

T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERUSLU GLOBAL GRUP FİRMALARINDAKİ ATIK POLİMERLERİN  
KARAKTERİZASYONU VE PİROLİZ-YAKMA YÖNTEMLERİ  
KULLANILARAK ENERJİ ÜRETİMİ FİZİBİLİTESİNİN HAZIRLANMASI



HATİCE AKDAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Kasım 2019

Tezin Başlığı: Eruslu Global Grup Firmalarındaki Atık Polimerlerin Karakterizasyonu ve Piroiliz-Yakma Yöntemleri Kullanılarak Enerji Üretimi Fizibilitesinin Hazırlanması

Tezi Hazırlayan: Hatice AKDAĞ

Sınav Tarihi: 18.11.2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Sınav Jürisi Üyeleri :**

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr.Yunus Önal**  
İnönü Üniversitesi

**Prof. Dr. Canan Akmil-Başar**  
İnönü Üniversitesi

**Doç. Dr. Nihan Kaya**  
Hitit Üniversitesi

**Prof. Dr. Kazım TÜRK**  
Enstitü Müdürü

## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Eruslu Global Grup Firmalarındaki Atık Polimerlerin Karakterizasyonu ve Piroliz-Yakma Yöntemleri Kullanılarak Enerji Üretimi Fizibilitesinin Hazırlanması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Hatice AKDAĞ

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### ERUSLU GLOBAL GRUP FİRMALARINDAKİ ATIK POLİMERLERİN KARAKTERİZASYONU VE PİROLİZ-YAKMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ENERJİ ÜRETİMİ FİZİBİLİTESİNİN HAZIRLANMASI

HATİCE AKDAĞ

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

XI+123 sayfa

2019

Danışman: Doç. Dr. Yunus ÖNAL

Eruslu Global grup şirketleri çocuk bezi üretiminde ilk üç içerisinde bulunmaktadır ve diğer üretimlerde de önemli bir paya sahiptir. Atık olarak ortaya çıkan polimerik ürünler, satılarak değerlendirilmektedir. Enerji fiyatlarındaki artış ve yanabilen atık maddelerin yakılması ile su buharı teknolojisi yardımı ile enerji üretimi orta vadede büyük ekonomik getirisinden dolayı firmalar tarafından tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu proje çalışmasında, hammadde olarak polipropilen, polietilen (LDPE, MDPE, HDPE), polietilen tereftalat, polistiren, yanında yardımcı kimyasallar (hijyen kimyasalları, yapıştırıcı kimyasallar, boya kimyasalları vb) kullanarak çocuk bezi, kadın pedi, ambalaj filmi, baskılı ambalaj filmi üretimi esnasında ortaya çıkan polimerik atıkların enerji eldesi açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Eruslu Globala bağlı Ecoplast-BZ-Eruslu firmalarında üretilen atık olarak ortaya çıkan polimerik ürünlerin her birinin karakterizasyonu, hammaddesi ve özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra karakterize edilmiş atık polimerler piroliz işlemine tabii tutulmuştur. Daha sonra piroliz deneyleri, (400 ve 600°C sıcaklıklarda 100 ml /dak azot gazı akışı ve 10°C/dak ısıtma hızı) yapılmıştır. Katı (char) sıvı ve gaz verimleri hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında, atıklar sınıflandırılarak kalori değerleri (üst ısıl değer ve alt ısıl değer), elementel analizleri (CHNS ve O), kül tayinleri, DTA-TGA-DSC analizleri, FTIR analizleri, külün XRD analizi ile karakterizasyon yapılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Atık polimer, polimer karakterizasyonu, çocuk bezi, kadın bağı

## ABSTRACT

Master Thesis

### CHARACTERIZATION OF WASTE POLYMERS IN ERUSLU GLOBAL GROUP COMPANIES AND PREPARATION ENERGY GENERATION FEASIBILITY USING PROLYSIS -BURNING

HATİCE AKDAĞ

İnönü University

Graduate School of Natural And Applied Science Department of Chemical  
Engineering

XI+123 pages

2019

Supervisor: Doç. Dr. Yunus Önal

Eruslu Global group companies area among the top three in the production of diapers and have a significant share in other productions. Polymeric product resulting from waste are sold and recycled. With the increase in energy price and burning of combustible waste materials, energy production with the help of water vapor technology has started to be preferred by the companies in the medium term due to its great economic return.

In this thesis, polypropylene, polyethylene (LDPE, MDPE, HDPE), polyethylene terephthalate, polystyrene as well as auxiliary chemicals (hygiene chemicals, adhesive chemicals, dye chemicals, etc.) used in diapers, women's pads, packaging film, printed packaging film produced in terms of energy recovery of polymeric waste aimed to be evaluated.

Characterization, raw material and properties of each of the polymeric products produced as waste produced in Ecoplast-BZ-Eruslu companies of Eruslu Global were determined. The characterized waste polymers were then subjected to pyrolysis. Then, pyrolysis experiments (100 ml / min Nitrogen flow and 10°C / min heating rate at 400 and 600°C) were performed. Solid (char), liquid and gas yields were calculated.

In this study, calorific values (upper calorific value and lower calorific value), elemental analysis (CHNS and O), ash determination, DTA-TGA-DSC analysis, FTIR analysis, XRD analysis of ash was used for characterization of wastes.

**KEY WORDS:** Waste polymer, polymer characterization, diapers, women's pads

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana her türlü desteği veren, akademik hayatıma yön veren ve beni her yönüyle en iyi şekilde eğiten danışman hocam saygıdeğer Doç. Dr. Yunus ÖNAL'a

Tezimin düzenlenmesi ve takibi konusunda bana yön veren, yardımını hiç esirgemeyen Prof.Dr. Canan AKMİL BAŞAR'a

Tezimin deneysel aşamasında desteğini esirgemeyen Harun KELEŞ'e

Tez yazım aşamasında desteğini esirgemeyen Tuğba UTKU'ya

Çalışmamda bilgilerini esirgemeyen sorduğum soruları sabırla ve özenle cevaplayan İlhan KÜÇÜK'e

Çalışmalarım esnasında vermiş olduğu destek için Yeliz AKBULUT'a

Çalışmalarım esnasında yardım ve desteklerini gördüğüm firmam Eruslu Global grup firma çalışanları ve eğitimim için vermiş olduğu katkı ve destek için saygıdeğer Döne GÜÇÇÜKCAN, Emrah SOMUNCUOĞLU, Serkan AL, Uğur ÖZTÜRK'e

Hayatımın her safhasında yanımda olan ve her zaman desteğini hissettiğim babam Şevket AKDAĞ başta olmak üzere tüm AİLEM'e

Teşekkür ederim.

FYL-2018 1462 nolu proje kapsamında verdiği destekten dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>IV</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>V</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>VII</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER</b> .....	<b>3</b>
2.1. Polimerler .....	3
2.1.1. Endüstriyel Üretilen Polimerler ve Kısaltılmış Adları .....	4
2.2. Endüstriyel Polimerler ve Üretim Yöntemlerine Genel Bakış .....	6
2.2.1. Polivinil Klorür (PVC) .....	6
2.2.2. Polistiren (PS).....	7
2.2.3. Polietilen (PE) .....	7
2.2.4. Polietilen tereftalat (PET veya PETE).....	9
2.2.5. Polipropilen (PP) .....	10
2.2.6. Poliüretan (PU).....	11
2.3. Polimer Atık Tanımı ve Geri Dönüşümler .....	12
2.4. Piroliz ve Enerji.....	14
2.5. Hijyen Sektöründe Eruslu Global Grup Şirketleri.....	15
2.5.1. Eruslu Global Grup Firmalarındaki Atık Çeşitleri ve Kullanıldığı Yerler .....	19
2.6. Polimerlerin Karakterizasyonu .....	20
2.6.1. Elementel Analiz .....	20
2.6.2. FTIR Analizi.....	20
2.6.3. SEM (Scanning Electron Microscopy) Analizi.....	20
2.6.4. XRD Analizi.....	20
2.6.5. Termal Analiz.....	21
2.7. Yakıtların Isıl Değer Tayinleri .....	22
2.8. Literatür Çalışmaları.....	24
2.9. Çalışmanın Amacı .....	29
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>30</b>

3.1.	Materyal.....	30
3.1.1.	Kullanılan Hammaddeler .....	30
3.1.2.	Kullanılan Cihazlar.....	30
3.2.	Yöntem .....	31
3.2.1.	Atık Polimer Analizleri .....	31
<b>4.</b>	<b>ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>32</b>
4.1.	Atık Polimerler Element Analizi ve Kül Değeri Sonuçları .....	32
4.2.	Atık Polimerlerin FTIR Analizi Sonuçları .....	34
4.3.	Atık Polimerlerin XRD Analizi Sonuçları .....	48
4.4.	Atık Polimerlerin SEM Analizi Sonuçları.....	60
4.5.	Termal Analiz Sonuçları.....	88
4.6.	Atık Polimerlerin ve Diğer Malzemelerin Isıl Değeri Analizleri .....	93
4.6.1.	Üst ve alt ısıl değeri hesabı.....	93
4.7.	Piroliz Sonuçları .....	97
4.8.	Eruslu Global Grup Firmalarındaki Atık Miktarlarının Aylara ve Yıllara Göre Dağılımı ve Enerji Üretimi İçin Fizibilite.....	98
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>102</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>104</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>108</b>
	<b>EKLER .....</b>	<b>109</b>

## KISALTMALAR

ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
AYPE	Alçak Yoğunluklu Polietilen
DOTP	Di Oktil Tereftalat
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetri
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
EPS	Ekspande Polistren
FT	Fischer Tropsch
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
HDPE	High Density Polietilen
LDPE	Low Density Polietilen
LLDPE	Lineer Low Density Polietilen
Mt	Milyon ton
PAN	Poli Akrilo Nitril
PE	Polietilen
PET veya PETE	Polietilen Tereftalat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PU	Poliüretan
PVC	Polivinil Klorür
SEM	Scanning Electron Microscopy
Tg	Camsı Geçiş Sıcaklığı
TGA	Termogravimetrik Analiz
XPS	Ekstrude Polistren
XRD	X-Ray Diffraction
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Polivinil Klorür sentez reaksiyonu.....	7
Şekil 2.2.	Polistiren sentez reaksiyonu.....	7
Şekil 2.3.	Poliyeten sentez reaksiyonu.....	8
Şekil 2.4.	Poliyeten Tereftalat sentez reaksiyonu.....	9
Şekil 2.5.	Polipropilen sentez reaksiyonu.....	11
Şekil 2.6.	Poliüretan sentez reaksiyonu.....	12
Şekil 2.7.	XRD spektrumlarının genel gösterimi.....	21
Şekil 2.8.	Termal analiz eğrileri (termogramlar) .....	22
Şekil 4.1.	Klişe Numunesi (Fotopolimer Kauçuk) FTIR Spektrumu .....	34
Şekil 4.2.	Dış Cephe Kaplama Köpük Numunesi(EPS) FTIR Spektrumu .....	34
Şekil 4.3.	Eco Hammadde Torbası Numunesi (Dışı Alüminyum iç kısmı PE) FTIR Spektrumu .....	35
Şekil 4.4.	Köpük Dışındaki Koruyucu Numunesi(PVC) FTIR Spektrumu .....	35
Şekil 4.5.	Yeşil Klişe Bandı Numunesi (PE+PET) FTIR Spektrumu.....	36
Şekil 4.6.	Turuncu Klişe Bandı Numunesi(PE+PET) FTIR Spektrumu.....	36
Şekil 4.7.	Elyaf Tozu Numunesi (PET) FTIR Spektrumu .....	37
Şekil 4.8.	Atık Tutkal Numunesi (Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu .....	37
Şekil 4.9.	Beyaz Etiket Kağıdı Numunesi (Selülozik Kağıt) FTIR Spektrumu..	39
Şekil 4.10.	Sarı Etiket Kağıdı Arkası Numunesi (Pergamin Kağıt) FTIR Spektrumu.....	38
Şekil 4.11.	Çuval Çemberi Numunesi (PP) FTIR Spektrumu .....	39
Şekil 4.12.	Atık Spunlace Numunesi(PET) FTIR Spektrumu .....	39
Şekil 4.13.	BZ Hammadde Torbası Numunesi (PP-Kraft Kağıt) FTIR Spektrumu .....	40
Şekil 4.14.	C-Bant Takoğu Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu.....	40
Şeki 4.15.	Alkol Curufu Numunesi (Etil alkol ile mürekkep seyreltmek ve tankların temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) FTIR Spektrumu.....	41
Şekil 4.16.	Klişe Curufu Numunesi (Solvent ile klişe temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) FTIR Spektrumu .....	41
Şekil 4.17.	Kirli Bez Numunesi (PET) FTIR Spektrumu .....	42
Şekil 4.18.	Yağlı Bez Numunesi(PET) FTIR Spektrumu .....	42
Şekil 4.19.	Yeşil ADL Numunesi (PET) FTIR Spektrumu .....	433
Şekil 4.20.	C-Bant Numunesi(PE+PET+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu.....	43
Şekil 4.21.	Esnek Kulakçık Numunesi (PP) FTIR Spektrumu .....	444
Şekil 4.22.	Beyaz ADL Numunesi (PET) FTIR Spektrumu.....	44
Şekil 4.23.	TBS Numunesi (PP+PE+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu.....	45
Şekil 4.24.	Mini Yanbant Numunesi (PP+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu....	45
Şekil 4.25.	SBS Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu .....	46
Şekil 4.26.	Bariyer Numunesi (PP) FTIR Spektrumu.....	46
Şekil 4.27.	Tissue Numunesi (PP) FTIR Spektrumu .....	47

Şekil 4.28.	Filtre Numunesi (Sünger Demir) FTIR Spektrumu .....	47
Şekil 4.29.	Klişe Numunesi(Fotopolimer Kauçuk) XRD Spektrumu.....	48
Şekil 4.30.	Dış Cephe Kaplama Köpük Numunesi (EPS) XRD Spektrumu .....	48
Şekil 4.31.	Eco Hammadde Torbası Numunesi (Dışı Alüminyum iç kısmı PE) XRD Spektrumu .....	48
Şekil 4.32.	Köpük Dışındaki Koruyucu Numunesi (PVC) XRD Spektrumu .....	49
Şekil 4.33.	Yeşil Klişe Bandı Numunesi(PE+PET) XRD Spektrumu .....	49
Şekil 4.34.	Turuncu Klişe Bandı Numunesi(PE+PET) XRD Spektrumu.....	49
Şekil 4.35.	Elyaf Tozu Numunesi (PET) XRD Spektrumu .....	50
Şekil 4.36.	Atık Tutkal Numunesi(Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu .....	50
Şekil 4.37.	Beyaz Etiket Kağıdı Numunesi(Selülozik Kağıt) XRD Spektrumu ...	50
Şekil 4.38.	Sarı Etiket Kağıdı Arkası Numunesi(Pergamin Kağıt) XRD Spektrumu.....	51
Şekil 4.39.	Çuval Çemberi Numunesi (PP) XRD Spektrumu.....	51
Şekil 4.40.	Atık Spunlace Numunesi (PET) XRD Spektrumu .....	51
Şekil 4.41.	BZ Hammadde Torbası Numunesi (PP-Kraft Kağıt XRD Spektrumu	52
Şekil 4.42.	C-Bant Takoza Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu.....	52
Şekil 4.43.	Alkol Curufu Numunesi(Etil alkol ile mürekkep seyreltmek ve tankların temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) XRD Spektrumu .....	52
Şekil 4.44.	Klişe Curufu Numunesi(Solvent ile klişe temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) XRD Spektrumu.....	53
Şekil 4.45.	Kirli Bez Numunesi(PET) XRD Spektrumu.....	53
Şekil 4.46.	Yağlı Bez Numunesi(PET) XRD Spektrumu .....	53
Şekil 4.47.	Yeşil ADL Numunesi (PET) XRD Spektrumu.....	54
Şekil 4.48.	C-Bant Numunesi(PE+PET+Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu .....	54
Şekil 4.49.	Esnek Kulakçık Numunesi(PP) XRD Spektrumu.....	54
Şekil 4.50.	Beyaz ADL Numunesi(PET) XRD Spektrumu .....	55
Şekil 4.51.	TBS Numunesi(PP+PE+ Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu .....	55
Şekil 4.52.	Mini Yanbant Numunesi(PP+Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu .....	55
Şekil 4.53.	SBS Numunesi(PE+PET+ Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu .....	56
Şekil 4.54.	Bariyer Numunesi (PP) XRD Spektrumu .....	56
Şekil 4.55.	Tissue Numunesi (PP) XRD Spektrumu .....	56
Şekil 4.56.	Filtre Numunesi(Sünger Demir) XRD Spektrumu .....	57
Şekil 4.57.	Klişe Numunesi(Fotopolimer Kauçuk) SEM Görüntüleri.....	60
Şekil 4.58.	Dış Cephe Kaplama Köpük Numunesi(EPS) SEM Görüntüleri.....	61
Şekil 4.59.	Eco Hammadde Torbası Numunesi(Dışı Alüminyum iç kısmı PE) SEM Görüntüleri .....	62
Şekil 4.60.	Köpük Dışındaki Koruyucu Numunesi(PVC) SEM Görüntüleri .....	63
Şekil 4.61.	Yeşil Klişe Bandı Numunesi (PE+PET) SEM Görüntüleri .....	64
Şekil 4.62.	Turuncu Klişe Bandı Numunesi (PE+PET) SEM Görüntüleri.....	65
Şekil 4.63.	Elyaf Tozu Numunesi (PET) SEM Görüntüleri .....	66
Şekil 4.64.	Atık Tutkal Numunesi(Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri .....	67
Şekil 4.65.	Beyaz Etiket Kağıdı Numunesi(Selülozik Kağıt) SEM Görüntüleri ..	68

Şekil 4.66.	Sarı Etiket Arkası Kağıt Numunesi(Pergamin Kağıt) SEM Görüntüleri .....	69
Şekil 4.67.	Çuval Çemberi Numunesi(PP) SEM Görüntüleri.....	70
Şekil 4.68.	Atık Spunlace Numunesi (PET) SEM Görüntüleri.....	71
Şekil 4.69.	BZ Hammadde Torbası Numunesi (PP+Kraft Kağıt) SEM Görüntüleri .....	72
Şekil 4.70.	C Bant Takoza Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri .....	73
Şekil 4.71.	Alkol Curufu Numunesi(Etil alkol ile mürekkep seyreltmek ve tankların temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) SEM Görüntüleri .....	74
Şekil 4.72.	Klişe Curufu Numunesi (Solvent ile klişe temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) SEM Görüntüleri.....	75
Şekil 4.73.	Kirli Bez Numunesi(PET) SEM Görüntüleri.....	76
Şekil 4.74.	Yağlı Bez Numunesi(PET) SEM Görüntüleri .....	77
Şekil 4.75.	Yeşil Adl Numunesi (PET) SEM Görüntüleri .....	78
Şekil 4.76.	C Bant Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri ....	79
Şekil 4.77.	Esnek Kulakçık Numunesi(PP) SEM Görüntüleri.....	80
Şekil 4.78.	Beyaz Adl Numunesi (PET) SEM Görüntüleri .....	81
Şekil 4.79.	TBS Numunesi (PE+PP+Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri .....	82
Şekil 4.80.	Mini Yanbant Numunesi (PP+Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri ...	83
Şekil 4.81.	SBS Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri.....	84
Şekil 4.82.	Bariyer Numunesi (PP) SEM Görüntüleri .....	85
Şekil 4.83.	Tissue Numunesi (PP) SEM Görüntüleri.....	86
Şekil 4.84.	Filtre Numunesi(Sünger Demir) SEM Görüntüleri .....	87
Şekil 4.85.	Yeşil ADL Numunesi (PET) Termal Analiz Grafiği .....	88
Şekil 4.86.	C-Bant Numunesi(PE+PET+Sentetik Kauçuk) Termal Analiz Grafiği .....	88
Şekil 4.87.	Esnek Kulakçık Numunesi(PP) Termal Analiz Grafiği.....	89
Şekil 4.88.	Beyaz ADL Numunesi(PET) Termal Analiz Grafiği .....	89
Şekil 4.89.	TBS Numunesi(PP+PE+ Sentetik Kauçuk) Termal Analiz Grafiği ...	90
Şekil 4.90.	Mini Yanbant Numunesi(PP+Sentetik Kauçuk) Termal Analiz Grafiği .....	90
Şekil 4.91.	SBS Numunesi(PE+PET+ Sentetik Kauçuk) Termal Analiz Grafiği.	91
Şekil 4.92.	Bariyer Numunesi (PP) Termal Analiz Grafiği .....	91
Şekil 4.93.	Tissue Numunesi (PP) Termal Analiz Grafiği.....	92
Şekil 4.94.	2017 yılı aylara göre atık miktarı.....	98
Şekil 4.95.	2018 yılı aylara göre atık miktarı.....	99
Şekil 4.96.	2019 yılı aylara göre atık miktarı.....	99

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Önemli polimerlerin kısaltılmış adları .....	5
Tablo 2.2.	En çok kullanılan endüstriyel polimerler ve kullanım alanları .....	6
Tablo 2.3.	Polimer katkı maddeleri.....	14
Tablo 2.4.	Firmadaki polimerik atık çeşitleri ve kullanıldığı yerler .....	20
Tablo 3.1.	Cihazlar ve kullanım amaçları .....	30
Tablo 4.1.	Atık polimerlerin elementel analiz ve kül yüzdeleri.....	32
Tablo 4.2.	Numunelerin deneysel üst ve alt ısı değerleri.....	94
Tablo 4.3.	Farklı formüllere göre ısı değer hesabı.....	96
Tablo 4.4.	600° C'deki ağırlıkça % katı, sıvı ve gaz verim değerleri .....	97
Tablo 4.5.	400° C'deki ağırlıkça % katı, sıvı ve gaz verim değerleri .....	97
Tablo 4.6.	2017-2018-2019 yılları aylara göre atık miktarı.....	98
Tablo 4.7.	2017-2018 yılları stoktaki atık miktarları. ....	99
Tablo 4.8.	2019 yılı atıklarına göre yapılan aylık atık çeşitlerine göre ısı değerler tablosu.....	100

## 1.GİRİŞ

Ham petrolün bulunması ile 19. yüzyılın başından itibaren endüstriyel üretim için temeller atılmış olup inorganik ve/veya organik kimyasal(ların) üretimi ile 20. ve 21. yüzyılın ekonomilerine ve gelişmişliğe temel oluşturacak malzeme üretiminin önü açılmıştır. Bu süreçte başlangıçta tek tek kimyasal üretimi endüstrileşmiş olup devamında üretilen bu kimyasallardan nihai ürünlerin üretimi süreci hızlanmıştır. İkinci dünya savaşından sonra şehirleşmenin artması ve teknolojiadaki hızlı gelişme sentetik malzemeye olan talebi katlayarak artırmıştır. Bu kapsamda polimer üretimi diğer malzemelere göre önemini artırarak üretimdeki ağırlığını ortaya koymuştur. İnsan yaşamının her aşamasında her geçen gün kullanımı katlanarak artan polimerik malzemeler günümüzde yaşamın ve endüstrinin ayrılmaz bir parçası olmuştur. Doğal polimerler olan ipek, pamuk, yün gibi malzemeler yüzyıllardır kullanılmaktayken, bunlara alternatif olarak 1839 yılından itibaren polimer üretimi her geçen yıl daha fazla artarak 1950 yılında 1.7 milyon tona, 2010 yılında ise 265 milyon tona çıkmıştır. Günümüzde ise 500 milyon tona yaklaşmıştır.

Toplam tüketimi 2000 yılında dünya genelinde 150 milyon ton, Avrupa'da 45 milyon ton olan plastik araçlar modern toplumların yaşamlarında önemli bir rol oynamaktadır. Dünya genelinde 2008 ve 2009 yılındaki ekonomik kriz plastik sektörünü etkilememiştir. 2010 ve 2011 yılında da sektörde sürekli iyileşme olup, dünya genelinde plastik üretimi 10 milyon ton (bir önceki yıla göre % 3.7) artarak 2011 yılında 280 milyon tona ulaşmıştır. 1950 yılından bu yana yıllık % 9'luk büyüme devam etmektedir. 1950 yılında dünyada 1.7 milyon ton, Avrupa'da 0.35 milyon ton iken 2011 yılına gelindiğinde dünyada yaklaşık 280, Avrupa da ise 58 milyon tona ulaşmıştır. Dünyada üretilen bu plastiklerin % 23'ünü Çin, %21'i Avrupa ülkeleri, %20'sini NAFTA üyesi ülkeler, %16'sını Asya ülkeleri, % 5'ini Japonya üretmektedir. Avrupa'da yaklaşık 12 milyon ton üretim ile Almanya en büyük üreticidir. Avrupa'da üretilen bu plastiklerin çeşitlerine bakıldığında ilk sıraları polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorür (PVC), polistiren (PS), poliüretan (PU), polietilenteraftalat (PET) gibi plastikler oluşmaktadır [1].

Dünya çapında elde edilen petrolün %4'ü polimer üretiminde kullanılmakta ve elde edilen polimerlerin %20-25'i ambalaj sektöründe aktif olarak

kullanılmaktadır.

Ancak polimerlerin bu kadar büyük miktarda kullanımı ve birikmesi atıkların değerlendirilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Polimer atıklar, gerek kendi üretimleri esnasında gerçekleşen hatalar sonucu gerekse tüketiciler tarafından kullanımının tamamlanması sonucu oluşur. Endüstrileşmenin başında polimerik atıklar daha saf durumda iken günümüzde polimere katılan katkıların çeşitliliğinin artması ve farklı polimer karışımları ile yeni malzeme üretimleri polimer geri kazanımında büyük sorunlar oluşturmaktadır. Ekonomik değeri yüksek ve kullanım alanı çok geniş olan yaklaşık 50 farklı polimer vardır. Polimer kullanımının yaklaşık %60'ını PE, PP, PVC, PET ve PS gibi polimerler kapsar. Enerji kazanımı gerçekleştirmek ve mevcut hammadde kaynağını koruma adına polimer malzeme geri dönüşümünü sağlamak gerekli ve önemlidir. Polimerlerin geri kazanımı her geçen yıl daha fazla artmaya devam etmektedir. Bazı polimerlerin geri kazanımı neredeyse %60 gerçekleştirilebilmektedir.

Polimerler, Türkiye'deki katı atıkların, %15-20'sini oluşturmakta olup çöplerde mevcuttur. Türkiye'de polimerlerin geri dönüşüm oranları, PE'de %40, PVC'de %10, PP'de %10 ve PS'de ise %20 dolaylarında gerçekleştiği düşünülmektedir.

Plastikler 1950 yılında küresel üretimde ortalama olarak yaklaşık %9 arttı. Global üretim 2015 yılında 388 milyon ton (Mt)'dur. Öncelikle Çin'de üretilen ve tüketilen, sonrasında Kuzey Amerika ve Batı Avrupa ülkelerinde, çoğunluğu polimer ambalaj (%30), bina ve inşaat (%17) ve ulaştırma (%14) sektörlerinde kullanılmaktadır. En çok kullanılan polimerler; polipropilen (PP; %16), düşük yoğunluklu polietilen ve lineer düşük yoğunluklu polietilen (LDPE, LLDPE; %12), polivinil klorür (PVC; %11), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE; %10) ve polietilen toplam polimer kullanımının %50'sinden fazlası polietilen tereftalat (PET; %5) olarak karşımıza çıkmaktadır [2].

2019 verilerine göre dünyada 4.9 milyar ton atık polimer olduğu ve 2050 yılında ise 12 milyar tona ulaşacağı öngörüsü düşünüldüğünde ve her yıl bu rakamın artması geri kazanım ve yeni geri kazanım teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle de enerji üretiminde fosil yakıtlar yerine biyokütle olarak kullanılması gerekliliği açıkça ortaya çıkmaktadır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Polimerler

Polimerler fiziksel ve kimyasal özellikleri diğer bileşiklerden farklı olan çok sayıda küçük moleküllerin bir araya gelmesiyle oluşan büyük moleküllerdir. Polimerleri oluşturmak için kovalent bağlarla bir araya gelen ve tekrar eden küçük moleküller monomer olarak adlandırılırlar. Monomerlerin ise birbirleri ile reaksiyona girerek makromoleküllerin olduğu reaksiyonlara polimerizasyon reaksiyonları denir.

Polimerler aynı zamanda bitkisel ve hayvansal yapılarda selüloz veya protein olarakta bulunur. Ahşap, pamuk, kenevir, mantar, yün ve ipek bu yapılardandır. Doğal polimerlerin yalnızca birkaçı teknik polimer olarak kullanılır. Yaşamımızda tonlarca tüketilen polietilen, polietilenteraftalat, polipropilen, polistiren gibi polimerler çok önemli ve çok farklı kullanım alanlarına sahiptirler.

Polimerler için çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır. ASTM ise polimerler için şu tanımı kullanmıştır: “Plastikler esas olarak bir veya daha çok, molekül ağırlığı yüksek organik polimerik malzemeden oluşurlar. Çeşitli uygulamalar için özelliklerini iyileştirmeye yarayan katkı maddeleri içerirler. Sentetikler veya doğal polimerlerin yüksek kimyasal modifikasyonu ile elde edilirler. Üretimlerinin bir aşamasında mutlaka ısı ile ergitilerek şekillendirilirken, sonuç ürün mutlaka katıdır”.

Polimerler, termoplastikler, elastomerler ve termosetler olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Bu gruplandırma ısı karşısında gösterdikleri davranışa göre yapılmıştır.

**Termoplastik malzemeler**, birbirine kovalent bağla bağlı çok uzun karbon atomu zincirlerinden oluşmaktadır. Bozunacak derecede yüksek sıcaklıklara ulaşılmadığı sürece tekrar ısıtılıp şekillendirilebilirler. Geri dönüşüm özellikleri vardır.

**Elastomerler (kauçuklar)**, içerdikleri yoğun düşük çapraz-bağ özelliklerinden dolayı uygulanan bir çekim kuvveti sonrasında çekim kaldırıldığında ilk uzunluğunu geri kazanırlar. Elastikiyetleri oldukça yüksektir.

**Termosetler** ise çoğunlukla kovalent bağına sahip karbon atomları ağına sahiptir. Termosetler ergitilerek tekrar şekillendirilemezler. Geri dönüşüm özellikleri yoktur.

Polimer; petrol temelli hammaddeler, Fischer Tropsch sentezi ile elde edilen

hammadeler yardımı ile elde edilirler. Kimyasal ve mekanik darbeye karşı dirençli olmaları, hafif olmaları, esnek ve yumuşak olmaları, yüksek ısı ile elektrik izolasyonu olarak kullanılabilmeleri polimerleri hayatımızın vazgeçilmez ürünü kılmaktadır.

Günümüzde hayatımızın vazgeçilmez tüketim maddeleri arasında yer alan polimerik ürünler, ahşap, metal, yün, ipek, kâğıt gibi doğal ürünlerin alternatifi olarak kullanılmaktadır. Diğer ürünlere göre düşük maliyet polimerlerin doğal ürünlerin yerine tercih edilme sebeplerinden en önemlisidir [3]. Bununla birlikte polimerik malzemenin mekanik, fiziksel, termal vb özellikleri doğal, inorganik, organik çok sayıda katkıların ilavesi ile önemli ölçüde değiştirilebilmektedir.

### **2.1.1. Endüstriyel Üretilen Polimerler ve Kısaltılmış Adları**

Geçmişten günümüze üretilen önemli polimerlerin kısaltılmış adları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.2’de ise en çok kullanılan endüstriyel polimerler ve kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 2.1. Önemli polimerlerin kısaltılmış adları [4]

AAS	Metakrilat-akrilik-stiren	PEO	Polietenoksit
ABS	Akrilonitril-butadien-stirenterpolimeri	PEPA	Polieterblokamidleri
ACM	Akrilik asit esterleri (kauçuk)	PEP	Polieten-propilen
ACS	Akrilonitril-kloranmış polietilen-stirenterpolimeri	PES	Polietersülfon
ADC	Allildiglikol karbona	PET	Polieteraflamat
AES	Akrilonitril-etilen-propilen-stiren	PETG	Polieteraflamat, glikol komonomeri
AMMA	Akrilonitril-metilmetakrilat	PF	Fenol formaldehit reçinesi
APP	Ataktikpolipropilen	PFA	Perfloroalkoksiakalin
ASA	Akrilonitril-stiren-akrilik ester	PFEP	Politetrafloroetilen-perfloropropilen
AXS	Akrilonitril-stirenterpolimeri	PFF	Poli fenol-furfural
BR	Cis-1, 4-polibutadien kauçuğu	PI	Poliimid
BS	Butadien-stirenkauçuğu	PIB	Poliizobutilen
CA	Selüloz asetat	PIBI	Butil kauçuğu
CAB	Selüloz asetat-butirat	PIR	Poliizosiyanat köpüğü
CAP	Selüloz asetat-propiyonat	PMCA	Polimetil $\alpha$ -kloroakrilat
CF	Kresol formaldehit	PMI	Polimetakriolimid
CHR	Epiklorhidrin kauçuğu	PMMA	Polimetilmetaakrilat
CMC	Karboksümetil selüloz	PMP	Poli-4-Metilpenten-1
CN	selüloz nitrit	POA	Polioktilakrilat
CP	selülozpropiyonat	POM	Polioksimetilen, poliasetal
CPE	Klorlanmış polietilen	PP	Polipropilen
CPVC	Klorlanmış polivinilklorür	PPG	Polipropilen glikol
CR	Kloropren kauçuğu	PPC	Klorlanmış polipropilen
CS	Kazein	PPMS	Poliparametilstiren
CTA	Selüloz triasetat	PPO(S)	Polifenilenoksit (stiren)
DAP	Dialliltalat	PPOX	Polipropilenoksit
EC	Etil selüloz	PPS	Polifenilensülfid
ECB	Etilen-bitumen kopolimeri	PPSU	Polifenilensülfon
ECTFE	Etilen klorotrifloroetilen kopolimeri	PS	Polistiren
EEA	Etilen-etilakrilat	PSB	Stiren-butadien kauçuğu
EMA	Etilen-metakrilik asit kopolimeri	PSU	Polisülfon
EP	Epoksi, epoksit	PTFE	Politetrafloroetilen
EPDM	Etilen-propilen-dienterpolimeri	PTMG	Politetrametilen glikol
EPM	Etilen-propilen kopolimeri	PTP	Politereflamat
EPS	Genişleyen Polistiren (köpük)	PU	Poliüretan
ETFE	Etilen-tetrafloroetilen kopolimeri	PVAC	Polivinilasetat
EVA	Etilen-vinilasetat kopolimeri	PVAL	Polivinilalkol
FEP	Perfloro etilen-propilen	PVB	Polivinilbutiral
FF	Furan formaldehit	PVC	Polivinilklorür
HDPE	Yüksek yoğunluk polietileni	PVCA	Polivinilklorür-asetat
IPDI	İzoprendiizosiyanat	PVCC	Klorlanmış polivinilklorür
IR	Cis-1, 4-poliizopren kauçuğu	PVDC	Polivinilidin klorür
LDPE	Alçak yoğunluk polietilen	PVDF	Polivinilidiflorür
LLDPE	Doğrusal düşük yoğunluk polietilen	PVF	Polivinilformal
MBS	Metilmetakrilat-butadien-stiren	PVK	Polivinilkarbazol
MC	Metil slüloz	PVP	Polivinilpirolidon
MDI	Difenilmetandiizosiyanat	RF	Resorsin formaldehit
MF	Melamin formaldehit reçinesi	SAN	Stiren-akrilonitril
MMA	Metilmetakrilat	SB	Stiren-butadien
MPF	Melamine-fenol-formaldehit	SBR	Stiren-butadien kauçuğu
NBR	Akrilonitril-butadien kauçuğu (nitril kauçuğu)	SI	Silikon plastikleri
NR	Doğal kauçuk	SİR	Silikon kauçuğu
PA	Poliamid (naylon)	SMA	Stiren-maleikanhidrit
PAA	Poliakrilik asit	SMS	Stiren- $\alpha$ -metilstiren
PAI	Poli-amidimid	SRP	Stiren-kauçuk plastikleri
PAK	Poliesteralkid	TAC	Triallilsiyanat
PAN	Poliakrilonitril	TFA	Floroalkoksiterpolimeri
PB	Polibutadien	TDI	Tolildiizosiyanat
PBA	Polibutakrilat	TMDI	Trimetil-hekzametildiizosiyanat
PBAN	Polibutadien-akrilonitril	TPU	Termoplastik poliüretan
PBS	Polibutadien-stiren	TPX	Polimetilpenten
PBTP	Polibutilentereftalat	UF	Üreformaldehit
PC	Polikarbonat	UP	Doymamış poliester
PCD	Polikarbodiimid	VAC	Vinilasetat
PCTFE	Polimonoklorotrifloroetilen	VC	Vinilklorür
PDAP	Polidialliltalat	VCE	Vinilklorür-etilen
PE	Polieten	VCEVA	Vinilklorür-etilen-vinilasetat
PEA	Polietilakrilat	VCOA	Vinilklorür-oktilakrilat
PEC	Klorlanmış polietilen	VCVAC	Vinilklorür-vinilasetat
PEEK	Poliariletterketon	VCVDL	Vinilklorür-vinilidinklorür
PEG	Polieten glikol	VF	Vulkanize fiber
PEI	Polieterimid		

Tablo 2.2. En çok kullanılan endüstriyel polimerler ve kullanım alanları [5]

Termoplastik Polimer	Uygulamalar
Polietilen(YYPE)	Paketleme, borular, tanklar, şişeler, kasalar
Polietilen (AYPE)	Paketleme, sebze çantaları, oyuncaklar, kapaklar
Polipropilen (PP)	Şapkalar, yoğurt kapları, bavullar, borular, kovalar, halılar
Polistiren (PS)	Yoğurt kapları, köpük paketleri, kasetler, ısı yalıtım malzemesi
Polyamid (PA)	Yataklar, dişliler, cıvatalar, paten tekerleri, misina
Polietilen Tereftalat (PET)	İçecek şişeleri, elyaf vb
Polivinil Klorür (PVC)	Gıda paketleri, ayakkabı tabanı, zemin döşemesi, kablo, araç koltukları
Poliüretan(PU)	Ayakkabı tabanı, araç koltukları, inşaat sektöründe ısı yalıtım

## 2.2. Endüstriyel Polimerler ve Üretim Yöntemlerine Genel Bakış

### 2.2.1. Polivinil Klorür (PVC)

PVC vinil klorürden elde edilen amorf, hafif, uzun ömürlü, alevlenmeyen, sudan etkilenmeyen, iyi izolasyon özellikleri olan bir termoplastiktir. Sert ve sıkı olan bu plastik plastikleştiriciler ilave edildiğinde çok esnekleşir. Plastikleştiriciler PVC için en önemli katkı maddesidir. Farklı miktarlarda katılarak polimeri farklı yumuşaklıklara getirebilmekte ve bu sayede farklı ve çeşitli kullanım alanları sağlamaktadır. Kapı ve pencere profilleri, vinil cephe kaplaması, boru ve tesisat malzemeleri, elektrik kabloları, döşeme, hobi malzemeleri sayılabilir. Esnek ve ucuz olması nedeniyle malzeme su ve atık su endüstrisinde boru hatları için çok yaygın olarak kullanılır. Son 50 yıldır sağlık sektöründe de kullanıma girmiştir. Parenteral kullanılan sıvıların, kan ve kan ürünlerinin torbalarında ve transfüzyon setlerinde, kateter, kanül ve drenlerde, stoma ürünlerinde kullanılmaktadır.

PVC Şekil 2.1'deki reaksiyona göre etilen gazının klorla halojenasyonu ile elde edilen vinil klorürün polimerizasyonu sonucu üretilmektedir. PVC endüstriyel olarak süspansiyon, emülsiyon ve bulk metodları üretilmektedir. Başlatıcı olarak diasetil peroksitler, peroksidikarbonatlar, alkil peroksiesterler

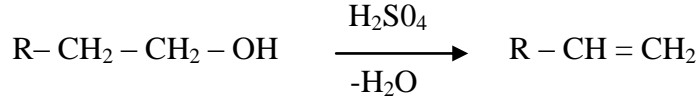


edilir.

Filmlerin uygulama alanları; yiyecek paketlenme, inşaat örtüsü, ziraat örtüleri, çöp gübre torbaları, büzme ile sarma alanları vb. kâğıdın yerini almakta olan YYPE, yiyecek paketlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. YYPE, kasa, yer altı kanalları ve büyük boy eşya yapımında; AYPE ise, esneklik, sertlik ve parlaklık istenen yerlerde kullanılır. AYPE kâğıt, kumaş gibi yüzeylerin kaplanmasında kullanılır. Ayrıca gıda endüstrisinde süt kapları, meyve suyu kutularının üretiminde de kullanılmaktadır.

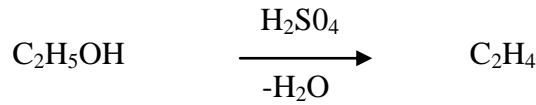
YYPE polimerin erime noktasının çok altında kalan sıcaklıklarda katı tanecikler hâlinde olduğu gaz fazı prosesinde etilen, komonomer, hidrojen ve azot karışımının bulunduğu akışkan yataklı bir reaktörde Ziegler – Natta katalizörleri kullanılarak polimerizasyon gerçekleştirilir. Ev eşyası, oyuncak, ambalaj filmi, sert boru, deterjan ve kozmetik şişesi (şeffaf olmayan), su, gaz bidonu, levha, kâğıt, kumaş ve metal kaplamada rotasyonel kalıplama maddeleri, atlet tipi poşet, plastik poşetler, laminasyon, file çuval, basınçlı su borusu, gaz ve kanalizasyon, su dağıtım, kanalizasyon, sulama dağıtım şebeke boruları alanlarında kullanılır [7].

Aşağıdaki reaksiyona göre palladyum katalizörlüğünde adsorpsiyon temelli elde edilmektedir.



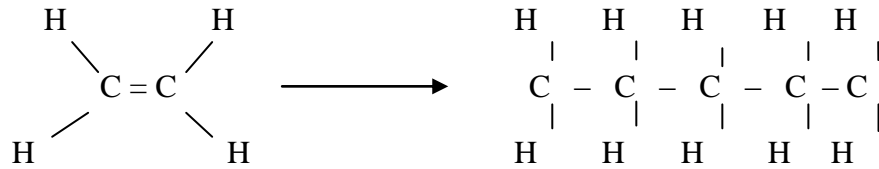
Alkol

Alken



Etil Alkol

Etilen



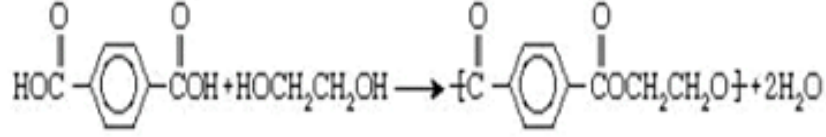
Etilen (monomer)

Polietilen (polimer)

Şekil 2.3. Polietilen sentez reaksiyonu

#### 2.2.4. Polietilen tereftalat (PET veya PETE)

Polietilen tereftalat endüstride kullanılan en önemli ve yaygın poliesterdir. PET, etilen glikolün tereftalik asit ile antimon trioksit ( $Sb_2O_3$ ) veya antimon asetat ( $Sb (Ac)_3$ ) katalizörlüğündeki reaksiyon ile üretilmektedir.



Tereftalik asit      Etilen glikol      Polietilen Tereftalat      Su

Şekil 2.4. Polietilen Tereftalat sentez reaksiyonu

Poliester ailesine ait polikondenzasyon metoduyla üretilen termoplastik bir malzemedir. Meşrubat, yiyecek ve içecek kapları, sentetik fiber gibi kullanım alanları vardır. Isıl işlenmesine bağlı olarak, amorf (şeffaf) ve yarı-kristal (opak ve beyaz) malzeme olarak mevcuttur.

PET ayrıca yalıtımlı giysiler ve mobilya ve yastıklar için fiber dolgu haline getirilir. Çok ince filamentlerde yapıldığında yapay ipekte, geniş çaplı filamentlerde halıda kullanılır. PET'in endüstriyel uygulamaları arasında otomobil lastiği iplikleri, konveyör bantları ve tahrik kayışları, yangın ve bahçe hortumları için takviye, emniyet kemeri (naylonun büyük bir kısmı değiştirildiği bir uygulama), drenaj hendekleri, menfezler ve demiryolu yatakları stabilize etmek için dokunmamış kumaşlar bulunmaktadır. Bununla birlikte yeni teknolojik gelişmeler sıcak dolmuş veya pastörizasyon için uygun olan PET kavanozlar üretiminde kullanılmaktadır. En önemli kullanım avantajı, tamamen geri dönüşebilir olmasıdır. İnce film olarak üretildiğinde, PET sıklıkla alüminyum ile kaplanır; yansıtıcı ve opak bir hale gelir. PET şişeler, mükemmel bariyer malzemesi olup, özellikle meşrubatlar için çok yaygın kullanım alanı vardır. Çeşitli türleri mevcut olan PET'in X-ışını filmleri, fotoğraf filmleri, manyetik kayıt filmleri ve birçok ambalaj malzemesi üretiminde kullanılan plastik bir ürünü, tekstil endüstrisinde halıların arka yüzlerinin yapımında ve

battaniye üretiminde de kullanım alanı bulunmaktadır. Ayrıca özellikle gıda endüstrisinde su ve diğer sıvı içecek ve yağ şişelerinde ambalaj malzemesi ile sentetik fiber, deterjan ambalajı olarak da kullanımını yaygındır.

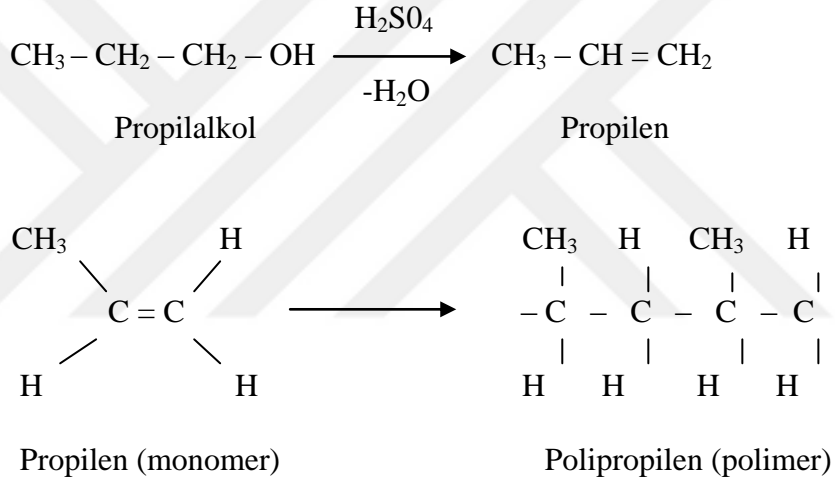
Fabrika genelinde de adlı üretimi ve dış tedarikçiden temin edilen spunlace kumaş elyaflardan üretilmektedir [8,9].

### **2.2.5. Polipropilen (PP)**

Polipropilen, Ziegler–Natta katalizörleri olarak bilinen  $TiCl_3$ , DEAC (dietyl alüminyum klorür) ya da bazı metalosen katalizörlerinin varlığında propilen monomerinin polimerleşmesinden elde edilir. Otomotiv sanayinde kullanılan parçalardan, tekstil ve gıda paketlemesine değin oldukça geniş kullanım alanı bulunan termoplastik bir polimerdir. Polipropilen (PP) ya da polipropen ambalaj ve etiketleme, tekstil (örneğin halat, termal iç çamaşırı ve halı), kırtasiye, plastik parçalar ve yeniden kullanılabilir kap çeşitleri, laboratuvar ekipmanı, hoparlör, otomotiv parçaları ve polimer banknotlar gibi birçok uygulamada kullanılan bir termoplastik polimerdir. Mutfak eşyaları, banyo gereçleri, plastik bahçe mobilyaları, tanklar, döner filtreler, fan, aspiratörler, küvetler, elbise askıları, düğmeler, elektrik malzemeleri, kablolar, iplikler, şamandıralar, laboratuvar eşyaları, streç filmler, otomotiv sanayi, yüz maskeleri, filtreler ve bebek bezleri gibi kullanışlı ürünlerin üretiminde kullanılması yer alır. Antistatik katkıların eklenmesi polipropilen yüzeylerin toz ve kire dayanabilmesine yardımcı olabilir. Polipropilende, talaşlı işleme gibi birçok boyama tekniği kullanılabilir. Polipropilen parçalara yüzey kaplaması uygulanarak yazıcı mürekkebi ve boyaların tutunma kabiliyeti geliştirilebilir. En çok ev aletlerinin yapımında, hastane ve fizik laboratuvarı aletleri, pil koruyucu kutusu, taşıma çantası, sandalye ve sehpa, çöp sepeti, çamaşır makinesi merdanesi, pedal, su tesisatı bağlantı elemanları (manşon, körtapa vb.), otomotiv sanayiinde kopolimer olarak akümülatör gövdesi, elektrik kablosu, ayakkabı topuğu, halat, boru yapımında kullanılır. PP ilaç, kozmetik ve besin alanında kutu, şişe, kap vb. parçaların, köpük çeşidi ise mobilya veya koltuk yastıklarının yapımında kullanılır. Yoğunluğu düşük olduğu için çuval ve perde yapımında öteki liflerle yarışacak derecede tekstil endüstrisine girmiştir. Plastik koli bandı, film kutusu, elektrik

süpürgesi parçaları, oyuncak, mutfak eşyaları, elektrik anahtarı ve prizleri, televizyon kasası, araba parçaları (tampon, ön panel vb.), tüfek ve tabanca kabzası, steril enjektör, şişe kapağı gibi malzemelerin üretiminde kullanılır. Halı, trikotaj, dekoratif şerit, masa örtüsü, peruk kumaşı, giyim eşyası, çuval, halat ve ambalaj ipi imalatında sıkça kullanılır. Meşrubat, meyve, ekmek, sebze ve balık kasası, gaz ve benzin bidonları, otomobil farı ve tamponu, su boruları, banyo küveti, kova, leğen, çamaşır makinesi kazanı, plastik dişli, akü kutuları, televizyon kasası, buzdolabı aksamı, vakumlu ve oluklu levha, boru ve profil üretiminde kullanılır.

PE ve PP torbalar birbirinden farklı olarak ayrı hatlarda üretilmekte, daha sonra iç içe geçirilerek yapay gübre saklanması için kullanılmaktadır [10-15].



Şekil 2.5. Polipropilen sentez reaksiyonu

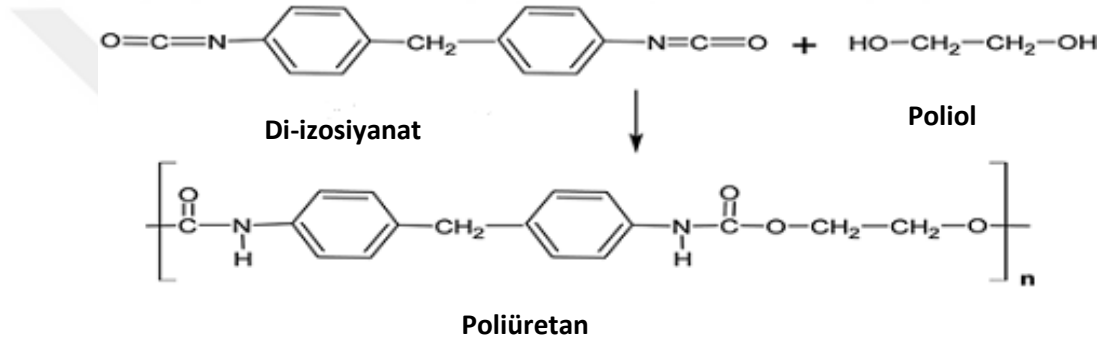
### 2.2.6. Poliüretan (PU)

Poliüretan kırılmayan, aşınma direnci yüksek, esnek ve düzgün kalıp özelliği taşıyan sentetik bir malzemedir. Termoplastik poliüretan elastomerlerinin iyi işlenebilmeleri için kurutulmaları gereklidir. Termoplastik poliüretan malzemeler tek ve iki basamaklı üretim yöntemleri ile üretilebilirler. Tek basamaklı sentezde, aynı anda solvent içine poliöl, diizosiyanat ve zincir uzatıcı ilave edilir ve sistem 80 °C'nin üzerine ısıtılır. Bazı durumlarda reaksiyonu hızlandırmak için kataliz ilavesi yapılır. Bununla birlikte, poliüretan sentezi için en yaygın kullanılan

yollardan biri iki basamaklı sentez veya pre-polimer sentezi yoludur. Bu metotta, ilk basamak diizosiyanat sonlu oligomer ara ürününü sentezlemek için poliöl ile izosiyanat fazlasının reaksiyonu sonucu oluşur.

Son on yılda, vücut içine yerleştirildikten sonra zararsız bileşenlere parçalanabilen poliüretanlar (PU) biyomalzeme olarak doku mühendisliği uygulamalarında oldukça dikkat çekmiştir [16].

Poliüretan aşağıdaki reaksiyon ile üretilmektedir. Kullanım alanı itibarıyla inşaat sektöründe ısı yalıtım özelliğinden dolayı yaygın kullanıma sahiptir. Taşıt endüstrisinde koltuklar poliüretan olup son yıllarda ayakkabı tabanı poliüretan temelli malzemeden yapılmaktadır.



Şekil 2.6. Poliüretan sentez reaksiyonu

### 2.3. Polimer Atık Tanımı ve Geri Dönüşümler

Atık, üretimi esnasında meydana gelen proses kalıntıları, kullanım süresini tamamlamış bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini yitirmiş maddeler, yararlı performans göstermeyen malzemeler atık olarak tanımlanmaktadır. Polimerin en yaygın kullanım alanı ambalaj olup, çöp yığınlarının 1/3'ü ambalaj atıklarından oluşur. Polimerler yapıları gereği doğada parçalanmaya maruz kalmadıklarından doğaya karışmazlar, bozunmaya uğrarlar, yok olmaları uzun yıllar alır. Ayrıca bozunma sonrası meydana gelebilecek olumsuz birçok etkileri bilinmemektedir. Bu sebeple, plastiklerin geri dönüşümü ve enerji olarak atıkların değerlendirilmesi ile doğaya karışmayan bu malzemelerin kullanılacak alanları tespit edilerek geri dönüştürülebilir.

Bugün bile geri dönüştürülmüş polimerlerden çiçek saksıları, çöp poşetleri, bahçe çitleri yapılmakta böylelikle uzun ömürlü tüketim malzemeleri elde

edilmektedir. Polimer atıkların farklı alanlarda kullanılarak değerlendirilebilmesi için uygulanması gereken birkaç sınıflandırma işlemi vardır. Sınıflandırma işleminin gerçekleşmesi için toplanan polimerik atıklar farklı ayırma işlemleri uygulanarak ayrıştırılır. Birbirinden serbest halde bulunan polimerler titec (lazerle ayırma) yardımı ile ayrıştırılırlar. Farklı ayırma yöntemleri de mevcuttur. Bunlar elle ayıklama, hava ile ayırma, seçimli çözündürme gibi birçok ayıklama yöntemleri mevcuttur.

Prosesi takip eden son ayrıştırma yöntemi ise farklı tür plastiklerin farklı yoğunluklara sahip olması ve bununla birlikte flotasyon yönteminin uygulanmasıdır. Diğer yöntemlerle ayrıştırılmayan plastikler kendi bünyelerinde hidrofobik olan plastiklerin bazılarının yüzeyine adsorbe olan kimyasal ile yüzey özelliği değiştirilmekte ve aksi olarak hidrofil yapıya dönüştürülerek suya batmaları ile hidrofob olan diğer plastiklerin hava kabarcıklarına tutunarak yüzmesi ve seçimli olarak ayrıştırılması gerçekleştirilir.

Polimerlerin geri dönüştürülmesi diğerlerine göre daha yeni bir endüstridir. Günümüzde Türkiye’de plastiklerin %14-21, Avrupa’da ise %7,4’ü dönüştürülebilmektedir [3].

Polimerik atıklar genel olarak polimerin türüne göre farklılıklar göstermektedir. PET şişeler temiz olarak toplandığında elyaf olarak değerlendirilirken, kirlenmiş ve katkılı PET atıkları genel olarak 2-etil hekzanol ile katalizör eşliğinde DOTP (dioktiltereftalat) üretiminde kullanılmaktadır. PE geri dönüşümde genel olarak poşet yapımında kullanılırken katkıların Tablo 2.3 ‘de ilavesi ile (başta renkli boya) sıvı ve/veya katı temizlik ürünleri için ambalaj malzemesi olarak kullanılmaktadır. Tarımsal sulama da geri dönüşüm PE’nin kullanıldığı önemli bir sektördür. PP atıkları gelişmiş ülkelerde 2-etil hekzanol üretiminin temel hammaddesidir. Ayrıca katkılar ile ambalaj malzemesi olarak yeniden değerlendirilmektedir. Bu temel polimerler dışında PAN karbon fiber üretiminde kullanılırken ABS gibi kauçuk polimerler geri dönüşümde kullanılamamaktadır. Geri kalan miktarsal olarak az üretilen polimerler son yıllarda kil gibi doğal malzemeler ile katkılanarak inşaat sektöründe mutfak tezgâhından daha bir çok ürünün üretiminde kullanılmaktadır. Tablo 2.3’de kullanılan polimer katkı türleri verilmiştir. Bu sektör özellikle karton geri dönüşüm fabrikalarında büyük oranda açığa çıkmaktadır.

Tablo 2.3. Polimer Katkı Maddeleri [4]

Polimer Katkı Maddeleri	
Antioksidantlar	Koruyucu ajanlar
Antistatik ajanlar	Köpük yapıcılar
Birleştirici ajanlar	Plastikleştiriciler
Dolgu maddeleri	Renklendiriciler
Isıl stabilizörler	Ultraviyole stabilizörler
Kaydırıcılar	Viskozite düşürücüler
Kalıp salıcı ajanlar	Yanmazlık veren maddeler
Dolgu maddeleri	İnorganik ve organik dolgu maddeleri

#### 2.4. Piroliz ve Enerji

Kullanılmayan ve/veya çöp sahasına ulaşmış polimerik atıklar genellikle yakılarak enerji üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Bunun dışında inert atmosferde kontrollü yakma ile Fischer-Tropsch prosesine temel hammadde olan CO ve H<sub>2</sub> üretilerek temel kimyasalların üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Yakın gelecekte FT, OXO, SASOL gibi önemli endüstriyel kimyasal prosesler hammadde olarak polimerik atıkları kullanmaya başlayacaktır. Bu kullanımın en önemli avantajı; karbon döngüsünde polimerik döngü olarak, yeni bir küresel doğal dengeyi koruyacak döngü kullanılmaya başlanacaktır.

Piroliz karbon içeren atıkların oksijensiz ortamda termal bozunmasıdır. Piroliz sistemi olarak adlandırılan birçok sistem aslında gazlaştırma sistemidir. Piroliz ve gazlaştırma (karbonizasyon) sistemlerinin her ikisi de karbon içeren katı atıkları gaz, sıvı ve katı ürünlere dönüştürmek için kullanılırlar. Piroliz proseslerinde oksijensiz ortamda endotermik reaksiyonları sürdürmek için dış bir ısı kaynağı kullanırken, gazlaştırma proseslerinde gerekli ısı kendi içinden sağlanmaktadır. Yüksek oranda ekzotermik olan yanma ve gazlaştırma proseslerine karşı, pirolitik proses yüksek oranda endotermiktir. Bu sebeple “kuru damıtma” (destructive distillation) terimi de piroliz için sıklıkla kullanılan alternatif bir terimdir.

Piroliz prosesi sonucu başlıca üç ürün oluşur:

- 1) Organik atığın makromoleküler özelliklerine bağlı olarak esasen hidrojen, metan, karbon monoksit, karbon dioksit ve diğer gazlardan oluşan bir gaz akımı (piroliz gazı-syn gaz).
- 2) Asetik asit, aseton, metanol ve kompleks hidrokarbonları içeren bir katran

veya yağ akımında oluşan sıvı fraksiyon. Ek prosesler uygulanarak, sıvı fraksiyon fueloil No.6 yerine sentetik bir fueloil olarak kullanılabilir (piroliz oil).

3) Saf karbon ve katı atıkta bulunan sert materyallerden oluşan kömürleşmiş katı (char).

Ürün fraksiyonlarının dağılımı sıcaklıkla değişmektedir. Pirolitik yağların enerji miktarı yaklaşık 20933 kJ/kg olarak tahmin edilmektedir. Maksimum gazlaştırma şartları altında, oluşan gazın enerji miktarının yaklaşık 2607 kJ/m<sup>3</sup> olacağı tahmin edilmektedir [17].

Piroliz ürün verimi ve sıvı özelliklerinin polimerin çeşidine ve katalizöre bağlı olarak değiştiği gözlemlenmektedir [18].

Katı, sıvı ve gaz ürünlerin miktar ve karakteristikleri belirlenmiş, HDPE ve LDPE türlerinden elde edilen kok ile epoksikompozit malzeme üretilmiştir. Tüm kok türleri için, kokun elde edildiği piroliz sıcaklığı arttıkça, kokun termal stabilitesi artarak, kalıntı miktarının artmasına neden olmuştur. PET ve PP sıvı ürünün bünyesindeki C10-C40 HC miktarları diğer sıvı ürün türlerine göre daha fazla olduğundan bu iki türün ısıl değerleri diğer polimer türlerinden düşüktür. Bütün plastik türleri için, piroliz gaz ürünü yapısında, 1 penten, pentan, 2-metil - 1-penten, heksan, benzen, 1-hepten, toluen, oktan, etilbenzen, 2,4-dimetil-1-hepten ve stiren bileşikler tespit edilmiştir. Özellikle PET, PP ve PS türü plastiklerden elde edilen gaz ürünlerin metil ve dimetil grupları bakımından oldukça zengin olduğu belirlenmiştir. HDPE ve LDPE kokundan elde edilen kompozitlerde kok dozu arttıkça bozunma sıcaklıkları da artarak, kompozitler termal olarak daha kararlı hale gelmişlerdir [19].

## 2.5. Hijyen Sektöründe Eruslu Global Grup Şirketleri

Eruslu Global grup şirketleri çocuk bezi üretiminde ilk üç içerisinde olup diğer üretimlerde de önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle üretilen ürünlerin özellikleri nedeniyle atık miktarı zorunlu olarak yüksek çıkmaktadır. Şimdiye kadar doğrudan atık veya satılarak değerlendirilmekteydi. Enerji fiyatlarındaki artış ve yanabilen atık maddelerin yakılması ile su buharı teknolojisi yardımı ile enerji üretimi orta vadede büyük ekonomik getirisinden dolayı firmalar tarafından tercih edilmeye başlanmıştır. Bu nedenle ülkemizde ilk olarak bir grup şirketin

üretiminde açığa çıkan atıkların karakterizasyonu ve yeniden kullanılabilirliği incelenecektir.

Çalışma sonucunda atık polimer karakterize edildikten sonra yeniden kullanılabilirlikleri belirlenecek olup hammadde maliyetlerinde düşüş sağlanacaktır. Bu atıklar içerisinde firma dışı kullanım alanları olanlar için yeniden değerlendirme yapılacaktır. Toplamda enerji üretimi hesaplaması yapılarak grup firmaların enerji ihtiyacını karşılayacak elektrik enerjisi üretimi için rapor hazırlanacaktır. Bunun sonucu olarak çöpe gidecek olan ekonomik değeri yüksek polimerik malzemelerin yeniden kullanılabilirliği yanında elektrik üretimi ile ulusal ekonomiye ve grup firmaların en önemli maliyet girdisini aşağı çekerek firmalara ekonomik katkı sağlanacaktır.

Eruslu Global Şirketler Topluluğu, 1996 yılında kurulmuştur. 1996 yılından bu yana sanayi ve üretim içinde olan Eruslu Ailesi; kimya, tekstil, inşaat, ambalaj, hijyen sektörlerinde çeşitli yatırımlar yapmış ve Eruslu Global Şirketler Topluluğu'nu oluşturmuştur. Anadolu Sermayesi ile kurulan Eruslu Global, kökleri Gaziantep'te, dalları ise Dünya'yı sarmaya çalışan dev bir çınar olma yolunda emin adımlarla ilerlemektedir.

2000'e yakın çalışanı, 5 kıtaya yayılmış ihracat ağı, 1 milyon m<sup>2</sup> alanda faaliyet gösteren üretim tesisleri ve 4 ana şirketi ile Eruslu Global Şirketler Topluluğu, Türkiye için global rakiplerine karşı tüm gücü ile faaliyet göstermektedir. Erpen, Eruslu Sağlık, BZ İnşaat ve Ecoplast şirketleri Eruslu Global Şirketler Topluluğu'nu oluşturmuştur.

Erpen A.Ş. polimer kapı ve pencere sektöründe faaliyet göstermek üzere 1993 yılında kurulmuştur. Gaziantep'te geniş alana yayılan üretim sahası ile son teknolojiyle donatılmış tesislerde üretilen, dünya standartlarında ürünler, yaygın satış ağı ile yurt içinde ve yurt dışında son tüketici ile buluşturulmaktadır.

Eruslu Sağlık Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. hijyen sektöründe faaliyet göstermek üzere 2004 yılında kurulmuştur. Faaliyetlerine çocuk bezi üretimiyle başlayan Eruslu Sağlık Ürünleri, 2010 yılında yetişkin hasta bezi, ıslak havlu ve cep mendili üretimine başlamıştır. 2013 yılında ise hasta altı örtüsü üretimi yatırımı yapmıştır. Üretimin başlangıcından ürünün son tüketiciye ulaştığı ana kadar her aşamada tüketici memnuniyetini gözeterek Eruslu Sağlık Ürünleri, inovatif yaklaşımları, yenilikçi ve esnek yapısıyla bulunduğu sektöre yön veren lider bir kuruluştur.

Faaliyetlerine 2004 yılında çocuk bezi üretimiyle başlayan Eruslu Sağlık Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş., Sleepy markasını hayata geçirerek sektöründe emin adımlarla yürümeye devam etmektedir. 2010 yılında, yetişkin hasta bezi, ıslak havlu ve cep mendili; 2013 yılında hasta altı örtüsü üretimine de başlayan Eruslu Sağlık, gelişerek ilerleyerek sektörüne yeni bir soluk getirmektedir. 2017 yılında kadın pedi üretimine başlamıştır.

Eruslu Sağlık bugün ayda;

- 220 milyon ped çocuk bezi
- 10 milyon ped hasta bezi,
- 10 milyon ped hasta altı örtüsü,
- 10 milyon paket ıslak havlu,
- 11 milyon palet cep mendili,
- 100 milyon adet hijyenik kadın pedi

ile üretim kapasitesi bakımından sektörünün en önde gelen kuruluşları arasındadır.

Eruslu Global Şirketler Topluluğuna bağlı olan ve dünya genelinde 60'tan fazla ülkeye ihracatı, yaygın yurt içi satış yapılanmasıyla Eruslu Sağlık, tüketici memnuniyetini her zaman en üst seviyede tutarak, onlara dünya standartlarının da üstünde, en yüksek kalitede ürünler sunmaktadır. Yenilikleri ve teknolojik gelişmeleri yakından takip eden Eruslu Sağlık, tüm ihtiyaçlara anında ve kaliteli çözümler sunmak için mevcut ürünlerini geliştirmektedir ve tüketicileri için sektöre her zaman yeni ürünler kazandırmaktadır.

BZ İnşaat Malzemeleri San. ve Tic. Ltd. Şti. yalıtım sektöründe faaliyet göstermek üzere 2005 yılında Gaziantep'te kurulmuştur. BZ İnşaat, 200 çalışanıyla, XPS (Ekstrude Polistren) ve EPS (Ekspande Polistren) üretimini Wallboard markası altında gerçekleştirmektedir. Geniş ve yüksek kaliteli ürün ağı ile sektörün tercih edilen ve lider markalarından biri konumundadır. Tesislerinde son teknoloji ile Dünya standartlarında, yüksek kalitede, CE ve TSE Belgelerine sahip olarak üretilen Wallboard markalı XPS ve EPS yalıtım levhaları, yurtiçi ve yurtdışındaki tüketicilere yaygın bayi ağıyla ulaştırılmaktadır. BZ İnşaat TS EN ISO 9001:2008 Kalite Güvence Sistemi'ne sahiptir.

BZ İnşaat'ın 2010 yılında Gaziantep'te açılan 200.000 m<sup>2</sup> alana kurulu tesislerinde son teknoloji ile üretim yapılmaktadır. Wallboard markasını üreten tesis 700.000 m<sup>3</sup>/yıl üretim kapasitesine sahiptir.

Dünya standartlarında, yüksek kalitede üretilen CE ve TSE belgeli Ekstrude Polistren (XPS) yalıtım levhaları ve Ekspande Polistren (EPS) yalıtım levhaları yurt içi ve yurtdışındaki tüketicilere yaygın bayii ağıyla ulaştırılmaktadır.

BZ İnşaat; yüksek üretim kapasitesiyle yurt içi ve yurt dışındaki tüketicilere kaliteli ürün sunmaya ve Türkiye ekonomisine katkı sağlamaya devam etmektedir.

Ecoplast Plastik Ambalaj San. ve Tic. A.Ş. olarak, 2009 yılında kurulmuş ve aylık 6500 ton kapasite ile çalışan bir işletmedir. Dünyada sektörümüzde var olan en son teknolojilere sahiptir. Flekso baskılı tüm Esnek Ambalajlar faaliyet konusunda yer alır. Polietilen ve Polipropilen hammaddedeki gelişmeler ve üretim hatlarımızdaki yüksek teknoloji ile müşteri beklentilerini karşılamakta, performans iyileştirici ve maliyet azaltıcı avantajlar sunmaktadır. Dondurulmuş gıda, makarna bakliyat filmi, çocuk bezi ambalajı ve komponentleri, şeker ve tuz filmi, taşıma çantaları, atlet poşet, ıslak mendil filmi, stretch film, shrink film, stretchhood, palet örtüleri, endüstriyel torba gibi ürünlerin üretimini baskılı ve baskısız olarak yapmaktadır. Firma tüm ürün ve hizmet süreçlerinde Toplam Kalite Yaklaşımı prensibini başarıyla benimsemiştir.

Polietilen ve polipropilen hammaddedeki gelişmeler ve üretim hatlarımızdaki yüksek teknoloji ile müşteri beklentilerini karşılamakta, performans iyileştirici ve maliyet azaltıcı avantajlar sunmaktadır. Ambalajın ürüne kattığı değer bilinci ile çok katlı filmi özenle tasarlamakta, 8 renk baskı ve laminasyon ile ambalaja istenilen görselliği sağlamaktadır.

Baskılı - Baskısız ambalajlar kullanım yerine göre birbirinden farklı 8 torba çeşidine dönüştürebilmekte ya da rulo olarak sevk edilmektedir. Özel ürünlerin tedarikçisi olmak, katma değerli ve faydalı ürünler üretmek, son teknolojiyi kullanmak tüm Ecoplast çalışanlarının gelişim ve katkısı ile mümkün olabilmektedir. Ecoplast 900 çalışanıyla Sosyal Sorumluluk ve Çevre Duyarlılığı bilinci ile hareket ederek geleceğe güvenle bakmaktadır [20].

Eruslu Global grup firmaları olarak hijyen bileşenleri ve ambalaj ürünleri kapsamında yapılan bütün üretimlerin hammaddeleri uzak doğu ülkelerinden temin edilmektedir.

## 2.5.1. Eruslu Global Grup Firmalarındaki Atık Çeşitleri ve Kullanıldığı Yerler

Firmadaki atıklar sınıflandırılmış ve Tablo 2.4’de 28 çeşit olacak şekilde verilmiştir.

Tablo 2.4. Firmadaki polimerik atık çeşitleri ve kullanıldığı yerler

NUMUNE NO	ATIK ÇEŞİDİ	KULLANILDIĞI YER
1	Klişe (yeşil renkli) (Sentetik Kauçuk)	Baskı yapılacak PE filmin baskı görselinin çizildiği ürün
2	Dış cephe kaplama (köpük) (PS)	Yalıtım malzemesi için polistren bazlı ürün
3	Eco hammadde torbası (Dışı alüminyum iç kısmı PE)	PE film üretimi için dış tedarikçiden temin edilen PE torba
4	Köpük dışındaki koruyucu (PVC)	Taşınması kolay olsun diye köpük dışına konulan koruyucu
5	Yeşil klişe bandı (PET+PE)	Klişenin siliv üzerine yapışmasını sağlayan bant
6	Turuncu klişe bandı (PET+PE)	Klişenin siliv üzerine yapışmasını sağlayan bant
7	Elyaf tozu (PET)	Adl üretiminde makine etrafına biriken PET içerikli toz
8	Atık tutkal (Sentetik Kauçuk)	Laminasyon işlemi için kullanılan tutkal
9	Beyaz etiket kağıdı (Selülozik Kağıt)	Ürünlerin üzerine yapıştırılan etiket kağıdı
10	Sarı etiket arkası kağıdı (Pergamin Kağıt)	Beyaz etiket kağıdının arka yüzündeki kağıt
11	Çuval çemberi (PP)	Hammadde torbasının üzerinde bulunan PP bazlı ürün
12	Atık spunlace kumaş (PET)	Bebek bezinde kullanılan kumaş
13	BZ hammadde torbası (PP+Kraft Kağıt)	Dışı kağıt içi PP içerikli çuval
14	C bant takozu (PE+PET+Sentetik Kauçuk)	Bebek bezinde ön kısımda mini yanbantların yapıştırıldığı kısmın geri dönştürülürken katı şekilde kalan numunesi
15	Alkol curufu (Etil alkol ile mürekkep tanklarının temizlenmesi sonucu kalan kalıntı)	Baskı için kullanılan mürekkep tanklarının temizlenmesi sonucu kalan kalıntı
16	Klişe curufu (Solvent ile klişe temizlenmesi sonucu kalan kalıntı)	Klişenin temizlenmesi sonucu kalan kalıntı
17	Kirli bez (PET)	Temizlik için kullanılan bez
18	Yağlı bez (PET)	Temizlik için kullanılan bez
19	Yeşil adl numunesi (PET)	Bebek bezinde sıvıyı emip yayan tabaka
20	C bant numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk)	Bebek bezinde ön kısımda mini yanbantların yapıştırıldığı kısım
21	Esnek kulakçık numunesi (PP)	Bezde yanlarda bulunan esnek kısımlar
22	Beyaz adl numunesi (PET)	Bebek bezinde sıvıyı emip yayan tabaka
23	Tbs numunesi (PP+PET+Sentetik Kauçuk)	Bebek bezi en dış katmanı
24	Mini yanbant numunesi (PP+Sentetik Kauçuk)	Yan taraflarda bulunan bebeğin üzerinde kalmasını sağlayan kısım
25	Sbs numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk)	Bebek bezi en dış katmanı
26	Bariyer numunesi (PP)	Yan kısımlarda sıvının dışarı çıkmasını engelleyen kısım
27	Tissue numunesi (PP)	Sıvıyı alıp bir alt tabakaya ileten kısım
28	Filtre numunesi (Sünger Demir)	Makinalarda kullanılan hammadde içerisinde kirliliği tutan kısım

## **2.6. Polimerlerin Karakterizasyonu**

### **2.6.1. Elementel Analiz**

Atık polimerlerdeki azot, karbon, hidrojen ve kükürt miktarını belirlemek amacıyla yapılan analiz yöntemidir. Oksijen miktarı ise farktan hesaplanır.

### **2.6.2. FTIR Analizi**

Atık polimerlerin makromoleküler yapısında bulunan bağların ve fonksiyonel grupların belirlenmesinde FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) yöntemi kullanılmaktadır. FTIR spektroskopisinde belirli oluşan pikler yardımıyla dalga boyu aralıkları göz önünde bulundurularak fonksiyonel grup tayini yapılmaktadır.

### **2.6.3. SEM (Scanning Electron Microscopy) Analizi**

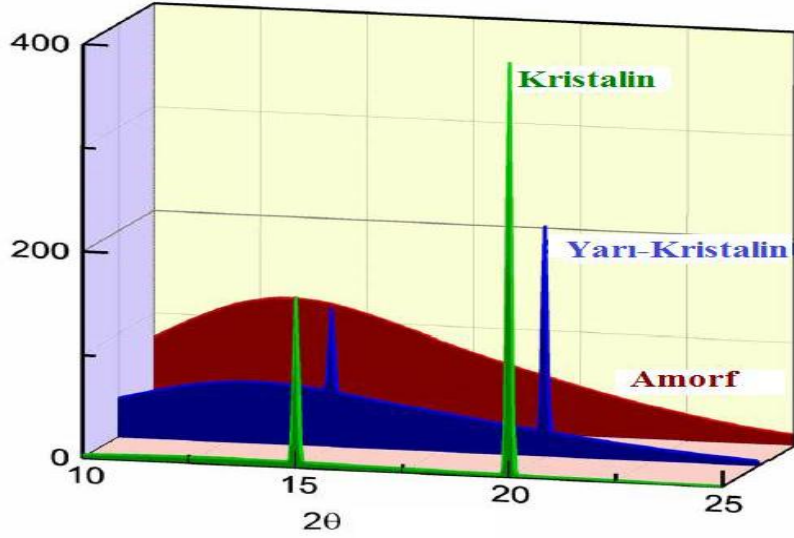
Atık polimerlerin yüzey yapıları, gözenek boyutları mikro gözeneklerin yapısı, yüzeydeki dağılımlarının ne şekilde olduğu Taramalı Elektron Mikroskobu adı verilen SEM ile resimleri çekilerek görüntülenmektedir.

### **2.6.4. XRD Analizi**

X-Ray Diffraction (XRD) spektroskopisi kristal fazın atomik dizilimlerine göre X ışınlarının belirli bir düzen içerisinde kristal faz içerisinde kırılması temeline dayanır. Çalışma prensibi genel olarak X-ışını örnek üzerinden kırılma (yansıma) yapar ve dedektör aracılığıyla kırılan ışın yansıma şiddetine bağlı olarak  $2\theta$  değerinde Şekil 2.7’de gösterilir.

XRD analiz tekniğiyle atık polimerlerin amorf mu kristal mi oldukları belirlenebilmektedir. Bu analiz yöntemiyle atık polimerlerin amorf yapıda olup olmadıkları kontrol edilmiştir [21].

XRD analizleri İnönü Üniversitesi Merkez laboratuvarında bulunan Rigaku RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü X-ışını diffraktometresi kullanılarak yapılmıştır.



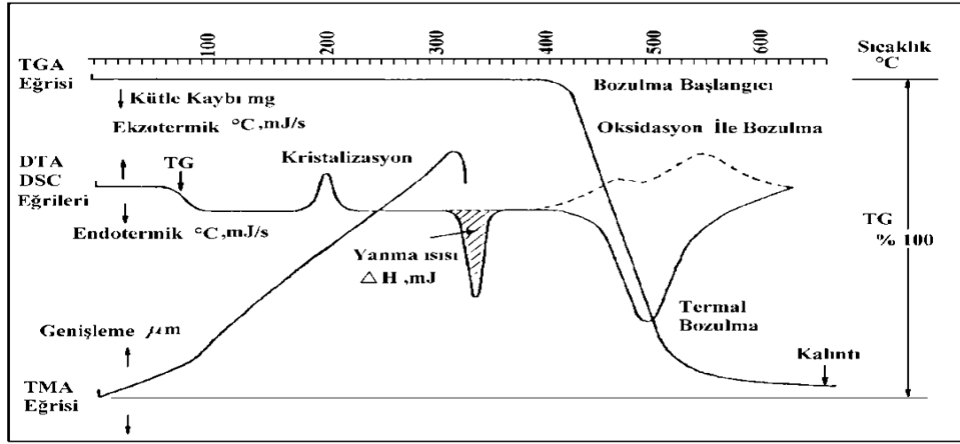
Şekil 2.7. XRD spektrumlarının genel gösterimi.

### 2.6.5. Termal Analiz

Termal analiz, bir örneğe ait fiziksel ve kimyasal özelliklerin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü teknik yöntemleri ifade eder. Termal analiz cihazlarının ölçüm prensibi, analiz edilmek istenen madde üzerine sıcaklığın belli bir program altında verilmesi, verilen sıcaklığa bağlı olarak madde üzerindeki değişmelerin belli tayin sistemleri ile ölçülmesi ve sıcaklığa karşı bu değişimin grafiğe (Şekil 2.8.) geçirilmesidir.

Maddeler ısıtıldıklarında veya soğutulduklarında yapılarında çeşitli fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Bu değişimler;

- Maddenin fiziksel hal değişimleri,
- Maddenin kimyasal formunun değişmesi,
- Uçucu bileşenlerin yapıdan uzaklaşmasından dolayı ağırlık kayıpları,
- Gazlar ile etkileşim tepkime vermeleri ve bu nedenle olan ağırlık artışları,
- Absorpsiyon ve desorpsiyon,
- Sıcaklıkla maddenin boyutlarındaki değişim (genişleme, büzülme, vb.),
- Sıcaklığa bağlı olarak maddenin elektriksel direncindeki değişimlerdir.



Şekil 2.8. Termal analiz eğrileri (termogramlar)

Diferansiyel termal analizde (DTA), örnek ile termal olarak inert olan bir referans maddesi arasındaki sıcaklık farkı, her iki maddeye de aynı sıcaklık programı uygulanarak ölçülür.  $\Delta H$  pozitif ise endotermik tepkime, eğer  $\Delta H$  negatif ise ekzotermik tepkime söz konusudur. Termogravimetri (TG) yönteminde, sıcaklık artışına karşılık örneğin kütlesindeki değişim ölçülür. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) yönteminde, örnek ile referans maddesinde aynı sıcaklık programı uygulanırken örnekte veya referansta bir değişiklik olması durumunda örneğe veya referansa dışarıdan sıcaklık eklenerek her iki maddenin de aynı sıcaklıkta kalması sağlanır. Polimerler için çok önemli olan polimerlerin camsı geçiş sıcaklığının ( $T_g$ ) belirlenmesinde kullanılır [21].

## 2.7. Yakıtların Isıl Değer Tayinleri

Karbon içeren gıda, yakıt ve akaryakıt olarak kullanılan katı-sıvı-gaz maddelerin ısı değerleri deneysel olarak kalorimetre bombası yöntemiyle aynı ad ile anılan cihazda yapılır. Bunun dışında element analizi (CHNS ve O) analizi yapılmış ise teorik olarak geliştirilmiş formüller ile de yapılmaktadır. Formüller genel olarak yapısı homojen saf ve saf yakın organik maddelerin ısı değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Maddelerin ısı değerleri üst ve alt ısı değer olmak üzere iki farklı şekilde tanımlanır.

Üst Isıl değer; bir yanma tepkimesinde oluşan suyun sıvı fazında olması durumunda açığa çıkan ısı enerjisini tanımlamaktadır. Alt ısı değer ise; bir yanma tepkimesinde oluşan suyun buhar fazında olması durumunda açığa çıkan ısı enerjisidir.

$$W = \frac{H_m + e_1 + e_3}{t} \quad (1)$$

W = kalorimetrenin kalori/°C cinsinden enerji eşdeğeri. (Kalorimetrenin su değeri)

H = Standart benzoik asit örneğinin gram başına kalori cinsinden yanma ısısı  
6318 kalori/gram

m = Standart benzoik asit örneğinin gram cinsinden kütlesi

t = düzeltilmiş sıcaklık artışı (°C)

e<sub>1</sub> = Kalorilerde nitrik asit oluşum ısısının düzeltilmesi (cal)

e<sub>2</sub> = Kalorilerde sülfürik asit oluşum ısısının düzeltilmesi (cal)

e<sub>3</sub> = Kalorilerde ateşleme telinin yanma ısısının düzeltilmesi (cal)

Üst ısı değeri (Hg) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$Hg = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (2)$$

Alt ısı değeri ise aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$H_n = 1,8Hg - 91,23H \quad (3)$$

H: Hidrojen yüzdesi [22]

Isıl değer hesabı için kullanılan formüllerden bazıları aşağıda verilmiştir [23].

1. Dulong Formülü

$$HCV = 4.18 \times ( 78.4 \times C + 241.3 \times H + 22.1 \times S ) \quad (4)$$

2. Vandralek Formülü

$$HCV = 4.18 \times ( 85 \times C + 270 \times H + 26 \times (S-O) ) \quad (5)$$

3.Calculation of the LCW (direct formula)

$$LCV = 4.18 \times ( 94.19 \times C - 0.5501 - 52.14 \times H ) \quad (6)$$

4.Modified Dulong Formülü [24]

$$HCV = 337 \times C + 1428 (H - O/8) + 9S \quad (7)$$

## 2.8. Literatür Çalışmaları

Küresel ölçekte geleceğin büyük sorunlarından biri olan atık polimerlerin yerinde kontrolleri yapılarak ekonomiye kazandırılması tez kapsamında amaçlanmaktadır. Yapılan tez çalışmasında atık polimer karakterizasyonu yapılarak sahadaki önemli bir sorun olan atık gideriminin önüne geçilmiş olunacaktır. Çöp sahalarındaki polimerik atıkların karakterizasyonu ve bu atıkların ayrıştırılması hayli pahalı olmaktadır. Yakılarak enerji üretiminde özellikle PVC gibi halojen içeren polimerlerin çöp sahasına gönderilmesinin önüne geçilmiş olacaktır.

Ramos ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada biyokütle ve evsel atıkların birlikte gazlaştırılması ve enerjiye dönüştürülmesi hususunda araştırma yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda farklı atıklar alınarak yakma teknikleri, gazlaştırma verimleri ve enerji değerleri belirlenerek literatüre katkı sağlamışlardır [25].

Yapılan bir başka çalışmada Gopu ve arkadaşları ekonomik değeri yüksek olan evsel katı atıkları aktif karbon üretimi ve enerji başlıkları altında çalışmışlardır. Yapılan deneylerde 408-900 °C sıcaklıklarda evsel atıklar piroliz yöntemi ile katı (char), sıvı ve gaz verimlerini hesaplamışlardır. Katının aktif karbon özelliğinin yanı sıra gaz ve sıvıdan enerji üretimi için gerekli hesaplamalar yapılmıştır [26].

Rajasekaran ve arkadaşları plastik atıkların poli (etilen-metakrilik asit) kopolimeri ile geri dönüşümü ve yüksek kaliteli ürüne dönüşümü sırasında PET şişe ve PE torba ile çalışmışlardır. Kazanılan sonuçlar literatüre katkı sağlamıştır [27].

Çınar ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada PET şişe atıklarını ve mermer tozunu kullanarak yeni bir kompozit malzeme üretmeyi amaçlamışlardır. Üretilen yeni kompozit malzemenin mekanik ve termal özellikleri incelenmişlerdir [28].

Achilias ve arkadaşları plastik atıklardan poliolefinlerin geri dönüşüm tekniklerinden piroliz yöntemi ile 450°C sıcaklıkta yakma prosesini ve karakterizasyon için DSC-FTIR analizleri kullanılmışlardır [29].

Singh ve arkadaşları bu makalede farklı plastik esaslı malzemeler ve bunların geri dönüşüm yöntemleri hakkında araştırma yapmışlardır. Gelecekte bu malzemelerin hangi koşullarda olacağına dair bilgiler verilmiştir [30].

Boumanchar ve arkadaşları bu çalışmada, hem termogravimetrik analiz hem de diferansiyel taramalı kalorimetre teknikleri kullanılarak biyokütle atığı, biochar, kömür, belediye katı atık ve bunların karışımlarının ısıl davranışlarının incelenmesini amaçlamışlardır. Aslında, bu makale, karışımların aktivasyon enerjisi üzerindeki etkisini yorumlamayı amaçlamaktadır [31].

He ve arkadaşları çöp alanlarının potansiyel mikroplastik kaynakları olarak şüphelerini netleştirmek için dört aktif ve iki kapalı belediye katı atık depolama alanından on iki sızıntı suyu örneği incelemiştir. Tüm çöp depolama sızıntı suyu örneklerinde mikroplastikler bulmuş olup, toplamda on yedi farklı plastik türü tanımlamışlardır. Polietilen ve polipropilen, baskın polimer tipleridir. Çalışma, atık depolama alanlarındaki mikro plastiğin oluşumu, birikimi ve salınmasının uzun vadeli bir süreç olduğunu göstermektedir [32].

Gonga ve arkadaşları iyi tanımlanmış mikro yapıları olan fonksiyonel karbon malzemeleri hazırlamada (atık) polimerlerin kontrollü karbonizasyonu, gelişmiş alev geciktiricili ileri polimer kompozitlerin üretilmesi ve atık polimerlerin yüksek katma değerli nanokarbon malzemelere dönüştürülmesi konusunda araştırma yapmışlardır. Polimerlerin farklı bileşimler ve zincirlerle karbonizasyon mekanizmalarına vurguda bulunmuşlardır. Polimerlerin bozunma reaksiyonunun, bozunma ürünlerinin karbonizasyon reaksiyonu ile nasıl eşleştirileceği, karbonizasyon verimliliğini arttırmak ve karbon malzemelerin büyümesini optimize etmek için ele almışlardır. Atık polimer kaynaklı karbon malzemelerin elektro-kimyasal enerji depolanması ve çevresel iyileştirmedeki uygulamalarını gözden geçirmişlerdir [33].

Picunoa ve arkadaşları zirai ilaç kapları geri dönüşüm için değerlendirilmeden önce dekontaminasyona tabi tutulur diyerek bu çalışmada, üçlü durulama dekontaminasyon prosedürünün uygulanabilirliği ile ilgili bir değerlendirme sağlarken, malzemenin geri dönüşüm için kalitesinin uygunluğunu

değerlendirmişlerdir. Çalışmanın amaçlarına ulaşmak için,

(1) dekontaminasyon prosedürünün etkinliği araştırılmıştır,

(2) konteynerlerin uzun depolama süreleri ve polimerin yapısındaki değişiklikler değerlendirilmiştir,

(3) geri dönüştürülmüş malzemenin kalitesi test edilmiştir [34].

Ahmada ve arkadaşları süt endüstrisi atıklarının arıtılması için kullanılan farklı yöntemleri tanımlamayı, kirliliğin kalite ve verimlilik giderimine etkilerini vurgulamayı amaçlamışlardır. Özellikle, süt endüstrisi atıklarının kullanılması için biyoteknolojik alternatiflere odaklanmışlardır [35].

Correa ve arkadaşları PVC atıkları geri kazanmak için çevre dostu geri dönüşüm yöntemleri araştırmışlardır. Bu nedenle yeni cihaz üretimi için farklı yollar aramışlardır. Biyodizel üretiminin yan ürünleri, kimyasal özellikler açısından incelenmiş ve PVC atık dönüşümü ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Geri dönüşüm teknolojisi açısından yeni alternatif yeşil pazarlar aranmıştır. Geri dönüşümde sorun teşkil eden atık miktarı fazlalığı ve çevre kirliliği biyolojik yöntemler ile giderilmeye çalışılmış olup, geleneksel plastik endüstrisindeki eko yenilik, yenilenebilirlik ve fosil kaynak kullanımını iyileştirilmiştir [36].

Kwona ve arkadaşları CO<sub>2</sub> destekli piroliz tekniğini tipik pirolizle karşılaştırmışlardır. CO<sub>2</sub> uçucu türlerin termal parçalanmasını artırır, böylece benzen türevleri ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi zararlı kimyasal bileşiklerin oluşumunu engeller diyerek konuya dikkat çekmişlerdir [37].

Ajia ve arkadaşları plastik atıklardan olan PP'yi fotoluminesans yöntemi ile C-Noktalara dönüştürmeyi hedeflemişlerdir. Bunun için seçilen polimerin erime noktası sıcaklıklarında yani 200, 250 ve 300 °C dolaylarında basit bir ısıtma işlemi ile muamele etmişlerdir. Çalışma sonucunda çevreye zarar vermeden geri dönüşüm işlemi yapılmıştır [38].

Mwanza ve arkadaşları Plastik Katı Atıkların (PKA) geri dönüşümü sürdürülebilir üretim için önemli bir bileşendir diyerek geliştirmekte olan ekonomilerde, geri kazanım ve geri dönüşümün büyük kısmı Gayri Resmi Atık (GRA) Toplayıcıları tarafından yürütüldüğünü söylemişlerdir. GRA'ların geri

kazanılmış PKA'lara plastik dönüştürme şirketlerine alım satım yapmadan önce değer katma yollarını anlamak için bir değerlendirme yapmış, GRA'lar ile bir anket araştırması yapılmış ve toplam 53 anketi analiz etmişlerdir [39].

Ragaert ve arkadaşları bu çalışmada polimerlerin geri dönüşümü (hem mekanik hem de kimyasal) için mevcut yolların kapsamlı bir açıklamasını sunmaktadırlar [40].

Ramarad ve arkadaşları plastiklerin (kauçuk, kauçuk karışımları, takviye malzemeleri, sertleştiriciler ve plastikleştirici) tek tek ve toplu olarak bileşik özelliklere katkı sağladığını anlatmış ve bu bileşenler birlikte vulkanize edilir demişlerdir. Kullanılmış lastiklerin yönetiminin ciddi teknolojik, ekonomik ve ekolojik zorluk yarattığını anlatmışlardır [41].

Saleem ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada son yıllarda plastik atıkların üretim için yem olarak kullanılması fikrinin yağ emici maddeler için ivme kazandığını göstermektedir. Bununla birlikte, bu tür fizibilite gerektiren çalışmalar oldukça dağınıktır. Bu inceleme makalesi, bu süreçleri raporlayan, derleyen ve gözden geçiren ilk türdür. Bu derlemede, çeşitli yağ sorbentlerinin üretimi ile ilgili araştırmalar atık plastiklere dayalı tartışılmıştır [42].

Kalantar ve arkadaşları asfalta geri dönüştürülmüş polimer eklemiştirler. Bu makale, asfalt kaplamada kullanılan polimerlerin bir derlemesidir. Ayrıca kaldırım özelliklerinin iyileştirilmesi konusu tartışılmıştır [43].

Padhan ve arkadaşı tarafından gerçekleştirilen bir araştırma çalışmasında yalnızca PMB'yi (Polimer modifiyeli bitüm) PET'e dayalı yapmak için yeni bir yöntem önermişler ve atık PET'in geri dönüşümü için yeni bir alan açmışlardır. Bu çalışmanın bitümlü beton yollarda, atık PET polimerinin kolayca bertaraf edilmesine yardımcı olabileceğini düşünmektedirler [44].

Salihoğlu ve arkadaşları Türkiye'deki biyobozunur atık miktarını biyolojik olarak parçalanabilir olup olmamasına göre, atık miktarını 20 milyon ton/yıl olarak seçip kullanım ömrü açısından incelemişlerdir [45].

Oboirien ve arkadaşı atık lastiklerin gazlaştırmasına ilişkin kapsamlı bir inceleme yapmışlardır. Bu inceleme, küresel araştırmalar sonucu atık lastiklerin gazlaştırılması ve bilgi boşluklarındaki durumunu değerlendirmiştir. Gelecek için bazı öneriler sunulmuş, araştırma çalışmaları yapılmıştır [46].

Bahoria ve arkadaşları doğal kumun yerine taş ocağı tozu kullanılması ile

birlikte betonda dolgu maddesi olarak atık plastik kullanılması üzerine fizibilite çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırmada ekonomik ve geleneksel mühendislik malzemelerinin maliyetleri ile atıkların bertarafı üzerine çalışmışlardır [47].

Achilias ve arkadaşları çözünme, yeniden çöktürme ve piroliz yöntemlerini kullanarak LDPE, HDPE ve PP'nin geri dönüşümünü incelemişlerdir. Yapılan deneyler laboratuvar ortamında olup sabit yataklı bir reaktörde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ürünler; gaz fazında olanlar GC, sıvı fazda olanlar ise GC-MS yöntemleri ile karakterize edilmiştir [48].

Geyer ve arkadaşları 2015 yılından itibaren düzenli olarak yaklaşık 6300 Mt plastik atık toplamışlardır. Toplanan atıkların %9'u direkt geri dönüştürülmüş, %12'si yakılmış ve %79'u çöp toplama alanlarında biriktirilmiştir. Böylece elde edilen ürünlerin 2050 yılında 12000 Mt olacağı yapılan bu fizibilite çalışması ile literatüre sunulmuştur [49].

Grigore' nin bir çalışmasında, termoplastik polimerlerin farklı endüstriyel ve evsel uygulama alanları için geri dönüştürülebilir malzeme üretimi çalışılmıştır. Üretilen yeni malzemelerin mekanik direnci, yoğunluğu, tasarımı ve kimyasal özelliklerini iyileştirmeye çalışmıştır. Sonuç olarak termoplastik polimerlerin geri dönüşümü ve geri dönüşüm teknolojisinin geliştirilmesi konusunda literatüre katkı sağlamıştır [50].

Hamad ve arkadaşları polimerik atık miktarının gün geçtikçe artması nedeniyle atık polimerlerin geri kazanılması hakkında çalışmışlardır. Polimerik atıkların geri dönüşümü, hammaddesinin petrol ve türevleri olması bakımından oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında polimerik atıkların geri dönüşümü için son teknolojiler kullanılmış olup PE, PP, PS ve diğer polimerlerin mekanik ve kimyasal geri dönüşümleri incelenmiştir. Sonuç olarak termal, mekanik, reolojik ve kimyasal özellikleri hakkında veriler elde edilmiş olup yazdıkları bir makale ile bizlerle paylaşmışlardır [51].

21. yüzyılın en önemli sorunu başta evsel atıklar olmak üzere polimerik atıkların kontrol edilemez seviyelere ulaşmasıdır. Evsel atıkların büyük çoğunluğunu polimerik atıklar oluşturmaktadır ve miktarsal olarak her geçen yıl artış göstermektedirler. Bu sorun küresel bir sorun olup gerek üniversiteler gerekse polimer hammadde ve sonuç ürün üreten firmalar geri kazanımdan atıkların bertaraf edilmesi konusunda yoğun çalışmalar içerisindeyler. Geri

kazanımda son aşamada yakılarak enerji üretimi atık polimerlerin bertaraf edilmesinde öne çıkmaya başlamıştır. Başta gelişmiş ülkelerde yakarak enerji üretimi dışında gazlaştırma ile polimer hammaddesi üretiminde kullanılmak üzere syn gaz üretimi çalışmaları da mevcuttur. Piroliz gazı veya syn gaz Fischer-Tropsch, oxo, sasol gibi proseslerde katalizör varlığında endüstriyel hammaddelere dönüştürülmektedir.

Bu tez çalışması bu açılardan tamamen özgünlük taşımakta olup küresel ölçekte çalışılmakta olan ve ülkemizde yeni yeni çalışılmaya başlanmıştır. Firma bazında ilk tez çalışması olmasından dolayıda özgünlük taşımaktadır.

## **2.9. Çalışmanın Amacı**

Eruslu Global grup şirketleri çocuk bezi üretiminde ilk üç içerisinde olup diğer üretimlerde de önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle üretilen ürünlerin özellikleri nedeniyle atık miktarı zorunlu olarak yüksek çıkmaktadır. Şimdiye kadar doğrudan atık veya satılarak değerlendirilmekteydi. Enerji fiyatlarındaki artış ve yanabilen atık maddelerin yakılması ile su buharı teknolojisi yardımı ile enerji üretimi orta vadede büyük ekonomik getirisinden dolayı firmalar tarafından tercih edilmeye başlanmıştır. Bu nedenle ülkemizde ilk olarak bir grup şirketin üretiminde açığa çıkan atıkların karakterizasyonu ve yeniden kullanılabilirliği incelenecektir.

Sektör, ürettiği ürünlerin çeşitliliği ve yapısı yanında ve prosesin getirdiği zorluklardan dolayı atık üretiminin oldukça fazla olduğu bir sektördür. Üründeki parça sayısı atığın miktarsal olarak fazla çıkmasının temel sebebidir.

Çalışma sonucunda atık polimer karakterize edildikten sonra yeniden kullanılabilir olacak olup hammadde maliyetlerinde düşüş sağlanacaktır. Bu atıklar içerisinde firma dışı kullanım alanları olanlar için yeniden değerlendirme yapılacaktır. Toplamda enerji üretimi hesaplaması yapılarak grup firmaların enerji ihtiyacını karşılayacak elektrik enerjisi üretimi için rapor hazırlanacaktır. Bunun sonucu olarak çöpe gidecek olan ekonomik değeri yüksek polimerik malzemelerin yeniden kullanılabilirliği yanında elektrik üretimi ile ulusal ekonomiye ve grup firmaların en önemli maliyet girdisini aşağı çekerek firmalara ekonomik katkı sağlanacaktır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında Eruslu Global Firmasında atık olarak açığa çıkan polimerik materyaller kullanılmıştır. Kullanılan bu polimerlerin resimleri ve firmada kullanılan isimleri ile polimerik tanımları ekler bölümünde verilmiştir.

##### 3.1.1. Kullanılan Hammaddeler

Tez çalışmasında karakterizasyon ve enerji üretim fizibilitesi için Tablo 2.4’de yer alan hammaddeler kullanılmıştır.

##### 3.1.2. Kullanılan Cihazlar

Atık polimer karakterizasyonunda gerekli olan cihazlar Tablo 3.1’de yer almaktadır.

Tablo 3.1. Cihazlar ve kullanım amaçları

Cihazlar	Kullanım Amaçları
Protherm PZF 12/50/700 Model Borusal Fırın	Piroliz Analizi
Denver Instrument Uhossos Ve Precisa 3100 C Terazı	Numune Tartımları
Nüve PN500	Nem Analizleri
Proterm Furnace	Kül Analizleri
Rigaku RadB-DMAX II	XRD Analizleri
Perkin Elmer 100 FT-IR Spektrofotometre	FT-IR Analizleri
Leo EV040 Marka Taramalı Elektron Mikroskobu	SEM Analizleri
LECO CHNS 932	Elementel Analizler
PARR 1341 Plain Jacket Calorimeter	Isıl Değer Analizleri

## 3.2.Yöntem

### 3.2.1. Atık Polimer Analizleri

Atık polimer analizleri aşağıdaki gibidir.

**Kül Analizi;** Atık polimerlerden yaklaşık 1 gram arası alınarak Protermfurnace markalı kül fırınında 650°C'de yakılmıştır. Meydana gelen örneklerin kül değerleri (% m/m) olarak hesaplanmıştır.

**Elementel Analiz;** Bütün örneklerin elementel analizleri ve yüzde değerleri İnönü Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan LECO CHNS 932 elementel analiz cihazı ile ölçülmüştür.

**FTIR Analizi;** Atık polimerlerin FTIR analizleri İnönü Üniversitesi Merkez FTIR Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer 100 FTIR markalı spektrometrede 400-4000 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir.

**SEM (Scanning Electron Microscopy) Analizi;** Çalışma sonucu elde edilen atık polimerlerin görüntüleri İnönü Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarında bulunan LECO EVO40 marka cihaz ile alınmıştır.

**XRD Analizi;** XRD analizleri İnönü Üniversitesi Merkez laboratuvarında bulunan RigakuRadB-DMAX II bilgisayar kontrollü X-ışını diffraktometresi kullanılarak yapılmıştır.

**Termal Analiz;** Termal analizleri NETZSCH STA 409PC/PG marka cihaz kullanılarak yapılmıştır.

**Isıl Değer Analizi;** Isıl değer analizleri PARR 1341 Plain Jacket Calorimeter cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bomba kalıntısı titre edilerek nitrik asit ve sülfirik asit için gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

**Nem Analizi;** Nem analizleri Nüve PN500 cihazı kullanılarak yapılmıştır.

**Atık Polimerin Pirolyzisi;** Karbonizasyon işlemi için atık polimerler üç homojen bölgeye sahip silindirik fırında 400 ve 600°C sıcaklıklarında, 10°C/dak ısıtma hızında ve 100 ml/dak azot akış hızında piroliz edilmiştir. Fırın çıkışına kondenser yerleştirilerek karbonize edilmiş ürün miktarı katı (char), sıvı ve gaz verimleri hesaplanmıştır.

## 4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Atık Polimerler Element Analizi ve Kül Değeri Sonuçları

Hammadde olarak kullanılan atık polimerlerin analiz sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Atık polimerlerin elementel analiz ve kül yüzdeleri

NUMUNE NO	Karbon %C	Hidrojen %H	Azot %N	Kükürt %S	Oksijen* %O	Kül değeri %
1	74.5	7.822	0.049	0	17.629	0.11
2	88.67	7.467	0	0	3.863	0.53
3	66.17	9.48	0.129	0	24.221	16.33
4	50.94	5.461	0.817	0	42.782	35.27
5	74.1	10.24	0.127	0	15.533	0.68
6	71.95	9.436	0.244	0	18.37	6.45
7	58.14	3.925	0	0	37.935	0.74
8	87.04	9.99	0	0	2.970	0.01
9	45.77	5.523	0.079	0.281	48.628	10.91
10	40.63	5.347	0	0.044	54.023	3.59
11	61.57	4.125	0	0	34.305	0.05
12	61.89	5.112	0.812	0	32.186	0.62
13	56.39	8.456	0	0.039	35.154	9.31
14	63.16	7.098	0.055	0	29.687	15.53
15	47.13	7.629	3.304	0.016	41.937	7.07
16	84.49	9.752	0	0	5.758	0
17	57.29	4.017	0.821	0	37.872	2.54
18	59.97	8.298	0.308	0.652	31.424	0.63
19	62.26	3.799	0	0	33.941	0.07
20	66.95	6.516	0.431	0	26.103	0.25
21	84.67	13.69	0	0	1.640	0
22	60.44	4.426	0	0	35.134	0.18
23	73.46	11.39	0	0	15.150	11.66
24	62.43	12.57	0	0	25.000	0.29
25	61.47	3.719	0	0	34.811	16.61
26	83.46	13.02	0	0	3.520	0
27	84.93	13.45	0	0	1.620	0
28	74.53	12.48	0	0	12.990	36.00

\*Oksijen değeri farktan hesaplanmıştır.

Tablo 4.1. incelendiğinde tüm polimerik atıkların karbon içerikleri %40.63-87.03 aralığında, hidrojen içerikleri %3.712-13.69 aralığında, azot değerleri %0.049-3.304 aralığında, kükürt değerleri %0.044-0.652 aralığında ve oksijen

değerleri %1.62-54.023 aralığında değişmektedir. Elementel içerik atık polimerin saf, katkılı ve karışım olması durumuna göre değiştiği için sayısal değerler geniş bir aralıkta değişkenlik göstermektedir. Karbon, hidrojen ve oksijen tüm atık polimerik malzemelerde mevcut iken azot ve kükürt belirli örneklerde ortaya çıkmaktadır. Genellikle yapıştırıcıların kullanıldığı atık materyallerde azot ve kükürt ortaya çıkmaktadır. Ancak miktarsal olarak az olması yanma sırasında çevre açısından olumsuz etki oluşturmayacaktır. Kaldı ki belirli atıkların bünyesinde polimere katkı olarak ilave edilen  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat) vb gibi inorganik katkılar azot ve kükürt gibi bileşenlerin külde kalmasını sağlamaktadır.

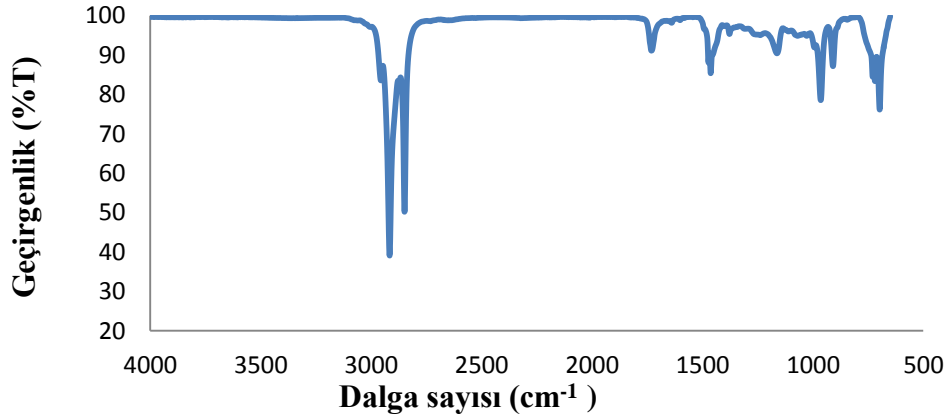
Saf polimerin kullanıldığı atıklarda büyük oranda karbon ve hidrojen değerleri gözlemlenirken polimere yapılan katkı ve polimerin türüne bağlı olarak oksijen miktarında çıkmaktadır. Örneğin 2 nolu örnek büyük oranda polistiren olup oksijen değeri %3.863 değerindedir. Polistiren içerisinde oksijen çıkması kül değerini oluşturan inorganik katkı ve/veya diğer oksijen içeren katkıların veya atıkların karışması sonucu olabilir. 13 nolu numune hammadde torbası atığı olup malzeme saf PP olması gerekirken içerisine katılan kalsiyum karbonattan dolayı karbon ve hidrojen değerleri düşerken oksijen ve kül değeri yüksek çıkmaktadır. 7 nolu örnek büyük oranda PET tozu olup kül değeri düşük (% 0.74) ve karbon, hidrojen ve oksijen değerleri beklenen değerler arasındadır.

Tablo 4.1'den atık polimerlerin kül değerleri yorumlandığında 16, 21, 26 ve 27 nolu örneklerin kül içermedikleri, diğerlerinin % 0.05-35.27 aralığında kül içerdikleri belirlenmiştir. 16 nolu örnek fotopolimer saf kauçuk olduğundan kül içermemesi normal sonuçtur. 21 ve 26 nolu örnekler saf PP olup katkısız olduğundan kül değeri içermemektedir. 27 nolu örnek ise saf PP ve hijyen amaçlı üzerine poliakrilik asit sürülmüş numunedir. Katkı içermediği için kül değeri çıkmamıştır. Daha sonra tartışılacağı üzere polimerik materyallere katılan en önemli inorganik bileşen  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat)'dır. En yüksek kül değerlerinin 3, 4, 14, 25 ve 28 nolu örneklerde belirlenmiştir.

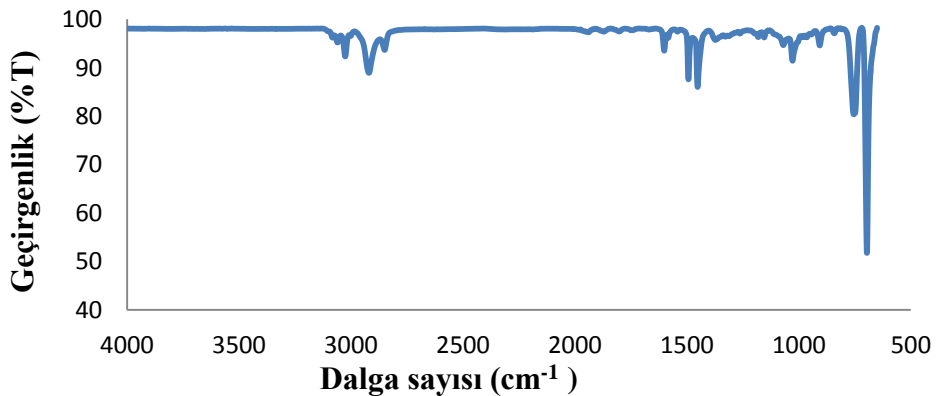
#### 4.2. Atık Polimerlerin FTIR Analizi Sonuçları

Tüm atık polimer örneklerinin FTIR spektrumları Şekil 4.1-28’de verilmiştir. Tüm örneklerin FTIR spektrumları örneklerin içerdiği polimerlere göre benzer çıkmıştır. Katkı olarak ilave edilen inorganik bileşenler için ise miktara bağlı olarak pik alanı değişiklik göstermektedir.

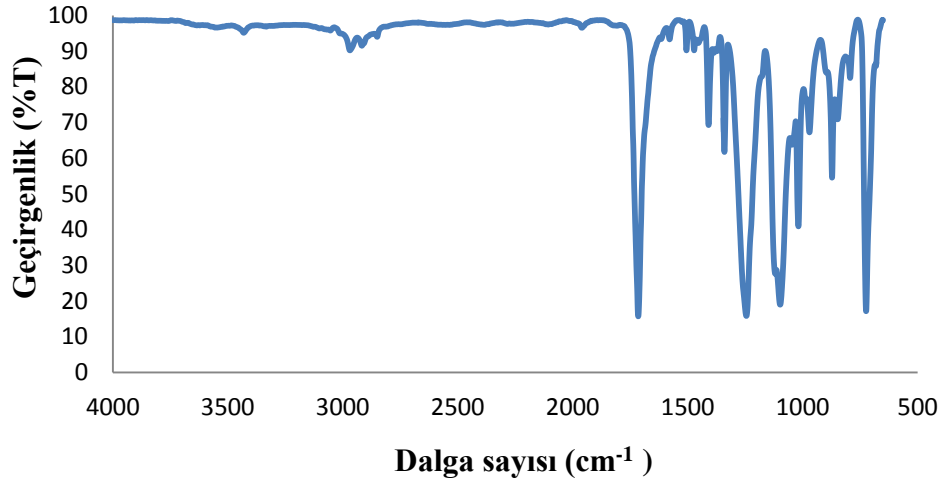
Şekil 4.1 numunesi foto polimer kauçuk numunesi olup 2849, 2915 ve 2960  $\text{cm}^{-1}$  üçlü keskin ve dar pikler alifatik C-H gerilmelerine aittir. Bu malzeme polimerize düşük molekül ağırlıklı akrilatlar, plastikleştiriciler, foto başlatıcılar, stabilizatörler ve renk verici maddeler içermektedir. Şekil 4.2 spektrumuna ait numune polistiren olup literatür ile uyuşmaktadır. 3000  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki pik aromatik C-H gerilmesine aittir.



Şekil 4.1. Klişe Numunesi (Fotopolimer Kauçuk) FTIR Spektrumu

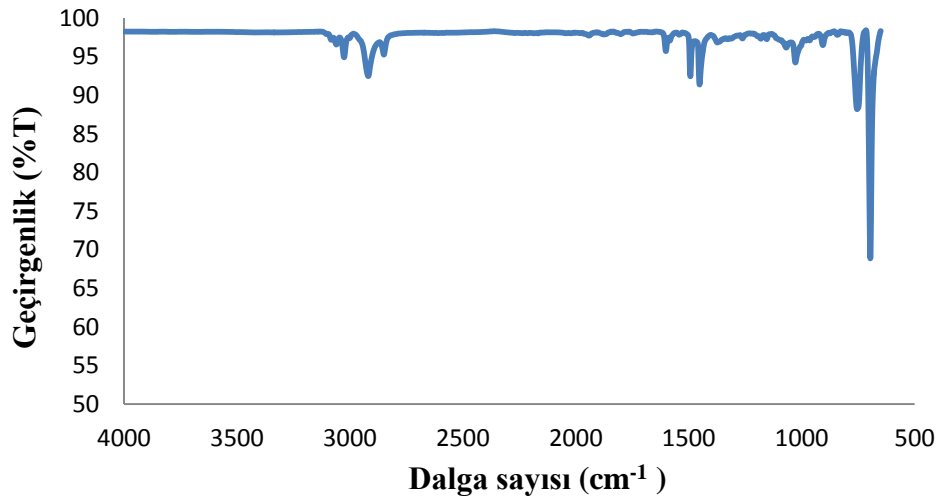


Şekil 4.2. Dış Cephe Kaplama Köpük Numunesi(EPS) FTIR Spektrumu

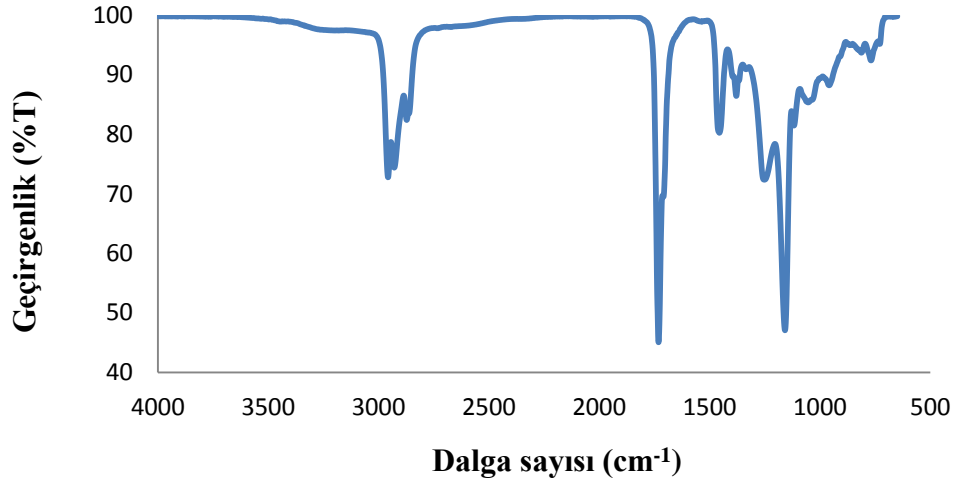


Şekil 4.3. Eco Hammadde Torbası Numunesi (Dışı Alüminyum iç kısmı PE)  
FTIR Spektrumu

Şekil 4.3 örneği hammadde torbası PE temelli malzeme olup %16.33 kül içeriği ile önemli ölçüde inorganik katkı içermektedir. Bu katkı kalsiyum karbonat olup FTIR spektrumunda PE ait piklerin belirgin şekilde çıkmasını engellemiştir. Ancak  $2900\text{ cm}^{-1}$  civarında alifatik C-H pikleri belirgindir. Şekil 4.4 spektrumu PVC numunesine ait olup bu malzemenin üzerinde EPS (genişleyen polistiren) olduğundan aromatik C-H gerilmesine ait piklerde açıkça görülmektedir.

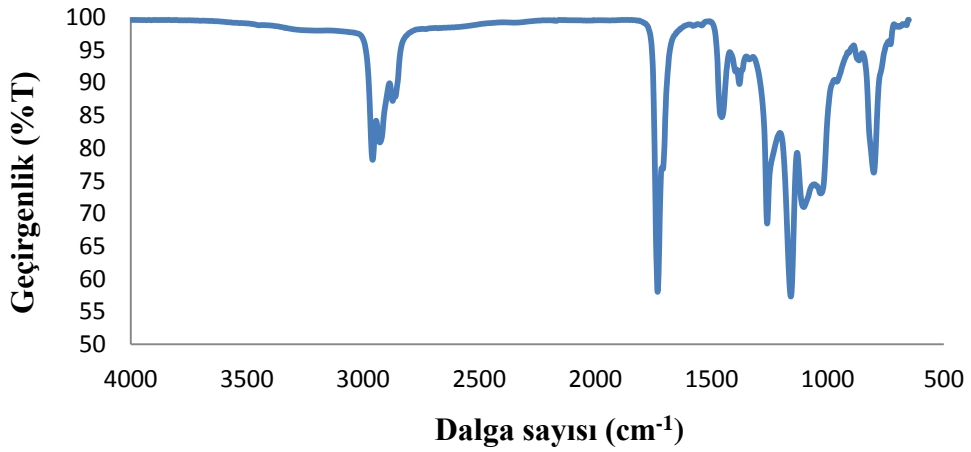


Şekil 4.4. Köpük Dışındaki Koruyucu Numunesi(PVC) FTIR Spektrumu

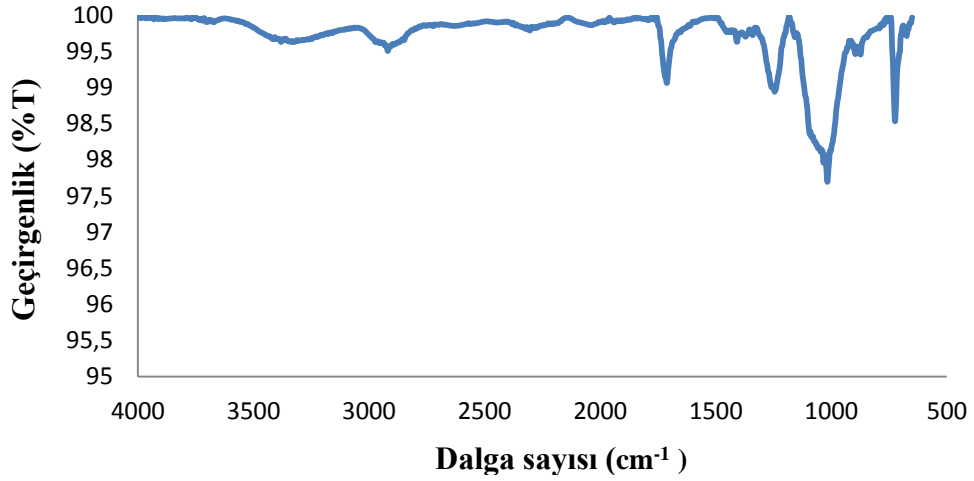


Şekil 4.5. Yeşil Klise Bandı Numunesi (PE+PET) FTIR Spektrumu

Şekil 4.5 ve 4.6 spektrumları PE ve PET karışımı olup sırası ile yeşil ve turuncu klise band numuneleridir. Yeşil klise band numunesi oldukça saf örnektir. Kül değeri % 0,68 olup bu değer diğer atıklardan bulaşmış kirliliklerdir. Turuncu klise band numunesi ise kalsit katkılı olup kül değeri % 6,45 değerindedir.  $2900\text{ cm}^{-1}$  civarındaki keskin pikler alifatik C-H gerilimine ait olup  $1752\text{ cm}^{-1}$  keskin piki C=O gerilimine aittir.

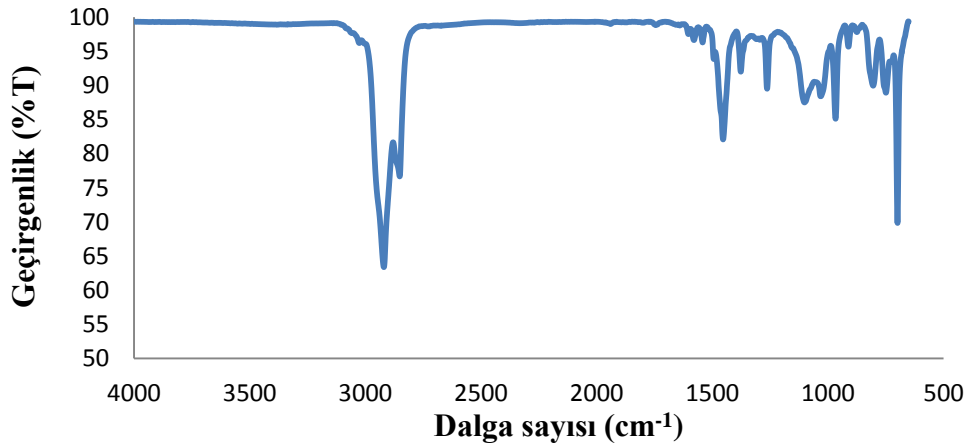


Şekil 4.6. Turuncu Klise Bandı Numunesi(PE+PET) FTIR Spektrumu



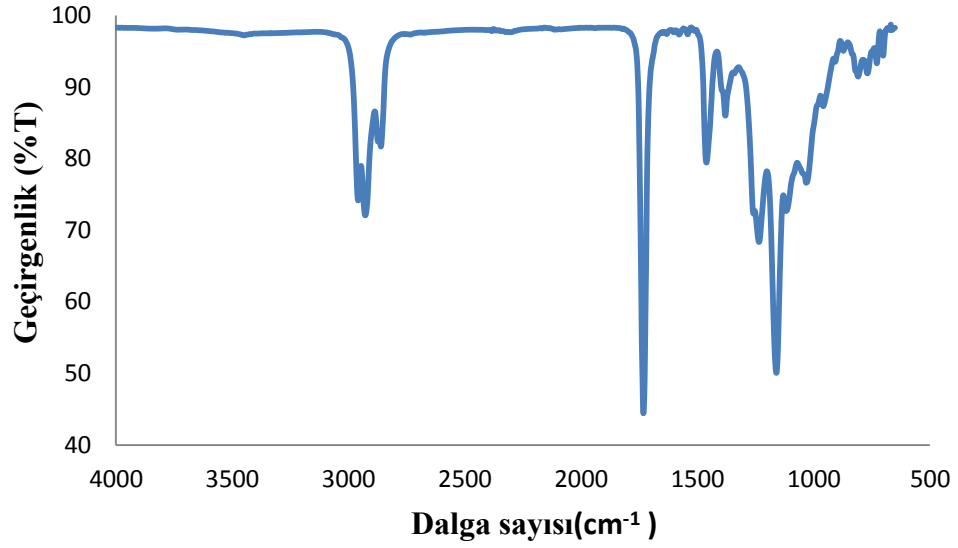
Şekil 4.7. Elyaf Tozu Numunesi (PET) FTIR Spektrumu

Şekil 4.7 numunesi saf PET tozu olup kül değeri % 0,74 değerindedir. Bu değer diğer atıklardan kirlenme ile gelen kül değeridir. 3089-3533  $\text{cm}^{-1}$  geniş bandı PET tarafından absorbe edilen sudaki -OH gerilmesine aittir. 2812-3000  $\text{cm}^{-1}$  bandı alifatik ve aromatik C-H gerilmelerine aittir. 1712  $\text{cm}^{-1}$  bandı C=O gerilmesine ait olup, 1244  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki pik ester grubunun titreşimine aittir.



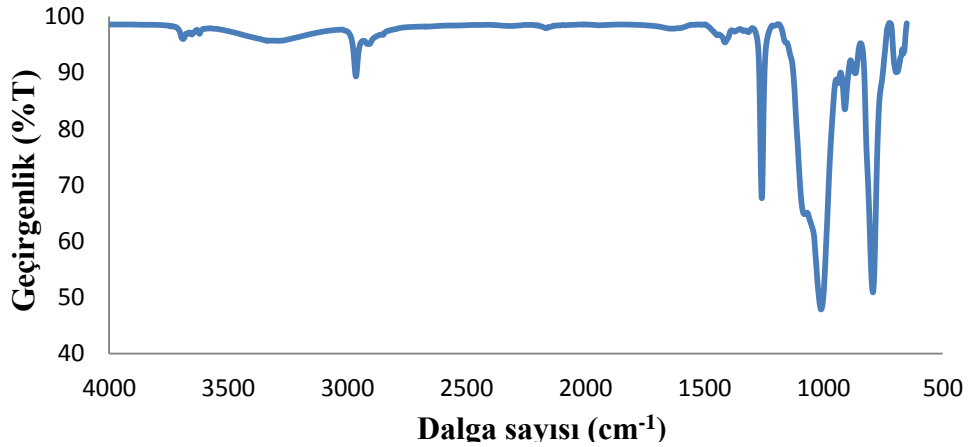
Şekil 4.8. Atık Tutkal Numunesi (Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu

Şekil 4.8 numunesi numunelerin yapılandırılmasında kullanılan tutkal olup kül değeri % 0,01 değerindedir. Azot ve kükürt içermemekte olup alifatik yapılarca zengindir.



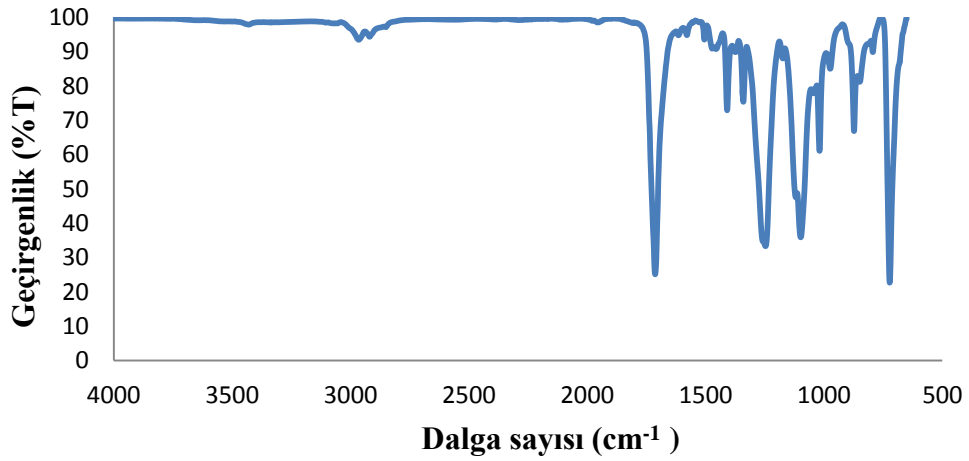
Şekil 4.9. Beyaz Etiket Kağıdı Numunesi (Selülozik Kağıt) FTIR Spektrumu

Şekil 4.9 numunesi kağıt numunesi olup polimerik temelli bir malzemedir. 2861, 2925 ve 2933  $\text{cm}^{-1}$  pikleri alifatik C-H gerilmesine aittir.



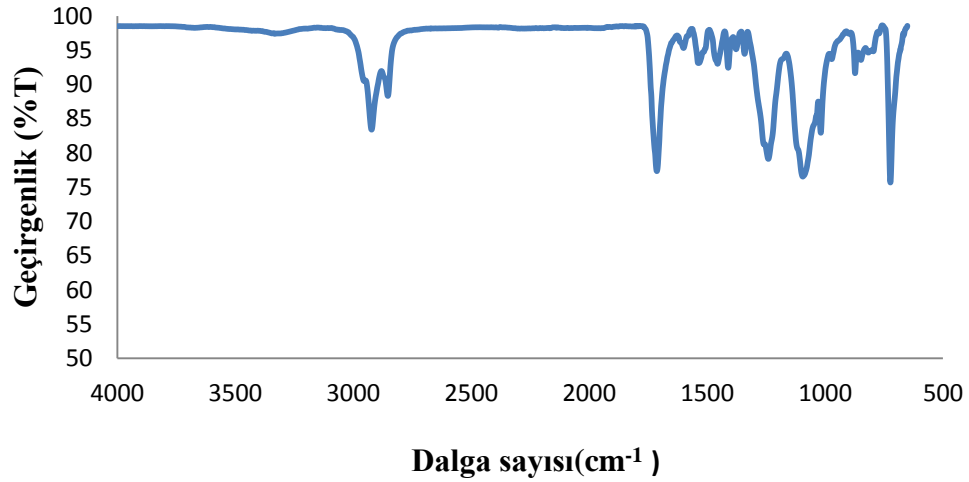
Şekil 4.10. Sarı Etiket Kağıdı Arkası Numunesi (Pergamin Kağıt) FTIR Spektrumu

Şekil 4.10 suya, havaya ve yağa dayanıklı kağıt numunesine ait FTIR spektrumu olup sonuç ürünlerin üzerine yapıştırılan etiket kağıdının arka tarafıdır. Spekturmda alifatik C-H gerilmeleri yanında 3700  $\text{cm}^{-1}$  civarında OH gerilmeleri görülmektedir.



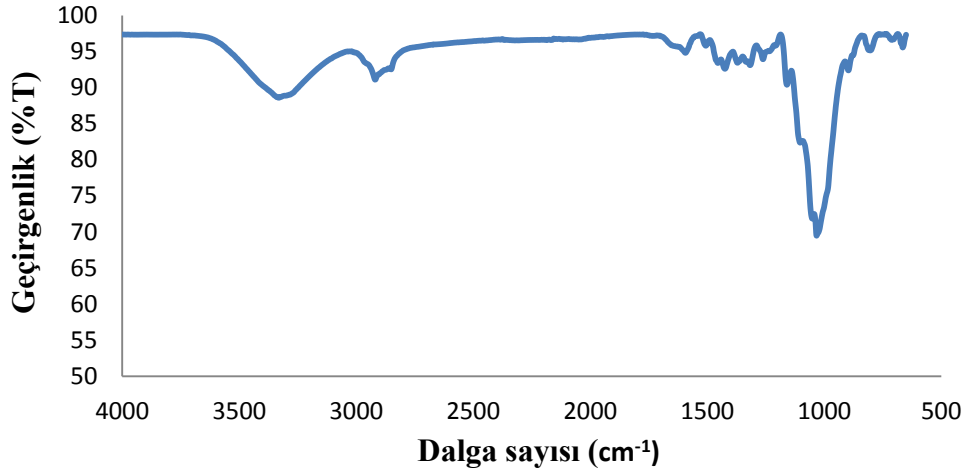
Şekil 4.11. Çuval Çemberi Numunesi (PP) FTIR Spektrumu

Şekil 4.2.11 numunesi PP malzemeye ait olup kül değeri % 0,05'dir. Alifatik C-H gerilmesine pikler görülmektedir.



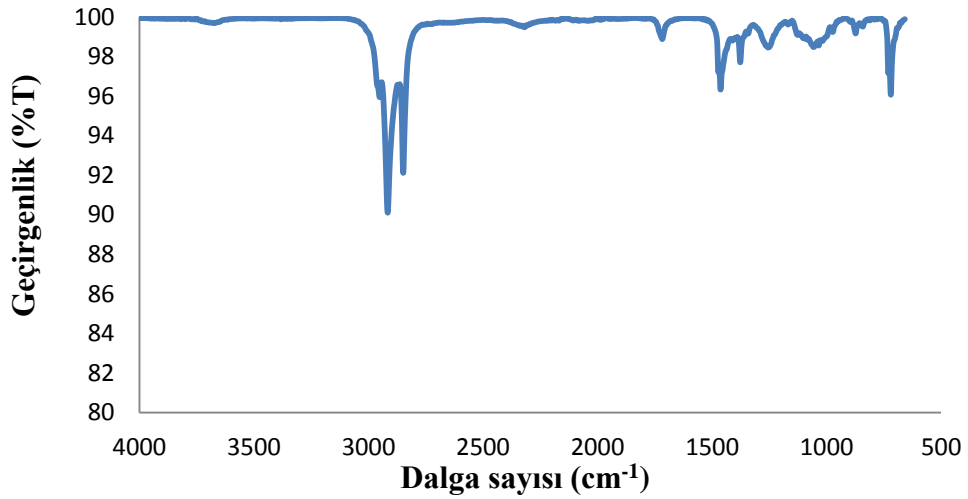
Şekil 4.12. Atık Spunlace Numunesi(PET) FTIR Spektrumu

Şekil 4.12 PET'e ait tipik bir FTIR spektrumudur. 3310  $\text{cm}^{-1}$  bandı yapıdaki hidroksil ve hidrojen bağlı suya ait hidroksil gerilmesidir. 2767-3014  $\text{cm}^{-1}$  bandı PET yapısındaki alifatik ve aromatik C-H gerilmelerine aittir. 1713  $\text{cm}^{-1}$  piki karboksil gruplara özgü -C=O (karbonil) gerilmesine aittir.

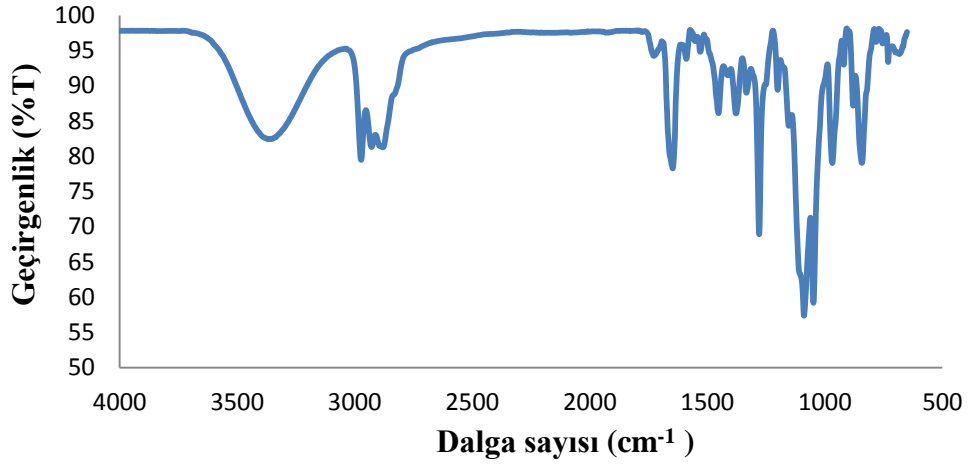


Şekil 4.13. BZ Hammadde Torbası Numunesi (PP-Kraft Kağıt) FTIR Spektrumu

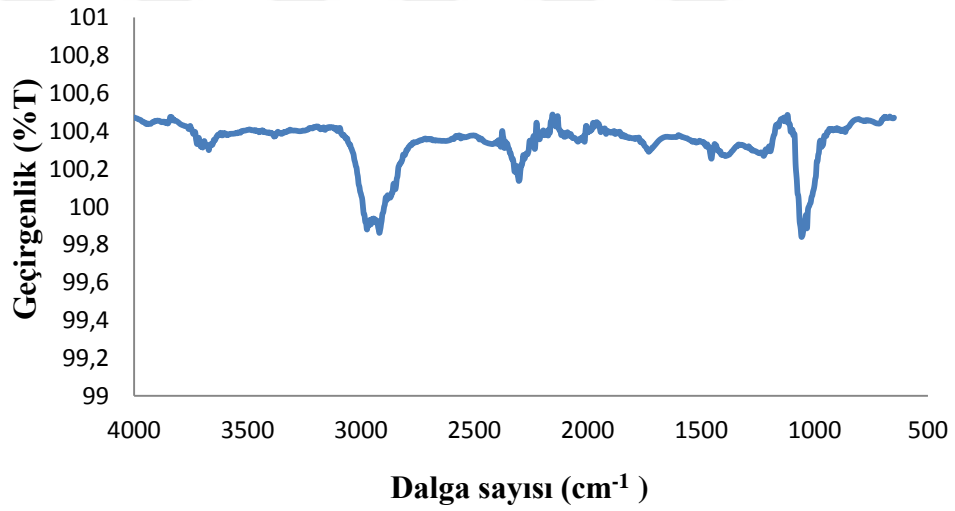
Şekil 4.13'deki malzemenin dışı kalın mukavva (Kraft) kağıt iç kısmı PP malzemedan imal edilmiştir. İnşaattan gıdaya bir çok sektörde kullanılmaktadır. 3200  $\text{cm}^{-1}$  pik minimumu olan pik selülozik yapıdaki ve hidrojen bağı suya ait –OH gerilmesine aittir. 2919  $\text{cm}^{-1}$  piki hem selülozik hem de PP yapıdaki alifatik C-H gerilmesine aittir.



Şekil 4.14. C-Bant Takoğu Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu

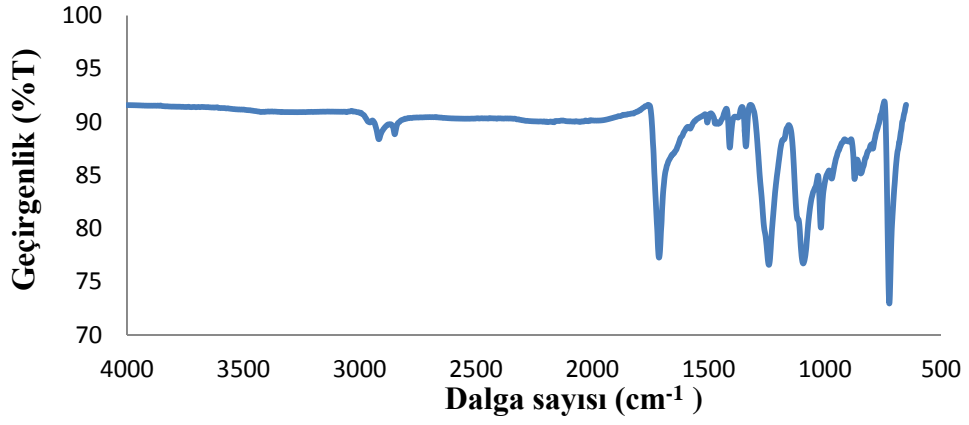


Şekil 4.15. Alkol Curufu Numunesi (Etil alkol ile mürekkep seyreltmek ve tankların temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) FTIR Spektrumu

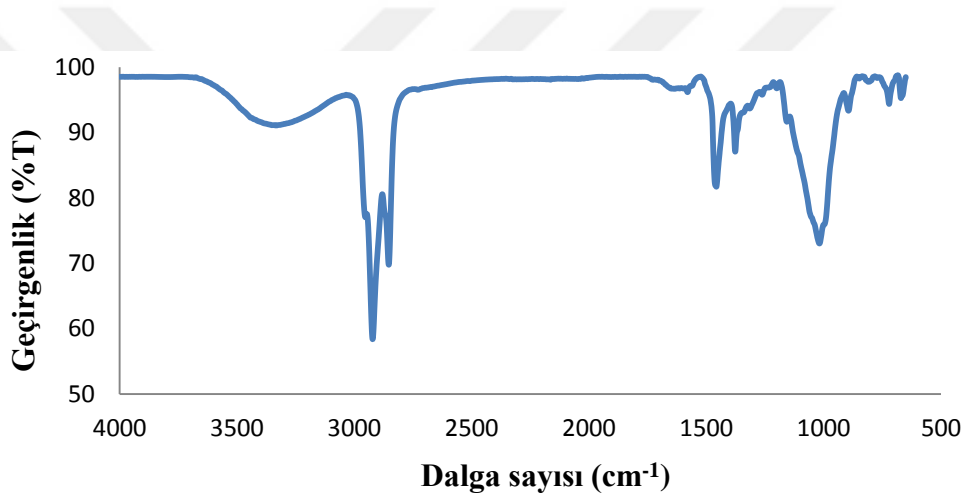


Şekil 4.16. Klişe Curufu Numunesi (Solvent ile klişe temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) FTIR Spektrumu

Şekil 4.15 ve 16 sırası ile etil alkol kullanılarak mürekkep seyreltme ve klişe temizlenmesinde kullanılan ve etil alkolü uzaklaşmış numuneye ait FTIR spektrumudur. Şekil 4.15'deki atıkların genellikle polimer kalıntılarına ait olduğu 16'nın ise boya kalıntılarına ( $2300\text{ cm}^{-1}$ ) ait FTIR spektrumunu içerdiği görülmektedir.

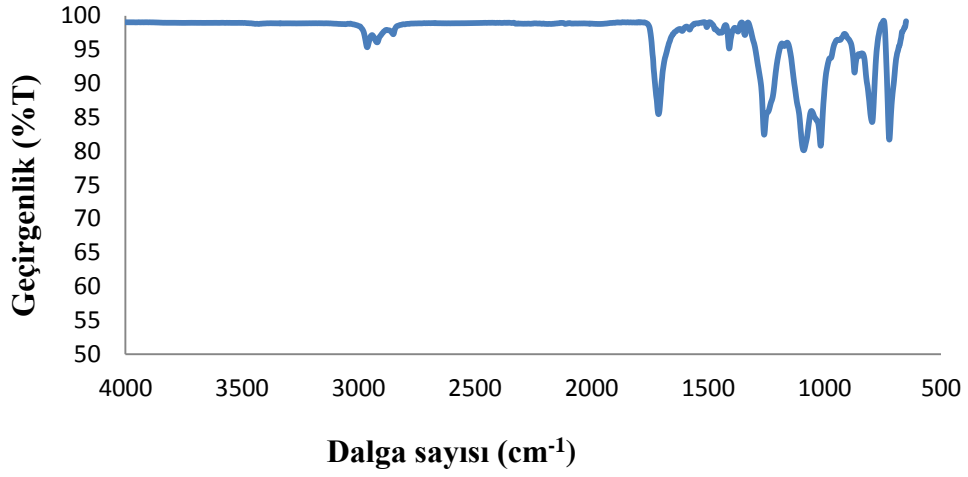


Şekil 4.17. Kirli Bez Numunesi (PET) FTIR Spektrumu



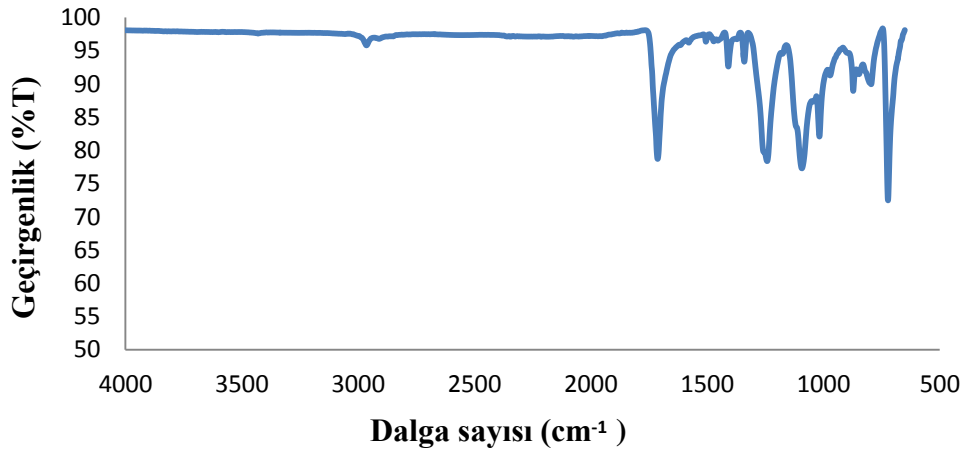
Şekil 4.18. Yağlı Bez Numunesi(PET) FTIR Spektrumu

Şekil 4.17 ve 18 kirli ve yağlı PET içerikli bez numunelerine ait FTIR spektrumlarıdır. Temizlik amaçlı kullanıldıkları için bez üzerindeki kirlere ait pikler görülmektedir. Özellikle yağlı olanda PET'e ait C=O bandı dahi görülmemektedir.



Şekil 4.19. Yeşil ADL Numunesi (PET) FTIR Spektrumu

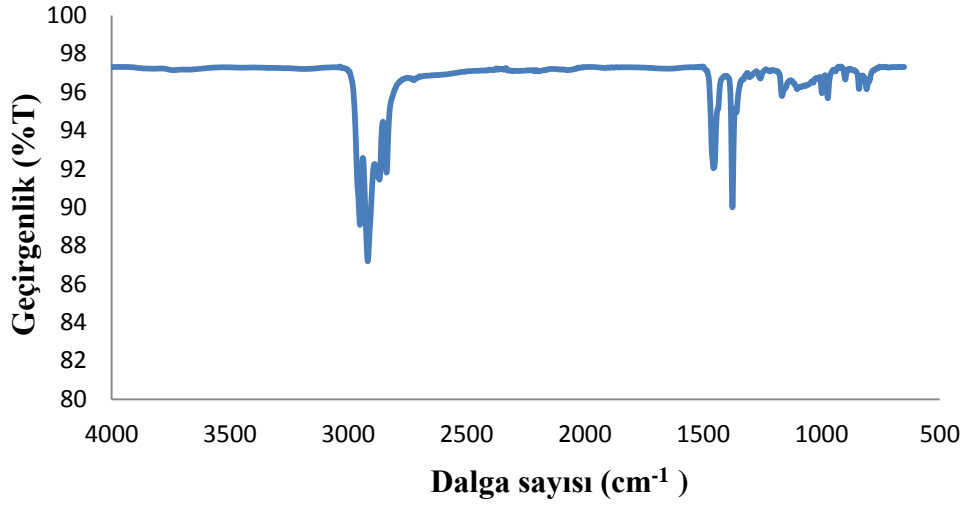
Şekil 4.17-19 ve 22 numunelerine ait FTIR spektrumunda ana malzeme PET olup her üçünde de PET' ait alifatik ve aromatik C-H gerilmesi açıkça görülmektedir. Karboksil grubuna ait C=O karbonil gerilmesi 17 ve 19'da görülmektedir. 18'de görülmemesinin nedeni sentetik alifatik yapıya yağlı maddenin (yağlama yağı) yapısına ait gerilmeler ön plana çıkmıştır.



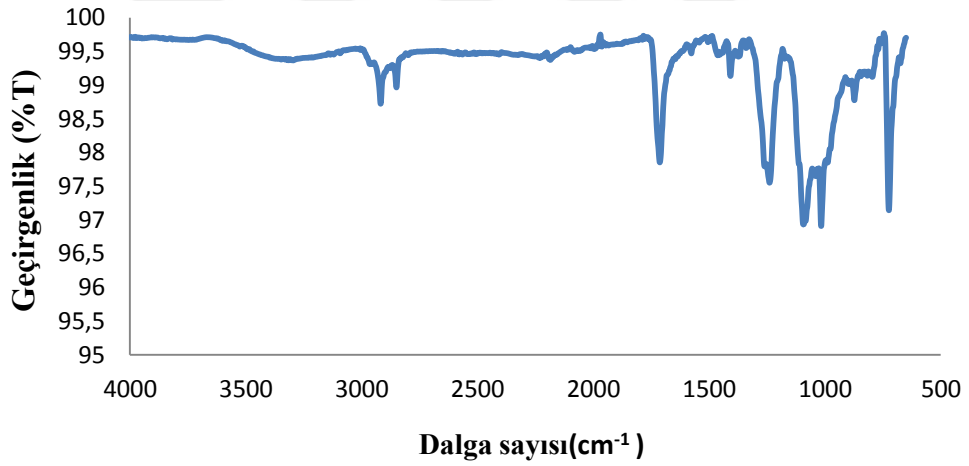
Şekil 4.20. C-Bant Numunesi(PE+PET+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu

Şekil 4.14 ve 20 sırası ile büyük oranda PE içeren diğeri ise büyük oranda PET içeren sentetik kauçuk karışımı malzemelerdir. 14'de PE oranı yüksek olduğu için alifatik C-H gerilmesi daha belirgin ortaya çıkmıştır. 20'de ise PET'e

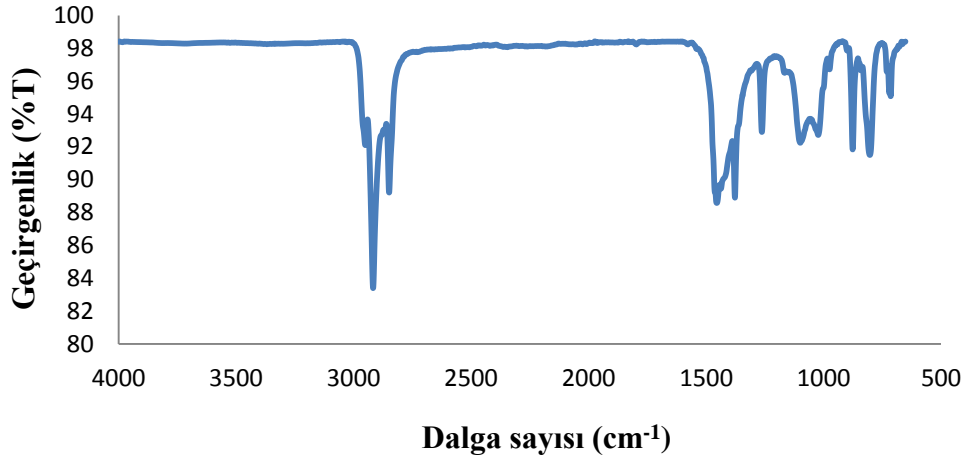
karbonil gerilmesi belirgin görülmektedir. Kauçuk ve PE'den dolayı PET'e ait karbonil ve aromatik yapı gerilmelerine pikler daha sönük çıkmıştır.



Şekil 4.21. Esnek Kulakçık Numunesi (PP) FTIR Spektrumu

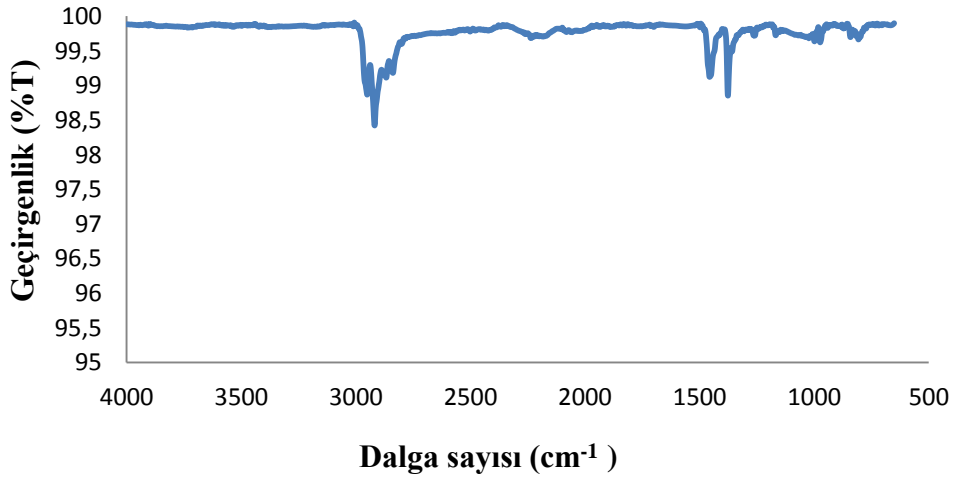


Şekil 4.22. Beyaz ADL Numunesi (PET) FTIR Spektrumu



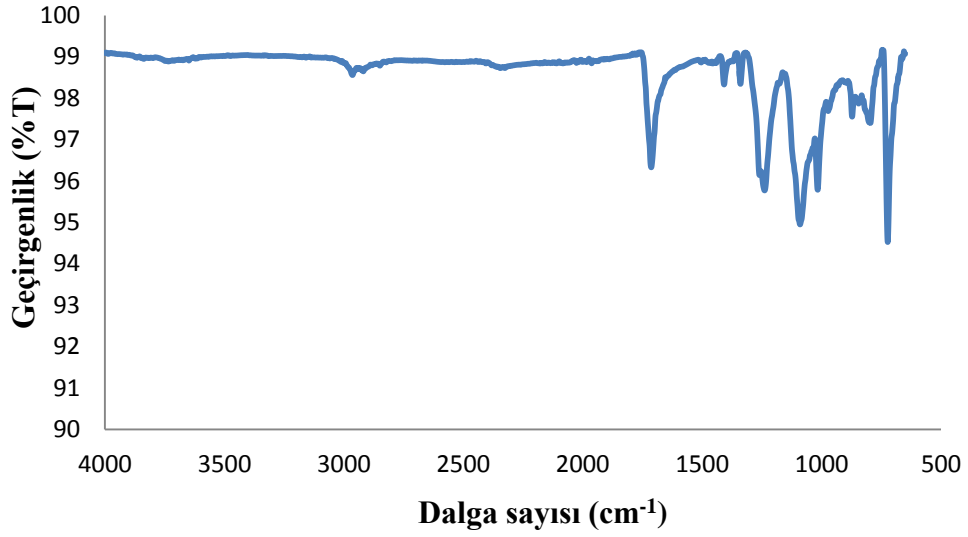
Şekil 4.23. TBS Numunesi (PP+PE+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu

Şekil 4.23 PP, PE ve sentetik kauçuk karışımı malzemeye ait FTIR spektrumu olup %11,66 kül içermektedir. Alifatik yapıdaki her üç malzemeye bağlı olarak alifatik C-H gerilmesi keskin pik olarak görülmektedir. Katkı malzemesi kalsite ait  $1000\text{ cm}^{-1}$  civarında M-O piki açıkça görülmektedir. Şekli 4.2.24 numunesi sadece PP ve sentetik kauçuk içermekte olup alifatik C-H gerilmesi açıkça görülmektedir.



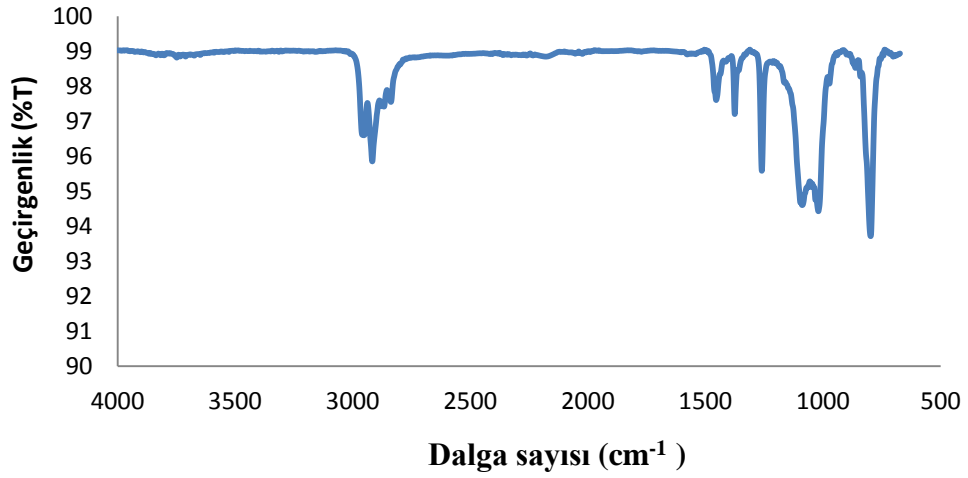
Şekil 4.24. Mini Yanbant Numunesi (PP+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu

Şekil 4.24 numunesi sentetik kauçuk katkılı PP numunesine ait FTIR spektrumu olup alifatik C-H gerilmesine ait pikler görülmektedir.



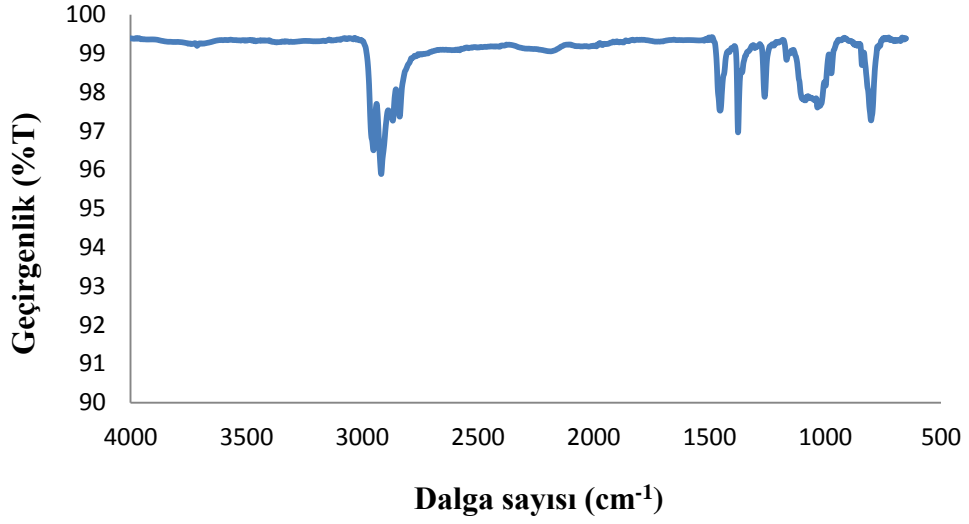
Şekil 4.25. SBS Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) FTIR Spektrumu

Şekil 4.25 malzemesi ağırlıklı olarak sentetik kauçuk bunun dışında PET ile PE içermektedir. Saf sentetik kauçuğa ait Şekil 4.1 göz önüne alındığında yapıda kütlece fazla sentetik kauçuk olduğu görülmektedir.

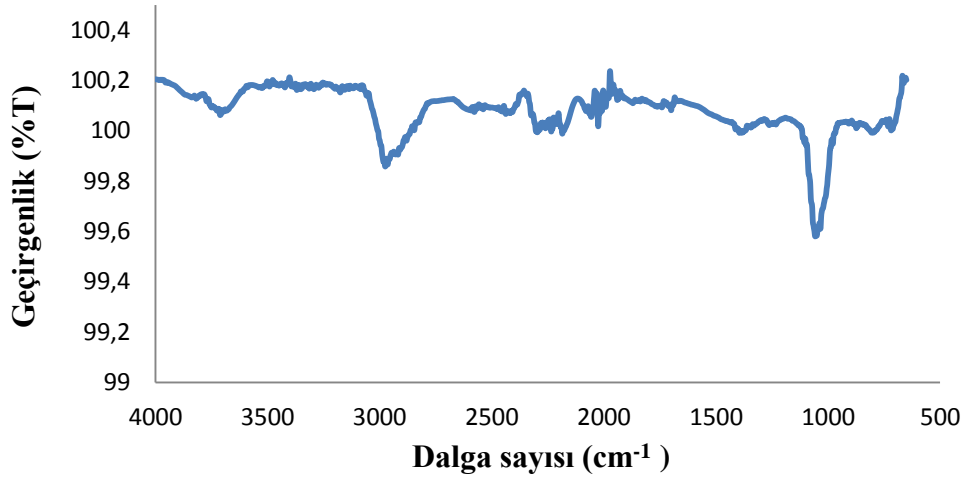


Şekil 4.26. Bariyer Numunesi (PP) FTIR Spektrumu

Şekil 4.21, 26 ve 27 PP'den yapılmış farklı malzemelere ait FTIR spektrumudur. Her ikisinde benzerdir. Kül değeri sıfır olup katkısıdır.



Şekil 4.27. Tissue Numunesi (PP) FTIR Spektrumu

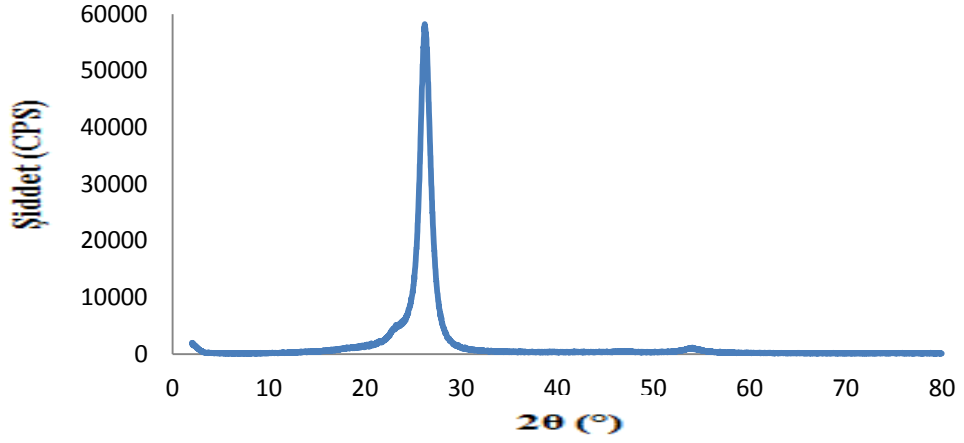


Şekil 4.28. Filtre Numunesi (Sünger Demir) FTIR Spektrumu

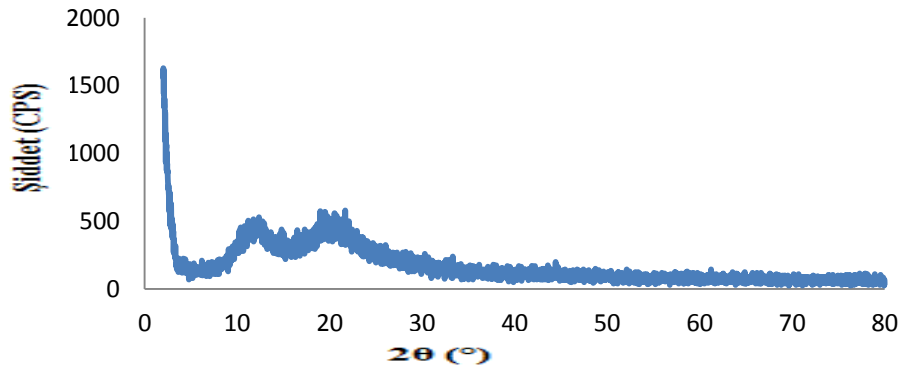
Şekil 4.28 malzemesi bulaşık teli şeklinde tamamen demir talaşına benzer malzemedir. Bu malzeme filtre amaçlı kullanılmaktadır. Metal malzeme üzerinde tutulmuş ortamda bulunan polimerik, selülozik ve diğer malzemelerin karışımıdır.

### 4.3. Atık Polimerlerin XRD Analizi Sonuçları

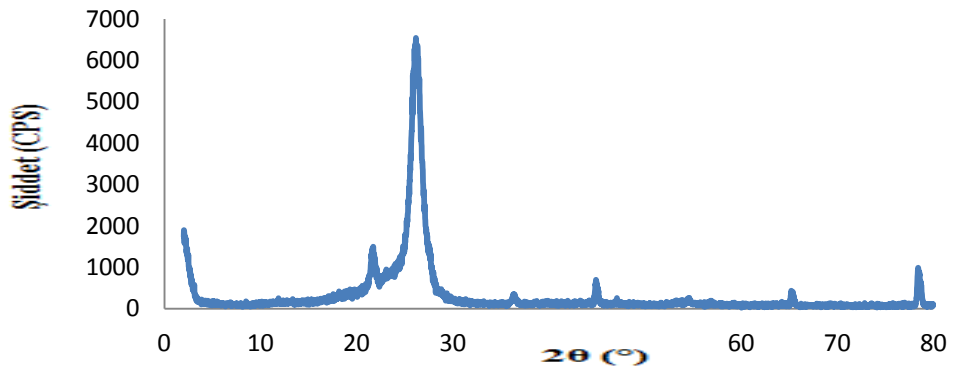
Atık polimerler ve diğer malzemelere ait XRD analizi sonuçları ayrı ayrı Şekil 4.29-56'da verilmiştir.



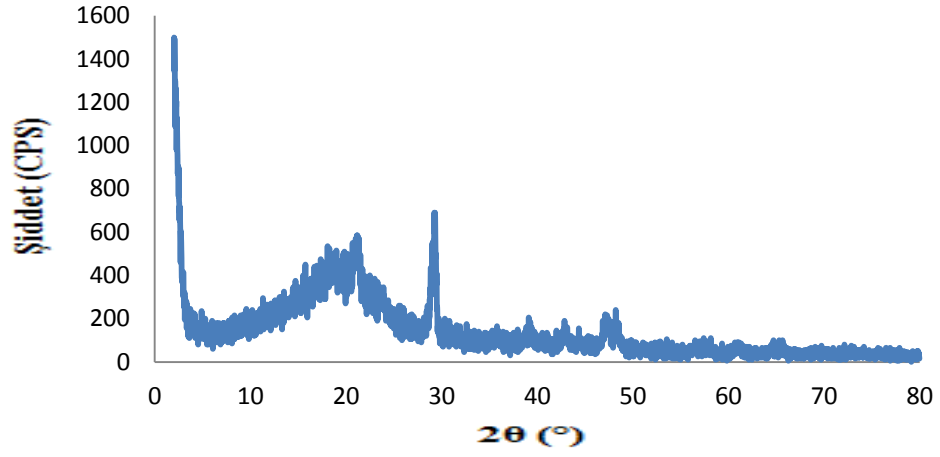
Şekil 4.29. Klişe Numunesi(Fotopolimer Kauçuk) XRD Spektrumu



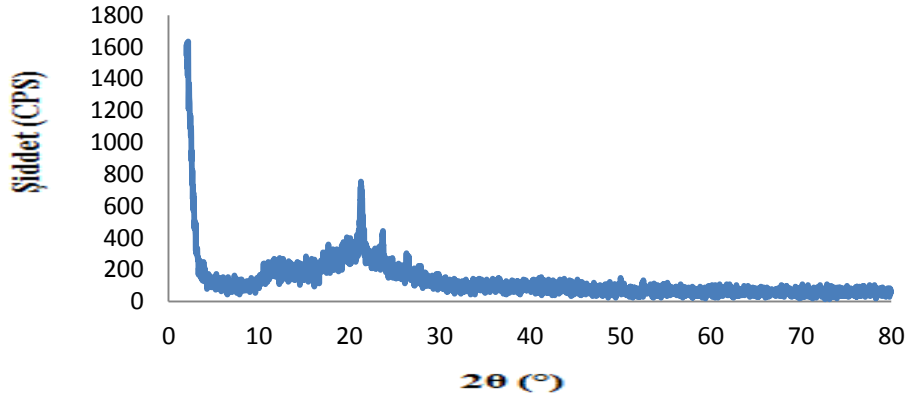
Şekil 4.30. Dış Cephe Kaplama Köpük Numunesi (EPS) XRD Spektrumu



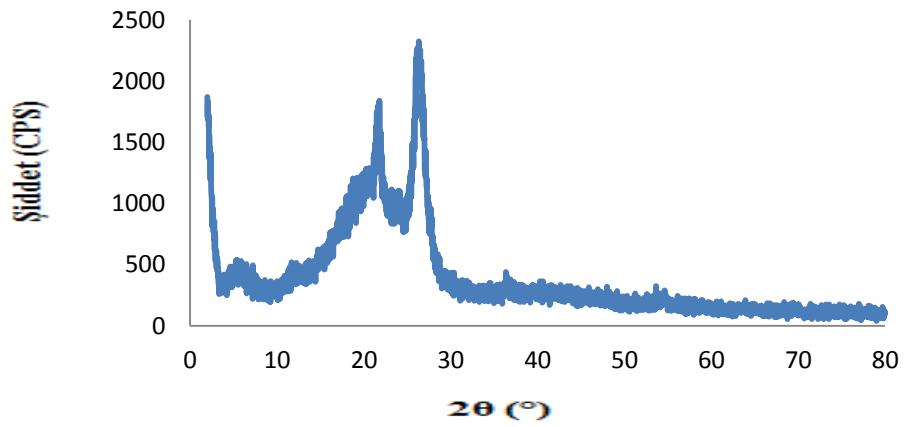
Şekil 4.31. Eco Hammadde Torbası Numunesi (Dışı Alüminyum iç kısmı PE) XRD Spektrumu



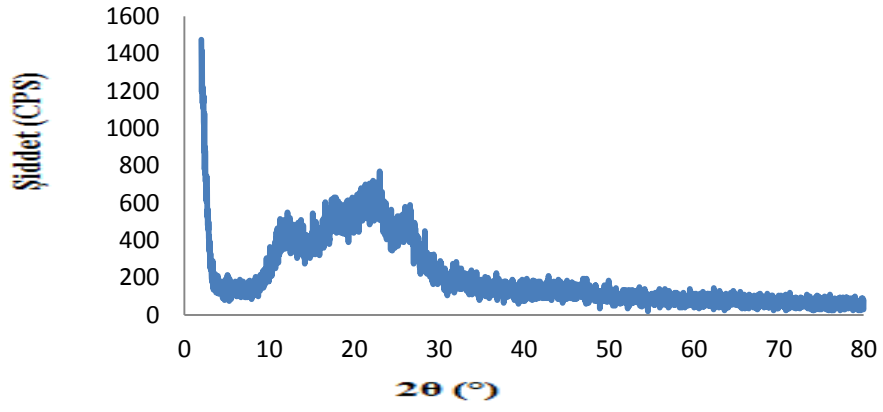
Şekil 4.32. Köpük Dışındaki Koruyucu Numunesi (PVC) XRD Spektrumu



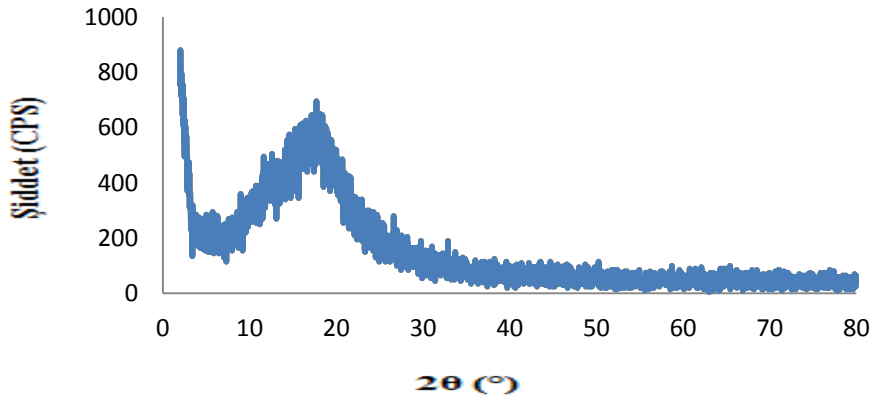
Şekil 4.33. Yeşil Klişe Bandı Numunesi(PE+PET) XRD Spektrumu



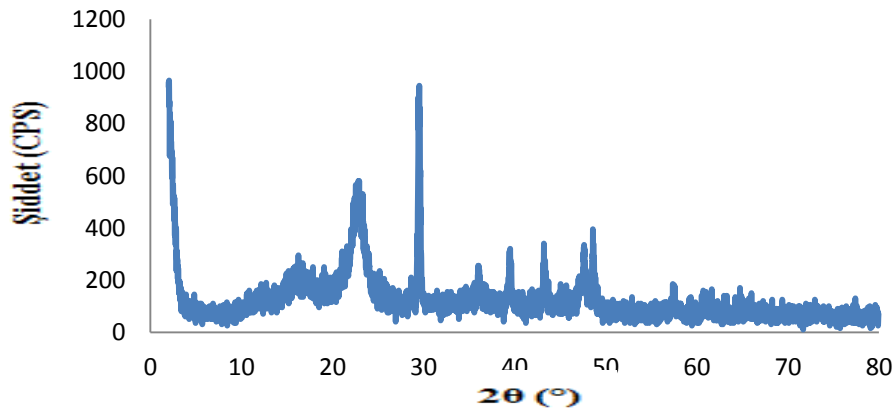
Şekil 4.34. Turuncu Klişe Bandı Numunesi(PE+PET) XRD Spektrumu



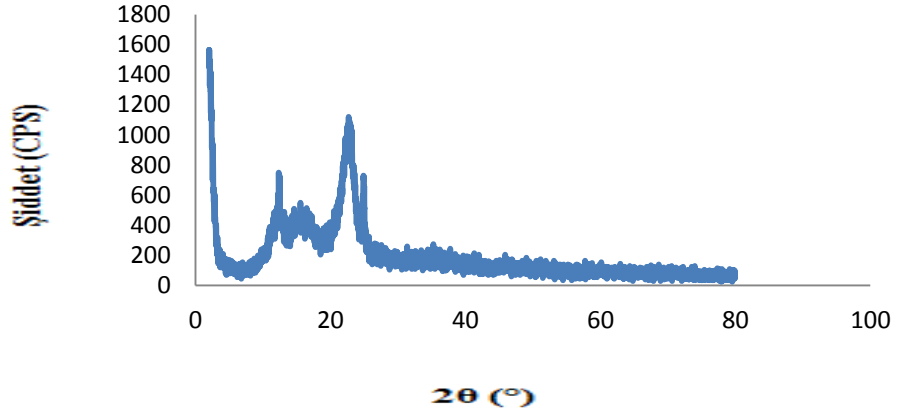
Şekil 4.35. Elyaf Tozu Numunesi (PET) XRD Spektrumu



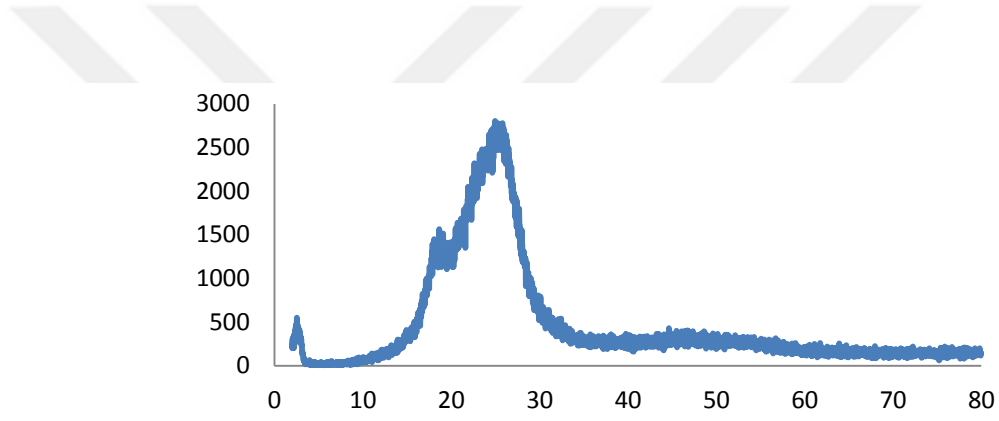
Şekil 4.36. Atık Tutkal Numunesi(Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu



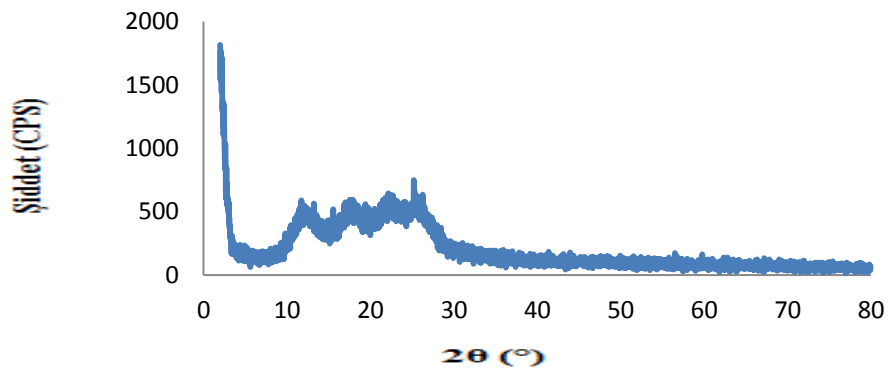
Şekil 4.37. Beyaz Etiket Kağıdı Numunesi(Selülozik Kağıt) XRD Spektrumu



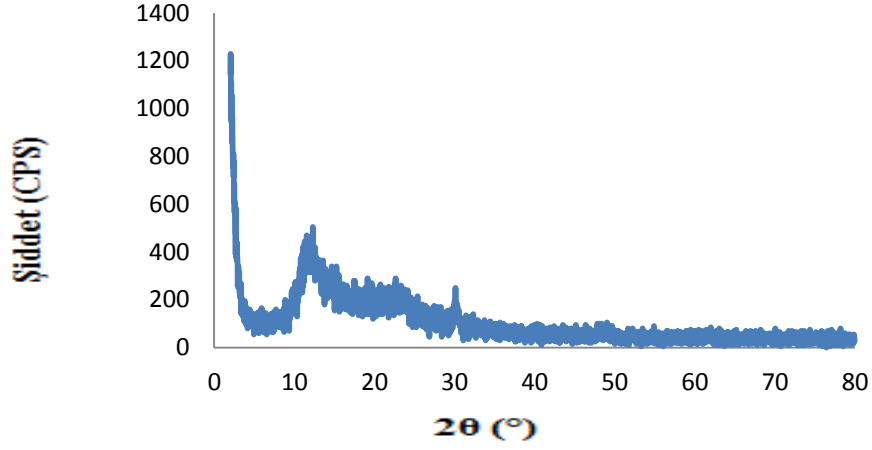
Şekil 4.38. Sarı Etiket Kağıdı Arkası Numunesi(Pergamin Kağıt) XRD Spektrumu



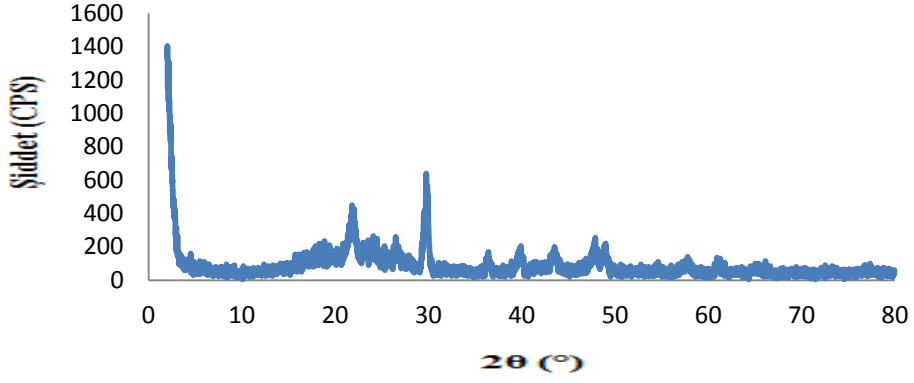
Şekil 4.39. Çuval Çemberi Numunesi (PP) XRD Spektrumu



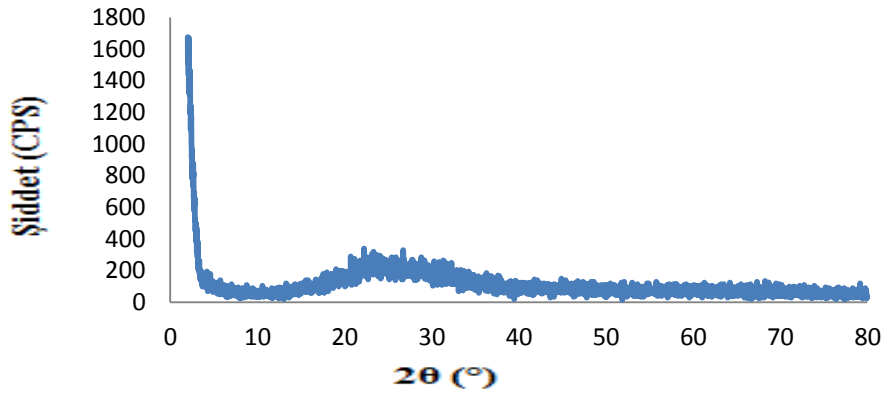
Şekil 4.40. Atık Spunlace Numunesi (PET) XRD Spektrumu



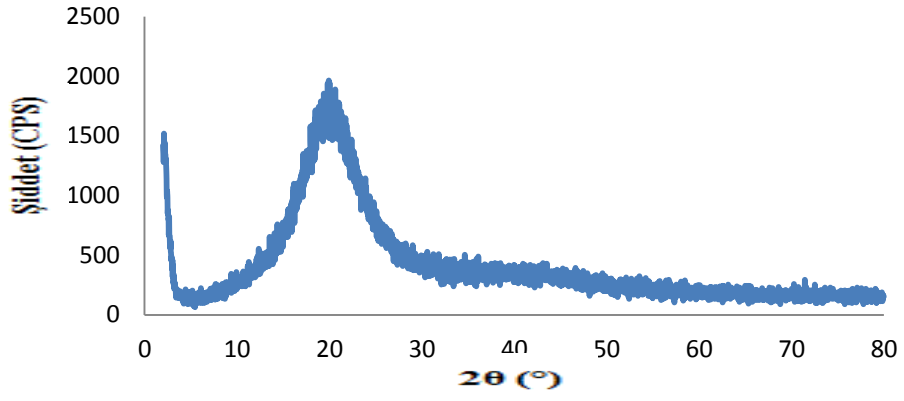
Şekil 4.41. BZ Hammmadde Torbası Numunesi (PP-Kraft Kağıt) XRD Spektrumu



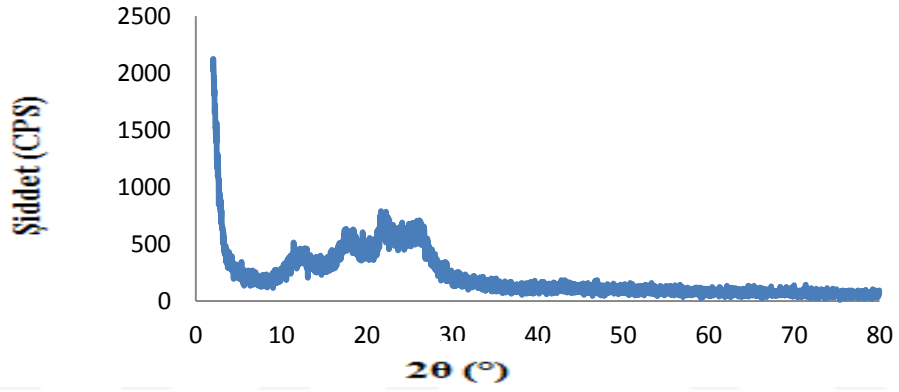
Şekil 4.42. C-Bant Takožu Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu



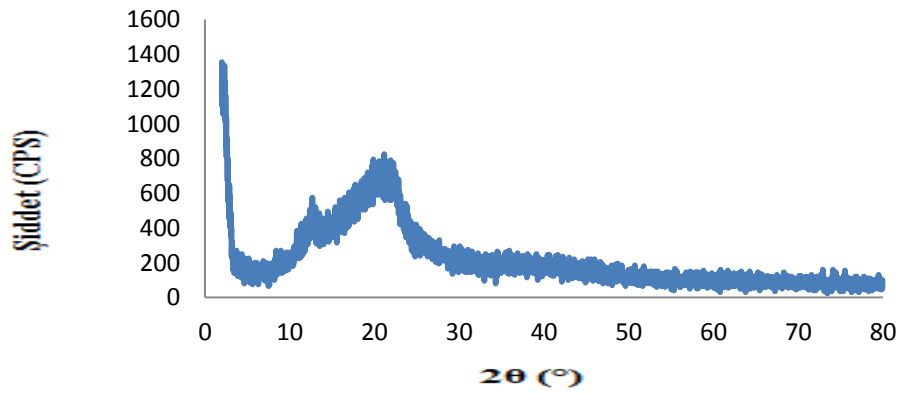
Şekil 4.43. Alkol Curufu Numunesi (Etil alkol ile mürekkep seyreltmek ve tankların temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) XRD Spektrumu



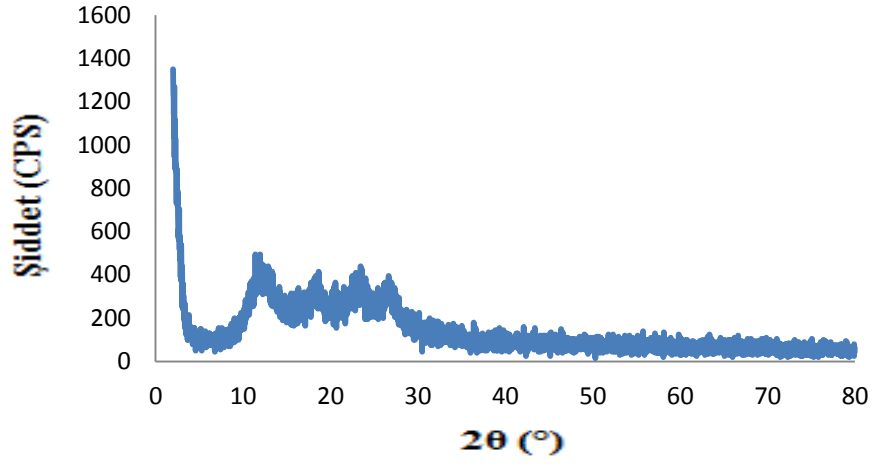
Şekil 4.44. Klişe Curufu Numunesi(Solvent ile klişe temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) XRD Spektrumu



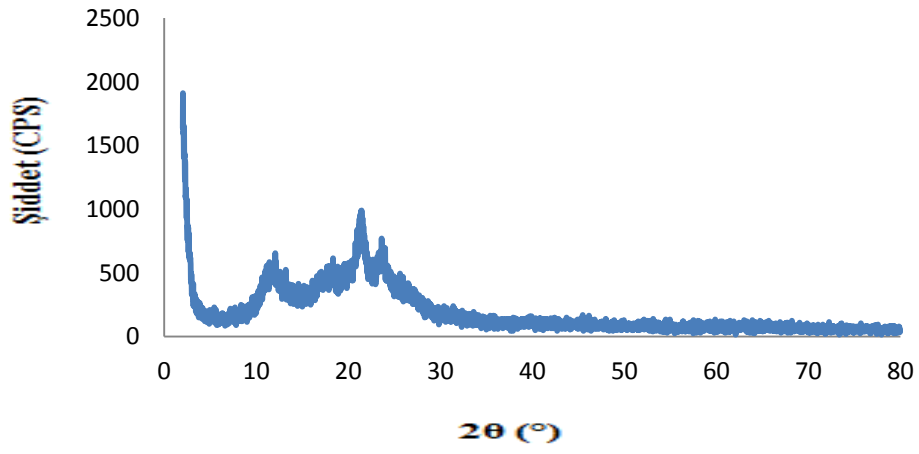
Şekil 4.45. Kirli Bez Numunesi(PET) XRD Spektrumu



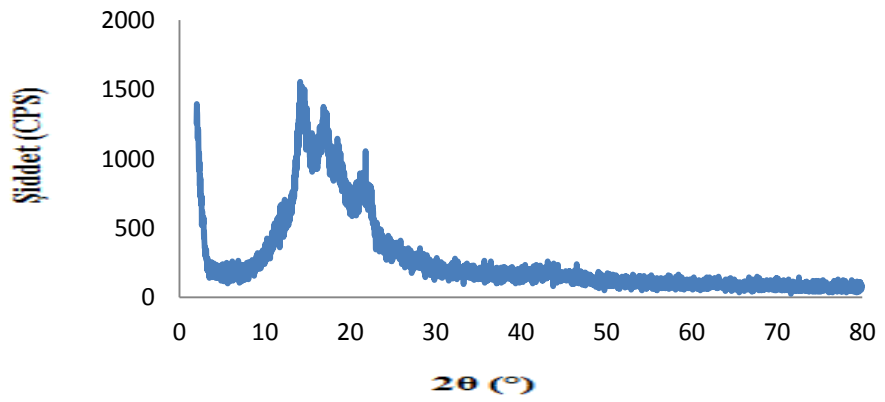
Şekil 4.46. Yağlı Bez Numunesi(PET) XRD Spektrumu



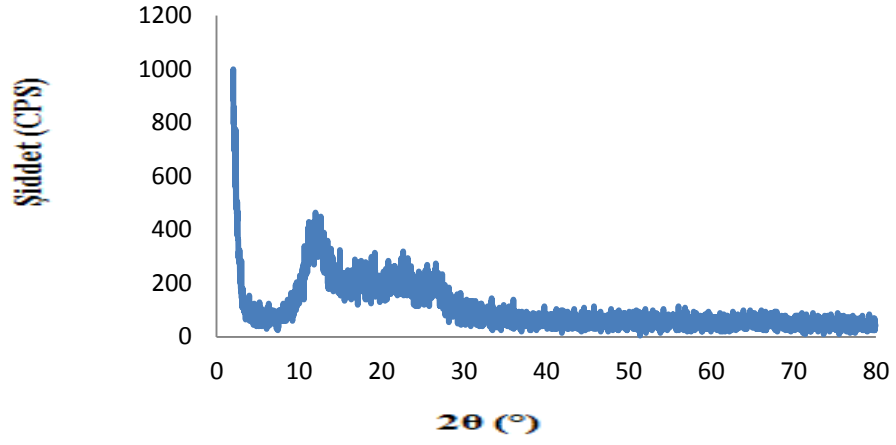
Şekil 4.47. Yeşil ADL Numunesi (PET) XRD Spektrumu



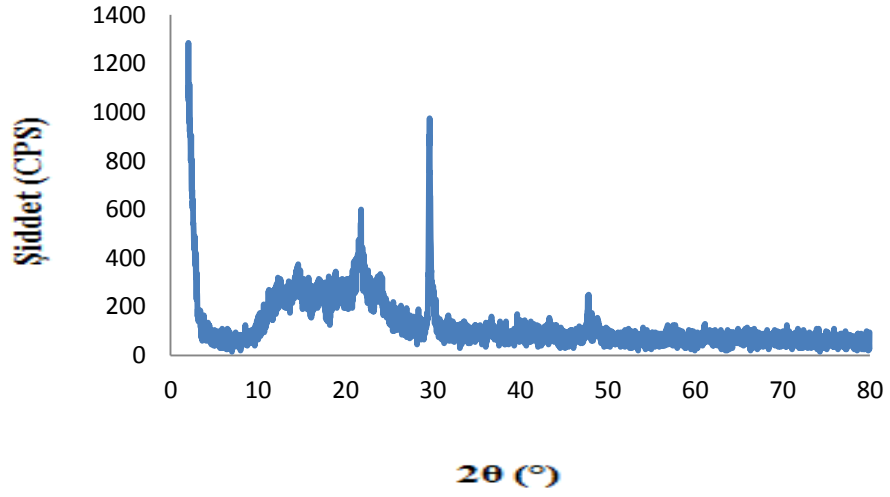
Şekil 4.48. C-Bant Numunesi(PE+PET+Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu



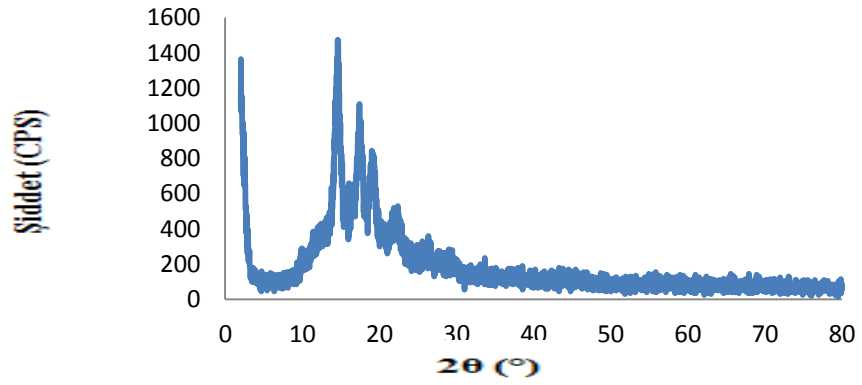
Şekil 4.49. Esnek Kulakçık Numunesi(PP) XRD Spektrumu



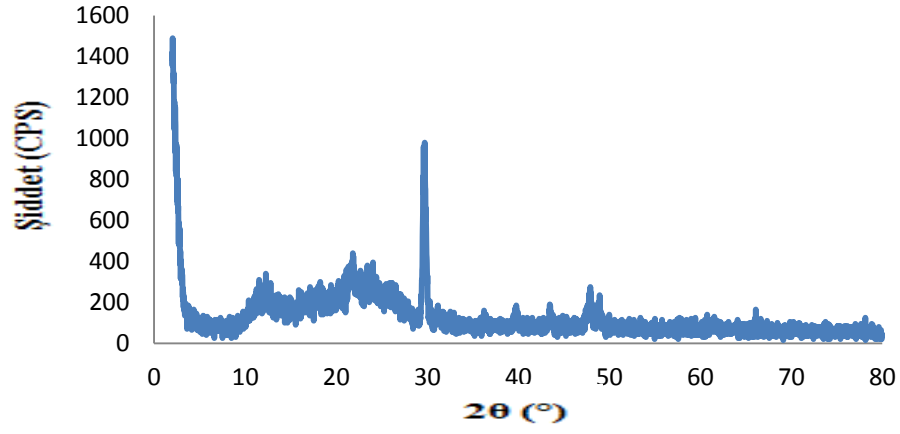
Şekil 4.50. Beyaz ADL Numunesi(PET) XRD Spektrumu



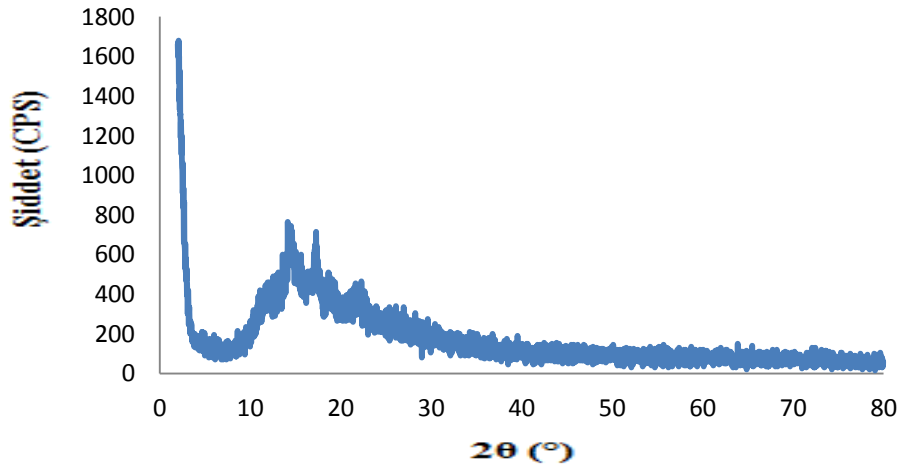
Şekil 4.51. TBS Numunesi(PP+PE+ Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu



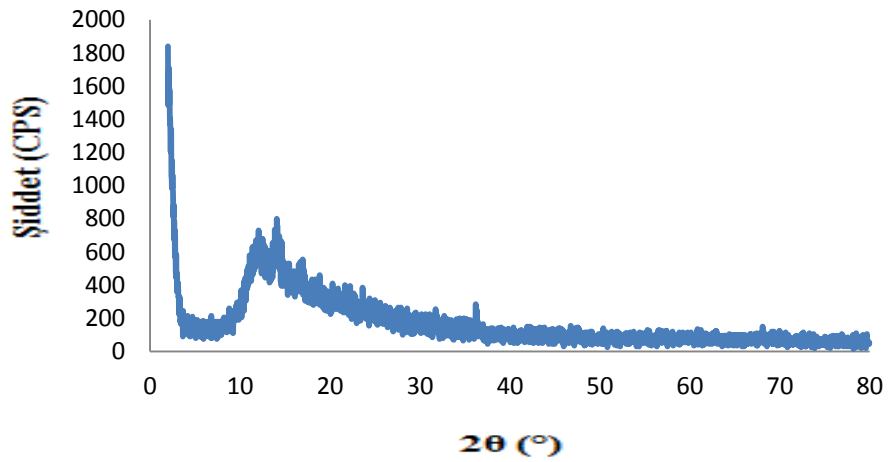
Şekil 4.52. Mini Yanbant Numunesi(PP+Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu



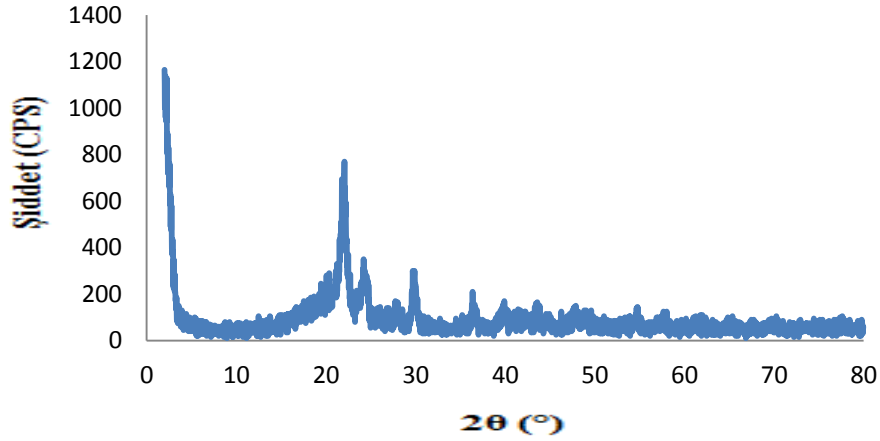
Şekil 4.53. SBS Numunesi(PE+PET+ Sentetik Kauçuk) XRD Spektrumu



Şekil 4.54. Bariyer Numunesi (PP) XRD Spektrumu



Şekil 4.55. Tissue Numunesi (PP) XRD Spektrumu



Şekil 4.56. Filtre Numunesi(Sünger Demir) XRD Spektrumu

Tez kapsamında çalışılan atık polimerik malzemelere ait XRD verileri (Şekil 4.29-56) incelendiğinde saf polimer örneklerinin genel olarak amorf yapı gösterdikleri belirlenmiştir. Polimerik malzemeye ilave edilen inorganik kalsit gibi katkıları kristal yapı gösterdiklerinden XRD analizinde hem amorf yapı hem de katkıya ait kristal yapı açıkça görülmektedir. Şekil 4.29 fotopolimer kauçuğa ait olup yapı hem kristalin hem de amorf birimlerden oluşmaktadır. FTIR spektrumu dikkate alındığında alifatik C-H gerilmeleri ait keskin piklerden alifatik yapıca zengin kauçuk olduğu ifade edilebilir. Şekil 4.30 dış cephe kaplamada kullanılan EPS (genişleyen polistiren) köpüğe ait XRD spektrumudur. Yapı büyük oranda amorf olup iki ayrı amorf yapı mevcuttur. Şekil 4.31 PE'den yapılmış Eco hammadde numunesine ait XRD spektrumudur. İç kısmı PE olup dış kısım alüminyum kaplamadır. PE'ne ait amorf yapı açıkça görülmekte olup dış kısımdaki alüminyuma bağlı kristalin yapı piki görülmektedir. Şekil 4.32 köpük kaplı PVC numunesine ait XRD spektrumu olup PVC yapıdan kaynaklanan amorf ve kristalin bölgeler açıkça görülmektedir. Katkı olarak kullanılan kalsit piki ( $d=3.036 \text{ \AA}$ ) açıkça görülmektedir. Şekil 4.33 ve 34 sırası PE'den yapılmış yeşil ve turuncu tesa band numunesine ait XRD spektrumudur. Yapı tamamen amorf görülmektedir. Şekil 4.35 numunesi PET'den yapılmış elyaf tozu numunesine ait XRD spektrumudur. Elyaf yapıdaki PET amorf yapıda olduğundan ve lineer yapısından dolayı geniş ve  $2\theta$  civarında maksimumu olan dört amorf pik mevcuttur. Şekil 4.36 atık tutkal numunesine ait XRD

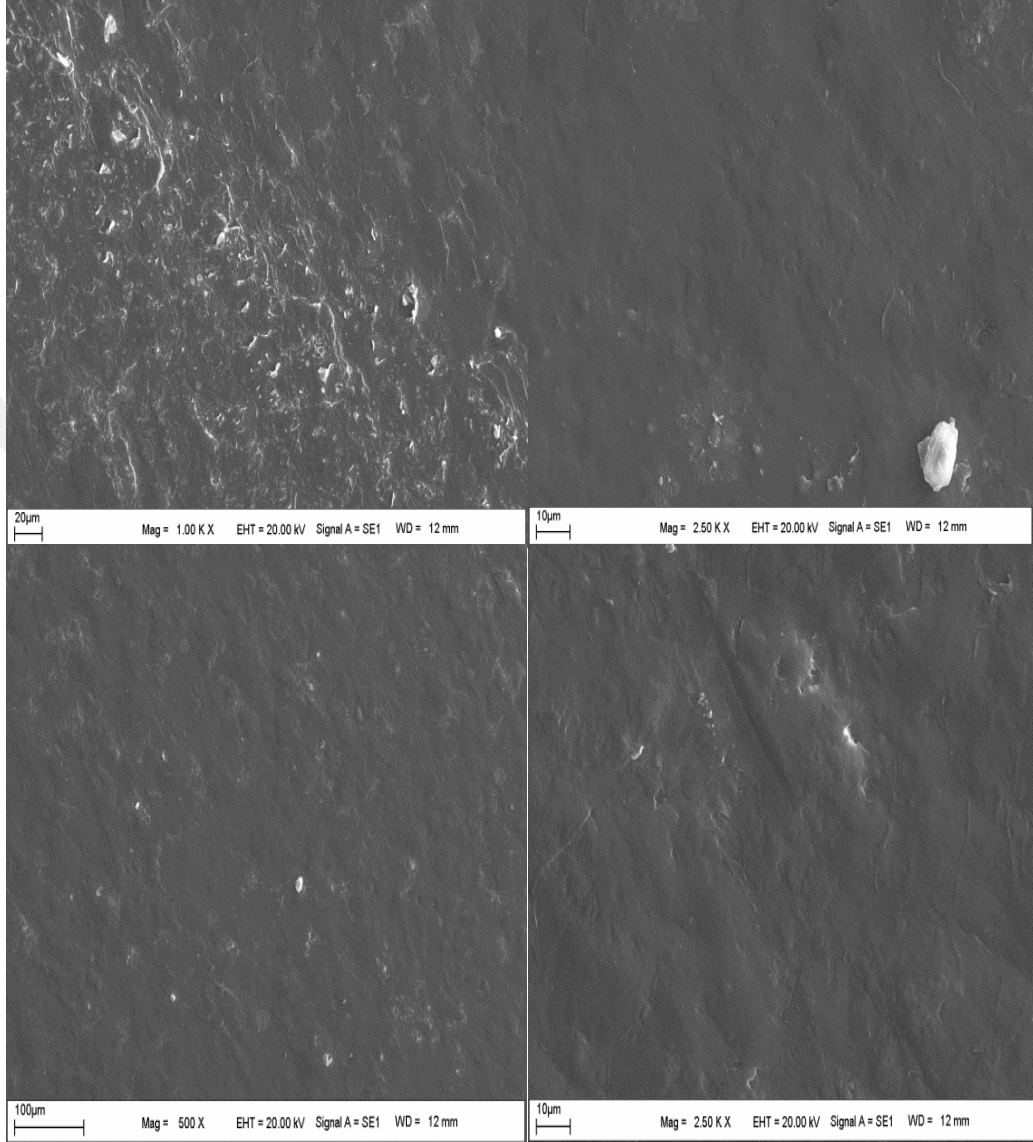
spektrumudur. Tutkal akrilat temelli olduğu için kısmen amorf büyük oranda kristalin yapı görülmektedir. Şekil 4.37 ve 38 sırası ile beyaz etiket kağıdı ve sarı etiket kağıdı arkası numunesine ait XRD spektrumlarına aittir. Şekil 4.39 PP'den yapılmış çuval çember numunesine ait XRD spektrumu olup 4 farklı amorf yapı mevcuttur. PP boya katılıp sert belli kalınlıkta malzemeye dönüştürüldüğünde farklı makromoleküler yapılar oluşmaktadır. Boya çok fazla kullanıldığında ve bu tür boyalar inorganik ağır metal temelli olduklarından kısmen kristalin piklerde görülmesi normaldir. Şekil 4.40 PET'den yapılmış atık spunlace numunesine ait XRD spektrumudur. Bu malzeme ıslak mendil benzeri bir malzeme olup inorganik katkı içeriği çok azdır (kül % 0.62). 4.41 ve 4.51 2θ civarında iki amorf yapı mevcut olup kül içeriğine bağlı olarak kalsite ait şiddeti küçük kristalin pik de mevcuttur. Şekil 4.41 dışı kağıt içerişi PP'den yapılmış torba numunesine ait XRD spektrumudur. Selüloza ait hem kristalin hemde amorf bölgeler açıkça görülmektedir. Sadece kağıt kısmın XRD spektrumu alındığı için PP'de amorflik görülmemiştir. Şekil 4.42 PET'den yapılmış C-bant takozu numunesine ait XRD spektrumudur. PET'in amorf yapısı açıkça görülmektedir. Kalsit içerdiği açıkça görülmektedir ( $d=3.036 \text{ \AA}$ ). Şekil 4.43 alkol cürufu numunesi olup alkol uzaklaştığı için geri kalan tüm kirliliklerin amorf yapıda olduğu görülmektedir. Kullanıldığı yer itibarıyla (mürekkebi seyreltmek ve tankların temizliği için) Şekil 4.44 klişe cürufu numunesine ait XRD spektrumu olup 4 farklı amorf yapı görülmektedir. Bunun nedeni bu bölümde mürekkep atığı yanında sentetik kauçuk ve diğer polimerlerin tozlarının kalıntıları olabilir. Şekil 4.45, 46 ve 50 sırası ile kirli ve yağlı bez ile beyaz ADL PET numunesine ait XRD spektrumlarıdır. Kullanıldıkları yer itibarıyla amorf yapı malzemeleri ortamdan aldıkları ancak malzemenin kendisinde PET olduğu düşünüldüğünde sonuç beklenen sonuçtur. Şekil 4.47 yeşil renkli ADL numunesine ve 4.50 beyaz ADL numunesine ait XRD spektrumlarıdır. Benzer spektrumlar olmakla beraber kül değerleri de dikkate alındığında yeşil rengin yapısı dikkate alındığında kristalin bölgelerde mevcuttur. Şekil 4.48 PET'den yapılmış C-bant numunesine ait olup kül değeri oldukça düşüktür ve PET'in hem amorf hem de kristalin yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 4.51 TBS numunesine ait olup PP-PE ve sentetik kauçuk numunesine ait olup yapı tamamen amorfudur. Ancak yapıdaki katkı olarak mevcut kalsit piki açıkça görülmektedir. Şekil 4.49, 54 ve 55 PP'den yapılmış malzeme olup esnek kulakçık numunesine ait olup 4 farklı amorf bölge görülmektedir. Isıl

işlem esnasında PP içerisindeki farklı molekül ağırlığına sahip makromoleküler yapılara dönüşmektedir. Şekil 4.50 PP+PE+Sentetik Kauçuk karışımı olup %11,66 kalsit içermektedir. Polimere ait amorf yapı ve kalsite ait tipik pikler açıkça görülmektedir. Şekil 4.52 PP ve sentetik kauçuk karışımı malzeme olup sentetik kauçuğa ait şekil 4.1 ve PP'ye ait 4.49 ile benzerlik göstermektedir. Malzeme kül içeriği %0.29 değerindedir. Şekil 4.53 PE+PET+Sentetik Kauçuk karışımı malzeme olup ağırlıklı olarak PE ile PET içermektedir. Bunun sonucu amorf yapı açıkça görülmekte olup %16.61 kül içeriğine bağlı kalsitten dolayı pik görülmektedir. Şekil 4.56'da filte numunesine ait XRD izleri görülmektedir. Kalsite ait pik açıkça görülmektedir.



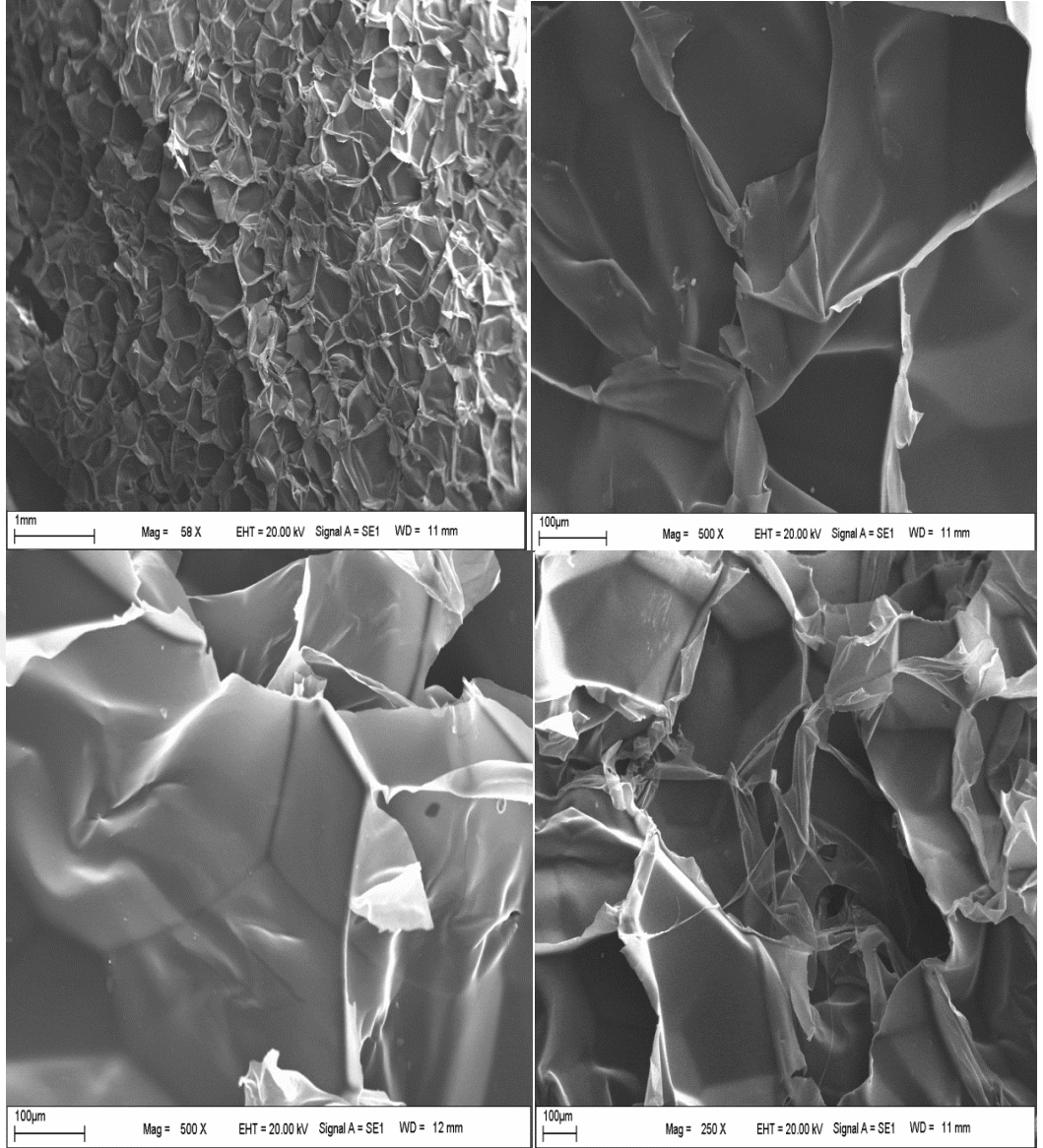
#### 4.4. Atık Polimerlerin SEM Analizi Sonuçları

Atık polimerlerin ve diğer malzemelerin yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan SEM analizi sonuçları Şekil 4.57-84'de verilmiştir.



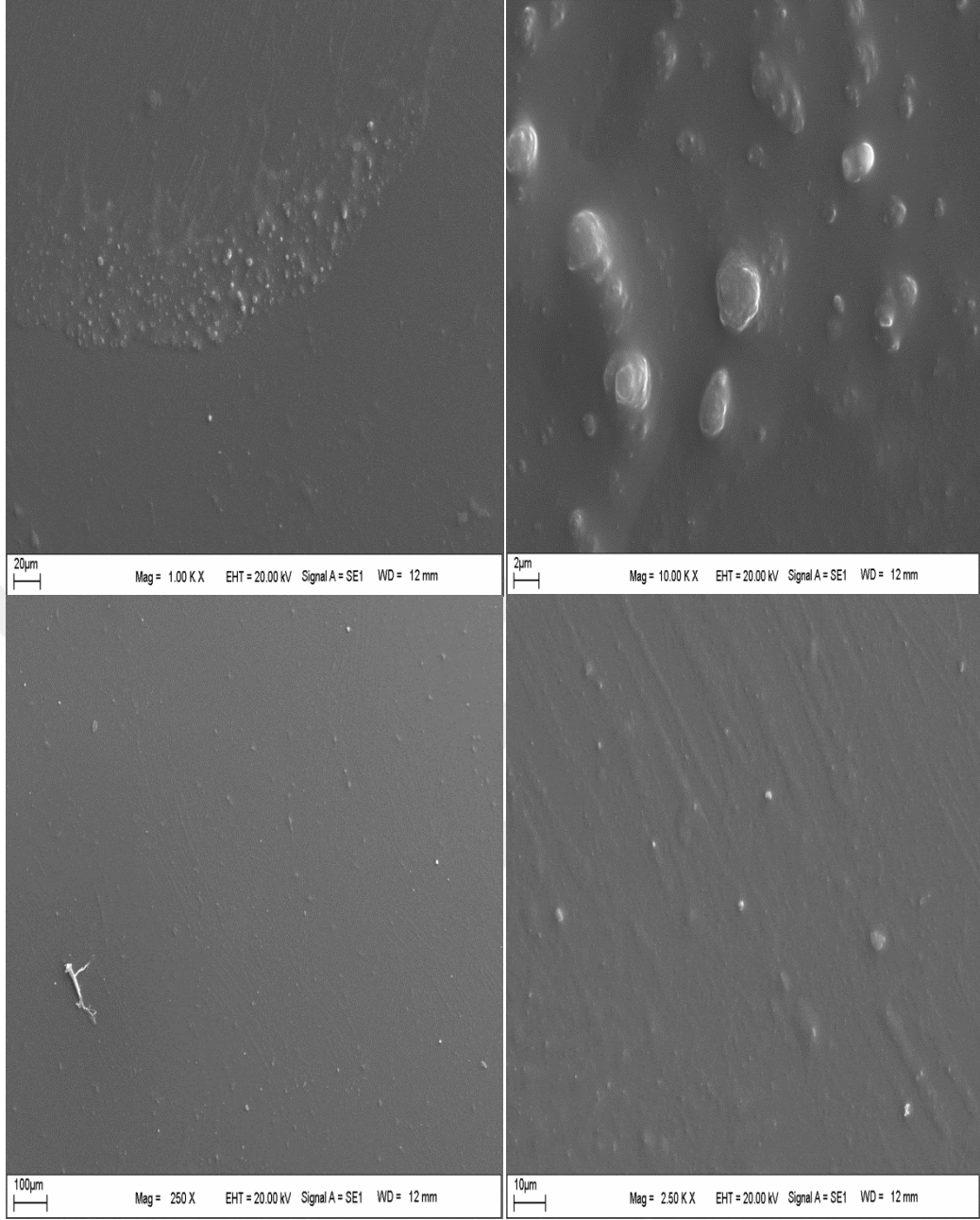
Şekil 4.57. Kliše Numunesi (Fotopolimer Kauçuk) SEM Görüntüleri

Şekil 4.57 Polimerize düşük molekül ağırlıklı akrilatlar, plastikleştiriciler, foto başlatıcılar, stabilizatörler ve renk verici maddeler içeren fotopolimer kauçuğa ait SEM görüntüsüdür. Yapısı gereği oldukça homojen bir yapı görünmektedir.



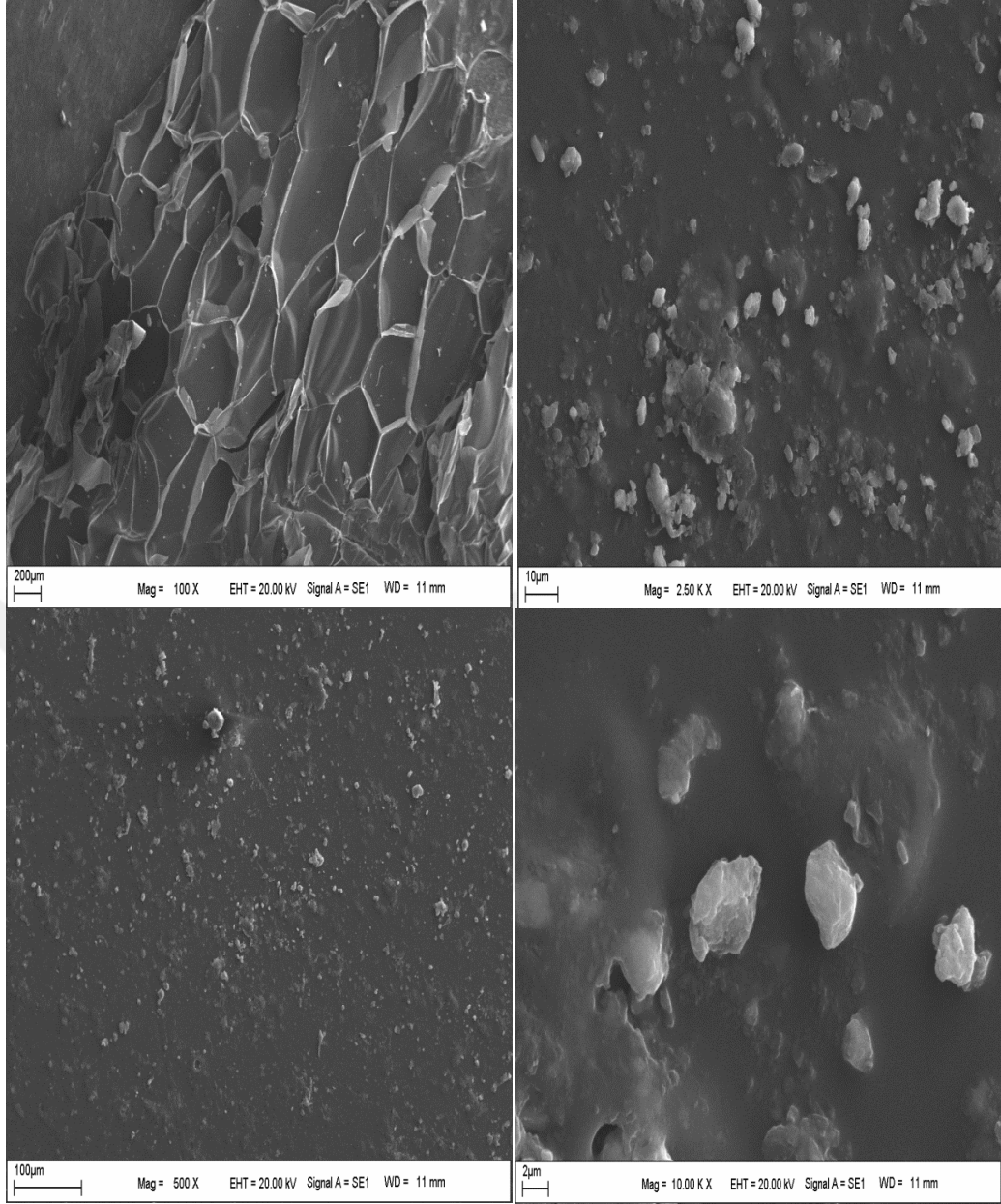
Şekil 4.58. Dış Cephe Kaplama Köpük Numunesi(EPS) SEM Görüntüleri

Şekil 4.58 dış cephe kaplama köpük numunesi olup polistirenden yapılmış genişleyebilen (expandable PS, EPS) olarak adlandırılır. SEM görüntüleri literatür ile uyum içerisinde olup bal peteği görünümündedir. Numune atık olduğu için petek yapının deformasyona uğradığı görülmektedir. Petekler arasındaki ince duvarlı polistiren yapı belirgindir.



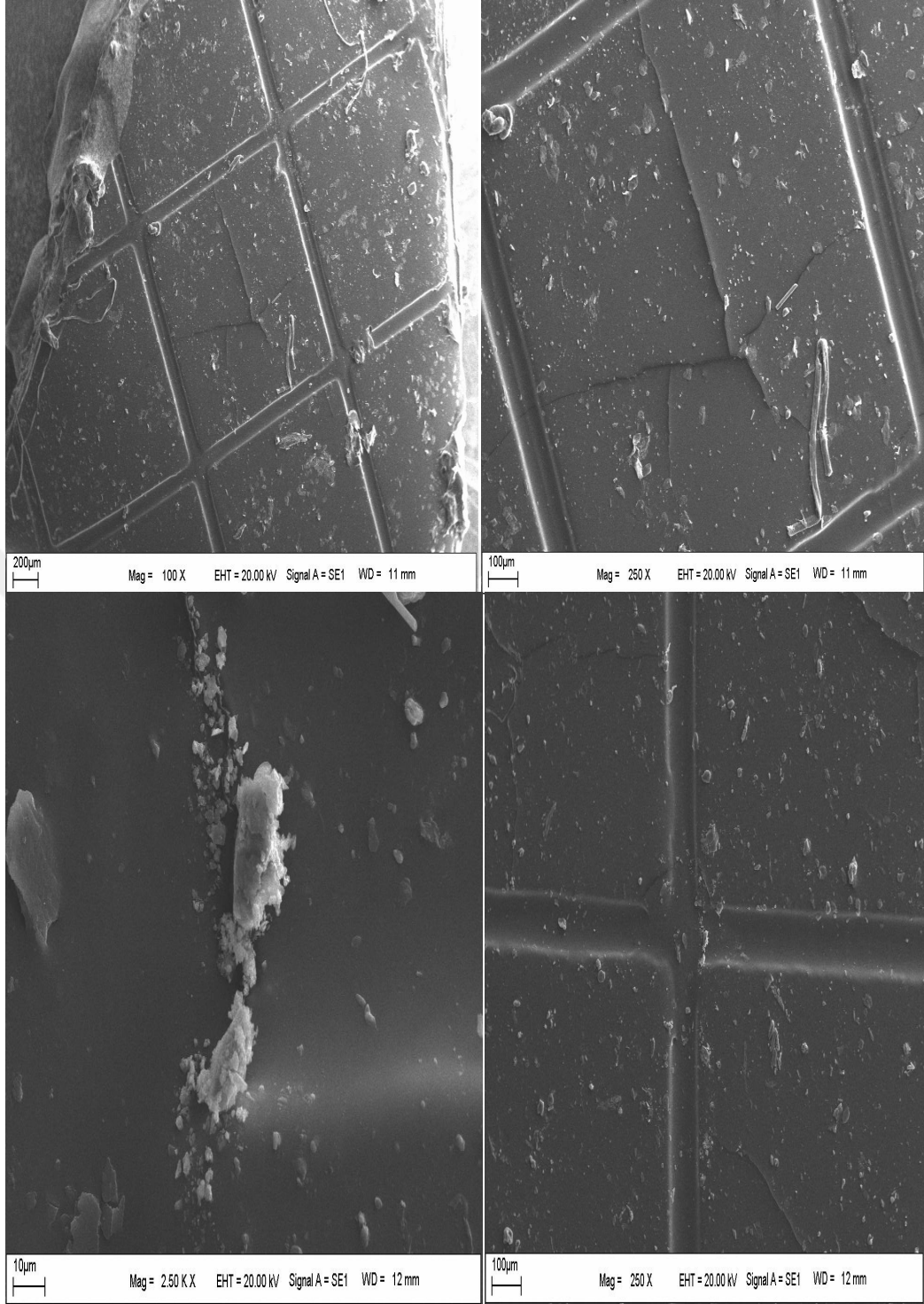
Şekil 4.59. Eco Hammadde Torbası Numunesi(Dışı Alüminyum iç kısmı PE)  
SEM Görüntüleri

Şekil 4.59 PE Eco hammadde torbasına ait SEM görüntüsü olup kalsit katkılıdır. Kül değeri % 16,33 değerindedir. SEM görüntülerinde kalsit partikülleri açıkça görülmekte olup tane boyutu farklılıklar göstermektedir. Ancak PE içerisinde kısmen homojen dağıldığı görülmektedir.

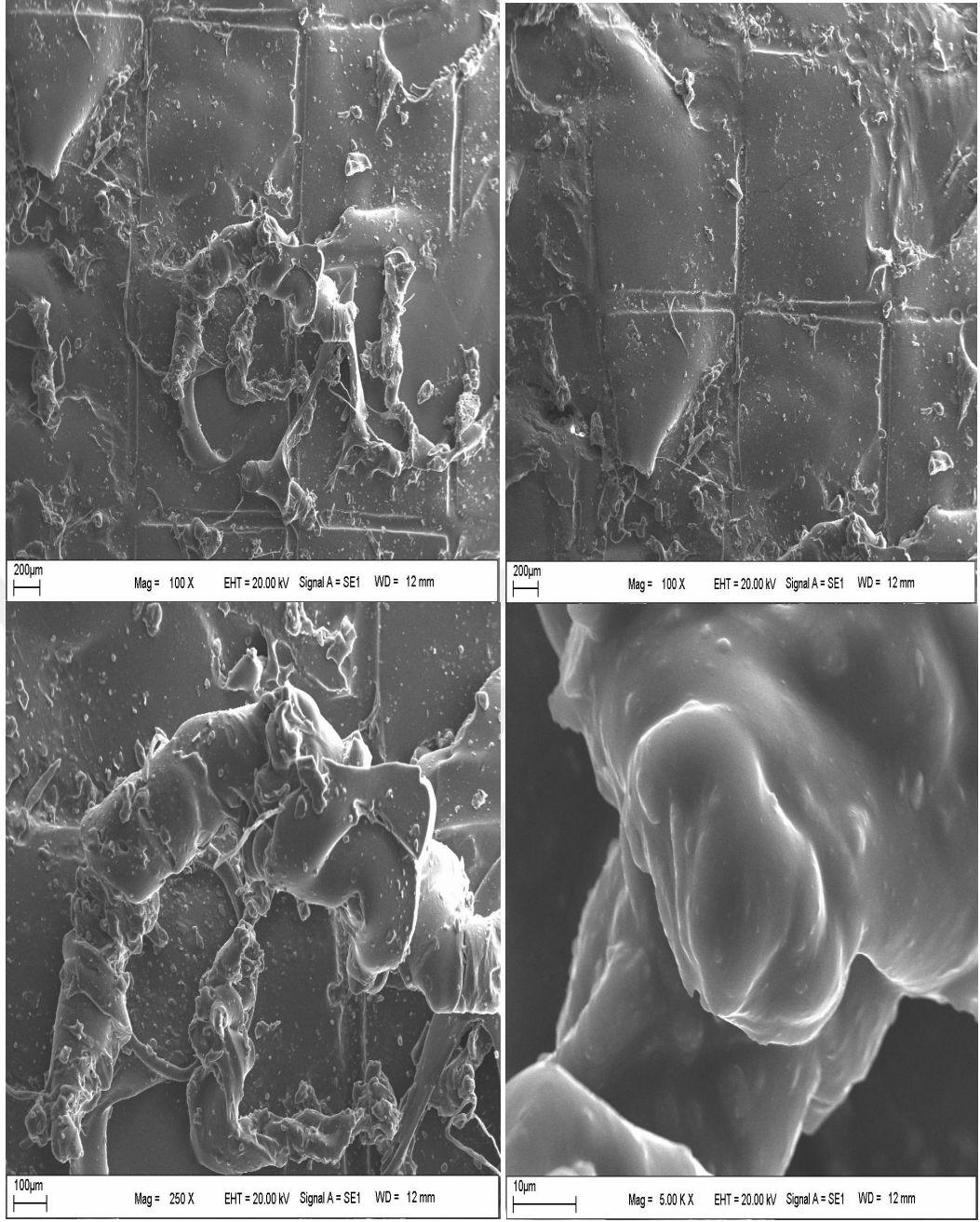


Şekil 4.60. Köpük Dışındaki Koruyucu Numunesi(PVC) SEM Görüntüleri

Şekil 4.60 taşınması kolay olsun diye köpük dışına konulan PVC ait SEM görüntüsü olup yüzeyinde EPS kalıntıları açıkça görülmektedir. PVC malzemenin diğer kısımlarında diğer polimer kalıntıları ve bunların içerisindeki kalsit partikülleri görülmektedir. Kül değeri % 35,27 olup oldukça yüksek bir değerdedir. Kalsit dışında odunun yapısında bulunan  $K_2O$  ve  $Na_2O$  kimyasalları da kül değerini artırmıştır.

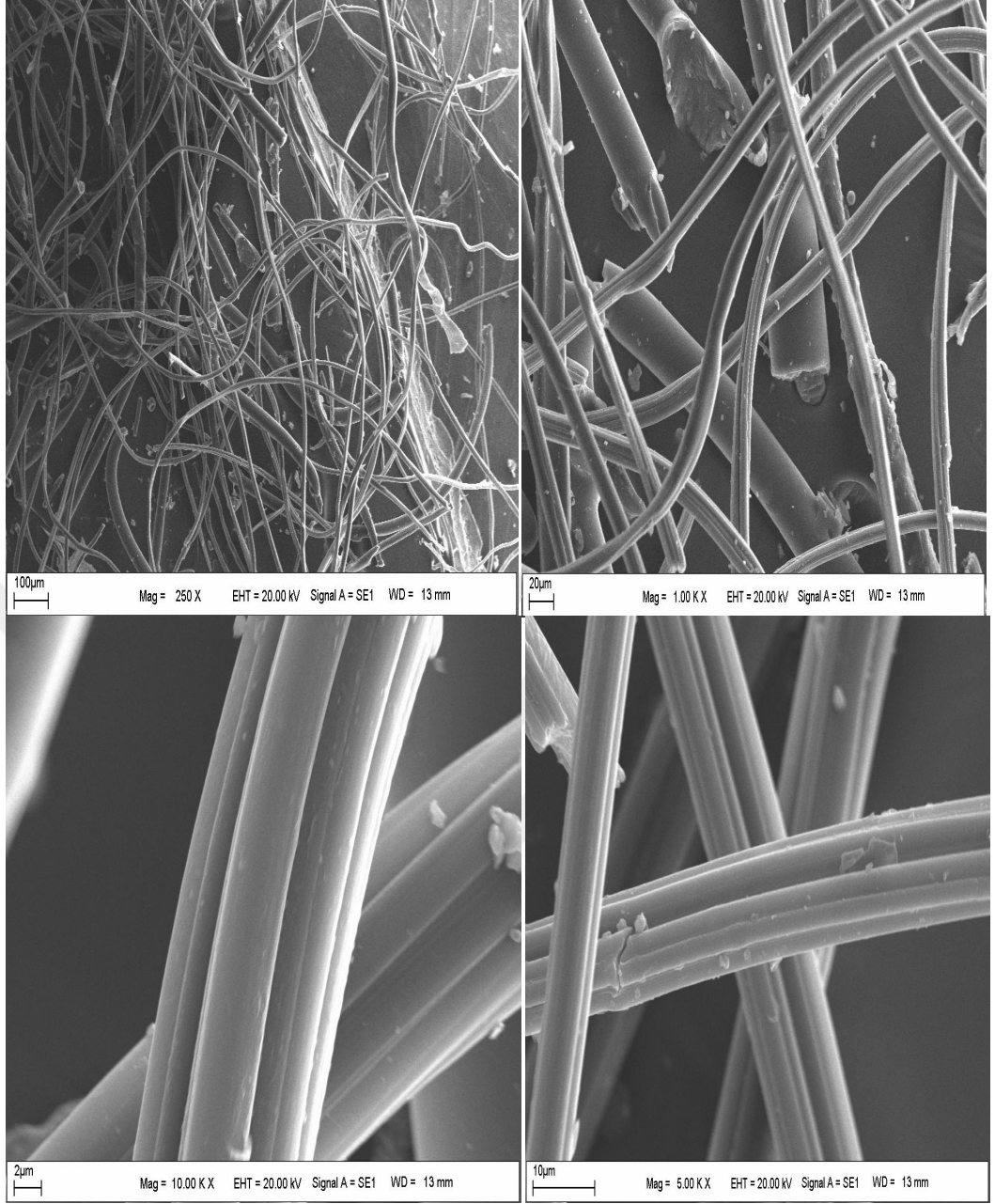


Şekil 4.61. Yeşil Klişe Bandı Numunesi (PE+PET) SEM Görüntüleri



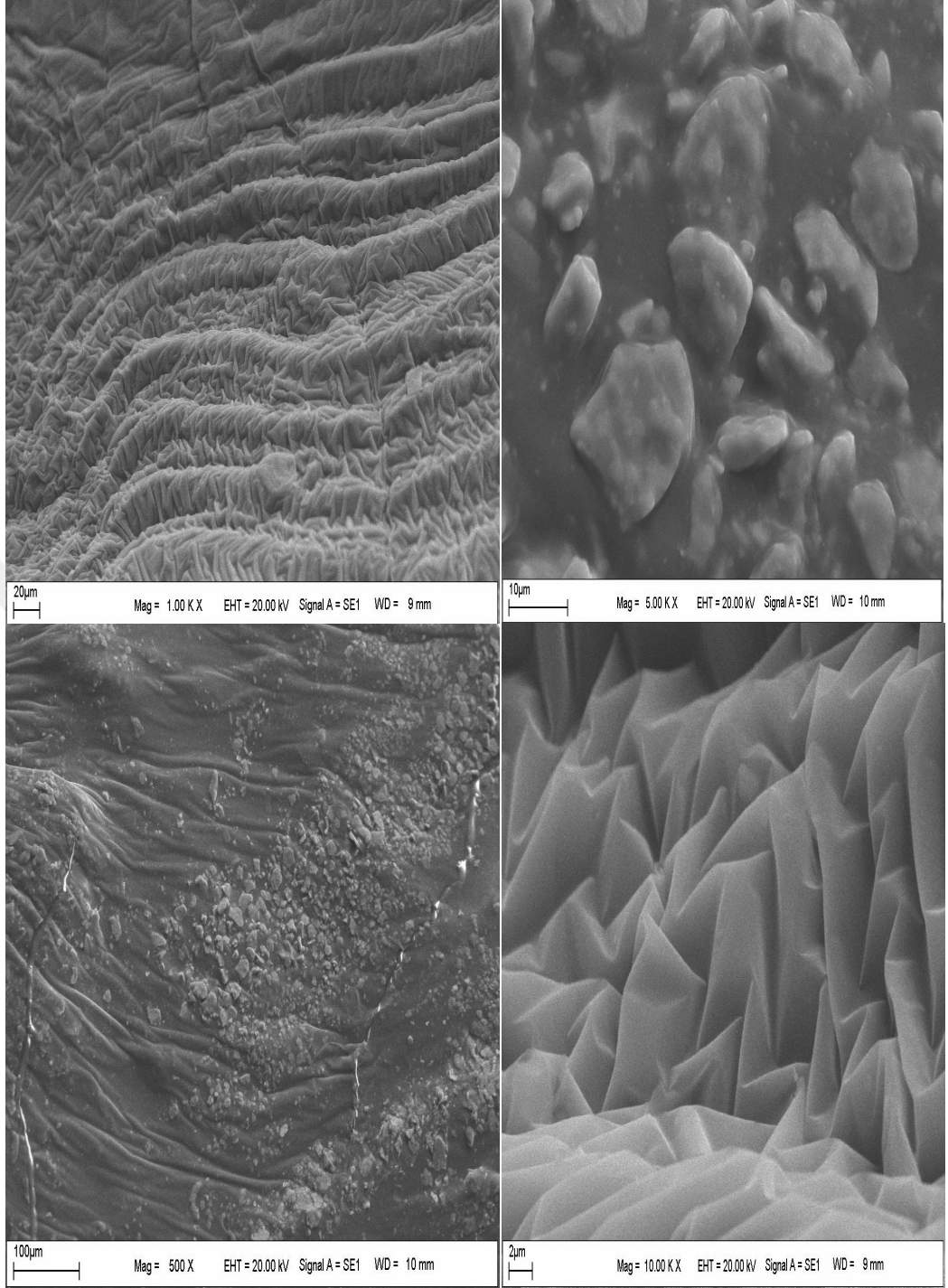
Şekil 4.62. Turuncu Klişe Bandı Numunesi (PE+PET) SEM Görüntüleri

Şekil 4.61-62 sırası ile yeşil ve turuncu klişe band numunesine ait SEM görüntüleridir. Her iki numune arasındaki tek fark renk farkı olup malzeme PE+PET karışımıdır. SEM görüntülerinde her iki polimer ayrı fazlar şeklinde yapısal olarak ayrılmış durumda görülmektedir. Homojen bir karışım olmamakla beraber yapısal bir uyum söz konusudur. Polimerler birbirleri üzerine yapışmış durumdadırlar.



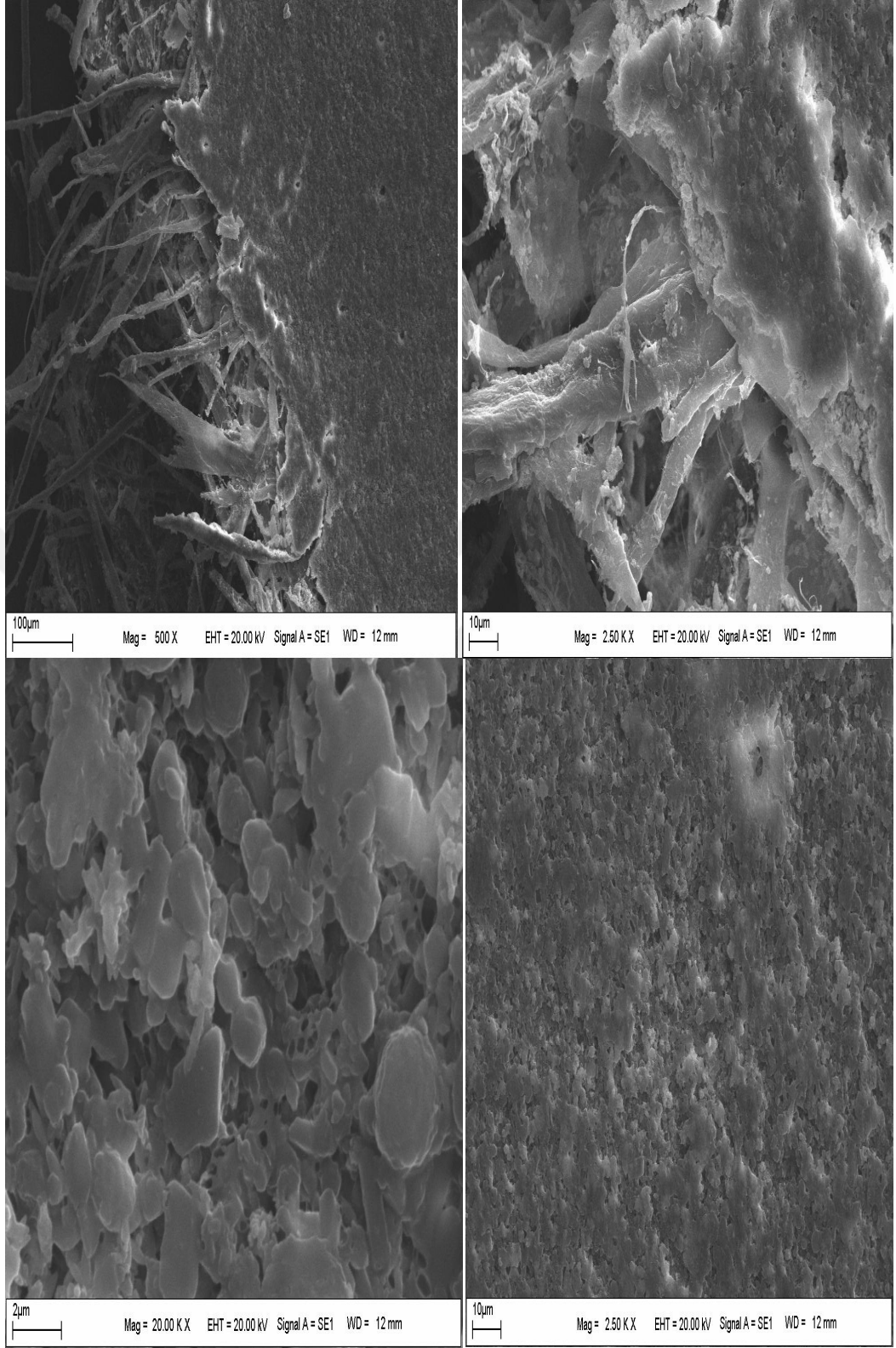
Şekil 4.63. Elyaf Tozu Numunesi (PET) SEM Görüntüleri

Şekil 4.63 PET elyafdan elde edilmiş toz numunesine ait SEM görüntüsüdür. SEM görüntüsünden PET elyaflar açıkça görülmektedir. Elyaf kalınlıkları homojen olmayıp farklı çaplara sahiptirler. Ancak öğütülme sonucu elyaf yapı çok küçük parçalara ayrılmamıştır. Elyaf parçacıklarının kopma noktalarında gelişigüzel kopmaların olduğu görülmektedir.

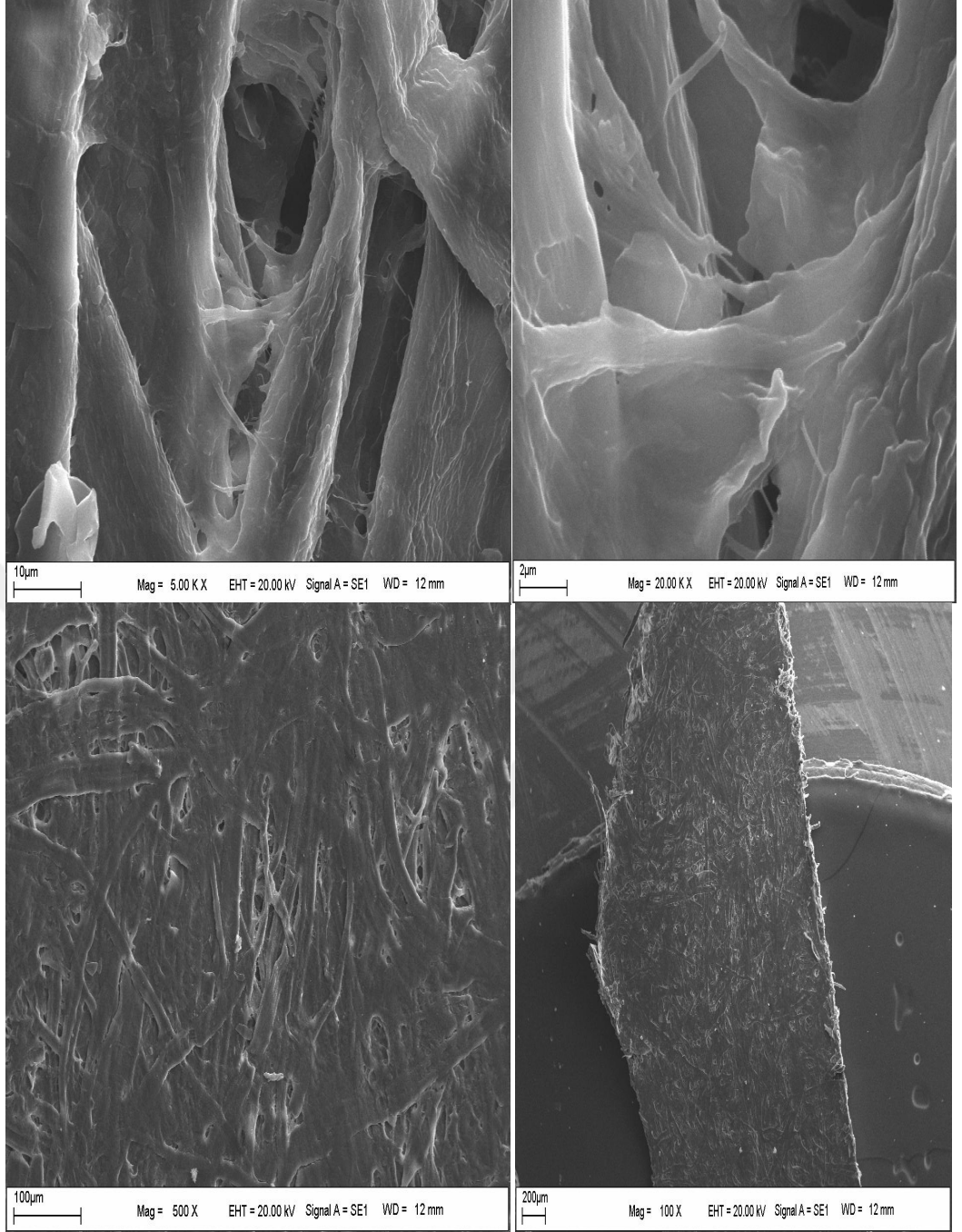


Şekil 4.64. Atık Tutkal Numunesi(Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri

Şekil 4.64 atık tutkal numunesine ait SEM görüntüleridir. Kül değeri % 0,01 değerinde olup yapıştırıcı içerisinde katkı olmadığı görülmektedir. Yapışma aşamasında bu durumu sağlayacak yapısal birimler açıkça görülmektedir.

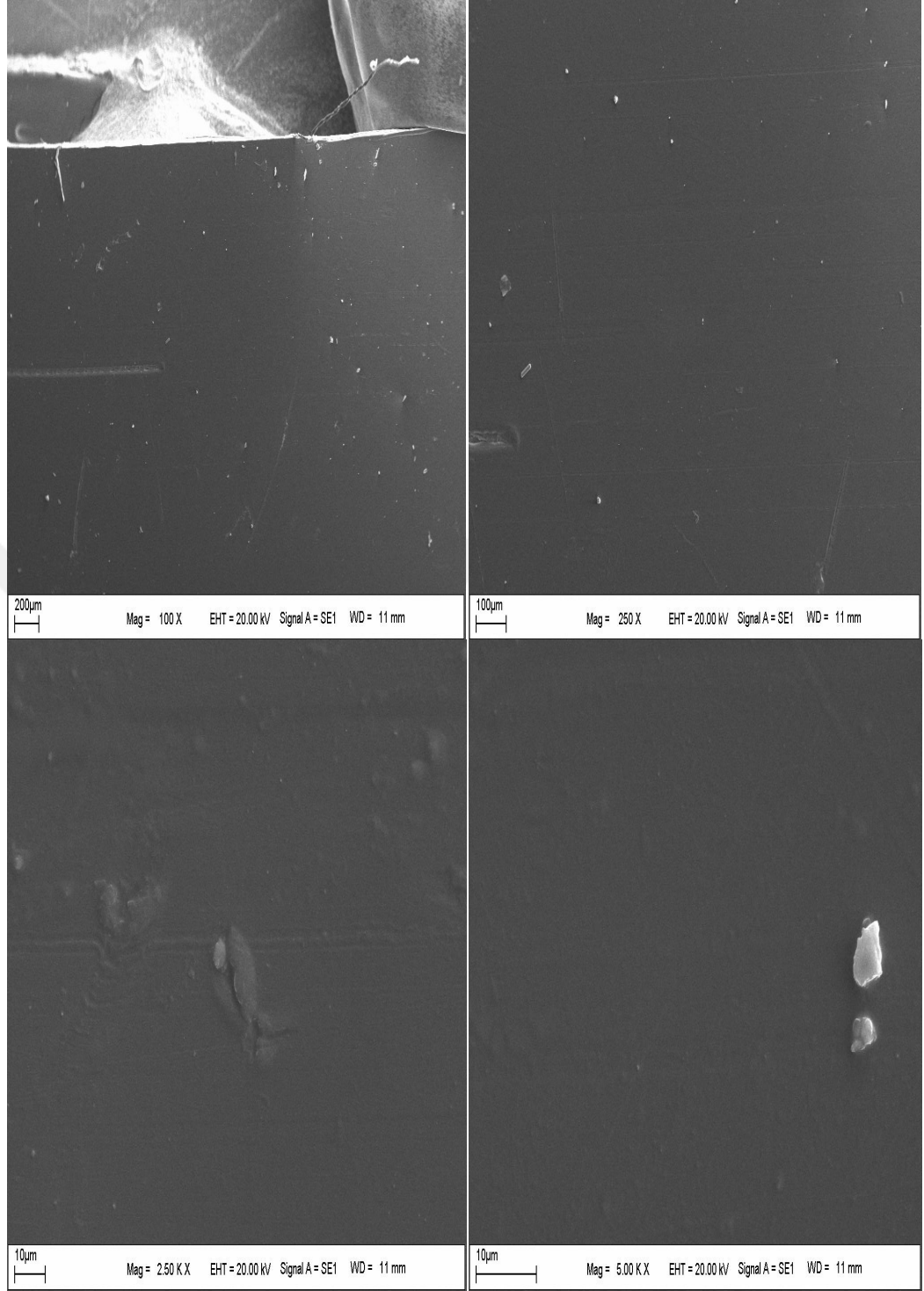


Şekil 4.65. Beyaz Etiket Kağıdı Numunesi(Selülozik Kağıt) SEM Görüntüleri



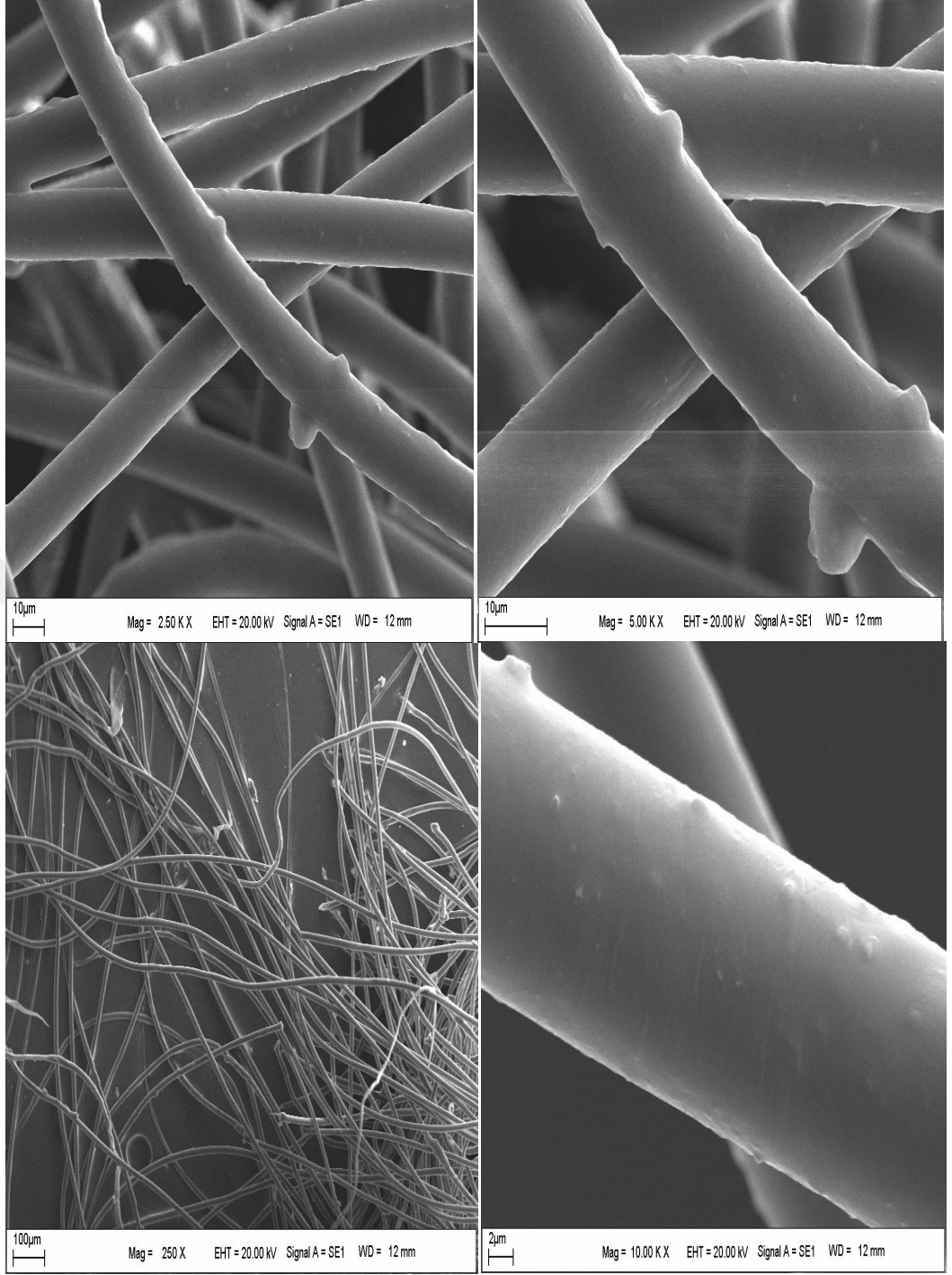
Şekil 4.66. Sarı Etiket Arkası Kağıt Numunesi(Pergamin Kağıt) SEM Görüntüleri

Şekil 4.65-66 sırası ile beyaz ve sarı etiket kağıt numunelerine ait SEM görüntüleridir. Her iki numune benzer SEM görüntülerine sahiptir. Polimerik temelli kağıt oldukları için kağıdın tabakaları arasında boşluklar görülmektedir.



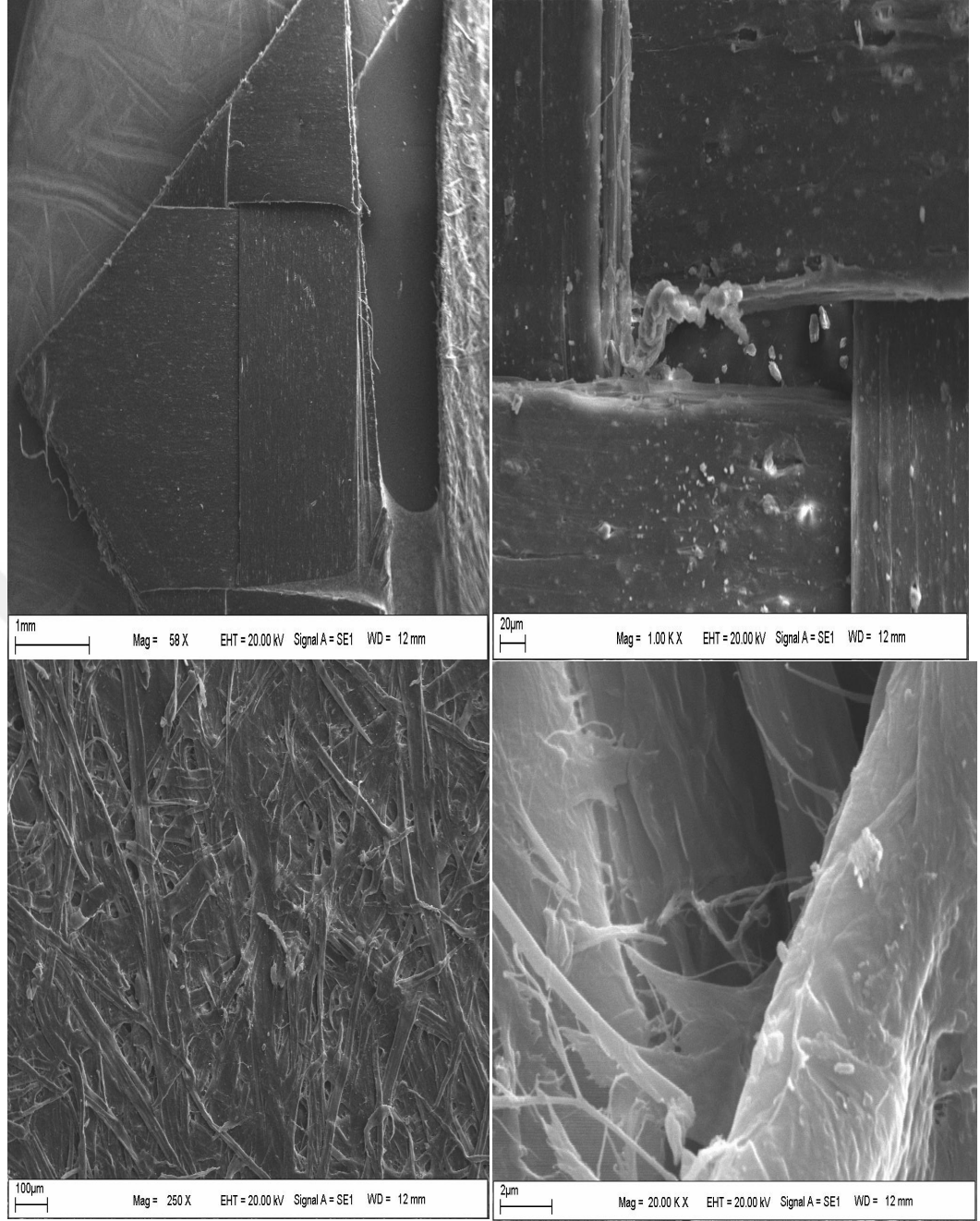
Şekil 4.67. Çuval Çemberi Numunesi(PP) SEM Görüntüleri

Şekil 4.67 PP çuval çemberi numunesine ait olup katkı içermemektedir. (kül değeri % 0.05) Yapısal olarak oldukça homojen bir yapı söz konusudur. Yüzeyle gözlenen kirlilikler sonradan yapıya bulaşmış kirliliklerdir.



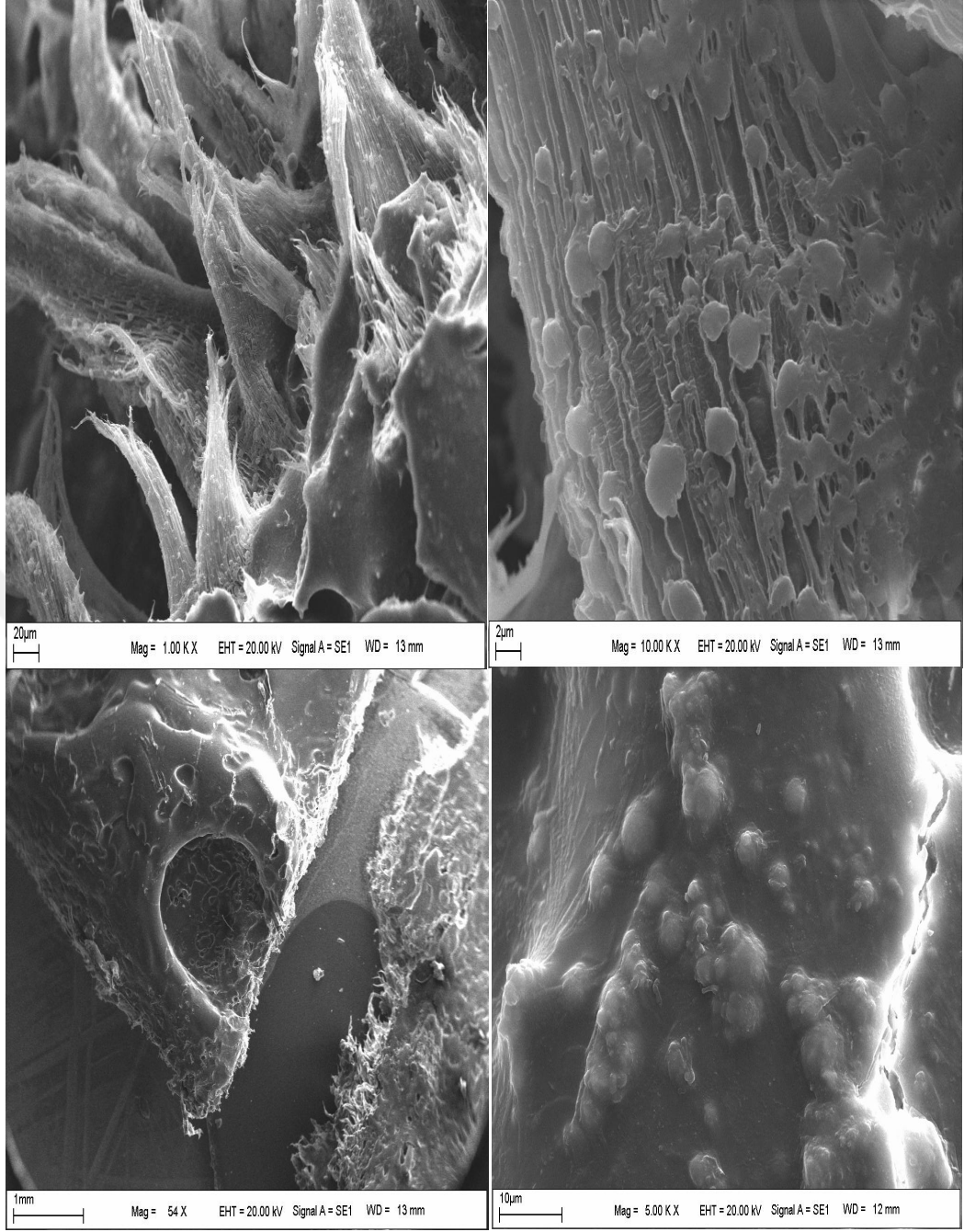
Şekil 4.68. Atık Spunlace Numunesi (PET) SEM Görüntüleri

Şekil 4.68 PET atık spunlace numunesine ait SEM görüntüsüdür. Malzeme elyaf yapısında olup elyafların çapları oldukça homojene yakındır. Elyaflarda kırılma söz konusu değildir.



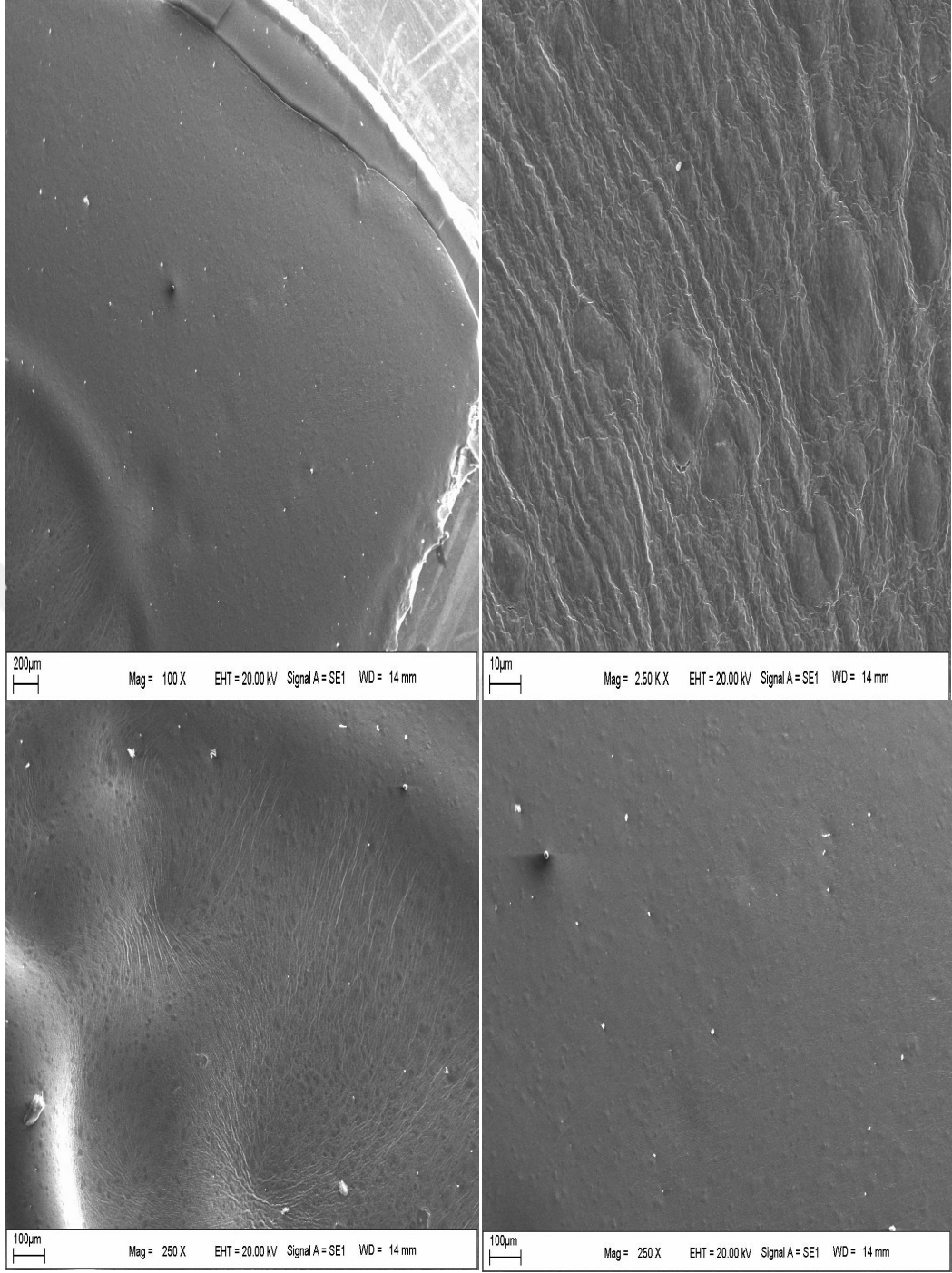
Şekil 4.69. BZ Hammadde Torbası Numunesi (PP+Kraft Kağıt) SEM Görüntüleri

Şekil 4.69 başta çimento olmak üzere birçok endüstride içerisinde daha çok tozlaşabilen madde konulan ambalaja ait SEM görüntüsüdür. Dış kısmı kağıt olup iç kısım çoğunlukla PP'den imal edilmiş malzemedir. Kağıt (karton) kısım içerisinde kısmen hava boşluğu kalmış kabarık bir görüntüye sahipken PP polimere ait iç kaplama oldukça ince tabakalı bir yapıya sahiptir. Kağıt ile polimer arasında herhangi bir yapışma benzeri etkileşim söz konusu değildir.



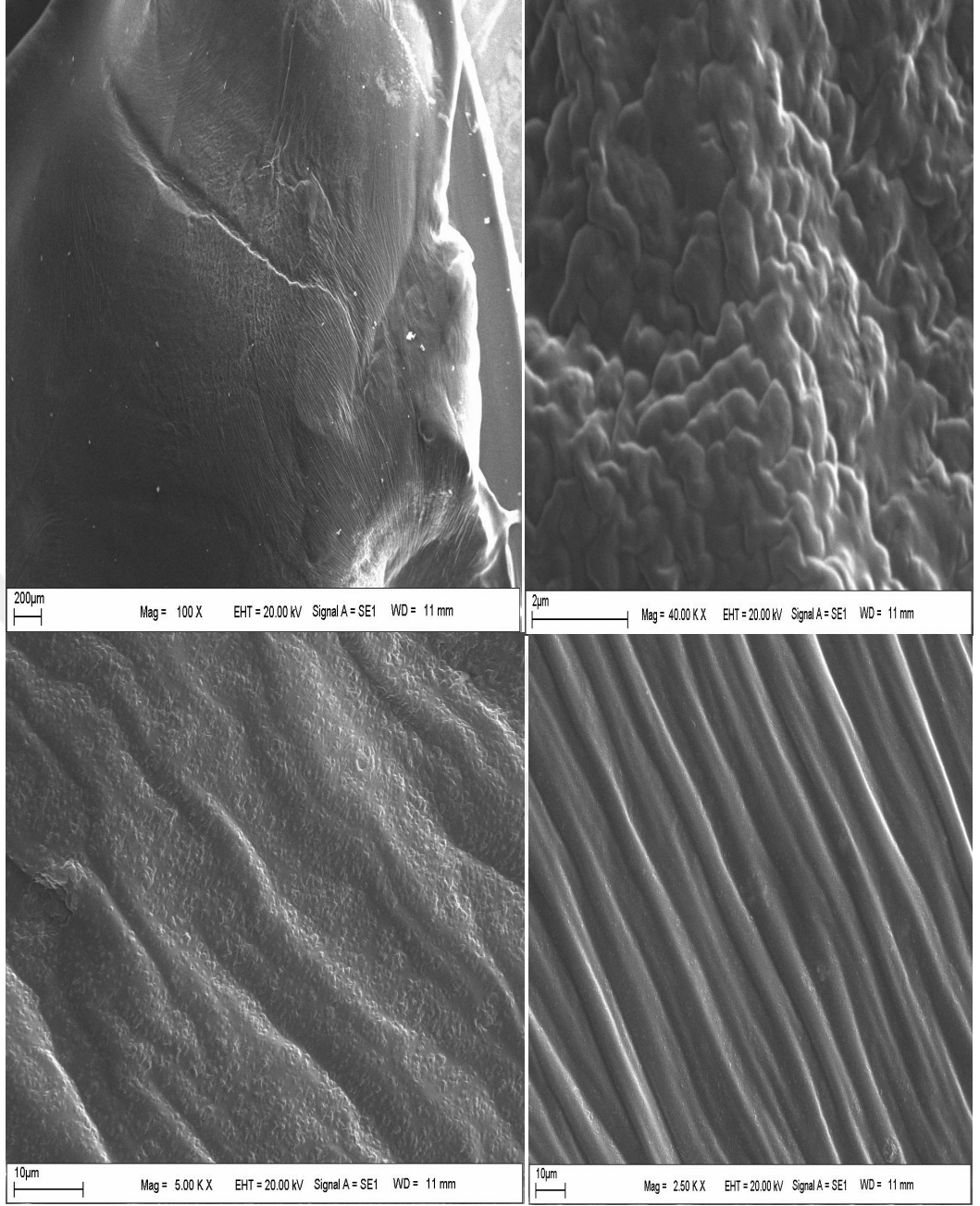
Şekil 4.70. C Bant Takozu Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri

Şekil 4.70 bebek bezinde ön kısımda mini yan bantların yapıştırıldığı kısmın geri dönüştürülürken katı şekilde kalan ve PET içerikli malzemenin SEM görüntüsüdür. Kül içeriği yüksek olup (%15,53) polimerin içerisinde ve yüzeyinde ayrı bir faz şeklinde görülmektedir. Katkı inorganik olup kalsit yapısındadır.



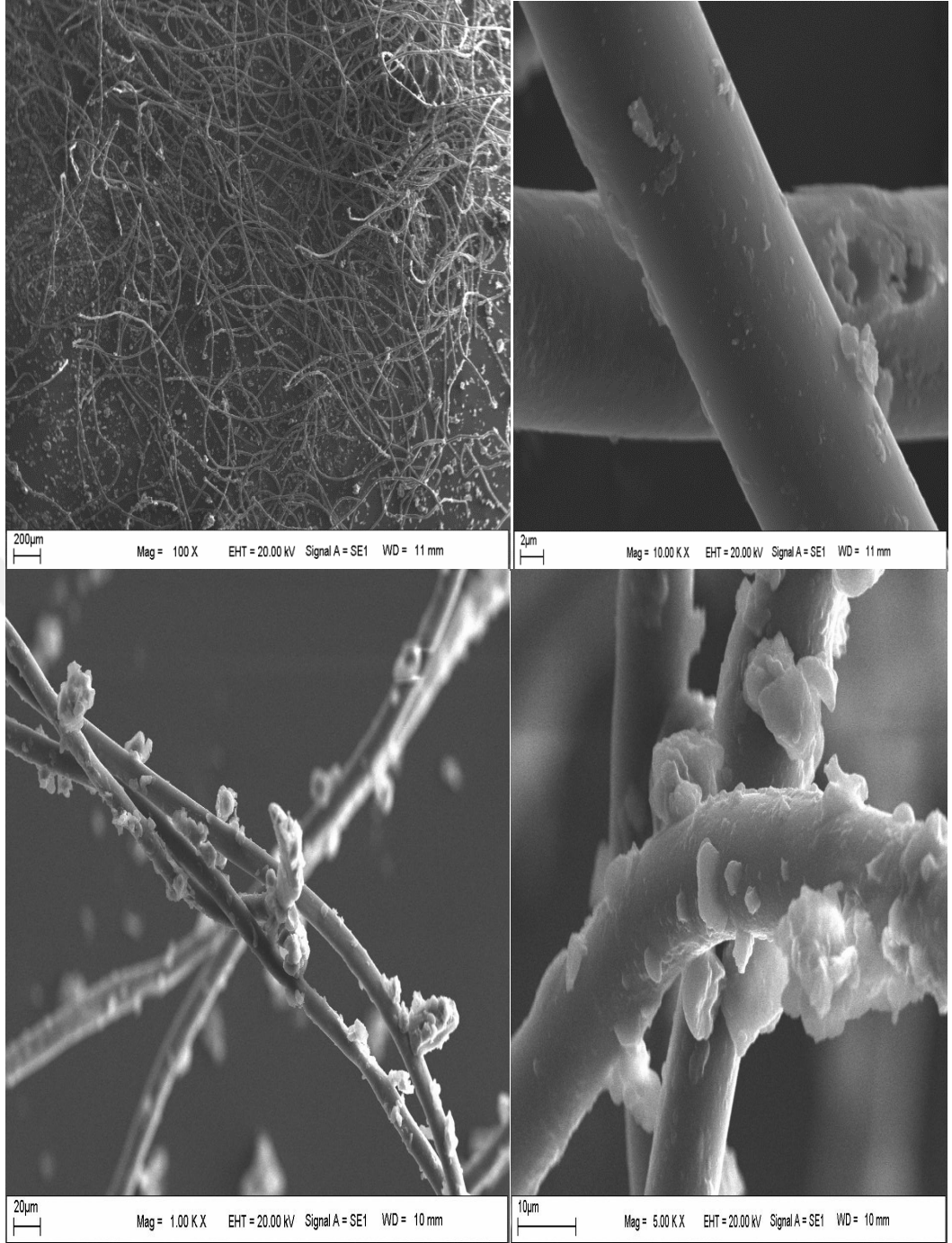
Şekil 4.71. Alkol Curufu Numunesi(Etil alkol ile mürekkep seyreltmek ve tankların temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) SEM Görüntüleri

Şekil 4.71 alkol kullanılarak temizleme yapıldıktan sonra alkolün uzaklaşması sonucu kalan numunenin SEM görüntüsüdür. Kül değeri % 7,07 olup temizlenen malzemeler farklı fazlardan oluşmaktadır. PP, PET ve PE vb diğer atıkların karışımı olduğu şeklinde yorumlanabilir.



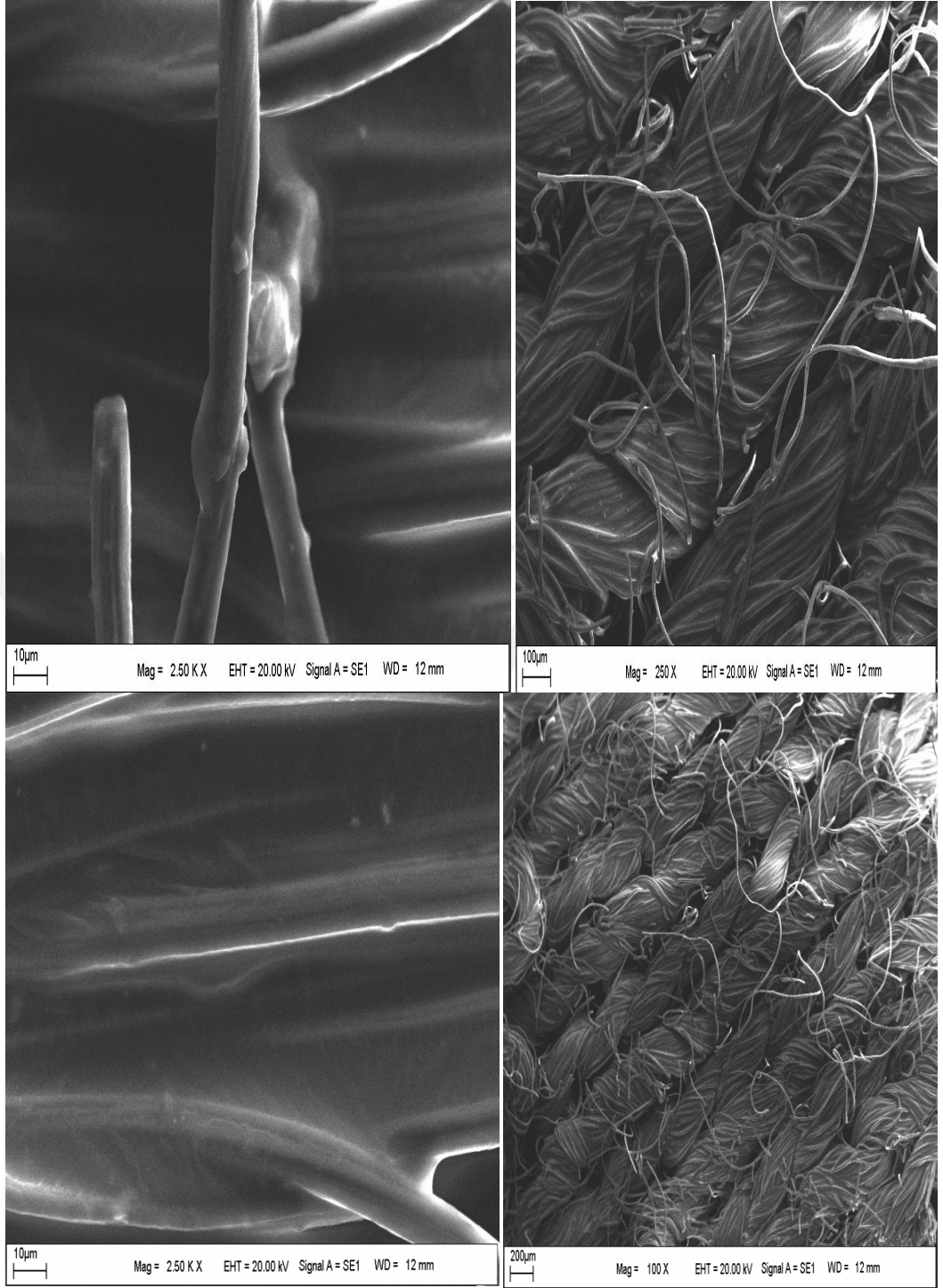
Şekil 4.72. Klişe Curufu Numunesi (Solvent ile klişe temizlenmesi sonucu kalan kalıntı) SEM Görüntüleri

Şekil 4.72 atık klişelerden geriye kalan cürufa ait SEM görüntüsüdür. Foto polimer olup ana malzeme kauçuktur. Kül değeri % 0,00'dır. SEM görüntüsü oldukça homojen yapı göstermektedir. Kirlilik içermediği açıkça görülmektedir.



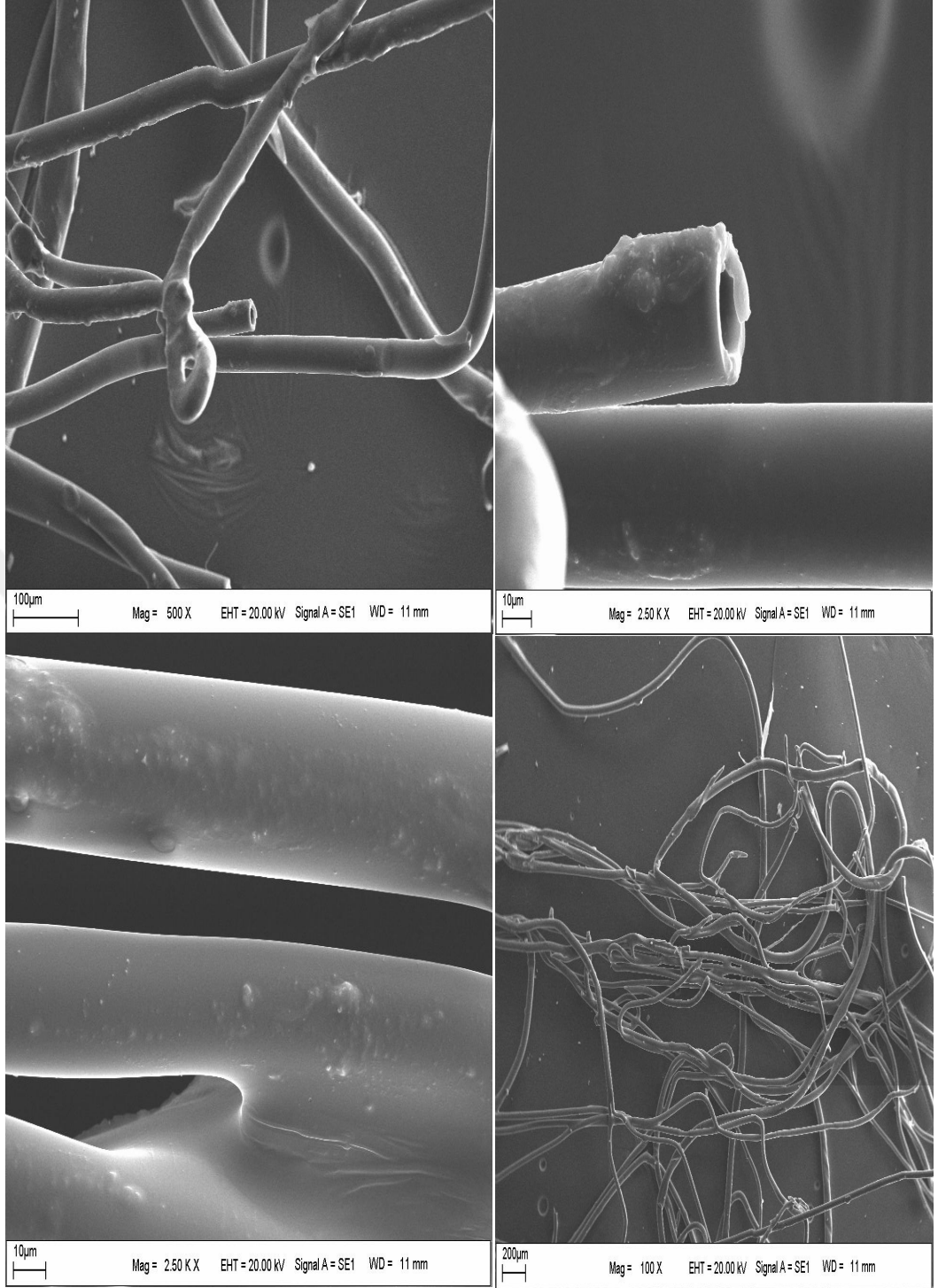
Şekil 4.73. Kirli Bez Numunesi(PET) SEM Görüntüleri

Şekil 4.73 temizlik için kullanılan polimerik beze ait SEM görüntüsüdür. Homojen çapta elyaf yapı açıkça görülmekte olup elyaf üzerine yapışmış kirlilikler de açıkça görülmektedir. Ortamdan toplanmış kirliliklerden kaynaklanan inorganik yapılar % 2.54 kül değerine sebep olmuştur.



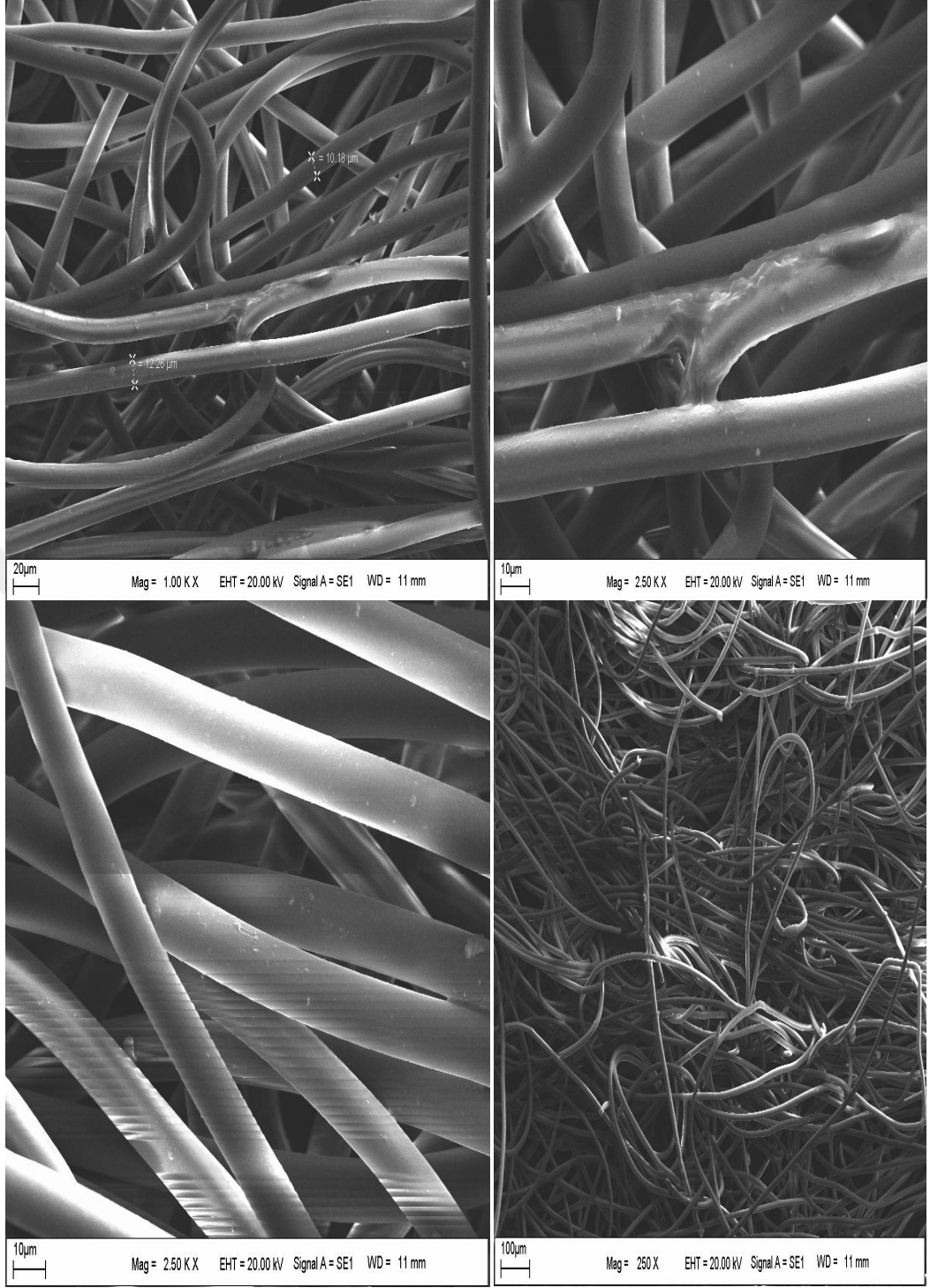
Şekil 4.74. Yağlı Bez Numunesi(PET) SEM Görüntüleri

Şekil 4.74 yağlı kirlilikleri temizlemek amacıyla kullanılan beze ait SEM görüntüsü olup homojen polimerik lifler açıkça görülmektedir. Yağın lif yüzeyine yapışması sonucu yapısal bütünlük taşıdıkları açıkça görülmektedir.



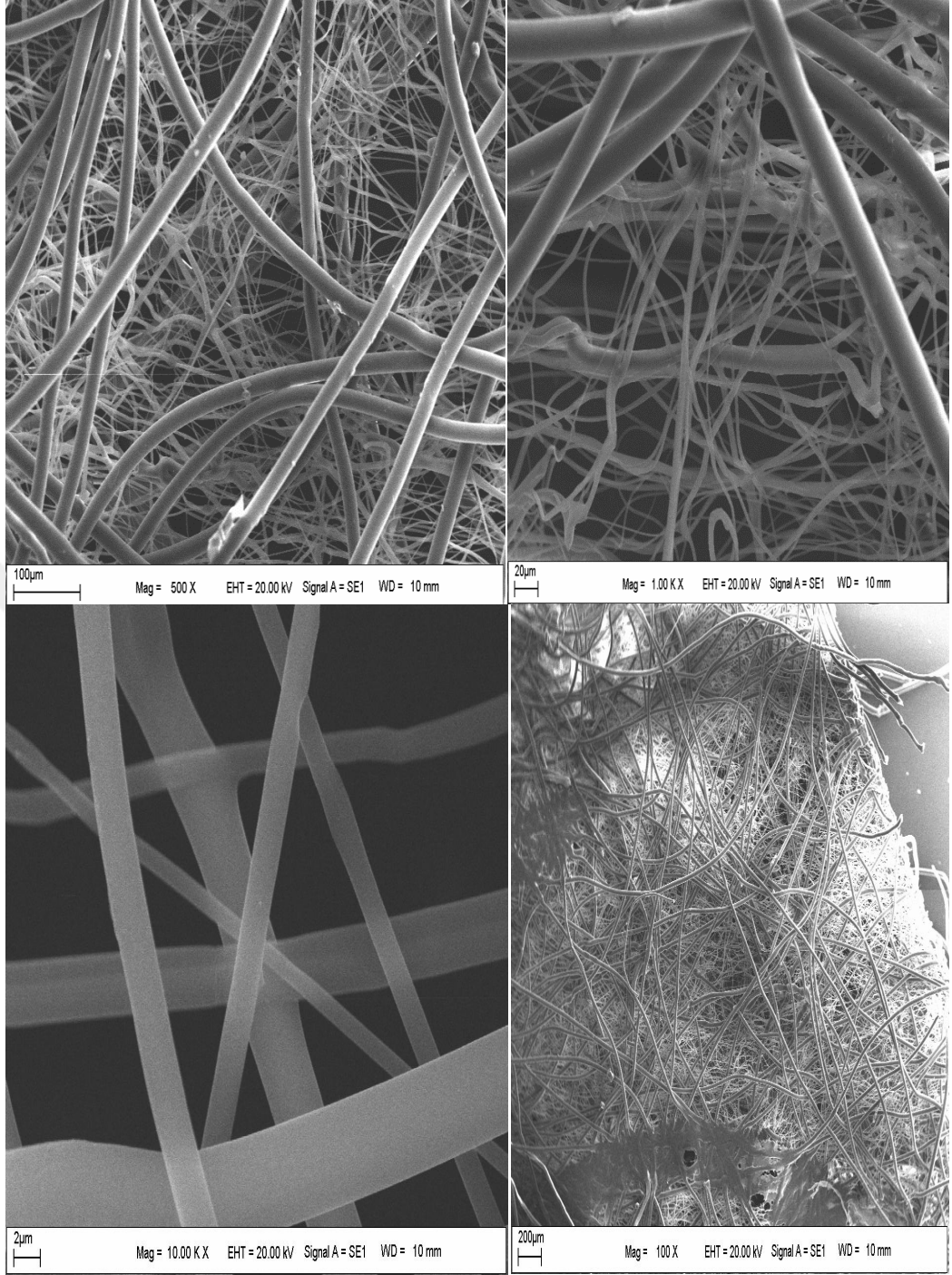
Şekil 4.75. Yeşil Adlı Numunesi (PET) SEM Görüntüleri

Şekil 4.75 numunesi bebek bezinde sıvıyı emip yayan tabakaya ait SEM görüntüsüdür. Malzeme elyaf yapısında olup elyafın içi boş boru şeklinde olduğu görülmektedir. Bu kanallar yardımıyla sıvı emilmekte ve diğer kısma transfer edilmektedir. Elyaf çapı homojen görünümündedir.



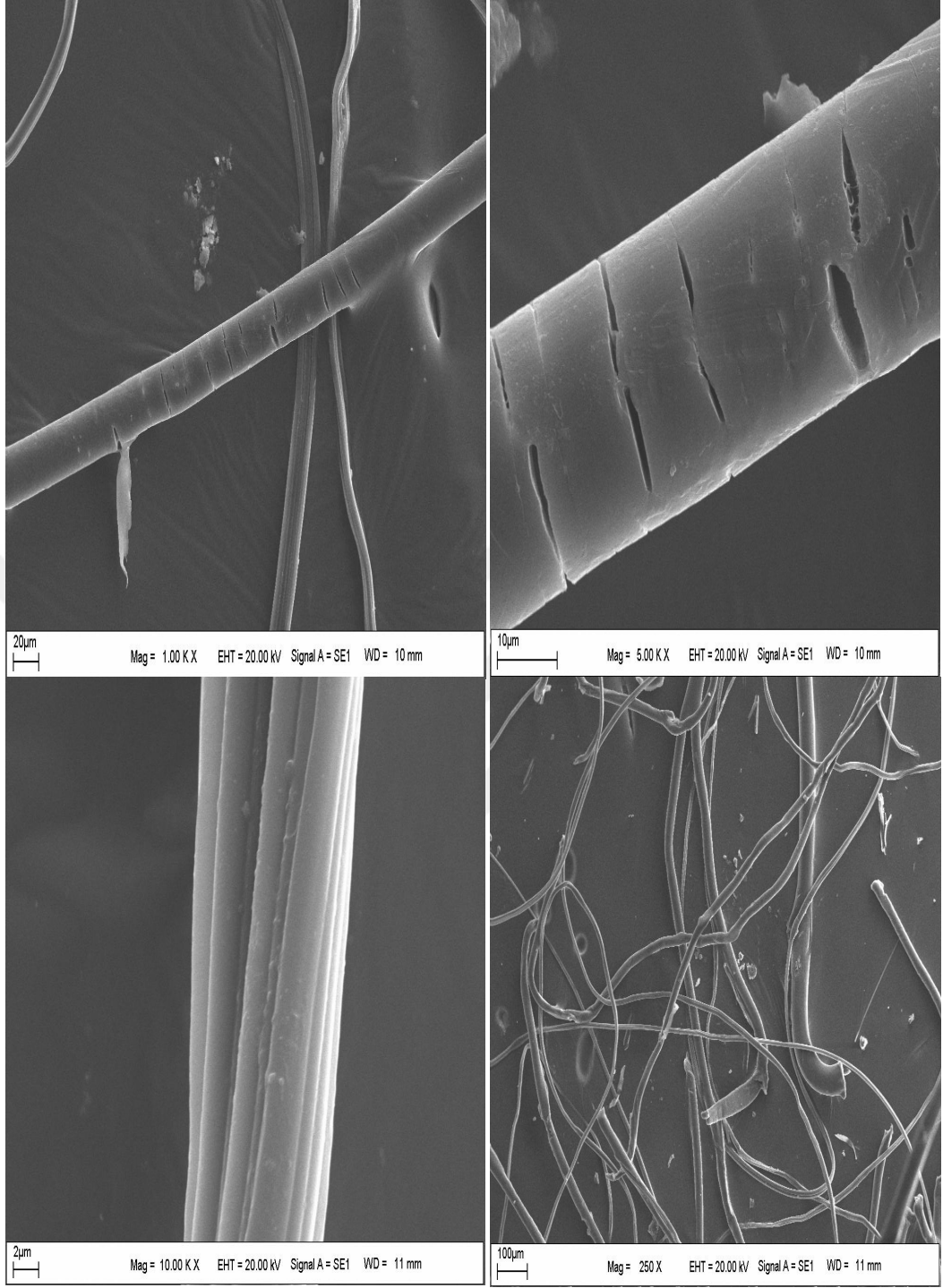
Şekil 4.76. C Bant Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri

Şekil 4.76 bebek bezinde ön kısımda mini yan bantların yapıştırıldığı kısma ait SEM görüntüsüdür. Elyaf yapısında yüzeye yapışmayı sağlamak için kanalcıklar şeklinde oluşum mevcuttur.



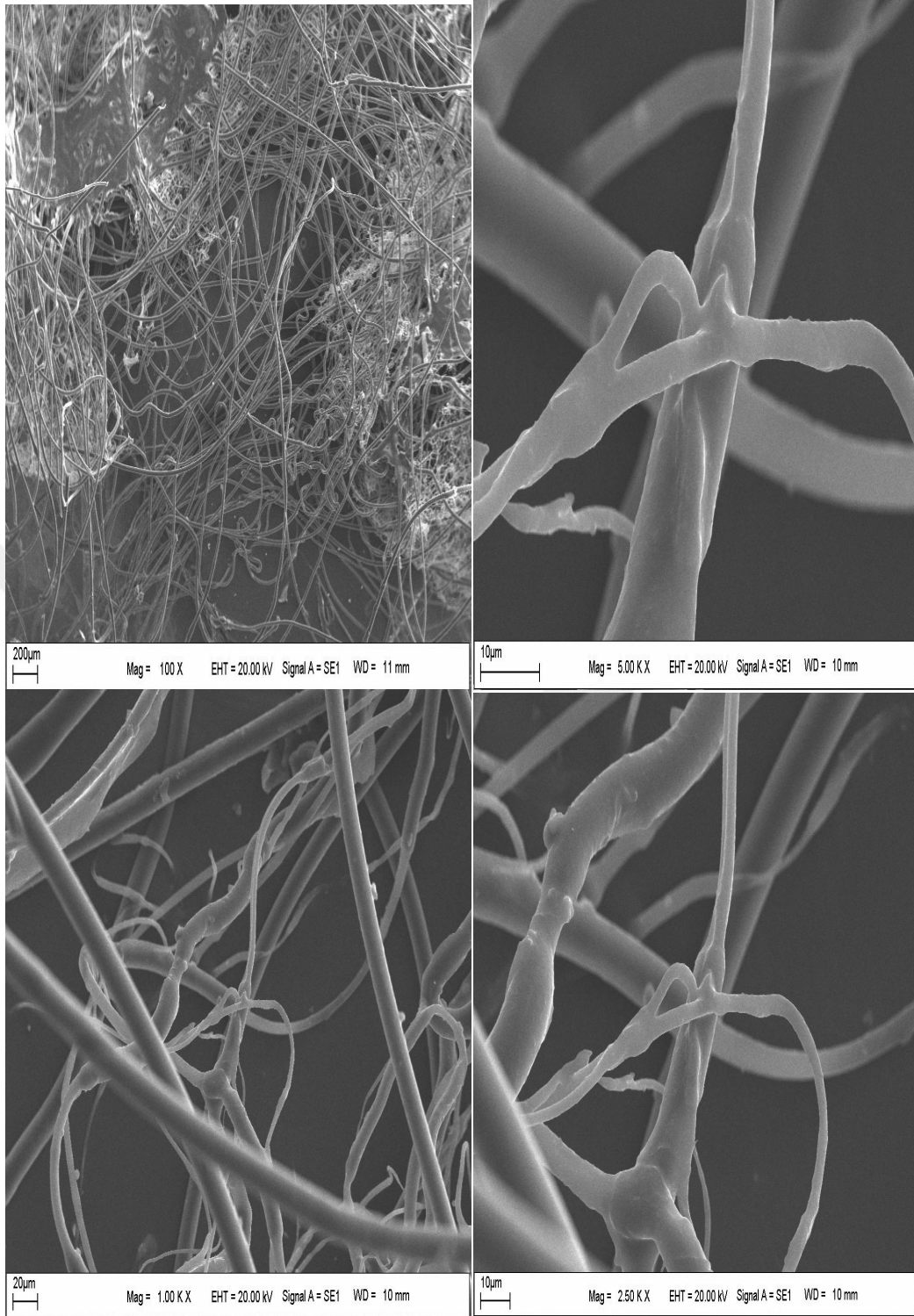
Şekil 4.77. Esnek Kulakçık Numunesi(PP) SEM Görüntüleri

Şekil 4.77 bebek bezinde yanlarda bulunan esnek kısımlar olup PP'den yapılmış malzemedir. Malzeme genelinde esnekliği artırma ve kopmayı engellemek için farklı çaplarda filament şeklinde imal edilmiştir.



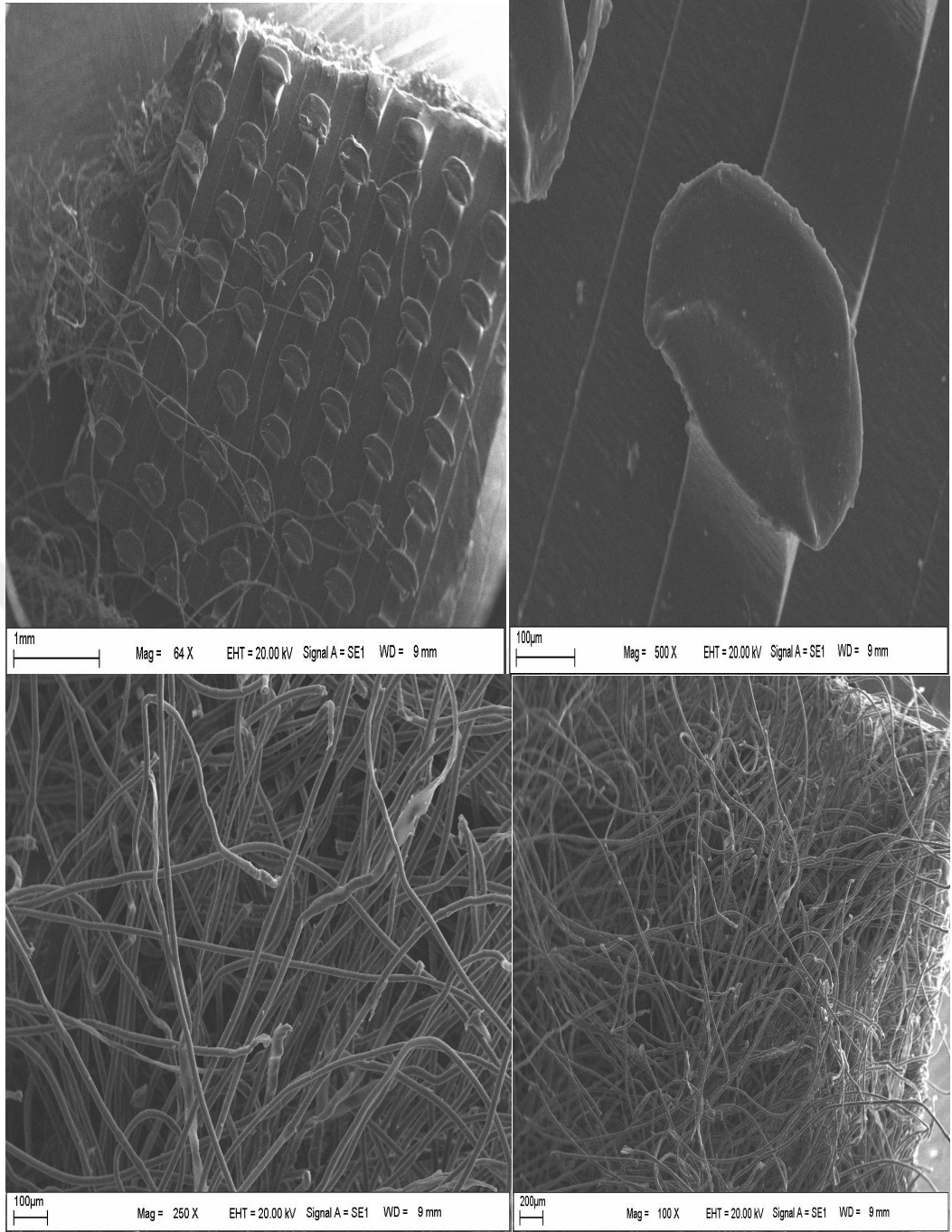
Şekil 4.78. Beyaz Adl Numunesi (PET) SEM Görüntüleri

Şekil 4.78 PET'den imal edilmiş bebek bezinde sıvıyı emip yayan kısım olup pamuk şekline dönüştürülmüş liflerden oluşmuştur. PET elyaf yüzeyleri çok fazla inceltildiğinden yüzeydeki karbonil grupları ile polimer son uçlarında hidrojen bağı ile su tutulmakta ve sıvının emilmesi sağlanmaktadır.



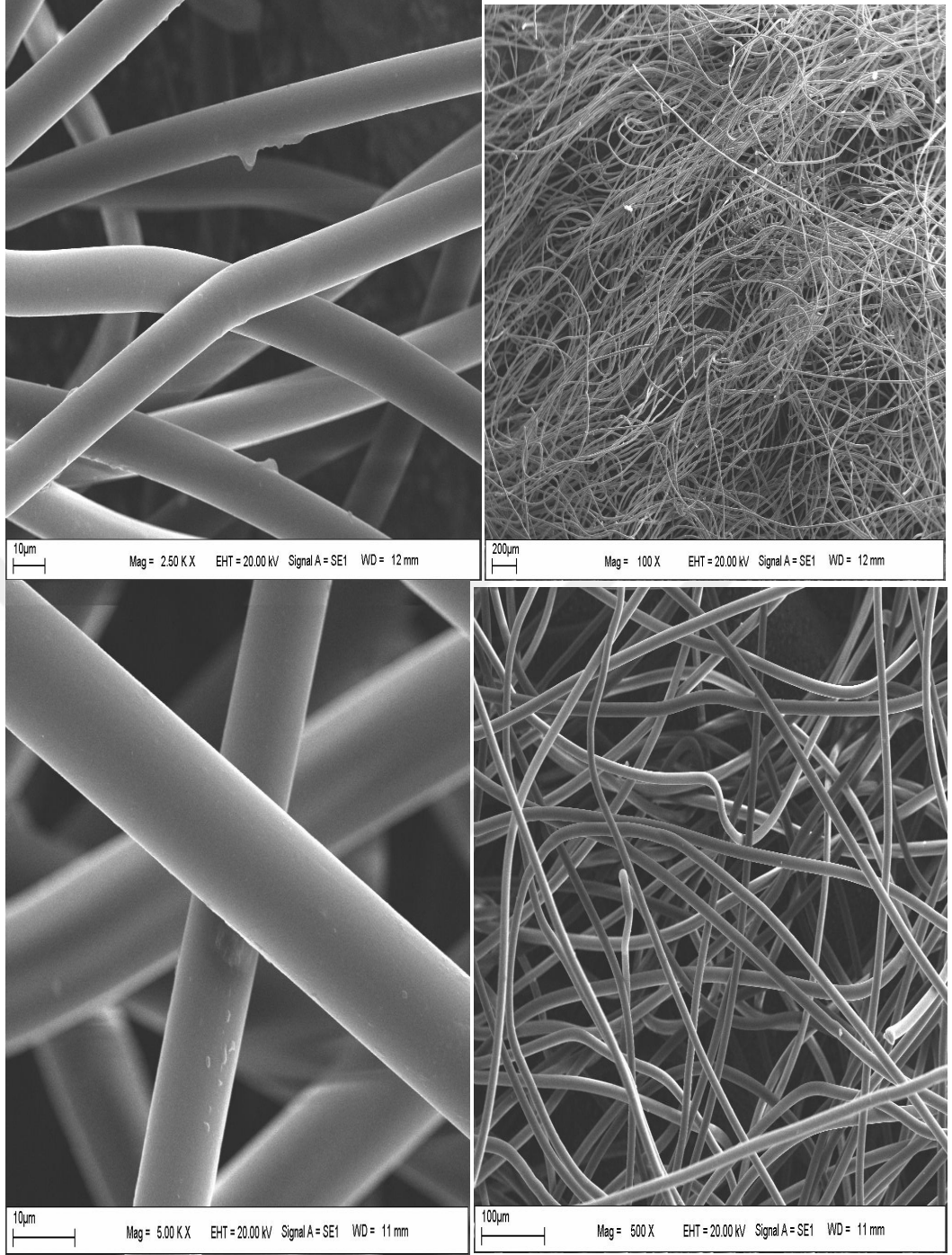
Şekil 4.79. TBS Numunesi (PE+PP+Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri

Şekil 4.79 PE-PP'den yapılmış bebek bezi en dış katmana ait SEM görüntüsünü içermektedir. PE ve PP esnekliği artırmak için ve cildin hava almasını sağlamak için oldukça ince filament formuna dönüştürülmüştür.



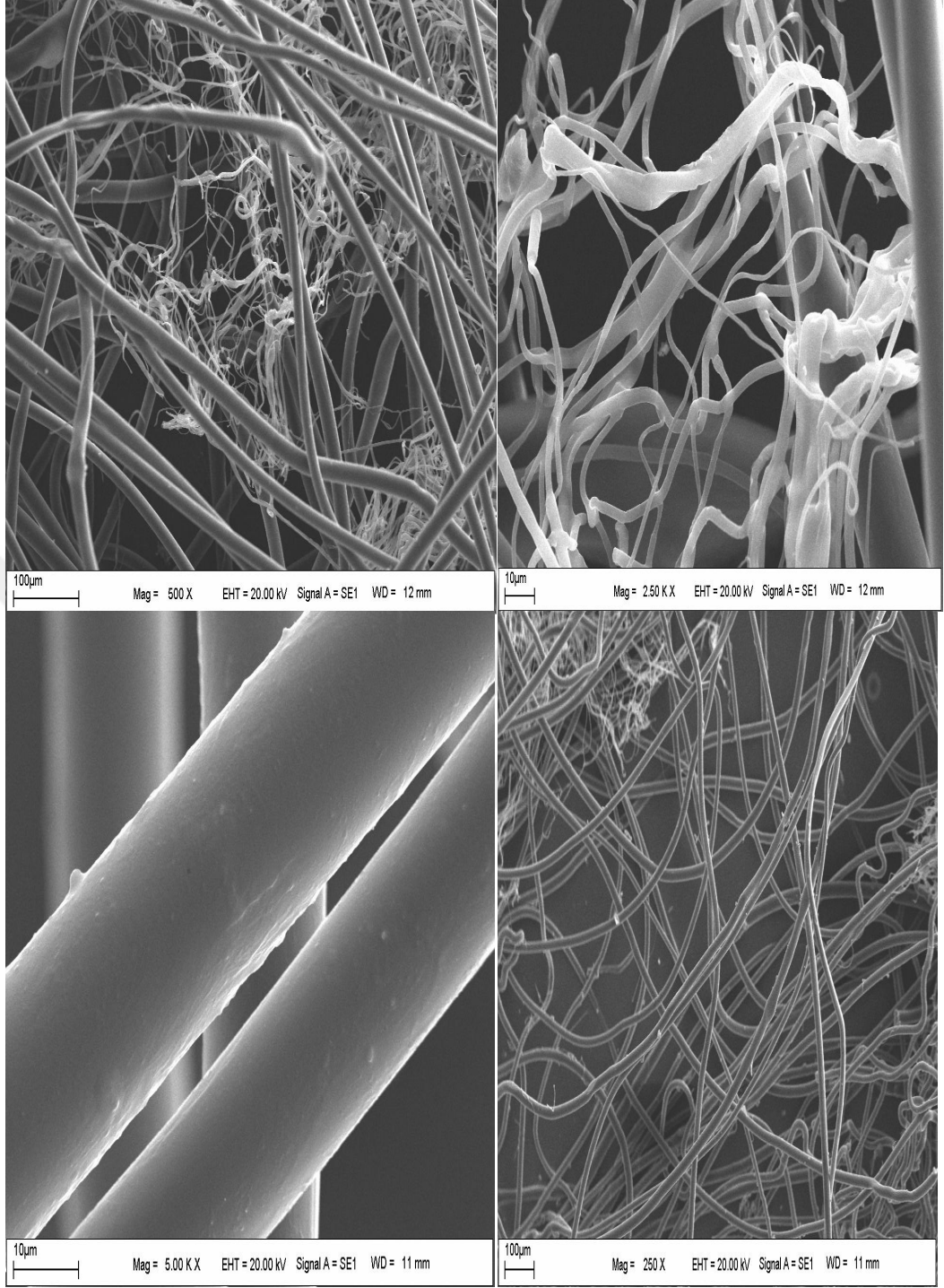
Şekil 4.80. Mini Yanbant Numunesi (PP+Sentetik Kauçuk) SEM Görüntüleri

Şekil 4.80 PP'den yapılmış mini yan bant numunesine ait SEM görüntüsüdür. Malzeme oldukça esnek malzeme olup filament formundadır. SEM görüntüsü elyafların homojen yapıda ve birbirine geçmiş durumda olduğunu göstermektedir. Bu yapı esnekliğine katkı sağlamaktadır.



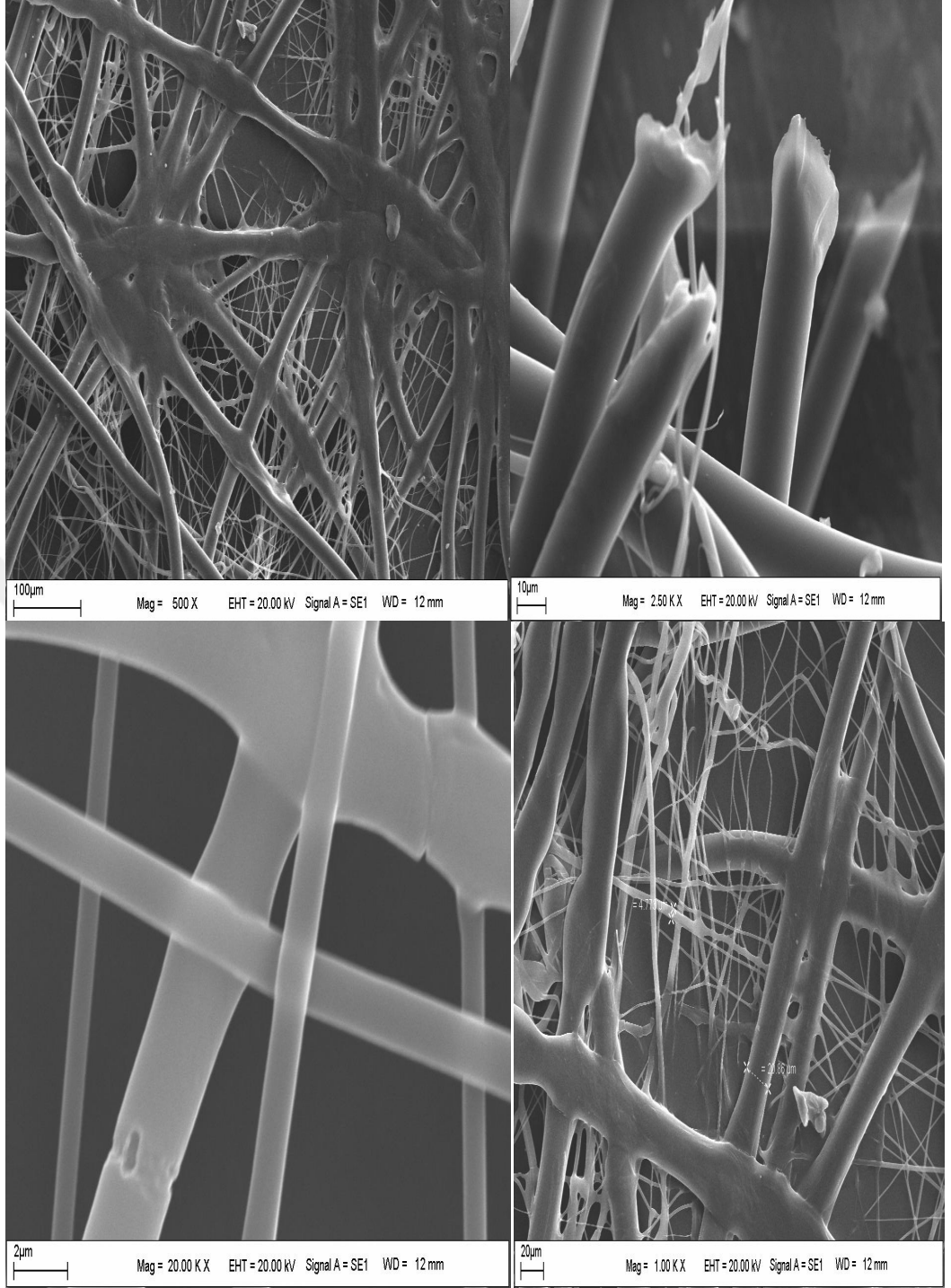
Şekil 4.81. SBS Numunesi (PE+PET+Senteik Kauçuk) SEM Görüntüleri

Şekil 4.81 PE ve PET'den yapılmış bebek bezi en dış katmanına ait SEM görüntüsüdür. SEM görüntülerinden her iki polimerin elyaf yapısında olduğu görülmektedir. PE malzemeye esneklik sağlarken PET iç kısımdaki sıvının dışarıya kaçmasını engellemek için bariyer oluşturmaktadır. Elyafların oldukça homojen çapta oldukları açıkça görülmektedir.



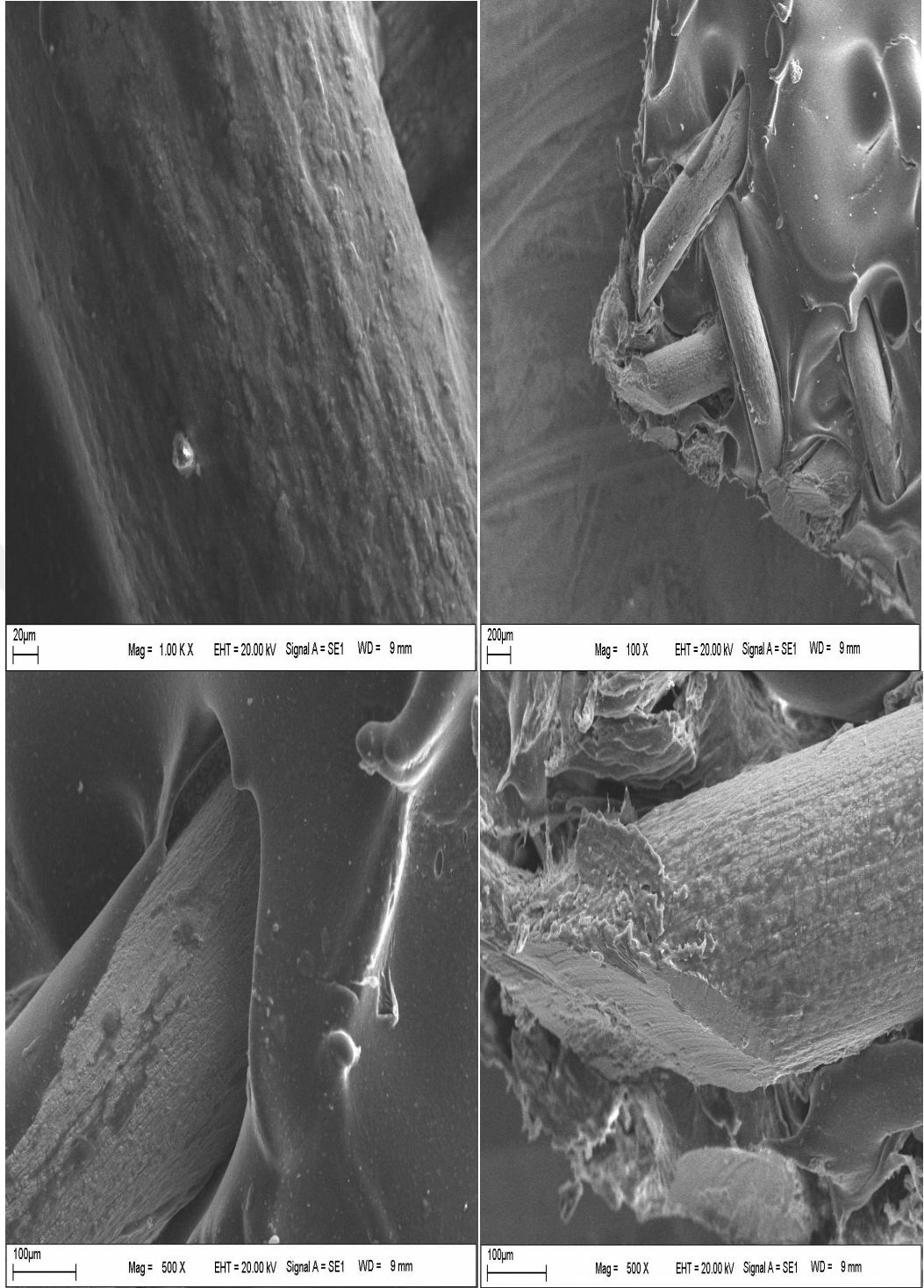
Şekil 4.82. Bariyer Numunesi (PP) SEM Görüntüleri

Şekil 4.82 PP'den yapılmış yan kısımlarda sıvının dışarı çıkmasını engelleyen kısma ait SEM görüntüsüdür. PP yüzeylerinde sıyırma yapılarak farklı çaplarda birbiri içerisine geçerek sızdırmazlık sağlamak amacıyla ince lifler oluşturulmuştur. PP su ile hidrojen bağı yapmadığından bu yapı ekstra katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.83. Tissue Numunesi (PP) SEM Görüntüleri

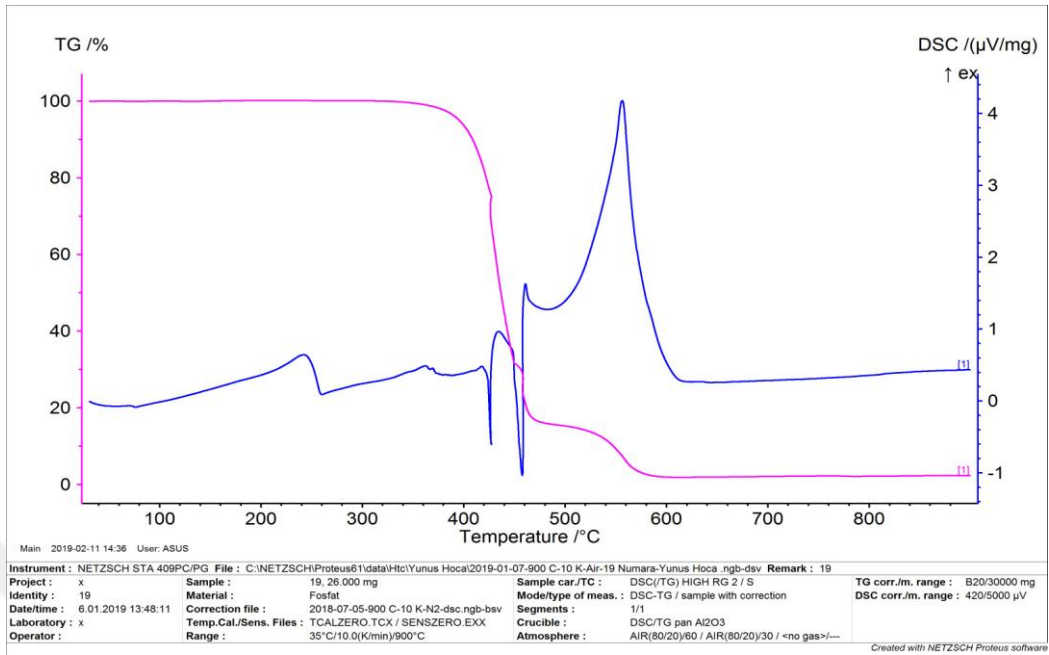
Şekil 4.83 PP'den yapılmış sıvıyı alıp bir alt tabakaya ileten kısma ait SEM görüntüsünü içermektedir. SEM görüntüsü bir önceki yapı ile benzerlik göstermekle beraber bu yapı kısmen elek yapı görünümündedir. Elek yapı PP suyu sevmediğinden sıvının aşağı kısımlara sıvıyı seven-emen-tutan kısma geçmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



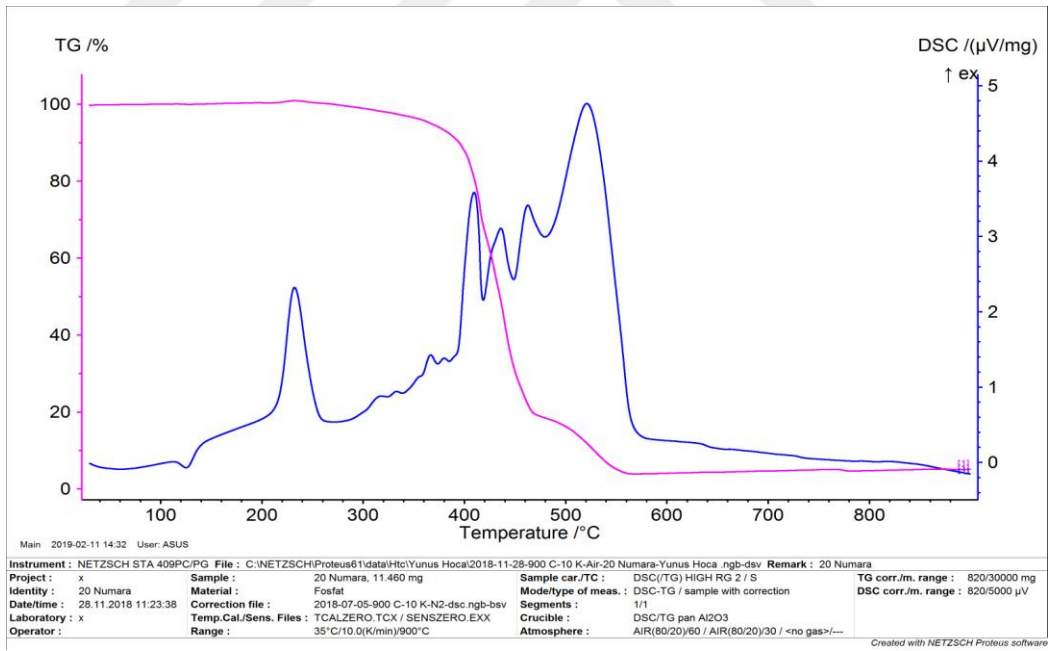
Şekil 4.84. Filtre Numunesi(Sünger Demir) SEM Görüntüleri

Şekil 4.84 demirden imal edilmiş makinalarda kullanılan hammadde içerisindeki kirliliği tutan kısmın SEM görüntüsüdür. Demir metali ince süngerimsi yapıda olup birbiri içerisine geçmiş bir yapıda olup bu yapının kirlilikleri bu ağ örgü içerisinde tuttuğu görülmektedir.

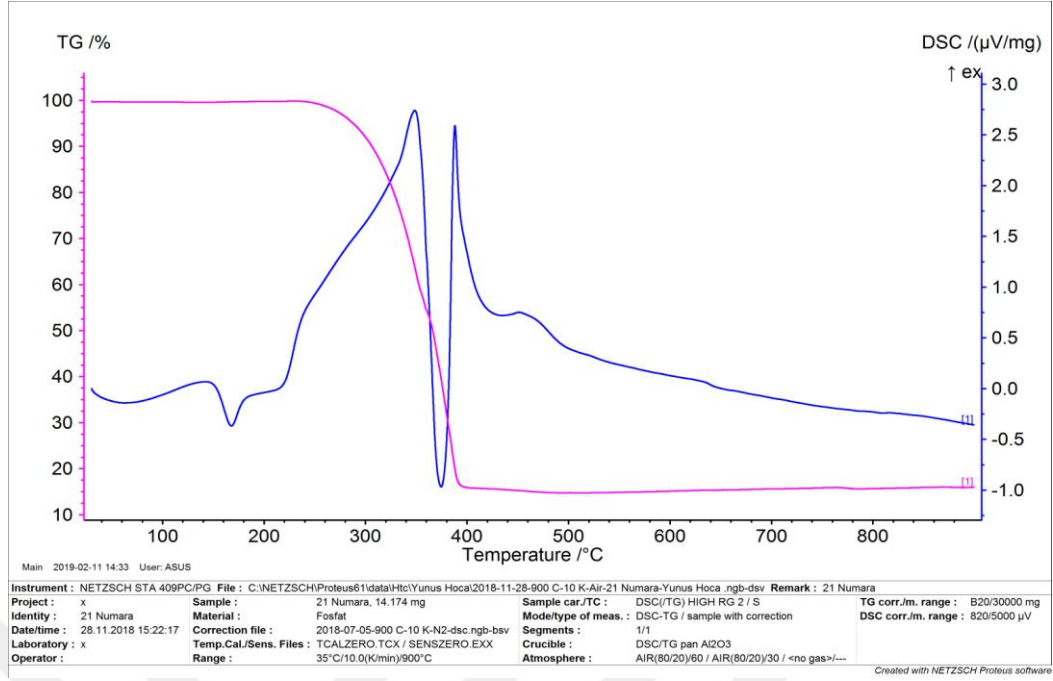
## 4.5. Termal Analiz Sonuçları



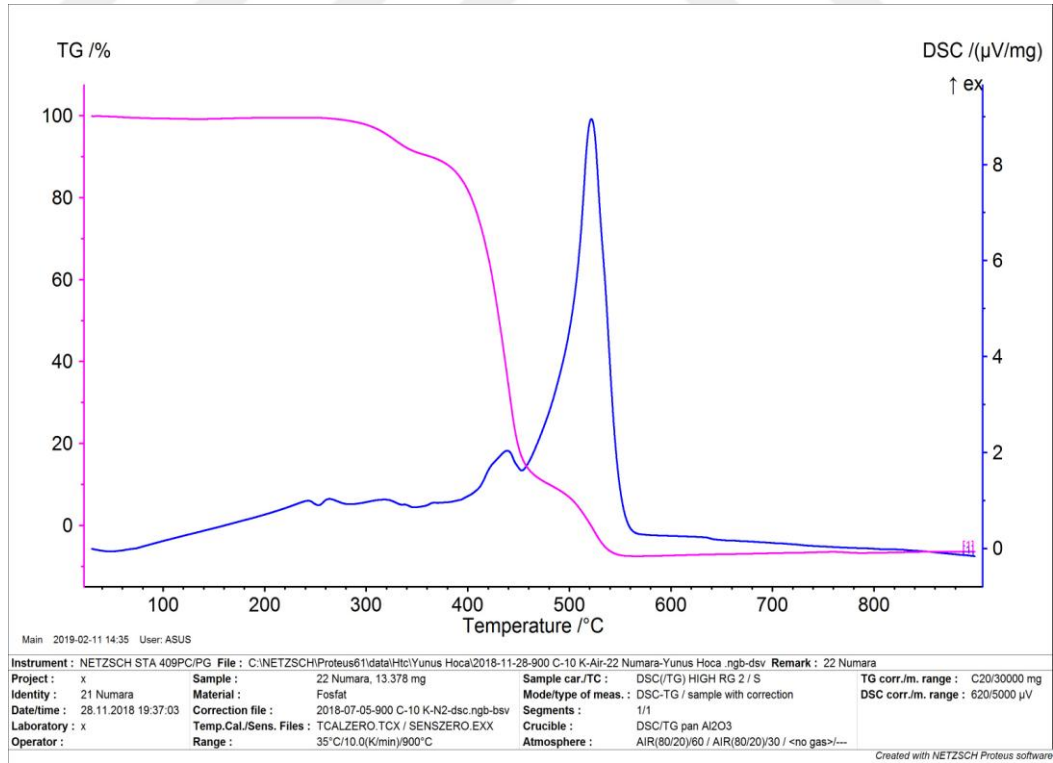
Şekil 4.85. Yeşil ADL Numunesi (PET) Termal Analiz Grafiği



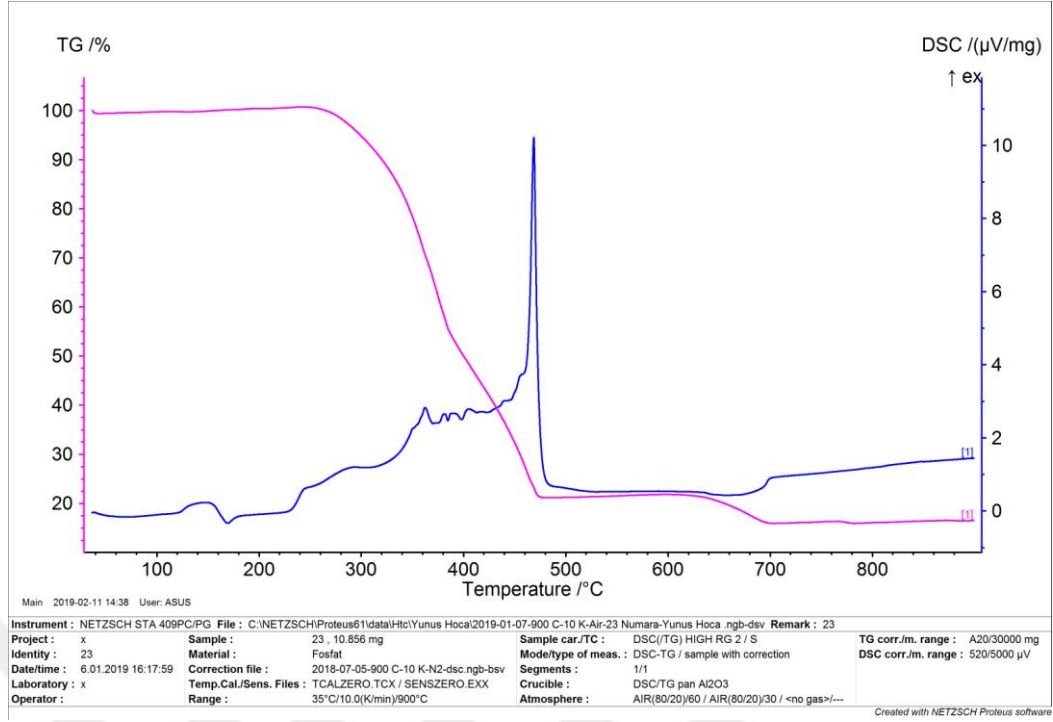
Şekil 4.86. C-Bant Numunesi(PE+PET+Sentetik Kauçuk) Termal Analiz Grafiği



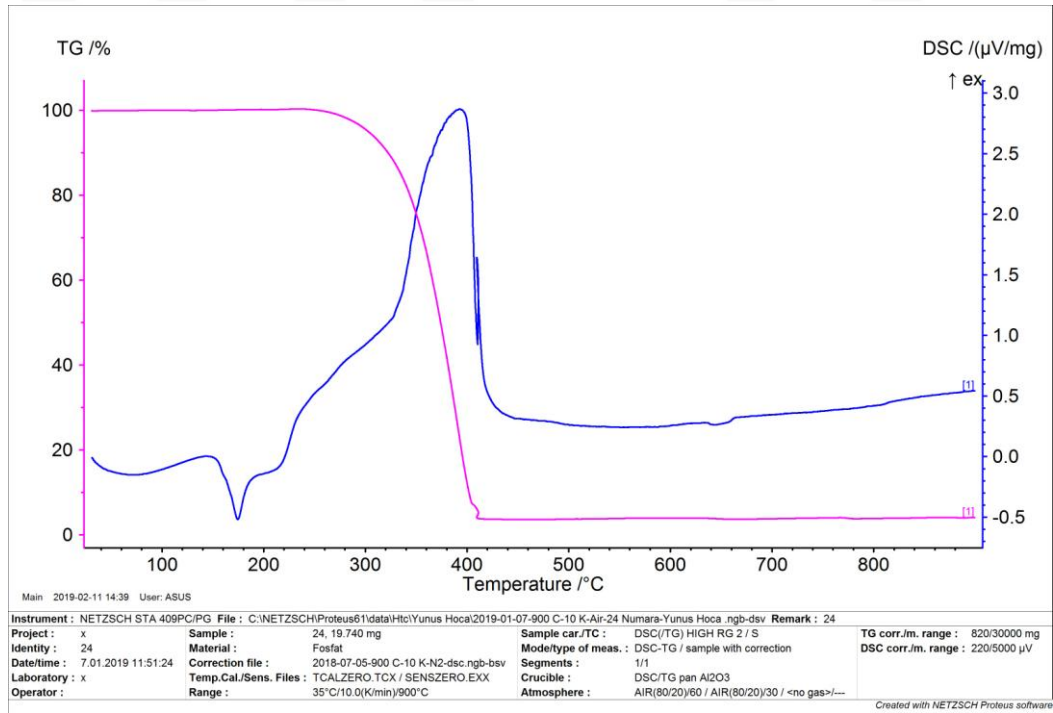
Şekil 4.87. Esnek Kulakçık Numunesi(PP) Termal Analiz Grafiği



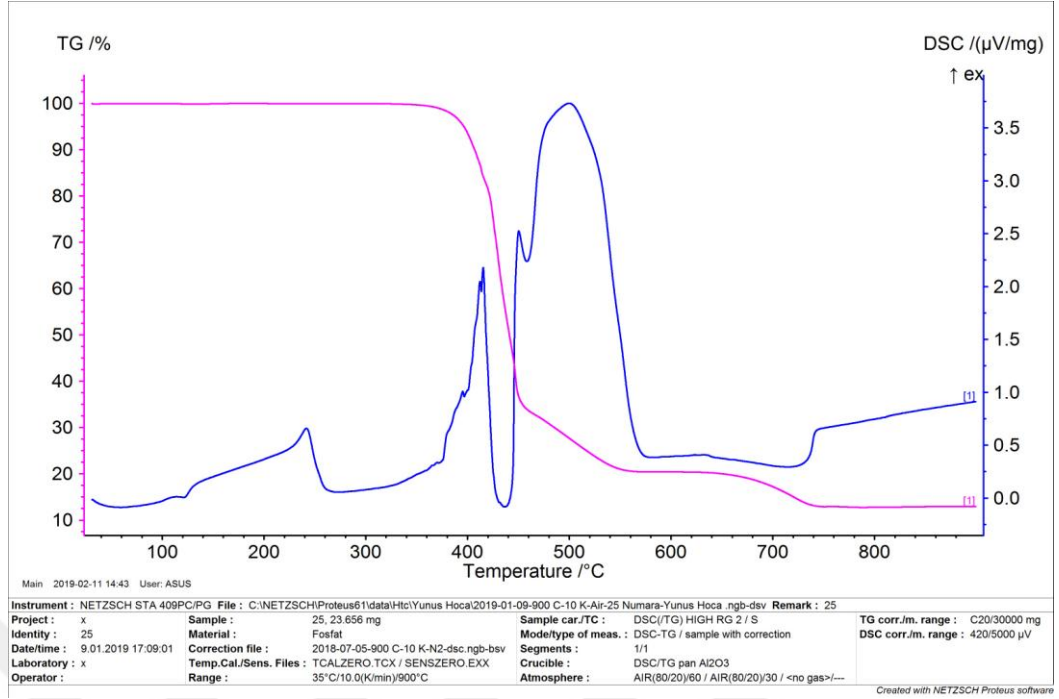
Şekil 4.88. Beyaz ADL Numunesi(PET) Termal Analiz Grafiği



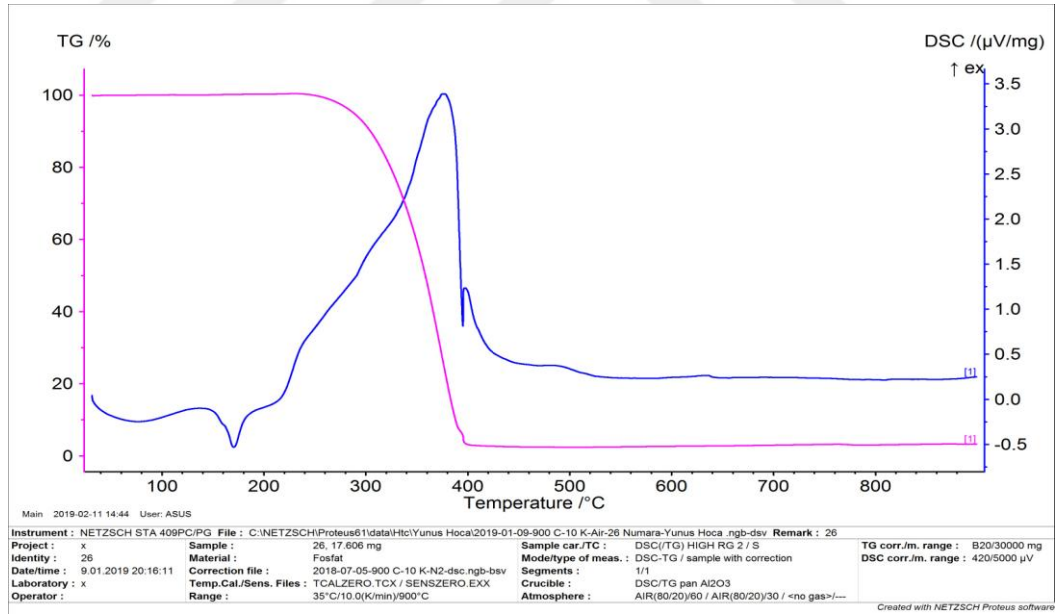
Şekil 4.5.89. TBS Numunesi(PP+PE+ Sentetik Kauçuk) Termal Analiz Grafiği



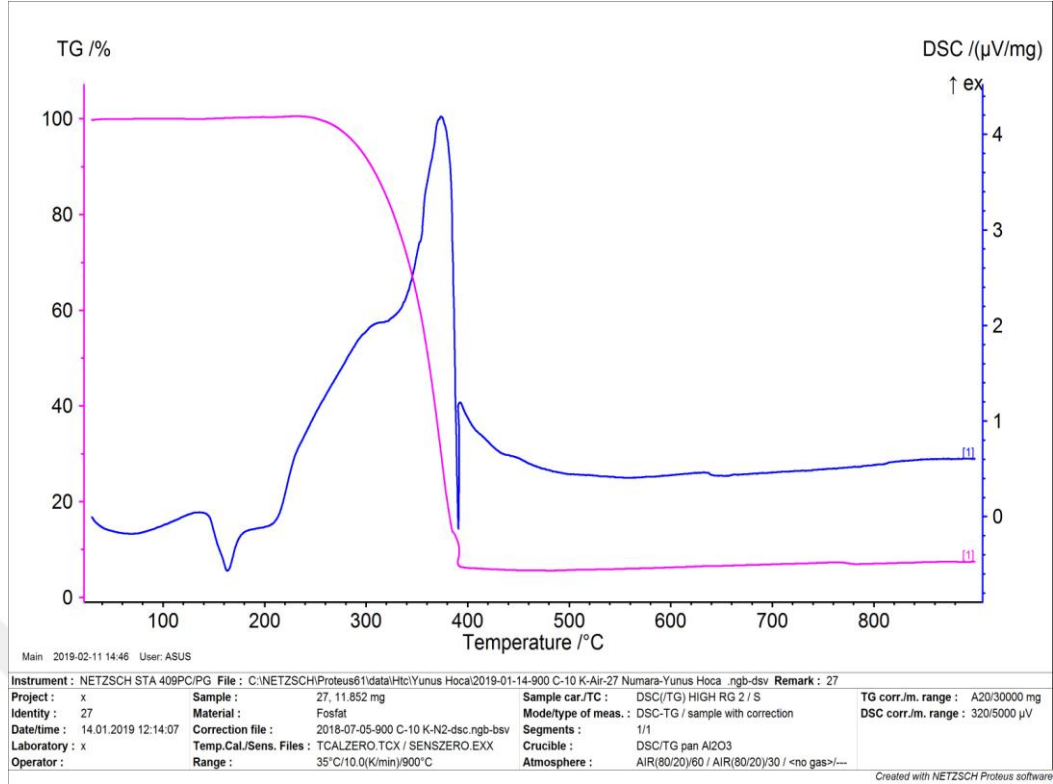
Şekil 4.90. Mini Yanbant Numunesi(PP+Sentetik Kauçuk) Termal Analiz Grafiği



Şekil 4.91. SBS Numunesi(PE+PET+ Sentetik Kauçuk) Termal Analiz Grafiği



Şekil 4.92. Bariyer Numunesi (PP) Termal Analiz Grafiği



Şekil 4.93.Tissue Numunesi (PP) Termal Analiz Grafiği

Şekil 4.85-93 sırası ile Tablo 2.4’de verilen 19-27 nolu malzemelere ait DSC-TG spektrumlarıdır. Şekil 4.85 PET malzemesi olup 245, 360, 450 ve 560°C sıcaklıkta ekzotermik pik maksimumları mevcuttur. Kül değeri düşük olup (%0.07) TG değeri sıfıra yakın çıkmıştır. PET yapısında etilen ve tereftalik asit gruplarından ve polimerin zincir yapısına bağlı olarak farklı sıcaklıkta ekzotermik bozunma pikleri beklenen sonuçtur. Şekil 4.86 PE+PET+Sentetik Kauçuk karışımı malzemeye ait DSC-TG termal bozunma spektrumu olup 125°C sıcaklıkta endotermik pik yapıdaki suyun uzaklaşmasına, 240, 420, 440, 480 ve 540 °C sıcaklıklardaki ekzotermik pikler her üç polimerin termal bozunmasına aittir. Malzemenin kül değeri %0.25 olup TG değeri sıfıra yakındır. Şekil 4.87 PP’den yapılmış esnek kulakçık malzemesine ait DSC-TG spektrumudur. 160°C sıcaklıktaki endotermik pik PP’nin erimesine ait olup 360, 400 ve 460°C ekzotermik pikleri PP’nin termal bozunma pikleridir. Kül değeri sıfır olup TG değeri sıfıra yakın değer vermektedir. Şekil 4.88 PET’den yapılmış beyaz ADL malzemesine ait DSC-TG spektrumudur. 260°C sıcaklıkta endotermik pik, 440

ve 520°C sıcaklıkta ekzotermik pik görülmektedir. Şekil 4.89 PP+PE+ Sentetik Kauçuk karışımı malzemeye ait DSC-TG termal bozunma spektrumu verilmektedir. 170 ve 240°C sıcaklıklarda iki endotermik pik polimerik malzemelerin erimesine aittir. 380 ve 480°C sıcaklıklardaki ekzotermik pikler polimer karışımın bozunma pikleridir. Ayrıca inorganik katkıya ait 700°C civarında endotermik pik görülmektedir. Şekil 4.90 PP+Sentetik Kauçuktan yapılmış mini yanbant malzemesine ait DSC-TG termal bozunma spektrumudur. 180 °C sıcaklıkta PP'nin erimesine ait endotermik pik ve 400°C sıcaklıkta pik maksimumu olan geniş band ekzotermik pik PP'nin termal bozunmasına aittir. Şekil 4.91 PE+PET+ Sentetik Kauçuk karışımı SBS malzemesine ait DSC-TG termal bozunma spektrumudur. 260-360°C sıcaklık aralığında geniş band şeklindeki endotermik pik polimer karışımın erimesine aittir. 400, 460 ve 520°C sıcaklıklardaki ekzotermik pikler polimerik karışımın bozunma pikleridir. 740°C sıcaklıkta inorganik katkıya ait endotermik bozunma piki açıkça görülmektedir. Şekil 4.92 ve 93 PP'den yapılmış bariyer ve tissue malzemelerine ait DSC-TG termal bozunma spektrumlarıdır. Her iki numuneye ait 170°C sıcaklıkta endotermik pik PP'nin erimesine ait olup 390°C sıcaklıktaki ekzotermik pik PP'nin termal bozunmasına aittir.

## **4.6. Atık Polimelerin ve Diğer Malzemelerin Isıl Değer Analizleri**

### **4.6.1. Üst ve alt ısı değer hesabı**

Tablo 4.2'de numunelerin kalorimetre bombasında yapılan deneyle bulunan üst ve alt ısı değer hesapları verilmiştir.

Tablo 4.2. Numunelerin deneysel alt ve üst değerleri

Numune No	Üst Isıl Değer Hg (kal/g)	Alt Isıl Değer Hn(kal/g)	Numune No	Üst Isıl Değer Hg (kal/g)	Alt Isıl Değer Hn(kal/g)
1	8387	7990	15	4498	4112
2	9444	9065	16	10004	9510
3	9902	9422	17	6220	6017
4	3782	3505	18	7134	6713
5	8836	8317	19	4655	4462
6	8451	7973	20	6646	6316
7	4491	4292	21	10797	10103
8	10742	10236	22	5007	4783
9	4167	3887	23	8921	8344
10	3678	3407	24	10578	9941
11	5543	5334	25	5396	5207
12	5548	5289	26	10965	10305
13	6585	6156	27	10525	9844
14	7008	6648	28	5341	4708

Numune No	Üst Isıl Değer Hg (kj/kg)	Alt Isıl Değer Hn(kj/kg)	Numune No	Üst Isıl Değer Hg (kj/kg)	Alt Isıl Değer Hn(kj/kg)
1	35091	33430	15	18821	17205
2	39512	37928	16	41858	39790
3	41432	39,422	17	26026	25175
4	15825	14665	18	29848	28087
5	36969	34798	19	19476	18669
6	35360	33359	20	27807	26426
7	18791	17958	21	45175	42271
8	44946	42827	22	20951	20012
9	17434	16263	23	37325	34911
10	15387	14255	24	44258	41593
11	23194	22317	25	22577	21786
12	23211	22129	26	45879	43116
13	27552	25757	27	44038	41187
14	29321	27815	28	22346	19698

Atık polimer ve diğer malzemelerin kalorimetre bombasında yapılan deneyle bulunan üst ısıl değerleri ve CHNS analizi sonucu bulunan H değeri yardımıyla formülden hesaplanan alt ısıl değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Tüm

numunelerin üst ısıl değerleri 3678-10965 kalori/gram değerleri aralığındadır. En düşük değer 3678 kalori/gram ile 10 nolu numunede (pergamin kağıt) elde edilirken en yüksek değer 10797 kalori/gram ile PP'den yapılmış bariyer numunesin de elde edilmiştir. Nitekim PP'den yapılmış tüm numunelerin ısıl değerleri genelde diğer numunelere kıyasla yüksek çıkmaktadır. Tablo 4.2 ve Tablo 4.1 elementel analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde genel olarak oksijen değeri düşük olan numunelerin ısıl değerleri yüksek çıkarken oksijen değeri yüksek olan numunelerin ısıl değerleri düşük çıkmaktadır. Bunun sebebi oksijen değerinin artması ısıl değere katkı veren karbon değerinin düşmesi ile açıklanabilir. Nitekim yakıt ve akaryakıt endüstrisinde genel olarak alifatik hidrokarbonlar kullanılmasının sebebi budur. Tabi ki malzemelere katılan inorganik katkıların cinsi ve miktarları da ısıl değeri etkilemektedir. Nitekim kül değeri en yüksek olan 4 nolu numune köpük dışındaki koruyucu PVC numunesinin ısıl değeri 3782 kalori/gram elde edilmiştir.

Tablo 4.3. numunelerin CHNS ve O elementel analizi sonucuna göre farklı formüller kullanılarak yapılan hesaplama sonucu elde edilen ısıl değerleri göstermektedir. Tablo incelendiğinde Dulong formülüne göre ısıl değerler 18712-41556 kJ/kg değerleri arasında elde edilmiştir. En düşük değer 10 nolu numune olan pergamin kağıt numunesinde elde edilmiştir. Kalorimetre bombası ile en düşük değer bu numunede elde edilmiştir. En yüksek değer ise 21 nolu numune olan PP'den yapılmış esnek kulakçık numunesinde elde edilmiştir. Kalorimetre bombası ile en yüksek değerlerin elde edildiği PP numunelerinden birisidir. Modifiye edilmiş Dulong formülüne göre hesaplanan değerler 30580-60079 kJ/kg değerleri arasındadır. Vandralek formülüne göre yapılan hesaplamalara göre ısıl değerler 14604-45356 kJ/kg değerleri aralığında bulunmuştur. Bu değerler Dulong formülü ile hesaplanan değerlere ait numunelerle uyum halindedir. LCV (düşük kalorifik değer) formülü kullanılarak yapılan hesaplamada bulunan sonuçlar 14829-30504 kJ/kg değerleri aralığındadır. Bu değerler de Dulong ve Vandralek formülleri ile hesaplanan numunelerle uyum halindedir.

Formül ile yapılan hesaplamada genel olarak kül içermeyen saf ve safa yakın malzemeler için deneysel yakın sonuçlar elde edilirken kül içeren malzemelerde sapmalar söz konusu olmaktadır. Formüller aynı numuneler için iyi sonuçlar vermektedir. Ancak günümüzde aynı içeriğe sahip ancak içerisindeki katkıların

farklı olmasından dolayı sonuçlar arasında farklılıklar çıkmaktadır.

Tablo 4.3. Farklı formüllere göre ısı değer hesabı

NUMUNE NO	DULONG FORMÜLÜNE GÖRE HESAP (kj/kg)	MODİFİED DULONG FORMULÜNE GÖRE HESAP (kj/kg)	VANDRALEK FORMÜLÜNE GÖRE HESAP (kj/kg)	LCV LOW CALORIFIC VALUE (kj/kg)
1	32304	36110	33382	27625
2	36590	43402	39512	33281
3	31247	34160	31577	23984
4	22202	19366	19613	18863
5	34612	39786	36196	26940
6	33096	37321	34217	26269
7	23012	20752	20964	22033
8	38600	46550	41877	32089
9	20596	16465	17241	16814
10	18712	13310	14604	14829
11	24338	22979	22803	23340
12	25438	24887	24261	23251
13	27012	27060	25763	20356
14	27858	28648	27225	23318
15	23141	21177	20799	16891
16	37525	44751	40400	31137
17	22826	20574	20773	21678
18	28083	28855	27328	21800
19	24235	22839	22720	23682
20	28513	29886	28304	24937
21	41556	51177	45356	30350
22	24271	22835	22651	22829
23	35562	41255	37309	26438
24	33138	37024	33651	21838
25	23896	22271	22254	23389
26	40483	49429	43965	30019
27	41399	50936	45179	30504
28	37012	43601	39154	26621

#### 4.7. Piroliz Sonuçları

Tablo 4.4. 600° C'deki piroliz sonucu ağırlıkça % katı, sıvı ve gaz verim değerleri

Numune No	Atık Çeşidi	Ağırlık (g)	Sıvı (g)	Katı (g)	Gaz (g)	Sıvı (%)	Katı (%)	Gaz (%)
2	Dış Cephe Kaplama(Köpük) (PS)	63.51	0	37.90	25.61	0	59.68	40.32
3	Eco Hammadde Torbası (Dış alüminyum içi PE)	60.50	0	11.68	48.82	0	19.31	80.69
14	C Bant Takozu (PE+PET+Sentetik Kauçuk)	68.12	0.69	7.28	60.15	1.01	10.69	88.30
21	Esnek Kulakçık Numunesi(PP)	71.80	37.21	0	34.59	51.82	0	48.18
23	Tbs Numunesi (PE+PP+Sentetik Kauçuk)	123.39	29.90	12.09	81.40	24.23	9.80	65.97
24	Mini Yanbant (PP+Sentetik Kauçuk)	60.71	30.94	0	29.77	50.96	0	49.04
25	Sbs Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk)	113.09	0	28.28	84.81	0	25.01	74.99
26	Bariyer (PP)	95.97	54.98	0	40.99	57.29	0	42.71
27	Tissue (PP)	65	28.73	0	36.27	44.20	0	55.80

Tablo 4.5. 400° C'deki piroliz sonucu ağırlıkça % katı, sıvı ve gaz verim değerleri

Numune No	Atık Çeşidi	Ağırlık (g)	Sıvı (g)	Katı (g)	Gaz (g)	Sıvı (%)	Katı (%)	Gaz (%)
23	Tbs Numunesi (PE+PP+Sentetik Kauçuk)	67.88	4.64	0	63.24	6.84	0	93.16
24	Mini Yanbant (PP+Sentetik Kauçuk)	52.35	2.84	1.14	48.37	5.43	2,18	92.39
25	Sbs Numunesi (PE+PET+Sentetik Kauçuk)	65.24	0	23.78	41.46	0	36.45	63.55
26	Bariyer (PP)	52.48	7.28	0	45.2	13.87	0	86.13
26	Bariyer (PP)	70.42	16.62	0	53.8	23.6	0	76.40

Tablo 4.4 ve 5'de bazı malzemelerin 600 ve 400 °C sıcaklıkta azot atmosferinde yapılan piroliz deney sonuçları verilmiştir. İşlem 10 °C /dakika ısıtma hızında maksimum sıcaklıkta 1 saat bekletilerek 100 ml/dakika azot gazı akış hızında yapılmıştır. Yapılan deneylerde özellikle PET içeren numunelerin termal bozunma değerleri de dikkate alındığında deney sıcaklığında soğutucu iç cidarında süblimasyon olduğu belirlenmiştir. Bu durumda PET içeren atık numunelerin pirolizi yerine doğrudan yüksek sıcaklıkta (yaklaşık 850°C) yakılarak elektrik enerjisi ve/veya su buharı üretiminde kullanılması gerekmektedir. Saf PP, PE ve kauçuk numunelerinde böyle bir durum söz konusu değildir. Bu tür atık polimerler piroliz ile daha değerli ürünlere

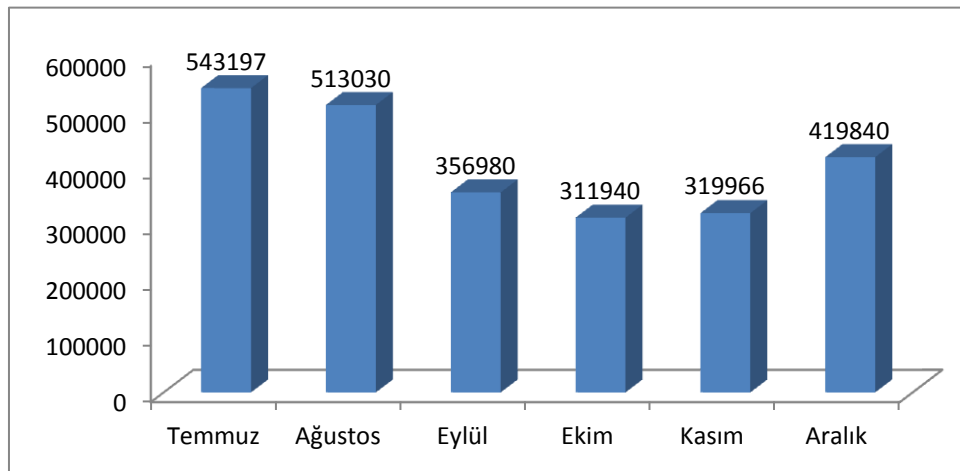
dönüştürülebilmektedir. Nitekim atık PP kullanılarak OXO prosesinde 2-etil hekzanol üretilmektedir. Polimerik malzemelerin kalsit içeriği tamamen külde kalırken PVC ve kükürlü bileşenlerin ortamda olması durumunda emisyonla önemli katkılar sunacağı bilinmektedir.

#### 4.8. Eruslu Global Grup Firmalarındaki Atık Miktarlarının Aylara ve Yıllara Göre Dağılımı ve Enerji Üretimi İçin Fizibilite

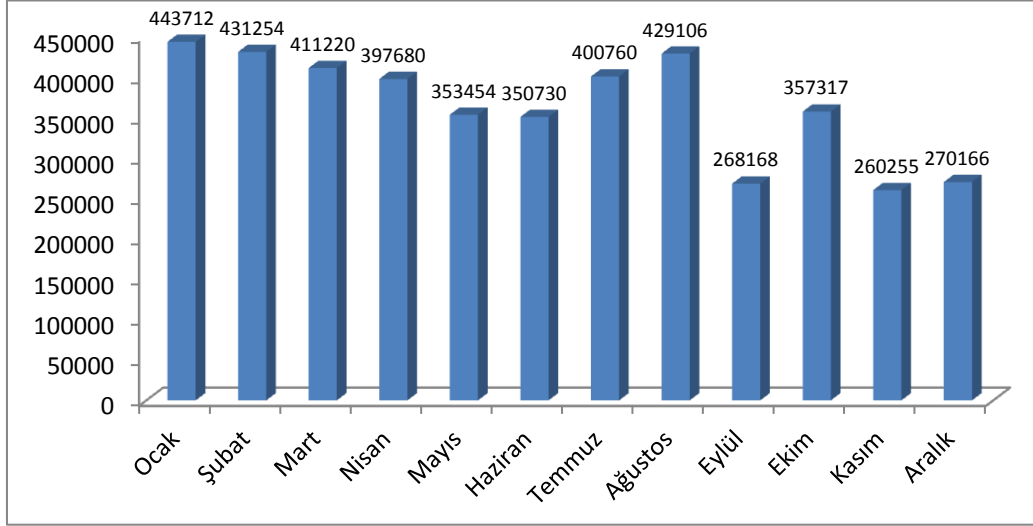
Tez konusu olan Eruslu Global Şirketler grubu tarafından açığa çıkan polimerik ve diğer tüm atıkların aylık miktarları Tablo 4.6 ve Şekil 4.94-4.96'da verilmiştir.

Tablo 4.6. 2017-2018-2019 yılları aylara göre atık miktarı

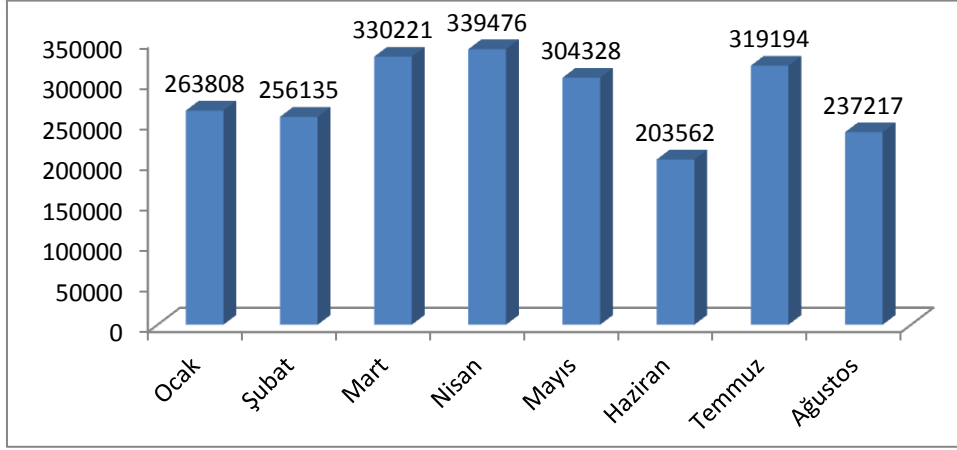
2017		2018		2019	
Aylar	Atık miktarı (kg)	Aylar	Atık miktarı (kg)	Aylar	Atık miktarı (kg)
Temmuz	543197	Ocak	443712	Ocak	263808
Ağustos	513030	Şubat	431254	Şubat	256135
Eylül	356980	Mart	411220	Mart	330221
Ekim	311940	Nisan	397680	Nisan	339476
Kasım	319966	Mayıs	353454	Mayıs	304328
Aralık	419840	Haziran	350730	Haziran	203562
		Temmuz	400760	Temmuz	319194
		Ağustos	429106	Ağustos	237217
		Eylül	268168		
		Ekim	357317		
		Kasım	260255		
		Aralık	270166		



Şekil 4.94. 2017 yılı aylara göre atık miktarı



Şekil 4.95. 2018 yılı aylara göre atık miktarı



Şekil 4.96. 2019 yılı aylara göre atık miktarı

Ecoplast, BZ ve Eruslu Sağlık fabrikalarında geri dönüşümü yapılamayan asıl dar boğaz olan ürünlerin 2017-2018 yılları arasındaki dağılımları Tablo 4.7'de verilmektedir. Tablo 4.8' de 2019 yılı atıklarına göre yapılan aylık atık çeşitlerine göre ısı değerler tablosu verilmektedir.

Tablo 4.7. 2017-2018 yılları stoktaki atık miktarları

2017 yılı atık miktarları (kg)		2018 yılı atık miktarları (kg)	
Bz hammadde torbası	79000	Bz hammadde torbası	31000
C bant	565100	C bant	1010940

Tablo 4.8. 2019 yılı atıklarına göre yapılan aylık atık çeşitlerine göre ısıl değerler tablosu.

NUMUNE NO	kg/ay	kg/yıl	kg/gün	Hn (cal/g)	Enerji (cal/saat)	Enerji (MJ/saat)
1	1000	12000	32,87671233	7990	10945205	46
2	500	6000	16,43835616	9065	6208904	26
3	150	1800	4,931506849	9422	1936027	8
4	250	3000	8,219178082	3505	1200342	5
5	500	6000	16,43835616	8317	5696575	24
6	500	6000	16,43835616	7973	5460959	23
7	300	3600	9,863013699	4292	1763836	7
8	250	3000	8,219178082	10236	3505479	15
9	200	2400	6,575342466	3887	1064932	4
10	1000	12000	32,87671233	3407	4667123	20
11	200	2400	6,575342466	5334	1461370	6
12	10000	120000	328,7671233	5289	72452055	303
13	2000	24000	65,75342466	6156	16865753	71
14	2000	24000	65,75342466	6648	18213699	76
15	4000	48000	131,5068493	4112	22531507	94
16	1000	12000	32,87671233	9510	13027397	55
17	6000	72000	197,260274	6017	49454795	207
18	5000	60000	164,3835616	6713	45979452	192
19	24300	291600	798,9041096	4462	148529589	621
20	15000	180000	493,1506849	6316	129780822	543
21	19000	228000	624,6575342	10103	262954795	1100
22	24300	291600	798,9041096	4783	159214932	666
23	85000	1020000	2794,520548	8344	971561644	4065
24	4000	48000	131,5068493	9941	54471233	228
25	25000	300000	821,9178082	5207	178321918	746
26	104000	1248000	3419,178082	10305	1468109589	6143
27	61000	732000	2005,479452	9844	822580822	3442
28	2000	24000	65,75342466	4708	12898630	54

Bu atık çeşitlerinden yeşil adl (19 nolu), esnek kulakçık (21 nolu), beyaz adl (22 nolu), mini yanbant (24 nolu) numunelerinin tamamı; bariyer ve tissue (26-27 nolu ) numunelerin büyük bir miktarı geri dönüşüm makinaları aracılığı ile granül haline getirilerek proseste tekrar kullanılmaktadır.

Geri kalan atık çeşitlerinin hepsi geri dönüştürülemediği için uygun prosesler için satılmaktadır.

Bu tez kapsamında çalışılan ve atık olarak çıkan polimerik ve diğer malzemeler için kalorimetre bombasından elde edilen değerlere göre hesaplanmış ısıl değerler

verilmiştir. Toplamda 18790 MJ/saat değerinde enerji değeri ortaya çıkmaktadır. Fabrikada stokta bulunan 2017 ve 2018 yılı Bz hammadde torbası malzemeleri 3 yıl içerisinde düzenli yakıldığında 108 MJ/saat değerinde ve C bant atık malzemeler için de hesaplama yapıldığında 1586 MJ/saat değerinde enerji değeri elde edilmektedir. Bu iki malzeme stokta olduğundan hesaplamada ayrıca dikkate alınacaktır.

Toplamda  $18790 + 108 + 1586 = 20484$  MJ/saat enerji elde edilebilmektedir.

%40 verim hesabı ile [52];

8193,6 MJ/saat

**2,276 MWh**

elektrik üretimi ortaya çıkmaktadır. Fabrikanın üretim kapasitesi artışı düşünüldüğünde stoktaki atıklar bitirildiğinde dahi bu enerji miktarının sabit kalacağı aşıkardır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında sadece bir firmanın atık olarak açığa çıkardığı polimer ağırlıklı atıkların çöp sahasına atılması yerine ve/veya stoklanıp uzun süreli yer kaplama yanında maliyet gerektirmesi yerine ekonomiye kazandırılması konusu çalışılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki sonuç ürüne bağlı olarak ortaya çıkan atık miktarı ve bileşimi de değişkenlik gösterecektir. Ürünün kalitesi, şekli, kullanım alanı vb özellikleri atık miktarını etkileyen temel parametrelerdir. Genel olarak işletmeler minimum atık üretmek isteseler de sonuç beklendiği gibi çıkmamaktadır. Bu durumda işletmeler; ortaya çıkan atığın değerlendirilmesi, geri kazanımı, farklı maddelerin üretimi vb konularda gelişmiş ülkelerdeki gibi çalışmalar yapılması için kaynak ayırmalı ve bunu zorunlu yapmalıdır. Konu enerji açısından değerlendirildiğinde atığın miktarsal büyüklüğü ve ısıl değerine göre işletmenin tüm enerji ihtiyacını karşılayacak değerler elde edilebilecektir. Ülke ekonomisi ve hammadde, işçilik, enerji vb maliyetler düşünüldüğünde bu durum maliyetlerin dünya ortalamalarına düşürülerek ülkemizin ve işletmelerin rekabet gücünü artıracaktır. Özetle maliyet azaltıcı her unsur her gram malzeme küresel gelişmeleri dikkate aldığımızda büyük öneme sahip olmalıdır.

Tez kapsamında öneriler;

- Organize sanayi bölgelerinde yönetsel olarak yanabilen atık üretimi yapan işletmeler belirlenmelidir.
- Bu işletmelerin tümü geri kazanılabilen veya geri kazanılamayan olacak şekilde atıkların tasnif edilmesi için yönetsel çalışma yapılmalıdır.
- Polimerik temelli sonuç ürün üretimi yapan işletmelerde açığa çıkan polimerik malzemelerin öncelikle içeriği tam olarak belirlendikten sonra geri dönüşüm kullanım alanı belirlenmesi yapılmalıdır.
- Geri dönüşüm yapılmayacaksa polimerin miktarsal büyüklüğüne bağlı olarak ısıl değeri belirlenmelidir.
- Herhangi bir işletmede açığa çıkan polimer temelli ve/veya karbon içerikli diğer atıklar içerik olarak karakterizasyonu yapıldıktan sonra stoklanmalıdır.
- Atıklar işletme bazında enerji üretimi açısından yeterli miktarda ise işletme tarafından enerji üretimi için değerlendirilme yoluna gidilmelidir.
- İşletme kendisi yapmayacaksa bu atıkları doğada yakma yerine veya çöpe

atma yerine enerji üreten (çöpten yakma ile enerji üreten iller mevcuttur) tesislere ulaştırmalıdır.

- Geri kazanımı mümkün olan atıklar için işletme kendi bünyesinde geri kazanım sistemini kurup ürün üretmeli ve/veya bunu yapan başka işletmelere bu atıkları ücreti karşılığı verebilmelidir.



## 6. KAYNAKLAR

1. Mehmet Gökkaya. *Plastik atıkların petrokimyasal atıklarla katalitik eş-pirolizi* ” Master’s Thesis, Ankara University Turkey, 2013.
2. M.W. Ryberg, A. Laurent, M. Hauschild, *Mapping of global plastics value chain and plastics losses to the environment*. Danimarka Teknik University, 2018, 28.
3. Amine Çiçek. *PET atık polimerlerinin geri kazanımı, polyester elyaf üretim safhaları, kimyasalları ve zincir uzatıcılar* ” Master’s Thesis, Gaziantep University Turkey, 2018.
4. E. Pişkin, *Polimer teknolojisine giriş* , İstanbul, Türkiye, 1987, 134-146.
5. Fatma Bozkurt. *Melamin emdirilmiş kağıt (MEK) atıklarının termoset ve termoplastik esaslı kompozit malzeme üretiminde değerlendirilmesi* ” Master’s Thesis, Kahramanmaraş Sütçü İmam University Turkey, 2017.
6. Anonymous. (2019). [www.kimyaturk.net](http://www.kimyaturk.net) (on-line access on 23 Apr, 2019).
7. Anonymous. (2019). [www.sbb.gov.tr/ozel-ih-tisas-komisyonu-raporlari](http://www.sbb.gov.tr/ozel-ih-tisas-komisyonu-raporlari), Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu (2017-2018) (on-line access on 20 Apr, 2019).
8. Anonymous. (2019). [www.enerjiportali.com](http://www.enerjiportali.com) (on-line access on 20 Apr, 2019).
9. Ayşenur Özdemir. *Screening of various polyethylene terephthalat echain extendersın a meltpolymerization set-up* ” Master’s Thesis, Boğaziçi University Turkey, 2015.
10. B. Beşergil, *Ham Petrolden Petrokimyasallara El Kitabı*, Tükelmat AŞ, İzmir, Türkiye, 2007  
([http://besergil.cbu.edu.tr/hampetrolden\\_petrokimyasallara](http://besergil.cbu.edu.tr/hampetrolden_petrokimyasallara) )
11. Anonymous. (2019). [www.megep.meb.gov.tr](http://www.megep.meb.gov.tr). DPT VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Petrokimya), Ankara, 1990. (on-line access on 19 Mar, 2019).
12. Anonymous. (2019). DTP V. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu (petrokimya), Yayın No: DPT:2007 OİK :311, Ankara, 1985. (on-line access on 19 Mar, 2019).
13. A.Ezdeşir, E. Erbay, İ. Taşkıran, M. Ali Yağcı, M. Cöbek, T. Bilgiç. *Polimerler I*. İstanbul, Türkiye, 1999, 85-102.
14. A.Z. El-Sonbati, *Thermoplastic Elastomers*, Rijeka, Hırvatistan, 2012, 138-148.

15. Gökhan Bakır. *Design and analysis of a placing (inserting) mechanism for polypropylene (PP) and polyethylene (PE) sacks* '' Master's Thesis, Gaziantep University Turkey, 2010.
16. Aysel Kızıltay. *Bio degradable sely (ester-urethane) scaffolds bone tissue engineering* '' PhD Thesis, Orta Doğu Teknik University Turkey, 2011.
17. Nergiz Akpınar. *Kentsel katı atıklardan enerji üretimi* '' Master's Thesis, İstanbul Teknik University Turkey, 2006.
18. Hülya Gezginci. *Pyrolysis of polymers* '' Master's Thesis, Ege University Turkey, 2010.
19. Merve Soğancıoğlu. *Evsel termoplastik katı atıkların piroliz ürünleri ve yeni değerlendirme yaklaşımları* '' PhD Thesis, Selçuk University Turkey, 2016.
20. Anonymous.(2019). [www.erulusaglik.com.tr](http://www.erulusaglik.com.tr) (on-line access on 10 Aug, 2019.)
21. İlhan Küçük. *Fonksiyonel polioksometalatlardan sentezi ve poliüretan kompozitlerinde uygulanması* '' Master's Thesis, İnönü University Turkey, 2013.
22. TSE TS 1928 Türk Standartları Enstitüsü'nden elde edilen standartlar.
23. J. F. Nzihou, S. Hamidou, M. Bouda, J. Koulidiati, B. G. Segda, *Using Dulong and Vandralek Formulas to estimate the calorific heating value of a household waste model*, **Journal of Scientific & Engineering Research**, 2014. 5:1.
24. M. Sawalem, I.Badi, S. Aljamel, *Evaluation of solid wastes for utilisation in biogas plant in libya- a case study*. **International Journal of Engineering Sciences & Research Technology**, 2015.
25. D. Rajasekaran, P.K. Maji, *Recycling of plastic wastes with poly (ethylene-co-methacrylic acid) copolymer as compatibilizer and their conversion into high-end product*. **Waste Management**, 2018, 135-143.
26. C. Gopua, L. Gaoa, M. Volpec, L. Fioric, J.L. Goldfarba, *Valorizing municipal solid waste: Waste to energy and activated carbons for water treatment via pyrolysis*. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis (Article in press)**.
27. D. Rajasekaran, P.K. Maji, *Recycling of plastic wastes with poly (ethylene-co-methacrylic acid) copolymer as compatibilizer and their conversion into high-end product*, **Waste Management** **74**, 2018, 135–143

28. M. E. Çınar, F. Kar, *Characterization of composite produced from waste PET and marble dust*, **Construction and Building Materials** **163**, 2018, 734–741
29. D.S. Achilias, E. Antonakou, C. Roupakias, P. Megalokonomos, A. Lappas, *Recycling techniques of polyolefins from plastic wastes*, **Journal**, **10:1**, 2008, 114-122.
30. N. Singh, D. Hui, R. Singh, I.P.S. Ahuja, L. Feo, F. Fraternali, *Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications*, **Composites Part B** **115**, 2017, 409-422.
31. I. Boumanchar, Y. Chhiti, M. Fatima Ezzahrae M'hamdi Alaoui, Elkhoulakhi, A. Sahibed-dine, F. Bentiss, C. Jama, M. Bensitel *Investigation of (co)-combustion kinetics of biomass, coal and municipal solid wastes*. **Waste Management** **97**, 2019, 10–18.
32. P. He, L. Chen, L. Shao, H. Zhang, F.L. Municipal, *Solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics?-Evidence of microplastics in landfill leachate*, **Water Research** **159**, 2019, 38-45
33. J. Gong, X. Chen, T. Tang, *Recent progress in controlled carbonization of (waste) polymers*, **Progress in Polymer Science** **94**, 2019, 1–32.
34. C. Picunoa, A. Alassalia, M. Sundermanna, Z. Godosib, P. Picunoc, K. Kuchtaa, *Decontamination and recycling of agrochemical plastic packaging waste*, **Journal of Hazardous Materials** **381**, 2020, 120-965.
35. T. Ahmada, R.M. Aadila, H. Ahmeda, U.U. Rahmana, B.C.V. Soaresb, S.L.Q. Souzab, T.C. Pimentelc, H. Scudinod, J.T. Guimarãesd, E.A. Esmerinod, M.Q. Freitasd, R.B. Almadab, S.M.R. Vendramelb, M.C. Silvab, A.G. Cruzb, *Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review*, **Trends in Food Science & Technology** **88**, 2019, 361–372.
36. C.A. Correa, C.R. Santi, A. Leclerc, *Green-PVC with full recycled industrial waste and renewably sourced content*, **Journal of Cleaner Production** **229**, 2019, 1397-1411.
37. E.E. Kwona, S. Kimb, J. Leeb, *Pyrolysis of waste feedstocks in CO<sub>2</sub> for effective energy recovery and waste treatment*. **Journal of CO<sub>2</sub> Utilization** **31**, 2019, 173–180.
38. M.P. Ajia, A.L. Watia, A. Priyanta, J. Karunawana, B.W. Nuryadinb, E. Wibowoc, P. Marwotoa, Sulhadia, *Polymer carbon dots from plastics waste upcycling*, **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management** **9**, 2018, 136–140

39. B.G. Mwanza, C. Mbohwa, A. Telukdarie, C. Medohd, *Value Addition to Plastic Solid Wastes: Informal Waste Collectors' Perspective*, **Procedia Manufacturing** **33**, 2019, 391–397.
40. K. Ragaert, L. Delva, K.V. Geem, *Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste*, **Waste Management** **69**, 2017, 24–58
41. S. Ramarad, M. Khalid, C.T. Ratnam, A. L. Chuah, W. Rashmi, *Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future*, **Progress in Materials Science** **72**, 2015, 100–140.
42. J. Saleem, M. A. Riaz, G. McKay, *Oil sorbents from plastic wastes and polymers: A review*, **Journal of Hazardous Materials** **341**, 2018, 424–437.
43. Z.N. Kalantar, M.R Karim, A. Mahrez, *A review of using waste and virgin polymer in pavement*, **Construction and Building Materials** **33**, 2012, 55–62.
44. R.K. Padhan, A.A. Gupta, *Preparation and evaluation of waste PET derived polyurethane polymer modified bitumen through in situ polymerization reaction*, **Construction and Building Materials** **158**, 2018, 337–345.
45. G. Salihoglu, N.K. Salihoglu, S. Ucaroglu, M. Banar, *Food loss and waste management in Turkey*, **Bioresource Technology** **248**, 2018, 88–99
46. B.O. Oboirien, B.C. North, *A review of waste tyre gasification*, **Journal of Environmental Chemical Engineering** **5**, 2017, 5169–5178.
47. B.V. Bajoria, D.K. Parbat, P.B. Nagarnaik, *XRD Analysis of Natural sand, Quarry dust, waste plastic (ldpe) to be used as a fine aggregate in concrete*, **Proceedings** **5**, 2018, 1432–1438.
48. D.S Achilias, E. Antonakou, C. Roupakias, P. Megalokonomos, A. Lappas, *Recycling Techniques of polyolefins from plastic wastes*, **Journal**, **Vol 10, No 1**, 2008, 114-122.
49. R. Geyer, J.R Jambeck, K. L. Law, *Production, use, and fate of all plastics ever made*, **Research Article**, 2017.
50. M. E. Grigore, *Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers*, 2017
51. K. Hamad, M. Kaseem, F. Deri, *Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent Works*, **Polymer Degradation and Stability** **98**, 2013, 2801-2812
52. D. Einstein, E. Worrell, M. Khrushch, Lawrence Berkeley National Laboratory, *Steam systems in industry: Energy efficiency improvement potentials*, 2001.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hatice AKDAĞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Şahinbey, 10 Haziran 1993

Adres: Güneş Mh.91Nolu Sokak No:60 Şahinbey/Gaziantep

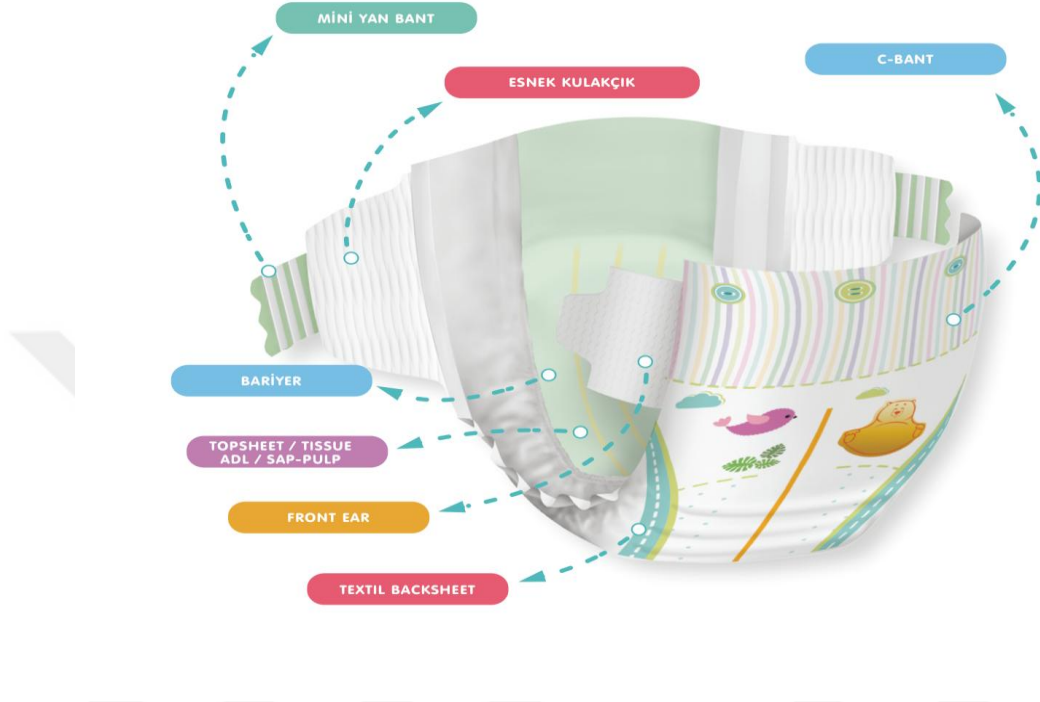
E-Posta: hatice.akdag1993@gmail.com

Lisans: İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü



## 7. EKLER

### EK.1. BEBEK BEZİ GÖRSELİ



### EK.2 ATIK GÖRSELLERİ



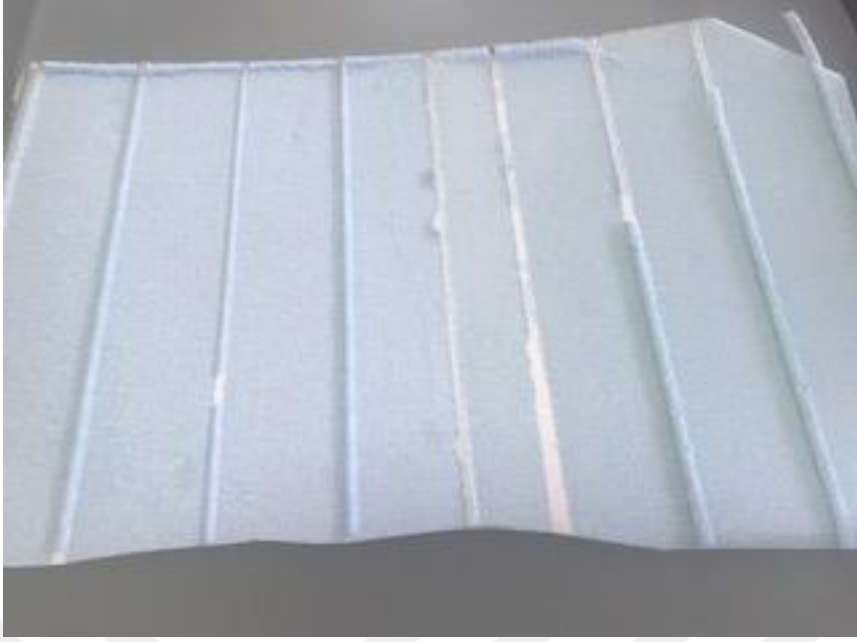
1.Klişe (yeşil renkli) (Sentetik kauçuk)



2.Dış cephe kaplama (köpük) (PS)



3.Eco hammadde torbası (Dışı Alüminyum iç kısmı PE)



4.Köpük dışındaki koruyucu(PVC)



5.Yeşil klişe bandı ((PET+PE)



6.Turuncu klişe bandı (PET+PE)



7.Elyaf tozu (PET)



8. Atık tutkal (Sentetik kauçuk)



9. Beyaz etiket kağıdı (selülozik kağıt)



10.Sarı etiket arkası kağıdı (Pergamin Kağıt)



11.Çuval çemberi (PP)



12. Atık spunlace kumaş (PET)



13. BZ hammadde torbası (PP+Kraft Kağıt)



14.C bant takozu (PE+PET+Sentetik Kauçuk)



15.Alkol cürufu (Etil alkol ile mürekkep seyreltmek ve tankların temizlenmesi sonucu kalan kalıntı)



16.Klişe cürufu (Solvent ile klişe temizlenmesi sonucu kalan kalıntı )



17.Kirli bez (PET)



18.Yağlı bez (PET)



19.Yeşil adl numunesi (PET)



20.C bant numunesi (PET+PE+ Sentetik Kauçuk)



21.Esnek kulakçık numunesi (PP)



22.Beyaz adl numunesi (PET)



23.Tbs numunesi (PP+PE+ Sentetik Kauçuk)



24. Mini yanbant numunesi (PP+ Sentetik Kauçuk)



25. Sbs numunesi (PET+PE+Sentetik Kauçuk)



26.Bariyer numunesi (PP)



27.Tissue numunesi (PP)



28.Filtre numunesi (sünger demir)

