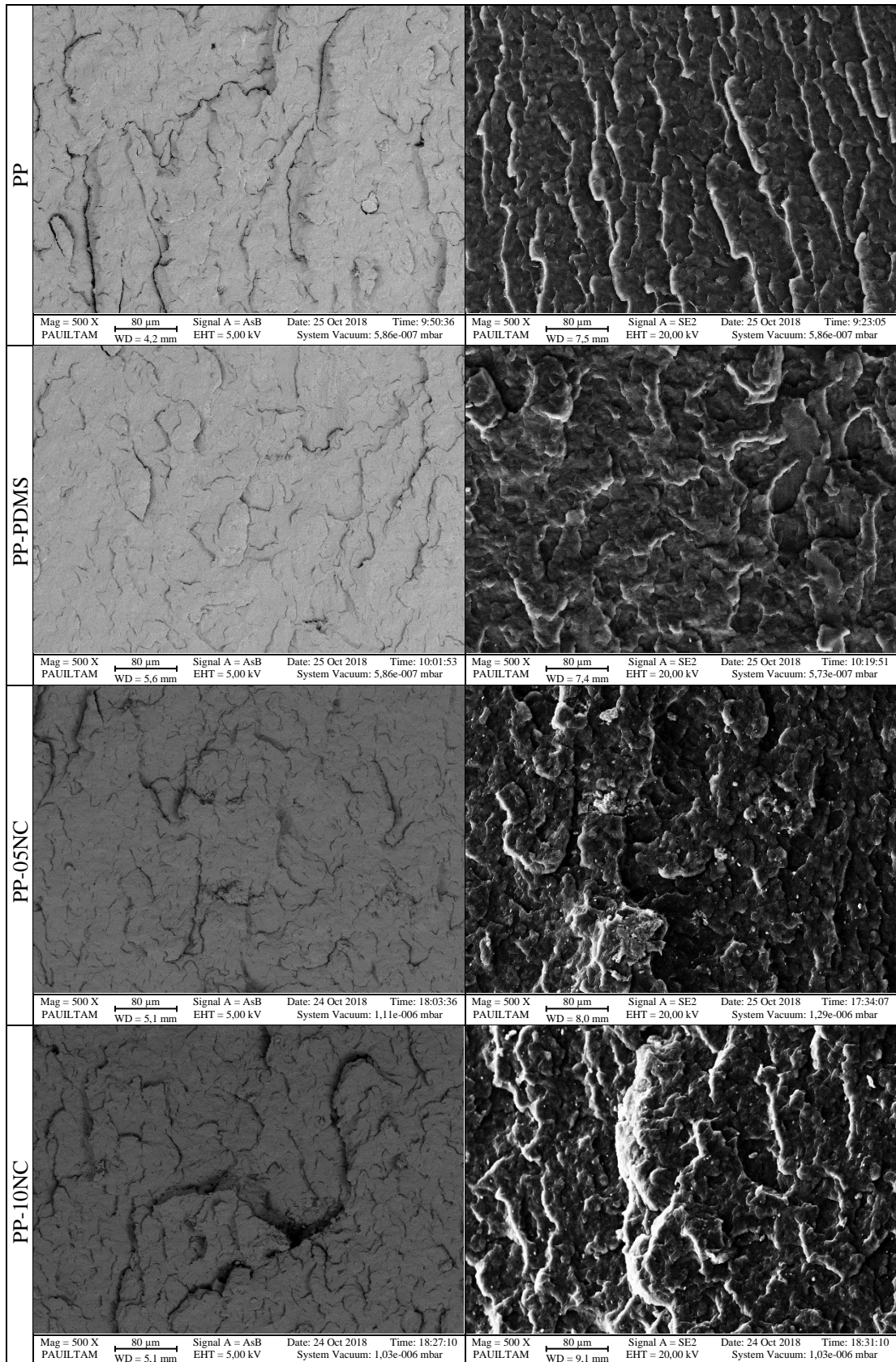
PP-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 100X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.35: PP-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)



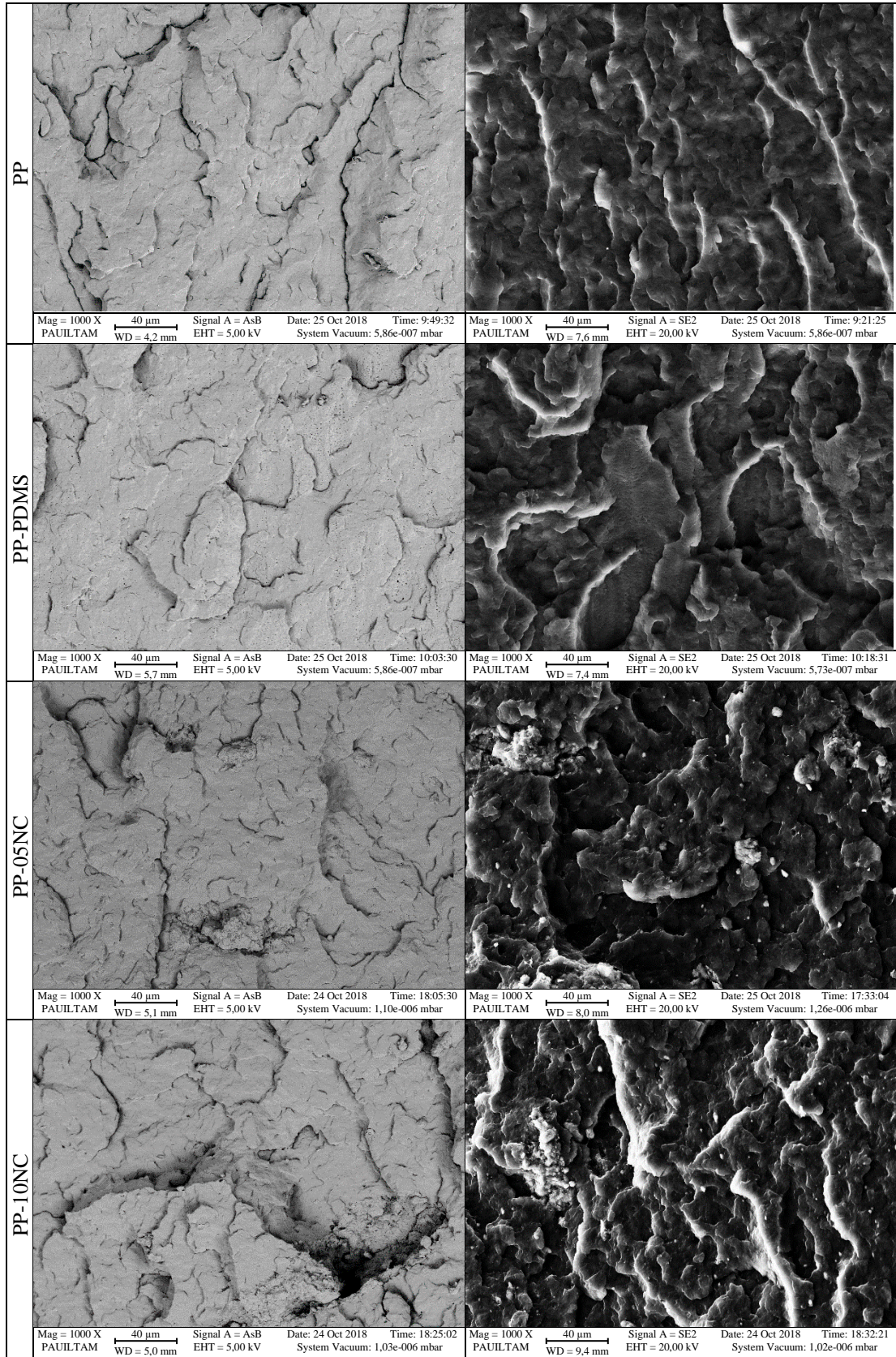
PP-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 500X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.36: PP-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)



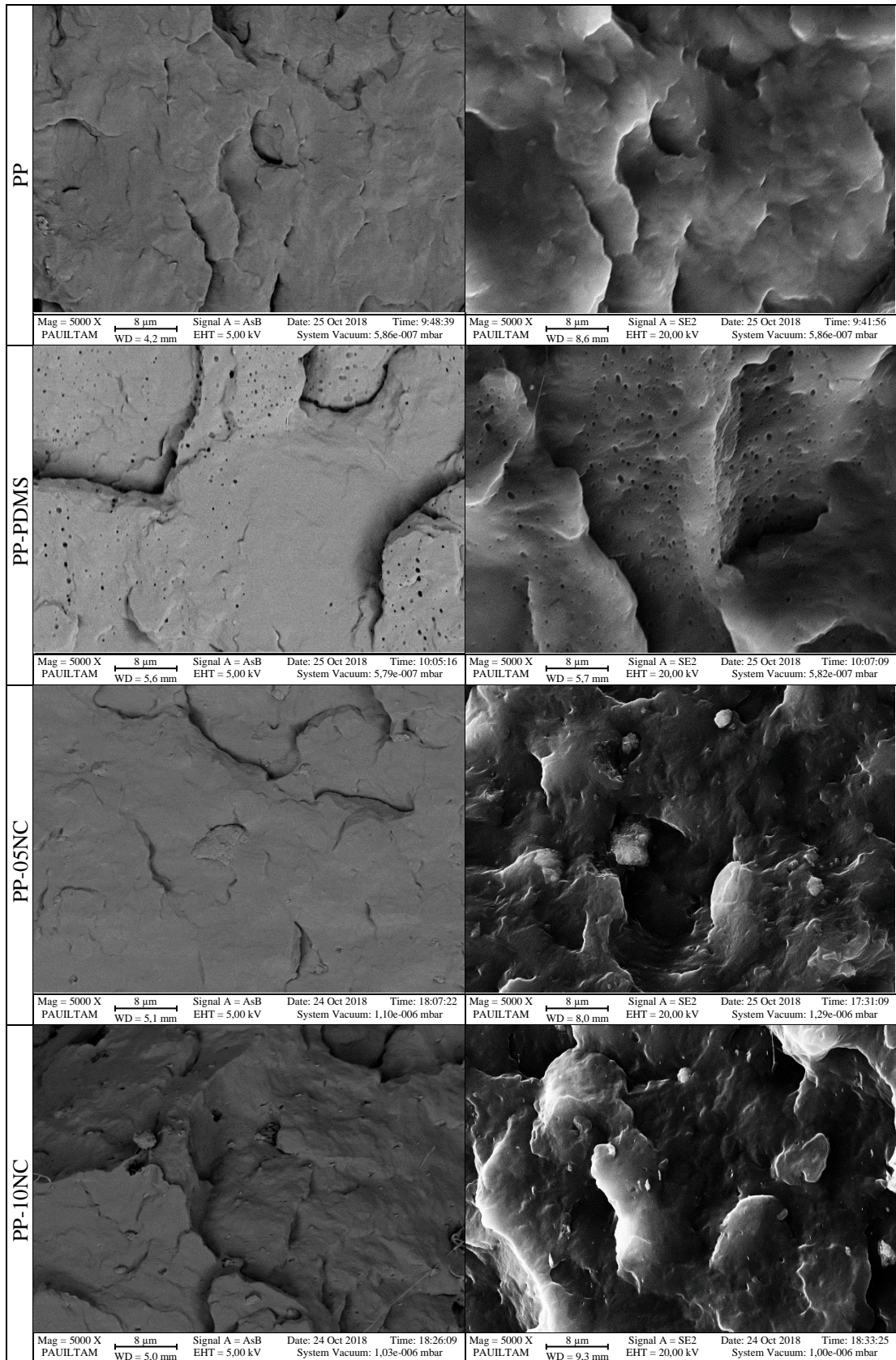
PP-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 1000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37: PP-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)

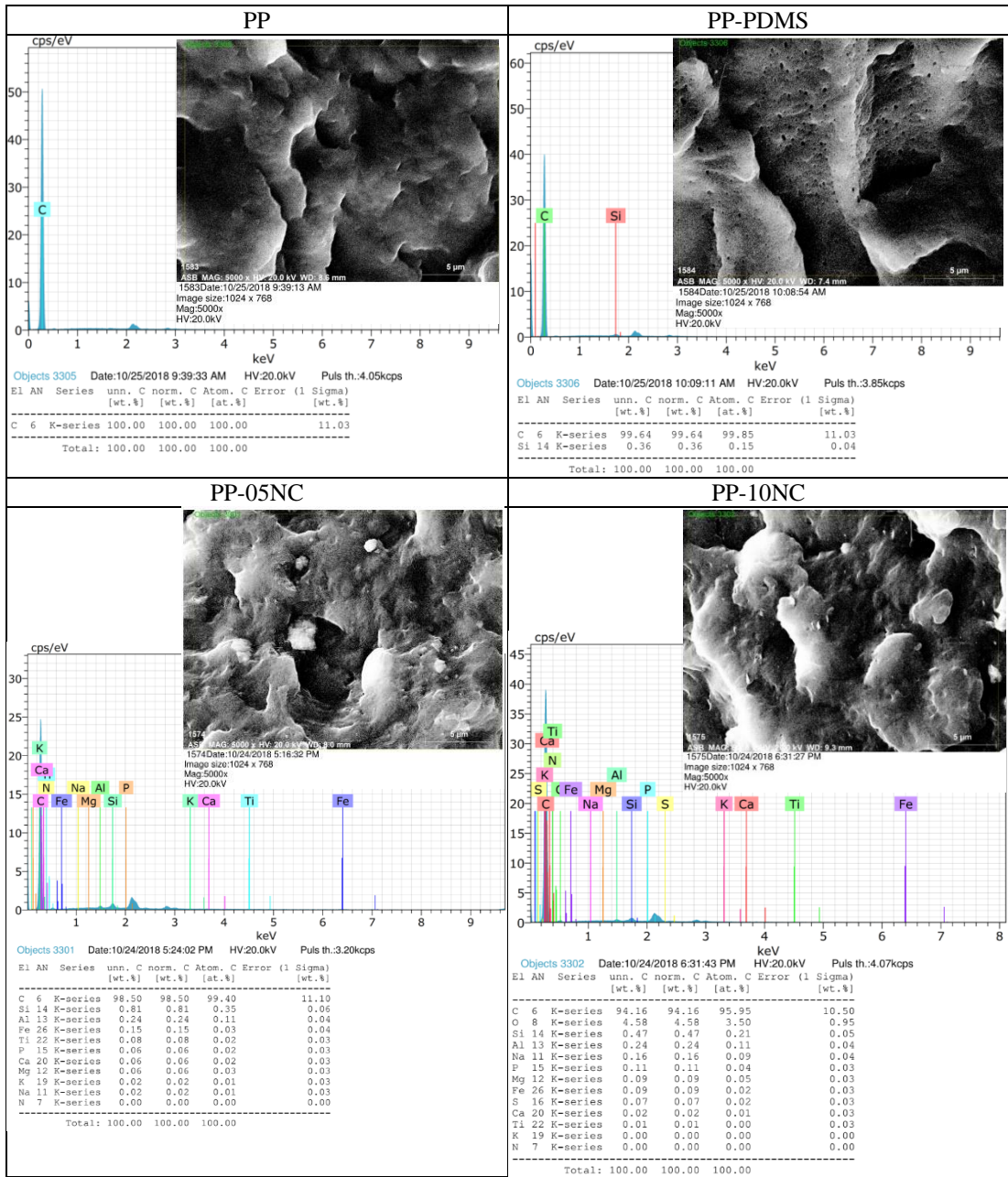


PP-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 5000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.38: PP-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)

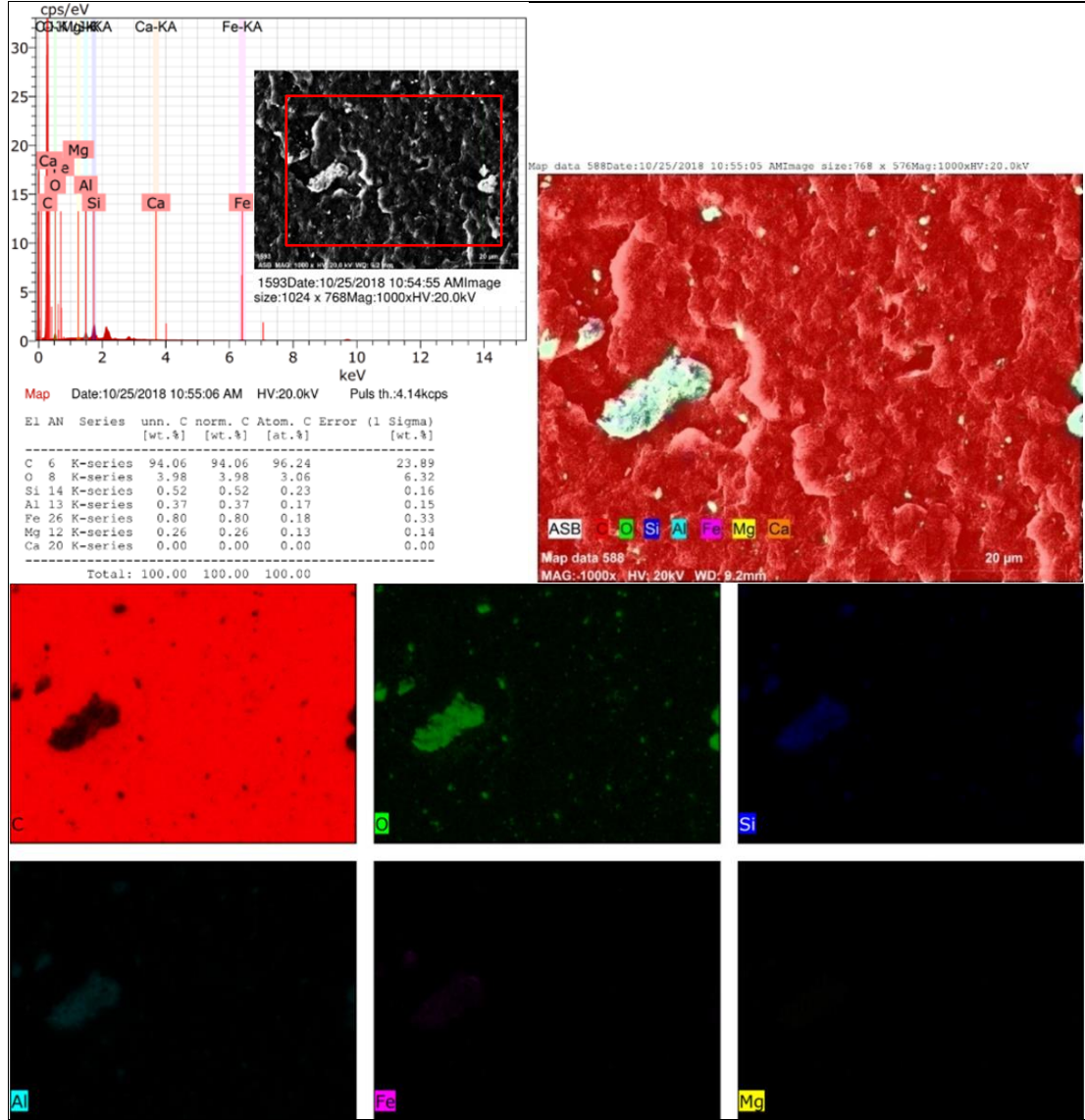
PP-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri Şekil 4.39’da verilmiştir. PP CH, CH<sub>2</sub> ve CH<sub>3</sub> monomerlerinden oluştuğu için EDX analizlerinde sadece C piki görülmektedir. HDPE kompozitlerindeki benzer durum gibi PP kompozitlerde de PDMS ilavesiyle yapıda Si görülmüş olup %5 ve %10 NC ilavesinde ise NC içerisinde bulunan metal oksitler metal ve oksijen atomları olmak üzere sonuçlarda çıktığı görülmüştür. PP malzemeler HDPE malzemelere göre daha gevrek bir yapıda oldukları için kırık yüzeyleri daha pürüzsüz bir yapıya sahip oldukları görülmüştür.



Şekil 4.39: PP-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri

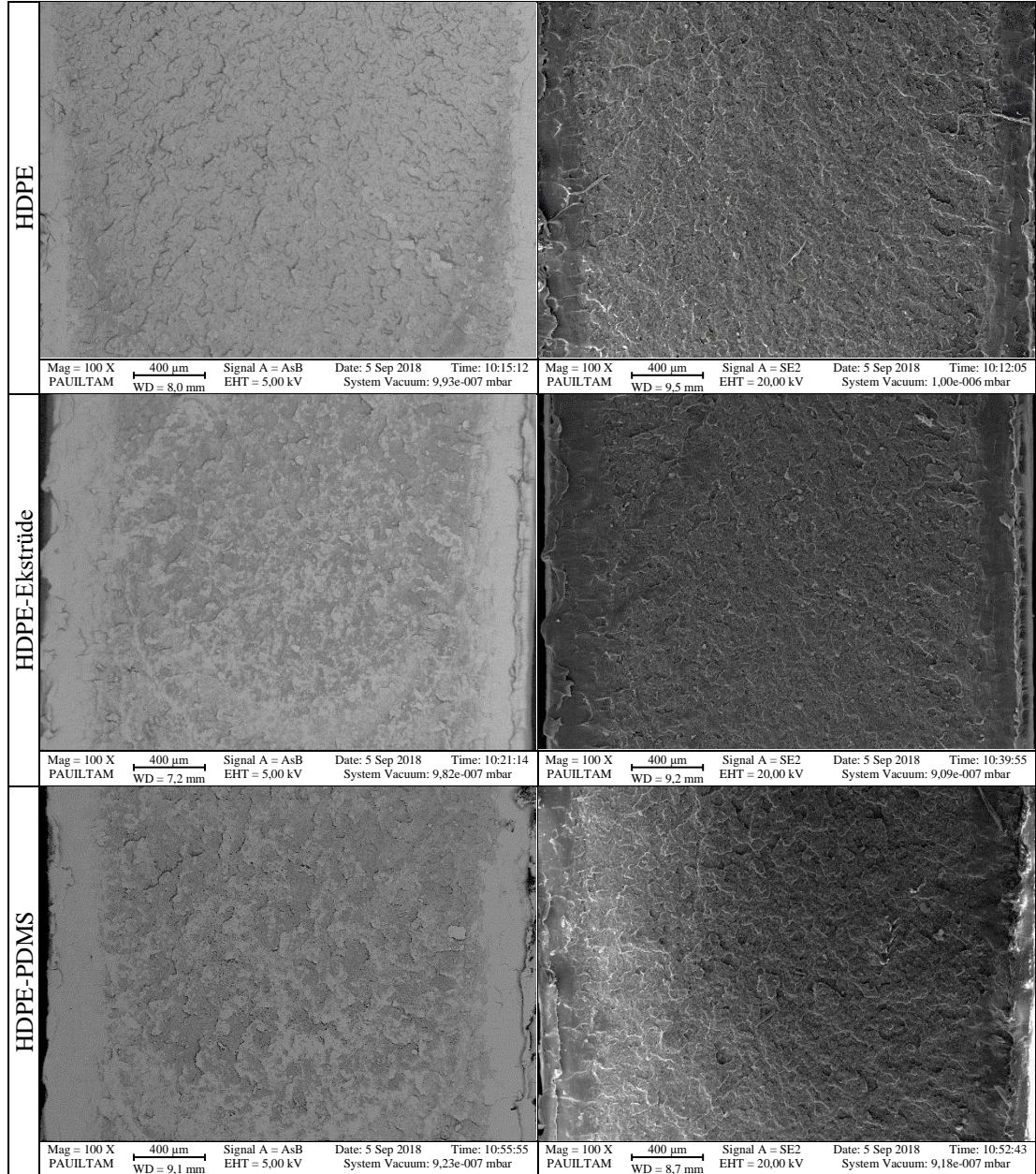


% 10 NC ilaveli kompozitten kırmızı dikdörtgen ile çevrili alandan haritalama işlemi gerçekleştirilmiş olup atomların dağılımı ve EDX sonuçları gösterilmiştir (Şekil 4.40). HDPE-NC-PDMS kompozitlerine benzer olarak NC içeriğindeki metal oksitler haritalama işlemi sonrası kompozit yapıda görülmüştür.



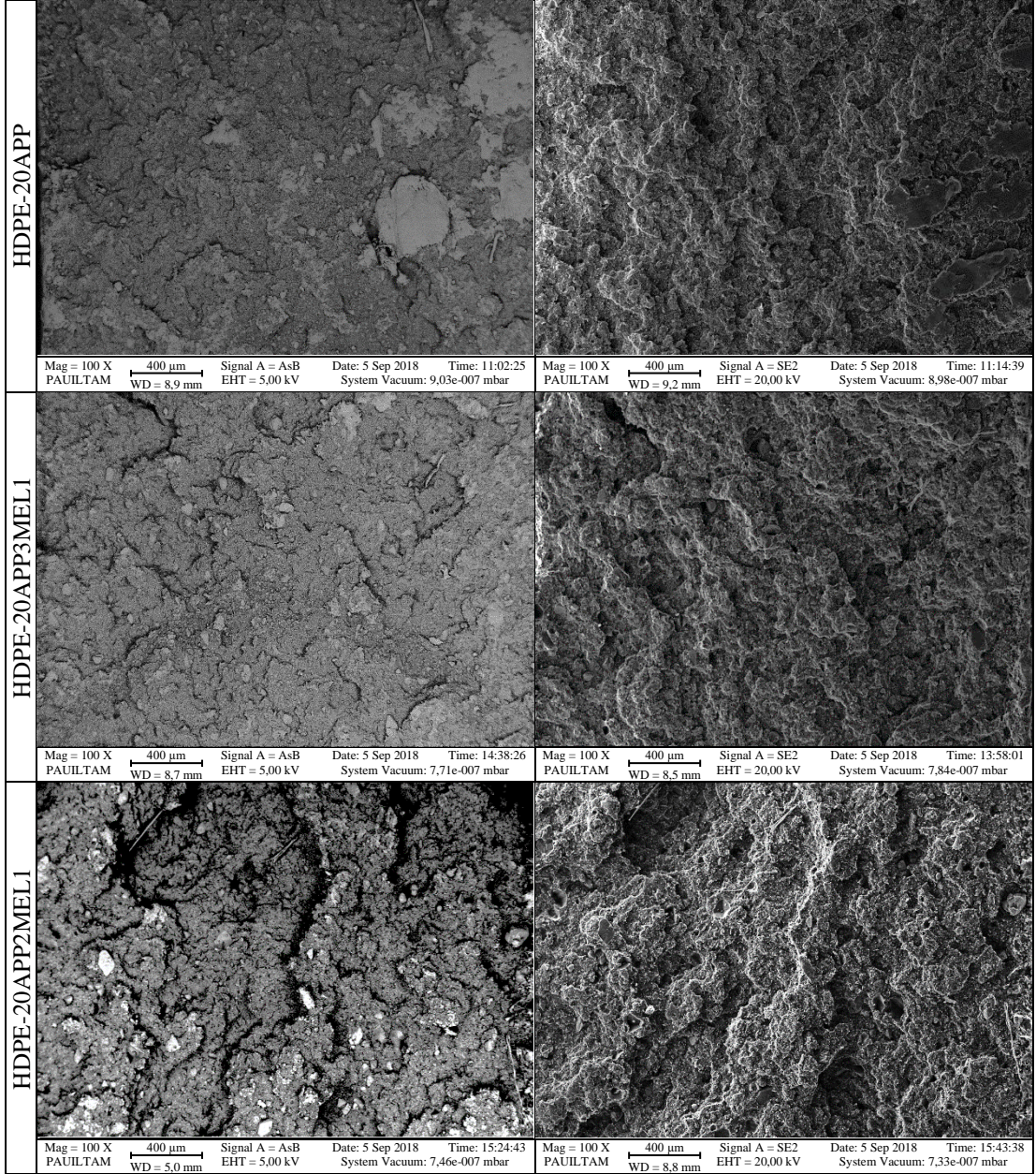
Şekil 4.40: PP-10NC kompozitinin EDX-MAPPING görüntüleri

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 100X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.41’de verilmiştir. Toz katkısız kompozitlerde kırılma yüzeyleri daha düzgün görülmüştür. APP, MEL ve NC ilaveli kompozitlerde ise yüzeyler daha pürüzlü hale gelmiştir.



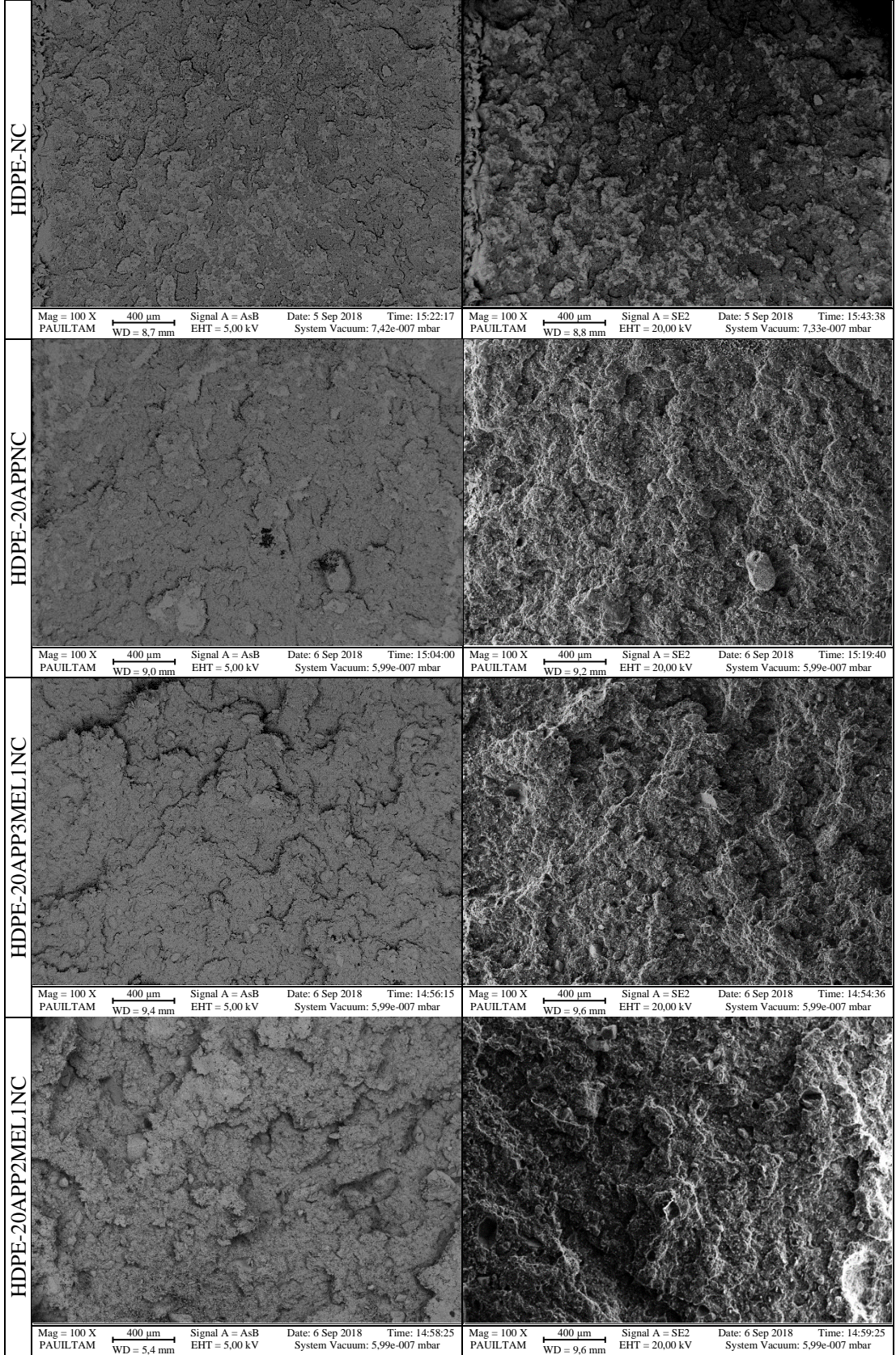
Şekil 4.41: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)





Şekil 4.41: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)

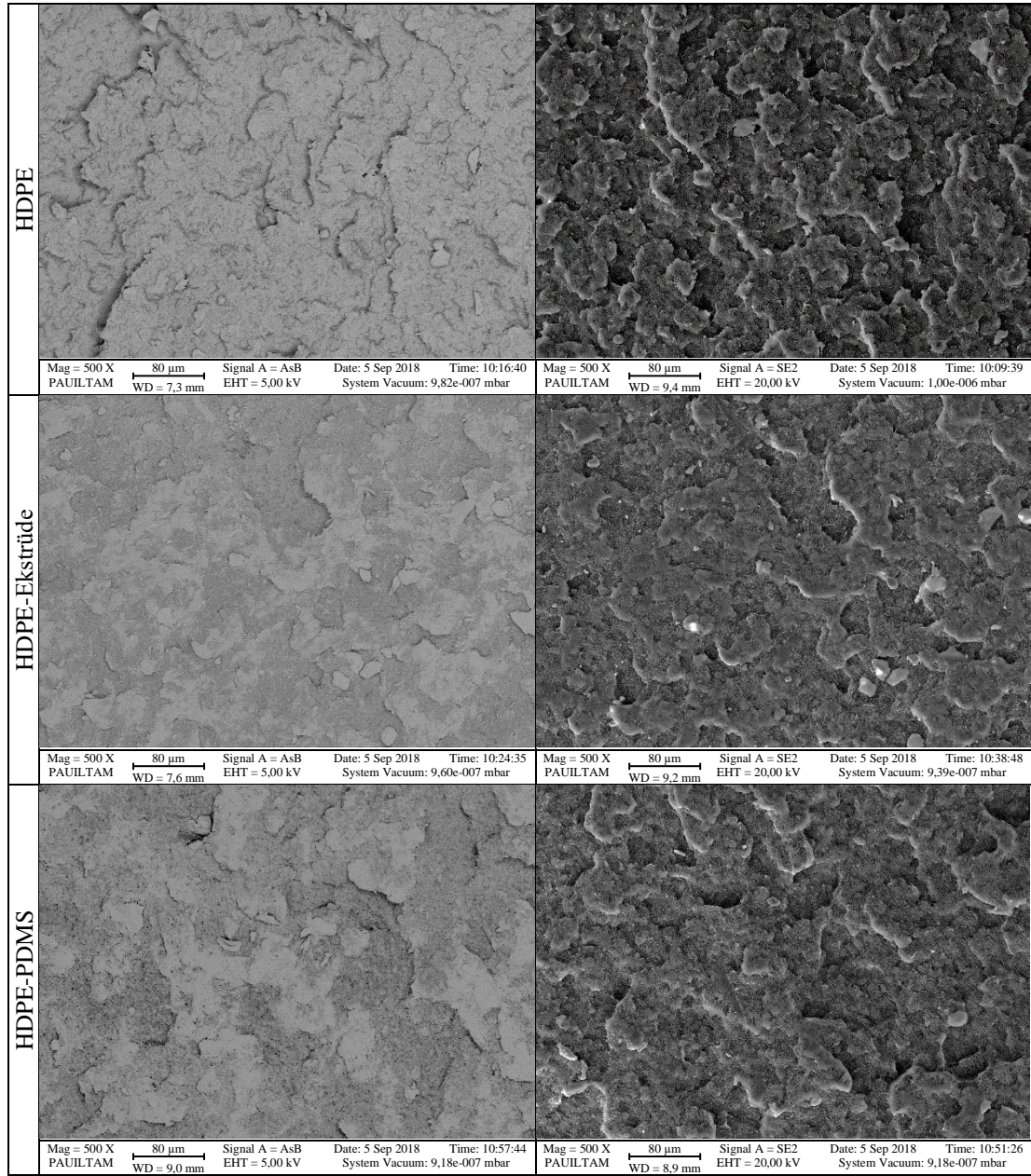




Şekil 4.41: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)



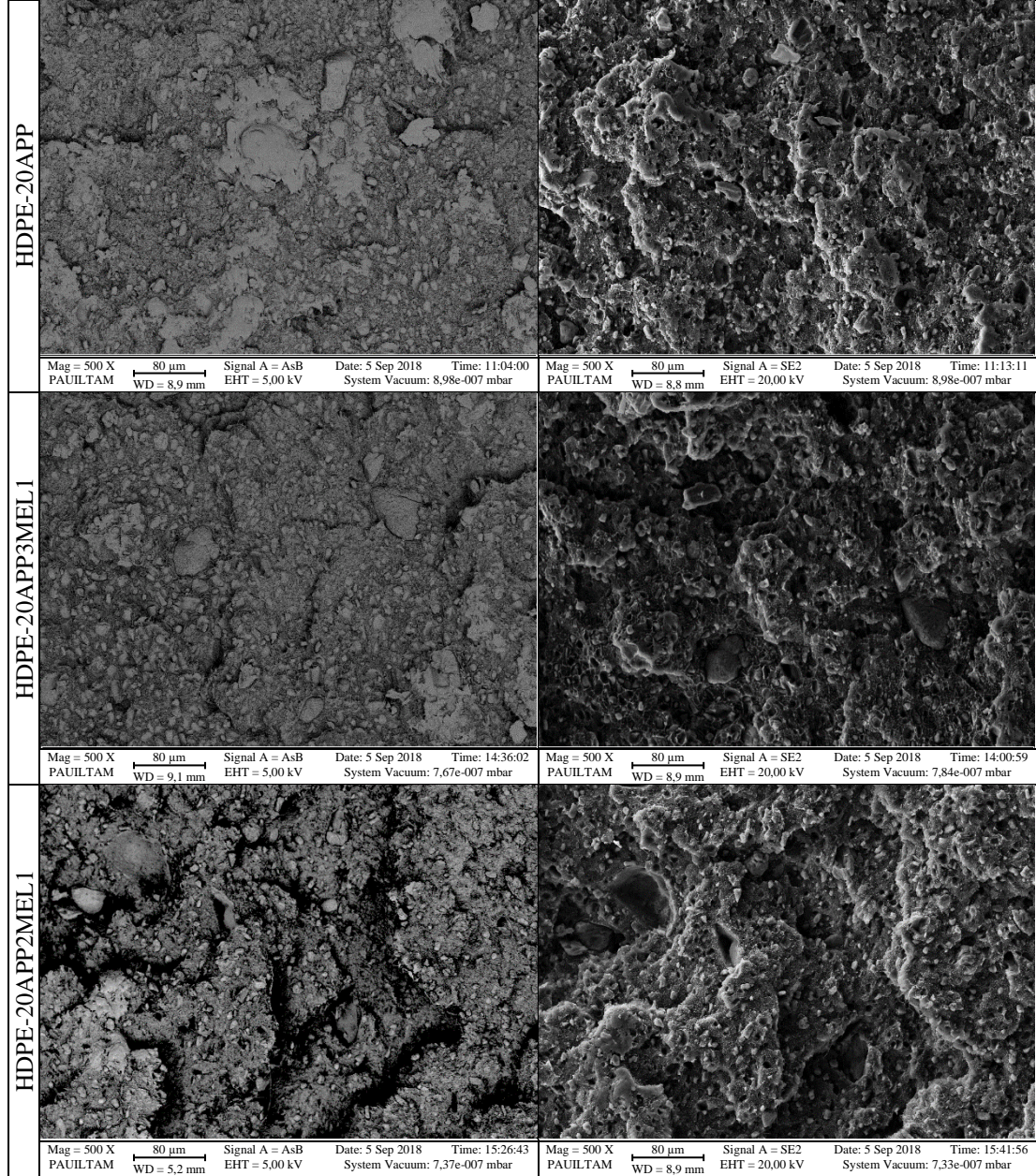
HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 500X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.42: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)

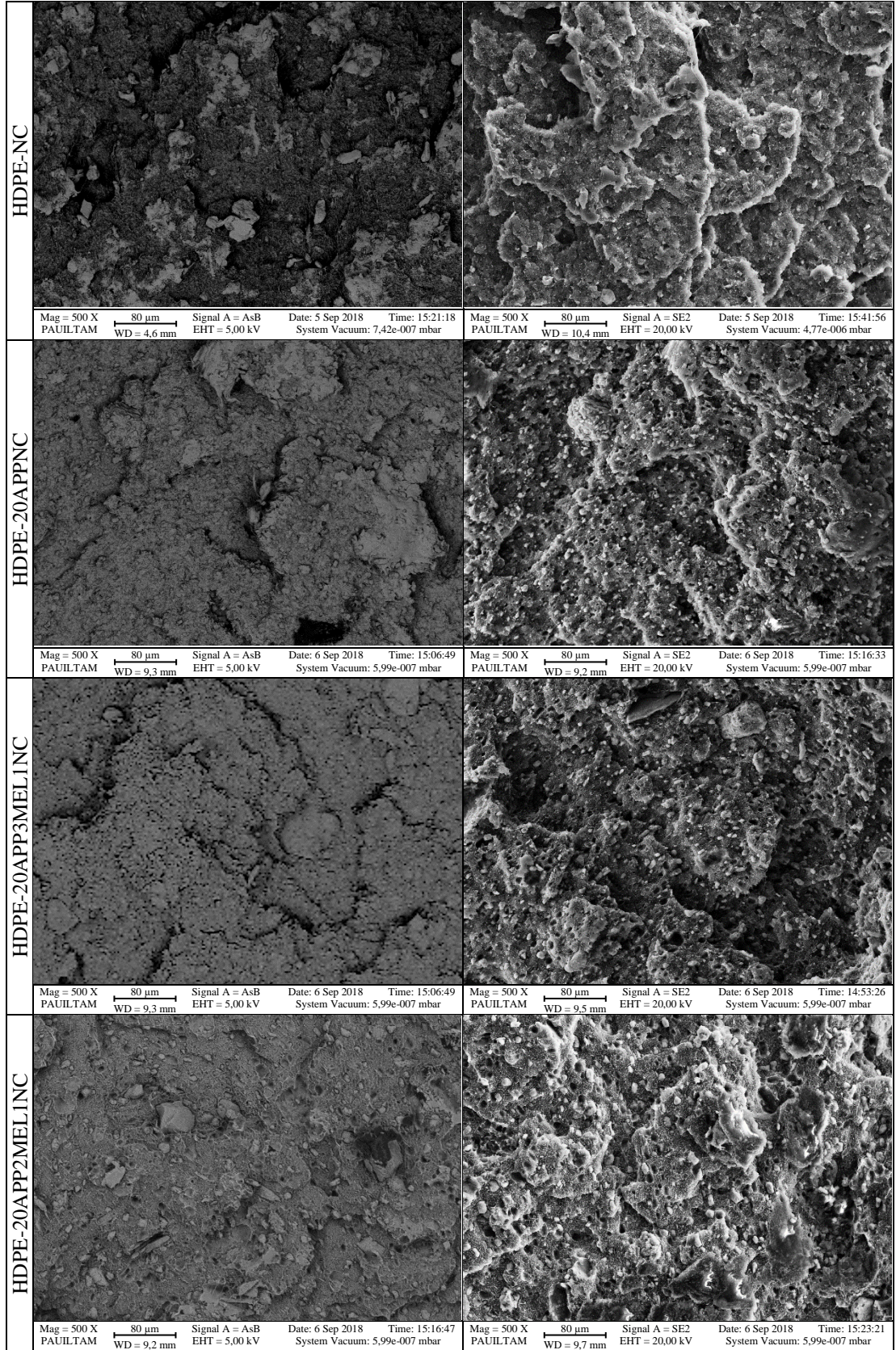


HDPE-20APP, HDPE-20APP3MEL1, HDPE-20APP2MEL1, HDPE-NC, HDPE-20APPNC, HDPE-20APP3MEL1NC ve HDPE-20APP2MEL1NC kompozitlerinde partiküllerin homojen bir şekilde yayıldığı görülmektedir.



Şekil 4.42: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)

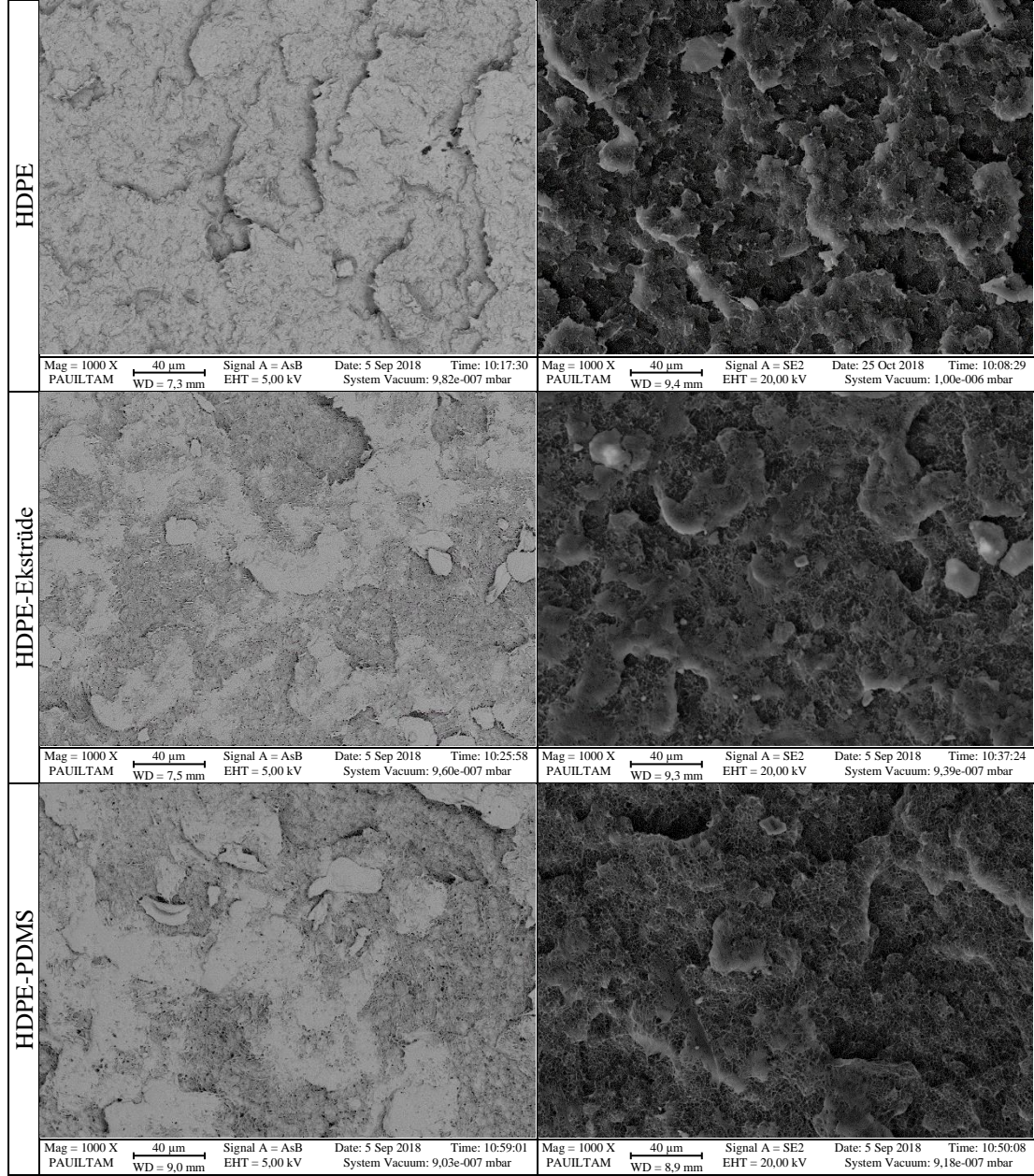




Şekil 4.42: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)

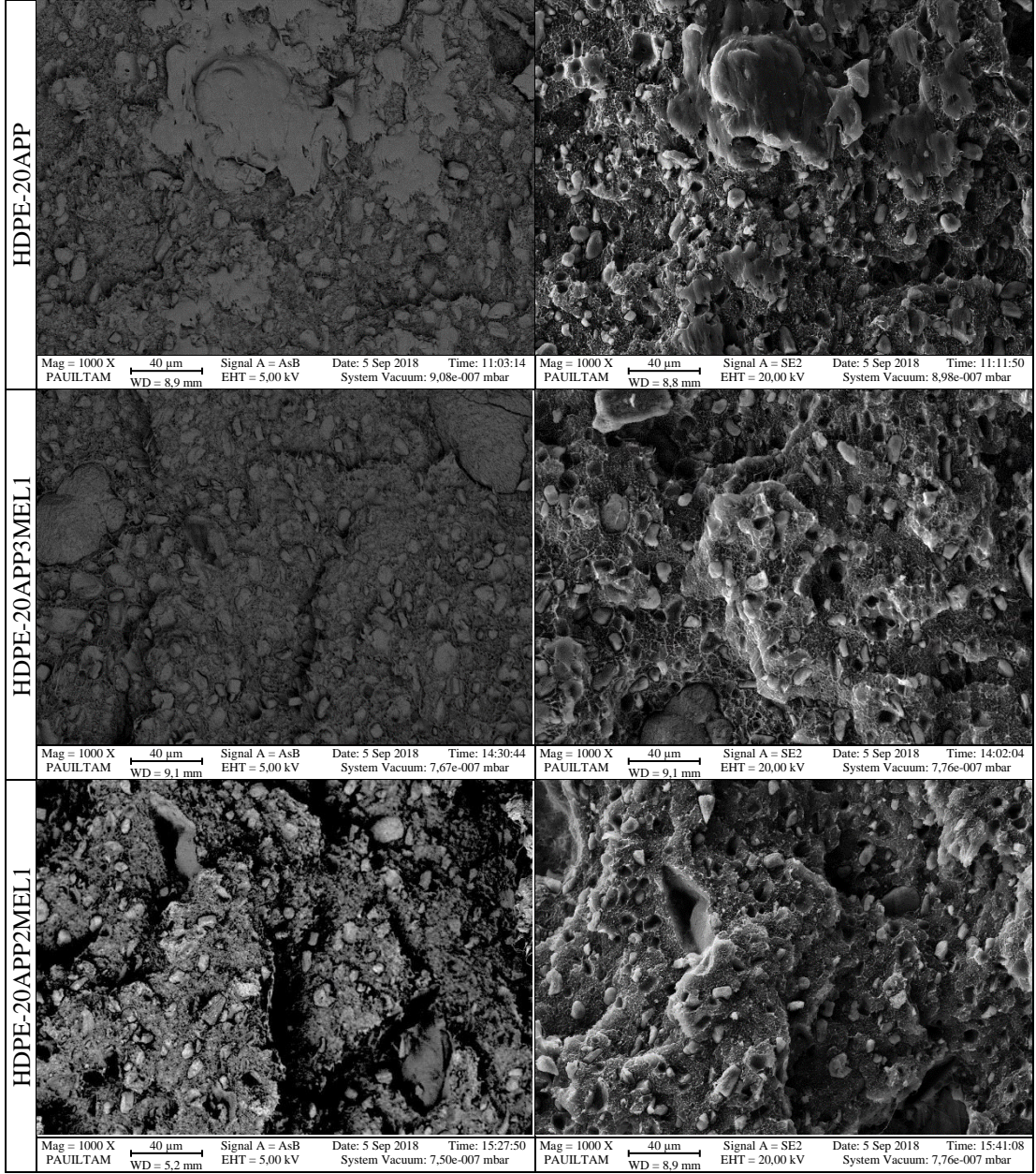


HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 1000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.43'te verilmiştir. İlave edilen katkıların boyutlarının 40 µm'nin çok altında olduğu görülmektedir.



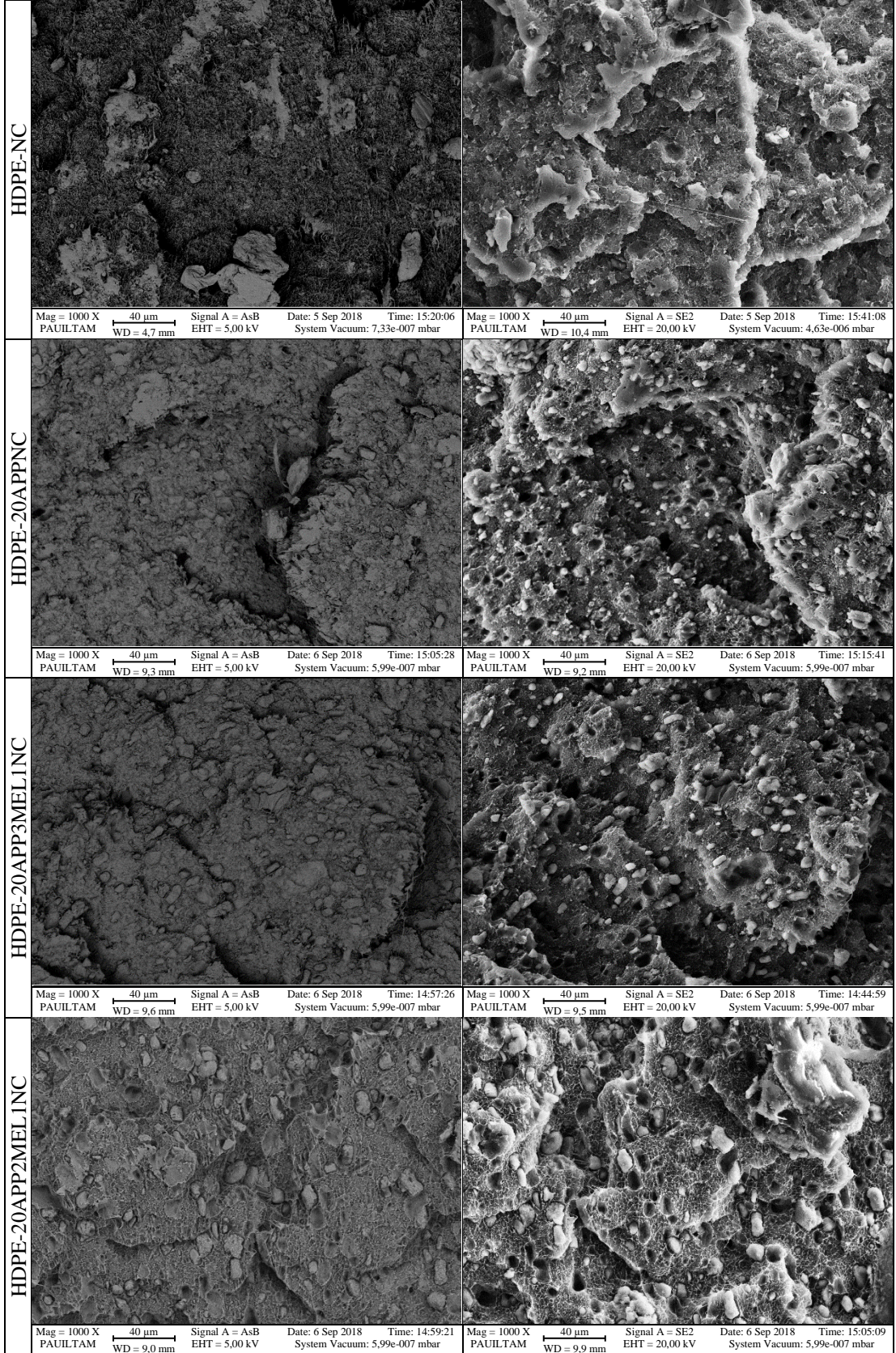
Şekil 4.43: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)





Şekil 4.43: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)

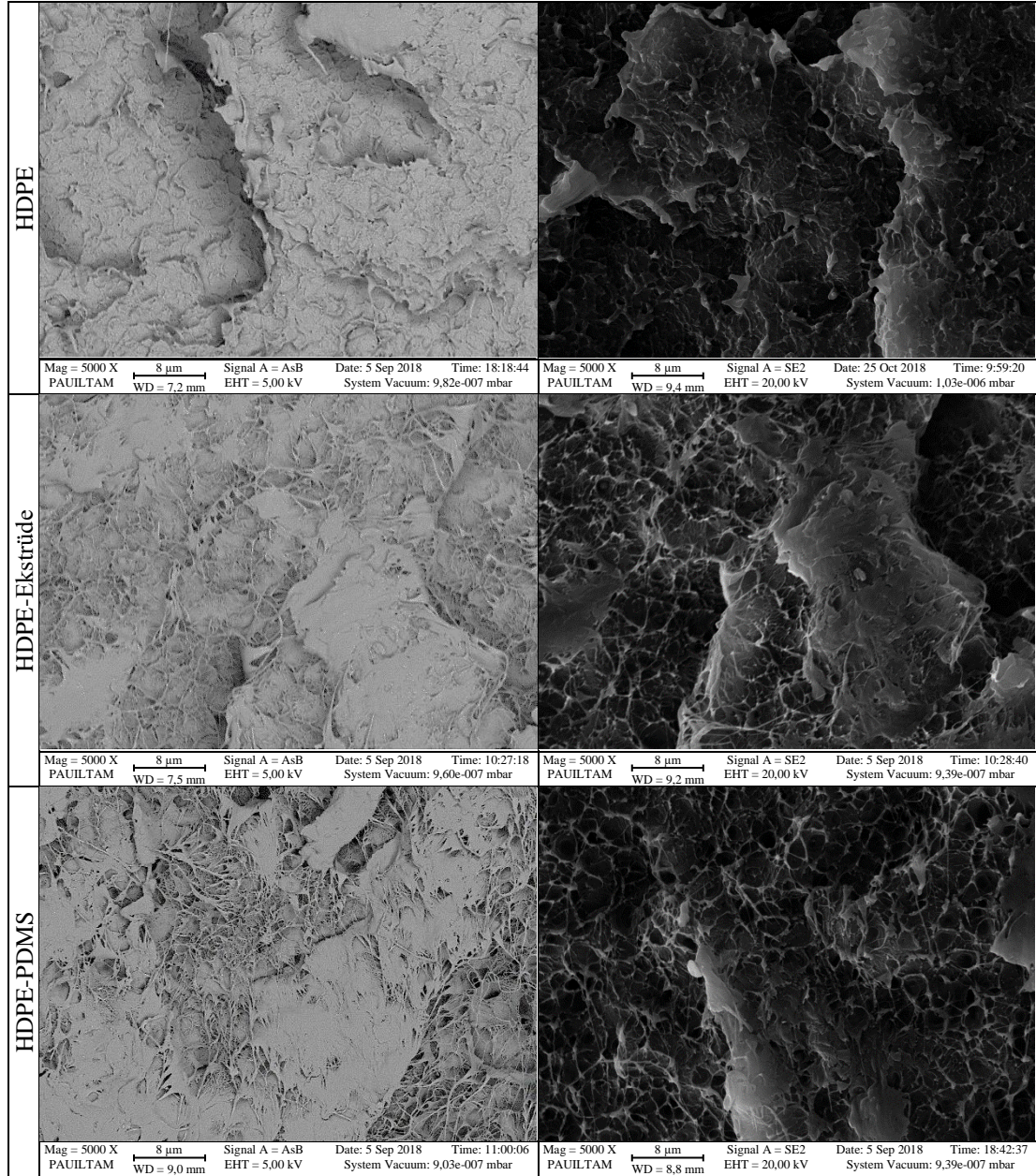




Şekil 4.43: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)

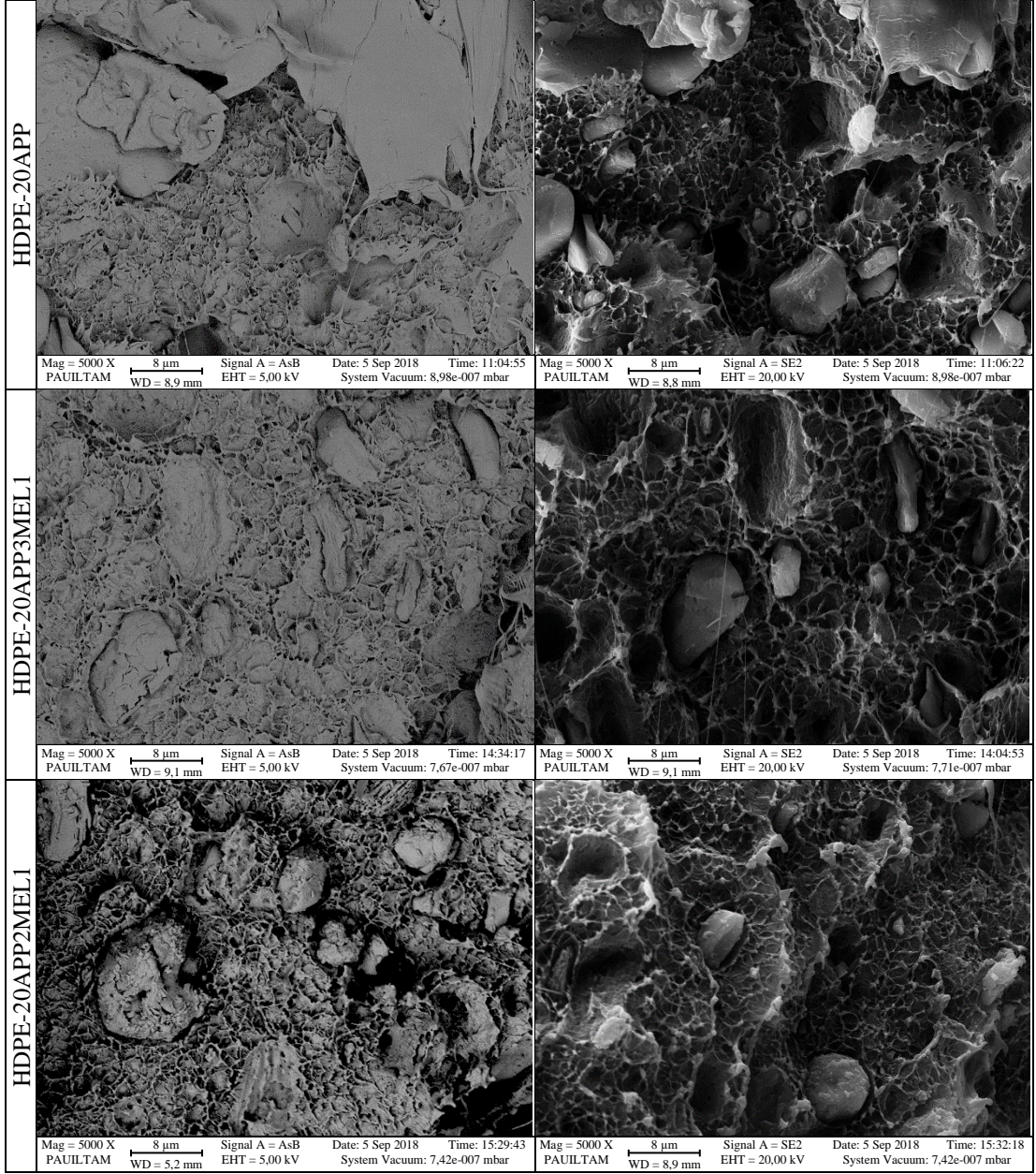


HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 5000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.44'te verilmiştir. Katkısız olan HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-PDMS üretimleri ile APP-MEL-NC katkıli üretimler arasındaki fark görülmektedir. Sadece NC ilaveli üründe partikül boyutları çok küçük görünürken APP-MEL ilaveli üretimlerde partikül boyutlarının arttığı gözlemlenmiştir.



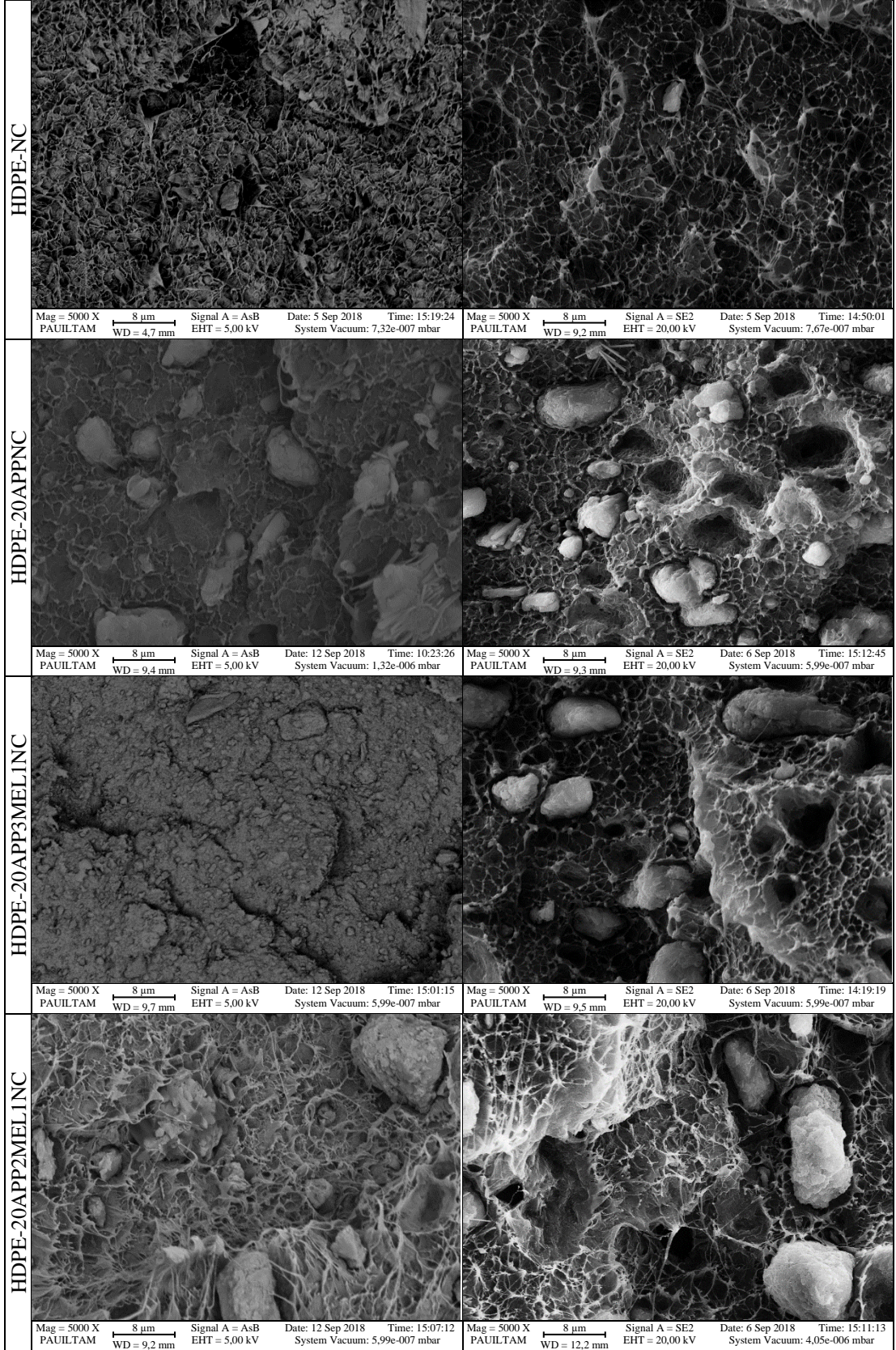
Şekil 4.44: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)





Şekil 4.44: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)

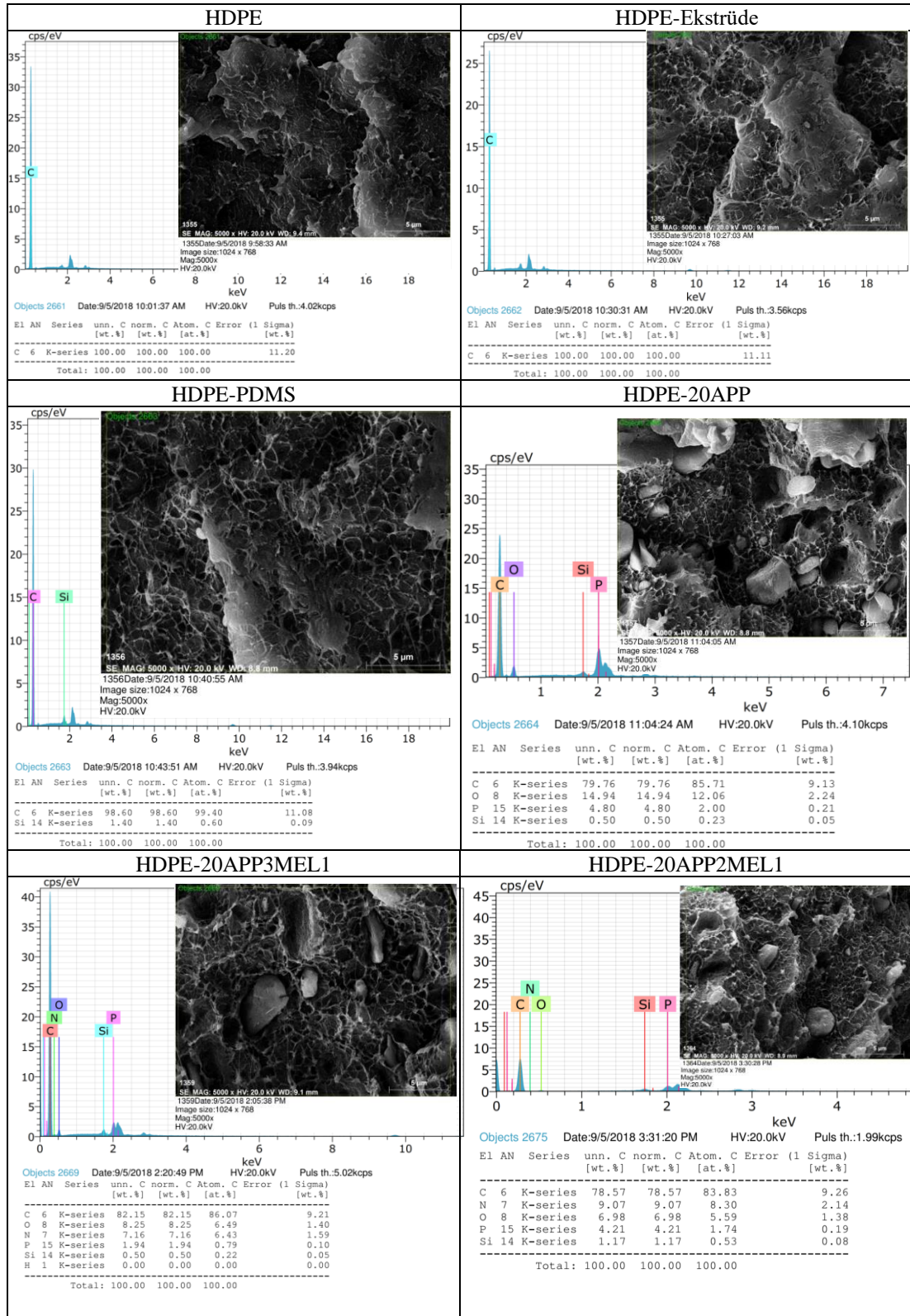




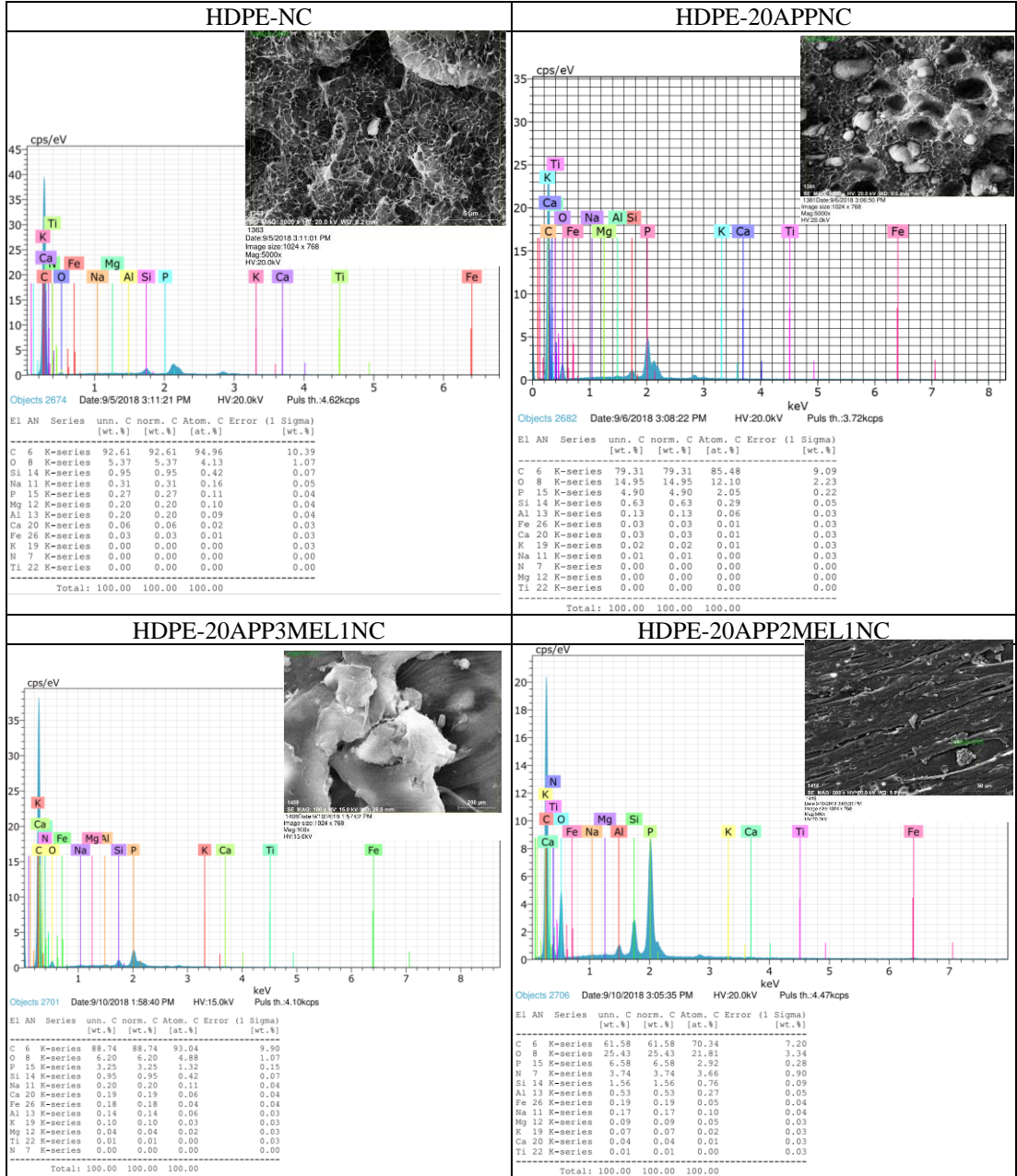
Şekil 4.44: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)



HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri Şekil 4.45'te verilmiştir. HDPE, CH<sub>2</sub> monomerlerinden oluştuğu için EDX analizlerinde sadece C piki görülmektedir. Ekstrüde edilmiş HDPE'de herhangi bir katkı olmadığı için sadece C piki görülmüştür. PDMS ilavesiyle yapıda Si gözlemlenmiştir.



Şekil 4.45: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri

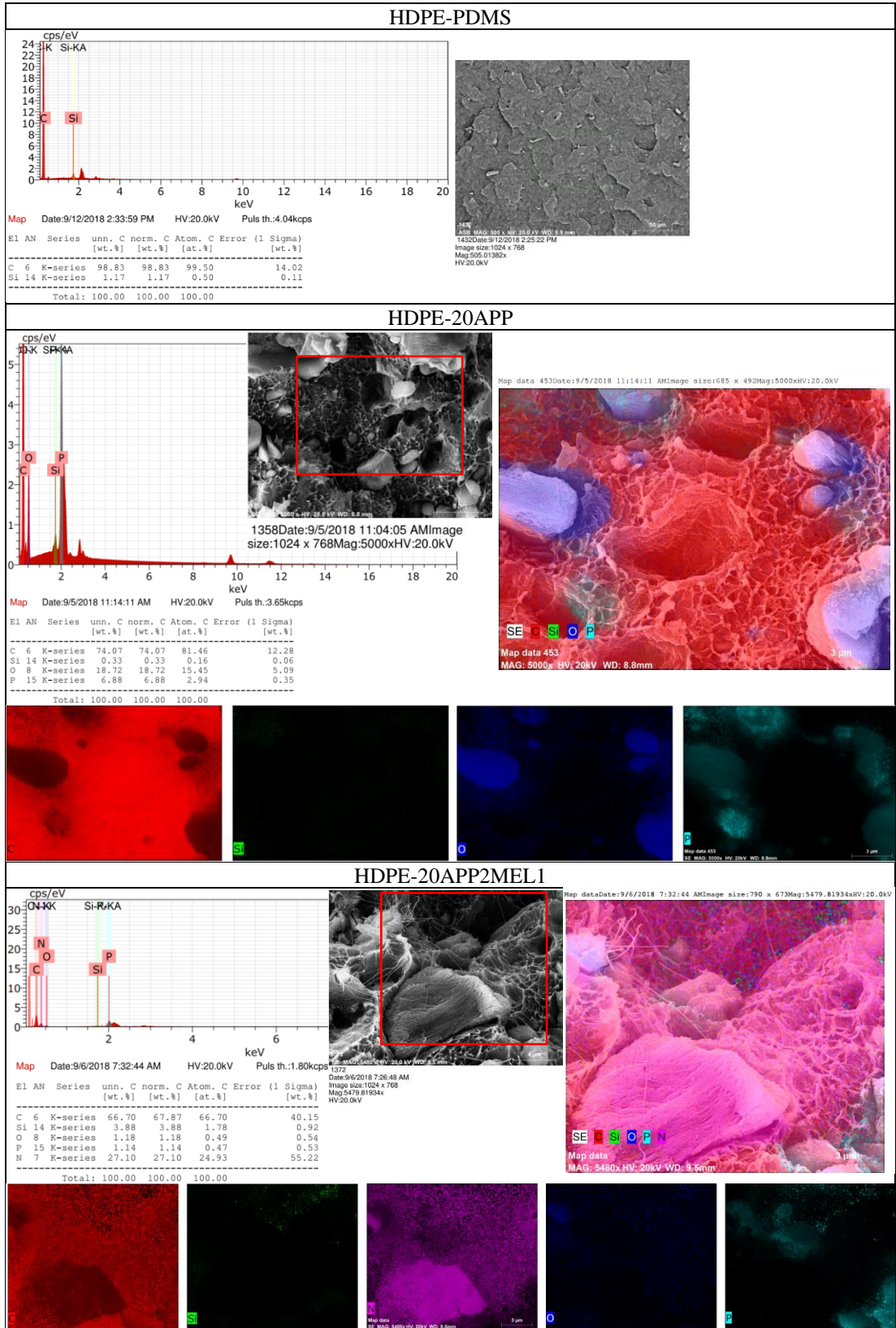


Şekil 4.45: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri

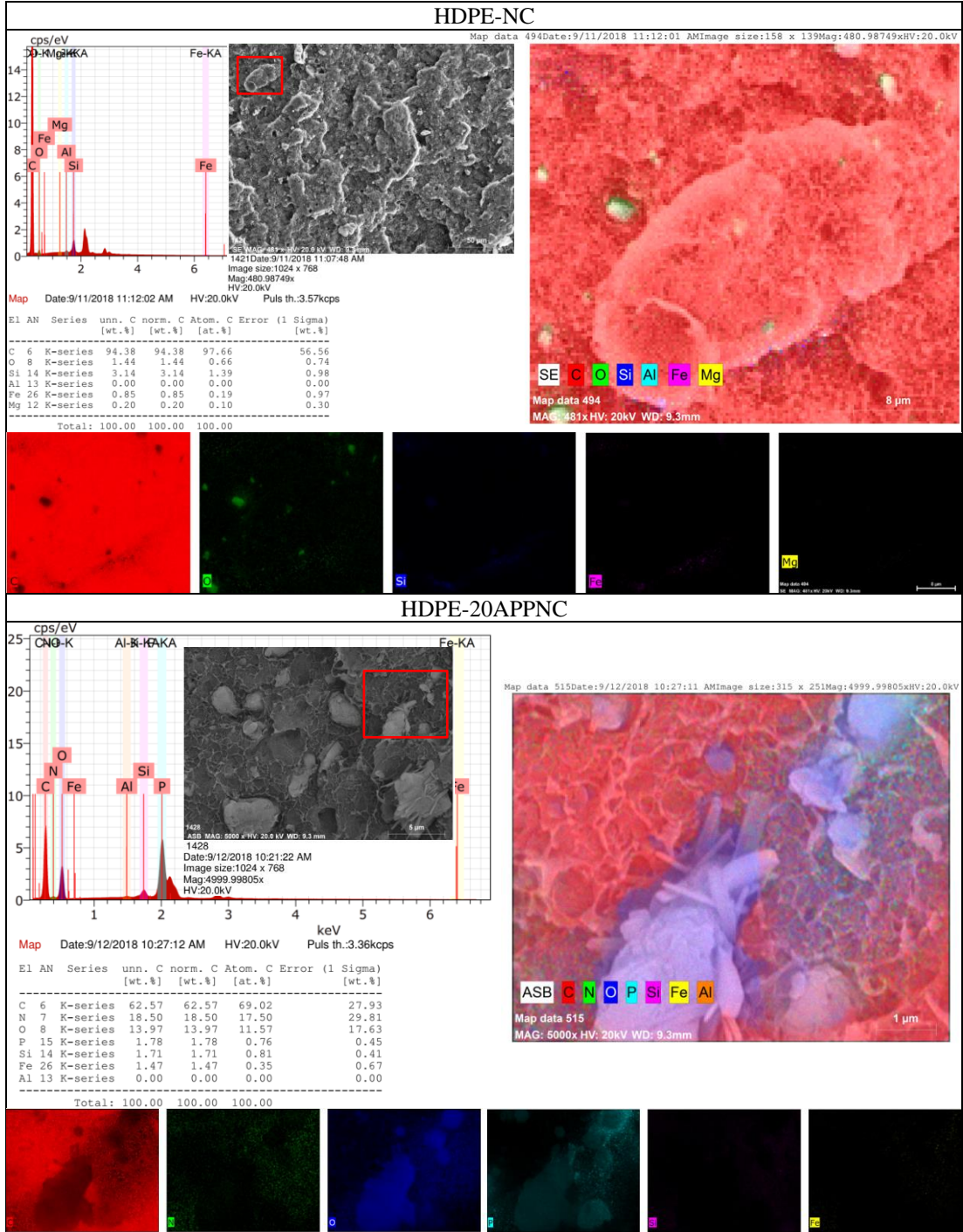
APP yapısında N, O ve P bulundurduğu için APP ilaveli numunelerde bu elementlerin pikleri görülmüştür. MEL içerisinde bolca N atomu içerdiği için MEL ilavesiyle N piklerinin belirginleştiği tespit edilmiştir. NC ilavesiyle metal oksitler gözlemlenmiştir.

HDPE-PDMS, HDPE-20APP, HDPE-20APP2MEL1, HDPE-NC, HDPE-20APPNC ve HDPE-20APP2MEL1NC kompozitlerinin haritalama işlemi kırmızı dikdörtgen ile seçili bölgeden gerçekleştirilmiş olup atomların dağılımı ve EDX

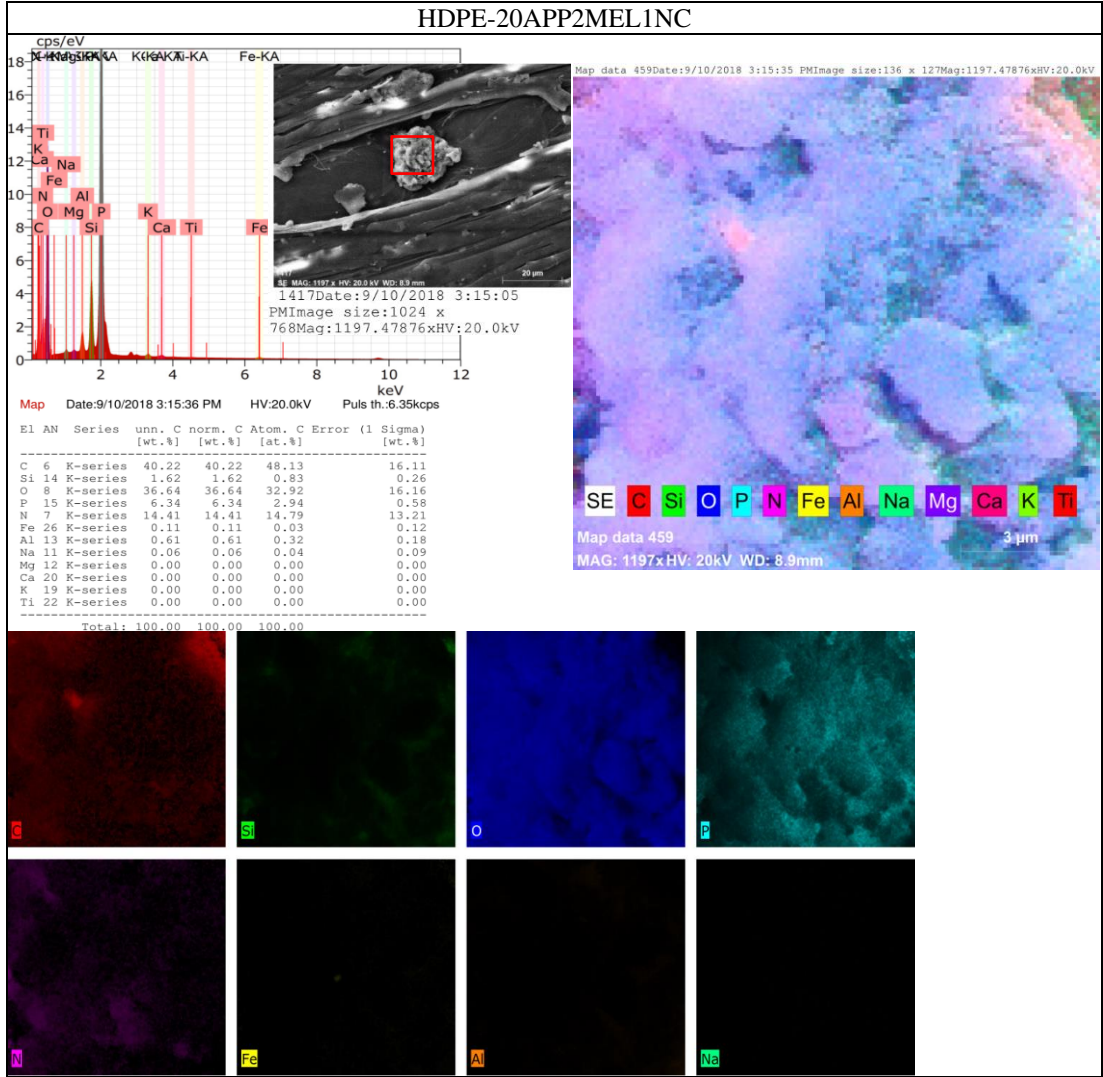
sonuçları gösterilmiştir (Şekil 4.46). İlave edilen katkı ve dolgu maddeleri polimer kompozit içeriğinde tespit edilmiştir.







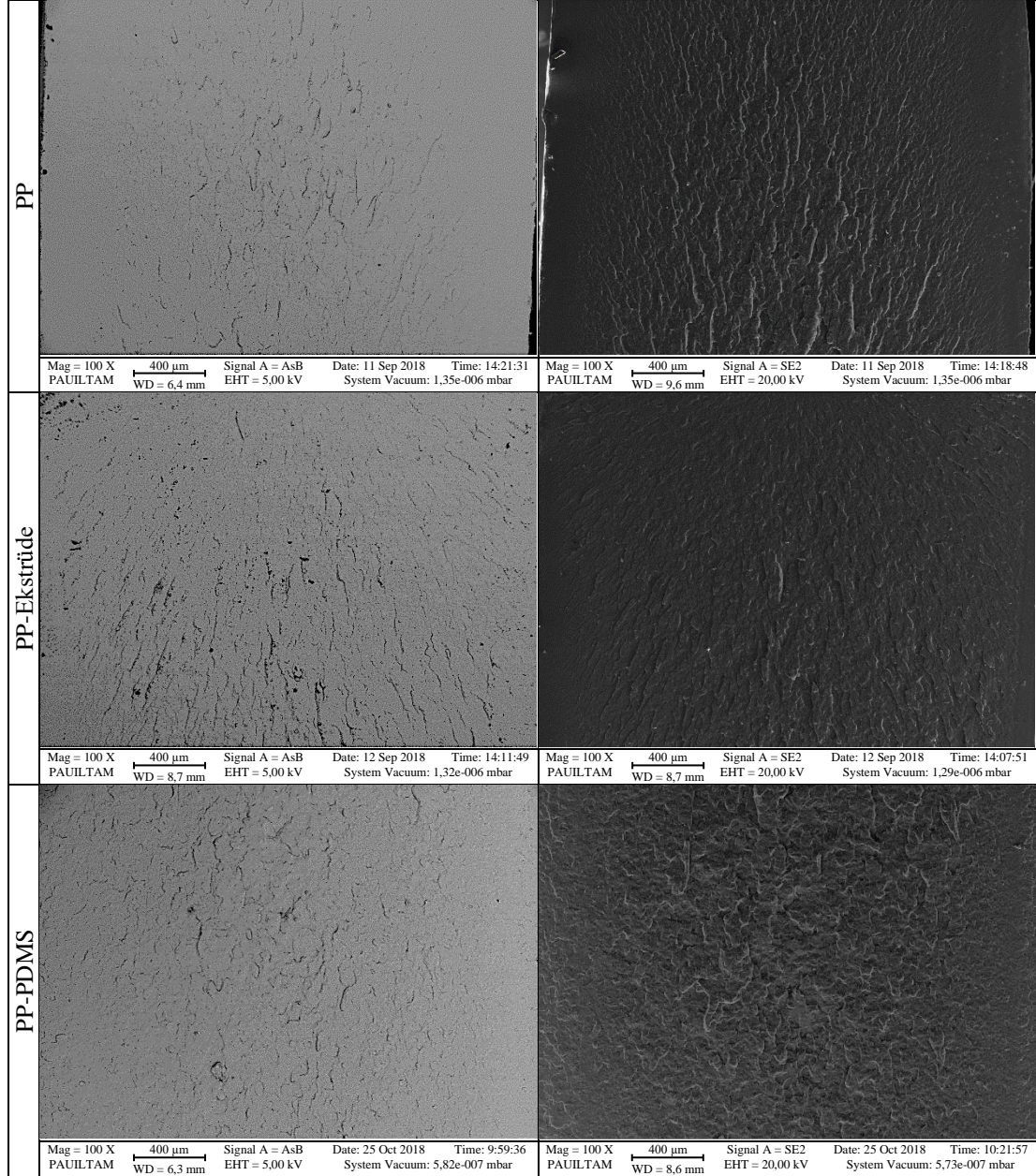
Şekil 4.46: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri



Şekil 4.46: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri

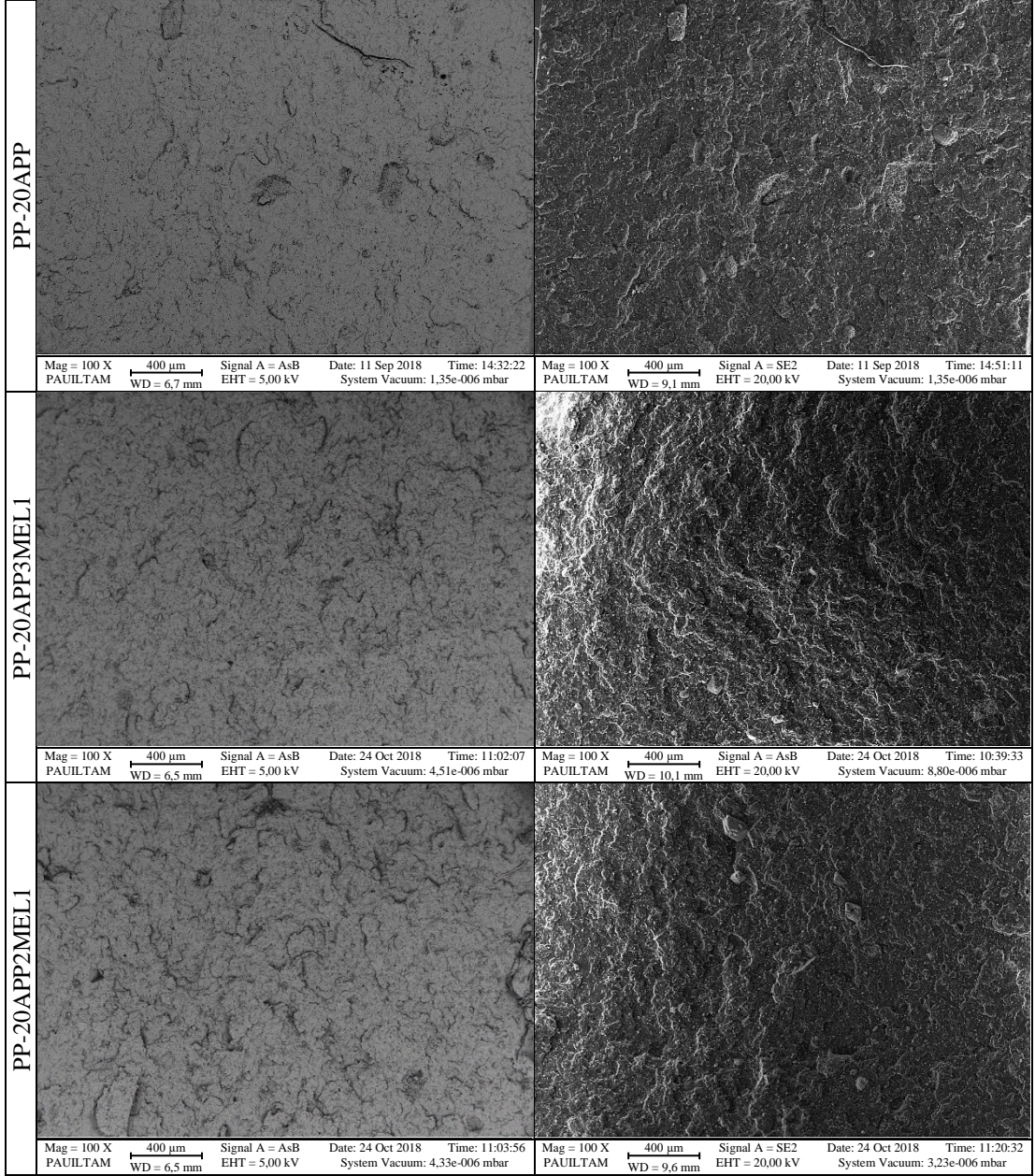


PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 100X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.47’de verilmiştir. İlave edilen katkıların yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı gözlemlenmiştir.



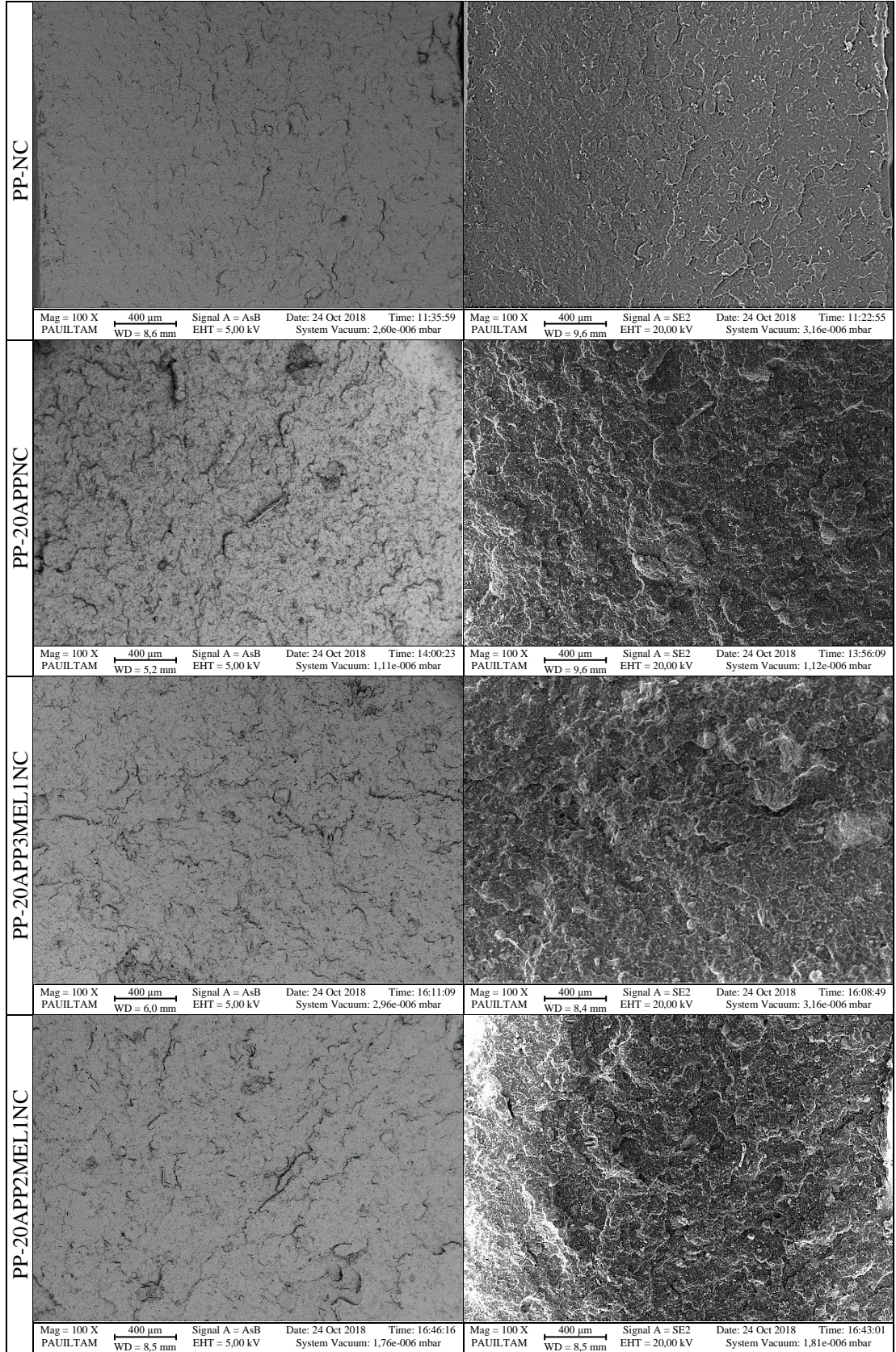
Şekil 4.47: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)





Şekil 4.47: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)

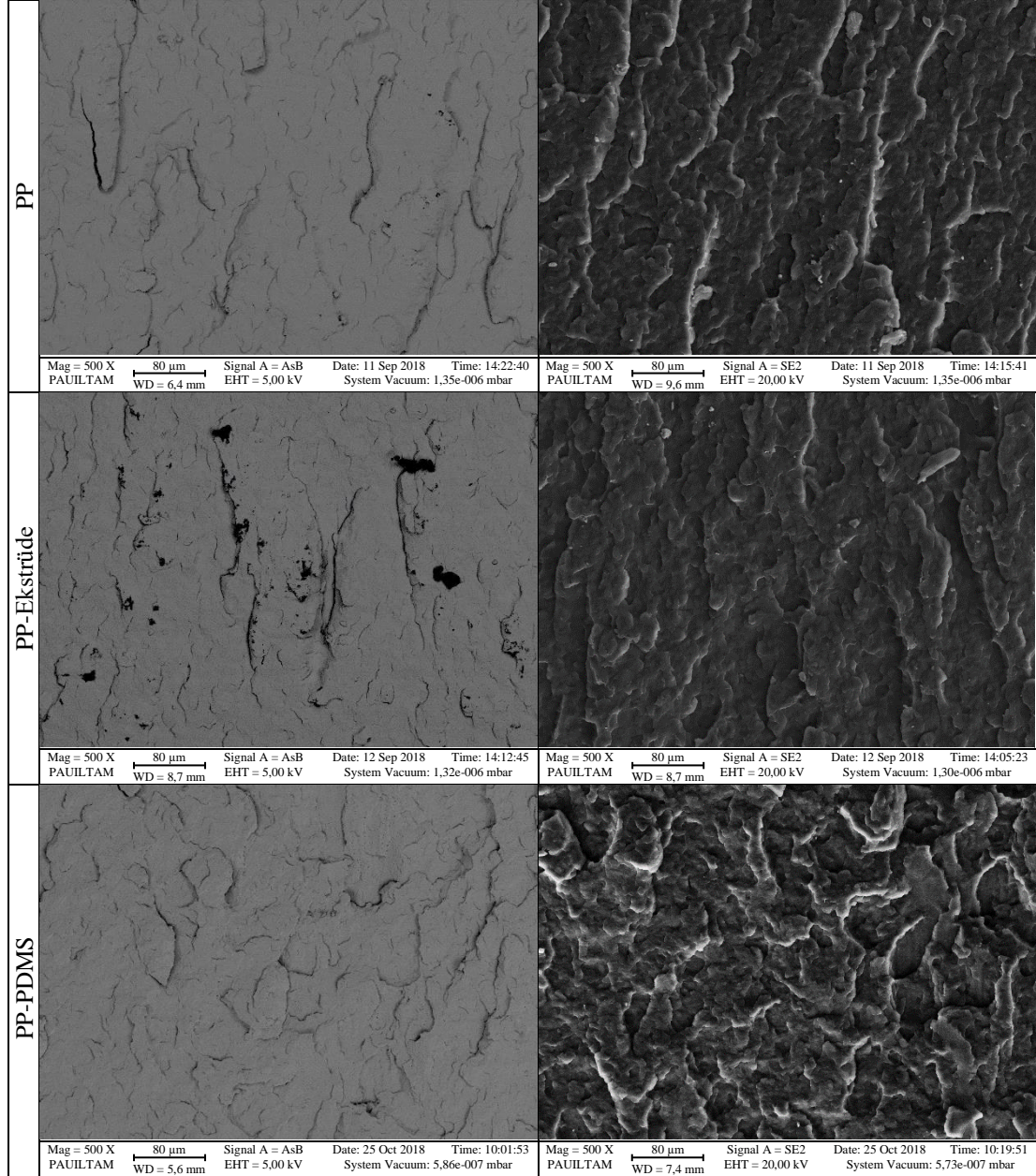




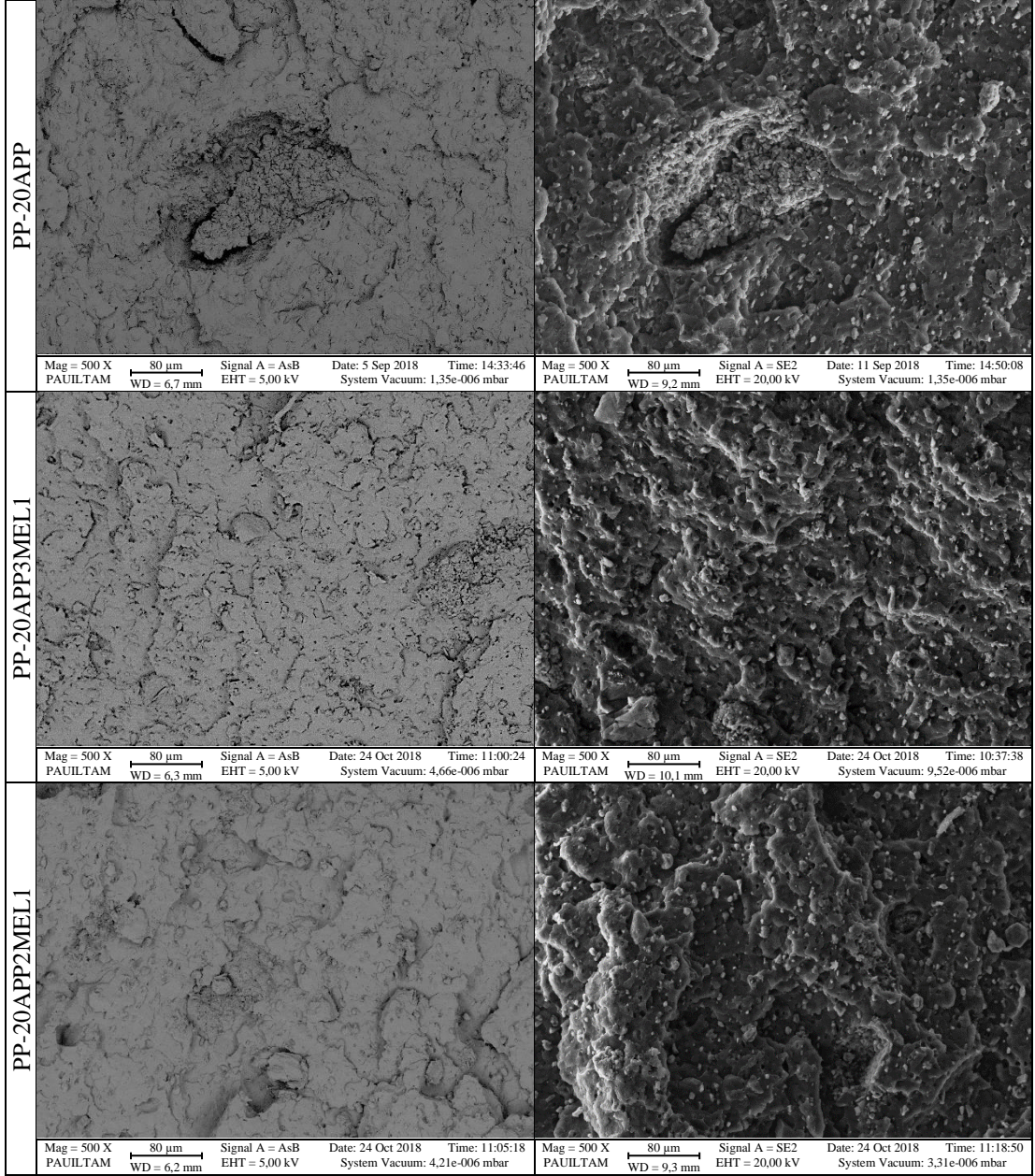
Şekil 4.47: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)



PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 500X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.48’de verilmiştir. İlave edilen katkı ve dolgu maddeleri polimer matris homojen bir şekilde yayıldığı gözlemlenmiştir.

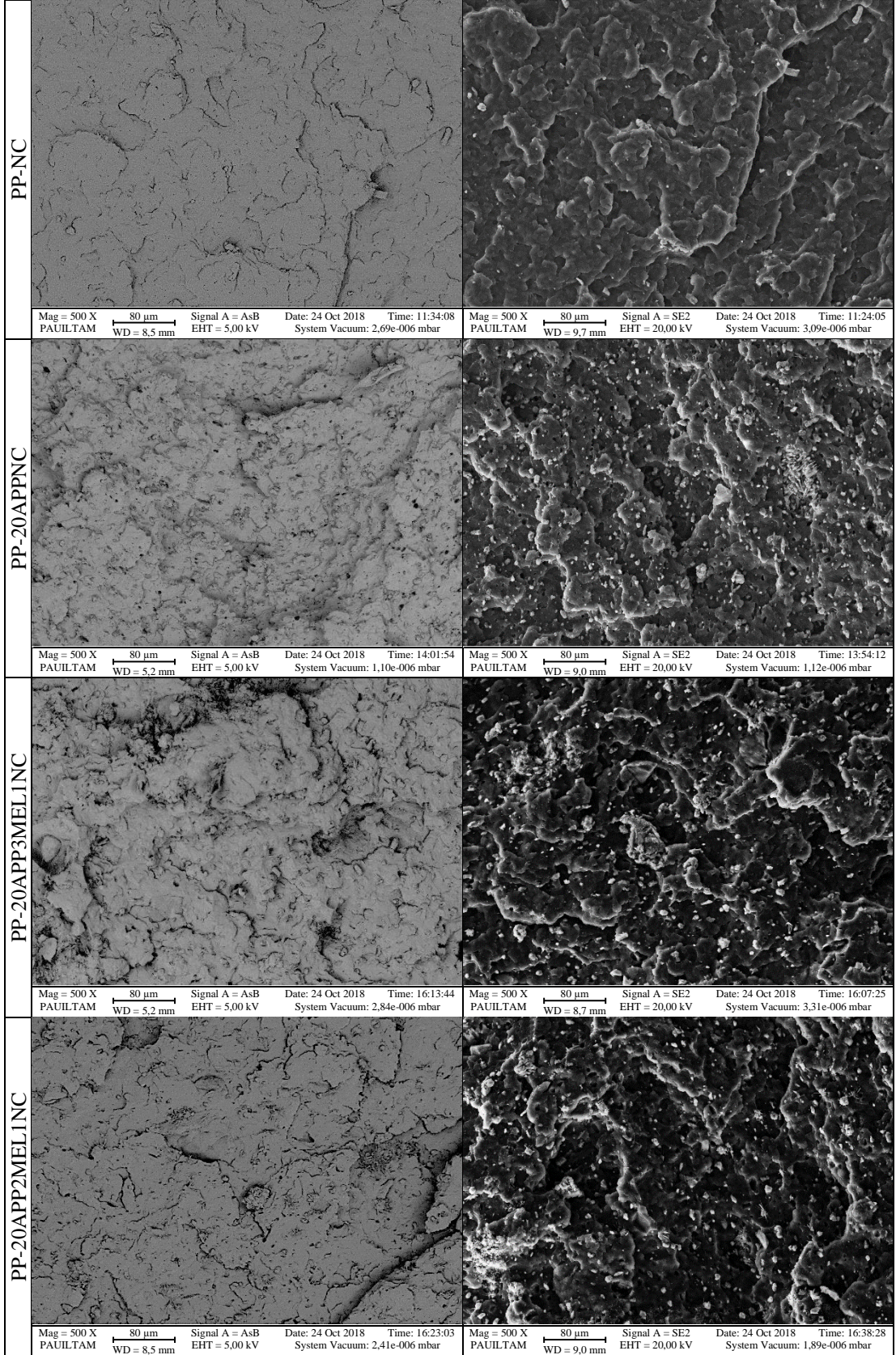


Şekil 4.48: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)



Şekil 4.48: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)

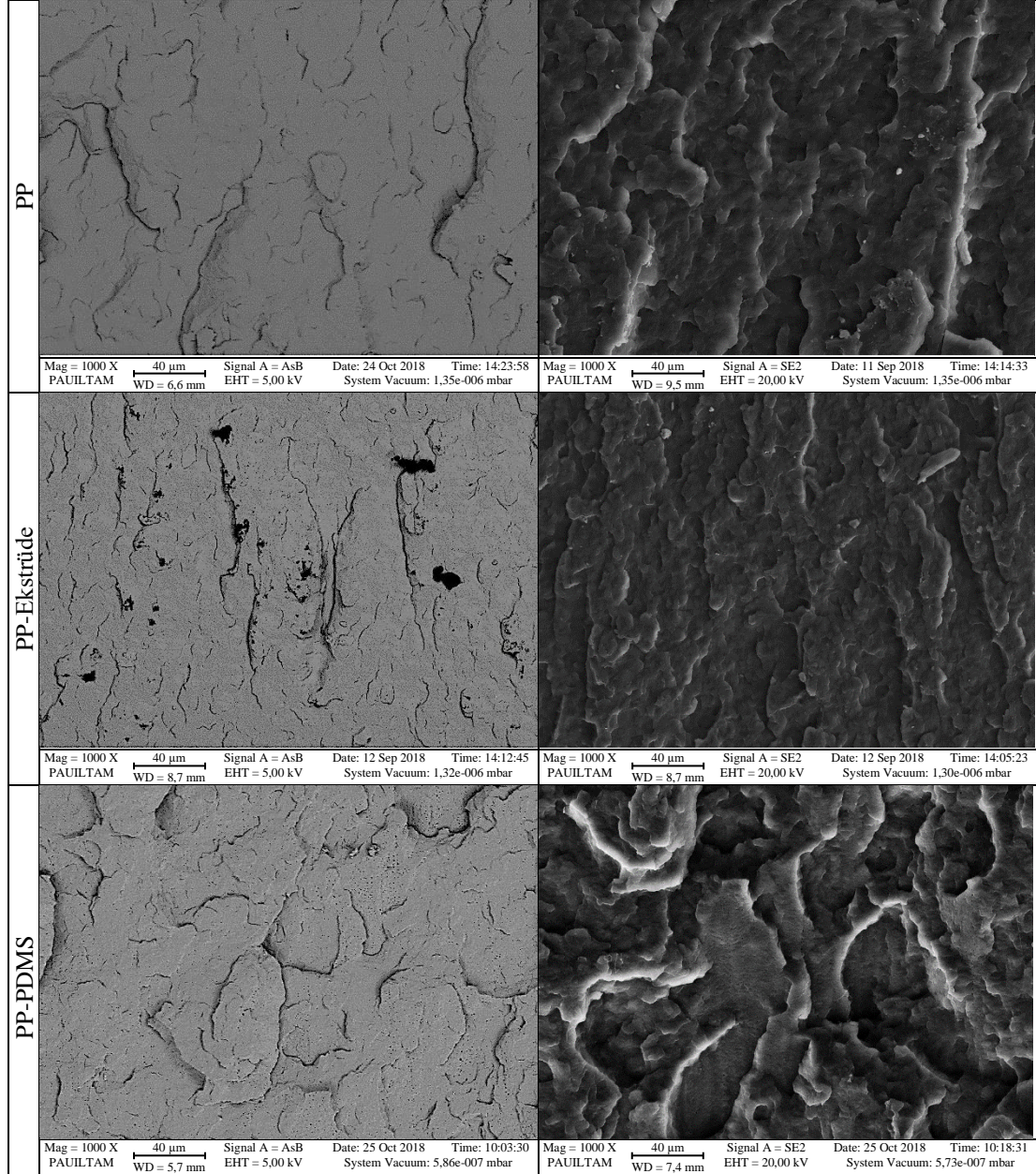




Şekil 4.48: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)

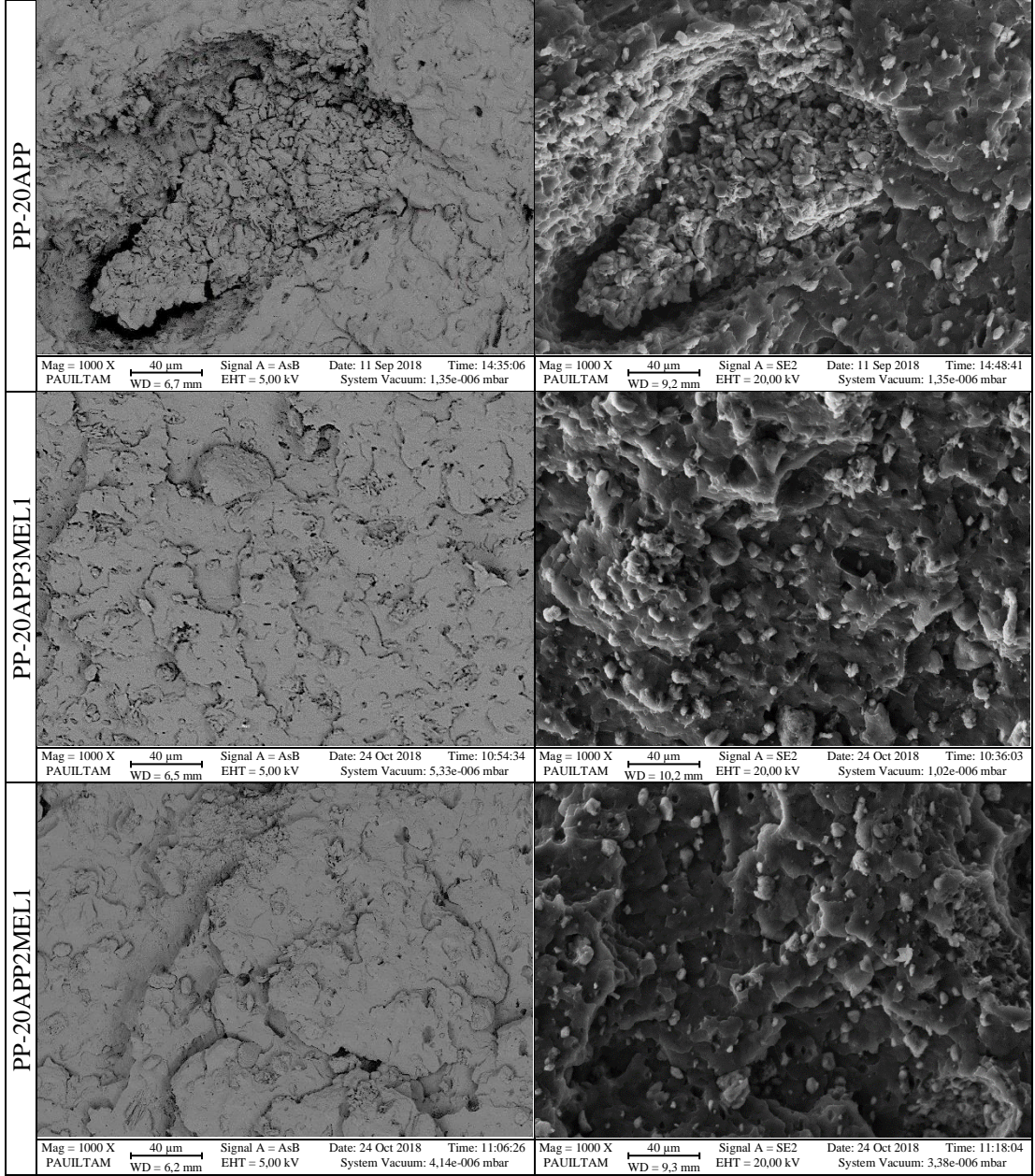


PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 1000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.49’da verilmiştir. İlave edilen katkıların polimer matris içerisinde homojen bir şekilde yayıldığı gözlemlenmiştir.



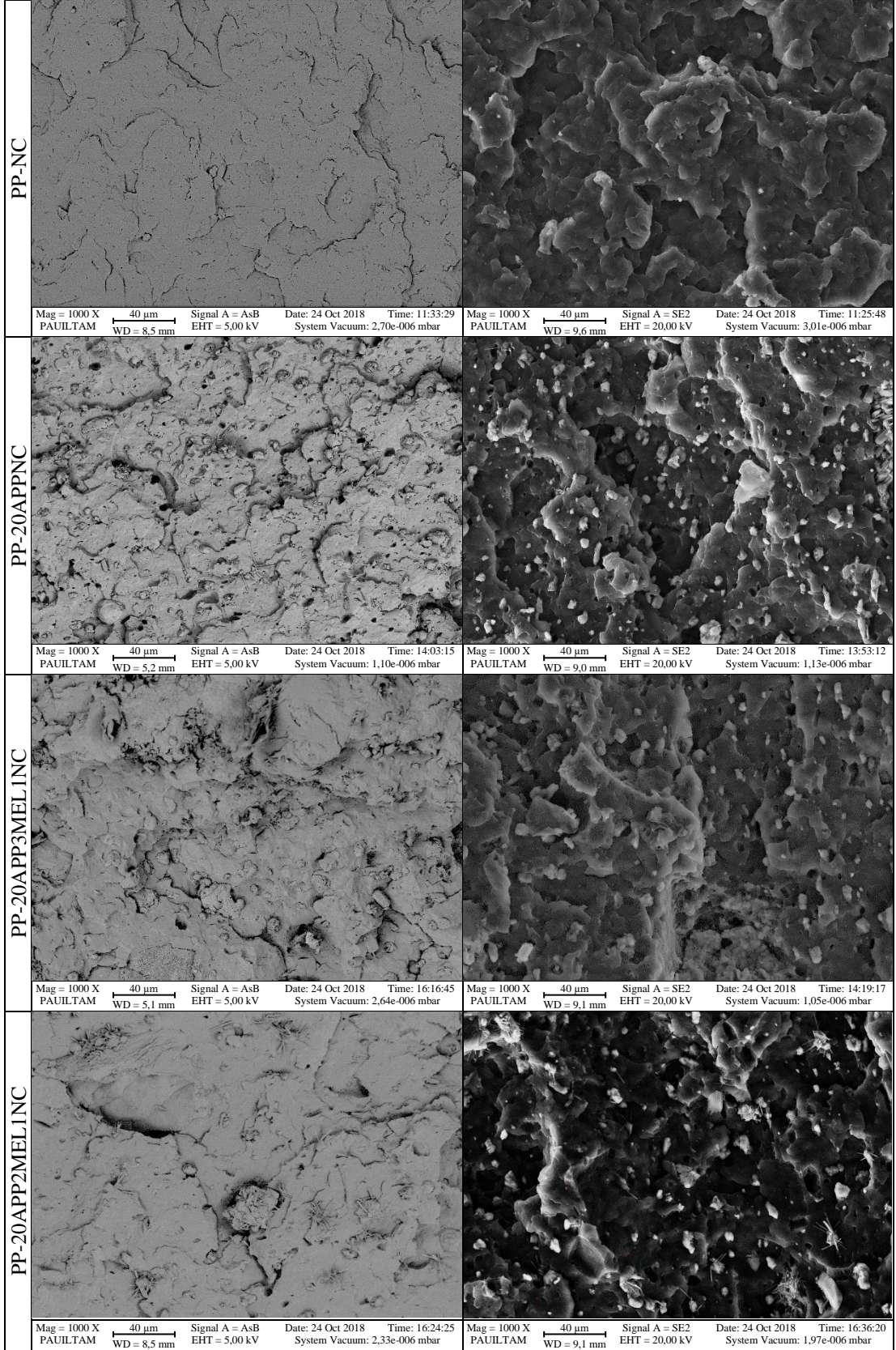
Şekil 4.49: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)





Şekil 4.49: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)

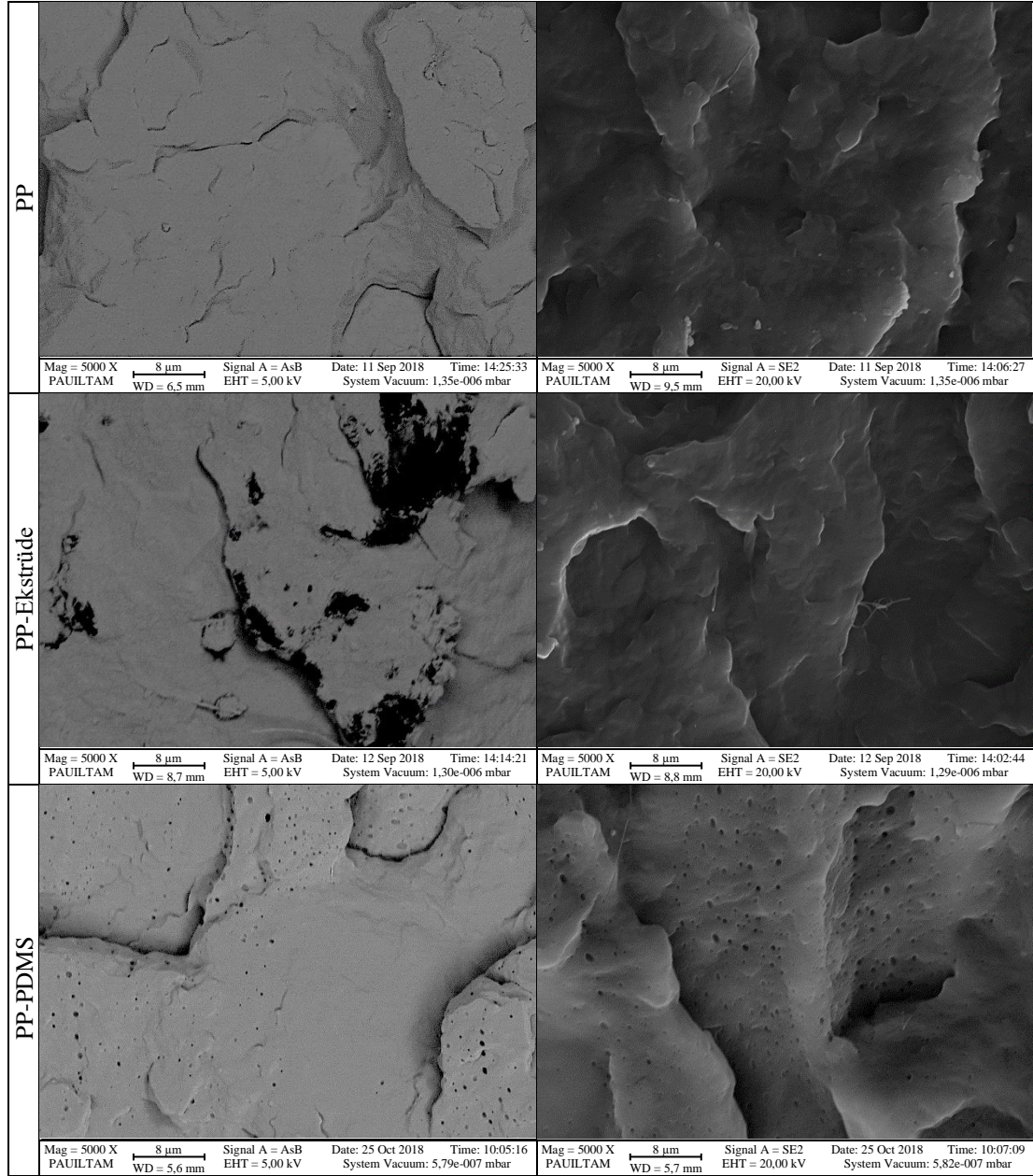




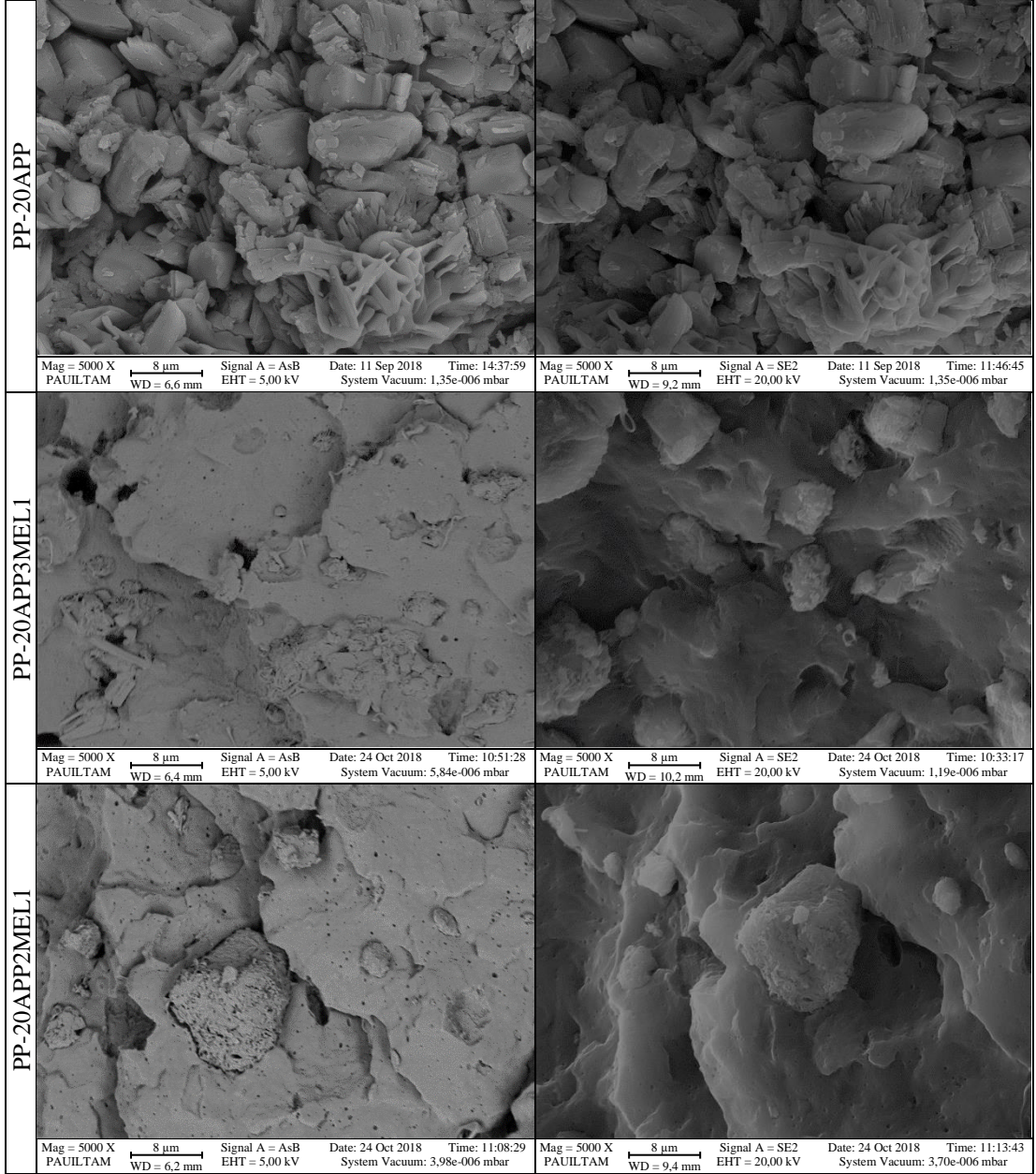
Şekil 4.49: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)



PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 5000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.50’de verilmiştir. PDMS ilavesiyle kırık yüzeylerinde yaklaşık olarak 0,6 µm boyutlarında küçük deliklerin olduğu gözlemlenmiştir.

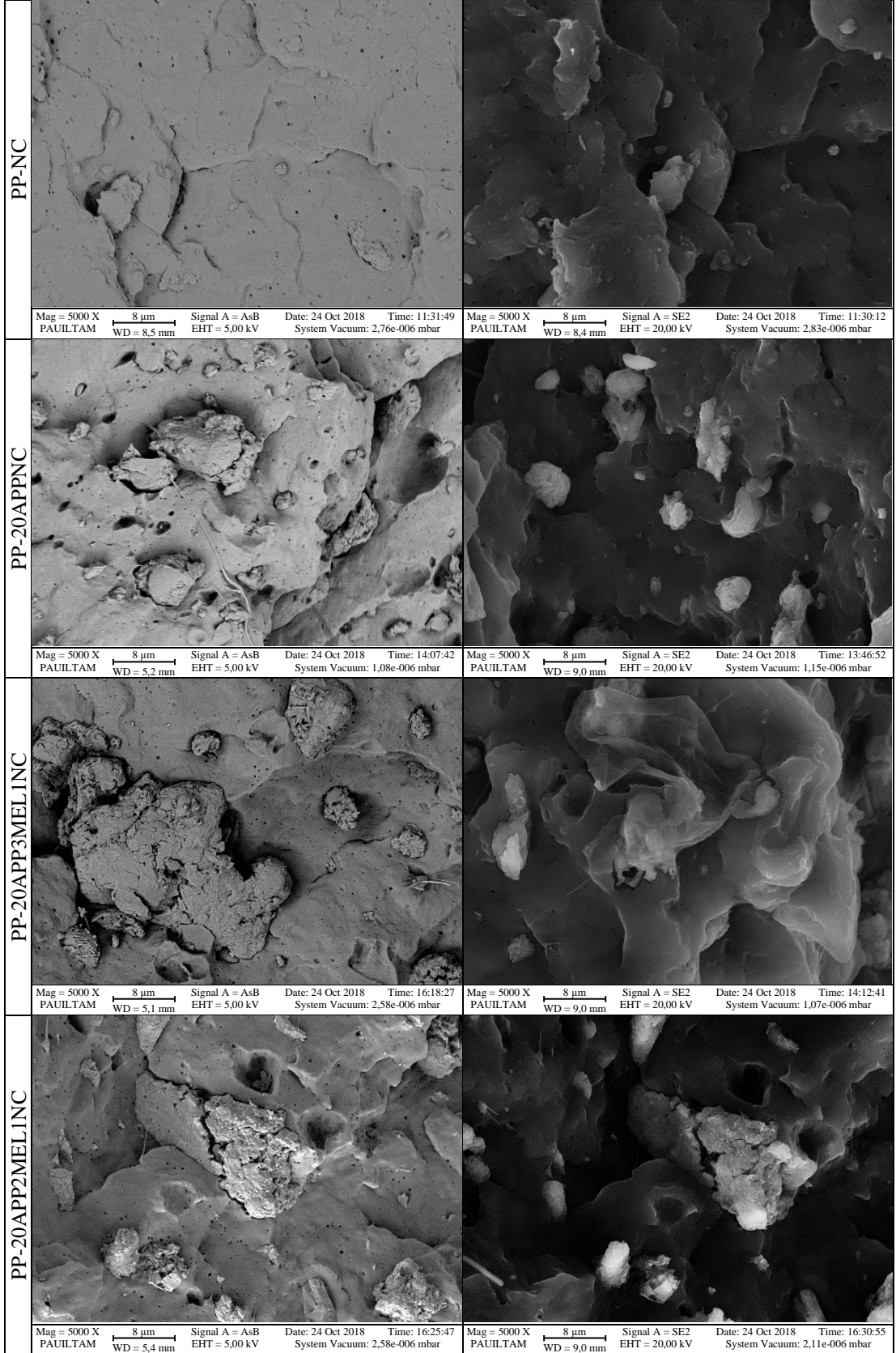


Şekil 4.50: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)



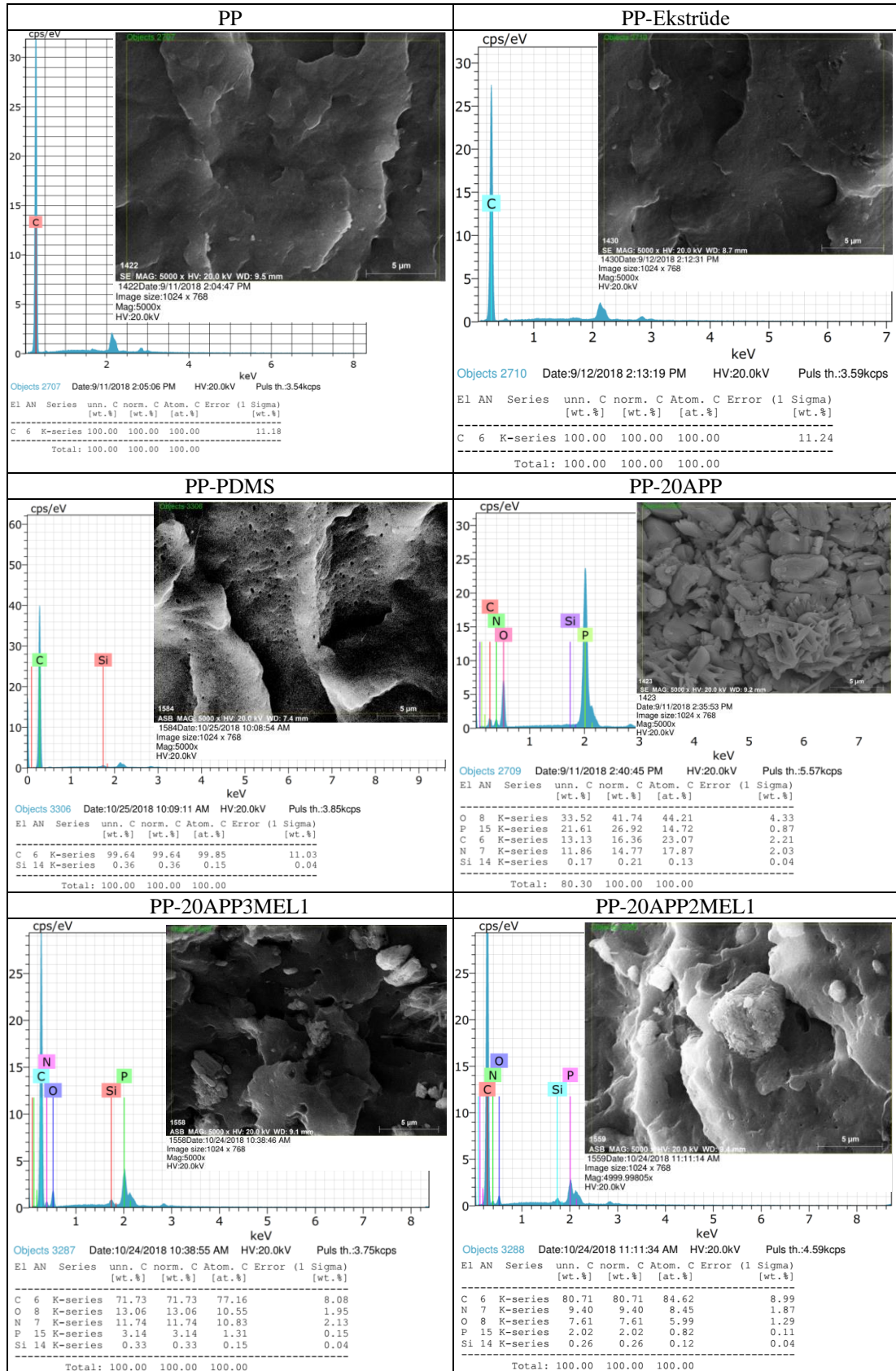
Şekil 4.50: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)





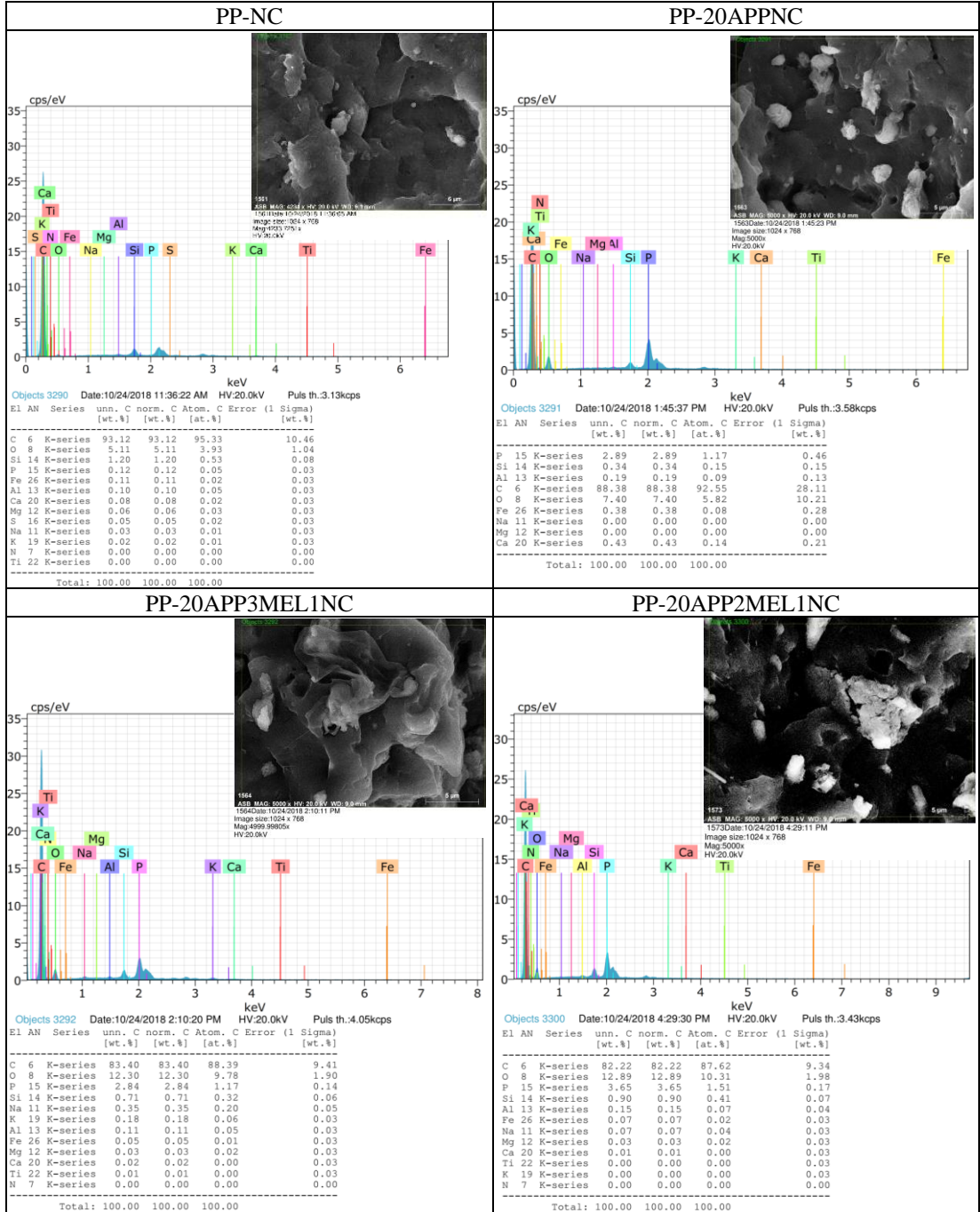
Şekil 4.50: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri Şekil 4.51'de verilmiştir. HDPE kompozitlerine benzer sonuçlar görülmüştür.



Şekil 4.51: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri

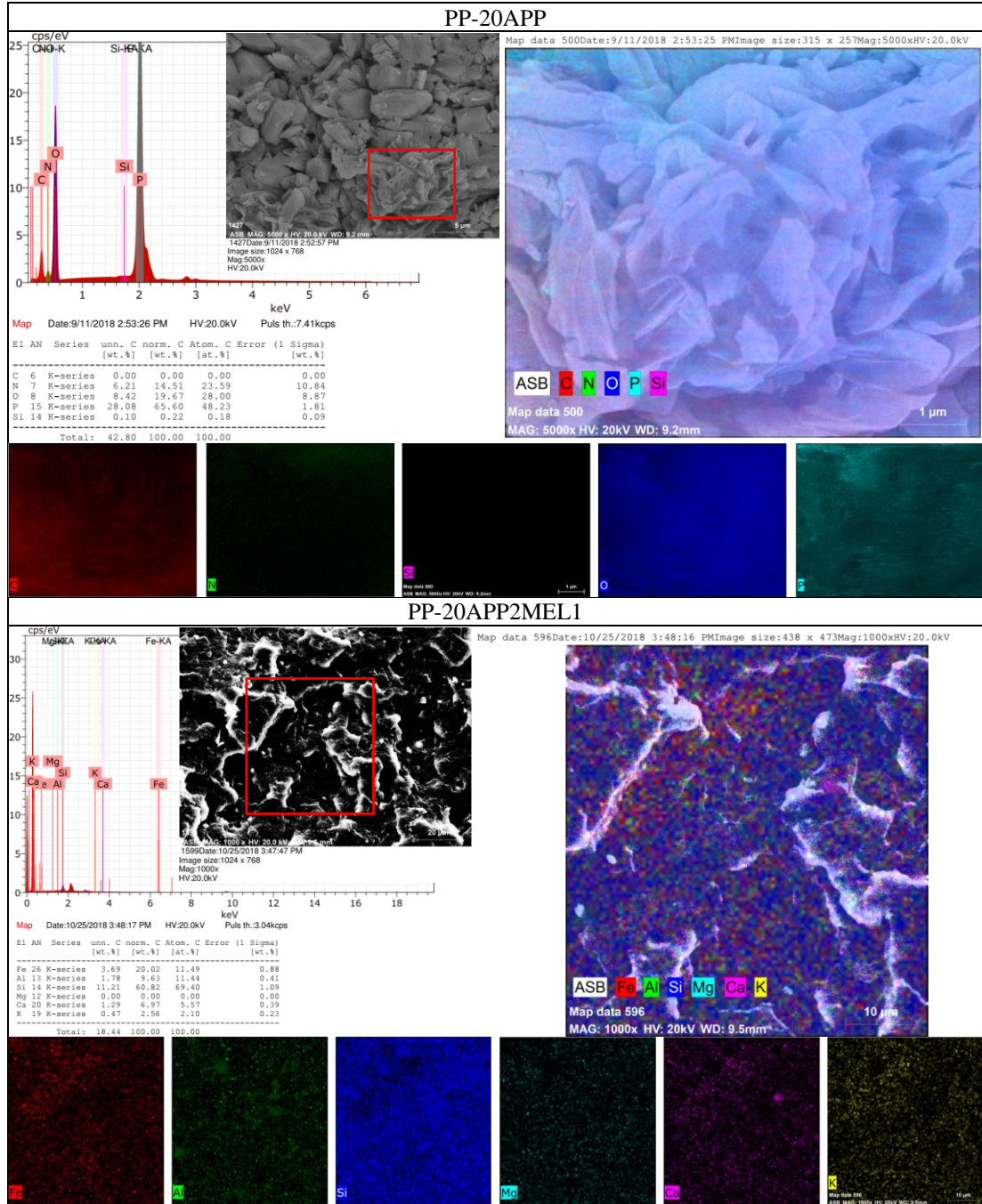




Şekil 4.51: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX analizleri

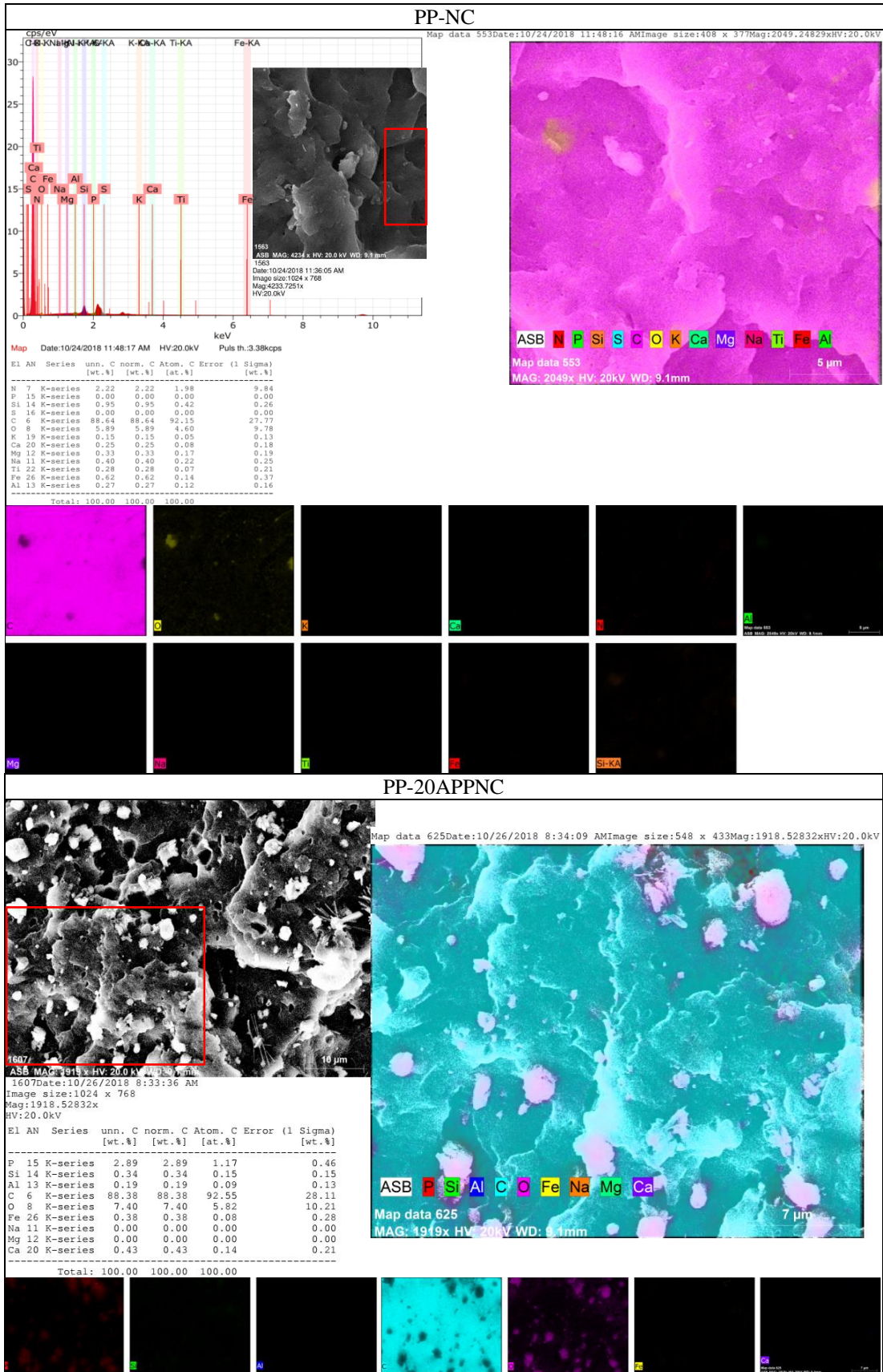
PP, CH, CH<sub>2</sub> ve CH<sub>3</sub> monomerlerinden oluştuğu için EDX analizlerinde sadece C piki görülmektedir. Ekstrüde edilmiş PP'de herhangi bir katkı olmadığı için sadece C piki görülmüştür. PDMS ilavesiyle yapıda Si gözlemlenmiş olup APP yapısında N, O ve P bulundurduğu için APP ilaveli numunelerde bu elementlerin pikleri görülmüştür. MEL, N atomu içerdiği için MEL ilavesiyle N piklerinin belirginleştiği tespit edilmiştir. NC ilavesiyle metal oksitler gözlemlenmiştir.

PP-PDMS, PP-20APP, PP-20APP2MEL1, PP-NC, PP-20APPNC ve PP-20APP2MEL1NC kompozitlerinin haritalama işlemi gerçekleştirilmiş olup atomların dağılımı ve EDX sonuçları gösterilmiştir (Şekil 4.52). EDX analizlerindeki sonuçlar ile haritalama işlemi sonucu elde edilen grafiklerin uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

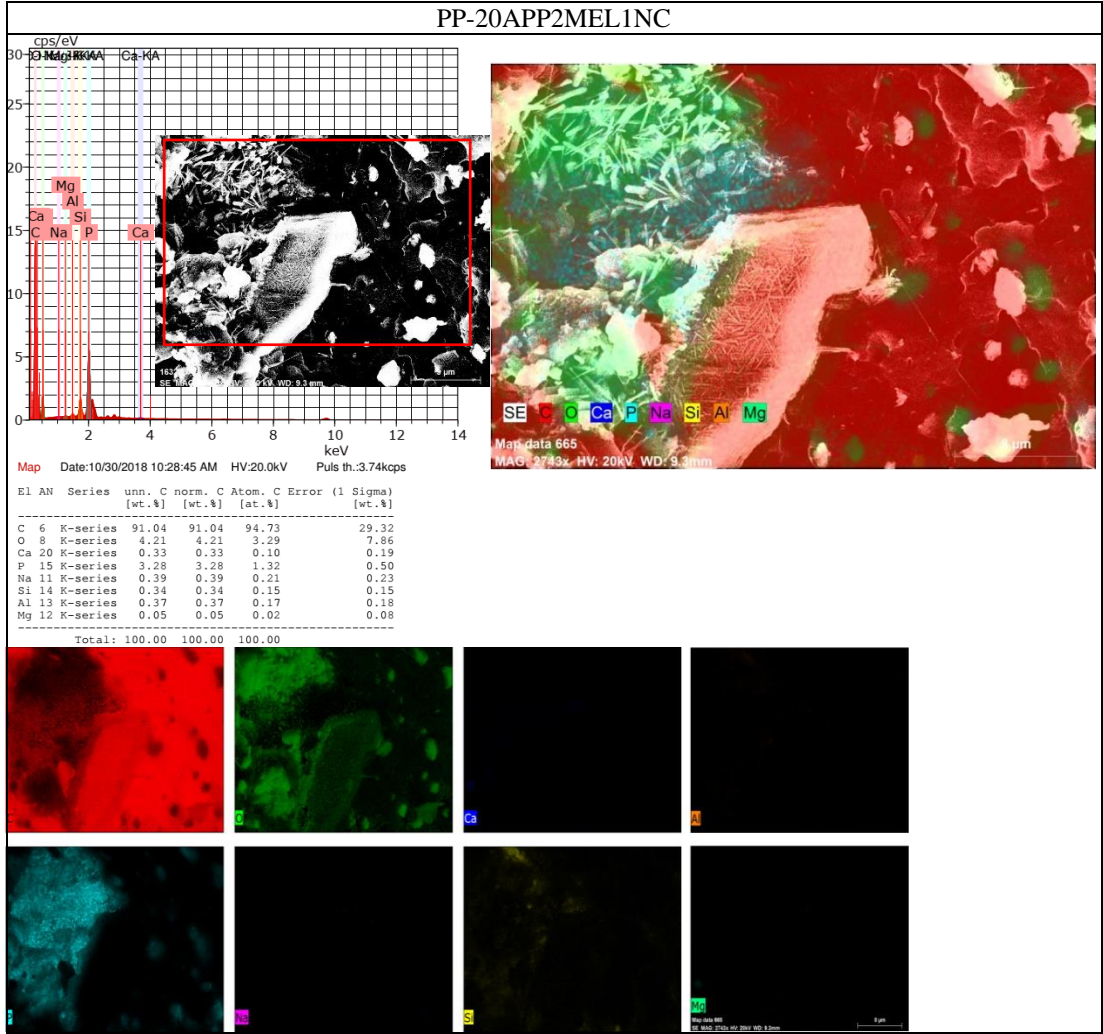


Şekil 4.52: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri





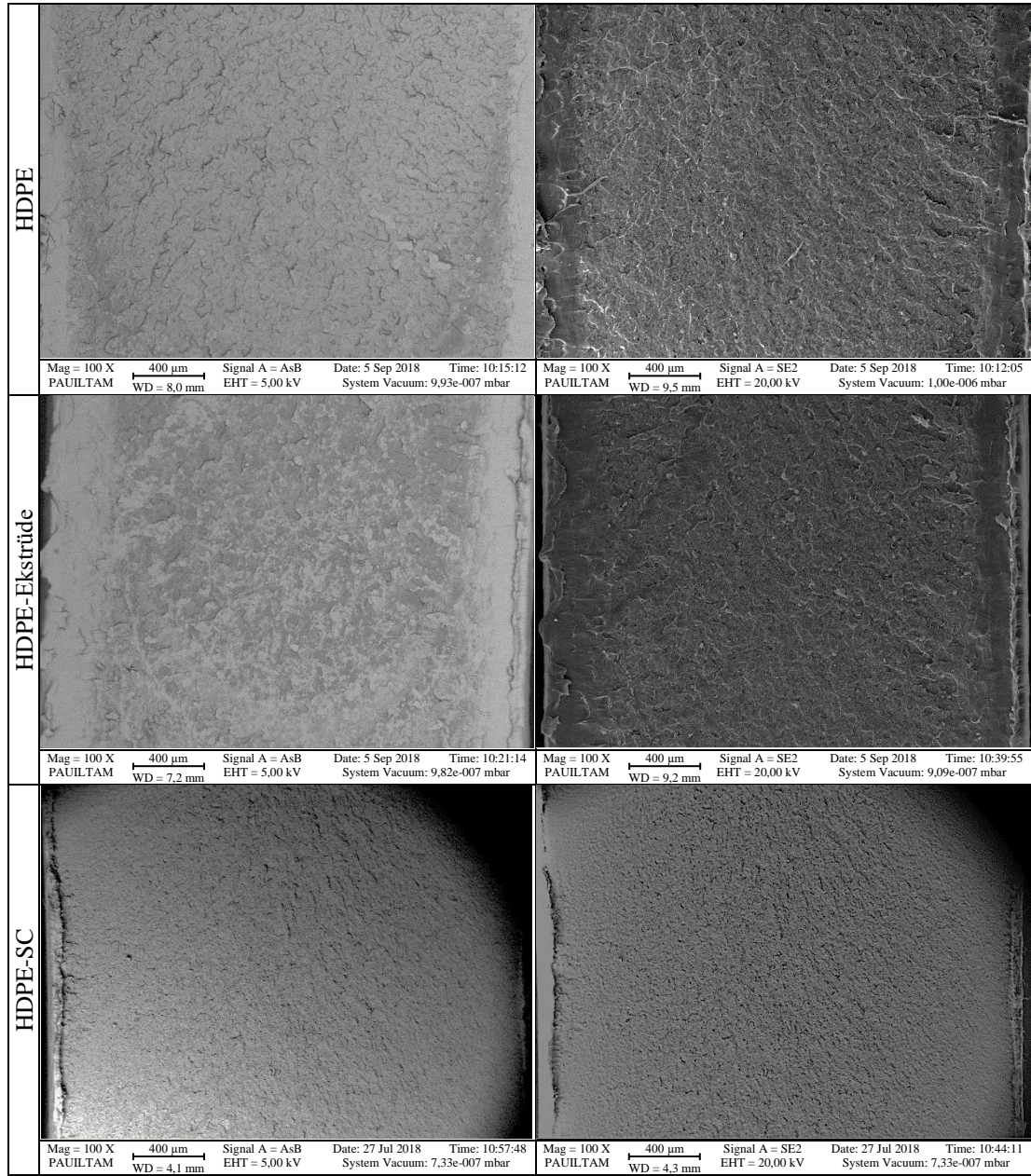
Şekil 4.52: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri



Şekil 4.52: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri

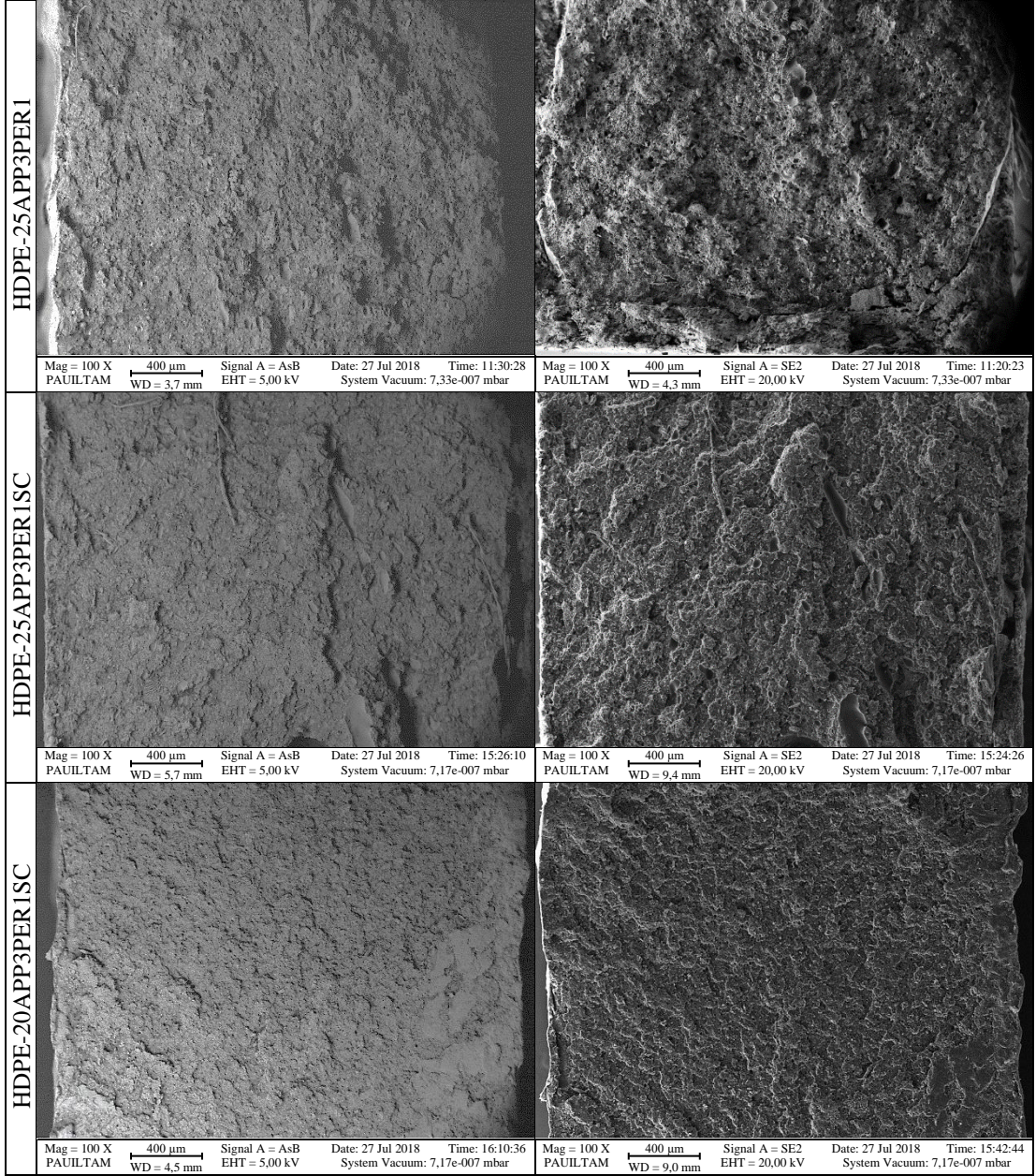


HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 100X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.53'te verilmiştir.



Şekil 4.53: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)

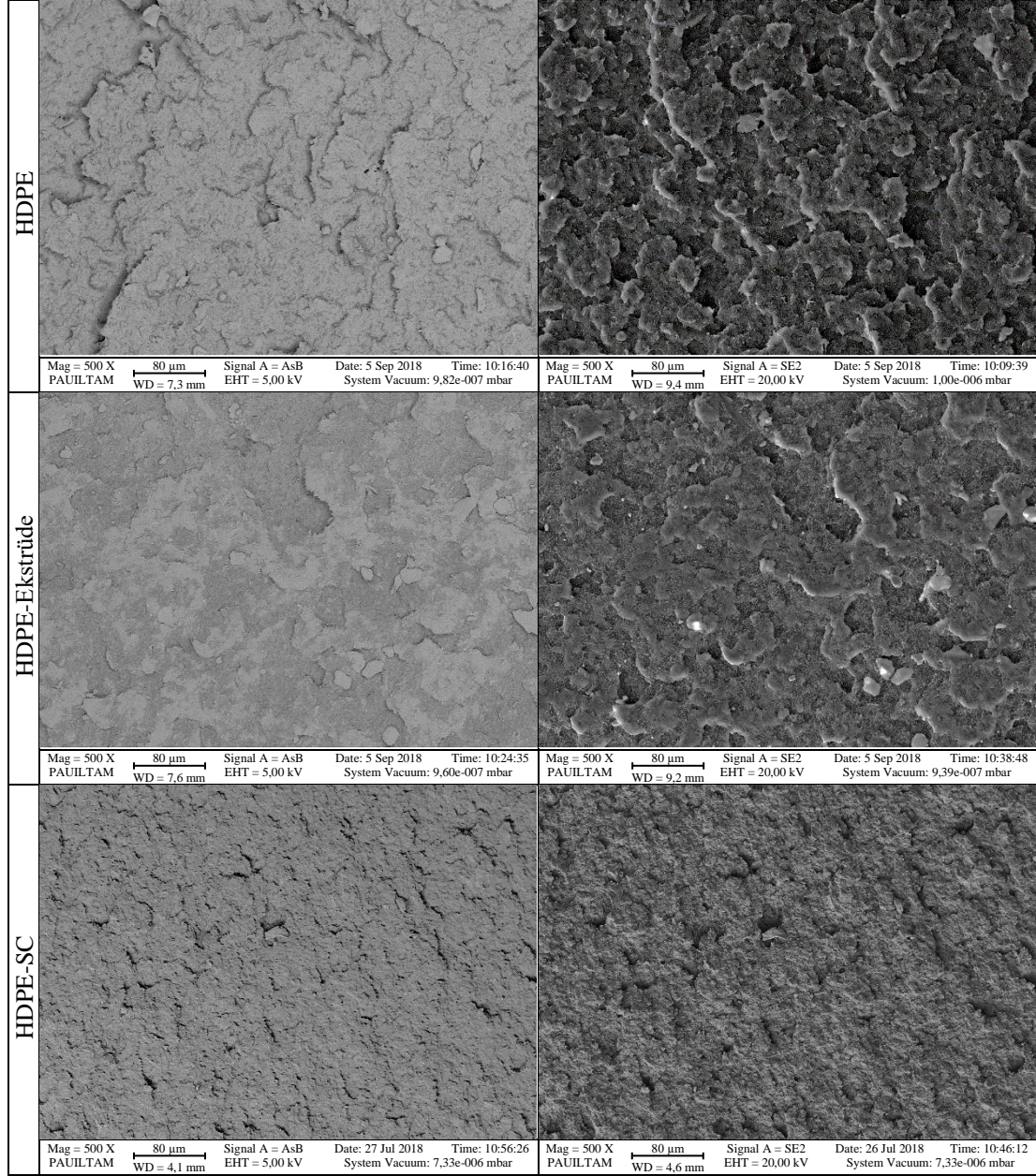




Şekil 4.53: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)

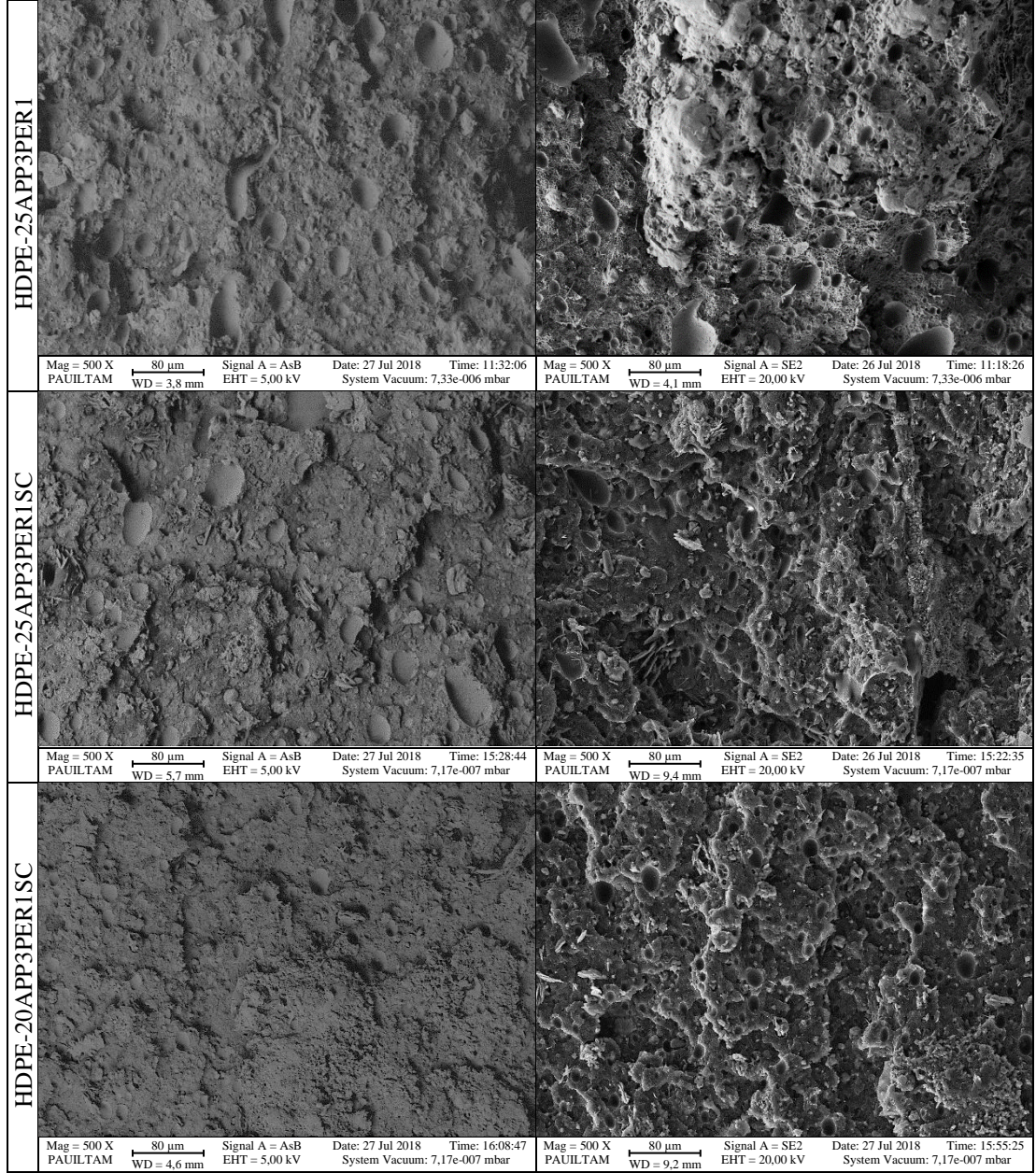


HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 500X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.54’te verilmiştir. İlave edilen toz malzemelerin bulunduğu bölgelerden ayrılmalar görülmüştür.



Şekil 4.54: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)

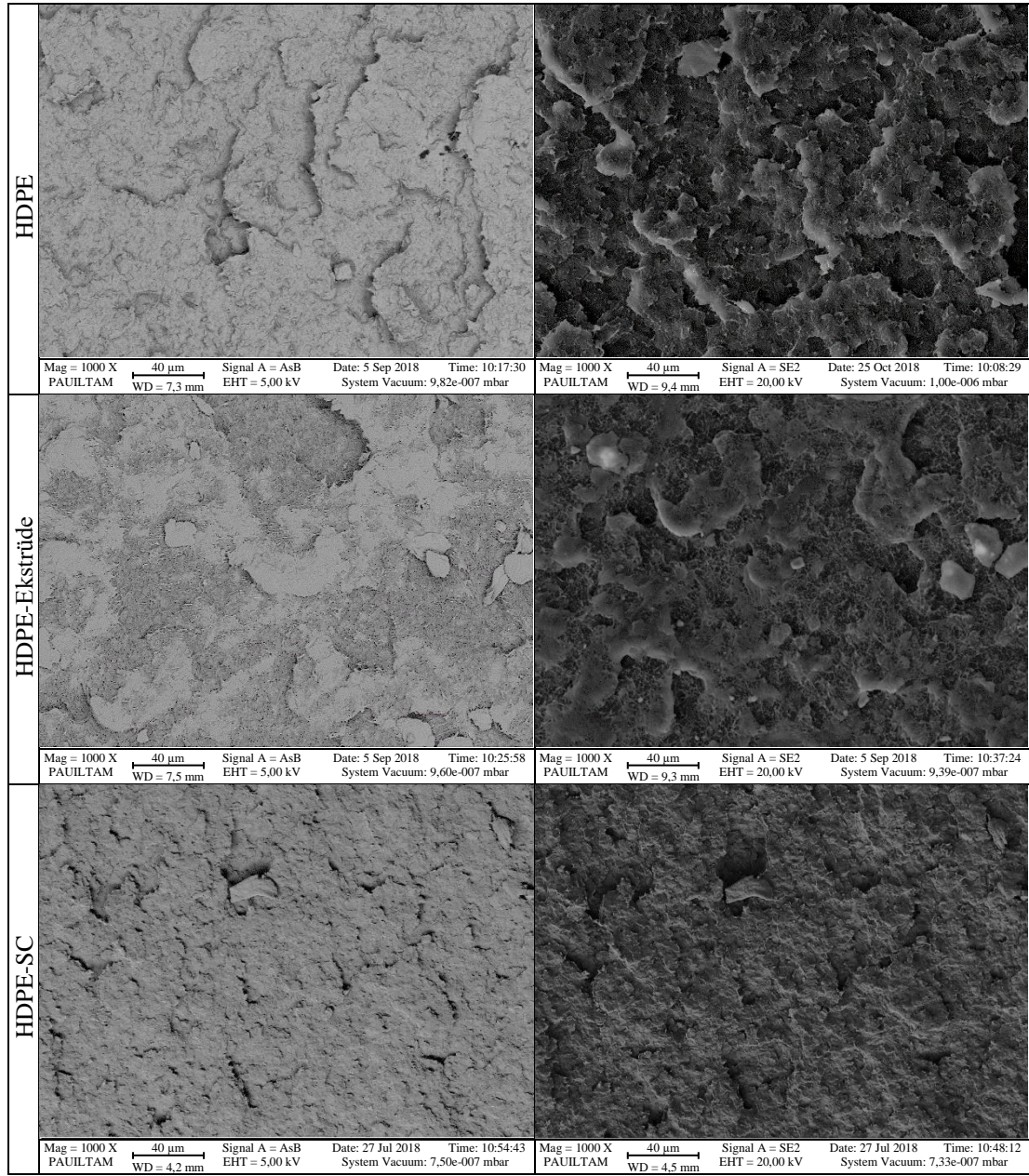




Şekil 4.54: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)

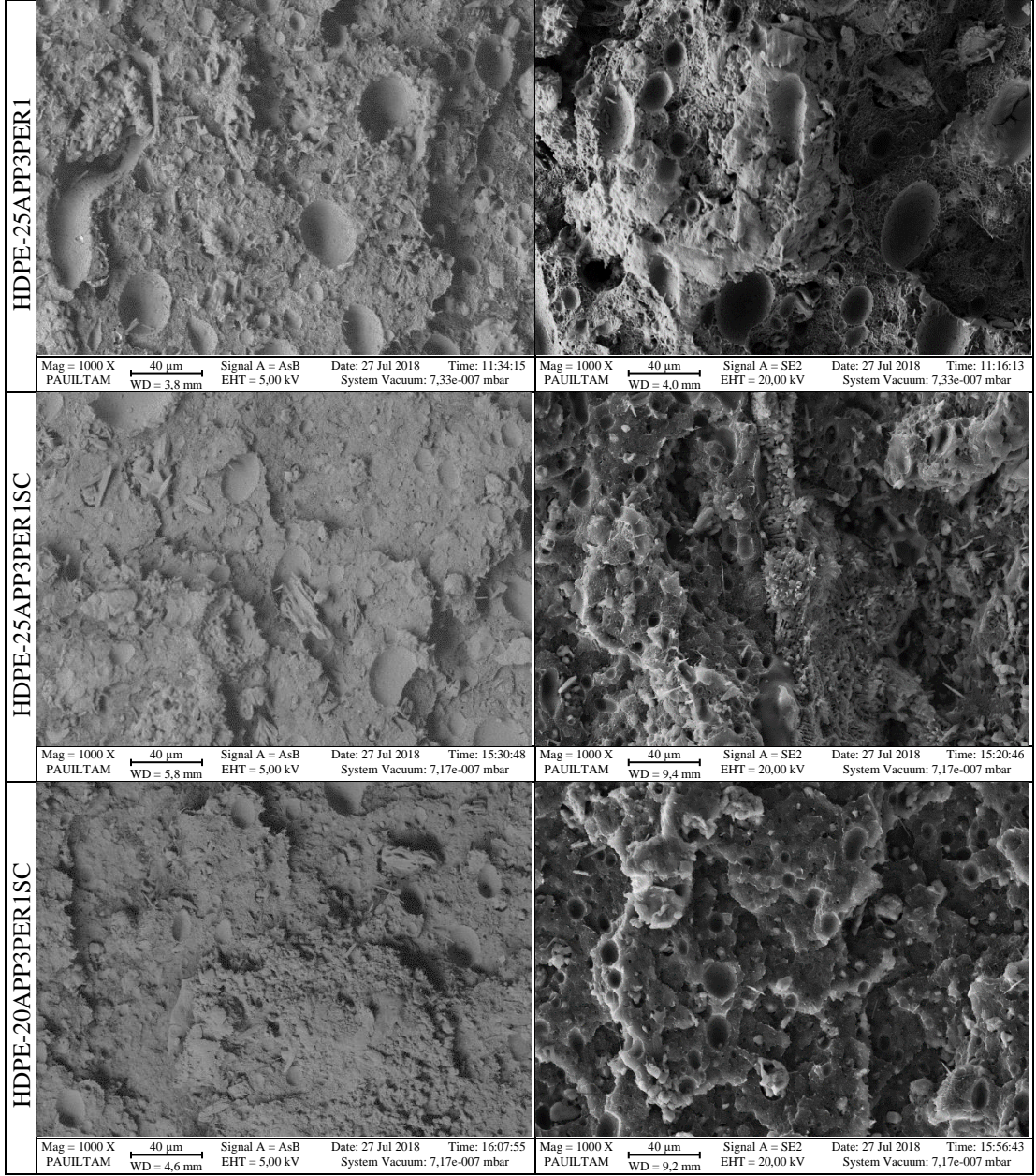


HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 1000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.55'te verilmiştir.



Şekil 4.55: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)

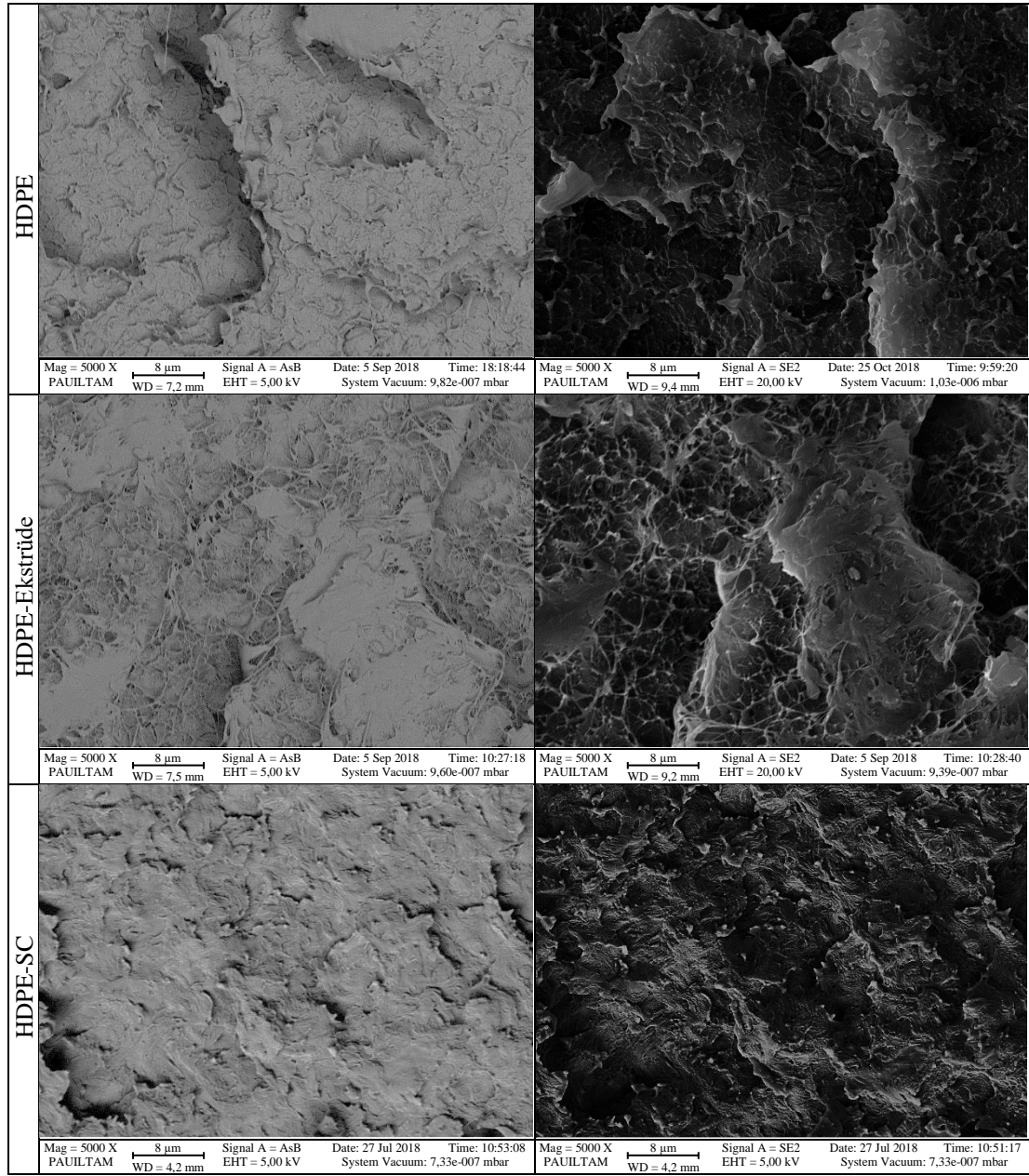




Şekil 4.55: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)

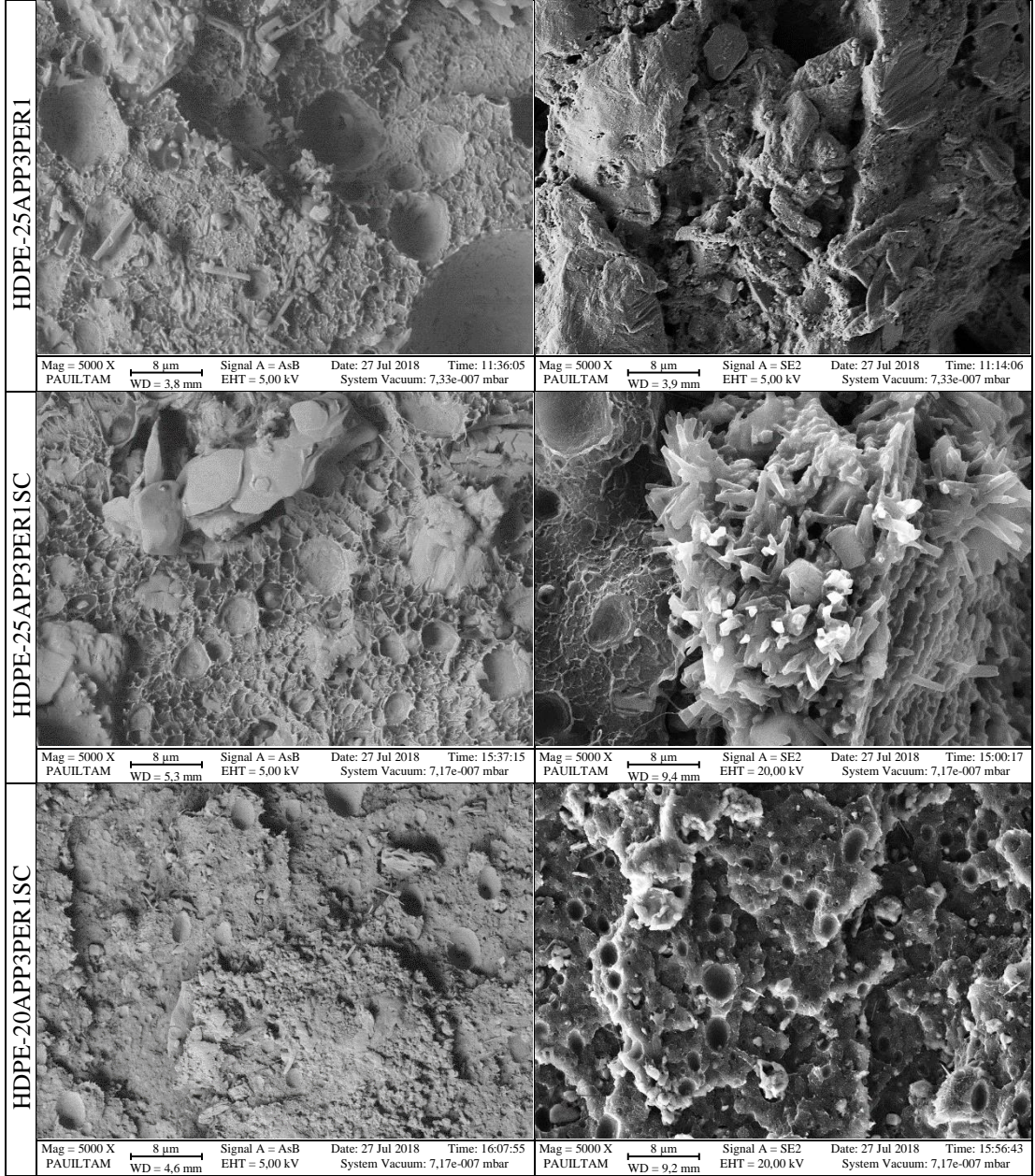


HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 1000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.56’da verilmiştir.



Şekil 4.56: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)

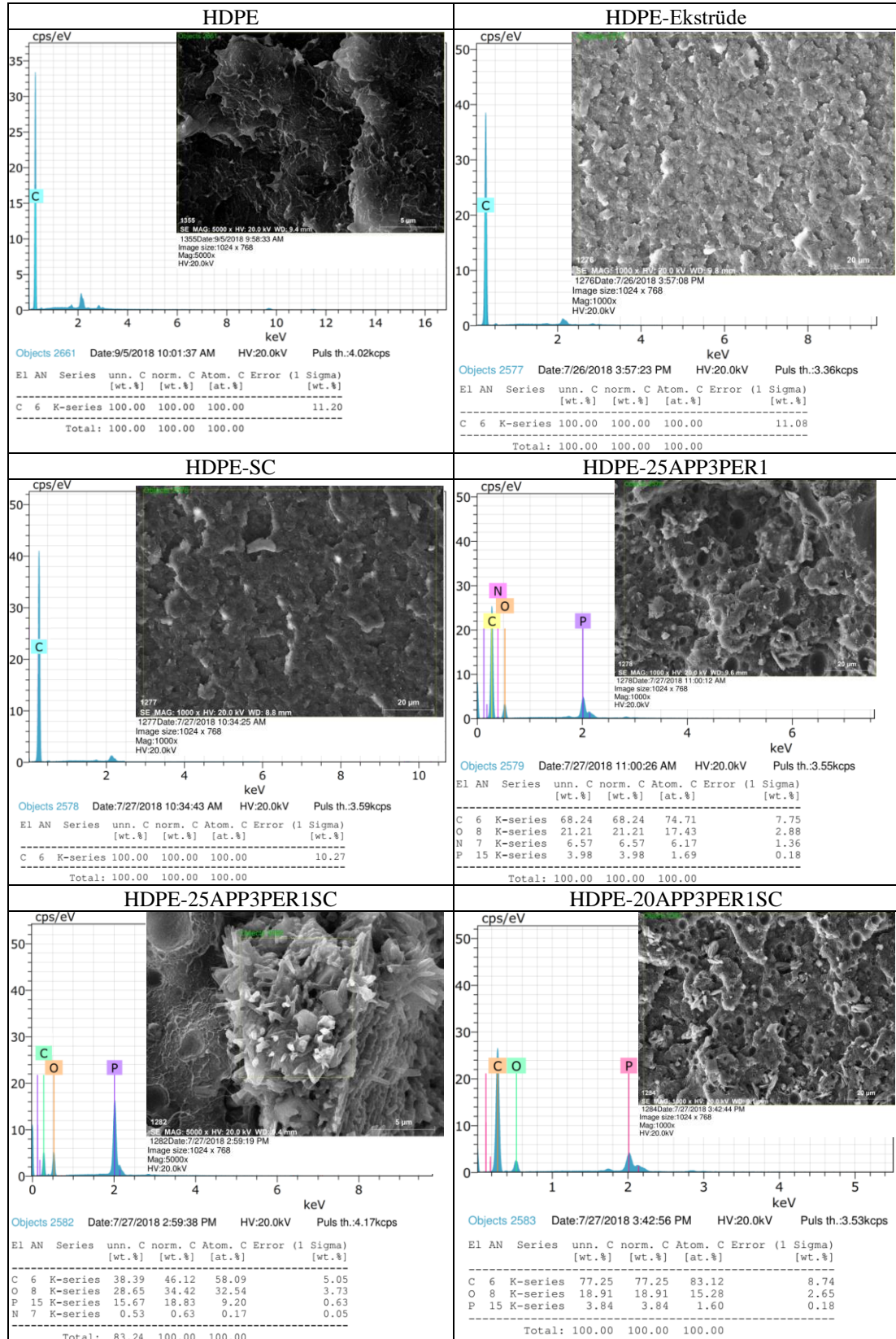




Şekil 4.56: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)

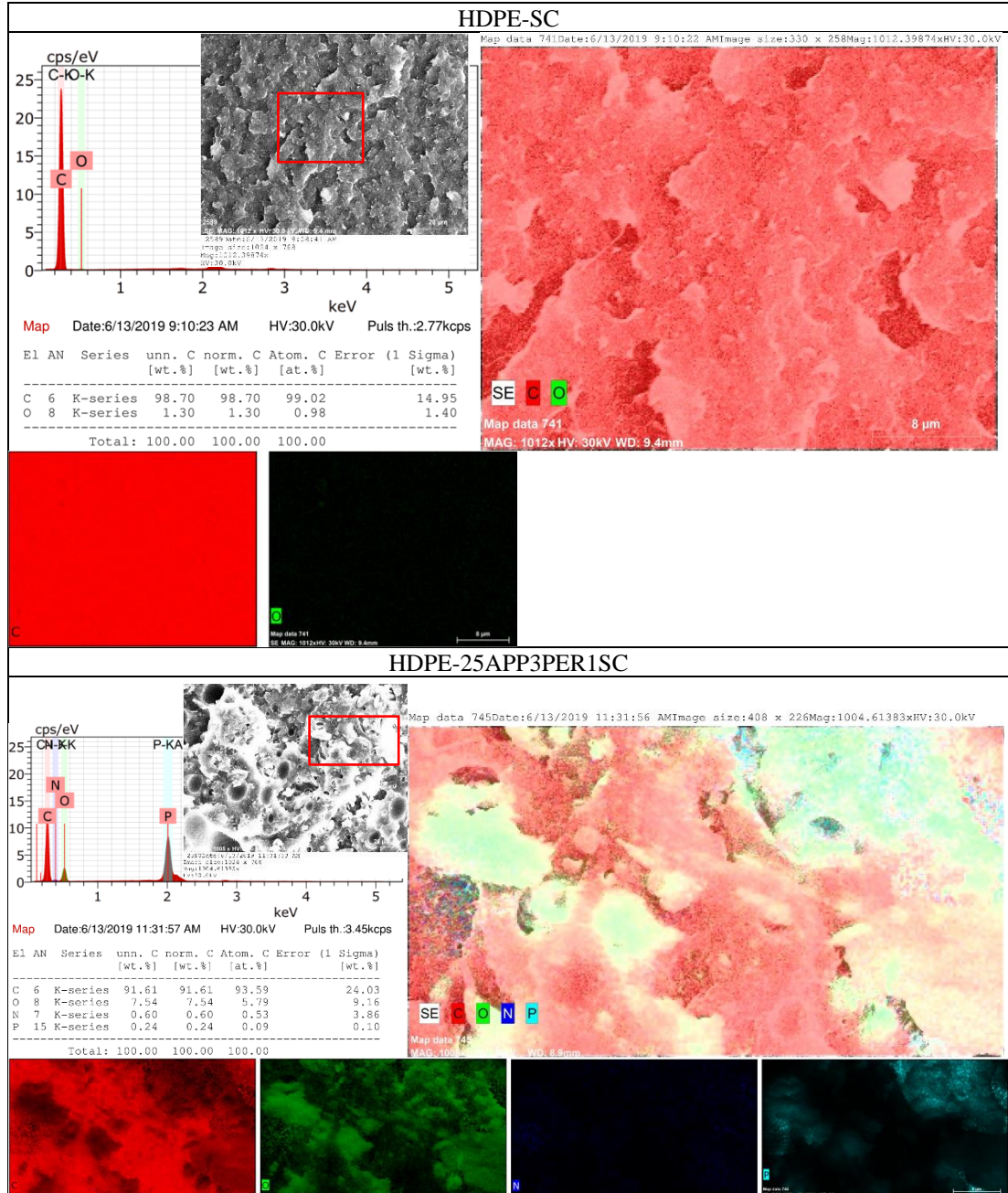


HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX analizleri Şekil 4.57'de verilmiştir. İlave edilen katkılardaki atom içerikleri EDX analizlerinde gözlemlenmiştir.



Şekil 4.57: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX analizleri

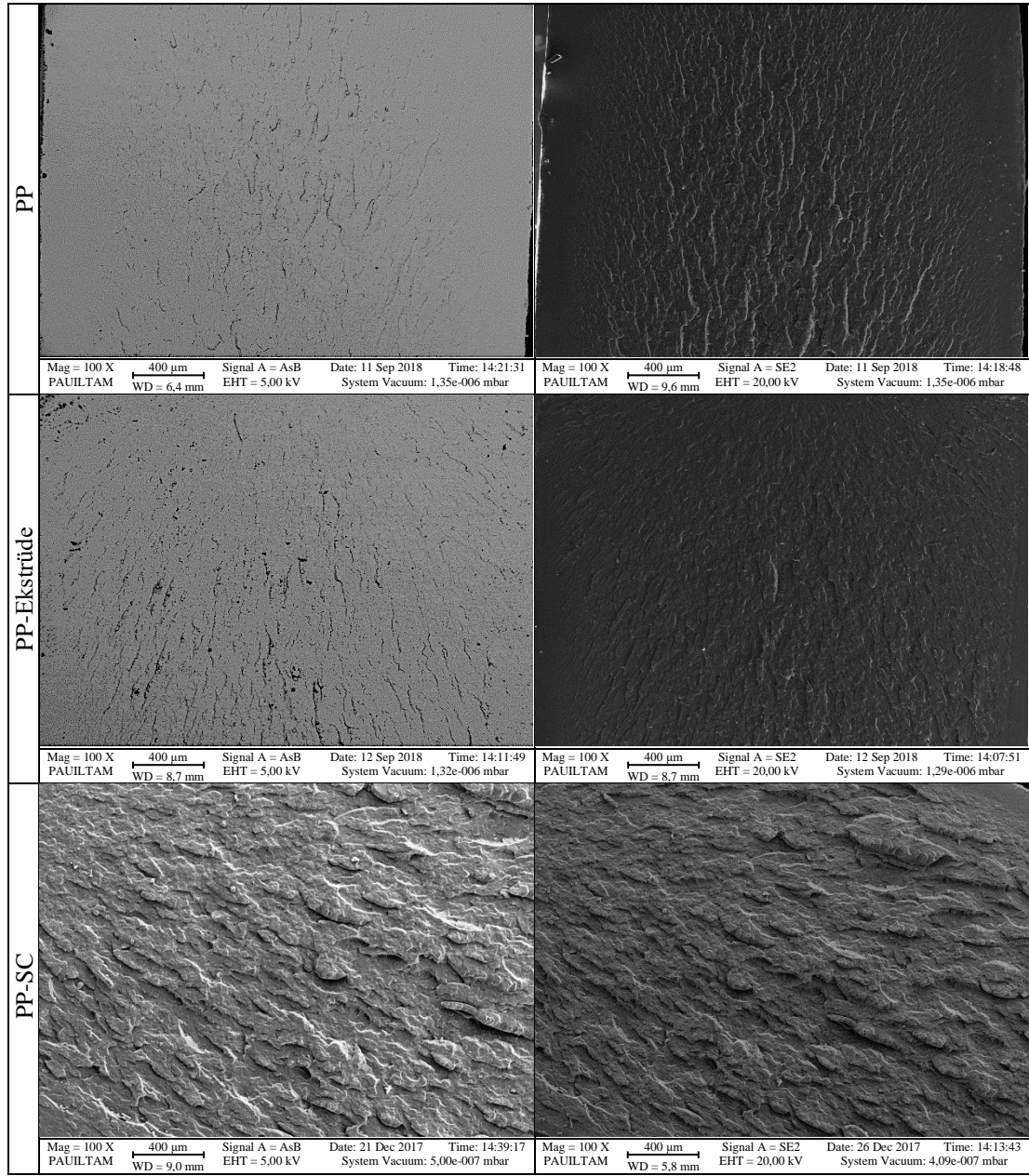
HDPE-SC ve HDPE-25APP3PER1SC kompozitlerinin haritalama işlemi gerçekleştirilmiş olup atomların dağılımı ve EDX sonuçları gösterilmiştir (Şekil 4.58). Kırmızı ile işaretlenen bölgeden haritalama işlemi yapılmış olup SC ilavesiyle kütlece %1 oranında oksijen atomu tespit edilmiştir. APP ve PER ilavesiyle oksijen miktarı artmış ilaveten fosfor ve azot atomları tespit edilmiştir.



Şekil 4.58: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri

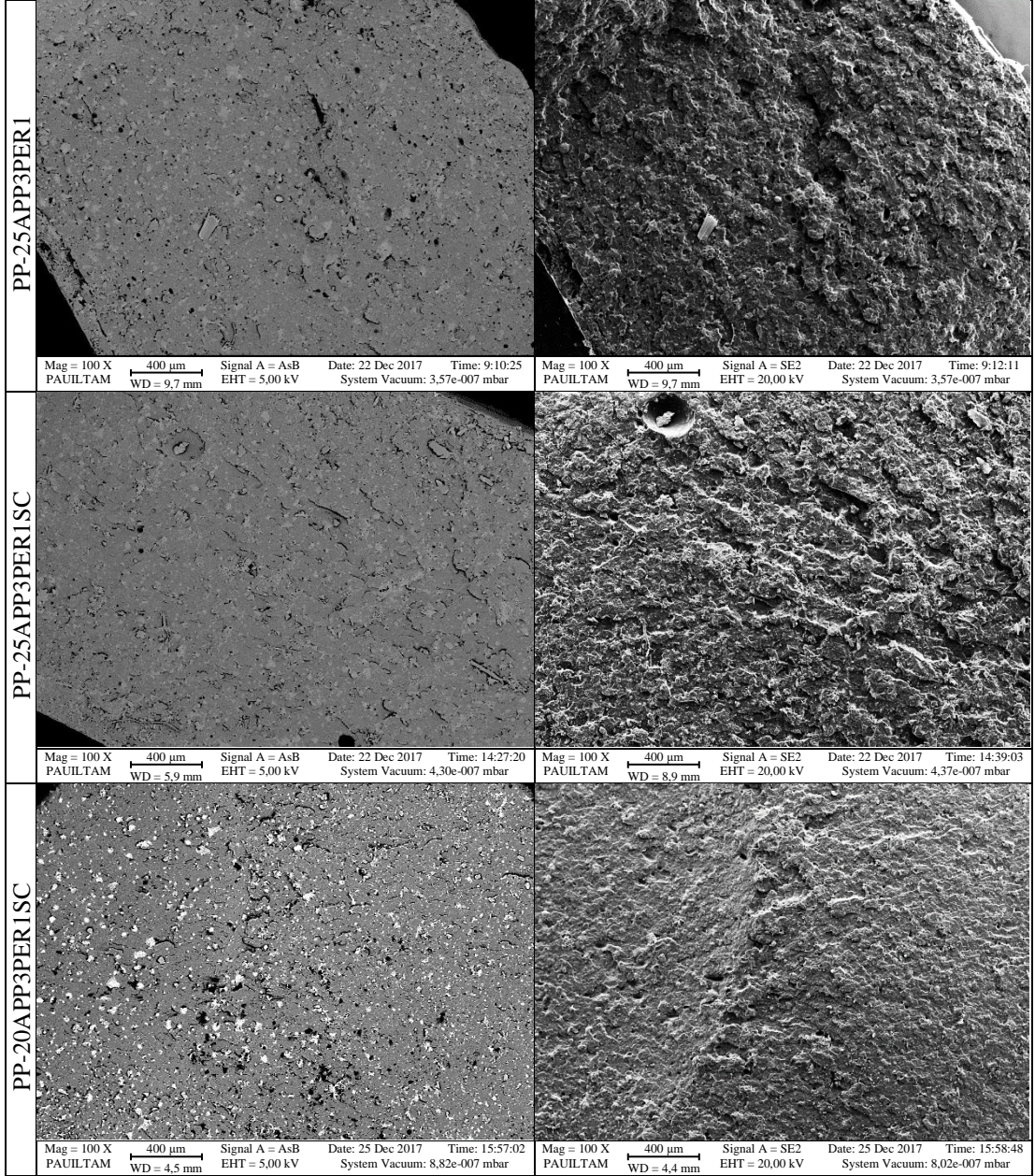


PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 100X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.59’da verilmiştir.



Şekil 4.59: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)

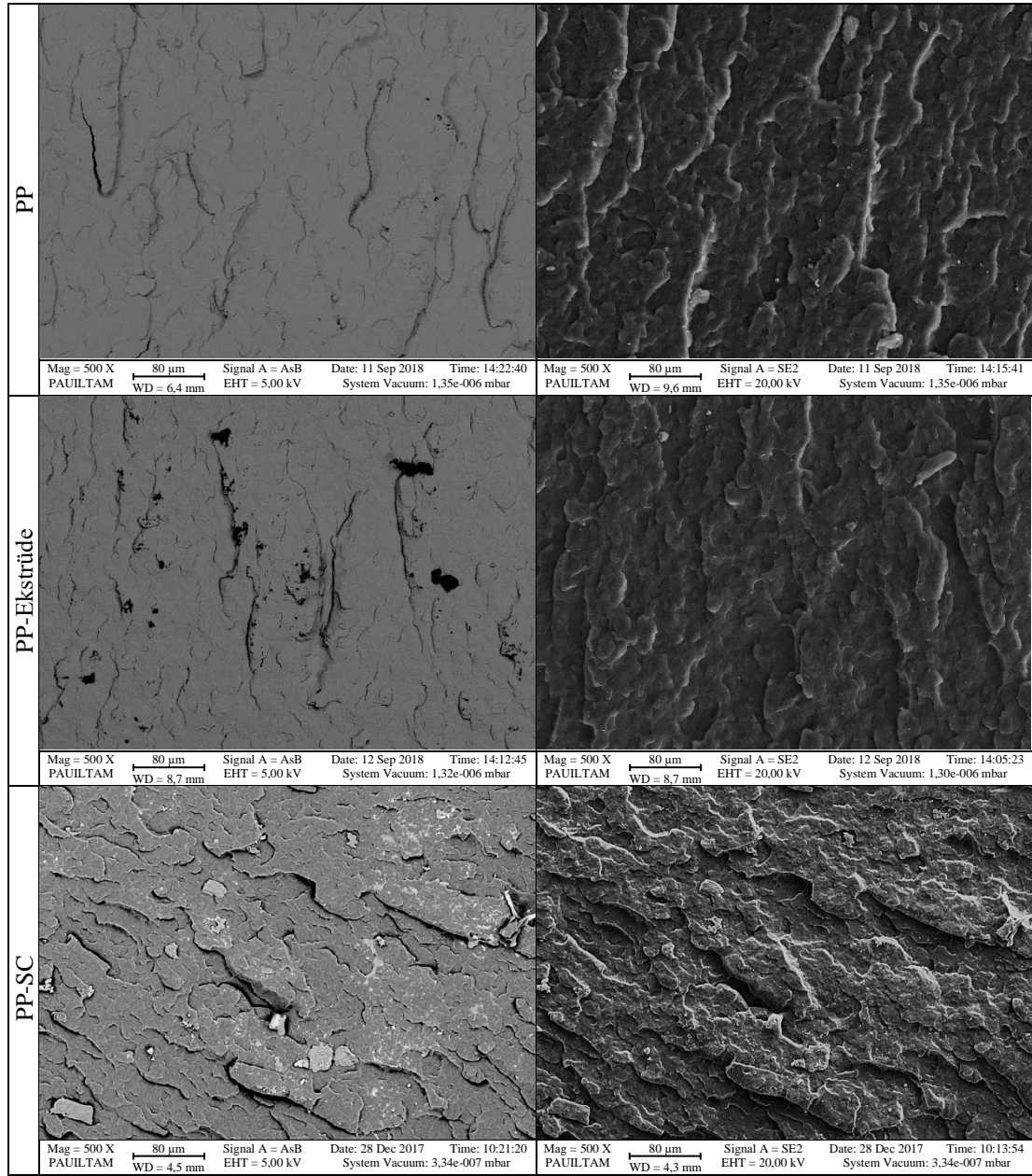




Şekil 4.59: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (100X)

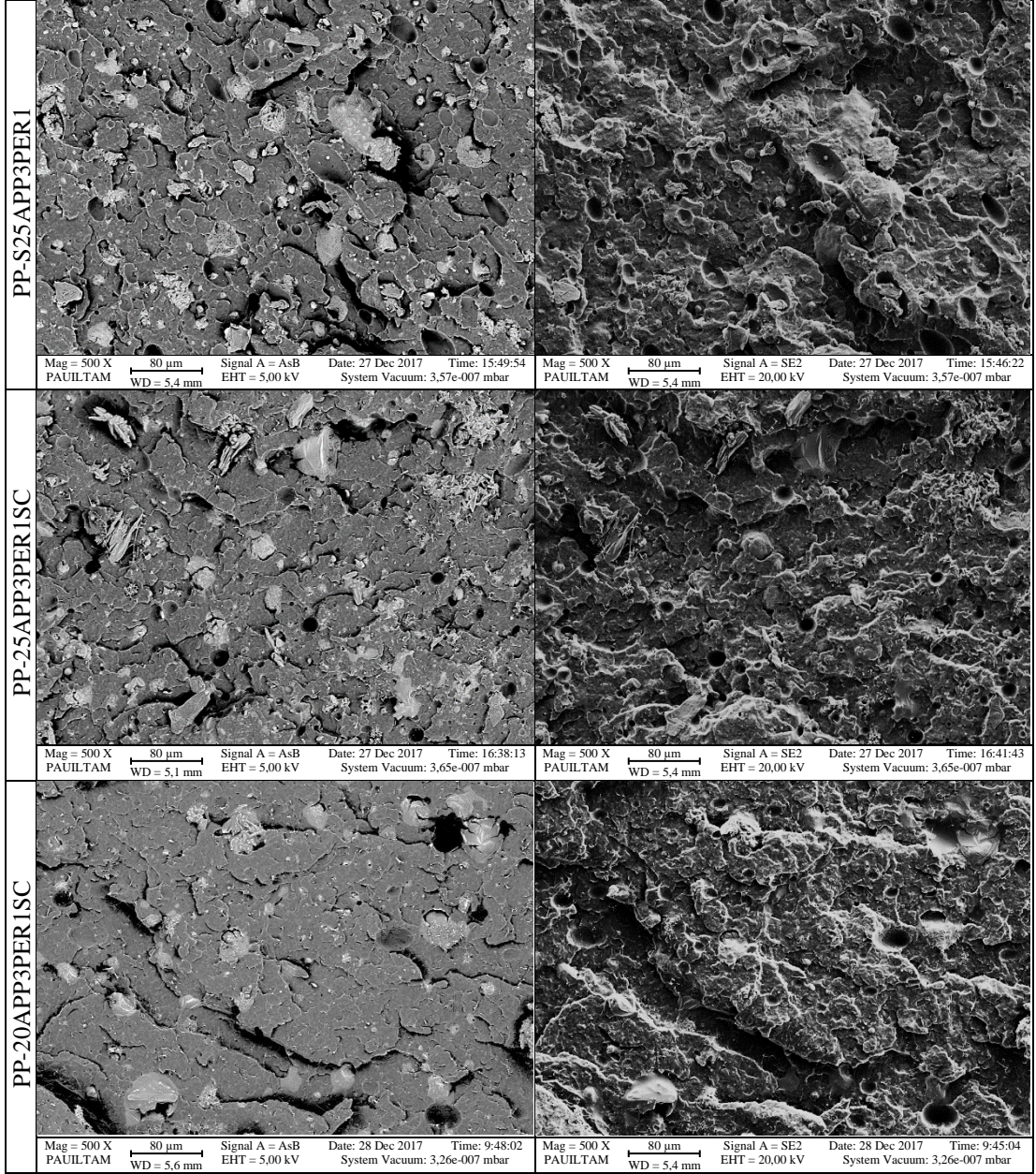


PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 500X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.60'ta verilmiştir.



Şekil 4.60: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)

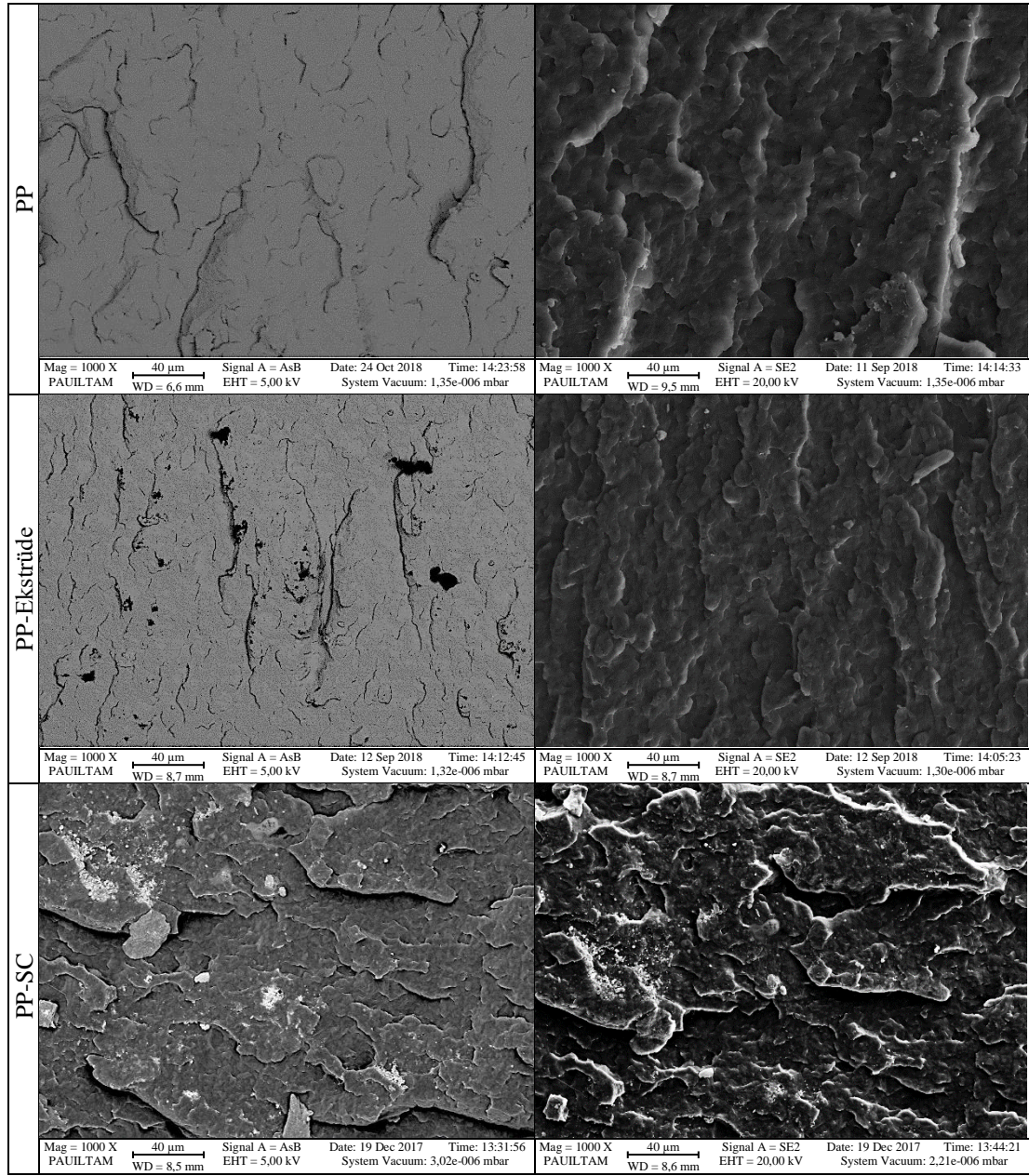




Şekil 4.60: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (500X)

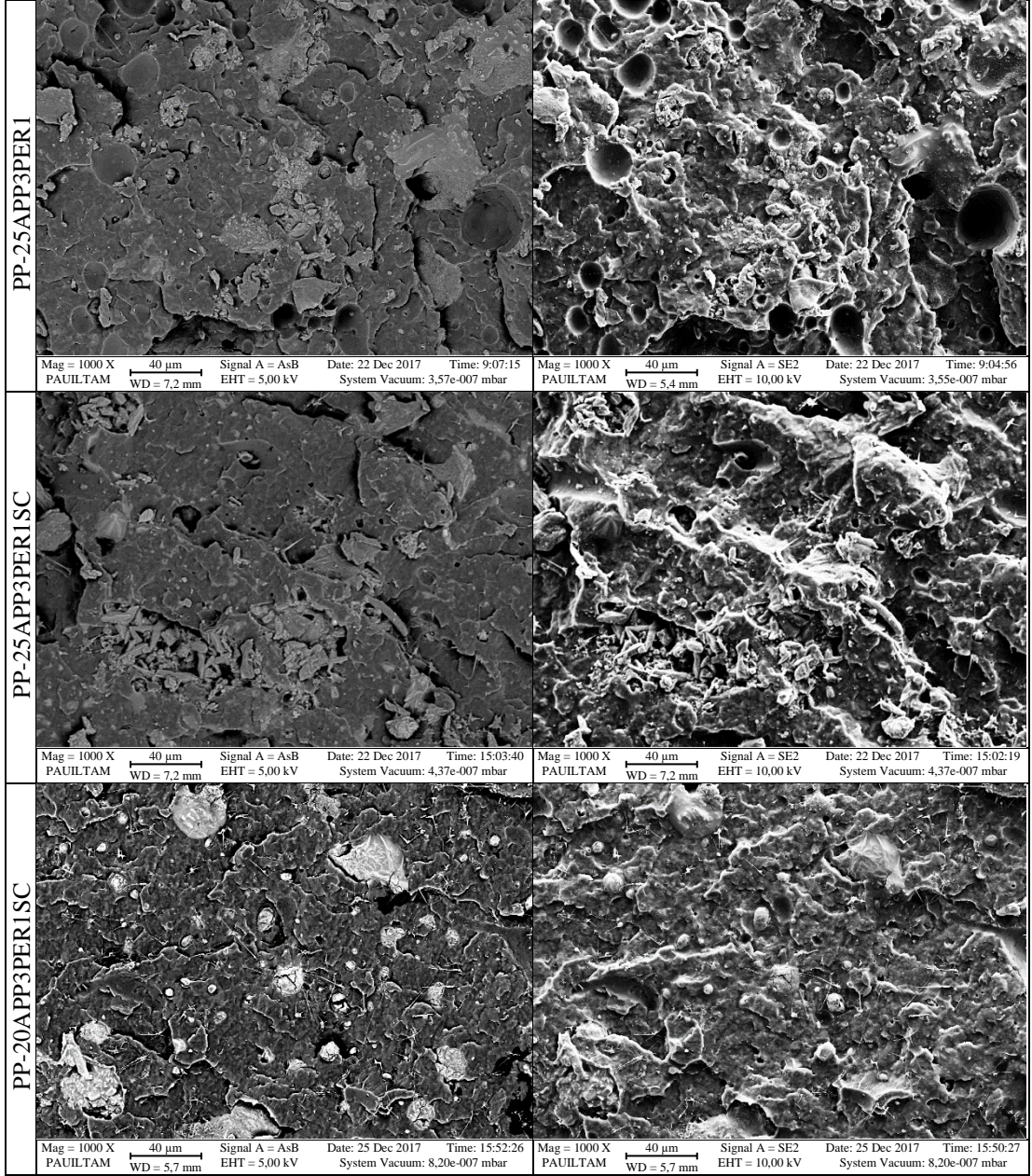


PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 1000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.61’de verilmiştir.



Şekil 4.61: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)

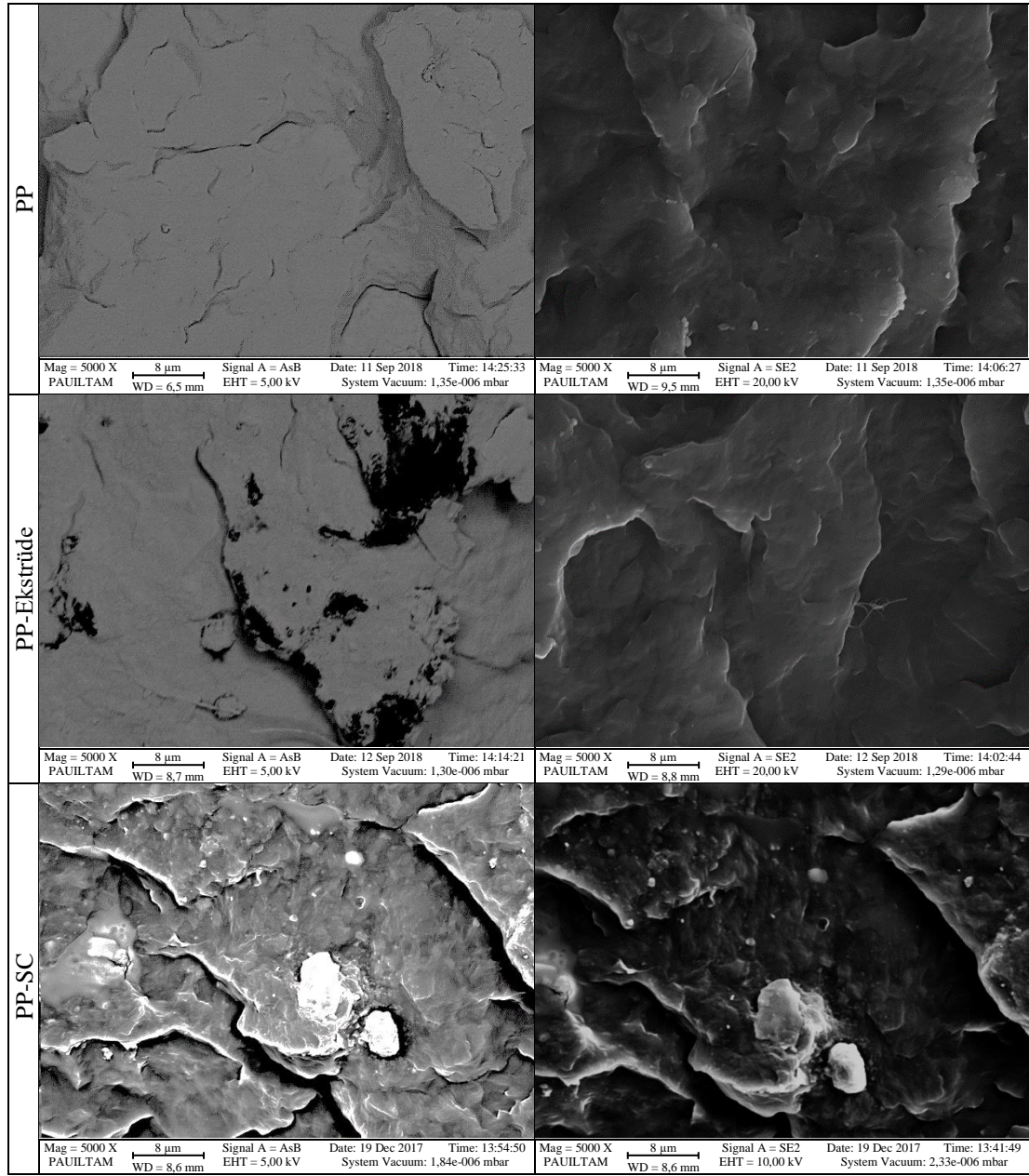




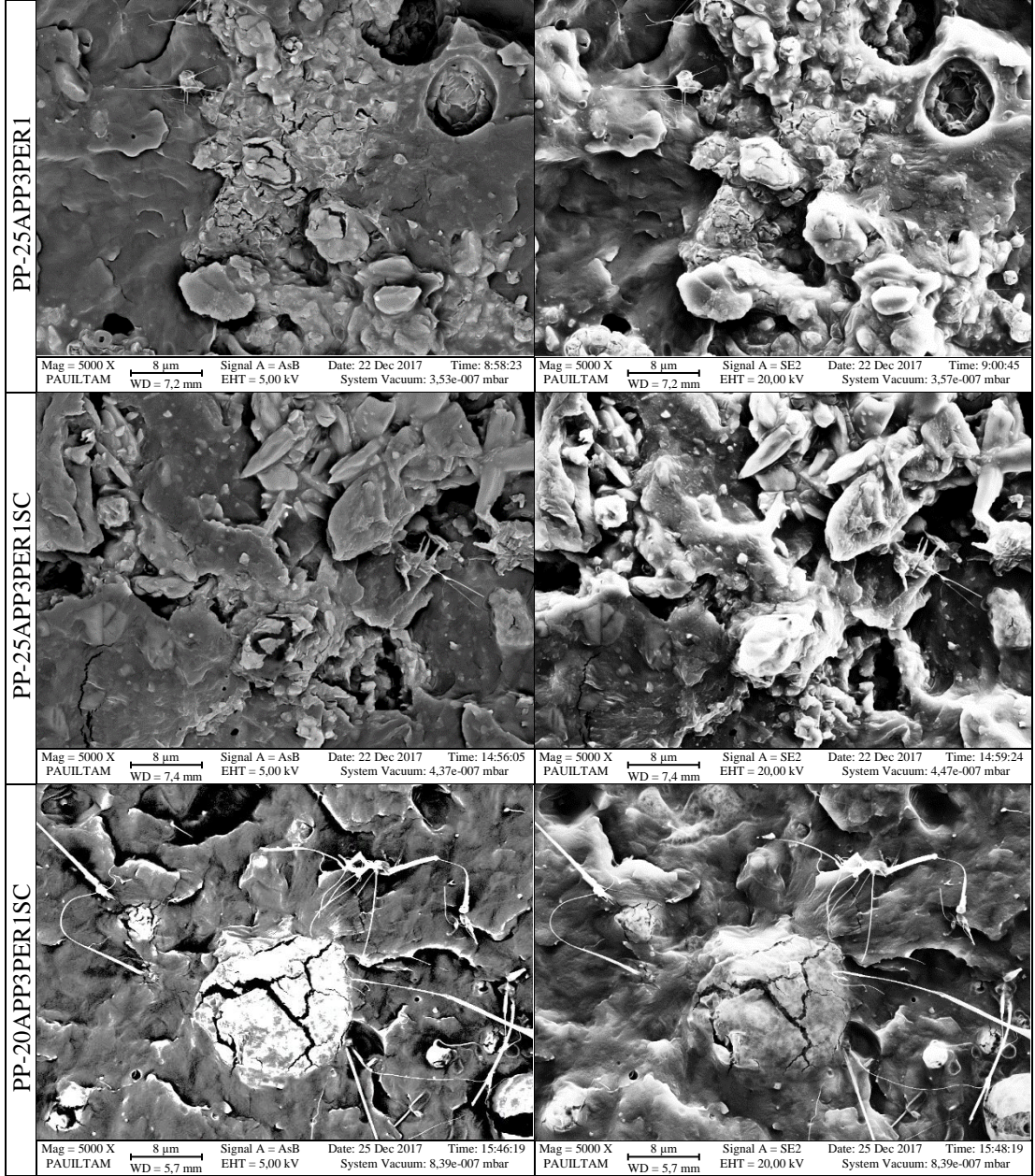
Şekil 4.61: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (1000X)



PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ASB ve SE2 detektörle 5000X büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.62’de verilmiştir.



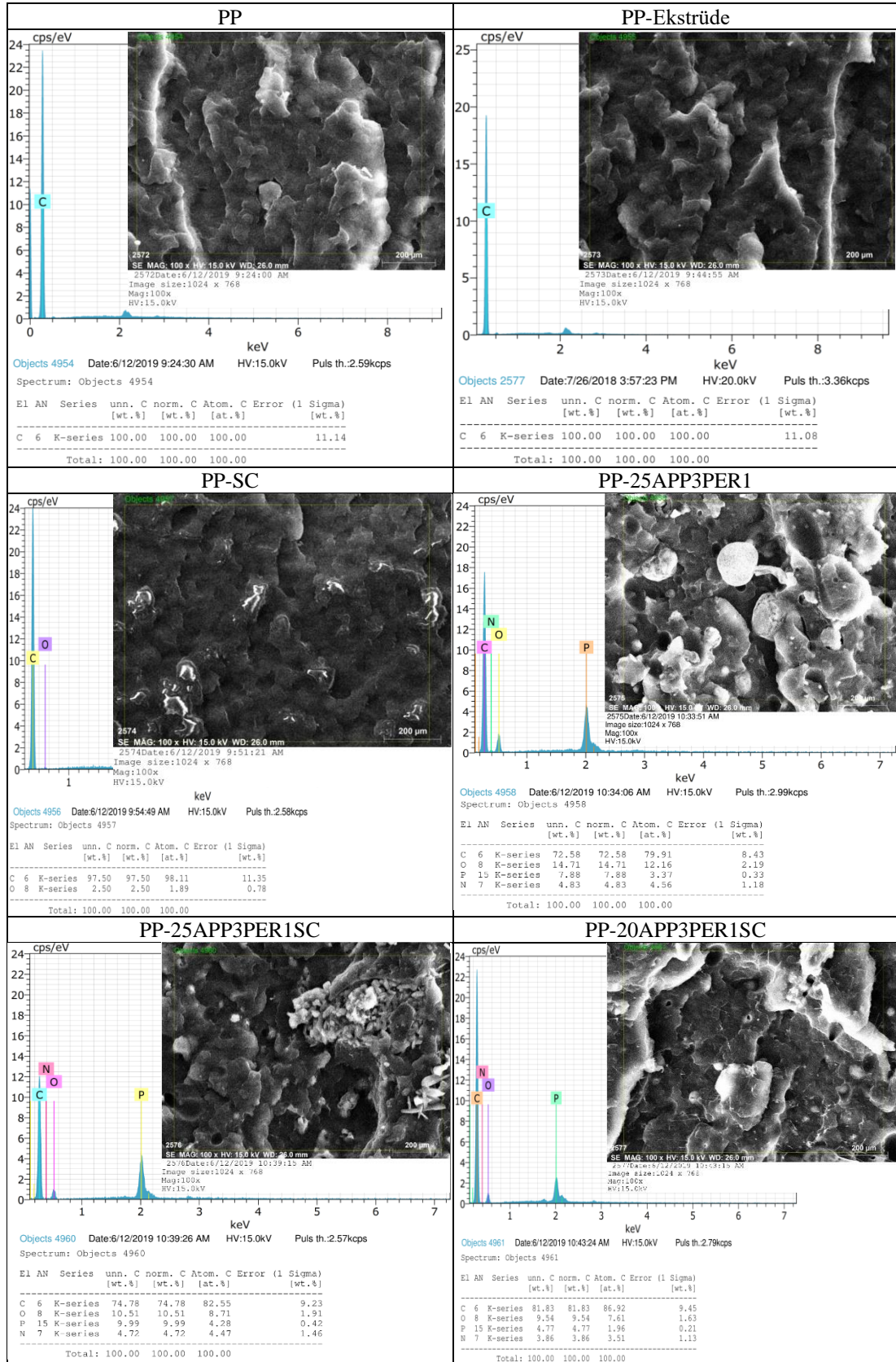
Şekil 4.62: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)



Şekil 4.62: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin SEM görüntüleri (5000X)

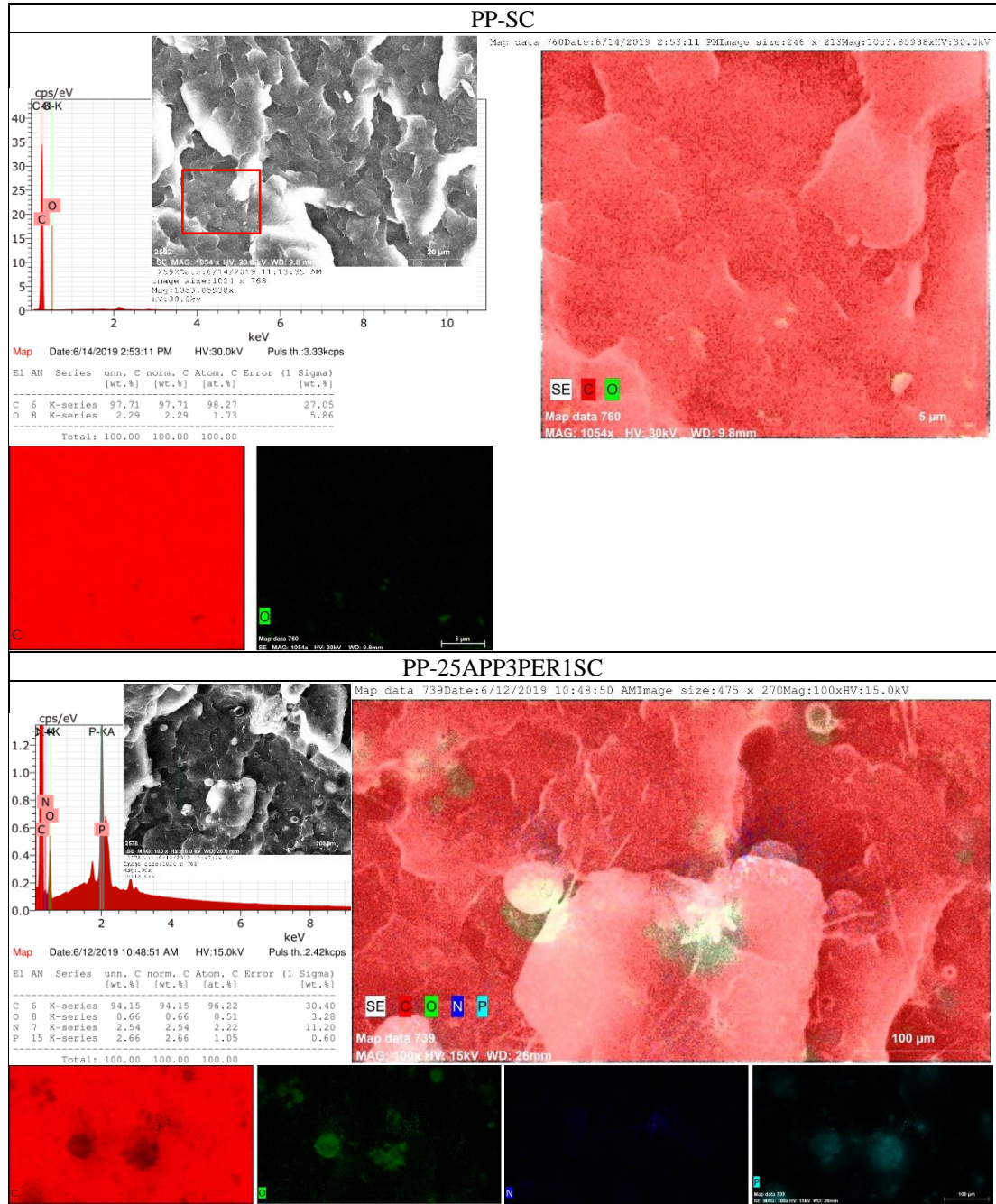


PP-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX analizleri Şekil 4.63'te verilmiştir. İlave edilmiş olan APP, PER ve SC hammaddeleri polimer kompozit matrisinde görülmüştür.



Şekil 4.63: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX analizleri

PP-SC ve PP-25APP3PER1SC kompozitlerinin haritalama işlemi gerçekleştirilmiş olup atomların dağılımı ve EDX sonuçları Şekil 4.64'te gösterilmiştir. Kırmızı ile işaretlenen bölgeden haritalama işlemi yapılmış olup SC ilavesiyle kütlece %1,7 oranında oksijen atomu tespit edilmiştir. HDPE-APP-PER-SC kompozitlerine benzer şekilde APP ve PER ilavesiyle oksijen miktarı artmış ilaveten fosfor ve azot atomları tespit edilmiştir.

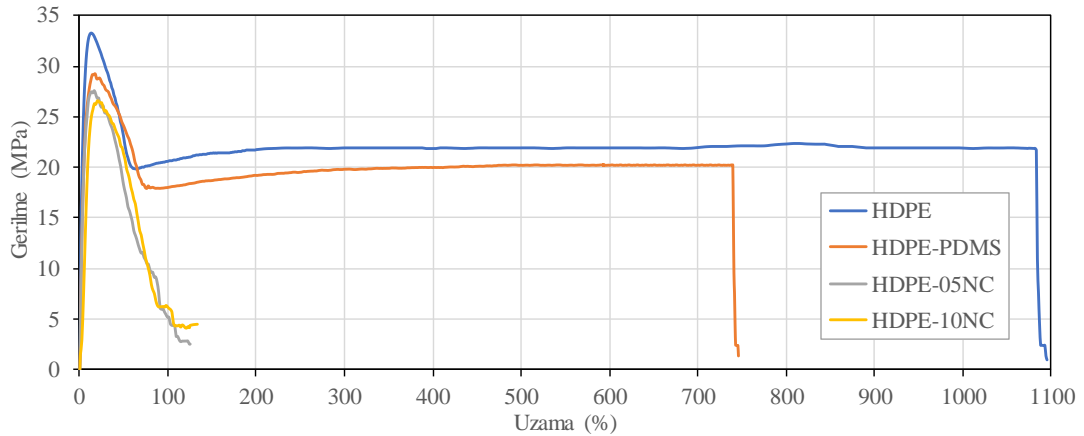


Şekil 4.64: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin EDX-MAPPING görüntüleri



#### 4.1.7 Çekme deneyi sonuçları

HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri Şekil 4.65'te verilmiştir. HDPE polimerine ilave edilen PDMS ve NC katkıları malzemenin kopma uzaması ve çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Katkısız HDPE ve katkısız HDPE-PDMS kompozitlerde belirgin kopma görülürken NC ilaveli kompozitlerde bu durum görülmemiştir. Tablo 4.29'da çekme deneyi sonuçlarından elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk değerlerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir. Çekme deneyi sonuçlarından elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk grafikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.66'da verilmiştir. HDPE polimerine ilave edilen PDMS ve NC katkıları malzemenin tokluk değerlerini düşürdüğü buna karşın NC ilavesinin elastisite modülü değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Stark ve diğ. (2010), Ayrılmış (2013), Kamila ve Joanna (2013), Seki ve diğ. (2013), Ramazani ve diğ. (2008), Kurt ve Mengeloğlu (2011) yaptıkları çalışmalarda polimer malzemelere farklı katkı ve dolgu maddeleri ilavesi ile elastisite modülü değerlerinin arttığını gözlemlenmişlerdir.



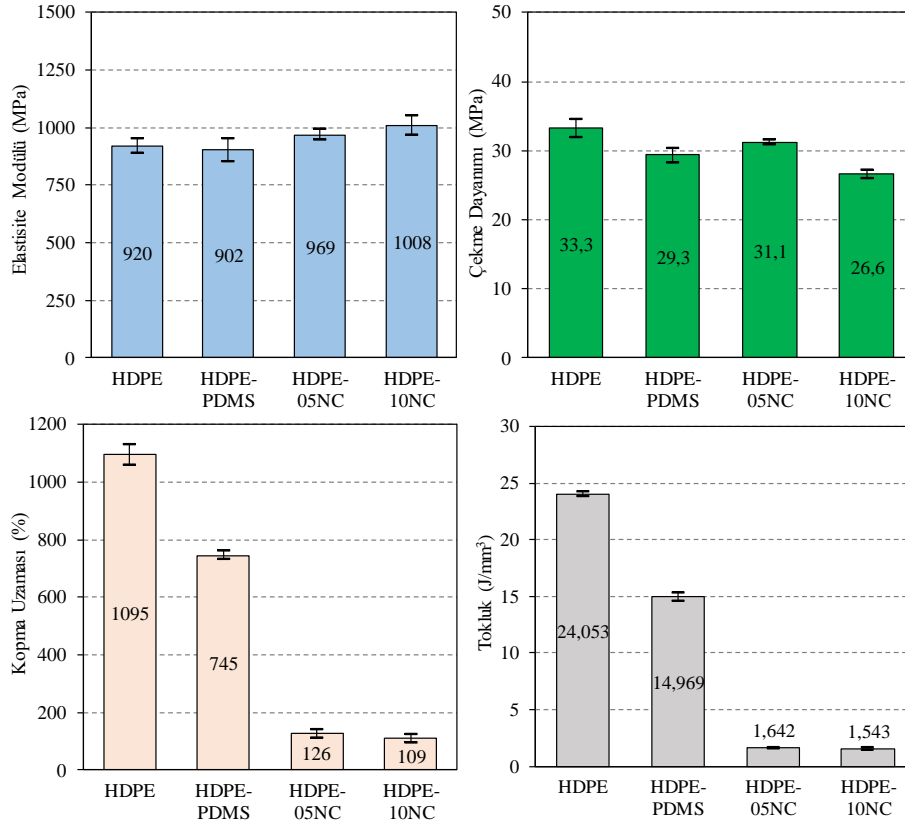
Şekil 4.65: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çekme eğrileri

Tablo 4.29: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları

	Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Çekme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)	Kopma Uzaması (%)	Standart Sapma (SS)	Tokluk (J/mm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)
HDPE	920±30	30	33,3±1,3	1,3	1095±36	36	24,053±0,213	0,231
HDPE-PDMS	902±49	49	29,3±1,1	1,1	745±15	17	14,970±0,373	0,374
HDPE-05NC	969±22	23	31,1±0,3	0,3	126±15	16	1,640±0,078	0,087
HDPE-10NC	1008±43	44	26,6±0,7	0,7	109±14	14	1,540±0,062	0,063

HDPE polimer matrise %1 PDMS ilavesi ile elastisite modülü 920 MPa değerinden 902 MPa değerine %2 oranında azalırken %5 NC ilavesi ile %5,3 artış ve

%10 NC ilavesi ile %9,6'lık artış görülmüştür. Çekme dayanımlarında ise katkısız HDPE'de 33,3 MPa değerindeyken %1 PDMS ilavesi ile bu değer %12 oranında azalarak 29,3 MPa değerine, %5 NC ilavesiyle %6,6'lık düşüşle 31,1 MPa değerine ve %10 NC ilavesiyle %20,1'lik düşüşle 26,6 MPa değerine düşürdüğü tespit edilmiştir. %5 NC ilavesinin %1 PDMS ilavesine kıyasla %6,1'lik artışa sebep olduğu görülmüştür.



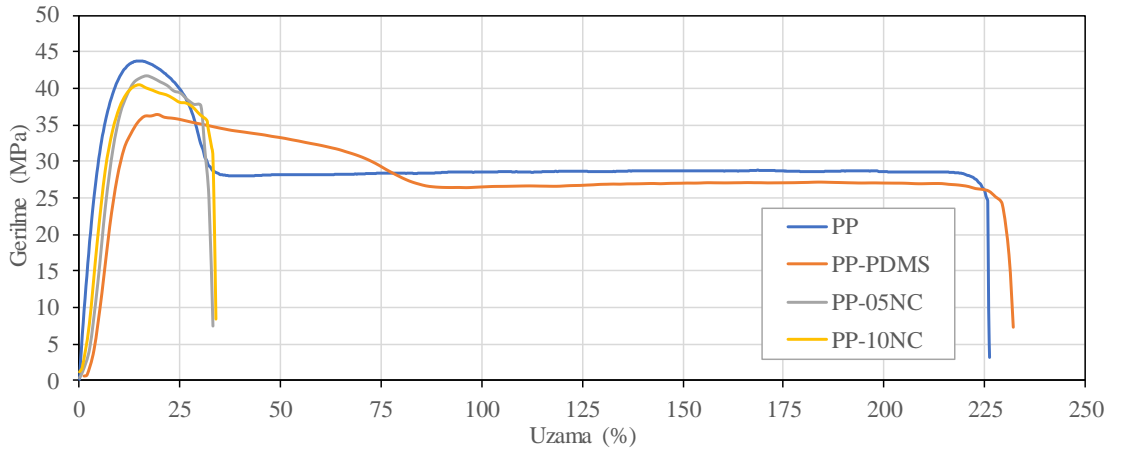
Şekil 4.66: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri

İlave edilen NC HDPE malzemenin daha gevrek ve kırılğan davranmasına sebebiyet verdiği için kopma uzaması değerlerinde dikkate değer bir düşüş görülmüştür. Kopma uzamalarında katkısız HDPE %1095 oranında uzama gösterirken %1 PDMS ilavesiyle birlikte bu değer %32'lik düşüşle %745, %5 NC ilavesiyle %88,5'lik düşüşle %126 ve %10 NC ilavesiyle %90'lık düşüşle %109'luk bir uzamaya sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Kopma uzamasının belirgin bir şekilde düşmesi tokluk değerlerinin de belirgin bir şekilde düşmesine sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Katkısız HDPE malzemenin tokluk değeri 24,053 J/mm<sup>3</sup> değerindeyken %1 PDMS ilavesi ile bu değer %37,8'lik düşüşle 14,969 J/mm<sup>3</sup> değerine, %5 NC ilavesi ile %93,2'lik düşüşle

1,642 J/mm<sup>3</sup> değerine ve %10 NC ilavesi ile %93,6'lık düşüşle 1,543 J/mm<sup>3</sup> değerine düşürdüğü belirlenmiştir.

PP-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri Şekil 4.67'de verilmiştir. HDPE polimerine ilave edilen PDMS ve NC katkıları malzemenin çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. PDMS ilavesi kopma uzaması değerlerini bir miktar artırırken NC ilavesinin belirgin bir şekilde düşürdüğü görülmüştür. PP-NC-PDMS kompozitlerinin elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk değerlerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.67: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çekme eğrileri

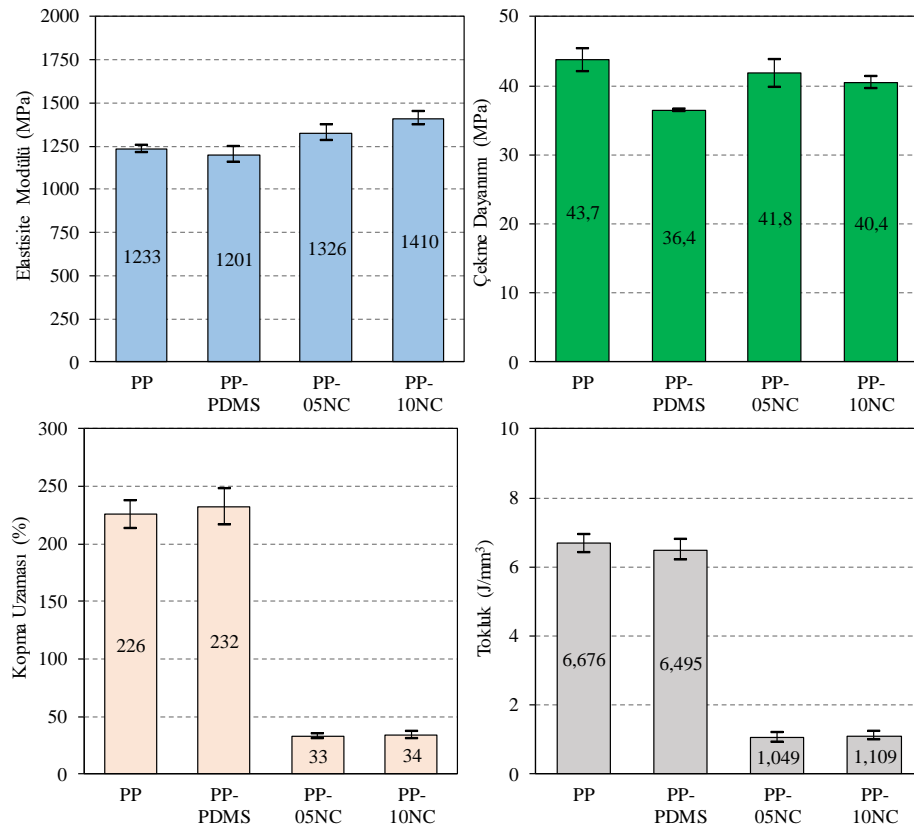
Tablo 4.30: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları

	Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Çekme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)	Kopma Uzaması (%)	Standart Sapma (SS)	Tokluk (J/mm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)
PP	1233±19	21	43,7±1,7	1,9	226±12	12	6,676±0,262	0,282
PP-PDMS	1201±46	46	36,4±0,3	0,3	232±16	16	6,495±0,309	0,309
PP-05NC	1326±45	46	41,8±1,9	2	33±2	2	1,049±0,146	0,151
PP-10NC	1410±38	39	40,4±0,9	0,9	34±3	4	1,109±0,133	0,134

Elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk grafikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.68'de verilmiştir. PP matrise ilave edilen PDMS ve NC katkıları malzemenin tokluk değerlerini düşürdüğü buna karşın NC ilavesi elastisite modülü değerlerini belirgin bir şekilde arttırdığı gözlemlenmiştir.

Katkısız PP polimerinin elastisite modülü değeri 1233 MPa iken %1 PDMS ilavesi ile %2,3'lük düşüşle 1201 MPa değerine fakat %5 NC ilavesi ile %14,4'lük

artışla 1326 MPa değerine ve %10 NC ilavesi ile %21,5'lik artışla 1410 MPa değerine çıkardığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.68: PP-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri

Çekme dayanımı değerlerinde ise katkısız PP'de 43,7 MPa iken %1 PDMS ilavesi ile %16,7 düşüşle 36,4 MPa değerine, %5 NC ilavesiyle %4,3'lük düşüşle 41,8 MPa ve %10 NC ilavesi ile %7,6'lık düşüşle 40,4 MPa değerine indiği görülmüştür. %5 NC ilavesi ile katkısız PDMS ilaveli malzemeye kıyasla %14,8'lik artış ve %10 NC ilavesi ile %11'lik artış belirlenmiştir.

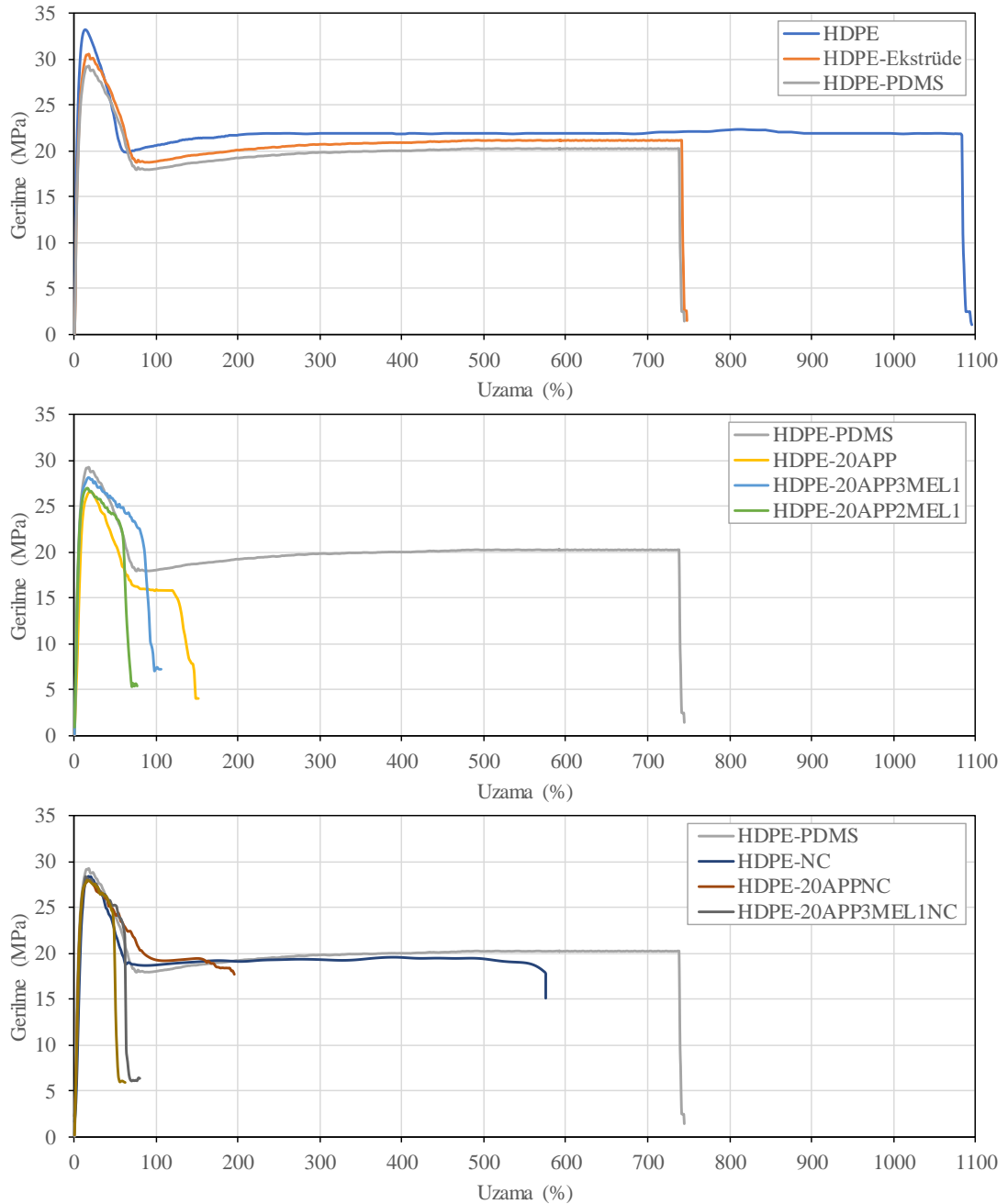
Katkısız PP ürünün kopma uzaması değeri %226 değerindeyken %1 PDMS ilavesi ile bu değer %2,7'lik artışla %232 değerine çıktığı görülmüştür. %5 NC ilavesi ile %85,4'lük düşüşle %33 değerine ve %10 NC ilavesi ile bu değer %85'lik düşüşle %34'lük değere düştüğü tespit edilmiştir.

Tokluk değerlerinde ise kopma uzamasına benzer değerler verdiği görülmüş olup katkısız PP malzemede 6,676 J/mm<sup>3</sup> değerinde iken %1 PDMS ilavesi ile %2,7'lik düşüşle 6,495 J/mm<sup>3</sup> değerine indiği görülmüştür. Bunun sebebi PDMS katkılı PP ürünün gerilme değerlerinin göreceli olarak katkısız PP üründen daha



düşük olmasından kaynaklanmaktadır. %5 NC ilavesi ile %84,3'lük düşüşle 1,049 J/mm<sup>3</sup> değerine ve %10 NC ilavesi ile %83,4'lük düşüşle 1,109 J/mm<sup>3</sup> değerine indiği gözlemlenmiştir.

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri Şekil 4.69'da verilmiş olup Tablo 4.31'de sayısal sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.69: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme eğrileri

HDPE polimerine ekstrüzyon işlemi ve PDMS ilavesi kopma uzamasını belirgin bir şekilde düşürdüğü görülmüş bununla birlikte HDPE polimerine ilave

edilen APP, MEL ve NC kopma uzaması değerlerini dikkate değer bir şekilde düşürmüş olup çekme dayanımı değerlerini de bir miktar düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 4.31: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları

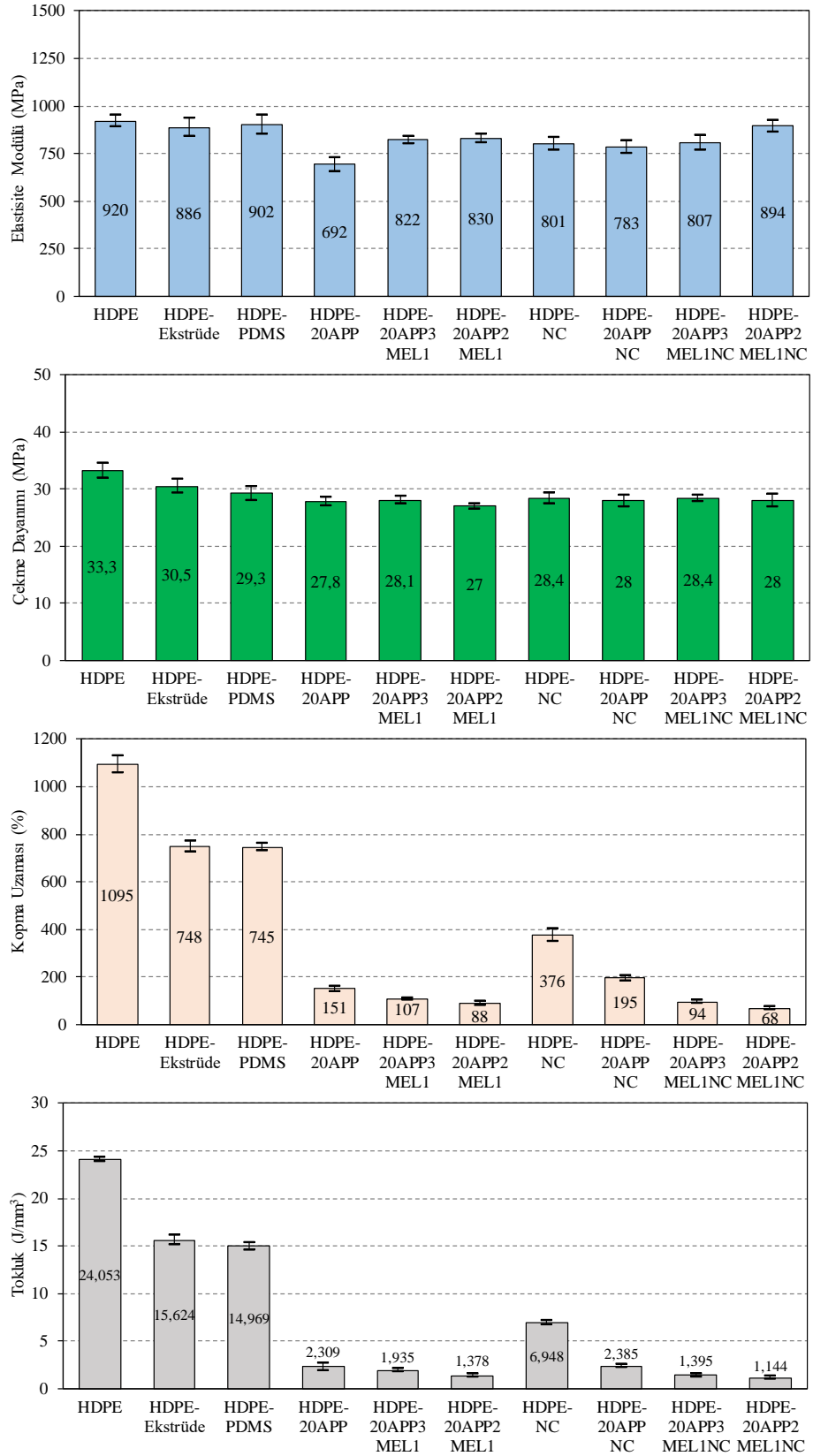
	Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Çekme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)	Kopma Uzaması (%)	Standart Sapma (SS)	Tokluk (J/mm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)
HDPE	920±30	30	33,3±1,3	1,3	1095±36	36	24,053±0,213	0,231
HDPE-Ekstrüde	886±48	49	30,5±1,2	0,6	748±23	17	15,624±0,499	0,499
HDPE-PDMS	902±49	49	29,3±1,1	1,1	745±15	17	14,970±0,373	0,374
HDPE-20APP	692±35	41	27,8±0,7	1	151±11	20	2,309±0,371	0,417
HDPE-20APP3 MEL1	822±20	48	28,1±0,7	1,1	107±5	17	1,935±0,152	0,157
HDPE-20APP2 MEL1	830±22	31	27±0,4	0,5	88±9	11	1,378±0,199	0,220
HDPE-NC	801±31	15	28,4±0,9	0,5	376±28	4	6,948±0,219	0,230
HDPE-20APP NC	783±35	17	28±1	0,3	195±11	8	2,385±0,157	0,173
HDPE-20APP3 MEL1NC	807±37	29	28,4±0,5	0,7	94±7	23	1,395±0,135	0,142
HDPE-20APP2 MEL1NC	894±32	25	28±1,2	0,8	68±6	9	1,144±0,146	0,147

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin kıyaslamalı olarak elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk grafikleri Şekil 4.70'te verilmiştir.

Katkısız HDPE 920 MPa civarında elastisite modülüne sahipken ekstrüde edilmiş HDPE %3,7'lik düşüşle 886 MPa, %1 PDMS ilavesi ile %2'lik düşüşle 902 MPa, %20 APP ilavesi ile %24,8'lik düşüşle 692 MPa, %20 APP3MEL1 ilavesi ile 822 MPa ve %20 APP2MEL1 ilavesi ile %10,7 düşüşle 830 MPa değerine indiği görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %12,9'luk azalma ile 801 MPa, %20 APPNC ilavesi ile %14,9'luk azalmayla 783 MPa, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %12,3'lük azalmayla 807 MPa ve %20 APP2MEL1NC ilavesi ile %2,8'lik azalmayla 894 MPa değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

Çekme dayanımlarında ise katkısız HDPE 33,3 MPa çekme dayanımına sahipken ekstrüde edilmiş HDPE %8,4'lük düşüşle 30,5 MPa, %1 PDMS ilave edilmiş HDPE %12'lik düşüşle 29,3 MPa, %20 APP ilavesiyle %16,5'lik düşüşle 27,8 MPa, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %15,6'lık düşüşle 28,1 MPa ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %18,9'luk düşüşle 27 MPa değerine indiği görülmüştür. %2 NC ilavesi ile %14,7 düşüşle 28,4 MPa, %20 APPNC ilavesi ile %15,9'luk düşüşle 28 MPa, %20 APP3MEL1NC ilavesi ile %14,7'lik düşüşle 28,4 MPa değerine ve

%20 APP2MEL1NC ilavesi ile birlikte %15,9 düşüşle 28 MPa değerine azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.70: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri

Kopma uzamalarında ise katkısız HDPE kompozitte %1095 değerinde iken edilmiş HDPE polimerinde ise %31,7'lik düşüşle %748 uzamaya ve %1 PDMS ilavesi ile %32'lik düşüşle %745 uzamaya düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %86,2'lik azalmayla %151, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %90,2'lik azalmayla %107 ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %92'lik azalmayla %88 uzamaya kadar düştüğü görülmüştür. %2 NC ilavesiyle %65,7 düşüşle %376, %20 APPNC ilavesiyle %82,2 düşüşle %195, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %91,4'lük düşüşle %94 ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %93,8'lik düşüşle %68 değerine indiği gözlemlenmiştir.

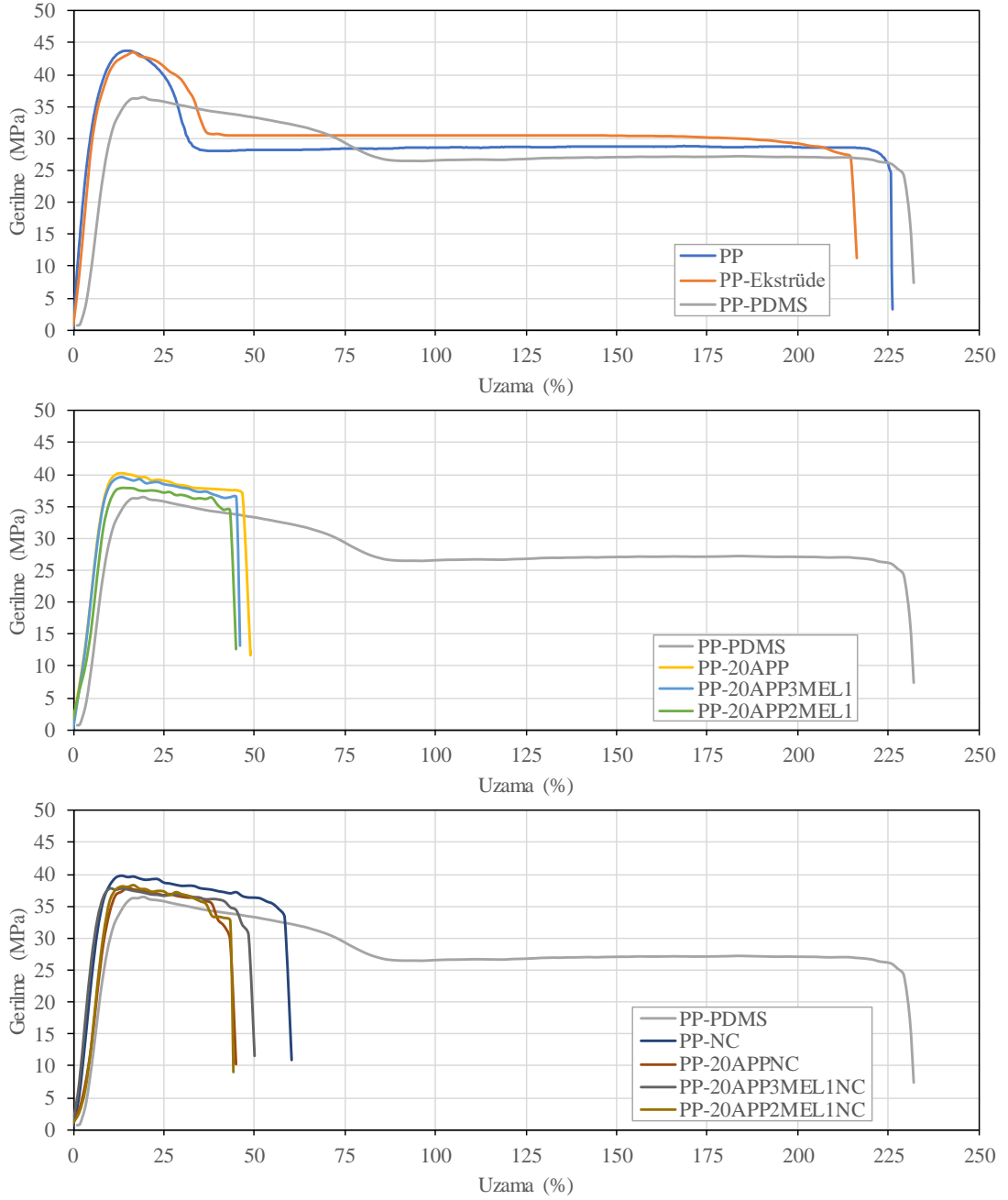
Kopma uzamalarına benzer şekilde katkısız HDPE kompozitte 24,053 J/mm<sup>3</sup> tokluk değerinde iken ekstrüde edilmiş HDPE polimerinde ise %35'lik düşüşle 15,624 J/mm<sup>3</sup> ve %1 PDMS ilavesi ile %37,8'lik düşüşle 14,969 J/mm<sup>3</sup>'e düştüğü gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %90,4'lük azalmayla 2,309 J/mm<sup>3</sup>'e, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %92'lik azalmayla 1,935 J/mm<sup>3</sup> ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %94,3'lük azalmayla 1,378 J/mm<sup>3</sup> tokluk değerine sahip olduğu görülmüştür. %2 NC ilavesiyle %71,1'lik düşüşle 6,948 J/mm<sup>3</sup>, %20 APPNC ilavesiyle %90,1 düşüşle 2,385 J/mm<sup>3</sup>, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %94,2'lik düşüşle 1,395 J/mm<sup>3</sup> ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %95,2'lik düşüşle 1,144 J/mm<sup>3</sup> değerine düştüğü tespit edilmiştir.

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin gerilme-uzama grafikleri Şekil 4.71'de verilmiştir. Çekme deneyi sonuçlarından elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk değerlerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.32'da verilmiştir

PP polimerinin ekstrüzyon işlemi sonrası yapılan çekme deneyinde kopma uzaması değeri bir miktar düşerken PDMS ilavesiyle bu değer bir miktar yükseldiği görülmüştür. PDMS ilavesi ile çekme dayanımı değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. İlave edilen APP, MEL ve NC katkıları kopma uzaması ve çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü görülmüştür.

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi sonuçlarından elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk değerleri kıyaslamalı olarak Şekil 4.72'de gösterilmiştir.





Şekil 4.71: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme eğrileri

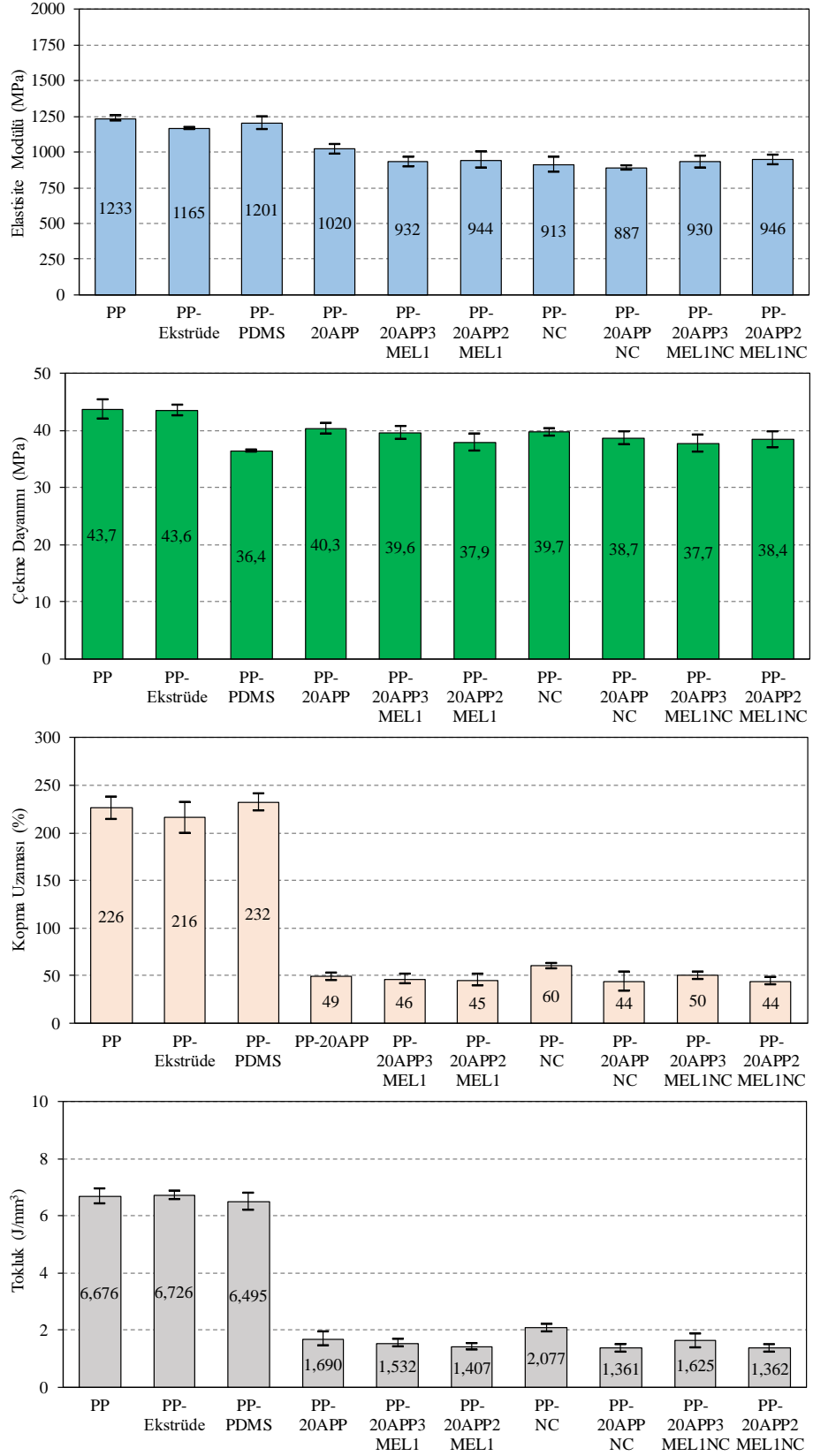
Katkısız PP polimerinin elastisite modülü 1233 MPa iken ekstrüde edilmiş PP'in %5,5 düşüşle 1165 MPa ve %1 PDMS ilavesi ile birlikte %2,6'lık düşüşle 1201 MPa değerine indiği görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %17,3'lük düşüşle 1020 MPa, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %24,4'lük düşüşle 932 MPa ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %23,4'lük düşüşle 944 MPa değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesi ile %26'lık düşüşle 913 MPa, %20 APPNC ilavesiyle %28,1'lik düşüşle 887 MPa, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %24,6'lık düşüşle 930 MPa ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %23,3'lük düşüşle 946 MPa değerine indiği görülmüştür.

Çekme dayanımlarında ise katkısız PP polimerinin 43,7 MPa değerinde iken ekstrüde edilmiş PP %0,2'lik düşüşle ile 43,6 MPa ve %1 PDMS ilavesiyle %16,7'lik düşüşle 36,4 MPa değerine indiği gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %7,8'lik düşüşle 40,3 MPa, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %9,4 düşüşle 39,6 MPa ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %13,3'lük düşüşle 37,9 MPa değerine indiği görülmüştür. %2 NC ilavesiyle %9,2 düşüşle 39,7 MPa, %20 APPNC ilavesiyle %11,4 düşüşle 38,7 MPa, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %13,7 düşüşle 37,7 MPa ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %12,1'lik düşüşle 38,4 MPa değerine indiği görülmüştür.

Tablo 4.32: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları

	Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Çekme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)	Kopma Uzaması (%)	Standart Sapma (SS)	Tokluk (J/mm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)
PP	1233±19	21	43,7±1,7	1,9	226±12	12	6,676±0,262	0,282
PP-Ekstrüde	1165±10	14	43,6±0,9	0,8	216±16	17	6,726±0,135	0,145
PP-PDMS	1201±46	46	36,4±0,3	0,3	232±9	16	6,495±0,309	0,309
PP-20APP	1020±33	28	40,3±0,9	0,8	49±4	4	1,690±0,244	0,261
PP-20APP3 MEL1	932±34	29	39,6±1,2	1,1	46±5	4	1,532±0,126	0,130
PP-20APP2 MEL1	944±59	46	37,9±1,6	1,5	45±6	4	1,407±0,111	0,112
PP-NC	913±52	41	39,7±0,7	0,5	60±3	3	2,077±0,14	0,156
PP-20APPNC	887±17	14	38,7±1,1	0,8	44±10	8	1,361±0,133	0,135
PP-20APP3 MEL1NC	930±43	33	37,7±1,6	1,2	50±4	3	1,625±0,249	0,253
PP-20APP2 MEL1NC	946±32	25	38,4±1,4	1,1	44±4	3	1,362±0,145	0,149

Katkısız PP polimerinin %226 değerinde kopma uzamasına sahipken ekstrüde edilmiş PP polimerinde %4,4 düşüşle %216 değerine buna karşın %1 PDMS ilave edilmiş PP polimerinde ise %2,7'lik artışla %232 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %78,3 düşüşle %49 uzama değerine, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %79,6'lık düşüşle %46'ya ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %80,1 düşüşle %45 uzama değerine gerilediği görülmüştür. %2 NC ilavesiyle %73,5 düşüşle %60'a, %20 APPNC ilavesiyle %80,5 düşüşle %44'e, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %77,9'luk düşüşle %50'ye ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %80,5'lik düşüşle %44 değerine indiği tespit edilmiştir. Sener ve Demirhan (2008), Atay ve Çelik (2013), Basfar ve Bae (2010), Wang ve diğ. (2015) ve Ramazani ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmalarda ilave edilen katkı ve dolgu maddelerinin kopma uzaması değerlerini düşürdüğünü gözlemlemiştirlerdir.

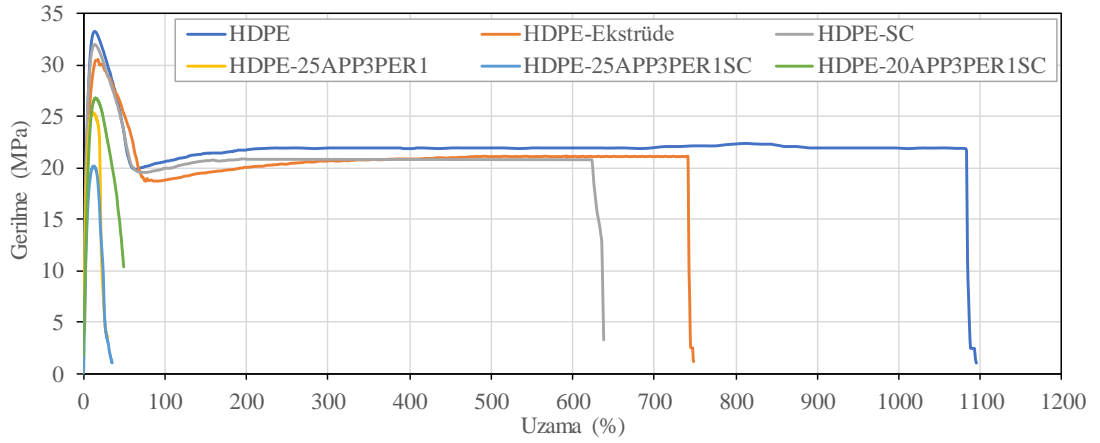


Şekil 4.72: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri

Tokluk değerlerine bakıldığında ise katkısız PP 6,676 J/mm<sup>3</sup> değerinde iken ekstrüde edilmiş PP %0,7'lik artışla 6,726 J/mm<sup>3</sup> değerine çıktığı buna karşın %1

PDMS ilave edildiğinde %2,7'lik azalmayla 6,495 J/mm<sup>3</sup> değerine düştüğü görülmüştür. %20 APP ilave edildiğinde %74,7'lik düşüşle 1,69 J/mm<sup>3</sup> değerine, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %77,1'lik düşüşle 1,532 J/mm<sup>3</sup> değerine ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %78,9'luk düşüşle 1,407 J/mm<sup>3</sup> değerine indiği gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %68,9'luk düşüşle 2,077 J/mm<sup>3</sup>, %20 APPNC ilavesi %79,6'lık düşüşle 1,361 J/mm<sup>3</sup>, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %75,7'lik düşüşle 1,625 J/mm<sup>3</sup> ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %79,6'lık düşüşle 1,362 J/mm<sup>3</sup> değerine indiği görülmüştür.

HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin gerilme-uzama grafikleri Şekil 4.73'te verilmiş olup çekme deneyi sonuçları sayısal olarak Tablo 4.33'te verilmiştir.



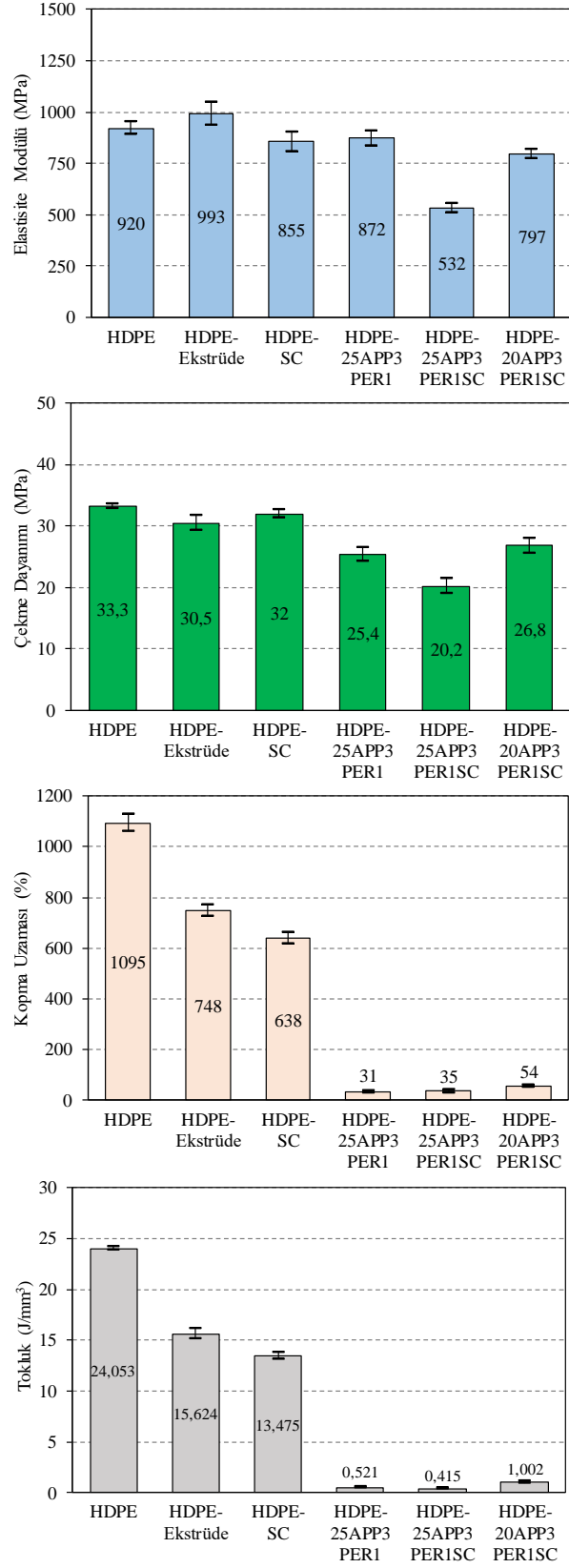
Şekil 4.73: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme eğrileri

Şekil 4.74'te HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi sonuçlarından elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk değerleri kıyaslamalı olarak grafik şeklinde gösterilmiştir.

Tablo 4.33: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları

	Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Çekme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)	Kopma Uzaması (%)	Standart Sapma (SS)	Tokluk (J/mm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)
HDPE	920±30	30	33,3±1,3	1,3	1095±36	36	24,053±0,213	0,231
HDPE-Ekstrüde	886±48	49	30,5±1,2	0,6	748±23	17	15,624±0,499	0,499
HDPE-SC	855±48	17	32±0,7	0,5	638±23	16	13,475±0,336	0,338
HDPE-25APP3 PER1	872±35	38	25,4±1,2	0,9	31±5	4	0,521±0,088	0,090
HDPE-25APP3 PER1SC	532±20	16	20,2±1,2	0,9	35±6	5	0,415±0,059	0,059
HDPE-20APP3 PER1SC	797±22	76	26,8±1,3	0,9	54±5	4	1,002±0,106	0,110





Şekil 4.74: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri

HDPE polimerinin elastisite modülü 920 MPa değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE %7,9 artışla 993 MPa değerine çıkmış buna karşın %5 SC ilavesiyle %7,1 azalmayla 855 MPa değerine düştüğü görülmüştür. HDPE matrisine kütlece %25

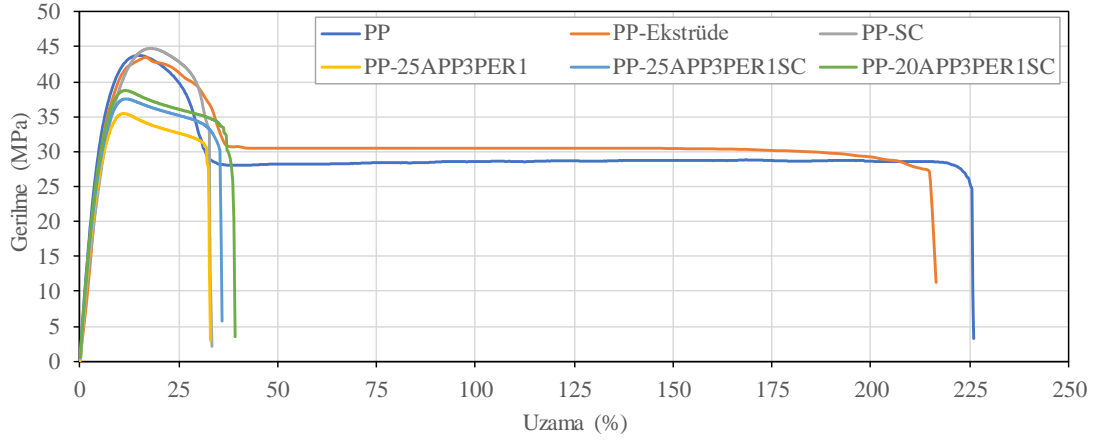
APP3PER1 ilavesiyle elastisite modülü değerinde %5,2 azalmayla 872 MPa, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %42,2'lik azalmayla 532 MPa ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle bu değer %13,4'lük azalmayla 797 MPa değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Wang ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada APP ilavesiyle elastisite modülü değerinin düştüğünü ve PER ilavesiyle bu değerde bir miktar daha azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Katkısız HDPE'in çekme dayanımı değeri 33,3 MPa değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE'in %8,4 azalmayla 30,5 MPa değerine düştüğü ve %5 SC ilavesiyle %3,9'luk azalmayla 32 MPa değerine düştüğü görülmüştür. Kütlice %25 APP3PER1 ilavesiyle %23,7 azalmayla 25,4 MPa, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %39,3 azalmayla 20,2 MPa ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %19,5 azalmayla 26,8 MPa değerine düştüğü belirlenmiştir.

HDPE polimerinin kopma uzaması %1095 değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE'in %31,7 azalmayla %748 değerine düştüğü görülmüş olup %5 SC ilavesiyle bu değer %41,7 azalmayla %638 değerine düştüğü gözlemlenmiştir. 25APP3PER1, 25APP3PER1SC ve 20APP3PER1SC kompozitlerinde dikkate değer düşme görülmüş olup sırasıyla %97,2, %96,8 ve %95,1 azalmayla %31, %35 ve %54 kopma uzaması değerlerine düştüğü gözlemlenmiştir.

Tokluk değerlerindeyse katkısız HDPE 24,053 J/mm<sup>3</sup> değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE'de ise %35'lik azalmayla 15,624 J/mm<sup>3</sup> değerine düştüğü ve %5 SC ilavesiyle bu değer %44 azalmayla 13,475 J/mm<sup>3</sup> değerine düştüğü görülmüştür. APP-PER katkılı kompozitlerde kopma uzamalarına benzer şekilde dikkate değer düşme görülmüş olup %25 APP3PER1 ilavesiyle %97,8'lik azalmayla 0,521 J/mm<sup>3</sup>, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %98,3'lük azalmayla 0,415 J/mm<sup>3</sup> ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %95,8'lik azalmayla 1,002 J/mm<sup>3</sup> değerine düştüğü belirlenmiştir.

PP-APP-PER-SC kompozitlerinin gerilme-uzama grafikleri şekil 4.75'te verilmiştir. Çekme deneyi sonuçlarından elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk değerlerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.34'te verilmiştir. şekil 4.76'da PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi sonuçlarından elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve tokluk değerleri kıyaslamalı olarak grafik şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 4.75: PP-APP-PER-LH15C-1251-SC kompozitlerinin çekme eğrileri

Tablo 4.34: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi sonuçları

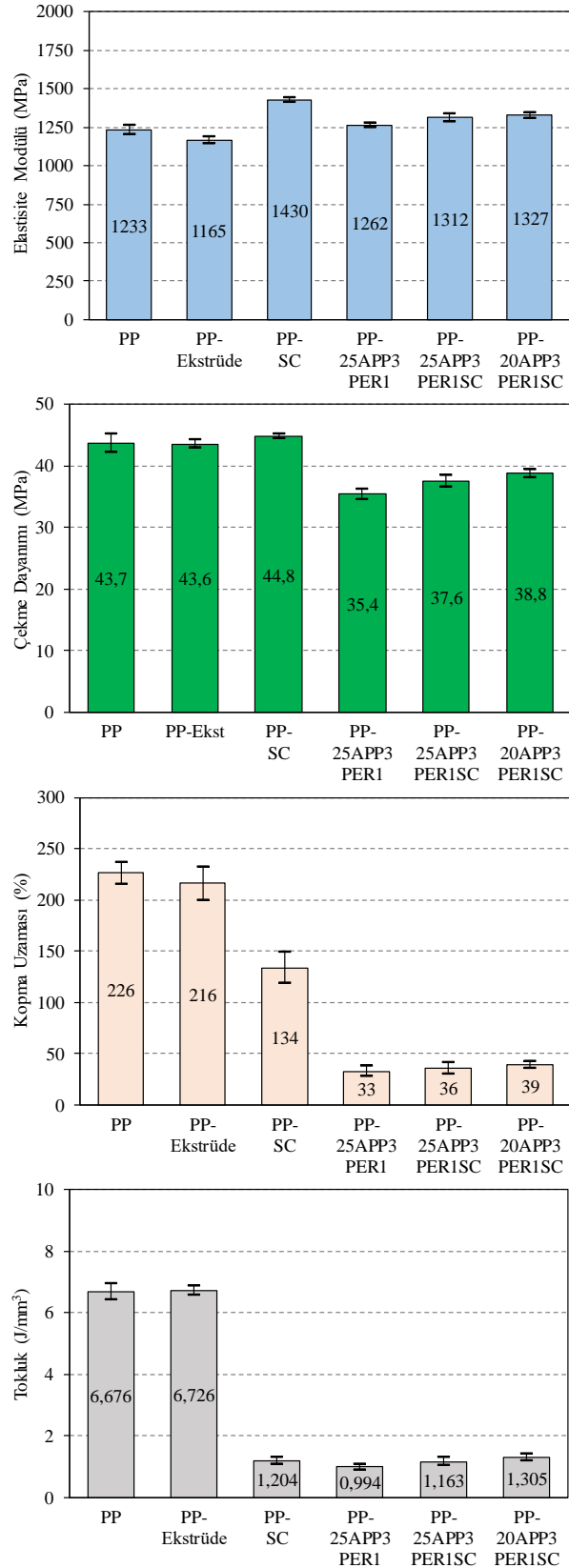
	Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Çekme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)	Kopma Uzaması (%)	Standart Sapma (SS)	Tokluk (J/mm <sup>3</sup> )	Standart Sapma (SS)
PP	1233±19	21	43,7±1,7	1,9	226±11	12	6,676±0,262	0,282
PP-Ekstrüde	1165±10	14	43,6±0,9	0,8	216±16	17	6,726±0,135	0,145
PP-SC	1430±15	10	44,8±0,4	1,1	134±15	12,602	1,204±0,11	0,111
PP-25APP3 PER1	1262±18	20	35,4±0,8	0,4	33±5	4,764	0,994±0,092	0,103
PP-25APP3 PER1SC	1312±24	18	37,6±0,9	0,3	36±5	6,747	1,163±0,127	0,133
PP-20APP3 PER1SC	1327±21	16	38,8±0,7	0,6	39±3	2,712	1,305±0,122	0,129

PP'in elastisite modülü 1233 MPa değerinde olduğu görülmüş olup ekstrüde edilmiş PP %5,5 azalmayla 1165 MPa değerine düştüğü buna karşın %2 SC ilavesiyle %16 artışla 1430 MPa değerine yükseldiği gözlemlenmiştir. %25 APP3PER1 ilavesiyle %2,4 artışla 1262 MPa, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %6,4 artışla 1312 MPa ve %20 APP3PER1SC %7,6 artışla 1327 MPa değerine çıktığı görülmüştür.

PP polimeri 43,7 MPa değerinde çekme dayanımına sahipken ekstrüde edilmiş PP'de dikkate değer bir değişim görülmemiş olup 43,6 MPa değerinde olduğu görülmüştür. %2 SC ilavesiyle %2,5 artışla 44,8 MPa değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %25 APP3PER1 ilavesiyle %19 azalmayla 35,4 MPa, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %14 azalmayla 37,6 MPa ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %11,2 azalmayla 38,8 MPa değerine düştüğü belirlenmiştir.

Kopma uzamalarında ise ekstrüde edilmiş PP %4,4 azalmayla %226 uzama değerinden %216 değerine düştüğü görülmüş olup %2 SC ilavesiyle %40,7

azalmayla %134'e düştüğü gözlemlenmiştir. %25 APP3PER1SC ilavesiyle %85,4 azalmayla %33, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %84,1 azalmayla %36 ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %82,7 azalmayla %39 değerine düştüğü tespit edilmiştir.



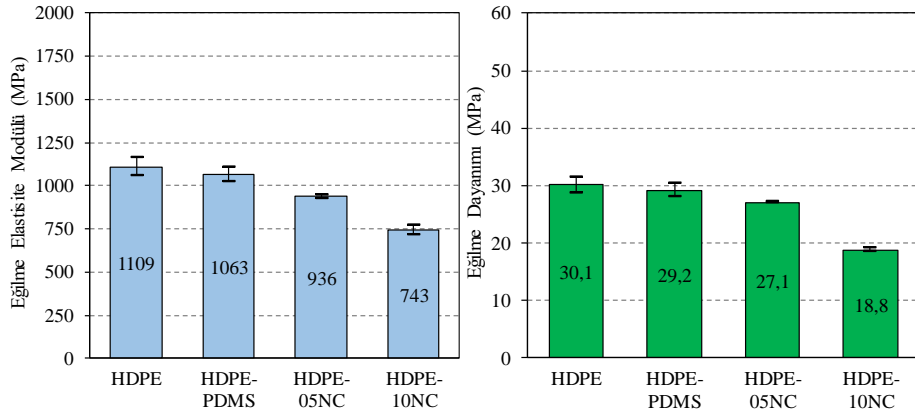
şekil 4.76: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin çekme deneyi grafikleri



PP polimerinin tokluk değeri  $6,676 \text{ J/mm}^3$  değerindeyken ekstrüde edilmiş PP'de  $6,726 \text{ J/mm}^3$  değeriyle dikkate değer bir değişim görülmezken %2 SC ilavesiyle %82 azalmayla  $1,204 \text{ J/mm}^3$  değerine düştüğü görülmüştür. %25 APP3PER1 ilavesiyle %85,1 azalmayla  $0,994 \text{ J/mm}^3$ , %25 APP3PER1SC ilavesiyle %82,6 azalmayla  $1,163 \text{ J/mm}^3$  ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %80,5 azalmayla  $1,305 \text{ J/mm}^3$  değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

#### 4.1.8 Üç nokta eğme deneyi sonuçları

HDPE-NC-PDMS polimerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları kıyaslamalı olarak Şekil 4.77'de verilmiştir. HDPE polimerine ilave edilen PDMS ve NC katkıları malzemenin eğilmede elastisite modülü ve eğilme dayanımı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Tablo 4.35'te eğilmede elastisite modülü ve eğilme dayanımı değerlerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.77: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri

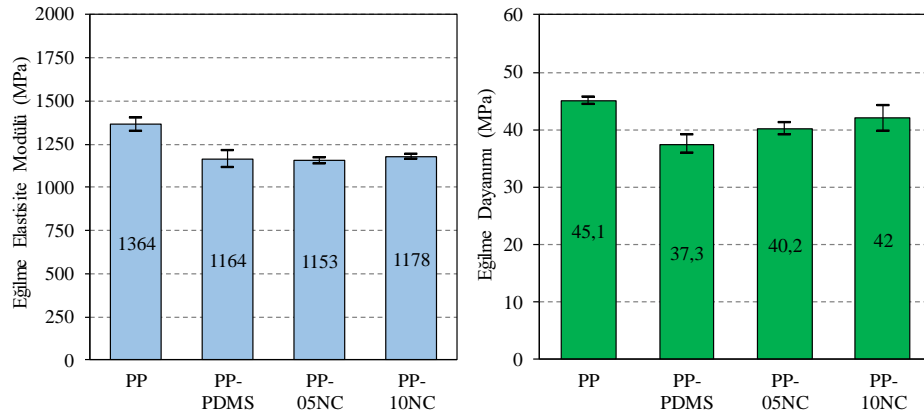
HDPE polimerinin eğilmede elastisite modülü değeri  $1109 \text{ MPa}$  iken %1 PDMS ilavesiyle %4,1'lik düşüşle  $1063 \text{ MPa}$  değerine düştüğü belirlenmiştir. %5 NC ilavesiyle %15,6'lık düşüşle  $936 \text{ MPa}$  ve %10 NC ilavesiyle %33'lük düşüşle  $743 \text{ MPa}$  değerine kadar indiği tespit edilmiştir.

Eğilme dayanımı değerlerinde ise katkısız HDPE polimerinin  $30,1 \text{ MPa}$  değerindeyken %1 PDMS ilaveli HDPE'de %3'lük düşüşle  $29,2 \text{ MPa}$  değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %5 NC ilavesi ile %10 düşüşle  $27,1 \text{ MPa}$  değerine ve %10 NC ilavesi ile %37,5 düşüşle  $18,8 \text{ MPa}$  değerine indiği görülmüştür.

Tablo 4.35: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları

	Eğilme Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)
HDPE	1109±53	43	30,1±1,4	1,2
HDPE-PDMS	1063±43	45	29,2±1,1	1,2
HDPE-05NC	936±10	10	27,1±0,1	0,1
HDPE-10NC	743±29	42	18,8±0,4	0,5

PP-NC-PDMS kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.78’de verilmiştir. PP matrise PDMS ve NC ilavesi eğilmede elastisite modülü ve eğilme dayanımı değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Sonuçlardan eğilmede elastisite modülü ve eğilme dayanımı değerlerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.78: PP-NC-PDMS kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri

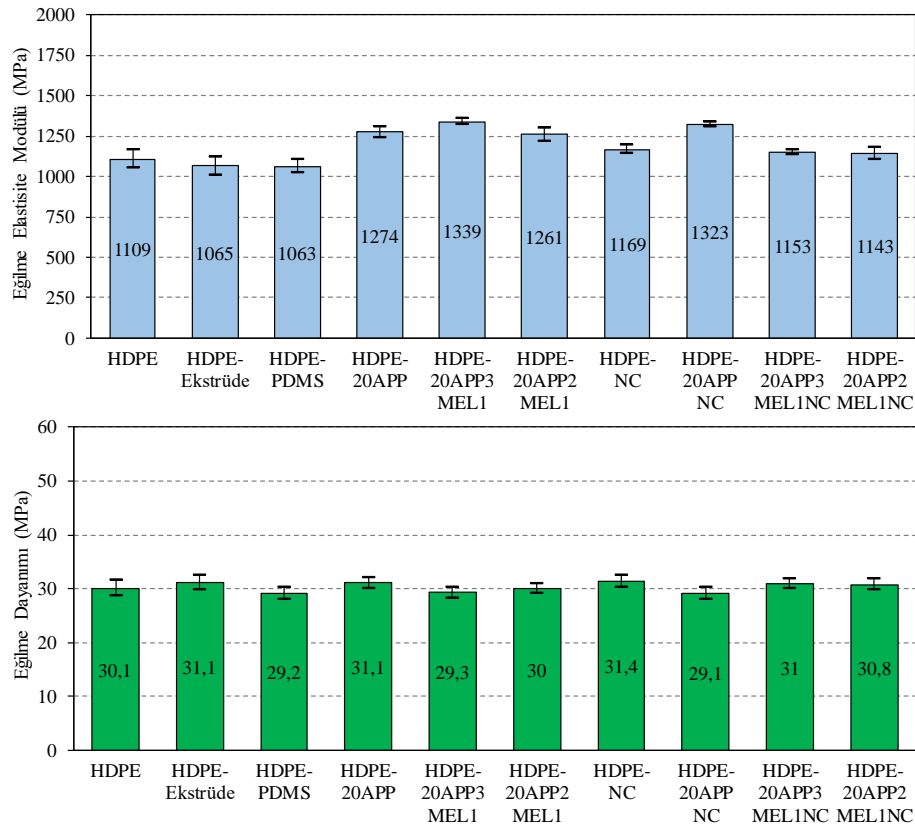
PP polimerine kütlece %1 PDMS ilavesi ile eğilmede elastisite modülü değerini 1364 MPa’dan %14,7 oranında azaltarak 1164 MPa değerine düşürdüğü belirlenmiştir. Kütlece %5 NC ilavesiyle %15,5 düşürerek 1153 MPa’a ve %10 NC ilavesiyle %13,6 oranında düşürerek 1178 MPa değerine indirdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.36: PP-NC-PDMS kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları

	Eğilme Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)
PP	1364±37	21	45,1±0,6	0,5
PP-PDMS	1164±40	40	37,3±1,5	1,5
PP-05NC	1153±16	16	40,2±1,1	1,5
PP-10NC	1178±16	22	42±2,3	3,2

Eğilme dayanımı değerlerinde ise katkısız PP polimerinde 45,1 MPa değerindeyken kütlece %1 PDMS ilavesiyle bu değer %17,3 azalarak 37,3 MPa değerine düştüğü bunun yanında %5 NC ilavesiyle %10,9 azalarak 40,2 MPa değerine ve %10 NC ilavesiyle %6,9 azalarak 42 MPa değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi sonuçları grafiksel olarak karşılaştırmalı bir biçimde Şekil 4.79’da verilmiştir. İlave edilen APP, MEL ve NC katkı maddeleri eğilmede elastisite modülü değerlerini dikkate değer bir şekilde arttırırken eğilme dayanımı değerlerini çok değiştirmemekle birlikte APP ilavesinin bir miktar arttırdığı gözlemlenmiştir. Deka ve Maji (2011)’nin çalışmasında, NC ilavesi ile bu değerlerin arttığını tespit etmişlerdir. Tablo 4.37’de eğilmede elastisite modülü ve eğilme dayanımı değerlerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.79: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri

Katkısız HDPE polimerinin eğilmede elastisite modülü değeri 1109 MPa iken ekstrüde edilmiş HDPE’de %4’lük düşüşle 1065 MPa, %1 PDMS ilavesiyle bu değer %4,1 düşüşle 1063 MPa değerine indiği görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %14,9 artışla 1274 MPa, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %20,7’lik artışla 1339 MPa ve %20

APP2MEL1 ilavesiyle %13,7'lik artışla 1261 MPa değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %5,4'lük artışla 1169 MPa, %20 APPNC ilavesiyle %19,3'lük artışla 1323 MPa, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %4'lük artışla 1153 MPa %20 APP2MEL1NC %3,1 artışla 1143 MPa değerine ulaştığı belirlenmiştir.

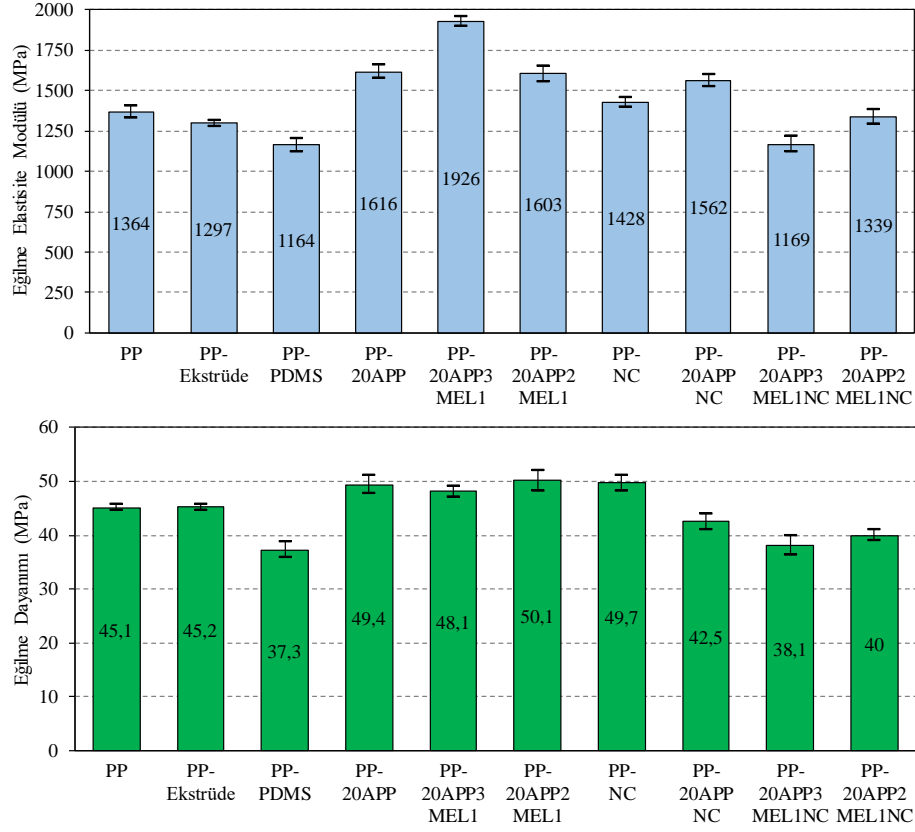
Eğilme dayanımında ise katkısız HDPE 30,1 MPa değerinde olduğu ekstrüde edilmiş HDPE'de %3,3'lük artış ile 31,1 MPa ve %1 PDMS ilave edildiğinde ise %3'lük azalmayla 29,2 MPa değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %3,3'lük artışla 31,1 MPa değerine buna karşın %20 APP3MEL1 ilavesiyle %2,7'lik düşüşle 29,3 MPa değerine ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %0,3'lük düşüşle 30 MPa değerine indiği görülmüştür. Kütlece %2 NC ilavesiyle %4,3'lük artışla 31,4 MPa, %20 APPNC ilavesiyle %3,3'lük düşüşle 29,1 MPa, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %3'lük artışla 31 MPa ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %2,3'lük artışla 30,8 MPa değerine çıkardığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.37: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları

	Eğilme Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)
HDPE	1109±53	43	30,1±1,4	1,2
HDPE-Ekstrüde	1065±56	49	31,1±1,3	0,9
HDPE-PDMS	1063±43	45	29,2±1,1	1,2
HDPE-20APP	1274±36	37	31,1±1	1
HDPE-20APP3MEL1	1339±17	21	29,3±1	0,9
HDPE-20APP2MEL1	1261±41	37	30±0,9	1
HDPE-NC	1169±29	25	31,4±1,2	1
HDPE-20APPNC	1323±13	15	29,1±1,1	1,1
HDPE-20APP3MEL1NC	1153±14	12	31±0,9	1
HDPE-20APP2MEL1NC	1143±37	33	30,8±1,1	1,2

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerde üç noktadan eğme deneyi sonuçları kıyaslamalı olarak Şekil 4.80'de verilmiştir. İlave edilen APP ve MEL katkıları eğilmede elastisite modüllerini artırırken NC ile birlikte ilave edildiğinde katkısız PP'den daha düşük değerlere inmesine neden olduğu belirlenmiştir. Benzer durum eğilme dayanımlarında da gözlemlenmiştir. Tablo 4.38'de eğilmede elastisite modülü ve eğilme dayanımlarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.





Şekil 4.80: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri

Katkısız PP polimerinin eğilmeye elastisite modülü değeri 1364 MPa iken ekstrüde edilmiş PP polimerinin %4,9'luk azalmayla 1297 MPa ve %1 PDMS ilavesiyle bu değer %14,7'lük azalmaya 1164 MPa değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesi ile dikkate değer bir artış olmuş %18,5'lik artışla 1616 MPa değerine ulaşmış ve %20 APP3MEL1 ilavesiyle bu değer %41,2'lik artışla en yüksek değerine 1926 MPa'a çıktığı bununla birlikte %20 APP2MEL1 ilavesiyle %17,5'lik artışla 1603 MPa değerine çıktığı görülmüştür. %2 NC ilavesiyle %4,7'lik artışla 1428 MPa, %20 APPNC ilavesiyle birlikte %14,5 artışla 1562 MPa buna karşın %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %14,3 azalmayla 1169 MPa ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %1,8'lik azalmayla 1339 MPa değerlerine düştüğü tespit edilmiştir.

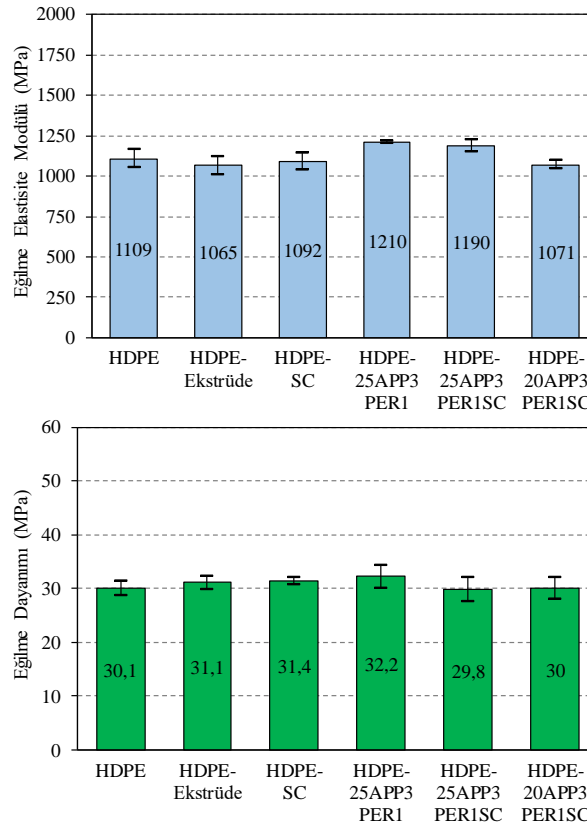
PP polimerinin eğilme dayanımı 45,1 MPa değerindeyken ekstrüde edilmiş PP %0,2'lik artışla 45,2 MPa ve %1 PDMS ilaveli PP %17,3'lük azalmayla 37,3 MPa değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %9,5'lik artışla 49,4 MPa, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %6,7'lik artışla 48,1 MPa ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %11,1'lik artışla 50,1 MPa değerine çıktığı görülmüştür. %2 NC ilavesiyle %10,2'lik artışla 49,7 MPa buna karşın %20 APPNC ilavesiyle %5,8'lik düşüşle

42,5 MPa, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %15,5'lik düşüşle 38,1 MPa ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %11,3 düşüşle 40 MPa değerine indiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.38: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları

	Eğilme Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)
PP	1364±37	21	45,1±0,6	0,5
PP-Ekstrüde	1297±21	12	45,2±0,5	0,4
PP-PDMS	1164±40	40	37,3±1,5	1,5
PP-20APP	1616±42	35	49,4±1,6	1,4
PP-20APP3MEL1	1926±31	32	48,1±1	0,8
PP-20APP2MEL1	1603±48	44	50,1±1,8	1,7
PP-NC	1428±32	35	49,7±1,5	1,5
PP-20APPNC	1562±39	34	42,5±1,5	1,3
PP-20APP3MEL1NC	1169±46	47	38,1±1,7	1,6
PP-20APP2MEL1NC	1339±46	42	40±1	0,8

HDPE-APP-PER-SC kompozitlerde üç noktadan eğme deneyi sonuçları kıyaslamalı olarak Şekil 4.81'de verilmiştir. Tablo 4.39'da eğilmede elastisite modülü ve eğilme dayanımlarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.81: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin üç noktadan eğilme deneyi grafikleri

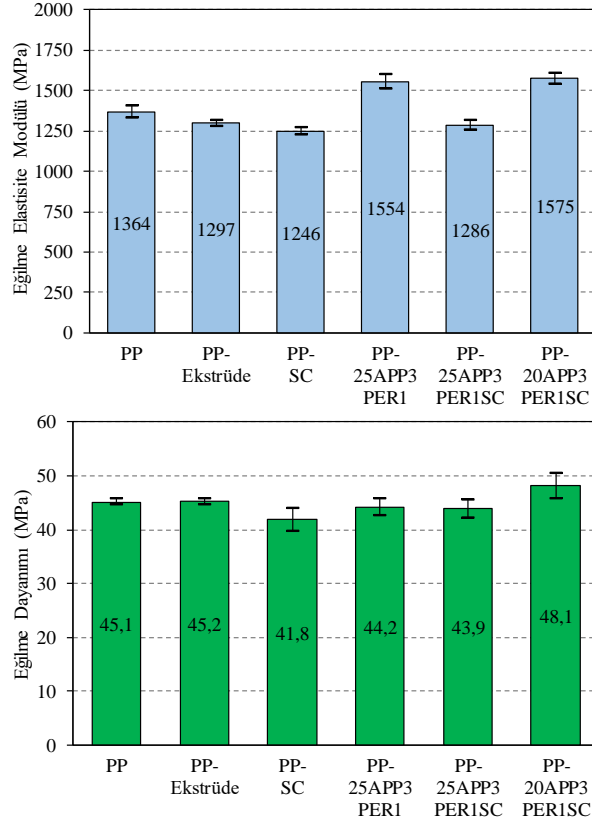
Tablo 4.39: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları

	Eğilme Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)
HDPE	1109±53	43	30,1±1,4	1,2
HDPE- Ekstrüde	1065±56	49	31,1±1,3	0,9
HDPE-SC	1092±51	43	31,4±0,7	0,7
HDPE-25APP3PER1	1210±8	11	32,2±2,2	2
HDPE-25APP3PER1SC	1190±36	35	29,8±2,2	1,9
HDPE-20APP3PER1SC	1071±28	28	30±2	1,6

HDPE'in eğilmeye elastisite modülü 1109 MPa değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE polimerinin %4'lük azalmayla 1065 MPa ve %5 SC ilavesiyle bu değer %1,5'lik azalmayla 1092 MPa değerine düştüğü görülmüştür. Kütlece %25 oranında APP3PER1 ilavesi ile %9,1'lik artışla 1210 MPa değerine ulaşmış ve %25 APP3PER1 ilavesiyle bu değer %7,3'lük artışla 1190 MPa değerine çıkmıştır buna karşın %20 APP3PER1SC ilavesiyle %3,4'lük azalmayla 1071 MPa değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

HDPE polimerinin eğilme dayanım 30,1 MPa değerinde olduğu ekstrüzyon işlemiyle bu değer %3,3'lük artış göstererek 31,1 MPa'a ve %5 SC ilavesiyle %4,3'lük artışla 31,4 MPa değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle %7'lik artışla 32,2 MPa değerine ulaştığı görülmüş olup %25 APP3PER1SC ilavesiyle %1'lik azalma görülmüştür. %20 APP3PER1SC ilavesiyle dikkate değer bir değişim görülmemiştir.

PP-APP-PER-SC kompozitlerde üç noktadan eğme deneyi sonuçları Şekil 4.82'de verilmiş olup eğilmeye elastisite modülü ve eğilme dayanımlarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.40'ta verilmiştir. PP polimerinin eğilmeye elastisite modülü 1364 MPa değerindeyken ekstrüde edilmiş PP'de %4,9'lük azalmayla 1297 MPa ve %2 SC ilavesiyle bu değer %8,7 azalmayla 1246 MPa değerine düştüğü görülmüştür. PP-25APP3PER1 kompozitinde %13,9'lük artışla 1554 MPa değerine çıkarken %25 APP3PER1SC ilavesiyle %5,7'lik azalmayla 1286 MPa değerine düştüğü görülmektedir. %20 APP3PER1SC ilavesiyle %15,5 artışla 1575 MPa değerine çıktığı görülmüştür. Buna karşın Liu ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada PP matrisine kabaran alev geciktirici sistem ilavesiyle eğilmeye göre elastisite modülü değerlerinin düştüğünü gözlemlenmişlerdir.



Şekil 4.82: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin üç noktadan eğilme

PP polimerinin eğilme dayanımı 45,1 MPa değerindeyken ekstrüde edilmiş PP'de dikkate değer bir değişim gözlemlenmemiş olup 45,2 MPa değerinde olduğu buna karşın %2 SC ilavesiyle %7,3'lük azalmayla 41,8 MPa değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %25 APP3PER1 ilavesiyle %2 azalmayla 44,2 MPa, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %2,7'lik azalmayla 43,9 MPa değerine düşerken %20 APP3PER1SC ilavesiyle bu değer %6,7'lik artışla 48,1 MPa değerine çıktığı görülmüştür.

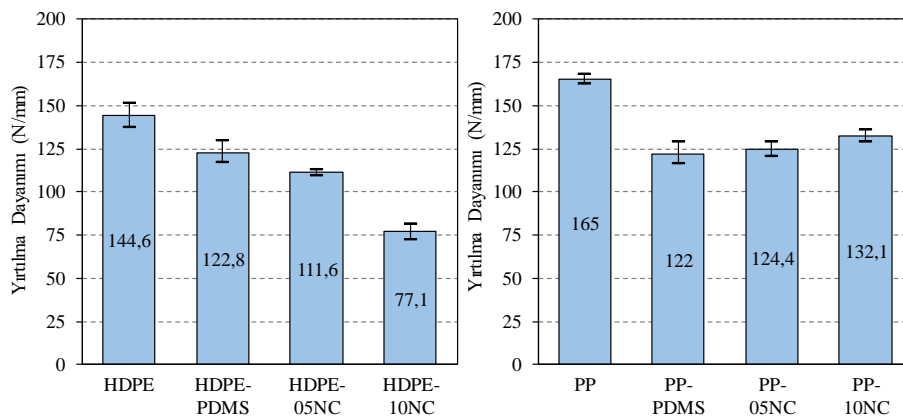
Tablo 4.40: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin üç nokta eğme deneyi sonuçları

	Eğilme Elastisite Modülü (MPa)	Standart Sapma (SS)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma (SS)
PP	1364±37	21	45,1±0,6	0,5
PP- Ekstrüde	1297±21	12	45,2±0,5	0,4
PP- SC	1246±23	20	41,8±2,1	1,1
PP-25APP3PER1	1554±47	39	44,2±1,6	0,7
PP-25APP3PER1SC	1286±31	14	43,9±1,7	1,2
PP-20APP3PER1SC	1575±35	32	48,1±2,4	0,8



#### 4.1.9 Yırılma deneyi

HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin yırılma deneylerinin sonuçları kıyaslamalı olarak Şekil 4.83'te verilmiştir. İlave edilen PDMS ve NC maddeleri polimerlerin yırılma dayanımlarını belirgin bir biçimde düşürdüğü gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Atay ve Çelik (2013) yaptıkları çalışmada ilave edilen katkı ve dolgu maddelerinin yırılma dirençlerini düşürdüğünü, partikül boyutu arttıkça daha da düştüğünü belirtmişlerdir. Tablo 4.41'de yırılma dayanımlarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.83: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin yırılma dayanımı grafikleri

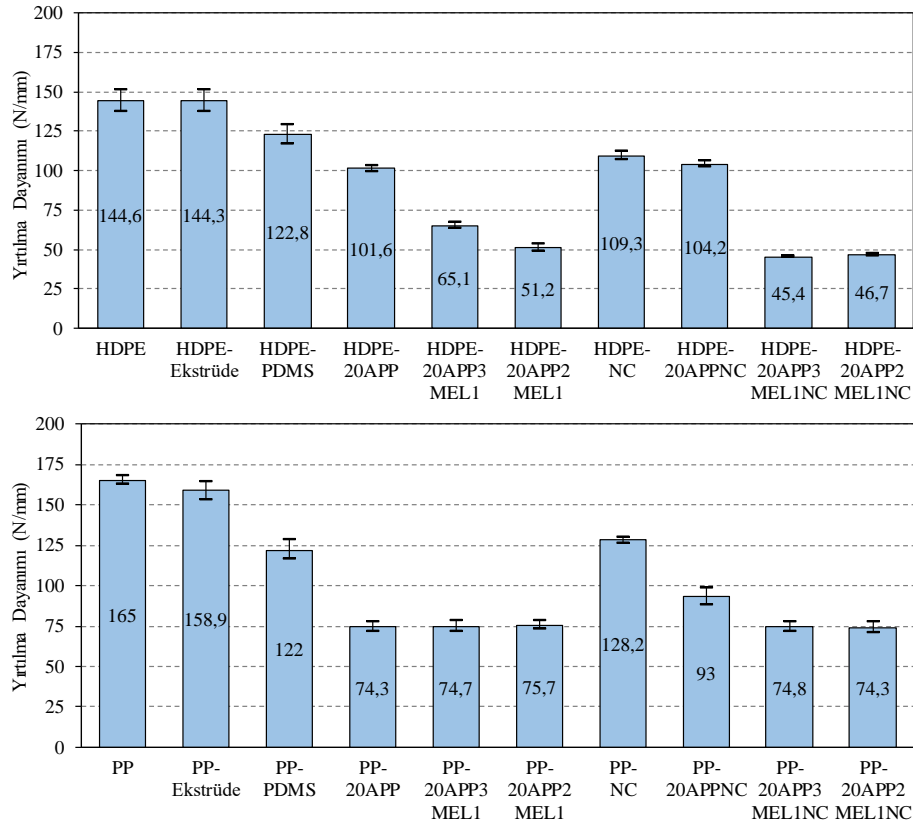
HDPE polimerinin yırılma dayanımı 144,6 N/mm iken %1 PDMS ilaveli HDPE'de %15,1 azalarak 122,8 N/mm, %5 NC ilaveli HDPE'de %22,8 azalarak 111,6 N/mm ve %10 NC ilaveli HDPE'de ise %46,7'lik azalmayla 77,1 N/mm değerine düştüğü görülmüştür. PP polimerinde ise yırılma dayanımı 165 N/mm, %1 PDMS ilaveli PP'de %26,1'lik azalmayla 122 N/mm, %5 NC ilavesiyle %24,6'lık azalmayla 124,4 N/mm ve %10 NC ilavesiyle %19,9'luk azalmayla 132,1 N/mm değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 4.41: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin yırılma dayanımı değerleri

	Yırılma Dayanımı (N/mm)	Standart Sapma (SS)		Yırılma Dayanımı (N/mm)	Standart Sapma (SS)
HDPE	144,6±4,5	5,8	PP	165±2,3	2,4
HDPE-PDMS	122,8±6,1	6,4	PP-PDMS	122±5,4	5,8
HDPE-05NC	111,6±1,9	2,1	PP-05NC	124,4±3,6	4,2
HDPE-10NC	77,1±4,8	4,9	PP-10NC	132,1±3,6	3,6

HDPE-PP-APP-MEL-NC kompozitlerinin yırılma dayanımı değerleri kıyaslamalı olarak Şekil 4.84'te verilmiştir. Tablo 4.42'de üretilen kompozit

malzemelerin yırtılma dayanımlarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir. İlave edilen APP, MEL, NC ve PDMS malzemeleri polimer kompozitin yırtılma dayanımı değerlerini belirgin şekilde düşürdüğü görülmüştür.



Şekil 4.84: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin yırtılma dayanımı grafikleri

Katkısız HDPE polimerinin yırtılma dayanımı değeri 144,6 N/mm iken ekstrüde edilmiş HDPE’de bu değer %0,2’lik azalmayla 144,3 N/mm’ye ve %1 PDMS ilavesiyle %15,1’lik azalmayla 122,8 N/mm değerine düştüğü tespit edilmiştir. Kütlece %20 APP ilavesiyle %29,7 düşüşle 101,6 N/mm, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %55 düşüşle 65,1 N/mm ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %64,6’lık düşüşle 51,2 N/mm değerine kadar indiği gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %24,4’lük düşüşle 109,3 N/mm, %20 APPNC ilavesiyle %27,9 düşüşle 104,2 N/mm, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %68,6’lık düşüşle 45,4 N/mm ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %67,7’lik düşüşle 46,7 N/mm değerine indiği belirlenmiştir.

PP polimerinin yırtılma dayanımı değeri 165 N/mm değerindeyken ekstrüde edilmiş PP’de bu değer %3,7’lik azalmayla 158,9 N/mm’ye ve %1 PDMS ilavesiyle

%26,1 azalmayla 122 N/mm değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesi ile %55 azalmayla 74,3 N/mm, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %54,7'lik azalmayla 74,7 N/mm ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %54,1'lik azalmayla 75,7 N/mm değerine düştüğü görülmüştür. %2 NC ilavesiyle %22,3'lük azalmayla 128,2 N/mm, %20 APPNC ilavesiyle %43,6'lık azalmayla 93 N/mm, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %54,7'lik azalmayla 74,8 N/mm ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %55'lik azalmayla 74,3 N/mm değerine kadar düştüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.42: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin yırtılma dayanımı değerleri

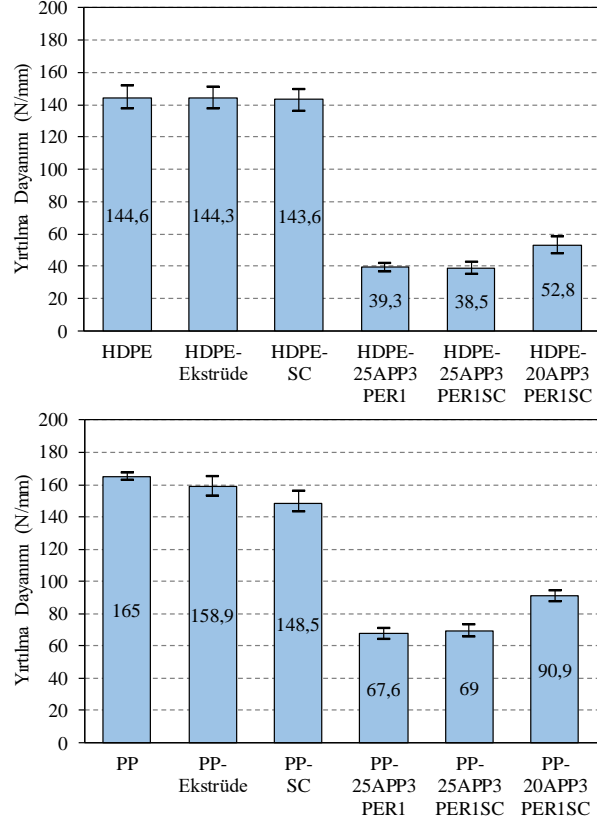
	Yırtılma Dayanımı (N/mm)	Standart Sapma (SS)		Yırtılma Dayanımı (N/mm)	Standart Sapma (SS)
HDPE	144,6±7	5,8	PP	165±2,3	2,4
HDPE- Ekstrüde	144,3±7	7	PP- Ekstrüde	158,9±5,8	5,8
HDPE-PDMS	122,8±6	4,6	PP-PDMS	122±5,4	5,8
HDPE-20APP	101,6±2	2	PP-20APP	74,3±2,9	2,9
HDPE-20APP3MEL1	65,1±2	1,6	PP-20APP3MEL1	74,7±3,1	3,4
HDPE-20APP2MEL1	51,2±3	2,6	PP-20APP2MEL1	75,7±2,4	2,5
HDPE-NC	109,3±3	2,6	PP-NC	128,2±1,6	1,6
HDPE-20APPNC	104,2±2	1,9	PP-20APPNC	93±5,1	5,2
HDPE-20APP3MEL1NC	45,4±1	0,5	PP-20APP3MEL1NC	74,8±2,9	2,9
HDPE-20APP2MEL1NC	46,7±1	0,7	PP-20APP2MEL1NC	74,3±3,3	3,3

HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yırtılma dayanımı değerleri Şekil 4.85'te verilmiştir. Tablo 4.43'te üretilen kompozit malzemelerin yırtılma dayanımlarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.

HDPE polimerinin yırtılma dayanımı 144,6 N/mm değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE ve %5 SC ilaveli HDPE'in yırtılma dayanımlarında dikkate değer bir değişim görülmemiştir. %25 APP3PER1 ilavesiyle %72,8 azalmayla 39,3 N/mm, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %73,4'lük azalmayla 38,5 N/mm ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %63,5'lik azalmayla 52,8 N/mm değerine düştüğü görülmüştür.

PP polimerinde ise ekstrüzyon işlemiyle %3,7 azalmayla 165 N/mm değerinden 158,9 N/mm değerine düştüğü görülmüş olup %2 SC ilavesiyle %10 azalmayla 148,5 N/mm değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %25 APP3PER1

ilavesiyle %59'luk azalmayla 67,6 N/mm, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %58,2 azalmayla 69 N/mm ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %44,9 azalmayla 90,9 N/mm değerine düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 4.85: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yırtılma dayanımı grafikleri

Tablo 4.43: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yırtılma dayanımı değerleri

	Yırtılma Dayanımı (N/mm)	Standart Sapma (SS)		Yırtılma Dayanımı (N/mm)	Standart Sapma (SS)
HDPE	144,6±7	5,8	PP	165±2,3	2,4
HDPE- Ekstrüde	144,3±7	7	PP- Ekstrüde	158,9±5,8	5,8
HDPE-SC	143,6±7,5	7,8	PP-SC	148,5±5,7	4,8
HDPE-25APP3PER1	39,3±2,7	2,7	PP-25APP3PER1	67,6±3,4	3,5
HDPE-25APP3PER1SC	38,5±3,7	3,7	PP-25APP3PER1SC	69±3,3	3,6
HDPE-20APP3PER1SC	52,8±5,2	5	PP-20APP3PER1SC	90,9±3,3	3,3

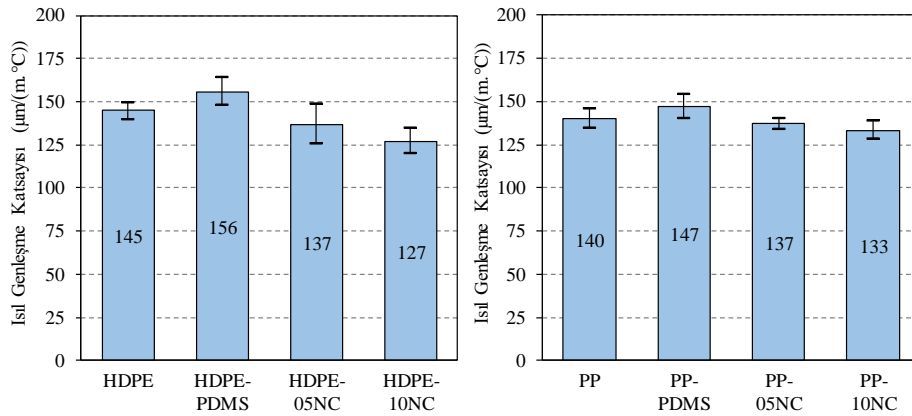


## 4.2 Termal ve Yanma Deney Sonuçları

Termal ve yanma deney sonuçlarından ısı genleşme, ısı iletkenlik, DSC, TGA, UL 94 ve LOI deneylerinin sonuçları verilmiştir. Deney sonuçlarında elde edilen verilerin ortalama, maksimum ve minimum değerleri ile birlikte standart sapma değerleri tablo şeklinde verilmiştir. Daha ayrıntılı kıyaslayabilmek için her bir üretim setinin karşılaştırmalı olarak grafikleri verilmiştir.

### 4.2.1 Isıl genleşme deneyi sonuçları

HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısı genleşme deneylerinin sonuçları kıyaslamalı olarak Şekil 4.86'da verilmiştir. İlave edilen PDMS PP ve HDPE polimerlerin ısı genleşme katsayılarını arttırırken NC ilavesiyle bu değer düşüğü gözlemlenmiştir. Pöllänen ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada kil ilavesi ile ısı genleşme katsayısı değerlerinin düşüğü gözlemlenmiştir.



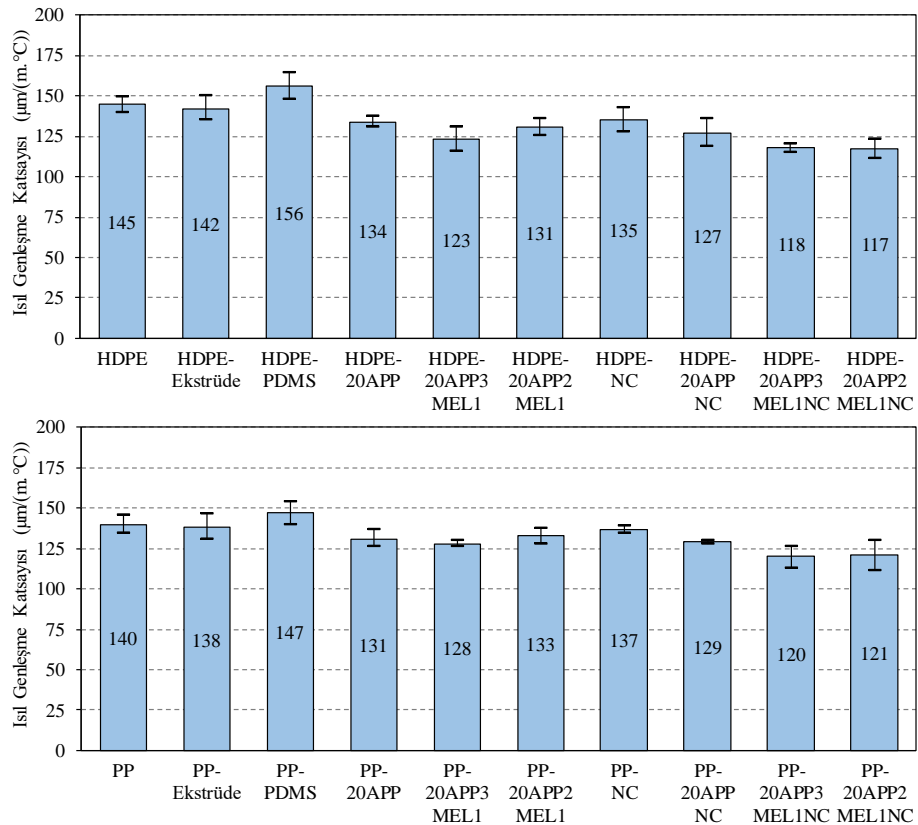
Şekil 4.86: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısı genleşme katsayısı grafikleri

HDPE polimerinin ısı genleşme katsayısı  $145 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerindeyken %1 PDMS ilaveli HDPE'de %7,6 artışla  $156 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine çıktığı buna karşın %5 NC ilavesiyle %5,5 azalmayla  $137 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ 'ye ve %10 NC ilavesiyle %12,4 azalmayla  $127 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ 'ye düşüğü gözlemlenmiştir. PP polimerinin ısı genleşme katsayısı  $140 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  iken %1 PDMS ilavesiyle %5 artışla  $147 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ 'ye buna karşın %5 NC ilavesiyle %2,1 azalmayla  $137 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  ve %10 NC ilavesiyle %5 azalmayla  $133 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine düşüğü görülmüştür. Tablo 4.44'te ısı genleşme katsayılarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Tablo 4.44: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısı genleşme katsayısı değerleri

	Isıl Genleşme Katsayısı ( $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$ )	Standart Sapma (SS)		Isıl Genleşme Katsayısı ( $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$ )	Standart Sapma (SS)
HDPE	145±5	5	PP	140±6	6
HDPE-PDMS	156±8	8	PP-PDMS	147±7	7
HDPE-05NC	137±11	11	PP-05NC	137±3	4
HDPE-10NC	127±7	7	PP-10NC	133±5	5

HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısı genleşme deneylerinin sonuçları kıyaslamalı olarak Şekil 4.87’de verilmiştir. İlave edilen PDMS katkısı maddesi PP ve HDPE polimerlerin ısı genleşme katsayılarını artırırken ekstrüzyon işlemi ve APP-MEL-NC ilavesinin bu değeri düşürdüğü belirlenmiştir. Üretilen polimer kompozitlerin ısı genleşme katsayılarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.45’te verilmiştir.



Şekil 4.87: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısı genleşme katsayısı grafikleri

Katkısız HDPE polimeri 145  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerinde iken ekstrüde edilmiş HDPE %2,1 azalmayla 142  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  buna karşın %1 PDMS ilavesiyle %7,6 artışla 156  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  çıktığı görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %7,6 azalmayla 134  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ , %20 APP3MEL1 ilavesiyle %15,2 azalmayla 123  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  ve %20

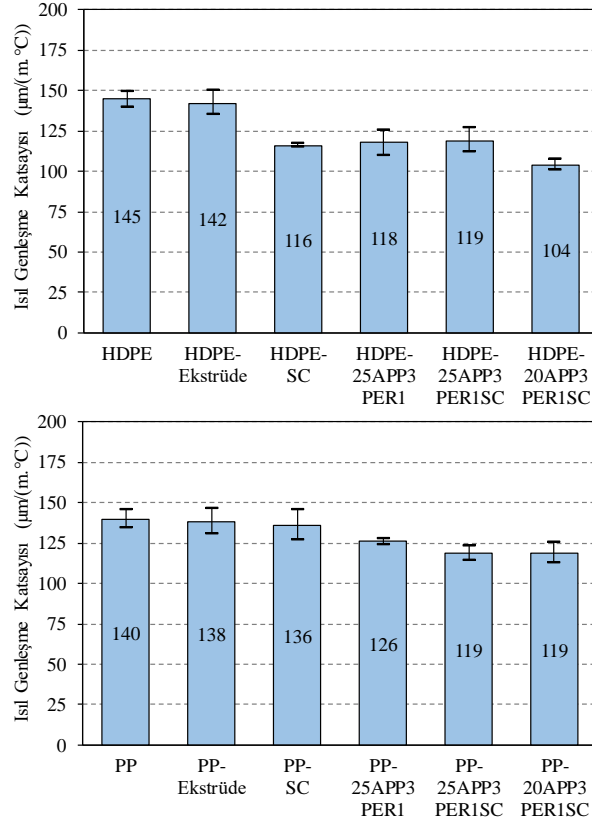
APP2MEL1 ilavesiyle bu değer %9,7 azalırken 131  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ 'e düştüğü gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %6,9'luk azalmayla 135  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ , %20 APPNC ilavesiyle %12,4'lük azalmayla 127  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ , %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %18,6'lük azalmayla 118  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %19,3'lük azalmayla 117  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine düştüğü görülmüştür.

PP polimeri 140  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  ısıl genleşme katsayısı değerine sahipken ekstrüde edilmiş PP %1,4 azalmayla 138  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  buna karşın %1 PDMS ilavesiyle %5 artışla 147  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine ıktığı görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %6,4'lük azalmayla 131  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ , %20 APP3MEL1 ilavesiyle %8,6'lük artışla 128  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %5'lik artışla 133  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %2,1'lik azalmayla 137  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ , %20 APPNC ilavesiyle %7,9'luk azalmayla 129  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ , %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %14,3'lük azalmayla 120  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %13,6 azalmayla 121  $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine indiği belirlenmiştir.

Tablo 4.45: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısıl genleşme katsayısı değerleri

	Isıl Genleşme Katsayısı ( $\mu\text{m}/\text{m}.\text{°C}$ )	Standart Sapma (SS)		Isıl Genleşme Katsayısı ( $\mu\text{m}/\text{m}.\text{°C}$ )	Standart Sapma (SS)
HDPE	145 $\pm$ 5	5	PP	140 $\pm$ 6	6
HDPE-Ekstrüde	142 $\pm$ 7	7	PP-Ekstrüde	138 $\pm$ 8	8
HDPE-PDMS	156 $\pm$ 8	8	PP-PDMS	147 $\pm$ 7	7
HDPE-20APP	134 $\pm$ 3	3	PP-20APP	131 $\pm$ 5	5
HDPE-20APP3MEL1	123 $\pm$ 8	8	PP-20APP3MEL1	128 $\pm$ 2	2
HDPE-20APP2MEL1	131 $\pm$ 5	5	PP-20APP2MEL1	133 $\pm$ 5	5
HDPE-NC	135 $\pm$ 7	8	PP-NC	137 $\pm$ 2	2
HDPE-20APPNC	127 $\pm$ 8	9	PP-20APPNC	129 $\pm$ 1	1
HDPE-20APP3MEL1NC	118 $\pm$ 3	3	PP-20APP3MEL1NC	120 $\pm$ 7	7
HDPE-20APP2MEL1NC	117 $\pm$ 6	6	PP-20APP2MEL1NC	121 $\pm$ 9	10

HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısıl genleşme deneylerinin sonuçları Şekil 4.88'de verilmiştir. Üretilen polimer kompozitlerin ısıl genleşme katsayılarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.46'da verilmiştir. APP, PER ve SC katkı maddelerinin ilavesinin ısı iletim katsayısı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir.



Şekil 4.88: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısıl genleşme katsayısı grafikleri

HDPE polimerinin ısıl genleşme katsayısı  $145 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerindeyken ekstrüzyon işlemi sonrası %2,1'lik azalmayla  $142 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ 'ye ve %5 SC ilavesiyle %20'lik azalmayla  $116 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine düştüğü görülmüştür. %25 APP3PER1 ilavesiyle %18,6'luk azalmayla  $118 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ , %25 APP3PER1SC ilavesiyle %17,9'luk azalmayla  $119 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %28,3'lük azalmayla  $104 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 4.46: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısıl genleşme katsayısı değerleri

	Isıl Genleşme Katsayısı ( $\mu\text{m}/\text{m}.\text{°C}$ )	Standart Sapma (SS)		Isıl Genleşme Katsayısı ( $\mu\text{m}/\text{m}.\text{°C}$ )	Standart Sapma (SS)
HDPE	$145 \pm 5$	5	PP	$140 \pm 6$	6
HDPE-Ekstrüde	$142 \pm 7$	7	PP-Ekstrüde	$138 \pm 8$	8
HDPE-SC	$116 \pm 1$	1	PP-SC	$136 \pm 9$	9
HDPE-25APP3PER1	$118 \pm 8$	8	PP-25APP3PER1	$126 \pm 2$	2
HDPE-25APP3PER1SC	$119 \pm 8$	8	PP-25APP3PER1SC	$119 \pm 4$	5
HDPE-20APP3PER1SC	$104 \pm 3$	3	PP-20APP3PER1SC	$119 \pm 6$	6

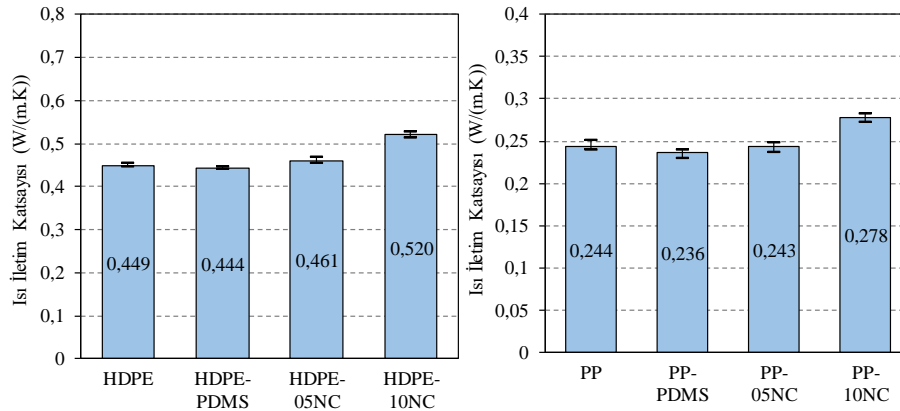
PP polimerinin ısıl genleşme katsayısı  $140 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ 'den ekstrüzyon işlemi sonrası %1,4'lük azalmayla  $138 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ 'ye ve %2 SC ilavesiyle %2,9'lük azalmayla  $136 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine düştüğü görülmüş olup %25 APP3PER1



ilavesiyle %18,6'lık azalmayla  $126 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$ , %25 APP3PER1SC ilavesiyle %15'lik azalmayla  $119 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %15'lik azalmayla  $119 \mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$  değerine düştüğü belirlenmiştir.

#### 4.2.2 Isıl iletkenlik deneyi sonuçları

HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısıl iletkenlik deneylerinin sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.89'da verilmiştir. PDMS ilavesi her iki polimerde çok az miktarda ısı iletim katsayılarını düşürmesine rağmen artan NC ilavesiyle arttırdığı gözlemlenmiştir. Bağlari ve diğ (2011) yaptıkları çalışmada dolgu maddesi ilavesi ile ısıl iletkenlik katsayısı değerlerinin arttığını ve artan miktarda dolgu maddesi ilave edildiğinde bir miktar daha arttığını gözlemlemişlerdir. Tablo 4.47'de ısıl genleşme katsayılarının ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.89: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısıl iletkenlik katsayısı grafikleri

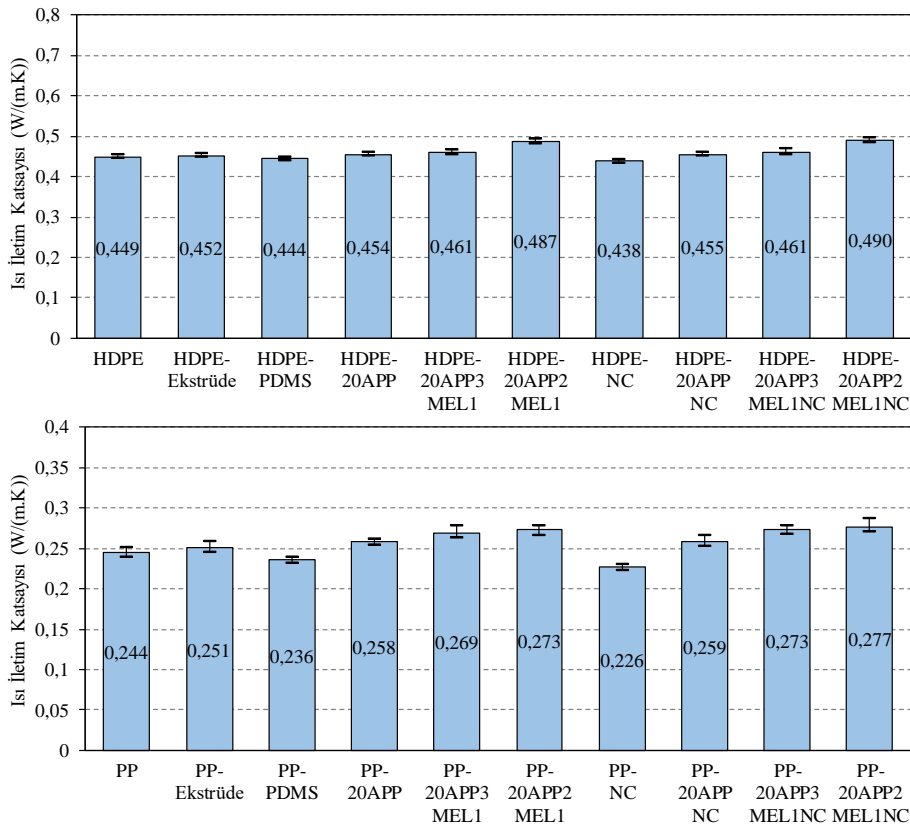
HDPE kompozitlerinde katkısız HDPE polimerinin ısıl iletkenlik katsayısı  $0,449 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$  değerindeyken %1 PDMS ilavesiyle bu değer %1,1'lik azalmayla  $0,444 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$  değerine düştüğü buna karşın %5 NC ilavesiyle %2,7'lik artışla  $0,461 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$  ve %10 NC ilavesiyle %15,8'lik artışla  $0,52 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$  değerine çıktığı görülmüştür.

Tablo 4.47: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin ısıl iletkenlik katsayısı değerleri

	Isıl İletim Katsayısı (W/(m.K))	Standart Sapma (SS)		Isıl İletim Katsayısı (W/(m.K))	Standart Sapma (SS)
HDPE	$0,449 \pm 0,004$	0,004	PP	$0,244 \pm 0,005$	0,004
HDPE-PDMS	$0,444 \pm 0,004$	0,002	PP-PDMS	$0,236 \pm 0,005$	0,004
HDPE-05NC	$0,461 \pm 0,007$	0,005	PP-05NC	$0,243 \pm 0,006$	0,004
HDPE-10NC	$0,52 \pm 0,007$	0,005	PP-10NC	$0,278 \pm 0,005$	0,003

Katkısız PP polimeri 0,244 W/(m.K) ısı iletkenlik katsayısı değerine sahipken %1 PDMS ilavesiyle bu değer %3,3'lük azalmayla 0,236 W/(m.K), %5 NC ilavesiyle %0,4 azalmayla 0,243 W/(m.K) değerine düştüğü görülmüş olup buna karşın %10 NC ilavesiyle %13,9'luk artışla 0,278 W/(m.K) değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısı iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları Şekil 4.90'da kıyaslamalı olarak verilmiştir. HDPE ve PP polimerlerine kütlece %1 PDMS ve kütlece %2 oranında NC ilavesiyle ısı iletkenlikleri bir miktar düştüğü buna karşın APP-MEL ilavesi ile bu değer bir miktar yükseldiği tespit edilmiştir. MEL oranı arttıkça ısı iletim katsayısı değerinin artış oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Isı iletim katsayısı değerlerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.90: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısı iletim katsayısı grafikleri

HDPE polimerinin ısı iletkenlik katsayısı 0,449 W/(m.K) değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE polimerinde %0,7'lik artışla 0,452 W/(m.K)'e buna karşın %1 PDMS ilavesiyle %1,1'lik azalmayla 0,444 W/(m.K) değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %1,1'lik artışla 0,454 W/(m.K), %20

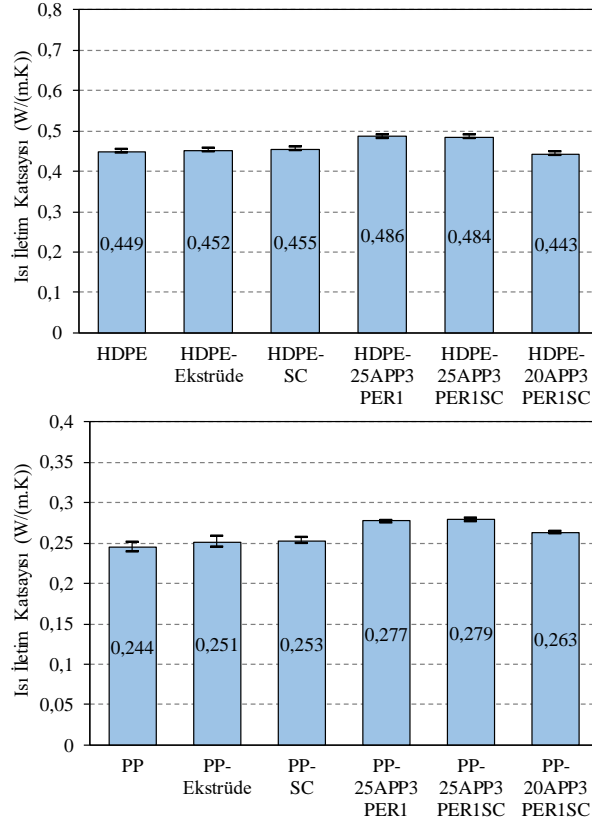
APP3MEL1 ilavesiyle %2,7'lik artışla 0,461 W/(m.K) ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle % 8,5'lik artışla 0,487 W/(m.K) değerine çıktığı görülmüştür. %2 NC ilavesiyle ısı iletim katsayısı değeri %2,4 oranında azalırken %20 APPNC ilavesiyle %1,3'lük artışla 0,455 W/(m.K) değerine, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %2,7'lik artışla 0,461 W/(m.K) ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %9,1 artışla 0,49 W/(m.K) değerine çıktığı tespit edilmiştir.

PP polimerinde ise ısı iletkenlik katsayısı 0,244 W/(m.K) iken ekstrüde edilmiş PP'de %2,9'luk artışla 0,252 W/(m.K) çıktığı buna karşın %1 PDMS ilavesiyle %3,5 azalmayla 0,236 W/(m.K)'e düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %5,7 artışla 0,258 W/(m.K), %20 APP3MEL1 ilavesiyle %10,1 artışla 0,269 W/(m.K) ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %11,6'lık artışla 0,273 W/(m.K) değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Kütlece %2 NC ilavesiyle %7,4 azalmayla 0,226 W/(m.K) değerine düştüğü buna karşın %20 APPNC ilavesiyle %5,9'luk artışla 0,259 W/(m.K), %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %11,8'lik artışla 0,273 W/(m.K) ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %13,2'lik artışla 0,277 W/(m.K) değerine çıktığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.48: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin ısı iletim katsayısı değerleri

	Isı İletim Katsayısı (W/(m.K))	Standart Sapma (SS)		Isı İletim Katsayısı (W/(m.K))	Standart Sapma (SS)
HDPE	0,449±0,004	0,004	PP	0,244±0,005	0,004
HDPE-Ekstrüde	0,452±0,004	0,004	PP-Ekstrüde	0,251±0,006	0,005
HDPE-PDMS	0,444±0,004	0,002	PP-PDMS	0,236±0,005	0,004
HDPE-20APP	0,454±0,004	0,004	PP-20APP	0,258±0,005	0,003
HDPE-20APP3MEL1	0,461±0,005	0,004	PP-20APP3MEL1	0,269±0,006	0,005
HDPE-20APP2MEL1	0,487±0,006	0,005	PP-20APP2MEL1	0,273±0,006	0,005
HDPE-NC	0,438±0,004	0,004	PP-NC	0,226±0,004	0,003
HDPE-20APPNC	0,455±0,004	0,003	PP-20APPNC	0,259±0,006	0,005
HDPE-20APP3MEL1NC	0,461±0,008	0,006	PP-20APP3MEL1NC	0,273±0,006	0,004
HDPE-20APP2MEL1NC	0,490±0,006	0,005	PP-20APP2MEL1NC	0,277±0,007	0,005

HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısıl iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları Şekil 4.91'de kıyaslamalı olarak verilmiş olup ısı iletim katsayısı değerlerinin ortalama, en yüksek, en düşük ve standart sapma değerleri Tablo 4.49'da verilmiştir. İlave edilen APP ve PER katkıları polimer malzemenin ısı iletim katsayısı değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.91: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısı iletim katsayısı grafikleri

HDPE polimerinin ısı iletim katsayısı 0,449 W/(m.K) değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE %0,7'lik artışla 0,452 W/(m.K), %5 SC ilavesiyle %1,3'lük artışla 0,455 W/(m.K)'e çıktığı görülmüştür. %25 APP3PER1 ilavesiyle %8,3'lük artışla 0,486 W/(m.K), %25 APP3PER1SC ilavesiyle %7,9'lük artışla 0,484 W/(m.K) değerine çıktığı buna karşın %20 APP3PER1SC ilavesiyle %1,3'lük azalmayla 0,443 W/(m.K) değerine düştüğü belirlenmiştir.

Tablo 4.49: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin ısı iletim katsayısı değerleri

	Isı İletim Katsayısı (W/(m.K))	Standart Sapma (SS)		Isı İletim Katsayısı (W/(m.K))	Standart Sapma (SS)
HDPE	0,449±0,004	0,004	PP	0,244±0,005	0,004
HDPE- Ekstrüde	0,452±0,004	0,004	PP- Ekstrüde	0,251±0,006	0,005
HDPE-SC	0,455±0,005	0,003	PP-SC	0,253±0,003	0,003
HDPE-25APP3PER1	0,486±0,004	0,003	PP-25APP3PER1	0,277±0,002	0,001
HDPE-25APP3PER1SC	0,484±0,005	0,003	PP-25APP3PER1SC	0,279±0,002	0,002
HDPE-20APP3PER1SC	0,443±0,003	0,003	PP-20APP3PER1SC	0,263±0,001	0,001

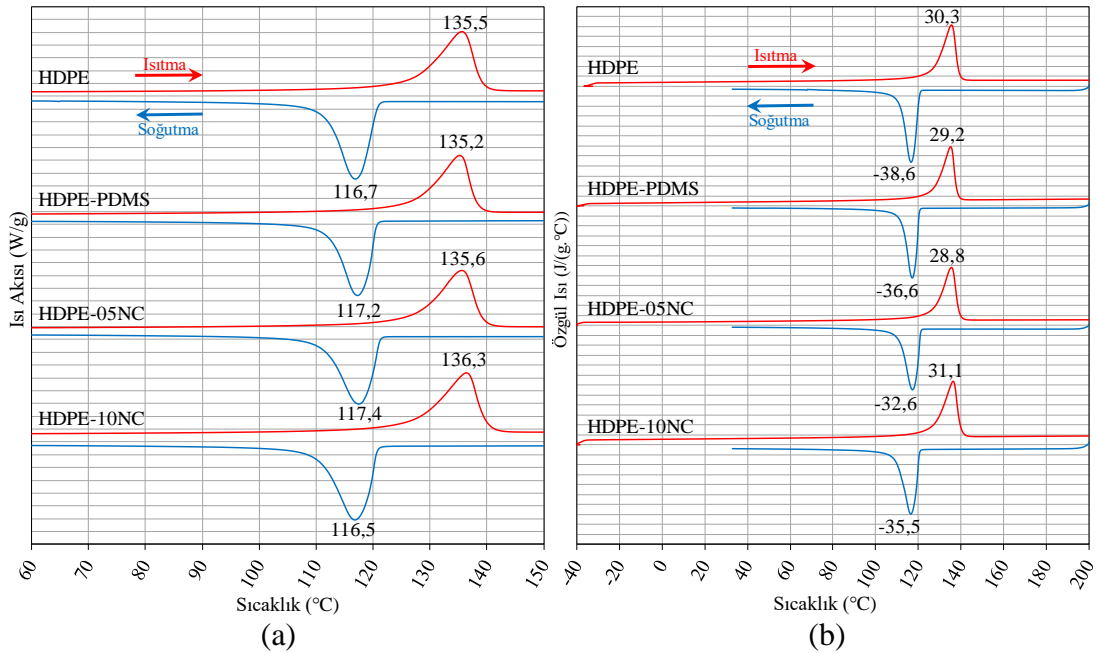
PP polimerinin ısı iletim katsayısı 0,244 W/(m.K) değerindeyken ekstrüzyon işlemi sonrası %2,9'lük artışla 0,251 W/(m.K) ve kütlece %2 SC ilavesiyle %3,4'lük artışla 0,253 W/(m.K) değerine çıktığı görülmüştür. %25 APP3PER1 ilavesiyle



%13,4'lük artışla 0,277 W/(m.K), %25 APP3PER1SC ilavesiyle %14,3'lük artışla 0,279 W/(m.K) ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %7,7'lik artışla 0,263 W/(m.K) değerine yükseldiği tespit edilmiştir.

### 4.2.3 DSC analizi

HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin Isı akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) grafiklerinin 2. ısıtma ve 2. soğutma eğrileri Şekil 4.92'de verilmiştir.



Şekil 4.92: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri

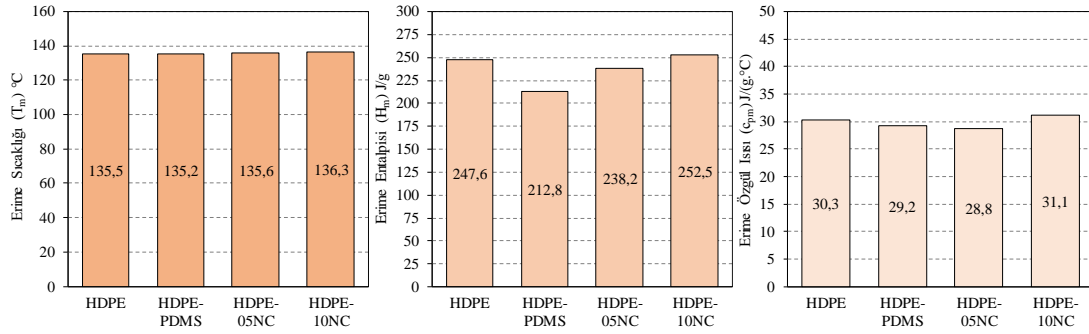
İlave edilen PDMS erime sıcaklığını düşürürken NC ilavesi ile bu değerin arttığı görülmüştür. Mevcut cihazda en düşük -50 °C'ye inilemediği ve HDPE'in camsı geçiş sıcaklığı -110 °C civarında olduğu için hesap edilememiştir. Tablo 4.50'de DSC sonuçları sayısal olarak verilmiştir.

Şekil 4.93'te kıyaslamalı olarak erime sıcaklığı, erime entalpisi ve erime özgül ısıları değerleri grafik şeklinde verilmiştir. HDPE polimerinin erime sıcaklığı 135,5 °C olarak bulunmuştur. PDMS ilavesiyle bu değer %0,2 azalmayla 135,2 °C'ye düşerken %5 NC ilavesiyle %0,1'lik artışla 135,6 °C'ye ve %10 NC ilavesiyle %0,6'lık artışla 136,3 °C'ye kadar yükseldiği gözlemlenmiştir.

Tablo 4.50: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin DSC sonuçları

	Erime			Kristallenme			Kristal Oranı % ( $X_c$ )
	Sıcaklık °C ( $T_m$ )	Entalpi J/g ( $H_m$ )	Özgül Isı J/(g.°C) ( $c_{pm}$ )	Sıcaklık °C ( $T_c$ )	Entalpi J/g ( $H_c$ )	Özgül Isı J/(g.°C) ( $c_{pc}$ )	
HDPE	135,5	247,6	30,3	116,7	-247,5	-38,6	85,4
HDPE-PDMS	135,2	212,8	29,2	117,2	-241,4	-36,6	74,1
HDPE-05NC	135,6	238,2	28,8	117,4	-219,9	-32,6	87,4
HDPE-10NC	136,3	252,5	31,1	116,5	-261,3	-35,5	97,8

HDPE polimerinin erime entalpisini 247,6 J/g olarak hesaplanmıştır. PDMS ilavesiyle bu değer %14,1 azalmayla 212,8 J/g'a, %5 NC ilavesiyle %3,8'lik azalmayla 238,2 J/g'a düşerken %10 NC ilavesiyle %2'lik artışla 252,5 J/g'a çıktığı görülmüştür.



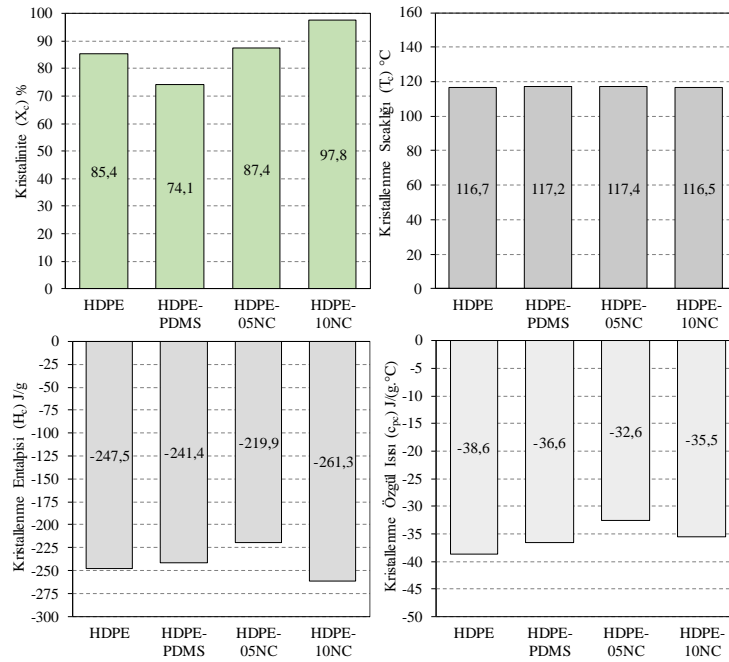
Şekil 4.93: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin  $T_m$ ,  $H_m$  ve  $c_{pm}$  grafikleri

Erime anında hesaplanan özgül ısı değeri ise katkısız HDPE polimerinde 30,3 J/(g.°C) iken PDMS ilavesi %3,6'lık azalmayla 29,2 J/(g.°C)'ye, %5 NC ilavesiyle %5'lik azalmayla 28,8 J/(g.°C)'ye düştüğü buna karşın %10 NC ilavesiyle %2,6'lık artışla 31,1 J/(g.°C)'ye çıktığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.94'te HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin kristal oranı, kristallenme sıcaklığı, kristallenme entalpisini ve kristallenme özgül ısısını değerleri kıyaslamalı olarak grafik halinde verilmiştir. HDPE'in kristallenme oranı %85,4 değerindeyken PDMS ilavesiyle bu değer %13,2 azalmayla %74,1, %5 NC ilavesiyle %2,3 artışla %87,4 ve %10 NC ilavesiyle %14,5'lik artışla %97,8 değerine kadar çıktığı görülmüştür.

Katkısız HDPE polimerinin kristallenme sıcaklığı 116,7 °C olduğu PDMS ilavesiyle %0,4'lük artışla 117,2 °C, %5 NC ilavesiyle %0,6'lık artışla 117,4 °C

olduğu buna karşın %10 NC ilavesiyle %0,2'lik azalmayla 116,5 °C'ye düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 4.94: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin  $X_c$ ,  $T_c$ ,  $H_c$  ve  $C_{pc}$  grafikleri

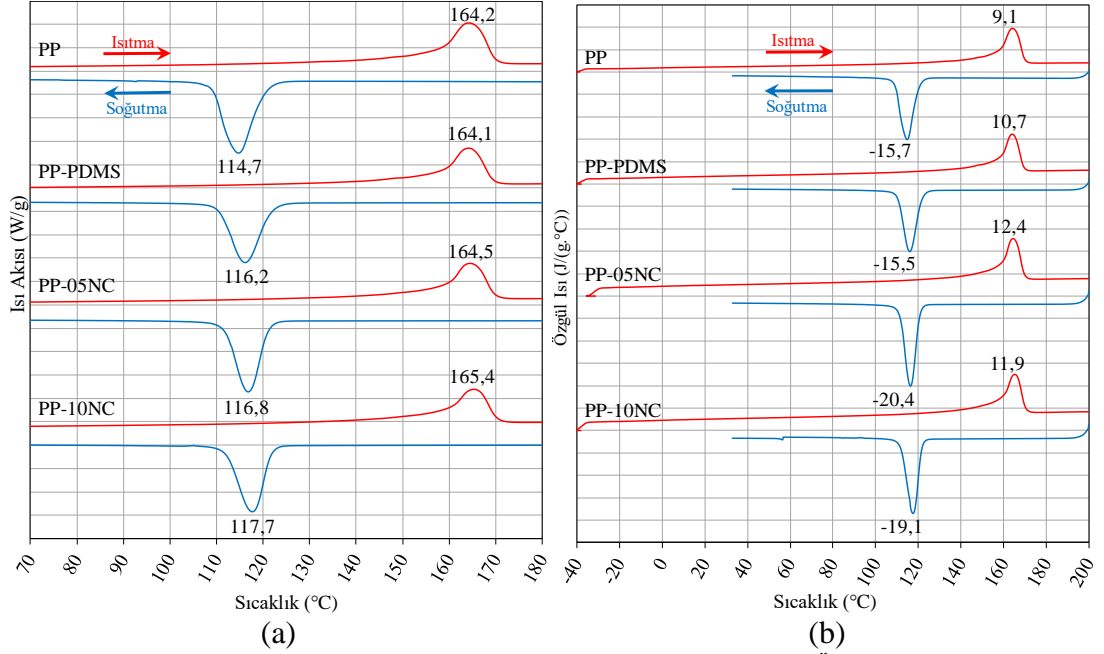
HDPE polimerinin kristallenme entalpisi -247,5 J/g değerindeyken PDMS ilavesiyle %2,5 artışla -241,4 J/g, %5 NC ilavesiyle %11,1 artışla -219,9 J/g değerine çıkarken %10 NC ilavesiyle bu değer %5,6'lık azalmayla -261,3 J/g değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

Kristallenme anındaki özgül ısılarında ise katkısız HDPE -38,6 J/(g.°C) değerine sahipken PDMS ilavesiyle %5,2 artışla -36,6 J/(g.°C), %5 NC ilavesiyle %15,5 artışla -32,6 J/(g.°C) çıkarken %10 NC ilavesiyle %8 artışla -35,5 J/(g.°C) değerine ulaştığı görülmüştür.

PP-NC-PDMS kompozitlerinin Isı akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) grafiklerinin 2. ısıtma ve 2. soğutma eğrileri Şekil 4.95'te verilmiştir. HDPE kompozitlere benzer şekilde ilave edilen PDMS erime sıcaklığını düşürürken NC ilavesi ile bu değer arttığı görülmüştür.

Tablo 4.51'de DSC deneyi sonuçlarından camsı geçiş sıcaklığı, erime ve kristallenme anındaki sıcaklık-entalpi-özgül ısı, ve kristal oranı değerleri verilmiştir. PP-NC-PDMS kompozitlerinin camsı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, erime entalpisi

ve erime özgül ısıları değerleri kıyaslamalı olarak grafik halinde Şekil 4.96'da verilmiştir.



Şekil 4.95: PP-NC-PDMS kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g·°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri

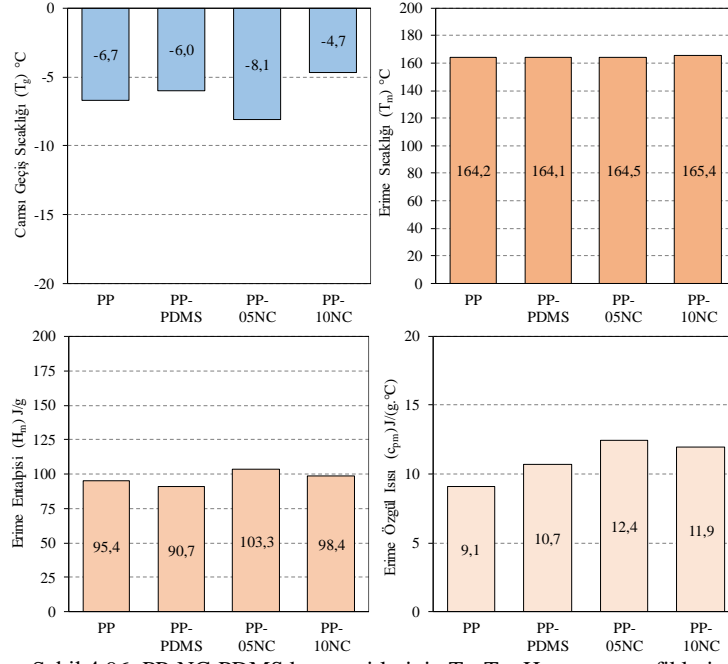
PP polimerinin camlı geçiş sıcaklığı değeri  $-6,7$  °C olarak hesaplanmıştır. PDMS ilavesiyle %10,4 artışla  $-6$  °C buna karşın %5 NC ilavesiyle %20,9 azalmayla  $-8,1$  °C değerine düştüğü görülmüştür. %10 NC ilavesiyle %29,9 artışla  $-4,7$  °C değerine çıktığı belirlenmiştir.

Katkısız PP'in erime sıcaklığı  $164,2$  °C değerindeyken PDMS ilavesiyle bu değer %0,1 azalmayla  $164,1$  °C'ye düşerken %5 NC ilavesiyle %0,2'lik artışla  $164,5$  °C'ye ve %10 NC ilavesiyle %0,7'lik artışla  $165,4$  °C'ye kadar yükseldiği görülmüştür.

Tablo 4.51: PP-NC-PDMS kompozitlerinin DSC sonuçları

	Camlı Geçiş Sıcaklığı °C ( $T_g$ )	Erime			Kristallenme			Kristal Oranı % ( $X_c$ )
		Sıcaklık °C ( $T_m$ )	Entalpi J/g ( $H_m$ )	Özgül Isı J/(g·°C) ( $c_{pm}$ )	Sıcaklık °C ( $T_c$ )	Entalpi J/g ( $H_c$ )	Özgül Isı J/(g·°C) ( $c_{pc}$ )	
PP	-6,7	164,2	95,4	9,1	114,7	-101,4	-15,7	45,7
PP-PDMS	-6	164,1	90,7	10,7	116,2	-101,6	-15,5	43,9
PP-05NC	-8,1	164,5	103,3	12,4	116,8	-113,8	-20,4	52,6
PP-10NC	-4,7	165,4	98,4	11,9	117,7	-108,3	-19,1	52,9





Şekil 4.96: PP-NC-PDMS kompozitlerinin T<sub>g</sub>, T<sub>m</sub>, H<sub>m</sub> ve c<sub>pm</sub> grafikleri

PP'in erime entalpisi 95,4 J/g değerindeyken PDMS ilavesiyle bu değer %4,9'luk düşüşle 90,7 J/g değerine düştüğü buna karşın %5 NC ilavesiyle %8,2 artışla 103,3 J/g ve %10 NC ilavesiyle %3,1'lik artışla 98,4 J/g değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

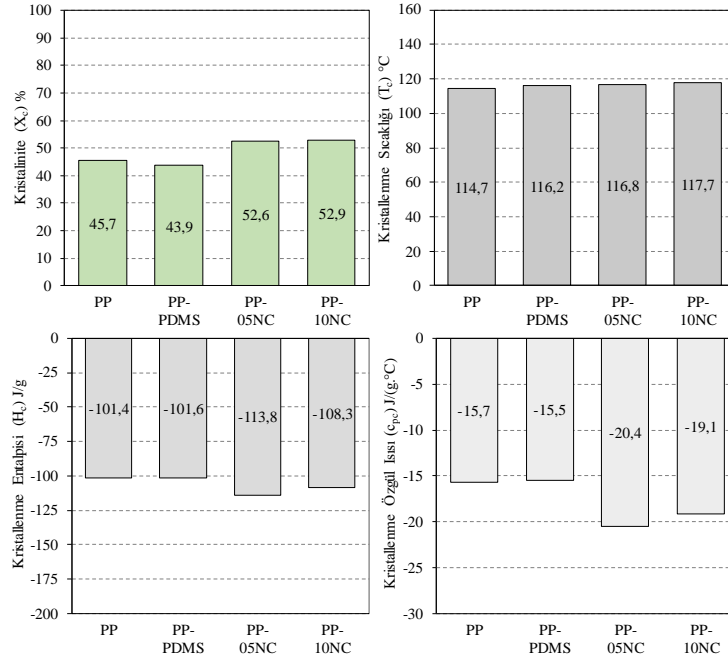
Erime anında hesaplanan özgül ısı değerine bakacak olursak PP'in 9,1 J/(g.°C) değerinde hesaplanırken PDMS ilavesiyle bu değer %17,6'lık artışla 10,7 J/(g.°C), %5 NC ilavesiyle %36,3'lük artışla 12,4 J/(g.°C) ve %10 NC ilavesiyle %30,8 artışla 11,9 J/(g.°C) değerine çıktığı görülmüştür.

PP-NC-PDMS kompozitlerinin kristal oranı, kristallenme sıcaklığı, kristallenme entalpisi ve kristallenme özgül ısıları değerleri Şekil 4.97'de verilmiştir. PP polimerinin kristallenme oranı %45,7 değerindeyken PDMS ilavesiyle bu değer %3,9'luk azalmayla %43,9 değerine düştüğü buna karşın %5 NC ilavesiyle %15,1'lik artışla %52,6'ya ve %10 NC ilavesiyle %15,8'lik artışla %52,9 değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

Katkısız PP malzemenin kristallenme sıcaklığı 114,7 °C olduğu PDMS ilavesiyle bu değer %1,3 arttığı, %5 NC ilavesiyle %1,8 oranında artışla 116,8 °C'ye çıktığı ve %10 NC ilavesiyle %2,6 artışla 117,7 °C değerine yükseldiği tespit edilmiştir. PP'in kristallenme entalpisi -101,4 J/g değerindeyken PDMS ilavesiyle

%0,2 azalmayla -101,6 J/g, %5 NC ilavesiyle %12,3 azalmayla -113,8 J/g ve %10 NC ilavesiyle -108,3 J/g değerine düştüğü görülmüştür.

PP polimerinin kristallenme anında özgül ısısı -15,7 J/(g.°C) değerindeyken PDMS ilavesiyle bu değer %1,3 artışla -15,5 J/(g.°C)'ye buna karşın %5 NC ilavesiyle %29,9 azalmayla -20,4 J/(g.°C) ve %10 NC ilavesiyle %21,7'lik azalmayla -19,1 J/(g.°C) değerine düştüğü belirlenmiştir.



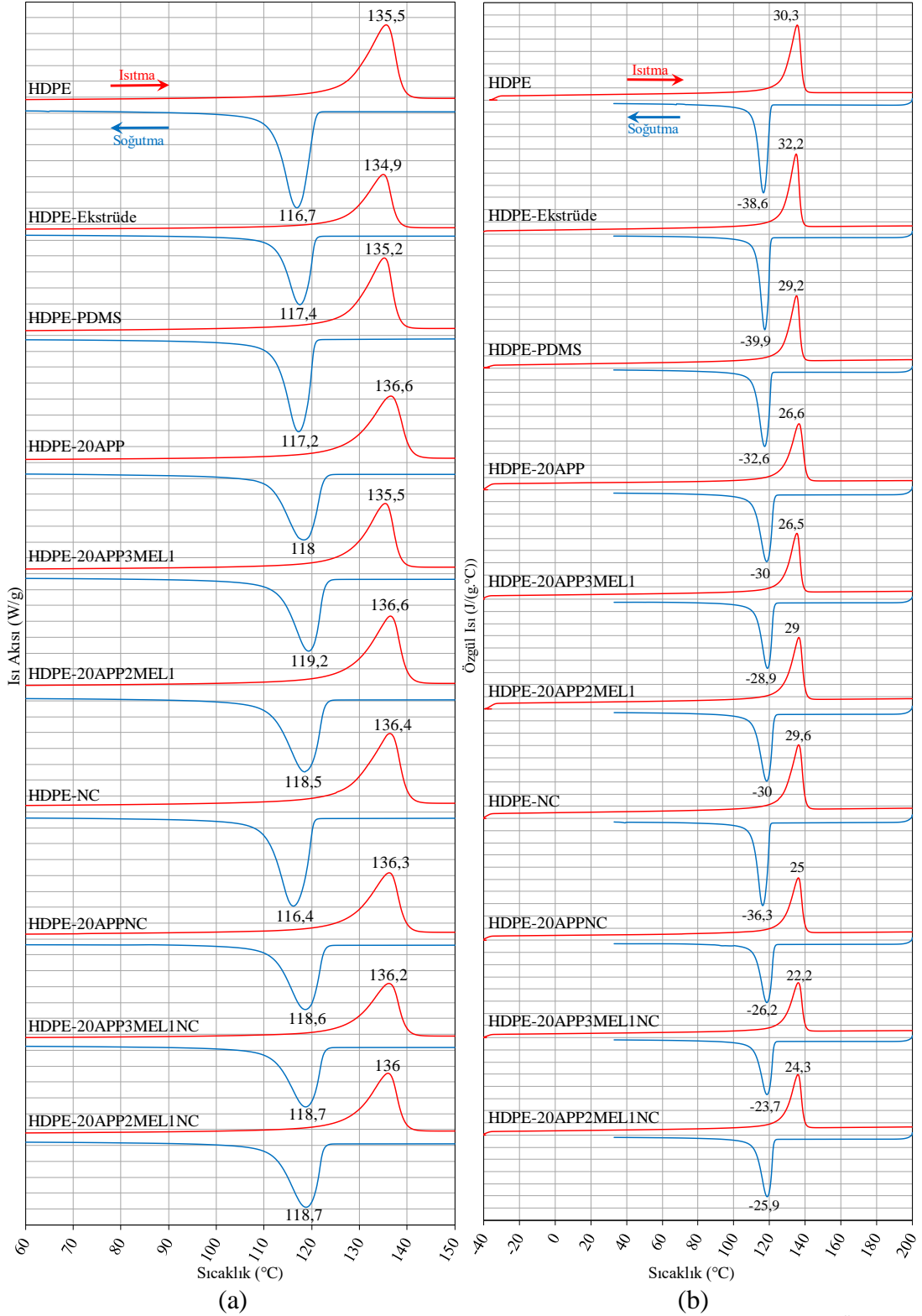
Şekil 4.97: PP-NC-PDMS kompozitlerinin X<sub>c</sub>, T<sub>c</sub>, H<sub>c</sub> ve c<sub>pc</sub> grafikleri

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin Isı akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) grafiklerinin 2. ısıtma ve 2. soğutma eğrileri Şekil 4.98'de verilmiştir. DSC deneylerinin sonuçları Tablo 4.52'de verilmiştir.

Tablo 4.52: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin DSC sonuçları

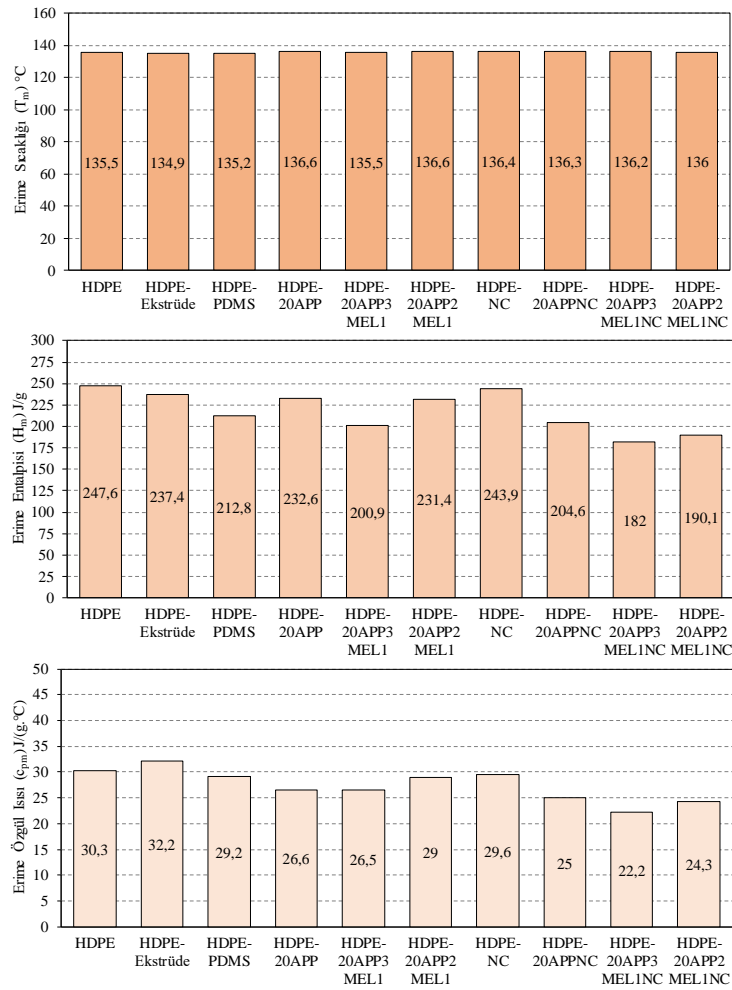
	Erime			Kristallenme			Kristal Oranı % (X <sub>c</sub> )
	Sıcaklık °C (T <sub>m</sub> )	Entalpi J/g (H <sub>m</sub> )	Özgül Isı J/(g.°C) (c <sub>pm</sub> )	Sıcaklık °C (T <sub>c</sub> )	Entalpi J/g (H <sub>c</sub> )	Özgül Isı J/(g.°C) (c <sub>pc</sub> )	
HDPE	135,5	247,6	30,3	116,7	-247,5	-38,6	85,4
HDPE-Ekstrüde	134,9	237,4	32,2	117,4	-231,2	-39,9	81,9
HDPE-PDMS	135,2	212,8	29,2	117,2	-241,4	-32,6	74,1
HDPE-20APP	136,6	232,6	26,6	118	-214,4	-30	99
HDPE-20APP3MEL1	135,5	200,9	26,5	119,2	-198,9	-28,9	85,5
HDPE-20APP2MEL1	136,6	231,4	29	118,5	-225,3	-30	98,5
HDPE-NC	136,4	243,9	29,6	116,4	-250,2	-36,3	87,5
HDPE-20APPNC	136,3	204,6	25	118,6	-187	-26,2	88,2
HDPE-20APP3MEL1NC	136,2	182	22,2	118,7	-176	-23,7	78,5
HDPE-20APP2MEL1NC	136	190,1	24,3	118,7	-180,9	-25,9	81,9

Ekstrüzyon işlemi ve ilave edilen PDMS erime sıcaklığını çok az miktarda düşürürken ilave edilen katkı malzemeleri oluşturulan HDPE kompozitlerin erime sıcaklığı değerlerini çok az miktarda arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.98: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g·°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri

Şekil 4.99’da erime sıcaklığı, erime entalpisi ve erime özgül ısı değerleri kıyaslamalı olarak grafik şeklinde verilmiştir.



Şekil 4.99: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin T<sub>m</sub>, H<sub>m</sub> ve c<sub>pm</sub> grafikleri

Ekstrüde edildikten sonra üretilen katkısız HDPE’in erime sıcaklığı %0,4 azalmayla 135,5 °C’den 134,9 °C’ye düştüğü, PDMS ilavesiyle %0,2 azalmayla 135,2 °C değerine düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %0,8 artışla 136,6 °C’ye, %20 APP3MEL1 ilavesiyle 135,5 °C ile katkısız HDPE ile aynı değere sahip olduğu ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %0,8 artışla 136,6 °C’ye çıktığı tespit edilmiştir. %2 NC ilavesiyle %0,7 artışla 136,4 °C’ye, %20 APPNC ilavesiyle %0,6 artışla 136,3 °C, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle 136,2 °C ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %0,4 artışla 136 °C’ye çıktığı gözlemlenmiştir.

Ekstrüde edilmiş HDPE’in erime entalpisi 247,6 J/g’dan %4,1 azalmayla 237,4 J/g’a düşerken PDMS ilavesiyle %14,1’lik azalmayla 212,8 J/g’a düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %6,1 azalmayla 232,6 J/g’a, %20 APP3MEL1



ilavesiyle %18,9'lük azalmayla 200,9 J/g ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %6,5'lik azalmayla 231,4 J/g değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %1,5 azalmayla 243,9 J/g, %20 APPNC ilavesiyle %17,4'lük azalmayla 204,6 J/g, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %26,5 azalmayla 182 J/g'a ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %23,2 azalmayla 190,1 J/g değerine düştüğü belirlenmiştir.

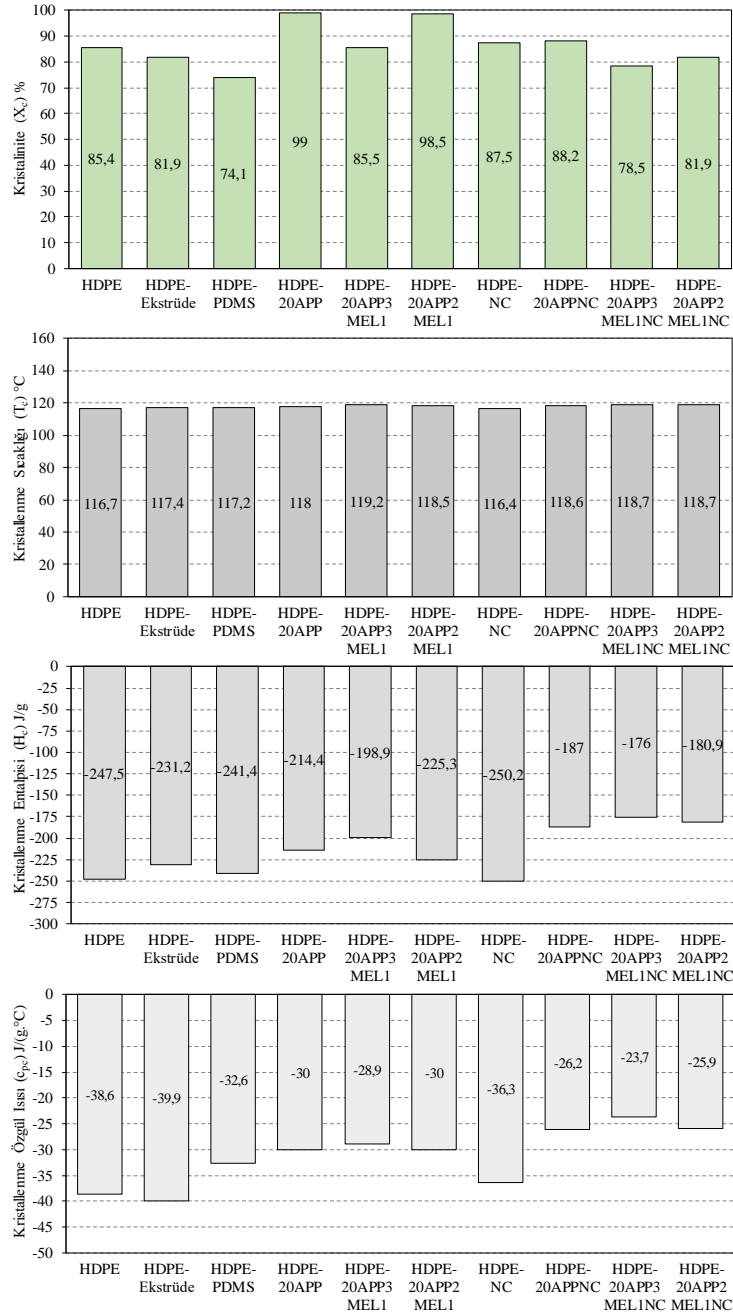
Erime özgül ısılarında ise katkısız HDPE 30,3 J/(g.°C) değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE'de %6,3'lük artışla 32,2 J/(g.°C) değerine buna karşın PDMS ilavesiyle %3,6'lık azalmayla 29,2 J/(g.°C) değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %12,2 azalmayla 26,5 J/(g.°C), %20 APP3MEL1 ilavesiyle %12,5 azalmayla 26,5 J/(g.°C) ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %4,3'lük azalmayla 29 J/(g.°C) değerine düştüğü belirlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %2,3'lük azalmayla 29,6 J/(g.°C), %20 APPNC ilavesiyle %17,5 azalmayla 25 J/(g.°C), %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %26,7'lik azalmayla 22,2 J/(g.°C) ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %19,8'lik azalmayla 24,3 J/(g.°C) değerine düştüğü görülmüştür.

HDPE polimerinin kristallenme oranı %85,4 değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE %4,1 azalmayla %81,9 ve PDMS ilavesiyle %13,2 azalmayla %74,1 değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %15,9 artışla %99, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %0,1 artışla %85,5 ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %15,3 artışla %98,5 değerine çıktığı belirlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %2,5'lik artışla %87,5, %20 APPNC ilavesiyle %3,3'lük artışla %88,2 buna karşın %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %8,1 azalmayla %78,5 ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %4,1 azalmayla %81,9 değerine düştüğü tespit edilmiştir.

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin kristal oranı, kristallenme sıcaklığı, kristallenme entalpisi ve kristallenme özgül ısısı sonuçları kıyaslamalı olarak grafik halinde Şekil 4.100'de verilmiştir.

HDPE'in kristallenme sıcaklığı 116,7 °C değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE'in %0,6 artışla 117,4 °C ve PDMS ilavesiyle bu değer %0,4'lüka artışla 117,2 °C'ye çıktığı görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %1,1 artışla 118 °C, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %2,1 artışla 119,2 °C ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %1,5 artışla 118,5 °C değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %0,3 azalmayla

116,4 °C'ye, %20 APPNC ilavesiyle %1,6 artışla 118,6 °C, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %1,7 artışla 118,7 °C ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %1,7 artışla 118,7 °C değerine ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 4.100: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin X<sub>c</sub>, T<sub>c</sub>, H<sub>c</sub> ve ΔS<sub>c</sub> grafikleri

Katkısız HDPE'in kristallelenme entalpisi -247,5 J/g değerindeyken ekstrüde edilmiş HDPE %6,6'lık azalmayla -231,2 J/g ve PDMS ilavesiyle %2,5 azalmayla -241,4 J/g değerine düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %13,4'lük azalmayla -214,4 J/g, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %19,6'lık azalmayla -198,9 J/g ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle de %9'lük azalmayla -225,3 J/g değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %1,1 artışla -250,2 J/g değerine çıkarken %20

APPNC %24,4'lük düşüşle -187 J/g, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %28,9 azalmayla -176 J/g ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %26,9 azalmayla -180,9 J/g değerine düştüğü tespit edilmiştir.

HDPE polimerinin kristallenme anında özgül ısısı -38,6 J/(g.°C) değerindeyken, ekstrüde edilmiş HDPE %3,4 artışla -39,9 J/(g.°C) ve PDMS ilavesiyle %15,5 azalmayla -32,6 J/(g.°C) değerine düştüğü görülmüştür. Polimer matrise %20 APP ilavesiyle %22,3 azalmayla -30 J/(g.°C) değerine, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %25,1 azalmayla -28,9 J/(g.°C) ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %22,3 azalmayla -30 J/(g.°C) değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %6'lık azalmayla -36,3 J/(g.°C), %20 APPNC ilavesiyle %32,1 azalmayla -26,2 J/(g.°C), %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %38,6 azalmayla -23,7 J/(g.°C) ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %32,9 azalmayla -25,9 J/(g.°C) değerine düştüğü belirlenmiştir.

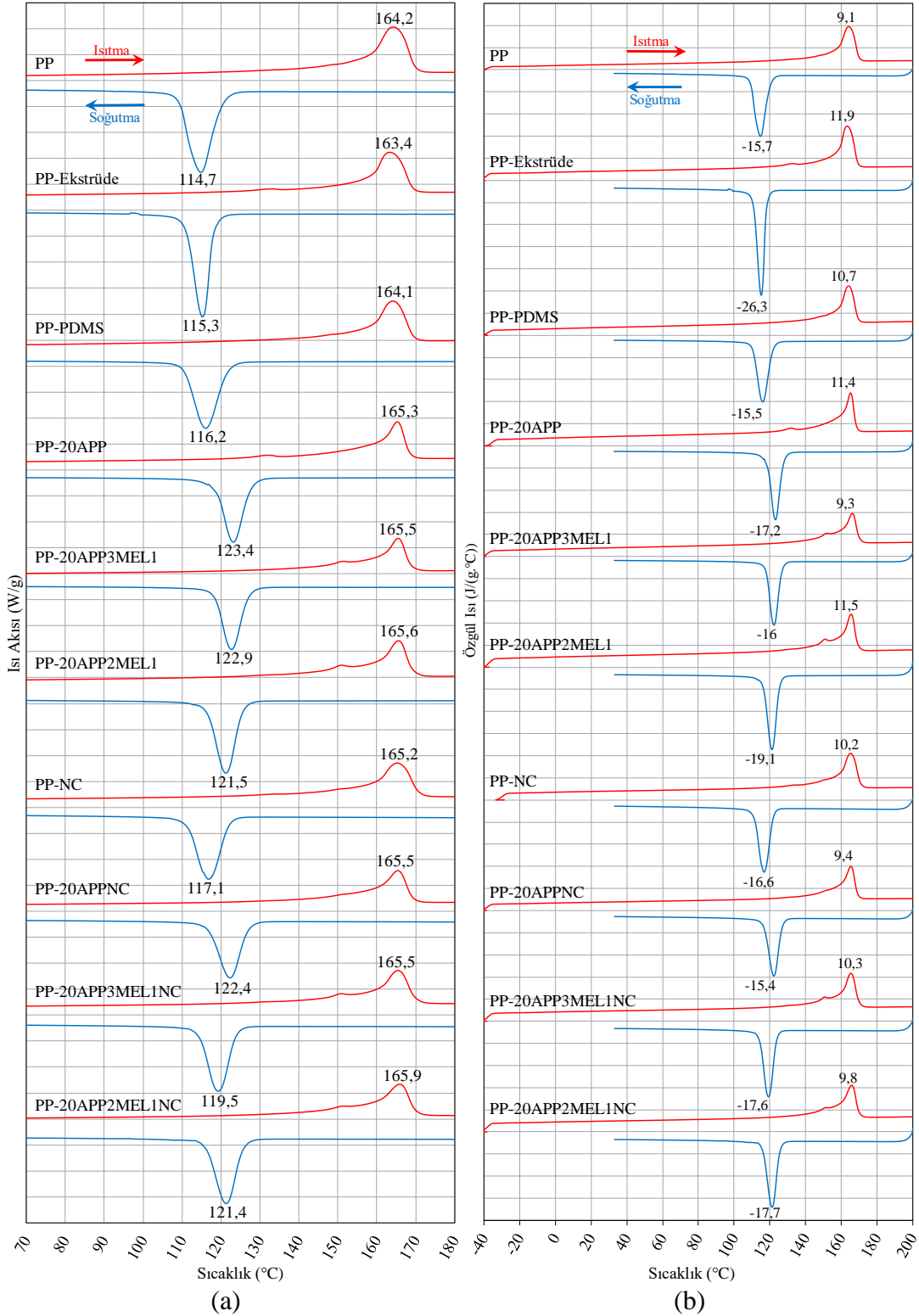
PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin Isı akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) grafiklerinin 2. ısıtma ve 2. soğutma eğrileri Şekil 4.101'de verilmiştir. DSC deneyinin sayısal sonuçları Tablo 4.53'te verilmiştir. Ekstrüzyon işlemi ve PDMS ilavesi erime sıcaklıklarını çok az miktarda düşürdüğü buna karşın APP, MEL ve NC ilavesinin bir miktar arttırdığı görülmüştür.

Tablo 4.53: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin DSC sonuçları

	Camsı Geçiş Sıcaklığı °C (T <sub>g</sub> )	Erime			Kristallenme			Kristal Oranı % (X <sub>c</sub> )
		Sıcaklık °C (T <sub>m</sub> )	Entalpi J/g (H <sub>m</sub> )	Özgül Isı J/(g.°C) (c <sub>pm</sub> )	Sıcaklık °C (T <sub>c</sub> )	Entalpi J/g (H <sub>c</sub> )	Özgül Isı J/(g.°C) (c <sub>pc</sub> )	
PP	-6,7	164,2	95,4	9,1	114,7	-101,4	-15,7	45,7
PP-Ekstrüde	-5,6	163,4	111,7	11,9	115,3	-120,6	-6,3	53,4
PP-PDMS	-6	164,1	90,7	10,7	116,2	-101,6	-15,5	43,9
PP-20APP	-8,8	165,3	92,9	11,4	123,4	-100,8	-17,2	57
PP-20APP3MEL1	-9,3	165,5	82,7	9,3	122,9	-86,8	-16	50,7
PP-20APP2MEL1	-4,3	165,6	94,2	11,5	121,5	-106,4	-19,1	57,8
PP-NC	-4,1	165,2	103,9	10,2	117,1	-102,7	-16,6	51,8
PP-20APPNC	-6,6	165,5	87,6	9,4	122,4	-88,7	-15,4	55,2
PP-20APP3MEL1NC	-5,7	165,5	96,2	10,3	119,5	-96,6	-17,6	60,6
PP-20APP2MEL1NC	-2,8	165,9	92,3	9,8	121,4	-101,4	-17,7	58,1

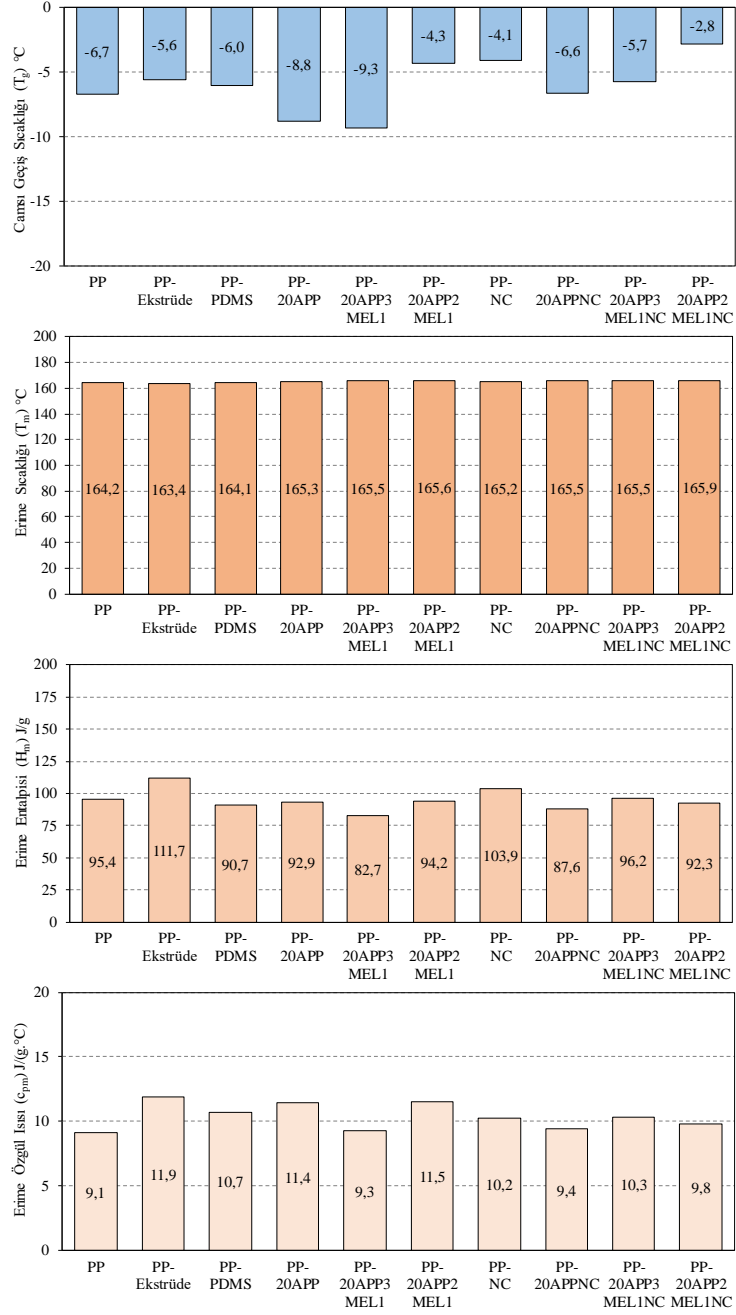
Şekil 4.102'de camsı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, erime entalpi ve erime özgül ısı değerleri kıyaslamalı olarak grafik şeklinde verilmiştir. Katkısız PP'in camsı geçiş sıcaklığı -6,7 °C değerindeyken ekstrüde edilmiş PP'in %16,4 artışla -5,6 °C'ye ve PDMS ilavesiyle %10,4 artışla -6 °C'ye çıktığı görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %31,3 azalmayla -8,8 °C'ye, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %38,8 azalmayla

-9,3 °C buna karşın %20 APP2MEL1 ilavesiyle %35,8 artışla -4,3 °C'ye çıktığı görülmüştür. %2 NC ilavesiyle %38,8 artışla -4,1 °C, %20 APPNC ilavesiyle %1,5'lik artışla -6,6 °C, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %14,9'luk artışla -5,7 °C ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %58,2 artışla -2,8 °C'ye çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.101: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g·°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri





Şekil 4.102: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin T<sub>g</sub>, T<sub>m</sub>, H<sub>m</sub> ve c<sub>pm</sub> grafikleri

PP polimerinin erime sıcaklığı 164,2 °C değerindeyken ekstrüde edilmiş PP'in ise %0,5 azalmayla 163,4 °C ve PDMS ilavesiyle %0,1 azalmayla 164,1 °C'ye düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %0,7 artışla 165,5 °C, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %0,8'lik artışla 165,5 °C ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %0,9'luk artışla 165,6 °C değerine çıktığı belirlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %0,6 artışla 165,2 °C, %20 APPNC ilavesiyle %0,8 artışla 165,5 °C, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %0,8 artışla 165,5 °C ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %1'lik artışla 165,9 °C'ye çıktığı tespit edilmiştir.

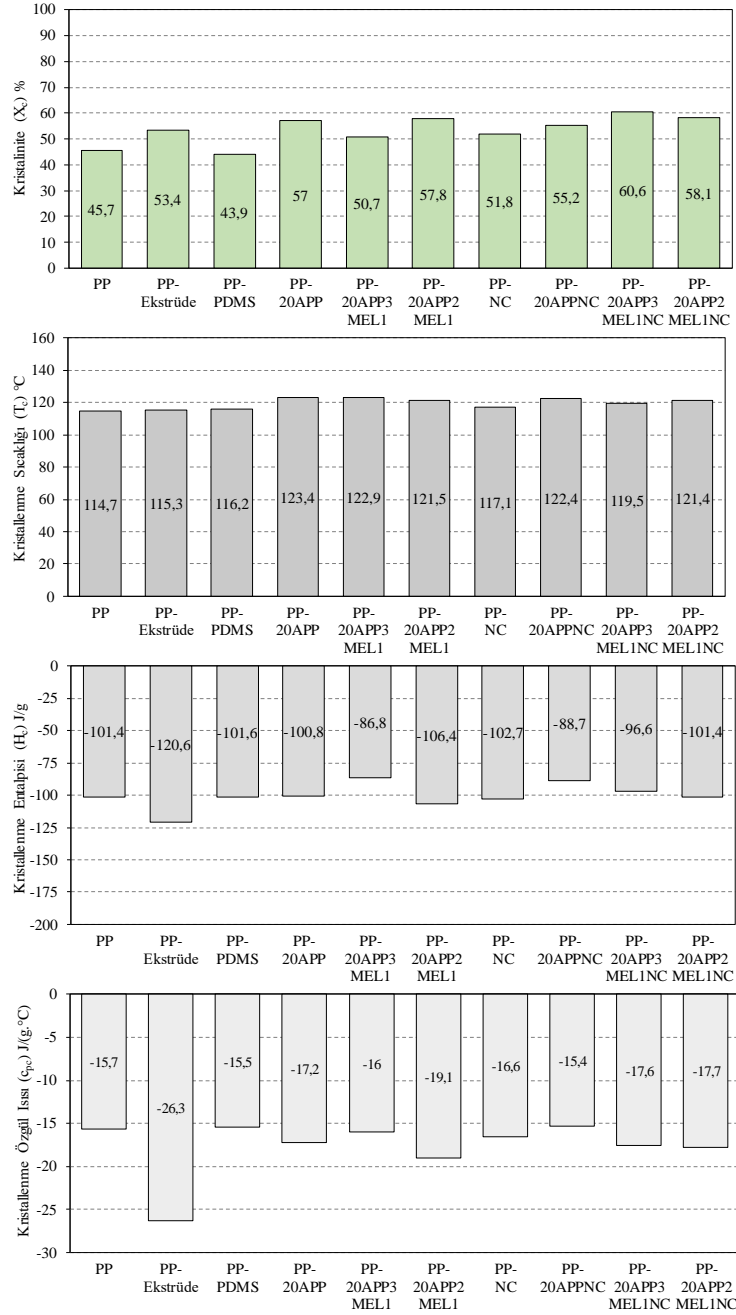
PP'in erime entalpisi 95,4 J/g değerinde olduğu, ekstrüde edilmiş PP'in %17,1'lik artışla 111,7 J/g değerine çıktığı buna karşın PDMS ilavesinin %4,9 azalmayla 90,7 J/g değerine düştüğü görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %2,6'lık azalmayla 92,9 J/g, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %13,3'lük azalmayla 82,7 J/g'a indiği ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %1,3'lük azalmayla 94,2 J/g değerine düştüğü belirlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %8,9 artışla 103,9 J/g değerine çıktığı buna karşın %20 APPNC ilavesiyle %8,2 azalmayla 87,6 J/g'a, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %0,8'lik artışla 96,2 J/g değerine çıktığı ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %3,2 azalmayla 92,3 J/g değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

Katkısız PP polimerinin erime özgül ısısı 9,1 J/(g.°C) değerindeyken ekstrüde edilmiş PP'de %30,8'lik artışla 11,9 J/(g.°C) değerine çıktığı ve PDMS ilavesiyle %17,6 artışla 10,7 J/(g.°C) değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %25,3 artışla 11,4 J/(g.°C), %20 APP3MEL1 ilavesiyle %2,2'lik artışla 9,3 J/(g.°C) ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %26,4'lük artışla 11,5 J/(g.°C) değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %12,1 artışla 10,2 J/(g.°C), %20 APPNC ilavesiyle %3,3'lük artışla 9,4 J/(g.°C), %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %13,2 artışla 10,3 J/(g.°C)'ye ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %7,7'lik artışla 9,8 J/(g.°C) değerine çıktığı belirlenmiştir.

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin kristal oranı, kristallenme sıcaklığı, entalpisi ve özgül ısı değerleri kıyaslamalı olarak grafik Şekil 4.103'te verilmiştir. Katkısız PP'in kristal oranı %45,7 değerindeyken ekstrüde edilmiş PP %16,8 artışla bu değer %53,4'e çıktığı buna karşın PDMS ilavesiyle bu değer %3,9'lük azalmayla %43,9'a indiği görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %24,7'lik artışla %57'ye, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %10,9'lük artışla %50,7'ye ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %26,5'lik artışla %57,8 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %13,3 artışla %51,8'e, %20 APPNC ilavesiyle %20,8 artışla %55,2'ye, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %32,6 artışla %60,6 ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %27,1 artışla %58,1 değerine yükseldiği belirlenmiştir.

PP polimerinin kristallenme sıcaklığı 114,7 °C değerindeyken ekstrüde edilmiş PP %0,5 artışla 115,3 °C'ye ve PDMS ilavesiyle %1,3 artışla 116,2 °C değerine çıktığı görülmüştür. %20 APP ilavesiyle %7,6 artışla 123,4 °C'ye, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %7,1 artışla 122,9 °C'ye ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %5,9

artışla 121,5 °C değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %2,1 artışla 117,1 °C, %20 APPNC ilavesiyle %6,7 artışla 122,4 °C'ye, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %4,2 artışla 119,5 °C'ye ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %5,8 artışla 121,4 °C değerine çıktığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.103: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin X<sub>c</sub>, T<sub>c</sub>, H<sub>c</sub> ve C<sub>pc</sub> grafikleri

PP'in kristalleme entalpisi -101,4 J/g değerinde olup ekstrüde edilmiş PP %18,9 azalmayla -120,6 J/g değerine düştüğü ve PDMS ilavesiyle %0,2'lik azalmayla -101,6 J/g değerine düştüğü belirlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %0,6 artışla -100,8 J/g, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %14,4 artışla -86,8 J/g ve %20

APP2MEL1 ilavesiyle %4,9'luk azalmayla -106,4 J/g değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %2 NC ilavesiyle %1,3 azalmayla -102,7 J/g, %20 APPNC ilavesiyle %12,5 artışla -88,7 J/g, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %4,7 artışla -96,6 J/g'a çıktığı görülmüş olup %20 APP2MEL1NC ilavesiyle ise herhangi bir artış veya azalış olmadan -101,4 J/g değerinde olduğu görülmüştür.

PP -15,7 J/(g.°C) değerinde kristallenme özgül ısısına sahipken ekstrüde edilmiş PP %67,5'lik azalmayla -26,3 J/(g.°C) ve PDMS ilavesiyle %1,3 artışla -15,5 J/(g.°C) değerine sahip olduğu belirlenmiştir. %20 APP ilavesiyle %9,6'lık azalmayla -17,2 J/(g.°C), %20 APP3MEL1 ilavesiyle %2 azalmayla -16 J/(g.°C) ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %21,7 azalmayla -19,1 J/(g.°C) değerine düştüğü görülmüştür. %2 NC ilavesiyle %5,7 artışla -16,6 J/(g.°C), %20 APPNC ilavesiyle %1,9 azalmayla -15,4 J/(g.°C), %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %12,1 azalmayla -17,6 J/(g.°C) ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %12,7'lik artışla -17,7 J/(g.°C) değerine çıktığı görülmüştür.

HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin Isı akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) grafiklerinin 2. ısıtma ve 2. soğutma eğrileri Şekil 4.104'te verilmiştir. HDPE polimer kompozitlerin DSC deneylerinin sayısal sonuçları Tablo 4.54'te verilmiştir. HDPE polimerine SC ilavesi erime sıcaklığını ve kristal oranını düşürürken kristallenme sıcaklığını arttırdığı gözlemlenmiştir.

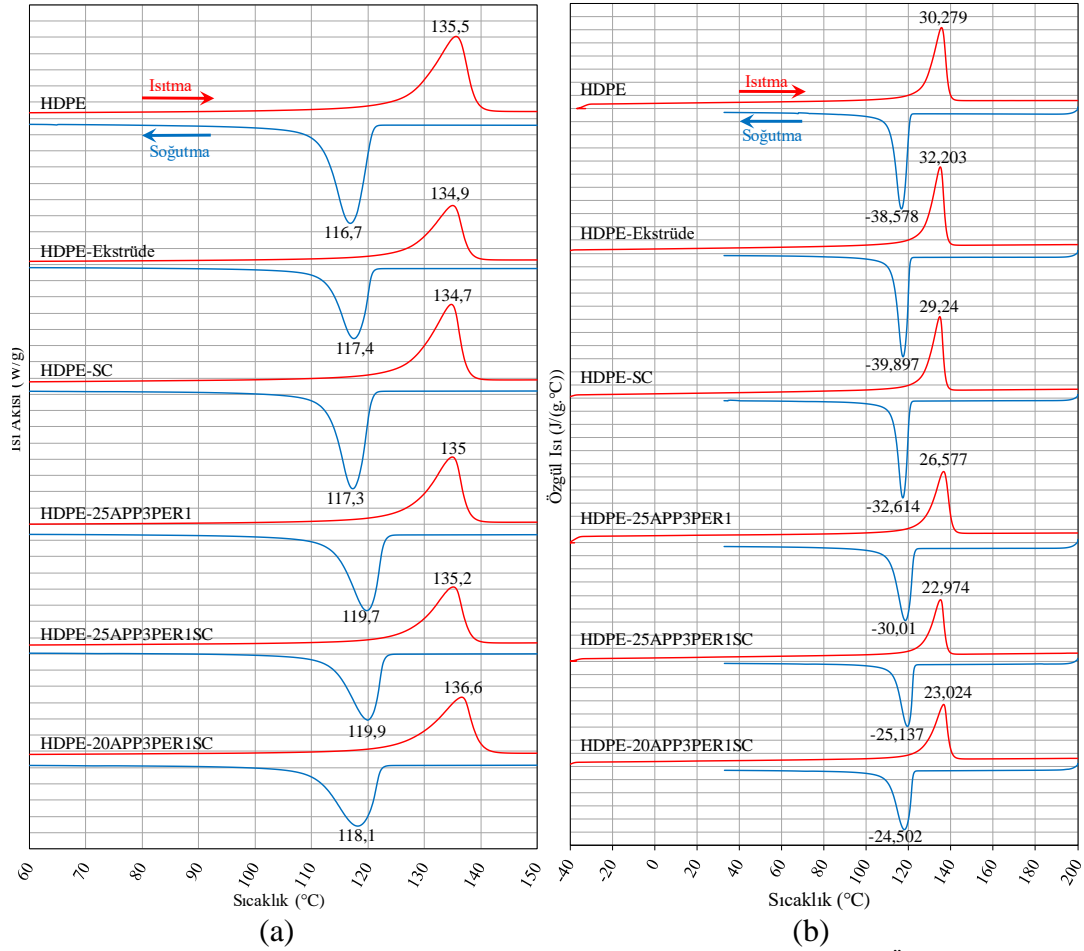
Tablo 4.54: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin DSC sonuçları

	Erime			Kristallenme			Kristal Oranı % (X <sub>c</sub> )
	Sıcaklık °C (T <sub>m</sub> )	Entalpi J/g (H <sub>m</sub> )	Özgül Isı J/(g.°C) (c <sub>pm</sub> )	Sıcaklık °C (T <sub>c</sub> )	Entalpi J/g (H <sub>c</sub> )	Özgül Isı J/(g.°C) (c <sub>pc</sub> )	
HDPE	135,5	247,6	30,3	116,7	-247,5	-38,6	85,4
HDPE-Ekstrüde	134,9	237,4	32,2	117,4	-231,2	-39,9	81,9
HDPE-SC	134,7	214,8	29,2	117,3	-225,3	-32,6	78
HDPE-25APP3PER1	135	188	26,6	119,7	-196,2	-30	86,4
HDPE-25APP3PER1SC	135,2	162,3	23	119,9	-166,8	-25,1	78,6
HDPE-20APP3PER1SC	136,6	193,1	23	118,1	-200,8	-24,5	87,6

HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin kıyaslamalı olarak erime sıcaklığı, entalpisi ve özgül ısı değerleri Şekil 4.105'te verilmiştir. Erime sıcaklığı kütlece %5 SC ilavesiyle %0,6 azalmayla 135,5 °C'den 134,7 °C'ye düşerken, %25 APP3PER1 ilavesiyle %0,4 azalmayla 135 °C'ye, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %0,2 azalmayla



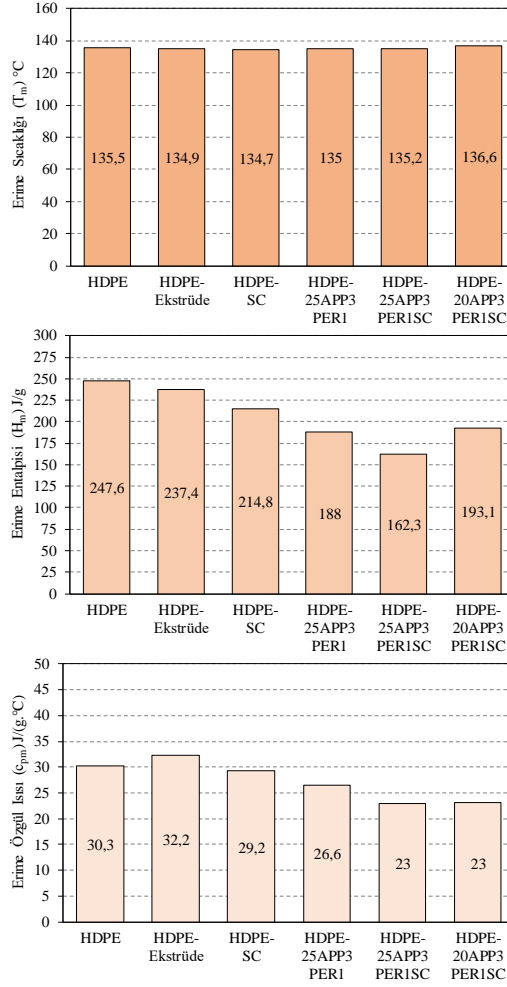
135,2 °C'ye düştüğü buna karşın %20 APP3PER1SC ilavesiyle %0,8 artışla 136,6 °C'ye çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.104: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g·°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri

Erime entalpi değerlerinde HDPE polimerine kütlece %5 SC ilavesiyle %13,2 azalmayla 214,8 J/g, %25 APP3PER1 ilavesiyle %24,1 azalmayla 188 J/g, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %34,5'lik azalmayla 162,3 J/g ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %22 azalmayla 193,1 J/g değerine düştüğü görülmüştür.

HDPE polimerinin erime özgül ısısı 30,3 J/(g·°C) değerindeyken kütlece %5 SC ilavesiyle bu değer %3,6 azalarak 29,2 J/(g·°C) değerine, %25 APP3PER1 ilavesiyle %12,2 azalmayla 26,6 J/(g·°C) değerine ve %25 APP3PER1SC ilavesiyle %24,1 azalmayla 23 J/(g·°C) değerine ve %20 APP3PER1SC %24,1 azalmayla 23 J/(g·°C) değerine düştüğü belirlenmiştir.



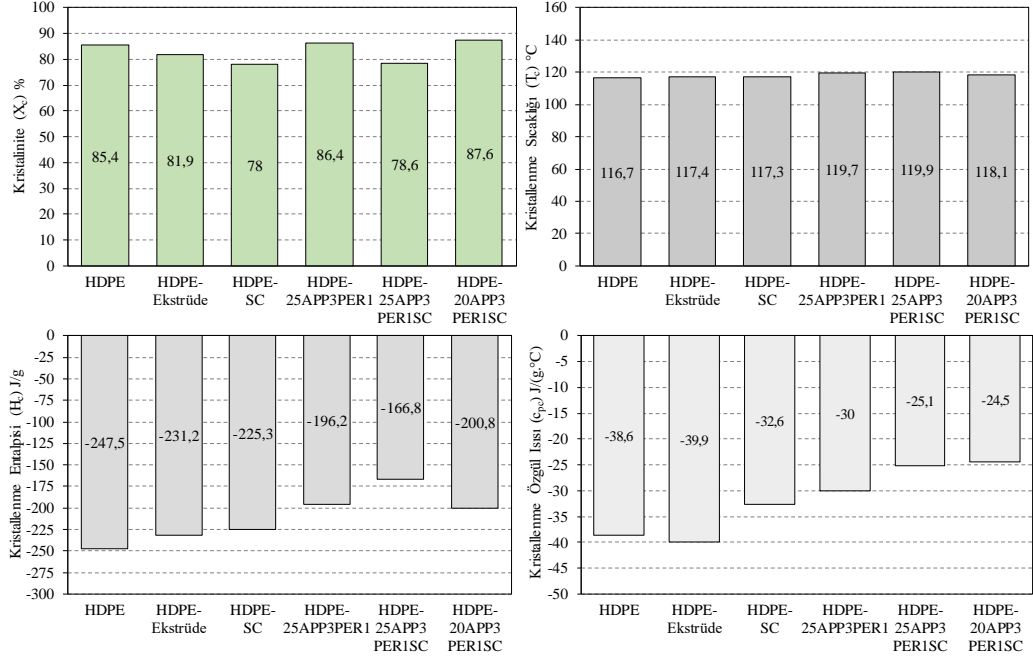
Şekil 4.105: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin T<sub>m</sub>, H<sub>m</sub> ve c<sub>pm</sub> grafikleri

HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin kristal oranı, kristallenme sıcaklığı, entalpisi ve özgül ısı değerleri kıyaslamalı olarak grafik Şekil 4.106'da verilmiştir. Katkisız HDPE'in kristal oranı %85,4 değerindeyken kütlece %5 oranında SC ilavesiyle bu değer %8,7 azalmayla %78'e, %25 APP3PER1 ilavesiyle %1,2 artışla %86,4'e çıktığı buna karşın %25 APP3PER1SC ilavesiyle %8'lik azalmayla %78,6 değerine düştüğü görülmüştür. Kütlece %20 APP3PER1SC ilavesiyle %2,6 artışla %87,6 değerine çıktığı tespit edilmiştir.

Kristallenme sıcaklıklarında ise HDPE polimerine %5 SC ilavesiyle %0,5 artışla 117,3 °C'ye, %25 APP3PER1 ilavesiyle %2,6 artışla 119,7 °C'ye, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %2,7 artışla 119,9 °C'ye ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %1,2 artışla 118,1 °C değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

Kristallenme entalpisi değerlerinde ise katkisız HDPE -247,5 J/g değerindeyken %5 SC ilavesiyle %9'luk artışla -225,3 J/g'a, %25 APP3PER1

ilavesiyle %20,7'lik artışla -196,2 J/g, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %32,6'luk artışla -166,8 J/g ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %18,9'luk artışla -200,8 J/g değerine çıktığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.106: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin X<sub>c</sub>, T<sub>c</sub>, H<sub>c</sub> ve c<sub>pc</sub> grafikleri

Kristallenme özgül ısıları değerlerinde ise %5 SC ilavesiyle %15,5 artışla -32,6 J/(g.°C), %25 APP3PER1 ilavesiyle %22,2 artışla -30 J/(g.°C), %25 APP3PER1SC ilavesiyle %34,8 artışla -25,1 J/(g.°C) ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %36,5 artışla -24,5 J/(g.°C) değerine çıktığı belirlenmiştir.

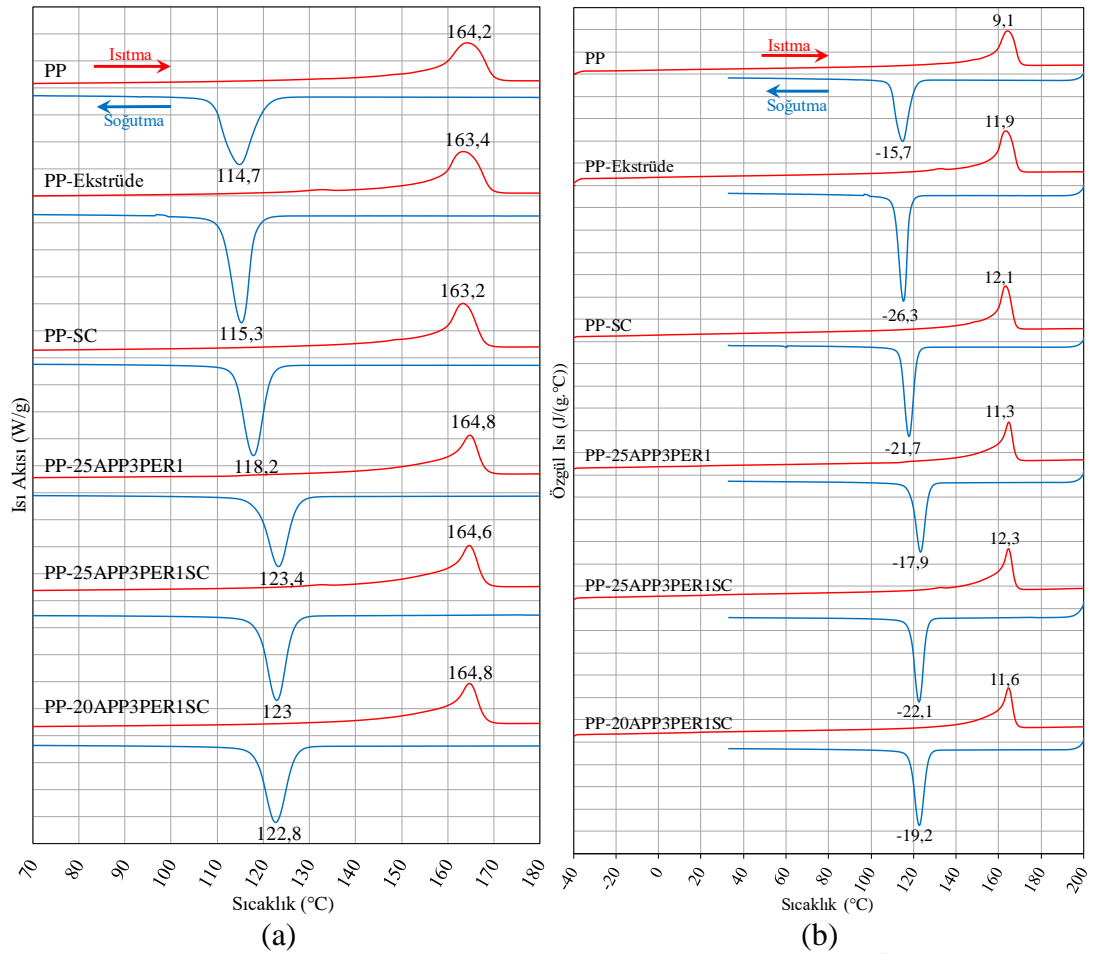
PP-APP-PER-SC kompozitlerinin Isı akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) grafiklerinin 2. ısıtma ve 2. soğutma eğrileri Şekil 4.107'de verilmiş olup Tablo 4.55'te DSC deneylerinin sayısal sonuçları verilmiştir.

PP polimerine SC ilavesi erime sıcaklığını düşürürken kristallenme sıcaklığını ve kristal oranını arttırdığı görülmüştür. SC ilavesi camsı geçiş sıcaklığını artırırken APP ve PER ilavesi camsı geçiş sıcaklığını düşürdüğü belirlenmiştir.

PP-APP-PER-SC kompozitlerinin camsı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, erime entalpisi ve erime özgül ısıları değerleri Şekil 4.108'de kıyaslamalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.55: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin DSC sonuçları

	Camsı Geçiş Sıcaklığı, °C (T <sub>g</sub> )	Erime			Kristallenme			Kristal Oranı % (X <sub>c</sub> )
		Sıcaklık °C (T <sub>m</sub> )	Entalpi J/g (H <sub>m</sub> )	Özgül Isı J/(g.°C) (C <sub>pm</sub> )	Sıcaklık °C (T <sub>c</sub> )	Entalpi J/g (H <sub>c</sub> )	Özgül Isı J/(g.°C) (C <sub>pc</sub> )	
PP	-6,7	164,2	95,4	9,1	114,7	-101,4	-15,7	45,7
PP-Ekstrüde	-5,6	163,4	111,7	11,9	115,3	-120,6	-26,3	53,4
PP-SC	-4,8	163,2	98,8	12,1	118,2	-106,5	-21,7	48,2
PP-25APP3PER1	-10,1	164,2	85,6	11,3	114,7	-93,1	-17,9	54,6
PP-25APP3PER1SC	-9,2	164,6	89,6	12,3	123	-102,8	-22,1	58,4
PP-20APP3PER1SC	-10,5	164,8	89,2	11,6	122,8	-99,5	-19,2	54,4



Şekil 4.107: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) Isı Akısı (W/g) - Sıcaklık (°C) ve (b) Özgül Isı (J/(g.°C)) - Sıcaklık (°C) eğrileri

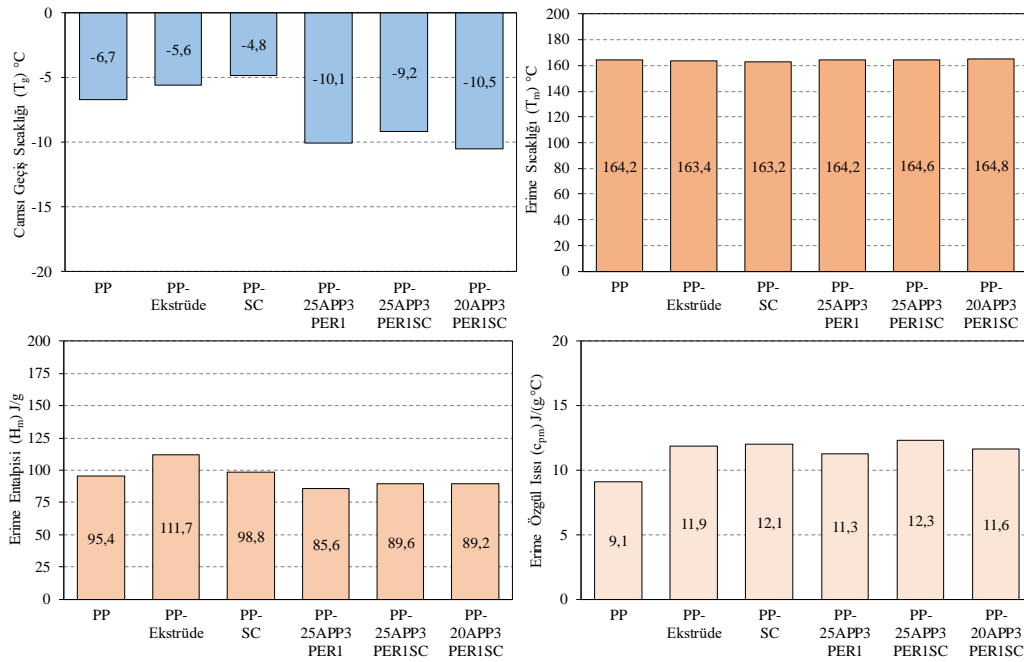
Katkısız saf PP'in camsı geçiş sıcaklığı  $-6,7$  °C değerindeyken %2 SC ilavesiyle bu değer %28,4 artışla  $-4,8$  °C'ye çıktığı görülürken %25 APP3PER1 ilavesiyle %50,7 azalmayla  $-10,1$  °C'ye, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %37,3 azalmayla  $-9,2$  °C'ye ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %56,7 azalmayla  $-10,5$  °C değerine düştüğü görülmüştür. Erime sıcaklıklarında ise %2 SC ilavesiyle %0,6 azalmayla  $163,2$  °C'ye düştüğü %25 APP3PER1 ilavesiyle değişmediği görülmüş



olup %25 APP3PER1SC ilavesiyle %0,2 artışla 164,6 °C'ye ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %0,4'lük artışla 164,8 °C değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

Erime entalpi değerlerinde ise %2 SC ilavesi %3,6'lık artışla 95,4 J/g değerinden 98,8 J/g değerine çıktığı buna karşın %25 APP3PER1 ilavesiyle %10,3'lük azalmayla 85,6 J/g'a, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %6,1'lik azalmayla 89,6 J/g'a ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %6,5'lik azalmayla 89,2 J/g değerine düşürdüğü belirlenmiştir.

PP polimerine kütlece %2 SC ilavesiyle erime özgül ısısında %33'lük artışla 12,1 J/(g.°C) değerine, %25 APP3PER1 ilavesiyle %24,2 artışla 11,3 J/(g.°C)'ye ve %25 APP3PER1SC ilavesiyle %35,2 artışla 12,3 J/(g.°C)'ye ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %27,5'lik artışla 11,6 J/(g.°C) değerine çıktığı görülmüştür.

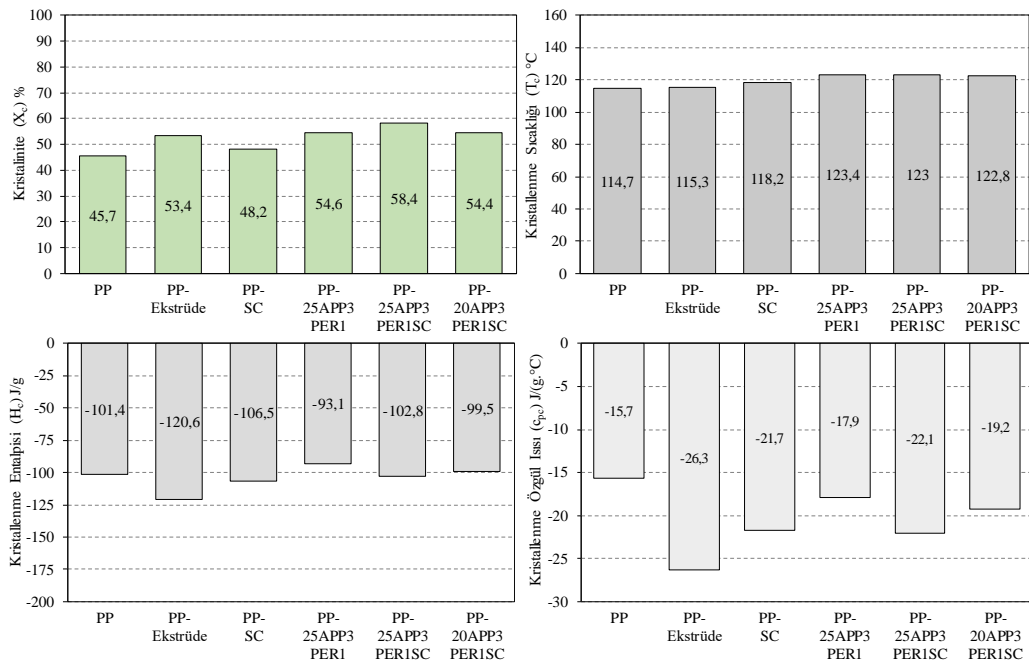


Şekil 4.108: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin T<sub>g</sub>, T<sub>m</sub>, H<sub>m</sub> ve c<sub>pm</sub> grafikleri

PP-APP-PER-SC kompozitlerinin kristal oranı, kristallenme sıcaklığı, kristallenme entalpi ve kristallenme özgül ısı değerleri Şekil 4.109'da kıyaslamalı olarak grafik halinde verilmiştir. Katkısız PP %45,7 kristal oranına sahipken kütlece %2 SC ilavesiyle bu değer %5,5 artışla %48,2 değerine yükseldiği %25 APP3PER1 ilavesiyle %19,5 artışla %54,6'ya, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %27,8 artışla %58,4'e ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %19'luk artışla %54,4 değerine çıktığı tespit edilmiştir.

Kristallenme sıcaklıklarında ise kütlece %2 SC ilavesiyle %3,1'lik artışla 118,2 °C değerine çıktığı görülmüş olup %25 APP3PER1 ilavesiyle %7,6'lık artışla 123,4 °C, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %7,2'lik artışla 123 °C ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %7,1'lik artışla 122,8 °C değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

PP polimeri -101,4 J/g değerinde kristallenme entalpisine sahipken %2 SC ilavesiyle bu değeri %5 azalarak -106,5 J/g değerine düşmesine rağmen %25 APP3PER1 ilavesiyle %8,2 artışla -93,1 J/g değerine çıktığı görülmüştür. %25 APP3PER1SC ilavesiyle %1,4 azalmayla -102,8 J/g değerine düştüğü buna karşın %20 APP3PER1SC ilavesiyle %1,9 artışla -99,5 J/g değerine çıktığı belirlenmiştir.



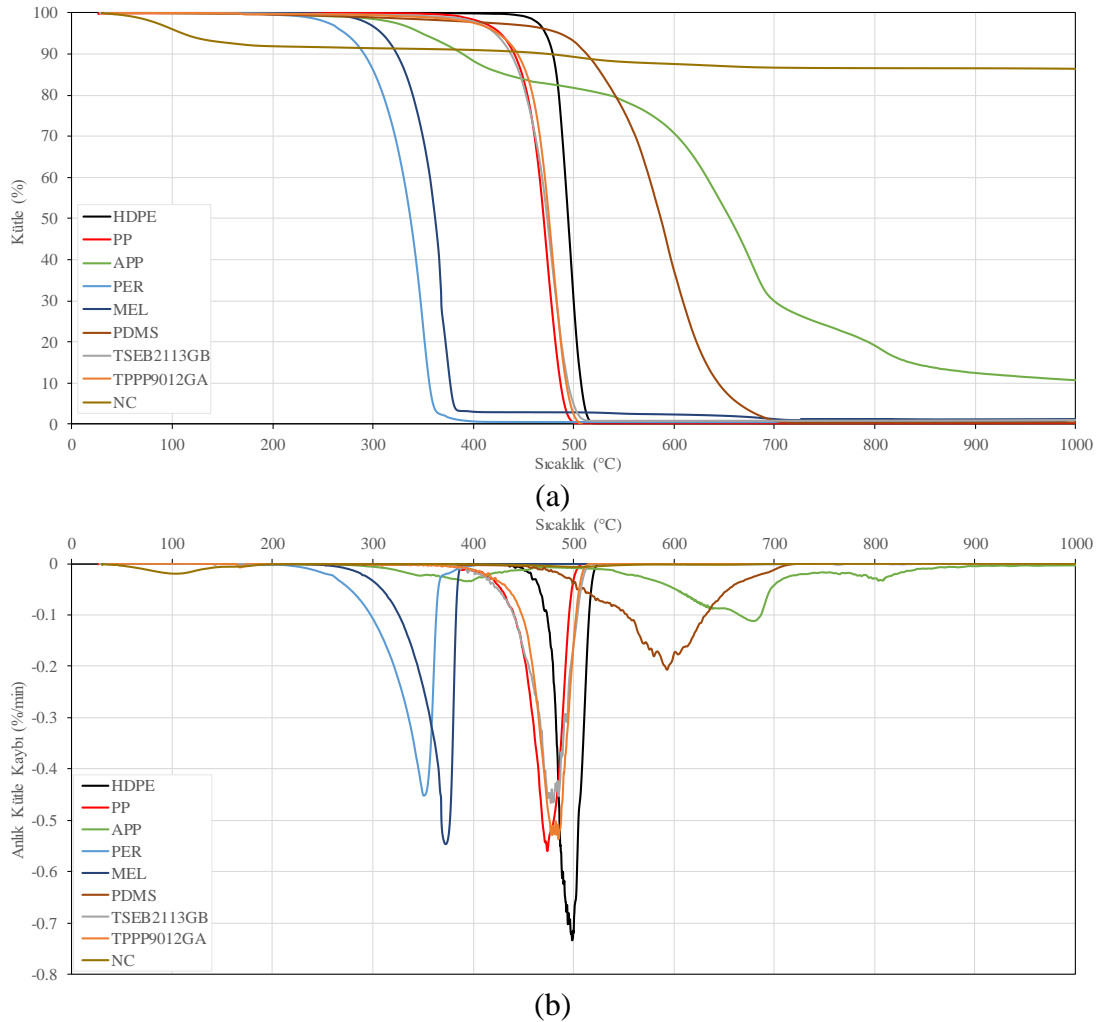
Şekil 4.109: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin X<sub>c</sub>, T<sub>c</sub>, H<sub>c</sub> ve C<sub>pc</sub> grafikleri

Kristallenme anında özgül ısı değişiminde ise kütlece %2 SC ilavesiyle %38,2 azalmayla -21,7 J/(g.°C)'ye, %25 APP3PER1 ilavesiyle %14 azalmayla -17,9 J/(g.°C)'ye, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %40,8'lik azalmayla -22,1 J/(g.°C) ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %22,3'lük azalmayla -19,2 J/(g.°C) değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

#### 4.2.4 TG analizi

Kullanılan hammaddelerin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.110'da verilmiştir. Tablo 4.56'da %5, %10, %50 ve her 100 °C'de bir kalan kütle miktarı verilmiştir. HDPE 400 °C sıcaklığa kadar kütesini korurken PP 300 °C'ye kadar kütesini koruyabilmiştir. APP, PER, PDMS, TSEB2113GB ve TPPP9012GA 200 °C'ye kadar kütesini koruyabilmekte olup MEL ise 300 °C'ye kadar kütesinde belirgin bir azalma görülmüştür.

Kullanılan hammaddelerin birinci, ikinci ve üçüncü en yüksek bozunma hızları ve bu hızlardaki sıcaklık değerlerinin sayısal sonuçları Tablo 4.57'de verilmiştir. Bu değerler grafiklerdeki piklerden elde edilmiştir.



Şekil 4.110: Kullanılan hammaddelerin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

Tablo 4.56: Kullanılan hammaddelerin %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları (°C) ve 100 °C artışta kalan kütle miktarları (%)

	%5, %10 ve %50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)			100 °C artışta kalan kütle miktarı (%)									
	T <sub>5wt%</sub>	T <sub>10wt%</sub>	T <sub>50wt%</sub>	m <sub>100</sub>	m <sub>200</sub>	m <sub>300</sub>	m <sub>400</sub>	m <sub>500</sub>	m <sub>600</sub>	m <sub>700</sub>	m <sub>800</sub>	m <sub>900</sub>	m <sub>1000</sub>
HDPE	471,6	478,9	494,2	100	100	100	99,9	29,7	0	0	0	0	0
PP	426,7	440,8	469,8	100	100	99,9	98,3	0,4	0	0	0	0	0
APP	348,7	389,4	655,6	100	99,6	98,5	88,3	81,7	70,7	29,9	19,1	12,5	10,7
PER	272,4	291,1	337,3	100	99,5	86	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
MEL	308,6	323,5	361,8	100	100	96,7	3	2,9	2,4	1,2	1	1	1
PDMS	486,1	512,9	586,6	100	99,6	98,9	97,8	93	37,2	0,8	0,4	0,4	0,4
TSEB2113GB	421,4	437,1	473,5	100	99,8	99,6	97,9	4,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
TPPP9012GA	424,5	443,8	475,2	100	99,7	99,4	97,6	2,4	0	0	0	0	0
NC	110,3	475,1	-	96	91,9	91,4	91	89,3	87,6	86,7	86,6	86,5	86,4

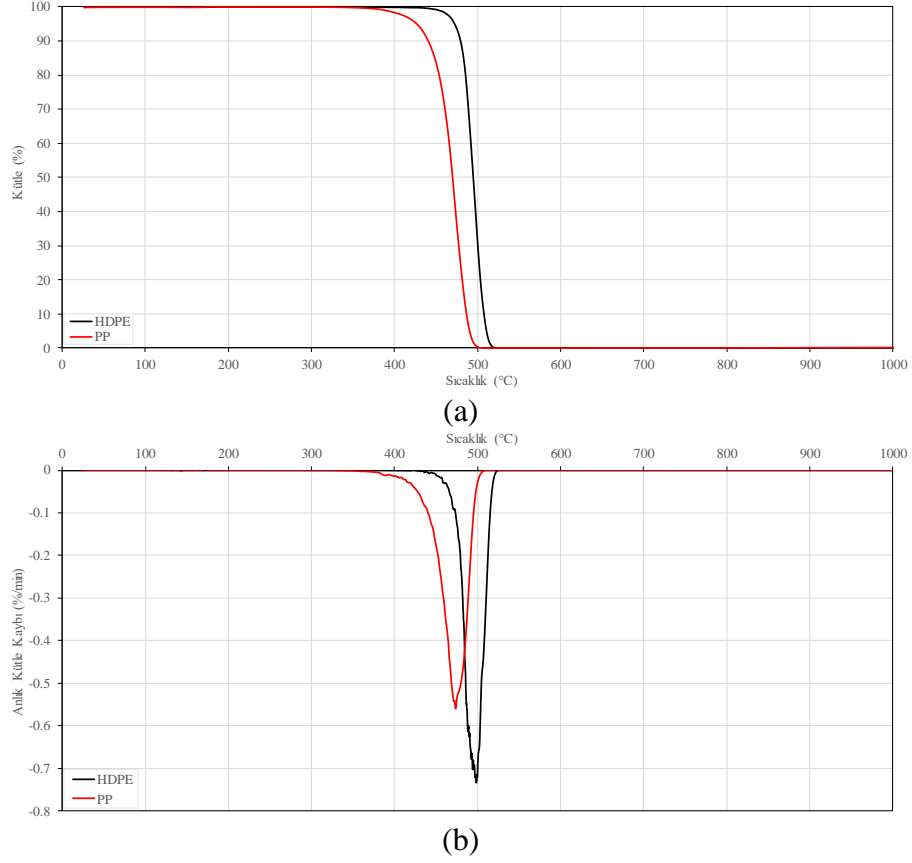
Tablo 4.57: Kullanılan hammaddelerin bozunma hızları ve sıcaklıkları

Bozunma Hızı [R] (%/min) ve Sıcaklığı [T] (°C)	Pik Sayısı	HDPE	PP	APP	PER	MEL	PDMS	TSEB 2113GB	TPPP 9012GA	NC
	1	R <sub>1</sub>	-0,734	-0,56	-0,112	-0,452	-0,546	-0,207	-0,466	-0,537
T <sub>1</sub>		498,7	473,7	679,4	350,5	372,2	593	477,2	484,9	102
2	R <sub>2</sub>	-	-	-0,035	-	-	-	-	-	-0,007
	T <sub>2</sub>	-	-	394	-	-	-	-	-	505,3
3	R <sub>3</sub>	-	-	-0,033	-	-	-	-	-	-0,002
	T <sub>3</sub>	-	-	803,8	-	-	-	-	-	642,4

HDPE ve PP hammaddelerinin TG ve DTG eğrileri Şekil 4.111'de verilmiştir. HDPE 422-527 °C aralığında bozunma gösterirken PP 363-510 °C aralığında bozunma göstermektedir. HDPE 498,7 °C'de -0,734 %/min ile en yüksek bozunma hızına sahipken PP 473 °C'de -0,56 %/min değeriyle ikinci en yüksek bozunma hızına sahip olduğu görülmüştür. Bu sıcaklık aralıklarında HDPE çok sayıda parafinik ve olefinik bileşiğe ayrışmakta ve kalıntı oluşturmamaktadır. PP polimerinde ise 410-470 °C civarlarında alifatik bileşikler oluşturmakta ve HDPE'ye benzer şekilde kalıntı oluşturmamaktadır (Bockhorn ve diğ. 1999).

PDMS katkısı 593 °C'de -0,207 %/min bozunma hızıyla pik gösterirken bozunma aralığının 423-721 °C arasında olduğu gözlemlenmiştir. 400 °C üzerinde C-Si ve Si-O arasındaki çapraz bağlar kopmaya başlamaktadır. 423-721 °C sıcaklık aralığında tekrarlı oligomerlere depolimerize olmaktadır (Camino ve diğ. 2001, Camino ve diğ. 2002).

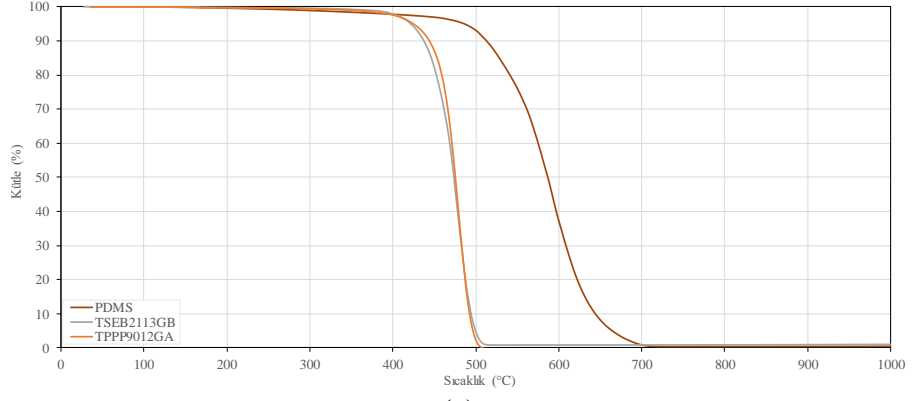




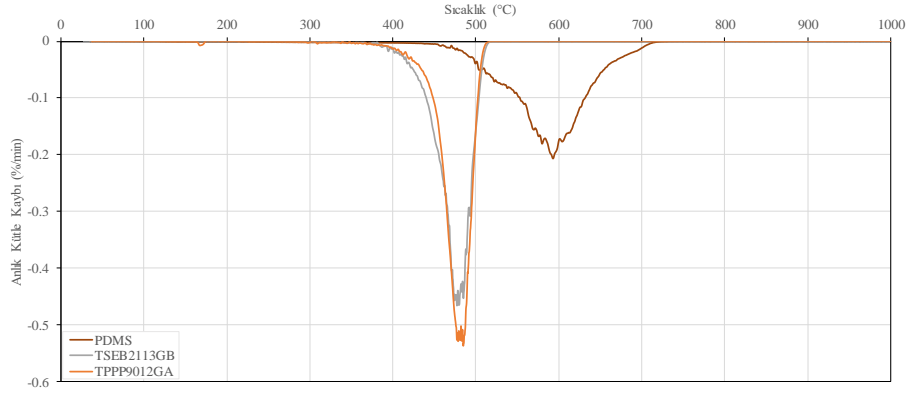
Şekil 4.111: HDPE ve PP hammaddelerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

TPPP 9012GA ve TSEB 2113GB birbirlerine yakın sıcaklıklarda (477,2 °C ve 484,9 °C) pik verdikleri tespit edilmiş olup bozunma aralıkları birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür (330-522 °C aralığında). TPPP 9012GA maleik anhidritle fonksiyonelleştirilmiş PP ve TSEB 2113GB ise maleik anhidritle fonksiyonelleştirilmiş etilen bütül akrilat (EBA) katkısıdır, kimyasal yapıları açısından birbirlerine çok yakın polimerlerdir. Şekil 4.112’de PDMS, TSEB 2113GB ve TPPP 9012GA katkılarının TG ve DTG grafikleri verilmiştir.

APP, PER ve MEL katkılarının TG ve DTG grafikleri Şekil 4.113’te verilmiştir. APP üç farklı sıcaklıkta pik verdiği belirlenmiş olup en yüksek bozunma hızı ve sıcaklığı sırasıyla -0,112 %/min ve 679,4 °C olarak belirlenmiştir. 250 °C ile 450 °C aralığında 394 °C’de pik vermiş olup bu aralıkta APP’ın içeriğindeki NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, PO ve PO<sub>2</sub> gibi uçucu serbest radikallerin ayrışması ile gerçekleşmiştir. 450 °C ile 750 °C aralığında 679,4 °C’de pik vermiştir. Bu aralıkta polifosforik asit ve fosforik asit oluşumu gerçekleşmiştir (Tang ve diğ. 2016). 750 °C ile 850 °C aralığında 803,8 °C’de pik vermiş ve bu aralıkta bir önceki pik bölgesinde oluşan fosforik asit kalıntılarının metafosforik asit (HPO<sub>3</sub>)<sub>n</sub> oluşturması ile gerçekleşmiştir (Matar ve diğ. 2016, Usta 2012).

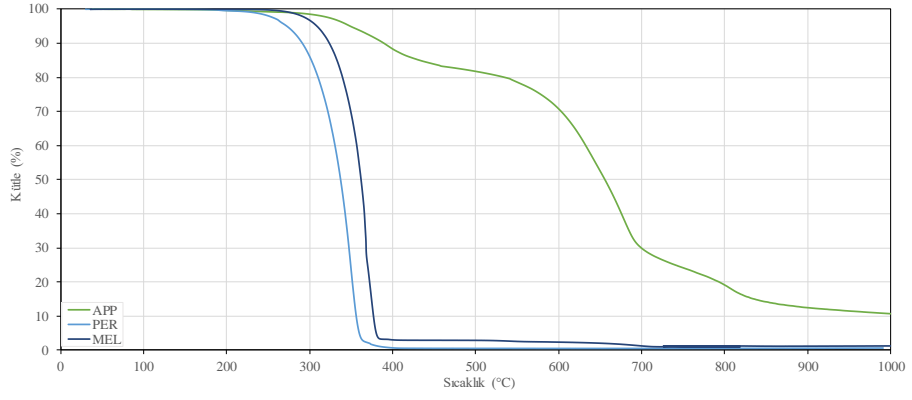


(a)

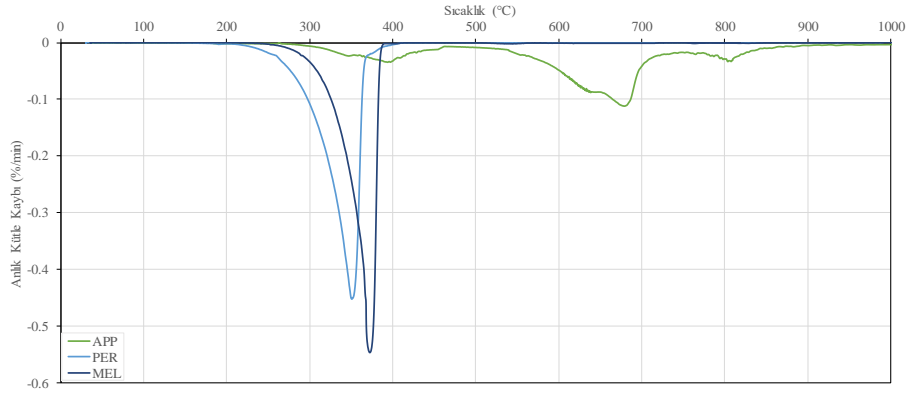


(b)

Şekil 4.112: PDMS, TSEB2113GB ve TPPP9012GA hammaddelerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri



(a)



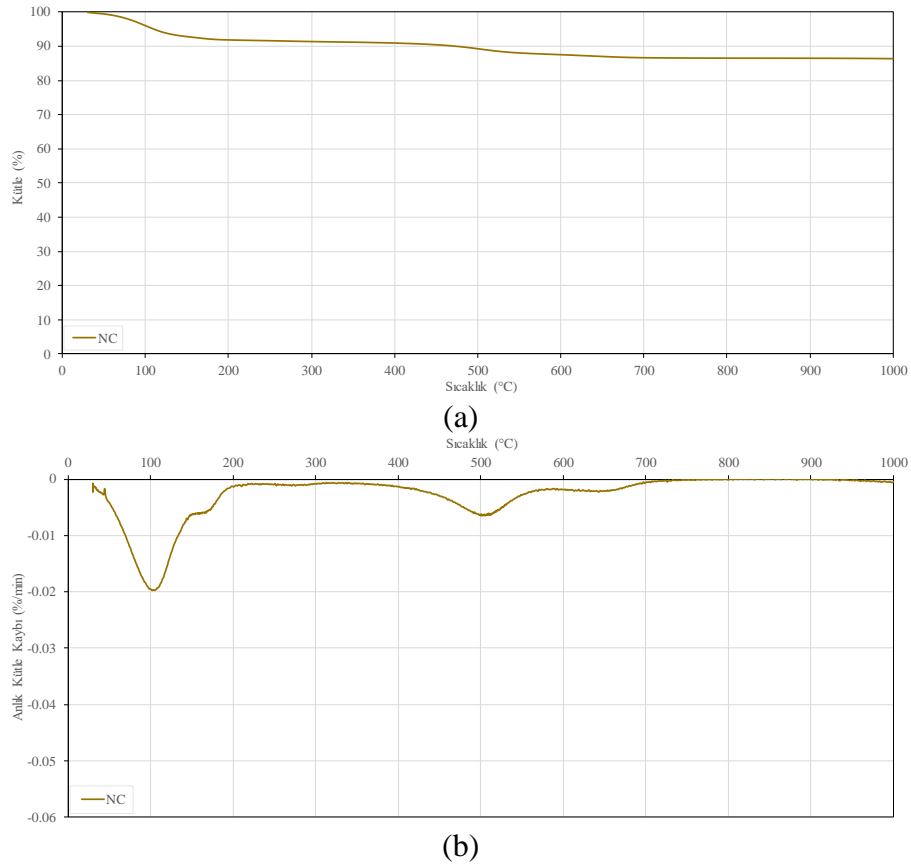
(b)

Şekil 4.113: APP, PER ve MEL hammaddelerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

PER 200 °C ile 400 °C aralığında bozunma göstermiş olup 350,5 °C sıcaklıkta -0,452 %/min bozunma hızıyla en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Yapısında bulunan H ve O atomları H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> ve CO gazlarını oluşturarak ortamdan uzaklaşmaktadır. İlâveten yanmış tabakada PER yapısında bulunan C atomları yanmış tabakayı güçlendirmektedir (Wang ve diğ. 2015).

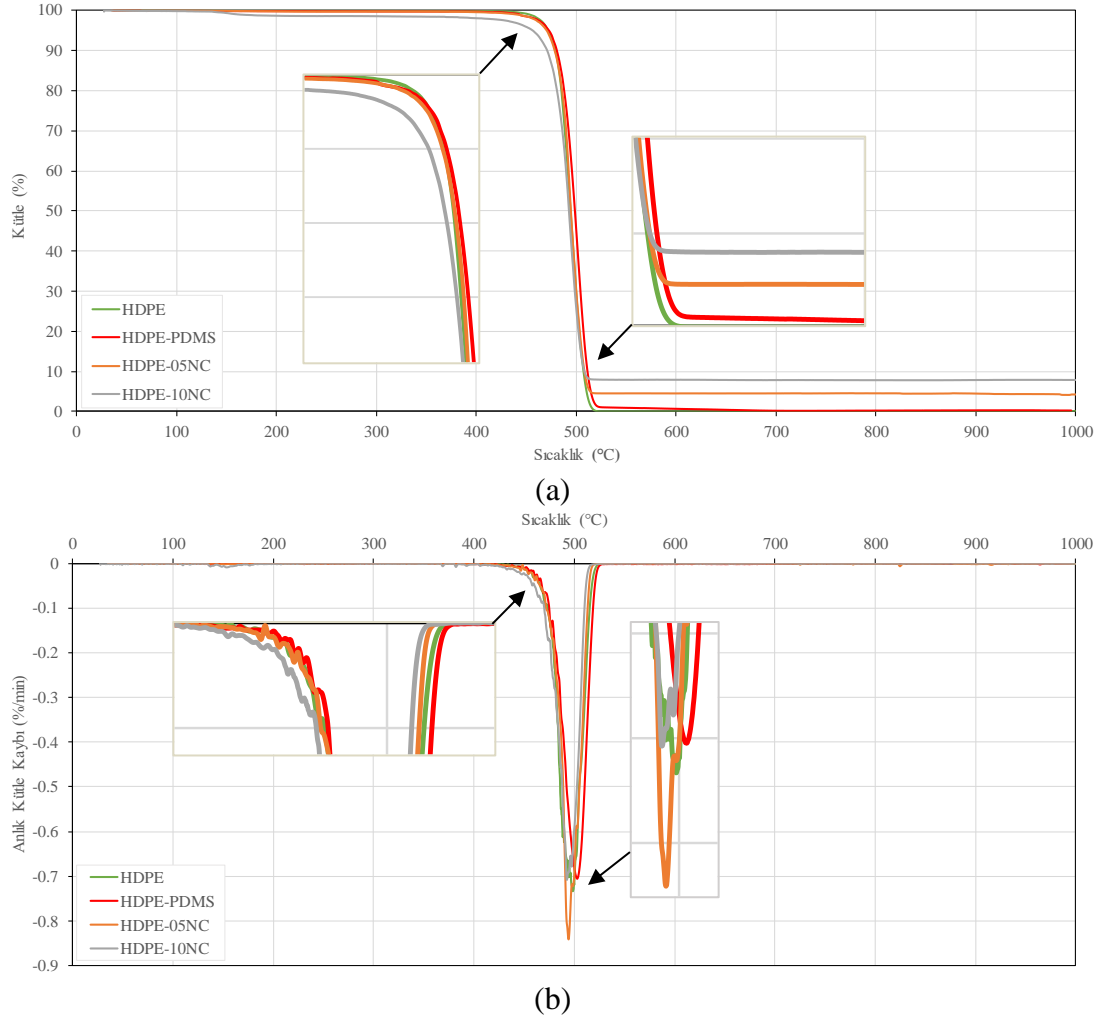
MEL 250 °C ile 385 °C aralığında bozunma göstermiş olup 372,2 °C'de -0,546 %/min bozunma hızıyla PER ile birbirine yakın sıcaklıklarda pik verdiği belirlenmiştir. Melamin bu aralıkta içeriğinde bulunan NH<sub>2</sub> den oluşan N<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub> gibi yanmayan gazlar oluşturarak sistemden uzaklaşmaktadır (Xu ve diğ. 2016).

Şekil 4.114'te NC'in TG ve DTG grafikleri verilmiştir. NC'in en yüksek bozunma hızı -0,02 %/min ve 102 °C sıcaklıkta görülmüştür. NC'in 100 °C'de toplamda %4 kütle kaybının sebebi yapısında bulunan su moleküllerinin bu sıcaklıkta buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. 505,3 °C ve 642,4 °C'deki bozunma ise kristal kafeslerine kovalent bağlı hidroksil grupları dehidrasyona uğrayarak CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O açığa çıkarak ortaya çıktığı belirtilmiştir (Aydoğan, 2015).



Şekil 4.114: NC hammaddesinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin TG ve DTG eğrileri Şekil 4.115'te verilmiştir. TGA deneylerinin sayısal sonuçları Tablo 4.58'de verilmiştir. Polimer matris içerisinde kütlece NC oranı arttıkça kalan kütle miktarının arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.115: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

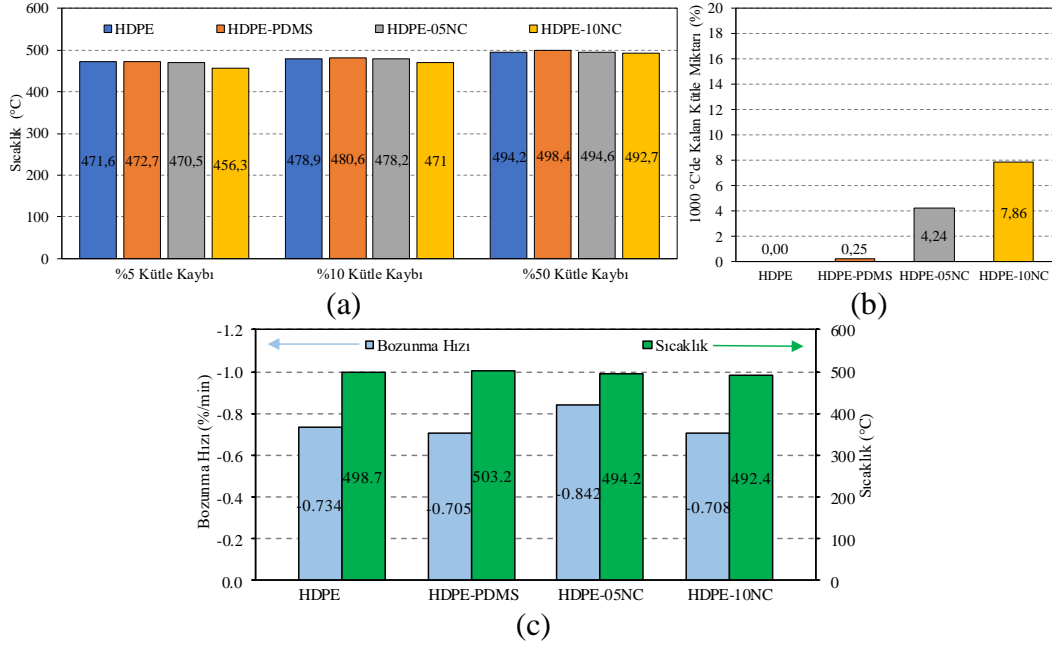
Tablo 4.58: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )	1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
HDPE	471,6	478,9	494,2	-0,734 498,7	0,00
HDPE-PDMS	472,7	480,6	498,4	-0,705 503,2	0,25
HDPE-05NC	470,5	478,2	494,6	-0,842 494,2	4,24
HDPE-10NC	456,3	471	492,7	-0,708 492,4	7,86

HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin TGA deneylerinin sonuçları karşılaştırmalı şekilde grafik olarak Şekil 4.116'da verilmiştir. PDMS ve %5 NC



ilavesiyle %5 ve %10 kütle kaybındaki sıcaklıklarda dikkate değer değişim görülmezken %10 NC ilavesiyle %5 kütle değişiminde %3,2 azalmayla 456,3 °C'ye, %10 kütle değişiminde %1,7 azalmayla 471 °C'ye düşerken %50 kütle kaybında dikkate değer değişim görülmemiştir.



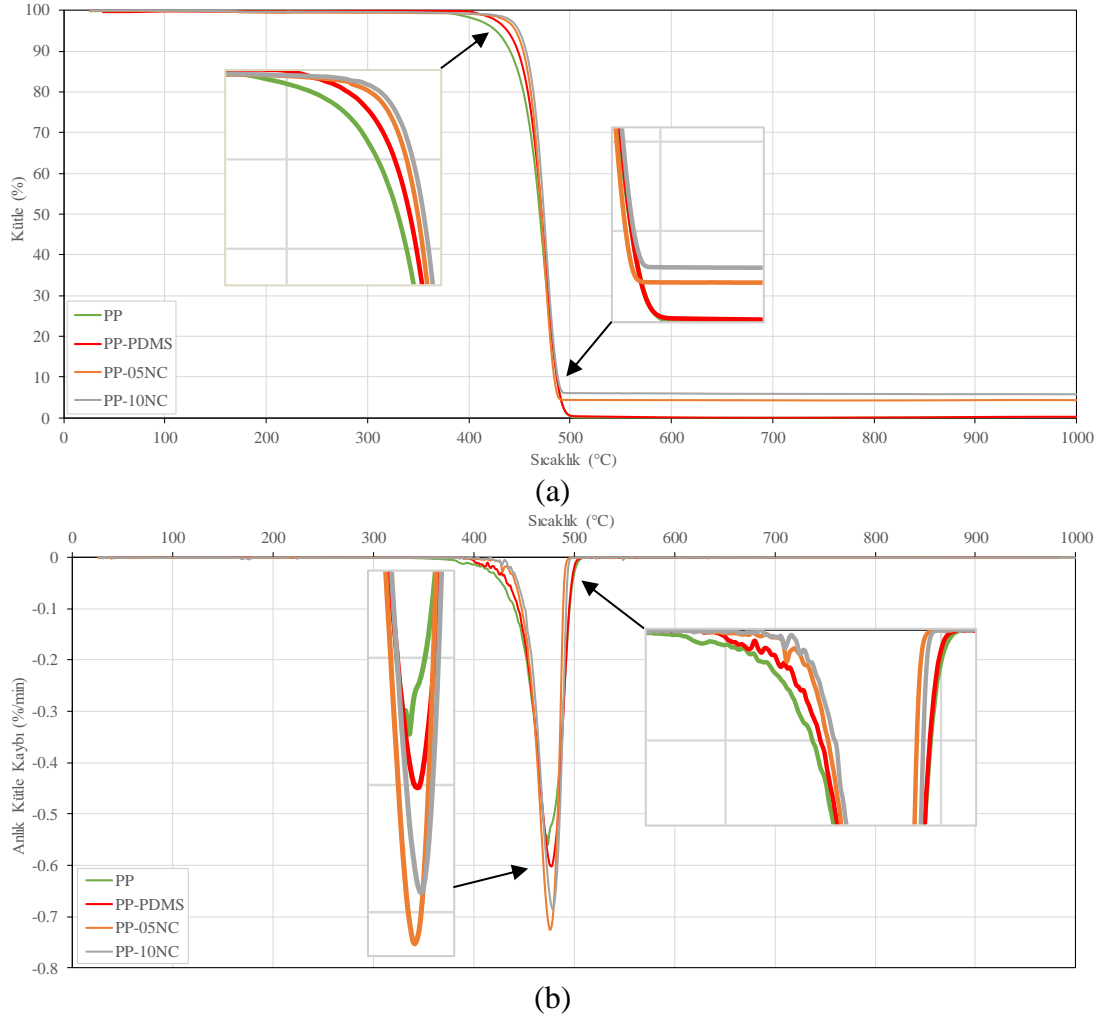
Şekil 4.116: HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları, (b) 1000 °C'de kalan kütle miktarı ve (c) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

PDMS ilavesiyle bozunma hızı %3,9 azalmayla -0,705 %/min değerine düşerken %5 NC ilavesiyle bu değer %14,7 artışla -0,842 %/min değerine çıkmıştır. %10 NC ilavesiyle %3,5 azalmayla -0,708 %/min değerine düştüğü görülmüştür.

Bozunma sıcaklığı değerinde ise PDMS ilavesiyle %0,9 artarak 503,2 °C'ye çıkarken %5 NC ilavesiyle %0,9 azalmayla 494,2 °C'ye ve %10 NC ilavesiyle %1,3 azalmayla 492,4 °C değerine düştüğü belirlenmiştir.

HDPE matrise PDMS ilavesiyle kalan kütle miktarı %0,25 değerindeyken %5 NC ilavesiyle bu değer %4,24'e ve %10 NC ilavesiyle %7,86 değerine çıktığı tespit edilmiştir.

PP-NC-PDMS kompozitlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.117’de verilmiş olup sayısal sonuçları Tablo 4.59’da verilmiştir. HDPE-NC-PDMS kompozitlerine benzer şekilde polimer matrise ilave edilen kütlece NC miktarı arttıkça 1000 °C’de kalan kütle miktarının arttığı görülmüştür.



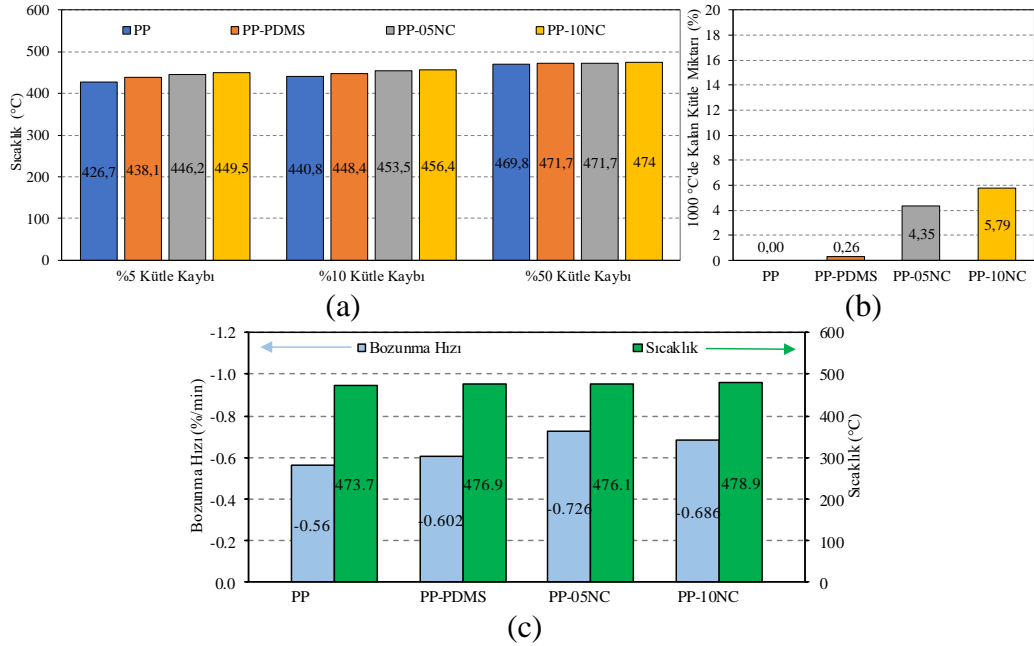
Şekil 4.117: PP-NC-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

Tablo 4.59: PP-NC-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
				R <sub>1max</sub>	T <sub>1max</sub>	
PP	426,7	440,8	469,8	-0,56	473,7	0,00
PP-PDMS	438,1	448,4	471,7	-0,602	476,9	0,26
PP-05NC	446,2	453,5	471,7	-0,726	476,1	4,35
PP-10NC	449,5	456,4	474	-0,686	478,9	5,79

PP kompozitlerin TGA deneylerinin sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.118’de verilmiştir. %5 kütle kaybındaki sıcaklık değeri PDMS ilavesiyle %2,7

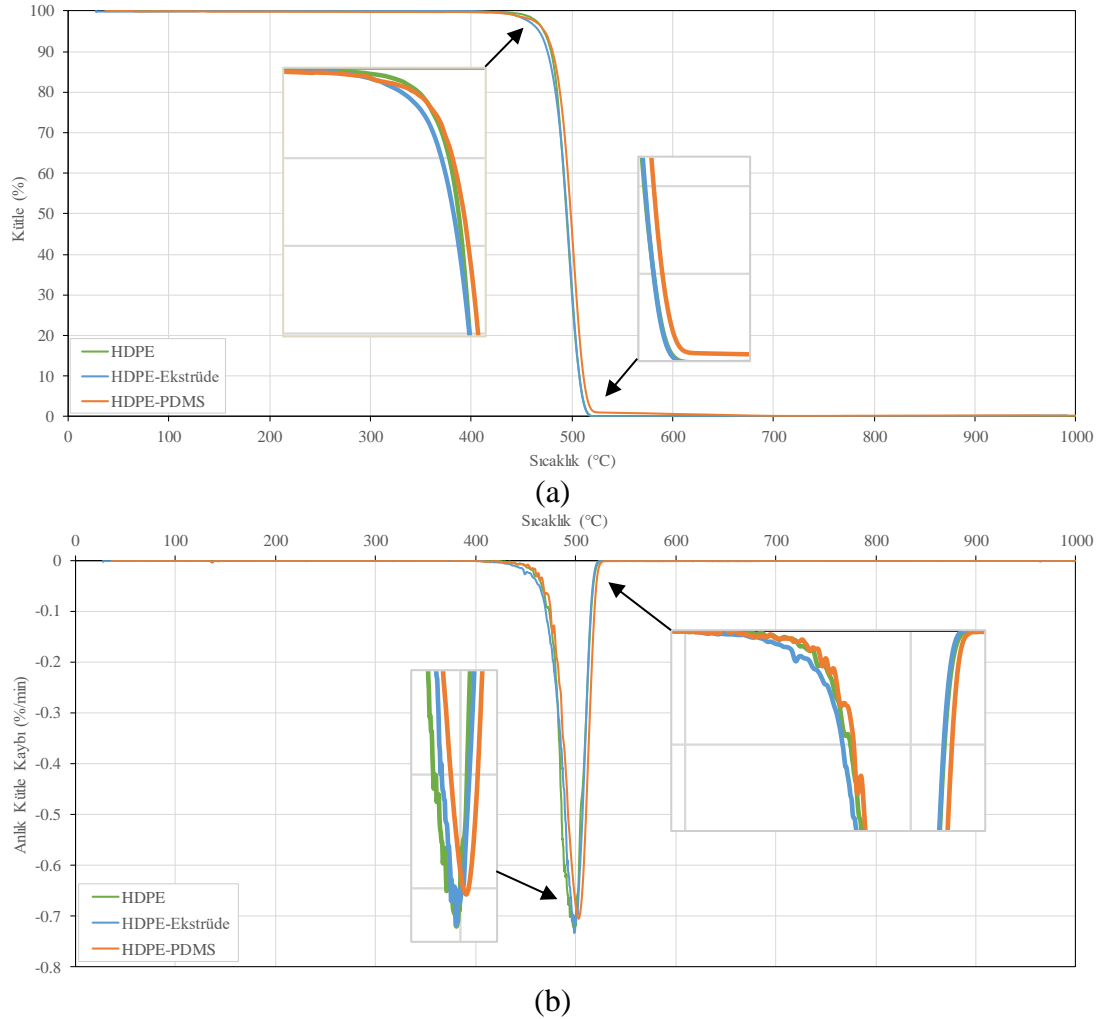
artışla 426,7 °C'den 438,1 °C'ye çıkmış olup kütlece %5 NC ilavesiyle %4,6 artışla 446,2 °C'ye ve %10 NC ilavesiyle %5,3'lük artışla 449,5 °C değerine çıktığı görülmüştür. %10 kütle kaybında ise %1,7'lik artışla 440,8 °C'den 448,4 °C'ye, %5 NC ilavesiyle %2,9 artışla 453,5 °C'ye ve %10 NC ilavesiyle %3,5 artışla 456,4 °C'ye çıktığı gözlemlenmiştir. %50 kütle kaybındaki sıcaklıklarda dikkate değer bir değişim görülmemiştir.



Şekil 4.118: PP-NC-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları, (b) 1000 °C'de kalan kütle miktarı ve (c) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

PP polimerine PDMS ilavesiyle bozunma hızı %7,6 artışla -0,602 %/min değerine çıktığı görülmüş olup %5 NC ilavesiyle %29,7 artışla -0,726 %/min ve %10 NC ilavesiyle %22,4 artışla -0,686 %/min değerine ulaştığı görülmüştür. En yüksek bozunma değerindeki sıcaklıklarda ise PDMS ilavesiyle ve %5 NC ilavesiyle dikkate değer bir değişim görülmezken %10 NC ilavesiyle %1,1'lik artışla 478,9 °C değerine çıktığı belirlenmiştir. PDMS ilavesiyle kalan kütle miktarı %0,26 değerindeyken %5 NC ilavesiyle bu değer %4,35 ve %10 NC ilavesiyle %5,79 değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinden HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-PDMS üretimlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.119’da verilmiştir. TGA deneylerinin sayısal sonuçları Tablo 4.60’ta verilmiştir.



Şekil 4.119: HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

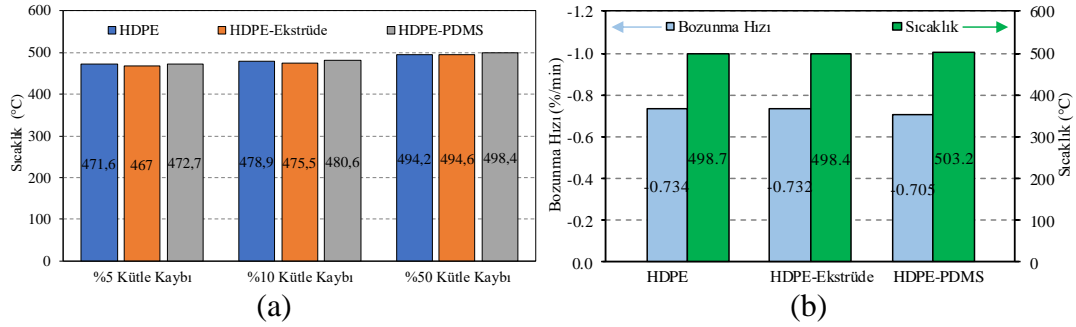
Tablo 4.60: HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
HDPE	471,6	478,9	494,2	-0,734	498,7	0,00
HDPE-Ekstrüde	467	475,5	494,6	-0,732	498,4	0,00
HDPE-PDMS	472,7	480,6	498,4	-0,705	503,2	0,25

%5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklarda dikkate değer bir değişim görülmemiş olup en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri kıyaslamalı grafik olarak verilmiştir (Şekil 4.120). HDPE polimerinin ekstrüzyon işlemi sonrası en yüksek bozunma hızı ve sıcaklığında çok fazla değişim görülmemiş olup PDMS



ilavesiyle bozunma hızı %3,9 azalmayla -0,705 %/min değerine düştüğü buna karşın bu değerdeki sıcaklığı %0,9 artışla 503,2 °C'ye çıktığı görülmüştür.



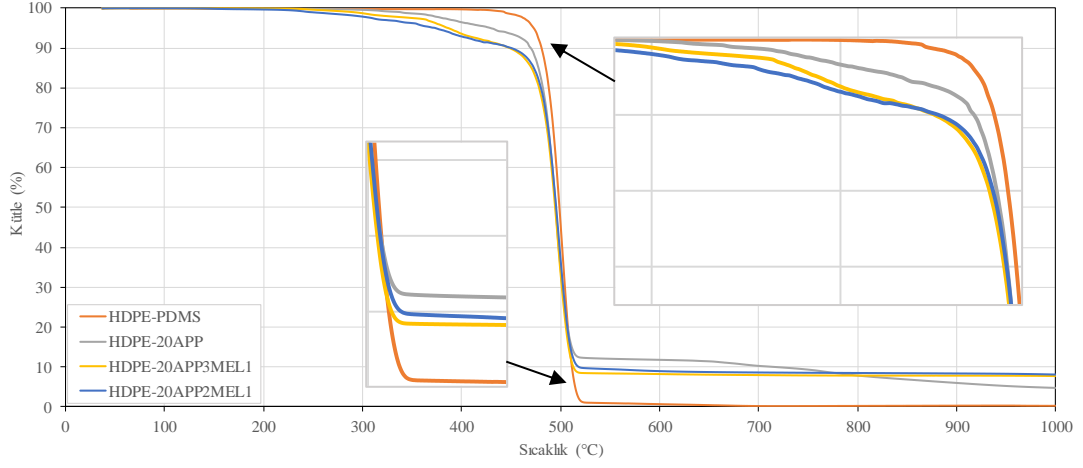
Şekil 4.120: HDPE, HDPE-Ekstrüde, HDPE-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

HDPE-PDMS, 20APP, 20APP3MEL1 ve 20APP2MEL1 üretimlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.121'de verilmiş olup sayısal sonuçları Tablo 4.61'de verilmiştir. MEL ilavesiyle bozunma hızının düştüğü buna karşın 1000 °C'de kalan kütle miktarının arttığı görülmüştür.

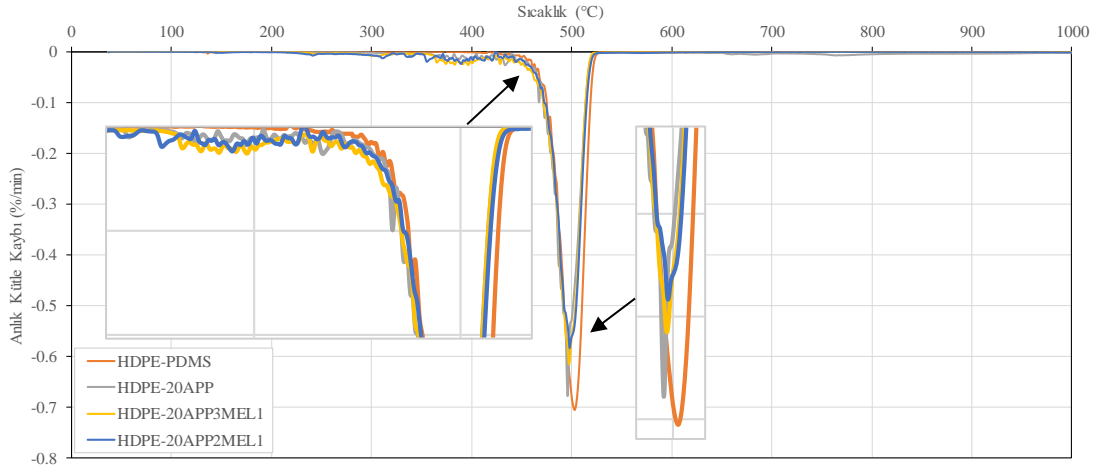
Tablo 4.61: HDPE-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )	1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
HDPE-PDMS	472,7	480,6	498,4	-0,705   503,2	0,25
HDPE-20APP	429,1	469,6	494,9	-0,678   495,8	4,75
HDPE-20APP3MEL1	386,2	448,3	494,3	-0,616   497,3	7,72
HDPE-20APP2MEL1	373,2	449,8	495,3	-0,583   497,8	8,1

Şekil 4.122'de %5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklar ve en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak grafik halinde verilmiştir. %5 kütle kaybındaki sıcaklık değerlerinde sırasıyla %20 APP ilavesiyle %9 azalmayla 429,1 °C, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %18,1 azalmayla 386,2 °C ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %20,9'lük azalmayla 373,2 °C değerine düştüğü görülmüştür. %10 kütle kaybındaki sıcaklıklarda ise %20 APP ilavesiyle %2'lik azalmayla 469,6 °C, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %6,4'lük azalmayla 448,3 °C ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %6,1'lik azalmayla 449,8 °C değerine düştüğü belirlenmiştir. %50 kütle kaybındaki sıcaklıklarda ise dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir.

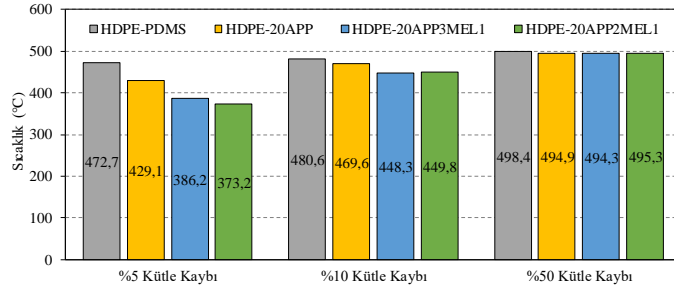


(a)

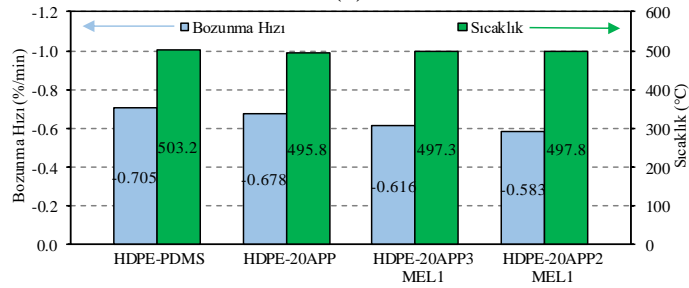


(b)

Şekil 4.121: HDPE-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri



(a)

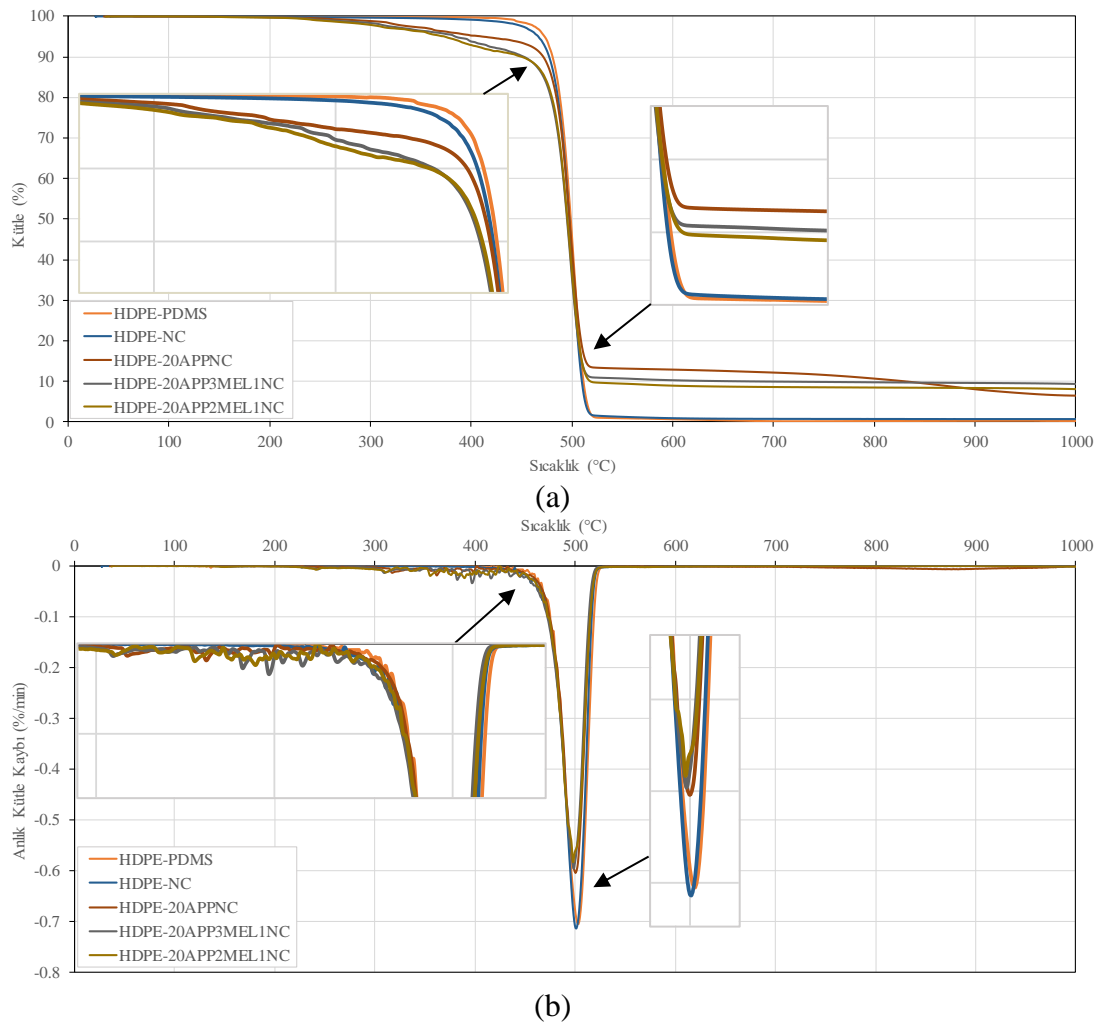


(b)

Şekil 4.122: HDPE-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

En yüksek bozunma hızlarında %20 APP ilavesiyle %7,5 azalmayla -0,678 %/min, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %16,1 azalmayla -0,616 %/min ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %20,5 azalmayla %0,583 %/min değerine düştüğü görülmüştür. En yüksek bozunmanın olduğu sıcaklıklarda dikkate değer değişiklik görülmemiştir.

HDPE-PDMS, NC, 20APPNC, 20APP3MEL1NC ve 20APP2MEL1NC üretimlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.123'te verilmiştir. TGA deneylerinin sonuçları Tablo 4.62'de verilmiştir. MEL ilavesiyle bozunma hızının düştüğü buna karşın 1000 °C'de kalan kütle miktarının arttığı görülmüştür.



Şekil 4.123: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

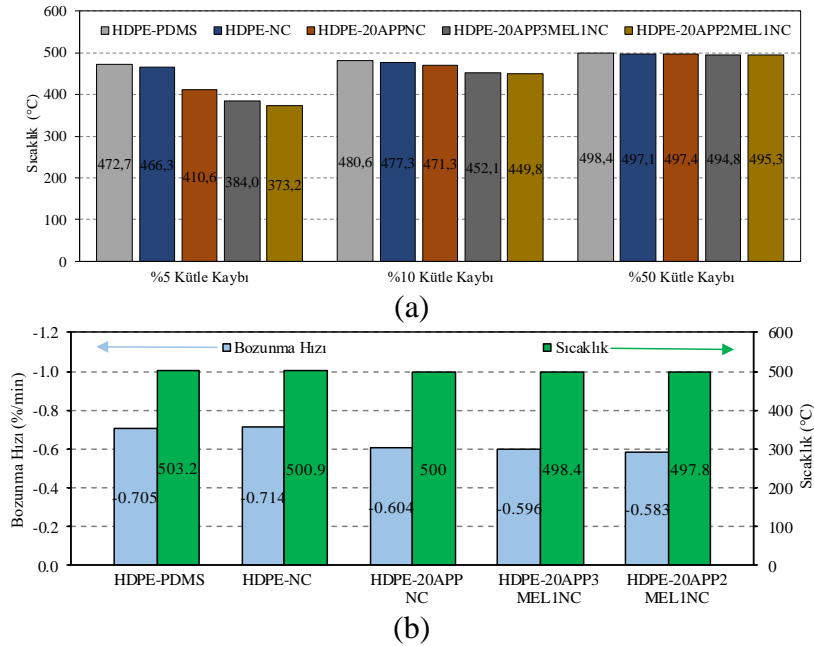
Şekil 4.124'te %5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklar ve en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak grafik halinde verilmiştir. %5 kütle kaybındaki sıcaklık değerlerinde %2 NC ilavesiyle %1,1 azalmayla 466,3 °C'ye, %20 APPNC ilavesiyle %12,9 azalmayla 410,6 °C'ye, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %18,6 azalmayla 384 °C ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %20,9'lük

azalmayla 373,2 °C'ye düştüğü görülmüştür. %10 kütle değişimindeki sıcaklıklarda ise %2 NC ilavesiyle dikkate değer değişim görülmezken %20 APPNC ilavesiyle %1,6 azalmayla 471,3 °C'ye, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %5,6 azalmayla 452,1 °C ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %6,1 azalmayla 449,8 °C'ye düştüğü görülmüştür. %50 kütle değişimindeki sıcaklıklarda ise dikkate değer bir değişim gözlemlenmemiştir.

Tablo 4.62: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları

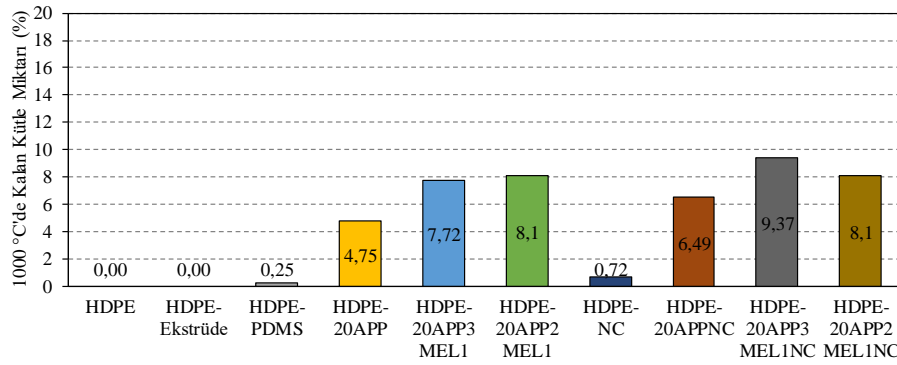
	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
				R <sub>1max</sub>	T <sub>1max</sub>	
HDPE-PDMS	472,7	480,6	498,4	-0,705	503,2	0,25
HDPE-NC	466,3	477,3	497,1	-0,714	500,9	0,72
HDPE-20APPNC	410,6	471,3	497,4	-0,604	500	6,49
HDPE-20APP3MEL1NC	384	452,1	494,8	-0,596	498,4	9,37
HDPE-20APP2MEL1NC	373,2	449,8	495,3	-0,583	497,8	8,1

En yüksek bozunma hızlarında HDPE polimerine %2 NC ilavesiyle %2,7 azalmayla -0,714 %/min değerine düştüğü görülmüş olup %20 APPNC ilavesiyle %17,7 azalmayla -0,604 %/min, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %18,7 azalmayla -0,596 %/min ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %20,5 azalmayla -0,583 %/min değerine düştüğü görülmüştür. En yüksek bozunmanın gerçekleştiği sıcaklıklarda değişimler  $\pm 0,4$  aralığında değişim gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4.124: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin 1000 °C’de yüzde kalan kütle miktarları Şekil 4.125’te verilmiştir. Ekstrüzyon işlemi ile 1000 °C’de kalan kütle miktarının değişmediği PDMS ilavesiyle 1000 °C’de kalan kütle miktarının %0,25 olduğu görülmüştür. HDPE polimerine %20 APP ilavesiyle %4,75, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %7,72 ve %20 APP3MEL1 ilavesiyle %8,1 arttığı gözlemlenmiş olup %2 NC ilavesiyle %0,72, %20 APPNC ilavesiyle %6,49, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %9,37 ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %8,1 arttığı görülmüştür.



Şekil 4.125: HDPE-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin 1000 °C’de kalan kütle miktarları

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinden PP, PP-Ekstrüde ve PP-PDMS üretimlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.126’da verilmiş olup TGA deneylerinin sayısal sonuçları Tablo 4.63’te verilmiştir.

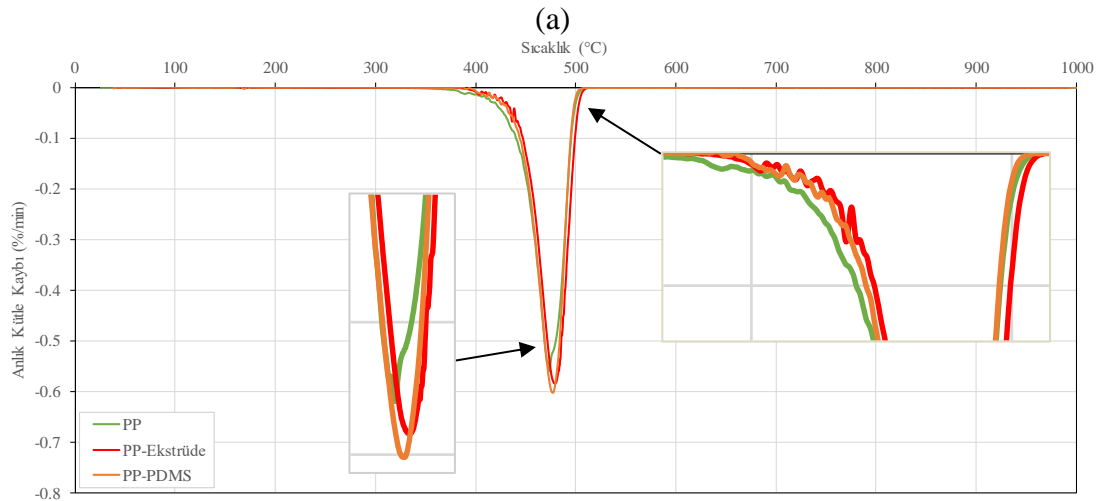
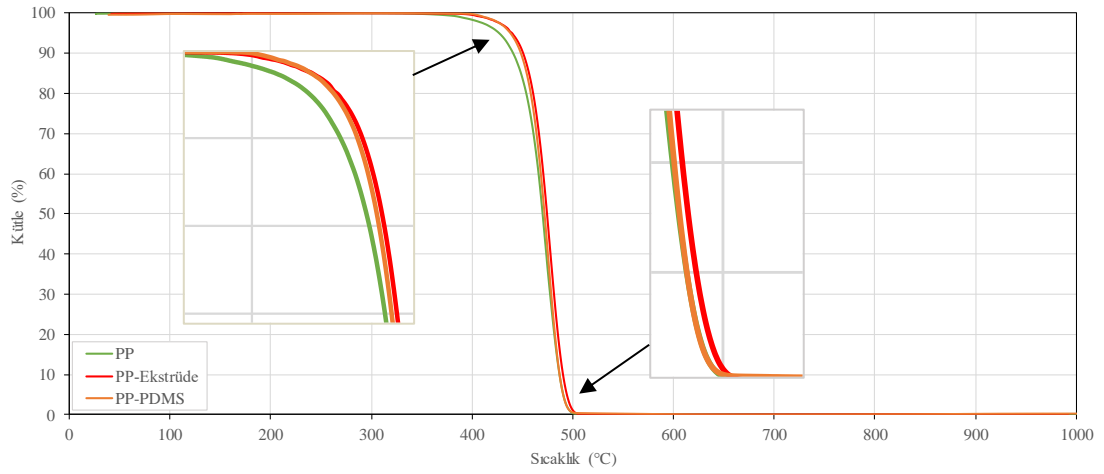
Tablo 4.63: PP, PP-Ekstrüde ve PP-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		1000 °C’de Kalan Kütle Miktarı (%)
PP	426,7	440,8	469,8	-0,56	473,7	0,00
PP-Ekstrüde	439,7	450,6	474,3	-0,585	479,3	0,00
PP-PDMS	438,1	448,4	471,7	-0,602	476,9	0,26

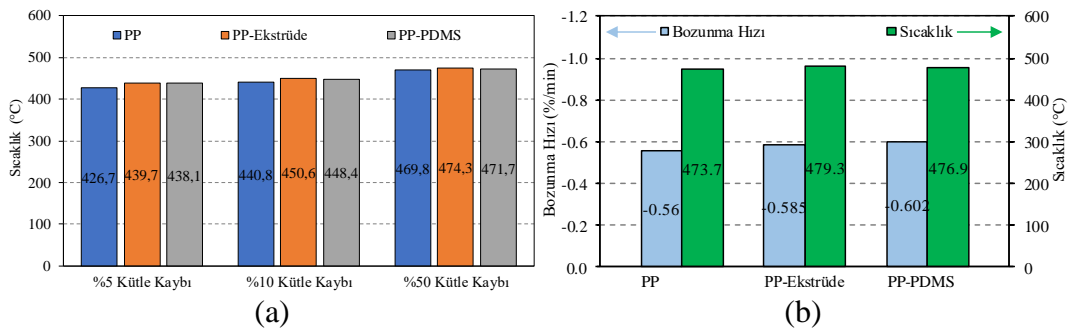
Şekil 4.127’de %5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklar ve en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri verilmiştir. PP polimerinin %5 kütle kaybındaki sıcaklık değeri 426,7 °C değerindeyken ekstrüde edilmiş PP %3’lük artışla 439,7 °C’ye ve PDMS ilavesiyle bu değer %2,7’lik artışla 438,1 °C değerine çıktığı görülmüştür. %10 kütle kaybındaki sıcaklıklarda ise PP’in 440,8 °C değerindeyken ekstrüde edilmiş PP %2,2 artışla 450,6 °C’ye ve PDMS ilavesiyle %1,7 artışla 448,4



°C değerine çıktığı gözlemlenmiştir. %50 kütle kaybındaki sıcaklıklarda ise dikkate değer bir değişim görülmemiştir.



Şekil 4.126: PP, PP-Ekstrüde ve PP-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

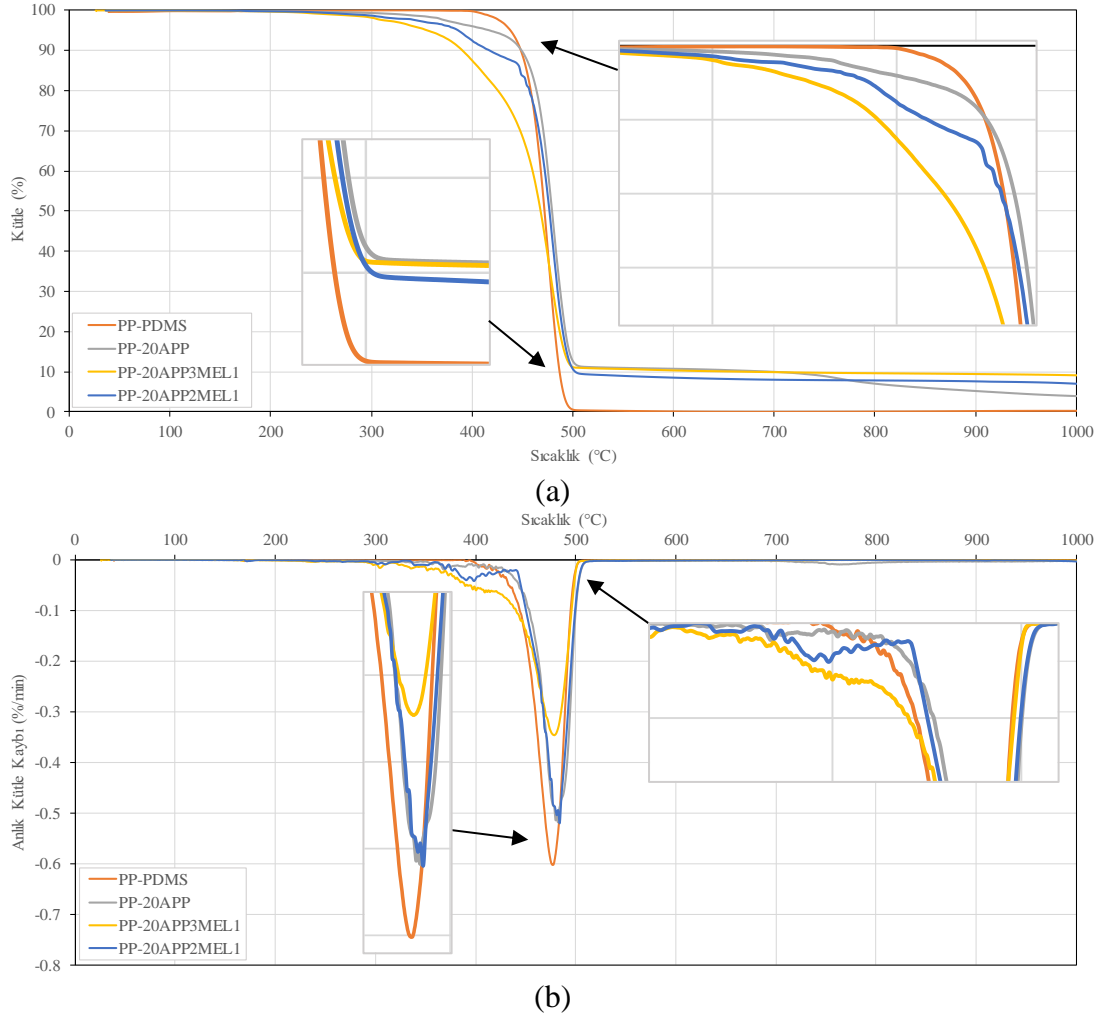


Şekil 4.127: PP, PP-Ekstrüde, PP-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

PP polimerinin en yüksek bozunma hızı -0,56 %/min değerindeyken ekstrüde edilmiş PP'in bozunma hızı %4,4 artarak -0,585 %/min değerine çıktığı görülmüştür. PDMS ilavesiyle %7,6 artışla -0,602 %/min değerine çıktığı görülmüştür. En yüksek bozunma anındaki sıcaklıklarda ise katkısız PP'de 473,7 °C değerindeyken Ekstrüde

edilmiş PP'de %1,2 artışla 479,3 °C ve PDMS ilavesiyle %0,7 artışla 476,9 °C değerine çıktığı belirlenmiştir.

PP-PDMS, 20APP, 20APP3MEL1 ve 20APP2MEL1 üretimlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.128'de verilmiştir. TGA deneylerinin sayısal sonuçları Tablo 4.64'te verilmiştir. APP ve MEL ilavesiyle 1000 °C'de kalan kütle miktarlarının arttığı görülmüştür.



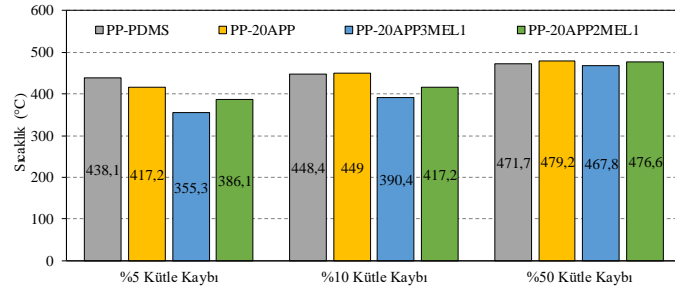
Şekil 4.128: PP-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

Tablo 4.64: PP-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları

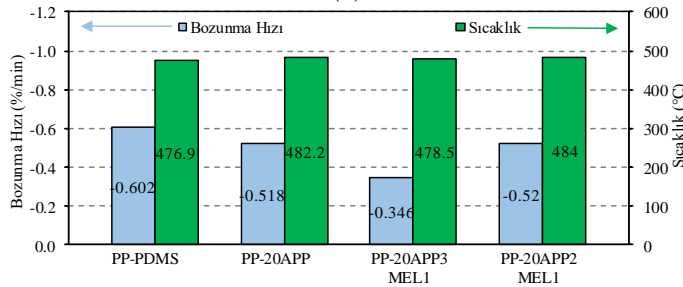
	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
PP-PDMS	438,1	448,4	471,7	-0,602	476,9	0,26
PP-20APP	417,2	449	479,2	-0,518	482,2	3,93
PP-20APP3MEL1	355,3	390,4	467,8	-0,346	478,5	9,11
PP-20APP2MEL1	386,1	417,2	476,6	-0,52	484	7,01

%5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklar ve en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri Şekil 4.129'da verilmiştir. %5 kütle kaybındaki sıcaklık değerlerinde %20 APP ilavesiyle %2,2 azalmayla 417,2 °C, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %16,7 azalmayla 355,3 °C ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %9,5 azalmayla 386,1 °C değerine düştüğü görülmüştür. %10 kütle kaybındaki sıcaklıkları %20 APP ilavesiyle %1,9'luk artış göstererek 449 °C çıkarken %20 APP3MEL1 ilavesiyle %11,4'lük azalmayla 390,4 °C ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %5,3 azalmayla 417,2 °C değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %50 kütle değişimindeki sıcaklık değerlerinde dikkate değer bir değişim görülmemiştir.

PP polimerine %20 APP ilavesiyle bozunma hızı %7,5 oranında azalarak -0,518 %/min değerine, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %38,1 azalmayla -0,346 %/min değerine ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %7,1 azalmayla -0,520 %/min değerine düştüğü gözlemlenmiştir. En yüksek bozunmanın olduğu sıcaklıklarda ise %20 APP ilavesiyle %1,8 artışla 482,2 °C'ye, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %1'lik artışla 478,5 °C'ye ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %2,2'lik artışla 484 °C değerine çıktığı görülmüştür.



(a)

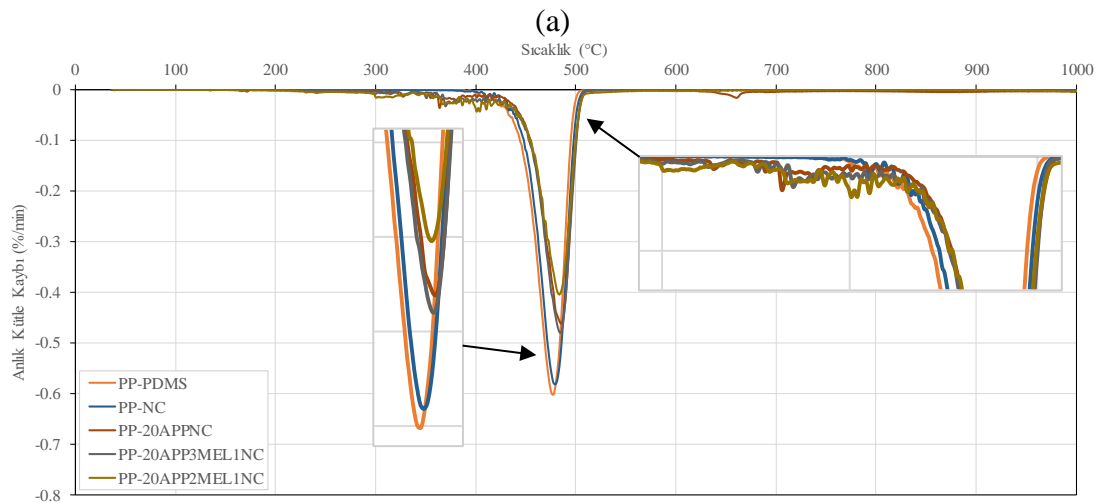
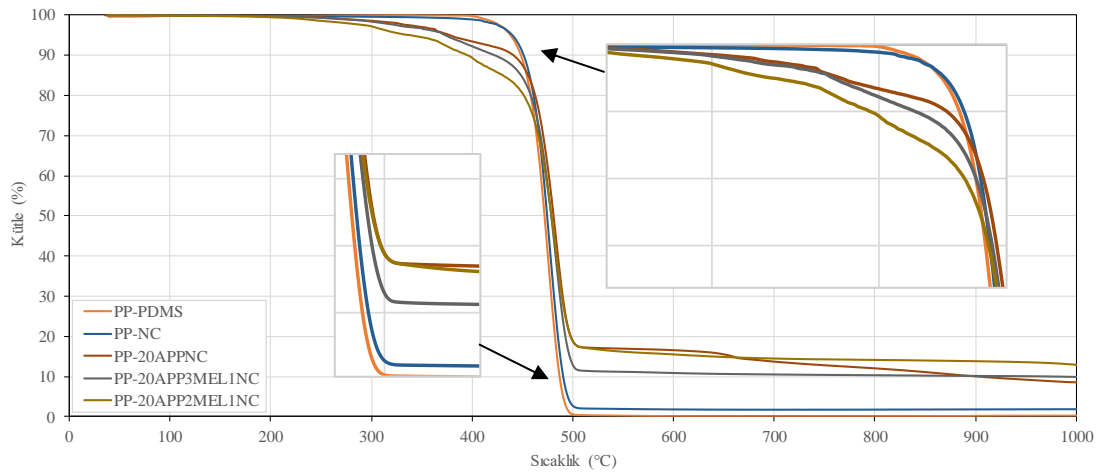


(b)

Şekil 4.129: PP-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

PP-PDMS, NC, 20APPNC, 20APP3MEL1NC ve 20APP2MEL1NC üretimlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.130'da verilmiştir. TGA deneylerinin

sayısal sonuçları Tablo 4.65'te verilmiştir. NC, APP ve MEL ilavesiyle 1000 °C'de kalan kütle miktarlarının arttığı görülmüştür.



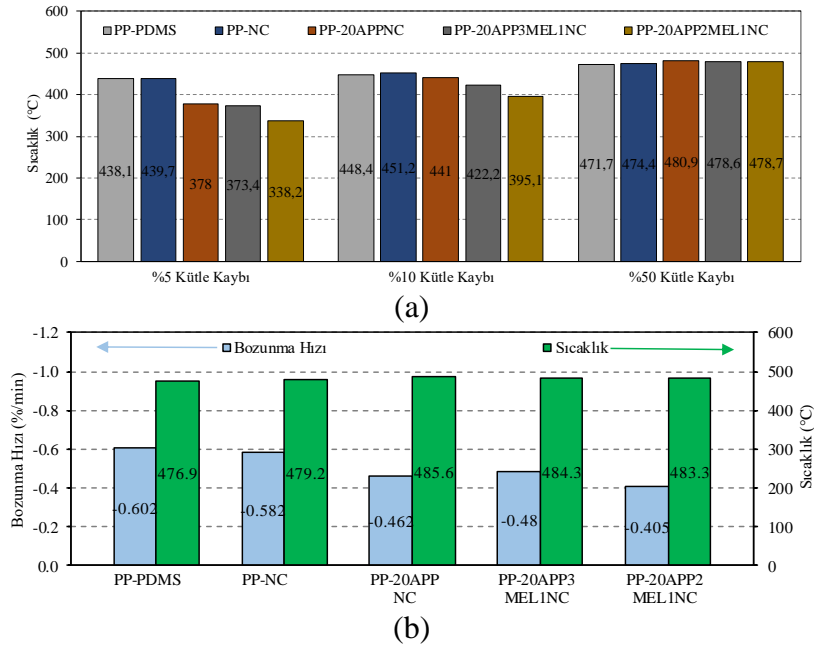
(a)  
(b)  
Şekil 4.130: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

Tablo 4.65: PP-APP-MEL-PDMS kompozitlerinin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )	1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
PP-PDMS	438,1	448,4	471,7	-0,602   476,9	0,26
PP-NC	439,7	451,2	474,4	-0,582   479,2	1,86
PP-20APPNC	378	441	480,9	-0,462   485,6	8,55
PP-20APP3MEL1NC	373,4	422,2	478,6	-0,48   484,3	9,9
PP-20APP2MEL1NC	338,2	395,1	478,7	-0,405   483,3	12,93

%5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklar ve en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.131'de verilmiştir. %5 kütle değişimindeki sıcaklık değerlerinde %2 NC ilavesiyle %3,1 artarak 439,7 °C, %20

APPNC %11,4 azalmayla 378 °C, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %12,5 azalmayla 373,4 °C ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle 338,2 °C'ye düştüğü görülmüştür. %10 kütle değişimindeki sıcaklık değerlerinde %2 NC ilavesiyle %2,4 azalmayla 448,4 °C, %20 APPNC ilavesiyle değişim görülmemiş olup 441 °C, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %4,2 azalmayla 422,2 °C ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %10,4'lük azalmayla 395,1 °C değerine düştüğü gözlemlenmiştir. %50 kütle değişiminde dikkate değer bir değişim görülmemiştir.



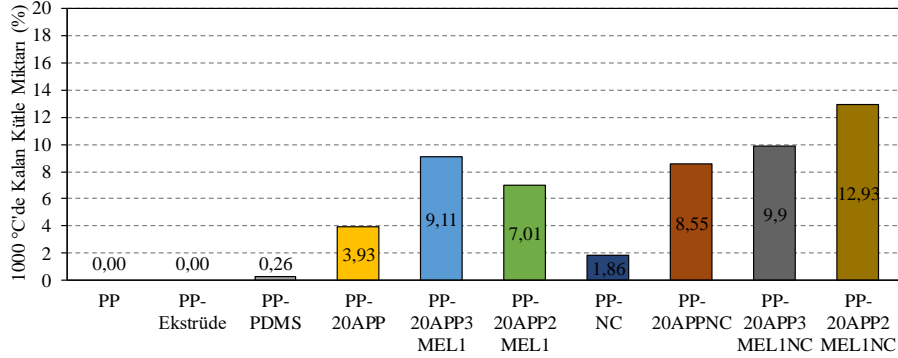
Şekil 4.131: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

En yüksek bozunma hızlarında %2 NC ilavesiyle %3,9 artışla -0,582 %/min değerine çıkmış buna karşın %20 APPNC ilavesiyle %17,5 azalmayla -0,462 %/min, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %14,2 azalmayla -0,480 %/min ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %27,7 azalmayla -0,405 %/min değerine düştüğü görülmüştür. En yüksek bozunma hızlarındaki sıcaklıklarda ise %2 NC ilavesiyle %1,2 artışla 479,2 °C'ye, %20 APPNC ilavesiyle %2,5'lik artışla 479,2 °C'ye, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %2,2 artışla 484,3 °C ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %2 artışla 483,3 °C'ye çıktığı gözlemlenmiştir.

1000 °C'de kalan kütle miktarları Şekil 4.132'de verilmiştir. PP polimerinin ekstrüzyonu ile kalan kütle %0 değerindeyken PDMS ilavesiyle bu değer %0,26 değerinde olduğu görülmüş olup kütlece %20 APP ilavesinde %3,93, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %9,11 ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %7,01 değerine çıktığı

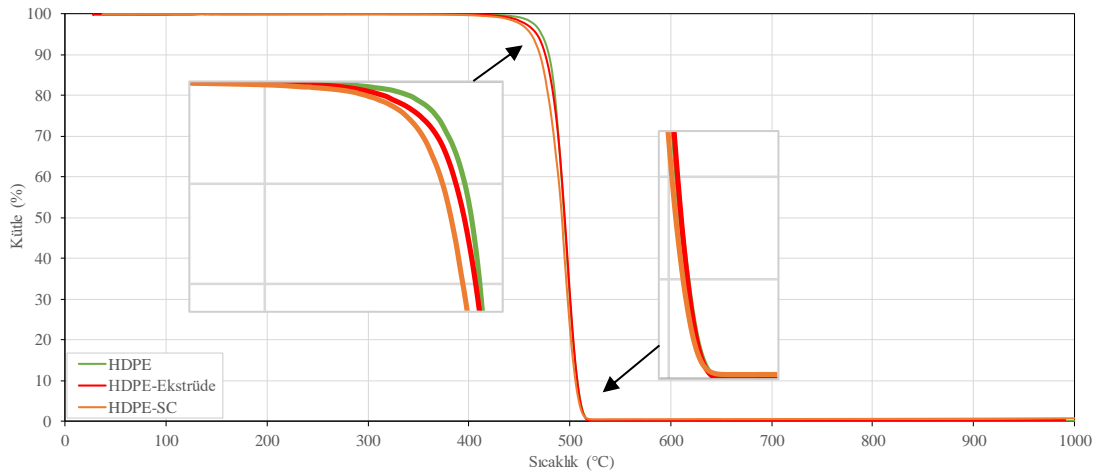


görülmüştür. PP polimerine kütlece %2 NC ilavesiyle %1,86 değerindeyken %20 APPNC ilavesiyle bu değer %8,55'e, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %9,9'a ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %12,93 değerine çıktığı görülmüştür.

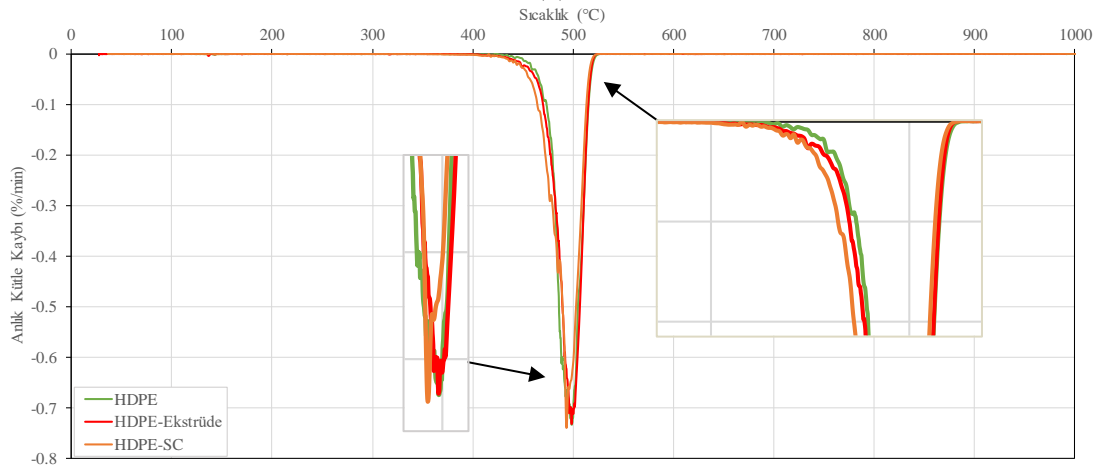


Şekil 4.132: PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin 1000 °C'de kalan kütle miktarları

HDPE-APP-PER-SC üretimlerinden HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-SC üretimlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.133'te verilmiş olup Tablo 4.66'da TGA deneylerinin sayısal sonuçları verilmiştir.



(a)



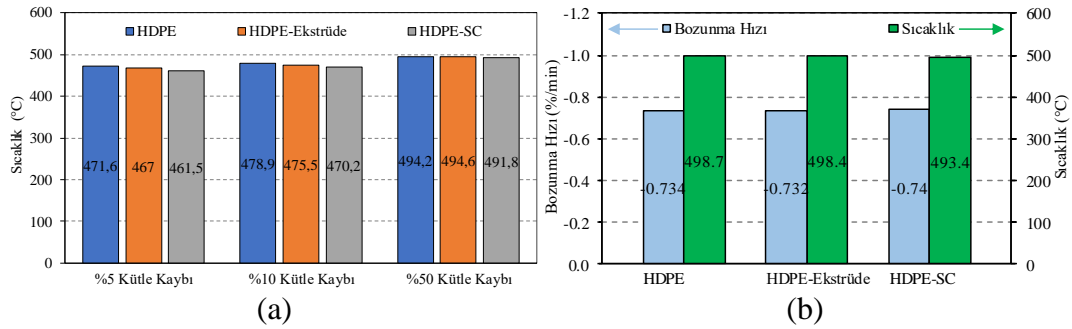
(b)

Şekil 4.133: HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-SC malzemelerin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

Tablo 4.66: HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-SC kompozitlerinin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C)		1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
	(T <sub>5 wt %</sub> )	(T <sub>10 wt %</sub> )	(T <sub>50 wt %</sub> )	(R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		
HDPE	471,6	478,9	494,2	-0,734	498,7	0,00
HDPE-Ekstrüde	467	475,5	494,6	-0,732	498,4	0,00
HDPE-SC	461,5	470,2	491,8	-0,74	493,4	0,73

HDPE polimerine kütlece %5 SC ilavesiyle bozunma hızı %0,9 artışla -0,74 %/min değerine yükseldiği görülmüş buna karşın bozunma sıcaklığı %1,1 azalma göstermiş ve 493,4 °C'ye düştüğü görülmüştür. Şekil 4.134'te %5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklar ve en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.134: HDPE, HDPE-Ekstrüde, HDPE-SC kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

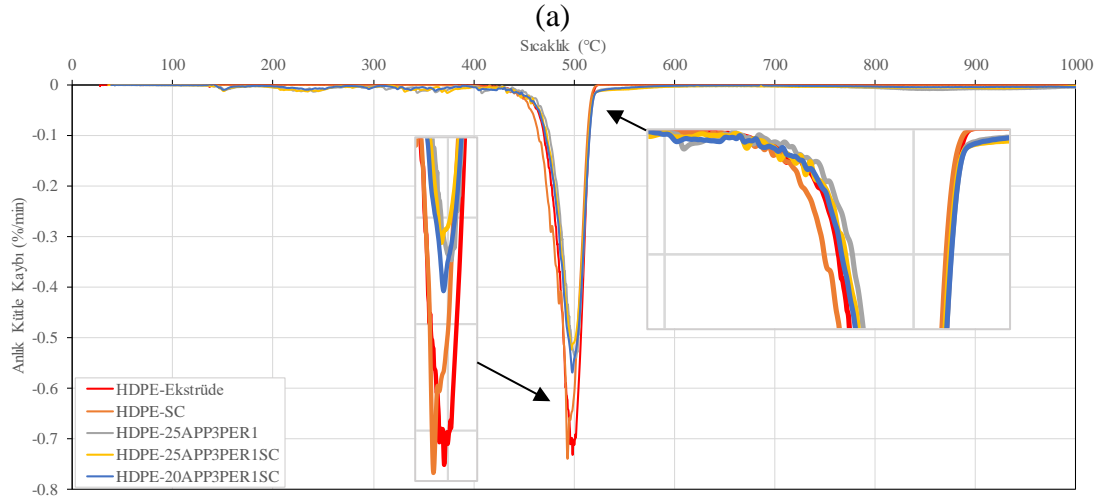
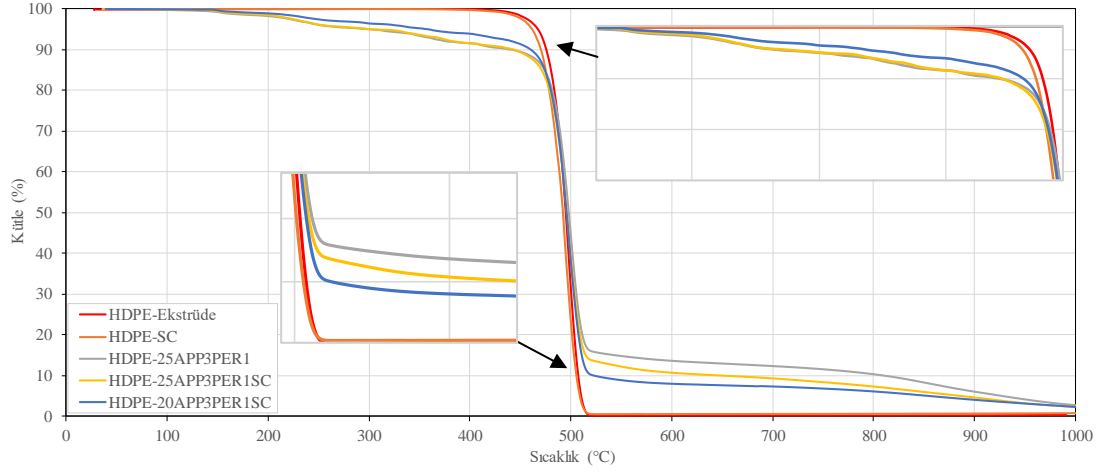
HDPE-Ekstrüde, HDPE-SC, 25APP3PER1, 25APP3PER1SC ve 20APP3PER1 üretimlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.135'te verilmiştir. Tablo 4.67'de TGA deneylerinin sayısal sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.67: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C)	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C)		1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
	(T <sub>5 wt %</sub> )	(T <sub>10 wt %</sub> )	(T <sub>50 wt %</sub> )	(R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		
HDPE-Ekstrüde	467	475,5	494,6	-0,732	498,4	0,00
HDPE-SC	461,5	470,2	491,8	-0,74	493,4	0,73
HDPE-25APP3PER1	299,7	440,6	497,7	-0,54	501,9	2,68
HDPE-25APP3PER1SC	302,9	443,5	495,7	-0,524	497,2	2,28
HDPE-20APP3PER1SC	358,2	460,1	495,6	-0,569	498,1	2,25

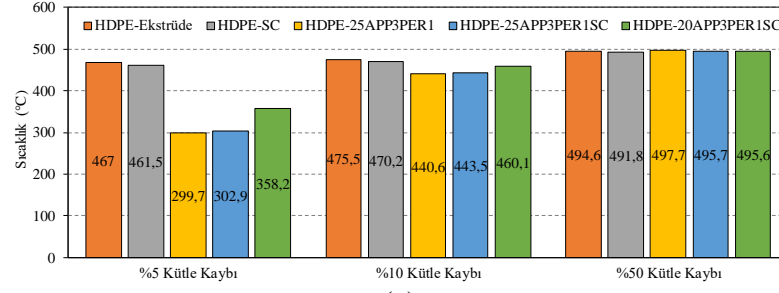
%5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklar ve en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.136'da verilmiştir. Alev geciktirici

katkılı ürünler %5 kütle kaybı daha düşük sıcaklıklarda görülmüş olup kütlece %25 katkılı ürünler 299,7 °C ve 302,9 °C civarındayken %20 katkılı kompozit ise 358,2 °C sıcaklıkta görülmüştür. %10 kütle kaybı %25 katkılı ürünlerde 440,6 °C ve 443,5 °C civarındayken %20 katkılı kompozitte ise 460,1 °C sıcaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. %50 kütle kaybı ise  $495 \pm 3$  °C sıcaklık aralığında bulunduğu belirlenmiştir.

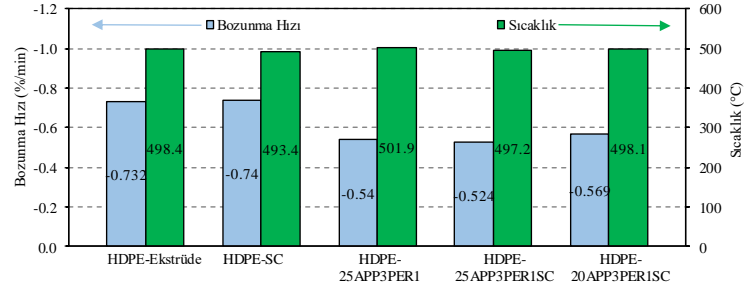


Şekil 4.135: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

En yüksek bozunma hızlarında kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle %26,4 azalmayla -0,540 %/min, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %28,6 azalmayla -0,524 %/min ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %22,4 azalmayla -0,569 %/min değerine düştüğü görülmüştür. En yüksek bozunma hızlarındaki sıcaklık değerleri ise çok az miktarda değişim göstermiştir. APP ve PER katkıları HDPE’de en yüksek bozunma sıcaklığı değerini yükseltirken en yüksek bozunma hızı değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Xu ve diğ. (2016) ile Wang ve diğ. (2015)’nin yaptıkları çalışmada da benzer durum tespit etmişlerdir.



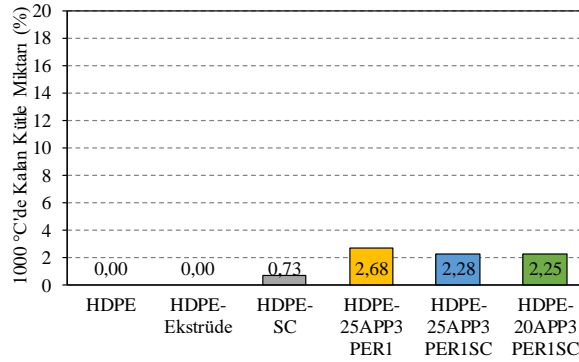
(a)



(b)

Şekil 4.136: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

1000 °C’de kalan kütle miktarları Şekil 4.137’de verilmiştir. Kütlece %5 SC ilavesiyle 1000 °C’de kalan kütle miktarı %0,73, %25 APP3PER1 ilavesiyle %2,68, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %2,28 ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %2,25 miktarında kütle kalmıştır.

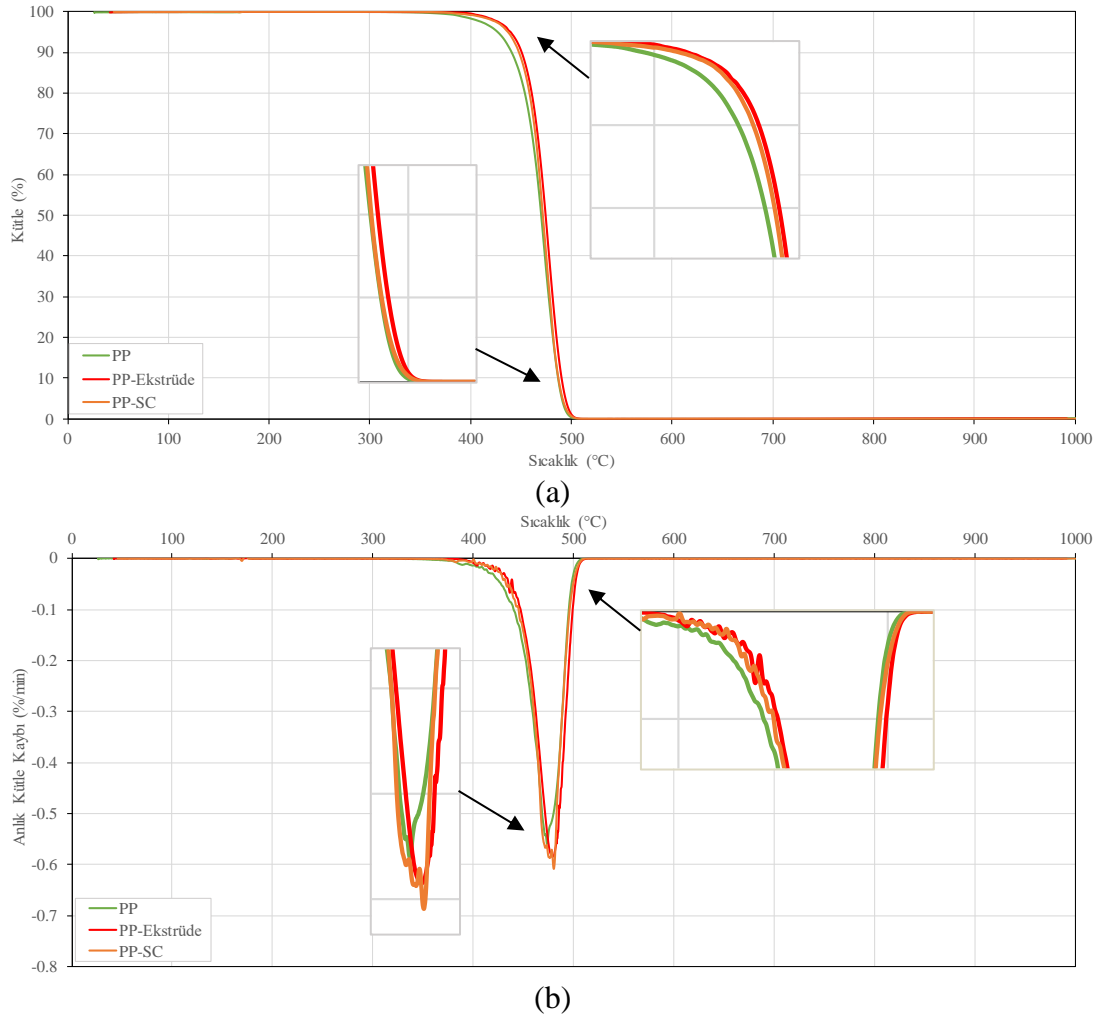


Şekil 4.137: HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin 1000 °C’de kalan kütle miktarları

PP-APP-PER-SC kompozitlerinden PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC üretimlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.138’de verilmiştir. Tablo 4.68’de TGA deneylerinin sayısal sonuçları verilmiştir. %5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklar ve en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.139’da verilmiştir.

PP’de ekstrüzyon işlemi %5 ve %10 kütle kaybındaki sıcaklıkları işlemsiz PP’ye kıyasla %3 ve %2,2 oranında arttırarak sırasıyla 439,7 °C ve 450,6 °C’ye

çıkardığı görülmüştür. Kütlece %2 SC ilavesiyle bu değerler %2,4 ve %1,6 artışla 436,8 °C ve 447,9 °C'ye çıktığı gözlemlenmiştir.



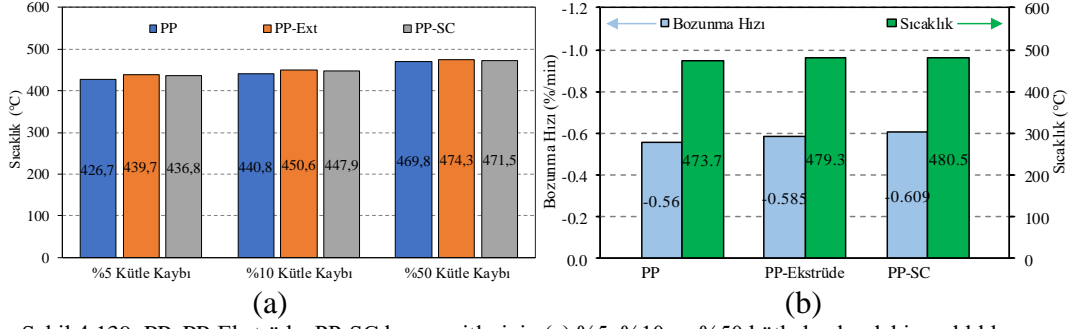
Şekil 4.138: PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC kompozitlerin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

Tablo 4.68: PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC malzemelerin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
PP	426,7	440,8	469,8	-0,560	473,7	0,18
PP-Ekstrüde	439,7	450,6	474,3	-0,585	479,3	0,12
PP-SC	436,8	447,9	471,5	-0,609	480,5	0,02

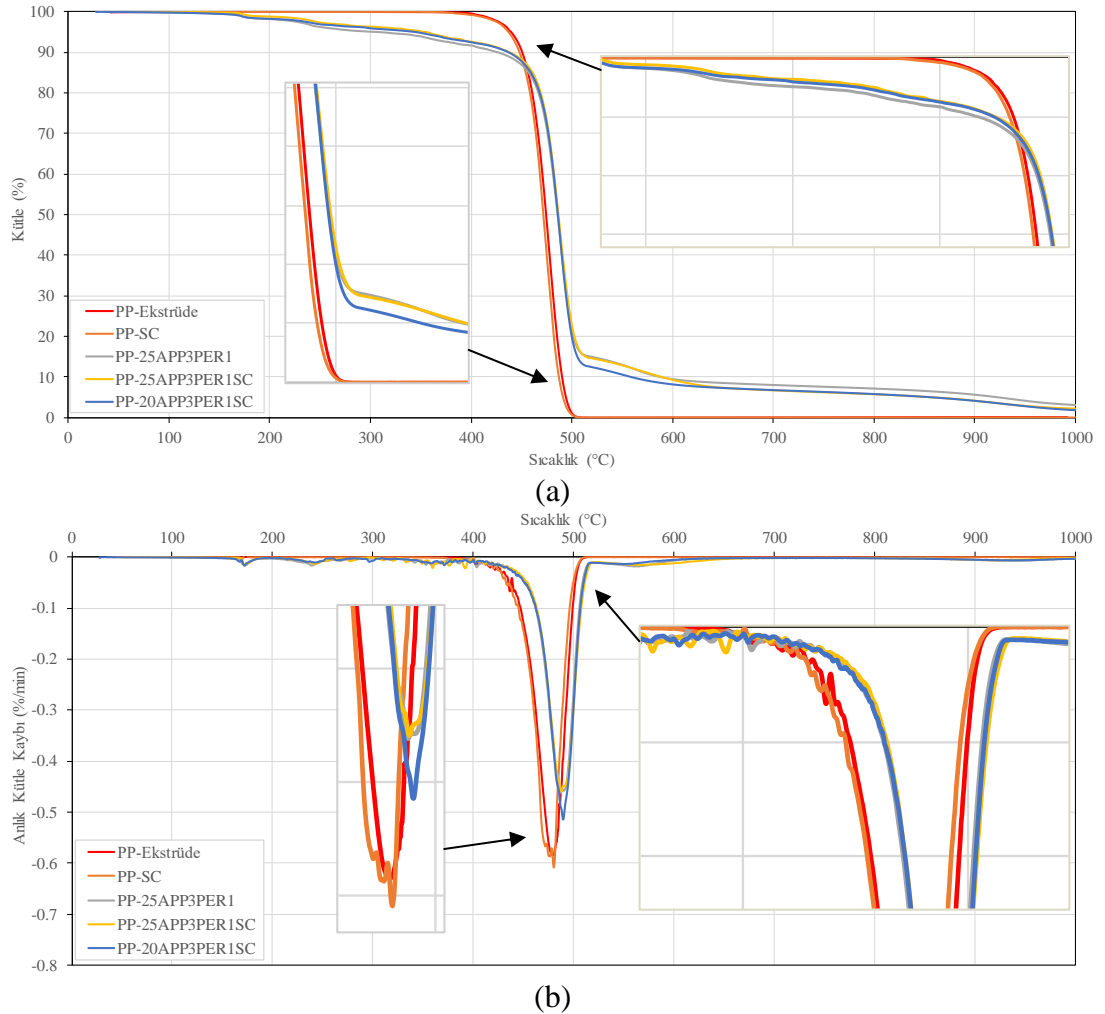
En yüksek bozunma hızlarında kütlece %2 SC ilavesiyle %8,7 artışla -0,609 %/min değerine çıktığı görülmüş olup bu durumda sıcaklık değeri ise %1,4 artış göstermiş ve 480,5 °C'ye çıktığı görülmüştür. Xu ve diğ. (2016) ile Wang ve diğ. (2015)'nin yaptıkları çalışmada da benzer durum gözlemlenmiştir.





Şekil 4.139: PP, PP-Ekstrüde, PP-SC kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

PP-Ekstrüde, PP-SC, 25APP3PER1, 25APP3PER1SC ve 20APP3PER1SC kompozitlerinin TG ve DTG grafikleri Şekil 4.140'ta verilmiş olup TGA deneylerinin sayısal sonuçları Tablo 4.69'da verilmiştir.



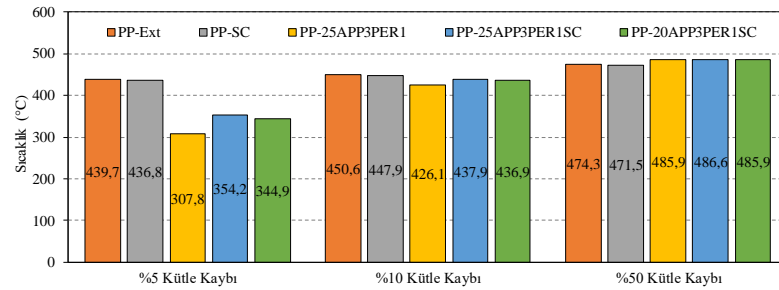
Şekil 4.140: PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC kompozitlerin (a) TG ve (b) DTG grafikleri

PP kompozitlerin %5, %10, %50 kütle kaybındaki sıcaklıklar ve en yüksek bozunma hızıyla sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.141'de verilmiştir. %5 kütle kaybındaki sıcaklıklar kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle %27,9 azalmayla

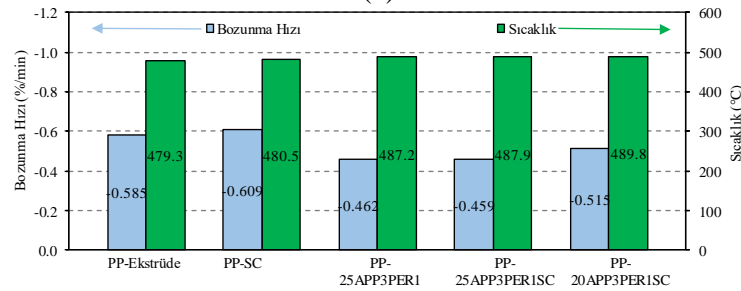
307,8 °C, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %17 azalmayla 354,2 °C ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %19,2 azalmayla 344,9 °C değerine düştüğü görülmüştür. %10 kütle kaybındaki sıcaklıklar ise %25 APP3PER1 ilavesiyle %3,3'lük azalmayla 426,1 °C'ye düştüğü görülmüş olup %25 APP3PER1SC ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle dikkate değer bir azalma görülmemiştir. %50 kütle değişimindeki sıcaklıklarda ise %25 APP3PER1 ilavesiyle %3,4'lük artışla 485,9 °C, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %3,6'lük artışla 486,6 °C ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %3,4'lük artışla 485,9 °C değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.69: PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC kompozitlerin TGA sonuçları

	%5 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>5 wt %</sub> )	%10 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>10 wt %</sub> )	%50 Kütle Kaybındaki Sıcaklık (°C) (T <sub>50 wt %</sub> )	En Yüksek Bozunma Hızı (%/min) ve Sıcaklığı (°C) (R <sub>1max</sub> ve T <sub>1max</sub> )		1000 °C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
PP-Ekstrüde	439,7	450,6	474,3	-0,585	479,3	0,12
PP-SC	436,8	447,9	471,5	-0,609	480,5	0,02
PP-25APP3PER1	307,8	426,1	485,9	-0,462	487,2	3,10
PP-25APP3PER1SC	354,2	437,9	486,6	-0,459	487,9	2,20
PP-20APP3PER1SC	344,9	436,9	485,9	-0,515	489,8	1,82



(a)



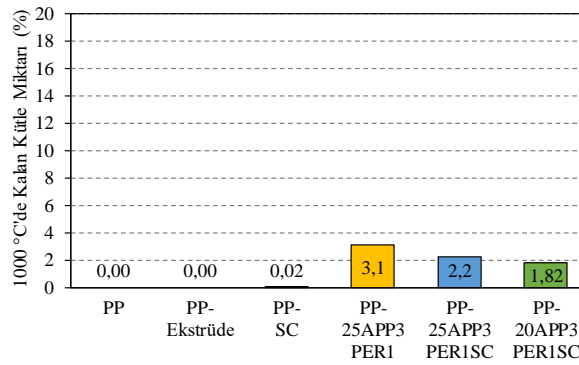
(b)

Şekil 4.141: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin (a) %5, %10 ve %50 kütle kaybındaki sıcaklıkları ve (b) en yüksek bozunma hızı ve sıcaklıkları

En yüksek bozunma hızlarında ise %25 APP3PER1 ilavesiyle %17,5 azalmayla -0,462 %/min, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %17,9 azalmayla -0,459 %/min ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %8,1 azalmayla -0,515 %/min değerine

düştüğü belirlenmiştir. En yüksek bozunma hızlarındaki sıcaklıklarda ise %25 APP3PER1 ilavesiyle %2,8 artışla 487,2 °C'ye, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %3 artışla 487,9 °C'ye ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %3,4'lük artışla 489,8 °C değerine çıktığı tespit edilmiştir.

HDPE polimerine kütlece %5 SC ilavesiyle 1000 °C'de kalan kütle miktarları SC ilavesiyle değişmemiş olduğu %25 APP3PER1 ilavesiyle %3,1, %25 APP3PER1SC ilavesiyle %2,2 ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %1,82 değerinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.142).



Şekil 4.142: PP-APP-PER-SC kompozitlerinin 1000 °C'de kalan kütle miktarları

#### 4.2.5 UL 94 deneyi sonuçları

HDPE-PP-NC-PDMS ve HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinde üretilen numunelerin hiçbiri sınıflandırmaya girememiş olup tamamı yanmış, damlama durumu gerçekleşip pamuk tutuşmuş ve 1. alevde tamamı yanmıştır. Wu ve diğ. (2009) çalışmalarında HDPE polimerine kütlece %30 üzerinde APP:MEL (3:1) ilavesinde V0'a ulaşıldığını belirtmişlerdir.

HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin UL 94 sonuçları Tablo 4.70'te verilmiştir. Şekil 4.143(a)'da HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin ve Şekil 4.143(b)'de PP-APP-PER-SC kompozitlerinin yanma sonrası UL 94 görüntüleri verilmiştir. Görüntüler numunenin önünden ve arkasından çekilerek konulmuştur. HDPE-APP-PER-SC kompozitlerinin katkısız HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-SC numunelerinin tamamı 1. alevde yanmış ve damlama oluşup pamuğu yakmış dolayısıyla herhangi bir sınıflandırmaya girememiştir. Fakat %25 APP3PER ilavesiyle ilk alevde 1 s sonunda sönmüş olup ikinci alevde tekrar 1 s yanmış,

toplamda 2 s yanmış olmasına rağmen 2. alev anında damlama olmuş ve pamuk tutuşmuştur.

Numunenin tamamı yanmamış olup yanmazlık sınıfının V2 olduğu tespit edilmiştir. %25 APP3PER1SC ilavesiyle 1. alevde 1 s yanmış 2. alevde 10 s yanmış olup toplamda 11 s yanmıştır. Bu esnada damlama olmuş ve pamuk 2. alevde tutuşmuş olup numune tamamen yanmamıştır. Dolayısıyla yanmazlık derecesinin V2 olduğu belirlenmiştir. %20 APP3PER1 ilavesiyle 1. alevde 9 s ikinci alevde 3,9 s yanmış olup toplamda 12,9 s yanmıştır. Damlama 1. alevde görülürken pamuk bu anda yanmıştır. Numunenin tamamı yanmamış olup yanmazlık derecesinin V2 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.143: (a) HDPE ve (b) PP APP-PER-LH15C-1251-SC kompozitlerinin yanma sonrası görüntüleri

Tablo 4.70: HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin UL 94 sonuçları

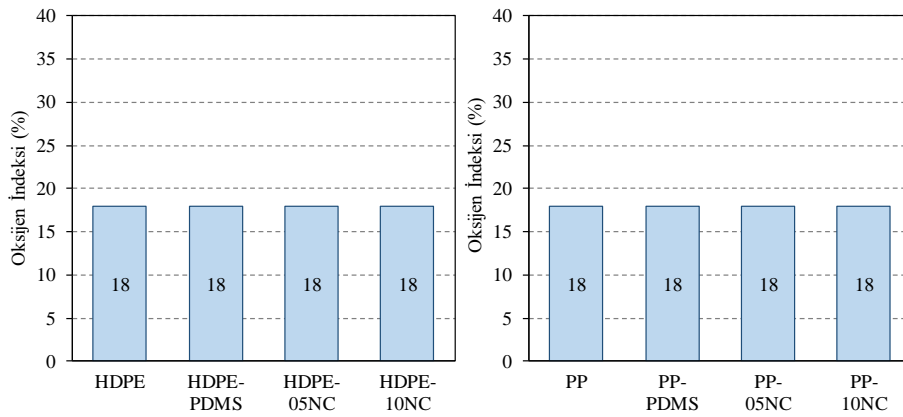
	t <sub>1</sub> (s)	t <sub>2</sub> (s)	t <sub>3</sub> (s)	t <sub>1</sub> +t <sub>2</sub> +t <sub>3</sub> (s)	Damlama	Pamuk Tutuşma	Numune Yanma Durumu	Yanmazlık Sınıfı
HDPE	-	-	-	-	Evet	1. Alevde Yandı	1. Alevde Tamamen yandı	NR
HDPE-Ekstrüde	-	-	-	-	Evet	1. Alevde Yandı	1. Alevde Tamamen yandı	NR
HDPE-SC	-	-	-	-	Evet	1. Alevde Yandı	1. Alevde Tamamen yandı	NR
HDPE-25APP3PER1	1	1	-	2	Evet	2. Alevde Yandı	Yanmadı	V2
HDPE-25APP3PER1SC	1	10	-	11	Evet	2. Alevde Yandı	Yanmadı	V2
HDPE-20APP3PER1SC	9	3,9	-	12,9	Evet	1. Alevde Yandı	Yanmadı	V2
PP	-	-	-	-	Evet	1. Alevde Yandı	1. Alevde Tamamen yandı	NR
PP-Ekstrüde	-	-	-	-	Evet	1. Alevde Yandı	2. Alevde Tamamen yandı	NR
PP-SC	-	-	-	-	Evet	1. Alevde Yandı	1. Alevde Tamamen yandı	NR
PP-25APP3PER1	1,9	4	-	5,9	Hayır	Yanmadı	Yanmadı	V0
PP-25APP3PER1SC	2,1	2	-	4,1	Hayır	Yanmadı	Yanmadı	V0
PP-20APP3PER1SC	1,8	6	-	7,8	Evet	2. Alevde Yandı	Yanmadı	V2

PP-APP-PER-SC kompozitlerinin katkısız PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC numunelerinin tamamı 1. alevde yanmış olup damlama oluşup pamuk yanmış ve herhangi bir sınıflandırmaya girememiştir. Fakat %25 APP3PER ilavesiyle ilk alevde 1,9 s sonunda sönmüş olup ikinci alevde 4 saniye yanmış, toplamda 5,9 s yanmış olmasına rağmen damlama görülmemiş ve numunenin tamamı yanmamış olup yanmazlık sınıfının V0 olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde %25 APP3PER1SC ilavesiyle 1. alevde 2,1 s yanmış 2. alevde 2 s yanmış olup toplamda 4,1 s yanmıştır. Herhangi bir damlama olayı görülmemiş olup malzeme tamamen yanmamış yanmazlık sınıfının V0 olduğu belirlenmiştir. %20 APP3PER1 ilavesiyle 1. alevde 1,8 s yanmış olup 2. alevde 6 s yandığı toplamda 7,8 s yandığı görülmüş olup damlama oluşmuş ve pamuk 2. alevde yandığı gözlemlenmiştir. Numunenin tamamının yanmamasına ve yanma süresinin 10 s altında olmasına rağmen damlama olup pamuk yandığı için yanmazlık sınıfının V2'ye düştüğü tespit edilmiştir.

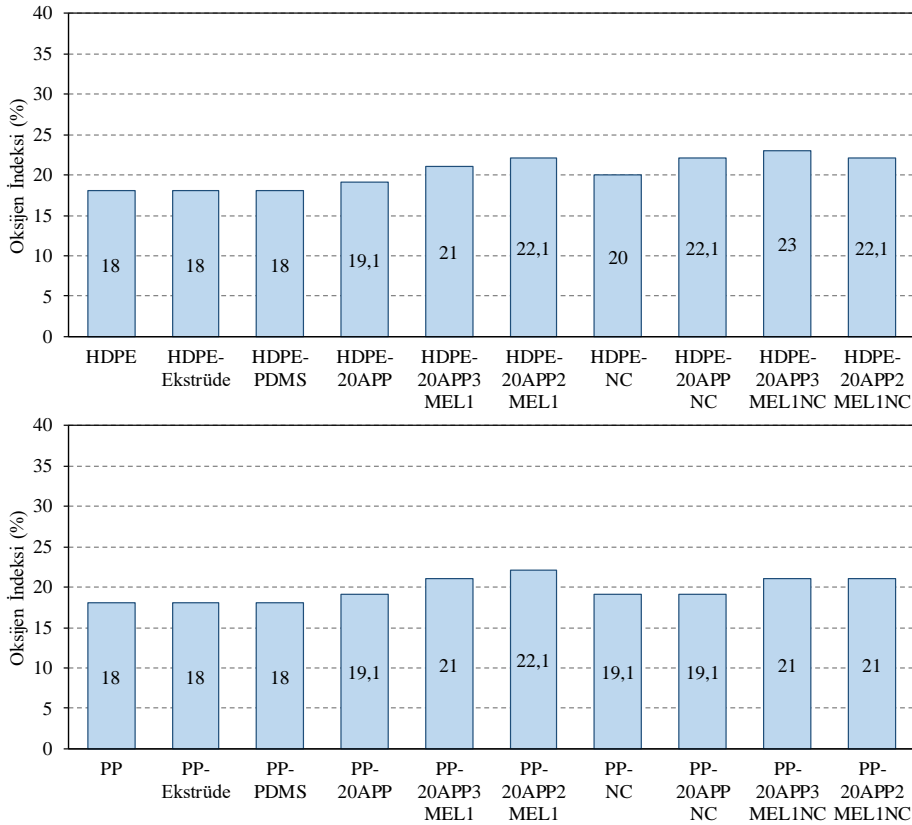


#### 4.2.6 LOI deneyi sonuçları

HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin LOI testinin sonuçları Şekil 4.144'te verilmiştir. Üretilen polimer kompozitlerin tamamının sonucu %18 oksijen oranında yanmaya devam etmiştir. HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin LOI testinin sonuçları Şekil 4.145'te verilmiştir. İlave edilen APP, MEL ve NC polimerlerin oksijen indekslerini arttırdığı gözlemlenmiştir. %24 değerinin altında olması LOI sınıflandırmasında yanıcı olduğunu göstermektedir. Xu ve diğ. (2016) çalışmalarında APP ve MEL ilavesiyle LOI değerlerinde artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.144: HDPE-PP-NC-PDMS kompozitlerinin LOI değerleri



Şekil 4.145: HDPE-PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerinin LOI değerleri

HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-PDMS üretimlerinde oksijen indeksleri %18 değerindeyken kütlece %20 APP ilavesiyle %5,9'luk artışla %19,1'e, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %16,8'lik artışla %21'e ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %22,6'lık artışla %22,1 değerine çıktığı görülmüştür. Polimer matrise kütlece %2 NC ilavesiyle %10,9'luk artışla %20, %20 APPNC ilavesiyle %22,6'lık artışla %22,1'e, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %27,7'lik artışla en yüksek değer olan %23 değerine ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %22,6'lık artışla %22,1 değerine çıktığı gözlemlenmiştir.

PP-APP-MEL-NC-PDMS kompozitlerde de benzer şekilde PP, PP-Ekstrüde ve PP-PDMS katkılı üretimlerde oksijen indeksi %18 iken %20 APP ilavesiyle bu değer %5,9'luk artışla %19,1 değerine çıktığı, %20 APP3MEL1 ilavesiyle %16,8'lik artışla %21'e ve %20 APP2MEL1 ilavesiyle %22,6'lık artışla %22,1 değerine çıktığı tespit edilmiştir. PP polimerine kütlece %2 NC ilavesiyle %5,9'luk artışla %19,1, %20 APPNC ilavesiyle %5,9'luk artışla %19,1, %20 APP3MEL1NC ilavesiyle %16,8 artışla %21 ve %20 APP2MEL1NC ilavesiyle %16,8'lik artışla %21 değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

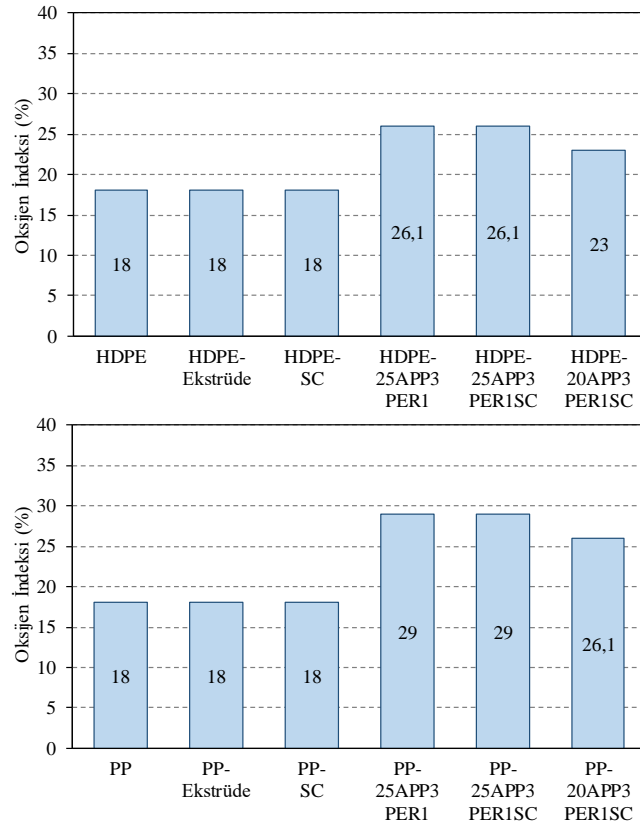
HDPE-PP-APP-PER-SC kompozitlerinin LOI testinin sonuçları Şekil 4.146'da verilmiştir. İlave edilen APP ve PER polimerlerin oksijen indekslerini belirgin bir şekilde arttırdığı gözlemlenmiştir. %25 APP3PER1 ve %25 APP3PER1SC ilaveli HDPE kompozitlerde %26,1 LOI değeriyle limitli yanma direnci sınıfına (%24-28 aralığı) girdiği belirlenmiştir. %25 APP3PER1 ve %25 APP3PER1SC ilaveli PP kompozitlerde %29 LOI değeriyle yanmaya dirençli sınıfına (%29-34 aralığı) girdiği tespit edilmiştir. %20 APP3PER1 ilaveli PP ise %26,1 LOI değeriyle limitli yanma direncine sahip olduğu görülmüştür.

HDPE, HDPE-Ekstrüde ve HDPE-SC üretimlerinde oksijen indeksleri %18 değerindeyken %25 APP3PER1 ve %25 APP3PER1SC ilavesiyle %44,7'lik artışla %26,1 ve %20 APP3PER1SC ilavesiyle %27,7'lik artışla %23 LOI değerine çıktığı görülmüştür.

PP, PP-Ekstrüde ve PP-SC numunelerinde %18 değerindeyken %25 APP3PER1 ve %25 APP3PER1SC ilavesiyle %60,8'lik artışla %29 değerine çıktığı

%20 APP3PER1SC ilavesiyle %44,7 artışla %26,1 LOI değerine ulaştığı tespit edilmiştir.

Wang ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada PP polimerinde APP'nin PER'e oranının en uygun değerinin 3:1 olduğunu tespit etmişlerdir. %30 oranında APP/PER ilavesiyle LOI değerini %25'e çıkartabilmişlerdir. Buna karşın mevcut çalışmada polimer matrise kütlece %25 APP3PER1 ilavesiyle PP'de %29'a ve HDPE'de ise %26,1 değerine çıkılmıştır.



Şekil 4.146: HDPE-PP-APP-PER kompozitlerinin LOI değerleri

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada HDPE ve PP polimerlerine farklı oranlarda kabaran alev geciktirici (APP, MEL ve PER) ve nanokil ilavesi yapılmıştır. Polimer kompozitlerin üretiminde iki farklı proses uygulanmıştır. Bunlardan birincisi, ön karışım yapılarak doğrudan enjeksiyon makinesinde üretimdir. İkincisi ise, ön karışım yapıldıktan sonra ekstrüderde karıştırılıp enjeksiyon makinesinde üretim yöntemidir.

Deneyel çalışmalar sırasıyla polimer kompozitlerin ön karışım işlemi, ekstrüderde karışım, enjeksiyon makinesinde numune üretimi, deneyler öncesi şartlandırma işlemi, fiziksel deneyler, iç yapı incelemesi, kimyasal deneyler, mekanik deneyler, termal ve yanma deneylerinin uygulanması şeklinde gerçekleştirilmiştir.

HDPE ve PP polimerine kütlece;

- %5 ve %10 oranlarında NC ilavesi,
- %2 oranında NC, %20 oranlarında APP, MEL ve NC ilavesi,
- %25 ve %20 oranlarında APP ve PER

ilavesi yapılarak numuneler üretilmiştir.

HDPE ve PP polimerlerine belirli oranlarda dolgu maddesi olarak ilave edilen NC, katkı maddesi olarak ilave edilen APP, PER ve MEL ve üretimi kolaylaştırıcı ve bağlayıcı olarak eklenen PDMS ve SC katkılarının ilavesiyle mekanik, fiziksel, termal ve yanma deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- HDPE ve PP polimerlerine ilave edilen PDMS'm, ilave edilen katkı ve dolgu maddelerinin polimer granülleri yüzeyine yapışması ve homojen bir yayılım sağlaması açısından önemli olduğu görülmüştür. Kütlece %10 NC ilavesi için polimer matrise kütlece %1 PDMS ilavesinin yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

- PDMS ilavesi yapıldıktan sonra toz ilavesi yapılmış olup karıştırma süresinin önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Karıştırma süresi olarak 2 dakikanın yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Karıştırmada artan sürelerde ise granül üzerine yapışan tozun döküldüğü görülmüştür.
- Üretimden önce etüvde kurutma işlemi yapılmasının nem tutmaması açısından fayda sağlayacağı tespit edilmiştir. Ayrıca karışımdan önce ilave edilecek toz ve granül malzemeler iyi kurutulmalıdır. Polimerlerin yüksek sıcaklıkta uzun süre kurutulması malzemede yaşlandırmaya sebebiyet vereceği için elde edilen karışımların 60 °C’de 4 saat süreyle kurutulmasının yeterli olacağı belirlenmiştir.
- Kütlece %20 oranlarında APP, MEL ve NC ilavesi için karışım içerisindeki PDMS yüzde oranının %2’ye çıkarılması gerektiği tespit edilmiştir.
- Çift vidalı ekstrüderde üretim ile daha homojen bir karışım sağlanmıştır. Fakat bunun dezavantajı malzemenin ikinci sefer ergitilerek malzemede oluşacak deformasyona sebebiyet vermesi durumudur.
- Ön karışım yapılırken PDMS ilavesiyle granül yüzeylerine toz yapıştırılarak yapılan ürünlerin ekstrüderde karışım işlemi daha kolay gerçekleştirilebilmiştir.
- İlave edilen katkı ve dolgu maddelerinin yoğunlukları HDPE ve PP polimerlerinin yoğunluğundan daha fazla olduğu için oluşturulan kompozitlerde yoğunluk artışı gözlemlenmiştir. İlave edilen katkı ve dolgu maddelerinin yoğunlukları; NC’in 2,35 g/cm<sup>3</sup>, APP’ın 1,9 g/cm<sup>3</sup>, MEL’in 1,573 g/cm<sup>3</sup> ve PER’ün 1,4 g/cm<sup>3</sup> değerlerindedir. HDPE polimerinin yoğunluğu 0,892 g/cm<sup>3</sup> ve PP polimerinin ise 0,845 g/cm<sup>3</sup> değerinde olduğu için yoğunluk değerlerinde artış görülmüştür.
- İlave edilen katkı ve dolgu maddeleri HDPE kompozitlerde sertlik değerini belirgin bir şekilde arttırırken, PP kompozitlerde çok az miktarda düşürdüğü görülmüştür.



- FTIR analizlerinde oluşturulan kompozitlerde görülen pik değerleri hammaddelerle uyum içerisindedir. Bu durum oluşturulan kompozitlerde homojenliği ve üretimdeki istikrarı göstermektedir.
- NC dolgu maddesi, HDPE-NC-PDMS kompozitlerinin çentikli Izod darbe deneylerinde düşük sıcaklıklarda (-40 °C ve -20 °C) darbe dirençlerini düşürdüğü görülmüş olup %5 NC ilavesiyle 0 °C ve 20 °C sıcaklıklarda katkısız malzemeye göre darbe dirençlerini arttırdığı görülmüştür. Buna karşın %10 NC ilavesinin her sıcaklıkta darbe direncini düşürdüğü görülmüştür.
- Çentiksiz HDPE numunelerde NC, MEL, APP ve PER ilave edilmeyen HDPE malzemeler ve %2 NC ilaveli HDPE numuneleri tüm sıcaklıklarda (-40 °C, -20 °C, 0°C ve 23 °C) kırılmamış olup %5 NC ilaveli HDPE kompozit, 23 °C sıcaklıktaki deneyde de kırılmamıştır. Çekiç numuneyi eğerek diğer tarafa geçmiş ve geçersiz sayılmıştır. Çekiç enerjisi 25 J'a çıkarılmasına rağmen benzer durum söz konusu olmuştur.
- HDPE ve PP kompozitlerin tamamında ve tüm sıcaklık koşullarında, %5 NC ilaveli kompozitlerin çentiksiz darbe direncinin %10 NC ilaveli kompozitlere kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
- PP kompozitlerinin çentikli ve çentiksiz numunelerinin Izod darbe deneylerinde tamamının kırıldığı görülmüştür. PP kompozitlerde ise %5 NC ilavesiyle tüm sıcaklıklarda çentikli ve çentiksiz darbe direncinin en yüksek olduğu görülmüştür.
- Çentikli PP kompozitlerde APP, MEL ve kütlece %2 oranında NC ilavesi tüm sıcaklık koşullarında Izod darbe direncini artırırken çentiksiz numunelerde APP ve MEL ilavesinin düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca %2 NC ilaveli çentiksiz PP numunelerde Izod darbe direnci tüm sıcaklık koşullarında en yüksek çıkmıştır.
- HDPE kompozitlerde PER ilavesi ile çentikli ve çentiksiz darbe direnci değerinin düştüğü buna karşın SC ilavesi ile arttığı belirlenmiştir.

- APP ve PER ilaveli PP kompozitlerde; çentikli numunelerin Izod darbe dirençlerinde tüm sıcaklıklarda artış gözlemlenirken, çentiksiz numunelerde APP ve PER oranı kütlece %25 olduğunda Izod darbe dirençlerinin en düşük değere sahip olduğu görülmüştür.
- Çentiksiz Izod darbe deneyi numunelerinde kütlece %25 APP ve PER katkısına SC ilavesiyle bu değerde artış görülmüş olup; %20 oranında APP, PER ve SC ilavesiyle yapılan numunelerde dikkate değer bir artış gözlemlenmiştir.
- Su absorpsiyon deneylerinde ise ilave edilen katkı ve dolgu maddelerinin oluşturulan polimer kompozitlerin su çekme oranlarını arttırdığı tespit edilmiştir.
- SEM iç yapı görüntüleri ve EDX analizleri ile malzemelerin homojenliği ve ilave edilen katkı ve dolgu maddelerinin polimer matris içerisindeki dağılımı tespit edilmiştir.
- PDMS ilavesinin, ilave edilen tozların daha homojen yayılmasına katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte karışım işleminde çift vidalı ekstrüder kullanımının katkı ve dolgu maddelerinin daha düzenli ve homojen yayılmasına katkı sağladığı görülmüştür.
- EDX analizleri ve haritalama işlemi ile, oluşturulan polimerlerin birbirinden farkı ortaya konulmuştur. Üretimlerin birbiri arasında uyum içerisinde olduğu görülmüş olup olması beklenen elementler EDX analizlerinde tespit edilmiştir.
- HDPE ve PP polimerlerine NC ilavesi çekme durumuna göre elastisite modülü değerlerini yükselttiği görülmüştür.
- APP ilavesiyle elastisite modülü değerinin düştüğü görülürken, MEL ilavesiyle bu değer yükseldiği gözlemlenmiştir. Polimerlere ilave edilen katkı ve dolgu maddelerinin çekme dayanımlarını düşürdüğü görülmüştür.
- İlave edilen katkı ve dolgu maddeleri, polimer kompozitlerin kopma uzamalarını dikkate değer bir şekilde düşürdüğü belirlenmiş olup bununla birlikte tokluk değerlerini de düşürdüğü görülmüştür.

- Üç nokta eğme deneylerinde polimer matrise kütlece %5 ve %10 oranlarında ilave edilen NC'in eğilme dayanımı ve eğilmede elastisite modülü değerlerini düşürdüğü görülmüştür. HDPE ve PP polimerlerine kütlece %2 oranında NC ilave edildiğinde eğilme dayanımı ve eğilmede elastisite modülü değerlerini arttırdığı görülmüştür.
- HDPE ve PP polimerlerine APP, MEL ve PER ilavesiyle eğilmede elastisite modülü ve eğilme dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür.
- Yırtılma deneylerinde ilave edilen katkı ve dolgu maddelerinin, yırtılma dayanımı değerlerini dikkate değer bir şekilde düşürdüğü belirlenmiştir.
- Isıl genleşme deneylerinde katkı ve dolgu maddelerinin, ısıl genleşme katsayısı değerlerini düşürdüğü görülmüştür.
- HDPE ve PP polimerlerine katkı ve dolgu maddesi ilavesi ısıl iletkenlik katsayısı değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir.
- DSC deneylerinden NC ilavesi oluşturulan HDPE ve PP polimer kompozitin erime sıcaklığı ve kristallenme sıcaklığı değerlerini arttırdığı görülmüştür. PDMS ilavesi her iki polimerde de kristallenme oranını bir miktar düşürürken NC ilavesinin dikkate değer bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir.
- HDPE kompozitlerde camsı geçiş sıcaklığı  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  altına inilemediği için tespit edilememiştir (HDPE için  $T_g$  değeri  $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Fakat PP kompozitlerde bu değer hesap edilebilmiştir (PP için  $T_g$  değeri  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). PP polimerine %5 NC ilavesi camsı geçiş sıcaklığını dikkate değer bir biçimde düşürürken %10 NC ilavesinin arttırdığı görülmüştür.
- HDPE ve PP polimerine PDMS ilavesi erime entalpisi değerlerini düşürürken NC ilavesinin yükselttiği gözlemlenmiştir.
- HDPE ve PP polimerine APP ve MEL ilavesi erime sıcaklığı, kristallenme sıcaklığı ve kristal oranı değerlerini arttırdığı görülmüştür. PP polimerine APP ve MEL ilavesiyle camsı geçiş sıcaklığı düşerken artan MEL oranlarında bu değerlerin yükseldiği görülmüştür.

- HDPE ve PP polimerlerine APP ve PER ilavesi, erime sıcaklıklarını ve kristallenme sıcaklıklarını bir miktar arttırdığı belirlenmiştir. APP ve PER ilavesiyle PP kompozitin camsı geçiş sıcaklığında dikkate değer azalma görülmüştür.
- TGA deneylerinde, HDPE ve PP polimerlerine ilave edilen NC, APP, MEL ve PER katkılarıyla 1000 °C’de kalan kütle miktarının arttığı görülmüştür.
- HDPE ve PP polimerlerine kütlece %5 NC ilavesiyle en yüksek bozunma hızları sırasıyla 0,842 %/min ve 0,726 %/min değerlerini almıştır. Bu değerlerin, diğer numunelerin değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.
- TGA deneylerinde HDPE ve PP polimerlerine APP, PER ve MEL ilavesinin %5 ve %10 kütle kaybındaki sıcaklık değerlerini dikkate değer bir şekilde düşürdüğü görülmüştür.
- APP ve MEL katkıları HDPE polimerinin en yüksek bozunma hız değerindeki sıcaklığını düşürürken PP polimerinde arttırmaktadır. Buna ek olarak en yüksek bozunma hızı değerlerini her iki polimerde de dikkate değer bir şekilde düşürmektedir.
- APP ve PER katkıları HDPE’de ve PP’de en yüksek bozunma sıcaklığı değerini yükseltirken en yüksek bozunma hızı değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.
- UL 94 deneylerinde NC ve APP-MEL-NC üretimlerinde olumlu sonuçlar gözlemlenmemiş olup %25 oranında APP:PER(3:1) kabaran alev geciktirici ilavesiyle HDPE kompozitlerde V2, PP kompozitlerde ise V0 değerine ulaşılmıştır.
- LOI deneylerinde ise polimer matrise kütlece %5 ve %10 oranlarında NC ilavesiyle değerlerde artış görülmemiştir. Buna karşın %2 NC ilavesiyle bir miktar artış görülmüş olup APP ve MEL ilavesiyle LOI değerlerinde dikkate değer artış gözlemlenmiştir.
- HDPE polimerine %25 oranında APP:PER(3:1) kabaran alev geciktirici ilavesiyle limitli yanma direncine (%26,1) sahipken PP polimerine %25

oranında APP:PER(3:1) kabaran alev geciktirici ilavesiyle yanmaya dirençli (%29) sınıfına yükseldiği gözlemlenmiştir.

- UL 94 ve LOI deneylerinin birbirlerini tamamlar ve destekler nitelikte deneyler olduğu görülmüştür.

## 5.2 Öneriler

Bu bölümde yapılmış deneylere ilaveten yapılabilecek diğer çalışmalar ve önerilere yer verilmiştir.

- HDPE ve PP polimerlerine APP-PER-MEL katkıları farklı oranlarda bir arada kullanılarak inorganik NC ilavesiyle bu polimerlerin yanma davranışları ve mekanik özelliklerindeki değişimin tespitinin yapılması planlanmıştır. Bunun yanında farklı inorganik veya organik maddeler kullanılarak yanmaya karşı direncin arttırılabileceği öngörülmektedir. Bu kapsamda yerli kaynaklar kullanılarak karışımların oluşturulmasıyla yerli ve milli üretime destek verilmesi önerilmektedir. Böylelikle iç piyasaya katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Atıkların değerlendirilmesi ve geri dönüşüm noktasında çalışmalar yapılması önerilmektedir. APP-PER kabaran alev geciktirici sistemde PER yerine benzer karakteristikteki diğer organik atıklar, odun tozu ve çerezlerin kabukları kullanılabilir. İnorganik atık olarak cam tozu ve uçucu kül ilavesi yapılabilir.
- İlave edilen katkı ve dolgu maddeleri ile oluşturulan kompozitlerin kopma uzamalarının belirgin bir şekilde düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durumu iyileştirmek için polimer matrise farklı oranlarda termoplastik poliüretan (TPU) ilavesinin kopma uzamalarında olumlu etkisinin olabileceği düşünülmektedir. Böylelikle darbeye karşı direncin de arttırılabileceği öngörülmektedir.
- Tez kapsamında ilave edilen yanma geciktiriciler farklı polimerlere (LDPE, ABS, PA, PMMA, PS vb...) uygulanabilir. İlaveten farklı alev geciktiricilerle üretimleri yapılarak yanmaya karşı direnç ve mekanik özelliklerinin tespiti gerçekleştirilebilir. Tez kapsamında yapılan yanma deneylerine ilaveten, daha detaylı yanma deneyleri yapılabilir.



## 6. KAYNAKLAR

Ahmad, I., Shafiq, M. and Yasin, T. "Influence of Gamma Radiation on Compatibilized LLDPE/Magnesium Hydroxide/Sepiolite Composites", *J. Appl. Polym. Sci.*, 128, 2236-2241, (2013).

Akcan, A., Arcan, G., ve Gökçe, H., *Plastikler, Enjeksiyon ve Ekstrüderler (Kovan-Vida Sistemlerinin Bakım ve Montaj Yönergeleri)*, İstanbul: Enformak Plastik Teknolojileri San. Tic. A.Ş., (2018).

Akkurt, S., *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*, İstanbul: Birsen Yayınevi, (2007).

An, D., Wang, L., Zheng, Y., Guan, S., Gao, X., Tian, Y., Zhang, H., Wang, Z., and Liu, Y., "In Situ Preparation and Surface Modification of Magnesium Nanoparticles", *Colloids. Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 348, 9-13, (2009).

Anna, P., Marosi, Gy., Bourbigot, S., Le Bras, M. and Delobel, R., "Intumescent flame retardant systems of modified rheology", *Polym. Degrad. Stabil.*, 77, 243-247. (2002).

Anna, P., Marosi, Gy., Csontos, I., Bourbigot, S., Le Bras, M. and Delobel, R., "Influence of modified rheology on the efficiency of intumescent flame retardant systems", *Polym. Degrad. Stabil.*, 74, 423-426, (2001).

Arrighi, R., "From Impregnated Paper to Polymeric Insulating Materials in Power Cables", *IEEE T. Electr. Insul.*, 21, 7-18, (1986).

ASTM C1113, Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique), ASTM International, West Conshohocken, PA, U.S.A., (2013)

ASTM D256, Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, U.S.A., (2013)

ASTM D570, Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, U.S.A., (2018)

ASTM D618, Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing, ASTM International, West Conshohocken, PA, U.S.A., (2013)

ASTM D624, Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers, ASTM International, West Conshohocken, PA, U.S.A., (2012)

ASTM D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, U.S.A., (2014)

ASTM D790, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, U.S.A., (2017)

ASTM D2240, Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness, ASTM International, West Conshohocken, PA, U.S.A., (2015)

ASTM D2863, Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index), ASTM International, West Conshohocken, PA, U.S.A., (2017)

Atay, H.Y. and Çelik, E., “Use of Turkish Huntite/Hydromagnesite Mineral in Plastic Materials as a Flame Retardant”, *Polym. Composite.*, 31, 1692-1700, (2010).

Atay, H.Y. and Çelik, E., “Mechanical Properties of Flame-Retardant Huntite and Hydromagnesite-Reinforced Polymer Composites”, *Polym.-Plast. Technol.*, 52, 182-188, (2013).

Atikler, U., Demir, H., Tokatlı, F., Tihmınlıog, F., Balköse, D. and Ülkü, S., “Optimisation of the Effect of Colemanite as a New Synergistic Agent in an Intumescent System”, *Polym. Degrad. Stabil.*, 91, 1563-1570, (2006).

Aydoğan, B., “Doğal mineral içeren poliüretan esaslı kompozit malzemelerin ısıl bozunma ve yanma davranışlarının incelenmesi”. Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2015).

Ayrilmis, N., “Combined Effects of Boron and Compatibilizer on Dimensional Stability and Mechanical Properties of Wood/HDPE Composites”, *Compos Part B-Eng*, 44, 745-749, (2013).

Ayrilmis, N., Akbulut, T., Dundar, T., White, R.H., Mengeloglu, F., Buyuksari, U., Candan, Z. and Avcı, E., “Effect of boron and phosphate compounds on physical, mechanical, and fire properties of wood-polypropylene composites”, *Constr Build Mater*, 33, 63-69, (2012).

Baglari, S., Kole, M., and Dey, T.K., “Effective Thermal Conductivity and Coefficient of Linear Thermal Expansion of High-Density Polyethylene - Fly Ash Composites”, *Indian J Phys*, 85(4), 559-573, (2011).

Bahattab, MA., Mosnacek, J., Basfar, AA., and Shukri, TM., “Cross-Linked Poly(Ethylene Vinyl Acetate) (EVA)/Low Density Polyethylene (LDPE)/Metal Hydroxides Composites for Wire and Cable Applications”, *Polym. Bull.*, 64, 569-580, (2010).

Basfar, A.A., Bae, H.J., "Influence of Magnesium Hydroxide and Huntite Hydromagnesite on Mechanical Properties of Ethylene Vinyl Acetate Compounds Cross-linked by DiCumyl Peroxide and Ionizing Radiation", *J. Fire Sci.*, 28(2), 161-180, (2010).

Basfar, A.A., Mosnacek, J., Shukri, T.M., Bahattab, MA., Noireaux, P. and Courdreuse, A., "Mechanical and Thermal Properties of Blends of Low-Density Polyethylene and Ethylene Vinyl Acetate Crosslinked by Both Dicumyl Peroxide and Ionizing Radiation for Wire and Cable Applications", *J. Appl. Polym. Sci.*, 107, 642-649, (2008).

Beyer, G., "Filler Blend of Carbon Nanotubes and Organoclays With Improved Char As A New Flame Retardant System for Polymers and Cable Applications", *Fire Mater.*, 29, 61-69, (2005).

Bockhorn, H., Hornung, A., Hornung, U., and Schawaller, D., "Kinetic Study on the Thermal Degradation of Polypropylene and Poltethylene", *J Anal Appl Pyrol*, 48, 93-109, (1999).

Camino, G., Lomakin, S.M., and Lageard, M. "Thermal Polydimethylsiloxane Degradation. Part 2. The Degradation Mechanisms". *Polymer*, 43(7), 2011-2015, (2002).

Camino, G., Lomakin, S.M., and Lazzari, M., "Polydimethylsiloxane Thermal Degradation Part 1. Kinetic Aspects", *Polymer*, 42(6), 2395-2402, (2001).

Campo, E.A., *The Complete Part Design Handbook For Injection Molding of Thermoplastics*, Munich: Hanser Publishers, (2006).

Chand, N., Prabhat, S., and Fahim, M., "Abrasive Wear Behavior of LDPE Filled with Silane Treated Flyash Cenospheres", *Compos. Interface*, 18 575-586, (2011).

Coudreuse, A., Noireaux, P., Noblat, R. and Basfar, A. "Influence of Radiation Cross-linking and Nano-filler on the Flammability of Ethylene Vinyl Acetate and Low Density Polyethylene Blends for Wire and Cable Applications", *J. Fire Sci.*, 28, 497-507, (2010).

Deka, B. K., and Maji, T.K., "Effect of SiO<sub>2</sub> and Nanoclay on the Properties of Wood Polymer Nanocomposite", *Polym Bull*, 70, 403-417, (2013).

Deka, B.K., and Maji, T.K., "Effect of TiO<sub>2</sub> and Nanoclay on the Properties of Wood Polymer Nanocomposite". *Compos Part A*, 42(12), 2117-2125, (2011).

Doğan, M., Yılmaz, A. and Bayramlı, E., "Synergistic Effect of Boron Containing Substances on Flame Retardancy and Thermal Stability of Intumescent Polypropylene Composites", *Polym. Degrad. Stabil.*, 95, 2584-2588, (2010).

Ebewele, R.O., *Polymer Science and Technology*, New York : CRC Press, (2000).

Faghihi, J., Morshedian, J. and Ahmadi, S., "Effect of Alumina Trihydrate and Borax on Fire Retardancy and Mechanical Properties of High Density Polyethylene (HDPE) Compounds", *Polym. Polym. Compos*, 18, 113-122, (2010).

Fontaine, G., Bourbigot, S. and Duquesne, S., "Neutralized Flame Retardant Phosphorus Agent: Facile Synthesis, Reaction to Fire in PP and Synergy with Zinc Borate", *Polym. Degrad. Stabil.*, 93, 68-76, (2008).

Haurie, L., Fernandez, A.I., Velasco, J.I., Chimenos, J.M., Lopez-Cuesta, J.M., and Espiell, F., "Effects of Milling on The Thermal Stability of Synthetic Hydromagnesite", *Mater. Res. Bull.*, 42, 1010-1018, (2007).

Gu, J., Zhang, G., Dong, S., Zhang, Q. and Kong, J., "Study on preparation and fire-retardant mechanism analysis of intumescent flame-retardant coatings", *Surf Coat Tech*, 201(18), 7835-7841, (2007).

Hollingbery, L.A. and Hull, T.R., "The fire retardant effects of huntite in natural mixtures with hydromagnesite", *Polym. Degrad. Stabil.*, 97, 504-512, (2012).

Hong, C.H., Lee, Y.B., Bae, J.W., Jho, J.Y., Nam, B.U. Chang, D.H., Yoon, S.H., and Lee, K.J., "Tensile Properties and Stress Whitening of Polypropylene/Polyolefin Elastomer/Magnesium Hydroxide Flame retardant Composites for Cable Insulating Application", *J. Appl. Polym. Sci.*, 97, 2311-2318, (2005<sup>a</sup>).

Hong, C.H., Lee, Y.B., Bae, J.W., Jho, J.Y., Nam, B.U., Nam, G.J., and Lee, K.J., "Tensile and Flammability Properties Of Polypropylene Based RTPO/Clay Nanocomposites For Cable Insulating Material", *J. Appl. Polym. Sci.*, 97, 2375-2381, (2005<sup>b</sup>).

Hussein, A.A., Salim, R.D., and Sultan, A.A., "Water Absorption and Mechanical Properties of High-Density Polyethylene/Egg Shell Composite", *Journal of Basrah Researches (Sciences)*, 37(3A), 36-46, (2011).

Isitman, N. A. and Kaynak, C., "Effect of Partial Substitution of Aluminum Hydroxide with Colemanite in Fire Retarded Low-Density Polyethylene", *J. Fire Sci.*, 31(1), 73-84, (2012).

Jaffer, H.I., Al-Shammary, Z.R., Abbas, A.A., and Qassim, A., "Water Absorption of HDPE/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> Composites", *Eng. & Tech. Journal*, 33(7), 1337-1347, (2015).

Jawaid, M., Qaiss, A.K. and Bouhfid, R., "*Nanoclay Reinforced Polymer Composites*", ISBN: 978-981-10-1952-4, Singapore: Springer Science+Business Media, (2016).

John, R., Schreiter, K., Trommler, K., Siegel, C., Wagenführ, A. and Spange, S., “Maleic Anhydride Copolymers as Adhesion-Promoting Reagent in Wood Veneer/Biopolyethylene Composite Materials”, *Polym. Composite*, 40(5), 1979-1988, (2019).

Johnson, L.M., Gao, L., Shields IV, C.W., Smith, M., Efimenko, K., Cushing, K., Genzer, J. And López, G.P. “Elastomeric microparticles for acoustic mediated bioseparations”, *J. Nanobiotechnol*, doi:10.1186/1477-3155-11-22, (2013).

Kamila, S., and Joanna, R., “Dimensional Stability, Physical, Mechanical and Thermal Properties of High Density Polyethylene With Peanut Hulls Composites”, *Polimery*, 58, 461-466, (2013).

Kurt, R. and Mengeloğlu, F., “Utilization of Boron Compounds as Synergists With Ammonium Polyphosphate for Flame Retardant Wood- polymer composites”. *Turk J Agric For.*, 35, 155-163, (2011).

Kurt, R., Mengelöglu, F. and Meric, H., “The Effects of Boron Compounds Synergists with Ammonium Polyphosphate on Mechanical Properties and Burning Rates of Wood-HDPE Polymer Composites”, *Eur. J. Wood Prod.*, 70, 177-182, (2012).

Kwon, Y.J., Kim, D.K., Kim, W.N., Cho, B.G., Hong, S.M., and Koo, C.M., “Optimum Compatibilization for the Nonflammability of Thermoplasticized Crosslinked Polyethylene/Metal Hydroxides Composites with a Compatibilizer”, *J Appl Polym Sci*, 124, 2814-2823, (2012).

Li, S., Long, B., Wang, Z., Tian, Y., Zheng, Y. and Zhang, Q., “Synthesis of Hydrophobic Zinc Borate Nanoflakes and Its Effect on Flame Retardant Properties of Polyethylene”, *J. Solid State Chem.*, 183, 957-962, (2010).

Liu, Y., Deng, C. L., Zhao, J., Wang, J. S., Chen, L., and Wang, Y. Z. “An Efficiently Halogen-Free Flame-Retardant Long-Glass-Fiber-Reinforced Polypropylene System”, *Polym Degrad Stabil*, 96(3), 363-370. (2011).

Mark, J.E. (Eds.), *Polymer Data Handbook 2nd ed.*, ISBN 978-0-19-518101-2, New York: Oxford University Press, (2009).

Marosi, G., Márton, A., Anna, P., Bertalan, G., Marosfői, B. and Szêp, A., “Ceramic Precursor in Flame Retardant Systems”, *Polym. Degrad. Stabil.*, 77, 259-265, (2002).

Marosi, G., Márton, A., Szêp, A., Csontos, I., Keszei, S., Zimonyi, E., Toth, A., Almeras, X. and Le Bras, M., “Fire Retardancy Effect of Migration in Polypropylene Nanocomposites Induced by Modified Interlayer”, *Polym. Degrad. Stabil.*, 82, 379-385, (2003).



Matar, M., Azambre, B., Cochez, M., Vahabi, H., and Fradet, F., "Influence of modified mesoporous silica SBA-15 on the flammability of intumescent high-density polyethylene". *Polym Adv Technol*, 27(10), 1363–1375, (2016).

Mircescu, N.E., Oltean, M., Chiş, V. and Leopold, N., "FTIR, FT-Raman, SERS and DFT study on melamine", *Vib. Spectrosc.*, 62, 165-171, (2012).

Oueslati, A., Kamoun, S., Hlel, F., Gargouri, M. and Fort, A., "Real-Time FTIR Monitoring of the Photopolymerization of a Pentaerythritol Triacrylate-Based Resin", *Akademeia.ca*, 1(1), 1923-1504, (2011).

Pan, M., Mei, C., Du, J. and Li, G., "Synergistic Effect of Nano Silicon Dioxide and Ammonium Polyphosphate on Flame Retardancy of Wood Fiber–Polyethylene Composites", *Compos Part A-Appl S*, 66,128-134, (2014).

Peng, H.Q. and Wang, Y.Z., "Effects of Boric Acid on Flame Retardancy of Intumescent Flame-Retardant Polypropylene Systems Containing a Caged Bicyclic Phosphate", eds: Willkie, C.A., Morgan, A.B., Nelson, G.L., *Fire and Polymers V Materials and Concepts For Fire Retardancy*, 1013, Washington, ACS Symposium Series, 225-248, (2009).

Pöllänen, M., Suihkonen, R., Nevalainen, K., Koistinen, A.P., Suvanto, M., Vuorinen, J., and Pakkanen, T.T., "Morphological, mechanical, tribological, and thermal expansion properties of organoclay reinforced polyethylene composites", *Polym Eng Sci*, 53(6), 1279-1286, (2013).

Ramazani, S.A.A., Rahimi, A., Frounchi, M. and Ramdan, S., "Investigation of Flame Retardancy and Physical–Mechanical Properties of Zinc Borate and Aluminum Hydroxide Propylene Composites", *Mater. Des.*, 29, 1051-1056, (2008).

Ravadits, I., Tothb, A., Marosi, G., Martona, A. and Szepa, A. "Organosilicon Surface Layer on Polyolefins to Achieve Improved Flame Retardancy Through an Oxygen Barrier Effect", *Polym. Degrad. Stabil.*, 74, 419-422, (2001).

Sabet, M., Soleimani, H., Hassan, A. and Ratnam, C.T., "The Effect of Addition EVA and LDPE-g-MAH on Irradiated LDPE Filled with Metal Hydroxides", *Polym.-Plast. Technol.*, 53, 775-783, (2014).

Saçak, M., *Polimer Kimyası*, Ankara : Gazi Kitabevi, (2008).

Sain, M., Park, S.H., Suhara, F. and Law, S., "Flame Retardant and Mechanical Properties of Natural Fibre–PP Composites Containing Magnesium Hydroxide", *Polym. Degrad. Stabil.*, 83, 363-367, (2004).

Sain, M.M. and Kokta, B.V., "Polyolefin Wood Filler Composite. 1. Performance of m-Phenylene Bismaleimide-Modified Wood Fiber in Polypropylene Composite", *J. Appl. Polym. Sci.*, 54, 1545-1559, (1994).

Savaş, S. and Üvez, H., "Structure and resultant mechanical and tribological performance of PP/PLA/carbon fiber/ethylene-butyl acrylate composites", *J. Compos. Mater.*, 53(10), 1299-1317, (2018).

Seki, Y., Sever, K., Sarikanat, K., Sakarya, A. and Elik, E., "Effect of huntite mineral on mechanical, thermal and morphological properties of polyester matrix", *Compos Part B-Eng*, 45, 1534-1540, (2013).

Sener, AA., and Demirhan, E., "The Investigation of Using Magnesium Hydroxide as a Flame Retardant in the Cable Insulation Material by Cross-Linked Polyethylene", *Mater. Des.*, 29, 1376-1379, (2008).

Sepet, H., Tarakcioglu, N., and Misra, R. D. K., "Effect of Inorganic Nanofillers on the Impact Behavior and Fracture Probability of Industrial High-Density Polyethylene Nanocomposite", *J Compos Mater*, 52(18), 2431-2442, (2018).

Sherief, M.A., Hanna, A.A., and Abdelmoaty, A.S., "Synthesis and Characterization of Nanosized Ammonium Polyphosphate", *Can J App Sci*, 3(4), 94-99, (2014).

Shukri, T.M., Mosnacek, J., Basfar, A.A. Bahattab, M.A., Noireaux, P., and Courdreuse, A., "Flammability of Blends of Low-Density Polyethylene and Ethylene Vinyl Acetate Crosslinked by Both Dicumyl Peroxide and Ionizing Radiation for Wire and Cable Applications", *J. Appl. Polym. Sci.*, 109, 167-173, (2008).

Sırımoğlu, N., Talay, A., Öziş, A. ve İşler, R., "Plastik Ambalaj Malzemeleri İçin Uygulanan Kalite Kontrol Testleri [online]", (15.12.2017), <http://www.petkim.com.tr/userfiles/file/uretim/kalitekontrol-teknikservis/plastik.pdf>, (2010).

Sirocic, A.P., Rescek, A. and Hrnjak-Murgic, Z., "Polyethylene Nanocomposites Filled with Modified Nanoparticles", *Polym.-Plast. Technol.*, 53, 811-817, (2014).

Stark, N. M., White, R. H., Mueller, S. A. and Osswald, T. A. "Evaluation of Various Fire Retardants for Use in Wood Flour-Polyethylene Composites", *Polym. Degrad. Stabil.*, 95, 1903-1910, (2010).

Suppakarn, N., Jarukumjorn, K., "Mechanical properties and flammability of sisal/PP composites: Effect of flame retardant type and content", *Compos Part B-Eng*, 40, 613-618, (2009).

Szustakiewicz, K., Cichy, B., Gazinska, M. and Piğkowski, J., “Comparative Study on Flame, Thermal, and Mechanical Properties of HDPE/Clay Nanocomposites with MPP or APP”, *J. Reinf. Plast. Compos.*, 32, 1005-1017, (2013).

Tang, M., Qi, F., Chen, M., Sun, Z., Xu, Y., Chen, X., Zhang, Z. and Shen, R., “Synergistic effects of ammonium polyphosphate and red phosphorus with expandable graphite on flammability and thermal properties of HDPE/EVA blends”, *Polym Adv Technol*, 27(1), 52–60, (2016).

Tang, Q., Wang, B., Tang, G., Shi, Y., Qian, X., Yu, B., Song, L. and Hu, Y., “Preparation of microcapsulated ammonium polyphosphate, pentaerythritol with glycidyl methacrylate, butyl methacrylate and their synergistic flame-retardancy for ethylene vinyl acetate copolymer”, *Polym Adv Technol*, 25(1), 73-82, (2014).

UL 94 Standard, Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances; Underwriters Laboratories Inc.: Northbrook, IL, (1996).

URL\_1: <http://www.matweb.com/>, (21.01.2018).

URL\_2: Ay., İ., *Plastik Malzemeler Ders Notları*, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/?view=lectures&lecture=pm>, (01.02.2018).

URL\_3: Eker., A.A., *Plastiklerin Şekillendirilme Yöntemleri*, [http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastiklerin\\_Sekillendirme\\_Yontemleri\\_Son.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastiklerin_Sekillendirme_Yontemleri_Son.pdf), (07.03.2018).

URL\_4: [http://www.dc.engr.scu.edu/cmdoc/dg\\_doc/develop/process/molding/b2300001.htm](http://www.dc.engr.scu.edu/cmdoc/dg_doc/develop/process/molding/b2300001.htm), (08.09.2018).

URL\_5: [https://www.steppark.com/tr/cocuk\\_oyun\\_parklari\\_metal\\_oyun\\_parklari.html](https://www.steppark.com/tr/cocuk_oyun_parklari_metal_oyun_parklari.html), (01.05.2018).

URL\_6: <https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-photo-plastic-toy-bricks-image23005165>, (15.09.2018).

URL\_7: <http://semiltd.com/plastik-enjeksiyon-makinesi-ne-ise-yarar/>, (16.09.2018).

URL\_8: <https://suleplastik.com/>, (18.08.2018).

URL\_9: <http://www.akkurplastik.com.tr/>, (23.04.2018).

URL\_10: <https://www.batialanya.com/firma/16/cozum-elektrik.html>, (03.07.2018).

URL\_11: <https://www.fuzyonmakinesi.com/hdpe-boru-ve-fittings>, (03.07.2018).

URL\_12: <https://www.polovniautomobili.com/auto-delovi/8019336/delovi-za-a3-a4-a6>, (19.06.2018).

URL\_13: *Dünya Plastik Sektör Raporu, İstanbul : PAGEV*, <https://www.pagev.org/dunya-plastik-sektor-raporu-2016-58984b2f8a497>, (06.04.2017).

URL\_14: [http://petkim.com.tr/UserFiles/file/uretim/urun\\_katalogu.pdf](http://petkim.com.tr/UserFiles/file/uretim/urun_katalogu.pdf), (21.01.2019).

URL\_15: <https://www.siltech.com/wp-content/uploads/2017/11/TP0016.pdf>, (15.02.2018).

URL\_16: <https://okimya.com/silikonyaglar/dimethicone-polidimetilsiloksan/>, (13.04.2018).

URL\_17: <https://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2014/03/18/16/31/Exolit-AP-423>, (27.11.2018).

URL\_18: <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/108781>, (03.07.2018).

URL\_19: <http://www.mksmarmara.com/tr/mks-urunler/1/pentaeritritol->, (07.08.2018).

URL\_20: <https://www.byk.com/en/additives/additives-by-name/scona-tseb-2113-gb.php.pdf>, (08.12.2018).

URL\_21: <https://www.byk.com/en/additives/additives-by-name/scona-tppp-9012-ga.php>, (09.12.2018).

URL\_22: <http://www.esim-chemicals.com/products/maleic-anhydride>, (05.01.2019).

URL\_23: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/430773?lang=en&region=TR>, (08.01.2019).

Usta, N., "Investigation of Fire Behavior of Rigid Polyurethane Foams Containing Fly Ash and Intumescent Flame Retardant by Using a Cone Calorimeter", *J. Appl. Polym. Sci.*, 124, 3372-3382, (2012).

Verleye, G.A.L., Roeges, N.P.G. and Moor, M.O.D., “*Easy Identification of Plastics and Rubbers*”, ISBN: 978-1-85957-268-9, Shropshire: Rapra Technology Limited, (2001).

Wang, B.B., Wang, X.F., Tang, G., Shi, Y.Q., Hu, W.Z., Lu, H.D., Song, L., and Hu, Y., “Preparation of Silane Precursor Microencapsulated Intumescent Flame Retardant and Its Enhancement on the Properties of Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer Cable”, *Compos. Sci. Technol.*, 72, 1042-1048, (2012).

Wang, W., Peng, Y., Zhang, W., and Li, J., “Effect of Pentaerythritol on the Properties of Wood- Flour/Polypropylene/Ammonium Polyphosphate Composite System”, *BioResources*, 10(4), 6917–6927, (2015).

Wu, Z., Hu, Y. and Shu, W., “Influence of Ultrafine Zinc Borate on the Thermal Degradation Behavior of a(Low-Density Polyethylene)/(Intumescent Flame Retardant) System”, *J. Vinyl Addit. Techn.*, 15, 260-265, (2009).

Xie, R., Qu, B. and Hu, K., “Dynamic FTIR Studies of Thermo-Oxidation of Expandable Graphite-Based Halogen-Free Flame Retardant LLDPE Blends”. *Polym. Degrad. Stabil.*, 72, 313-321, (2001).

Xu, C., Jian, W., Xing, C., Zhou, H., Zhao, Y., Pan, H., and Xiong, X., “Flame Retardancy and Mechanical Properties of Thermal Plastic Composite Panels Made From Tetra Pak Waste and High-Density Polyethylene”, *Polym. Composite.*, 37(6), 1797-1804, (2016).

Yoshino, K., Demura, T., Kawahigashi, M., Miyashita, Y., Kurahashi, K., and Matsuda, Y., “Application of a Novel Polypropylene to the Insulation of an Electric Power Cable”, *Electr. Eng. Jpn.*, 122, 872-879, (2004).

Zhang, Y., Zhang, L., Liu, H., Du, H., Li, X., Zhang, X. and Zhang, J., “Influence of High-Density Polyethylene and Nano-Calcium Carbonate of Various Content Ratios on the Crystallization of Polypropylene”, *J. Macromol. Sci. B*, 53, 13-23, (2014).



## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erkin Akdoğan  
Doğum Yeri ve Tarihi : Sandıklı – 19.06.1986  
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi  
Y. Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi  
Elektronik posta : eakdogan20@gmail.com  
İletişim Adresi : Gevher Hatun Mah. 1885 Sok. Gizem  
Apt No:1 D:1 KARAMAN

### **Yayın Listesi :**

• Akdoğan, E., Bektaş, N.B., “The Effects of Nanoclay on Mechanical Properties of High Density Polyethylene and Polypropylene Materials”, *Acta Physica Polonica A*, 134(1), 297-299, (2018).

• Akdoğan, E., Bektaş, N.B., “The Effects of Intumescent Flame Retardant and Nanoclay on Mechanical and Thermal Expansion Properties of High Density Polyethylene Composites”, *Acta Physica Polonica A*, 135(4), 717-721, (2019).

### **Konferans listesi :**

• Akdoğan, E. and Bektaş, N.B., The Effects of Nanoclay on Mechanical Properties of High Density Polyethylene and Polypropylene Materials, *7th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition (APMAS2017)*, (Oral Presentation), April 22-26, 2017, Oludeniz, TURKEY, Abstract Book, pp.129.

• Akdoğan, E. and Bektaş, N.B., The Effects of Intumescent Flame Retardant and Nanoclay on Mechanical and Thermal Expansion Properties of High Density Polyethylene Composites, *8th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition (APMAS2018)*, (Oral Presentation), April 24-30, 2018, Oludeniz, TURKEY, Abstract Book, pp. 98.