

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ CAM ELYAF
KATKILI ve KATKISIZ
POLİPROPİLEN-POLİETİLEN
MALZEMELERİN MEKANİK ve
KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

MEHMET METİN MEDAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2013

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ CAM ELYAF
KATKILI ve KATKISIZ
POLİPROPİLEN-POLİETİLEN
MALZEMELERİN MEKANİK ve
KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

MEHMET METİN MEDAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE

2013



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17/06/2013..... tarih ve ..2013../..32..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ...01/..08../2013.. tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mehmet Metin MEDAR'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE

: Doç. Dr. Faruk YILMAZ

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Plastik malzemelerin endüstride ve günlük hayatta kullanımı gittikçe artmaktadır. Çevresel kaygılar ve ham madde fiyatlarının pahalı olması geri dönüştürülmüş polimer malzeme kullanımının önemini arttırmıştır. Geri dönüştürülmüş malzeme kullanarak ekoloji korunur ve malzeme maliyetleri düşürülür. Bu tez çalışmasında, cam elyaf katkılı ve katkısız polipropilen (PP) ve polietilen (PE) malzeme karışımlarının geri dönüşümünün mekanik ve kimyasal özelliklere etkisi incelendi.

Çalışmada kullanılan PP-PE karışım malzeme; Saf, geri dönüştürülmüş ve saf malzemenin içerisine % 25 , % 50 ve % 75 oranlarında geri dönüşümlü malzeme katılarak hazırlandı. Cam elyaf katkılı PP-PE (PPCE-PE) karışımı ise sadece saf ve geri dönüşümlü olarak hazırlandı. Kullanılmamış malzeme ile gerçekleştirilen geri dönüşüm prosesi enjeksiyon makinesi ile beş kere tekrarlandı. Her bir prosesten ayrılan plastik test numunelerine mekanik testler olarak; çekme testi, eğilme testi, izod darbe testi ve eriyik akış testi uygulandı. Geri dönüşümler sonrasında cam elyaf katkılı ve katkısız PP-PE karışımlarının mekanik dayanımlarının azaldığı görüldü. Mekanik özelliklerdeki düşüş, SEM’de görülen matris fazı içindeki ayrışmalar ve bozunmalar ile desteklendi. Kızılötesi spektroskopisi geri dönüştürülmüş malzemelerin kimyasal yapısında değişiklik olmadığını gösterdi. Termal gravimetrik analizi PP ile PE’nin benzer kimyasal yapıya sahip olduğunu gösterdi. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) karışım oranlarının doğruluğunu gösterdi. PP-PE içerisine cam elyaf katılması darbe dayanımı hariç mekanik özellikleri % 50 ile % 100 arasında geliştirdiği gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: PP-PE, PPCE-PE, Geri dönüşüm, Mekanik ve Kimyasal Özellikler.

SUMMARY

Use of plastic materials in industry and everyday life increases gradually. Environmental concerns and high raw material costs enhanced significance of recycled polymers. By using recycled materials ecology is protected and material costs are reduced. In this dissertation, recycling of glass fiber reinforced and unreinforced polypropylene (PP) polyethylene (PE) blends have been examined for their mechanical and chemical properties.

In the study, PP-PE blend material was formed by recycling materials to their virgins by rates of 25 %, 50 %, 75 %. Glass fiber reinforced PP-PE blends were prepared as merely virgin and recycled. Recycling process was carried out with unused materials by injection molding and repeated five cycles. As mechanical tests; tensile strength, flexural strength, izod impact strength, and melt flow index tests were applied to compare each process and unused test specimens. After recycling process, decrease of mechanical strengths of both glass fiber reinforced and unreinforced PP-PE blends was seen. Decrease of mechanical properties of recycled blends was supported by SEM morphologies revealed separation and degradation in matrix phase. Infrared spectroscopy (FTIR) exhibited that chemical properties of recycled materials did not alter. Thermogravimetric analysis (TGA) showed that polypropylene and polyethylene have similar chemical structure. Differential scanning calorimetry (DSC) confirmed accuracy of blend rates. It was observed that adding glass fiber in PP-PE led to the improvement in mechanical properties except impact strength by 50 – 100 %.

Key Words: PP-PE, PPGF-PE, Recycling, Mechanical and Chemical Properties.

TEŞEKKÜR

Bu tez 110M245 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenen projeden yapılmıştır. Tez süresince beni sürekli araştırmaya ve çalışmaya teşvik eden ve bana her konuda destek olan hocam Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e, laboratuvarında çalışırken hem projede hem de tezimde bana arkadaş olan Enis TAŞCI ve Ali İhsan ALTAN'a, malzemelerin plastik enjeksiyon makinesinde basılmasında yardım eden Hamit AYVAZ'a, SEM analizinde yardımcı olan Ahmet NAZIM'a teşekkür ederim.

Ayrıca beni yetiştiren ve bugünlere gelmemde maddi manevi desteğini esirgemeyen annem Havva MEDAR'a, babam Engin MEDAR'a, ağabeyim Ahmet MEDAR'a ve kardeşim Furkan MEDAR'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. PLASTİK MALZEMELER	3
2.1. Plastik Malzemelerin Üretimi ve Tüketimi	3
2.2. Plastik Malzemelerde Geri Dönüşüm	6
2.2.1. Geri Dönüşümün Önemi	6
2.2.2. Tez Çalışmasındaki Geri Dönüşüm Uygulamasının Önemi	7
3. LİTERATÜR TARAMASI	9
3.1. Önceki Benzer Çalışmalar	9
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	24
4.1. Kullanılan Deney Araç-Gereçleri ve Özellikleri	24
4.1.1. Enjeksiyon Makinesi	24
4.1.2. Kırma Makinesi	26
4.1.3. Darbe Test Cihazı	27
4.1.4. Erime Akış Ölçüm Cihazı	27
4.1.5. Çekme ve Eğilme Test Cihazı	28
4.1.6. Termal Gravimetrik Analizi (TGA)	28
4.1.7. Kızıl ötesi (Infrared) Spektrometresi (ATR-FTIR)	29
4.1.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	29
4.1.9. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)	30
4.2. Kullanılan Plastik Malzeme ve Özellikleri	31
4.2.1. Polipropilen (PP)	31

4.2.2. Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE)	32
4.2.3. Polipropilen-Polietilen (PP-PE)	33
4.2.4. % 30 Cam Elyaf Katkılı Polipropilen Polietilen (PPCE-PE)	34
4.3. Deney Numuneleri	34
4.3.1. Çekme Test Numunesi	34
4.3.2. Darbe Test Numunesi (Çentikli)	35
4.3.3. Darbe Test (Çentiksiz) ve Eğilme Test Numunesi	35
4.4. Deney Numunelerinin Plastik Enjeksiyonda Üretilmesi	36
4.4.1. Polipropilen Polietilen Karışımı (PP-PE) Üretimi	36
4.4.2. % 30 Cam Elyaf Katkılı Polipropilen Polietilen (PPCE-PE) Üretimi	37
5. DENEYSEL SONUÇLAR ve YORUMLAR	39
5.1. Polipropilen Polietilen Karışımı (PP-PE)	39
5.1.1. Çekme Testi Sonuçları	39
5.1.2. Eğilme Testi Sonuçları	45
5.1.3. İzod Darbe Testi Sonuçları	47
5.1.4. Eriyik Akış Testi Sonuçları	49
5.1.5. SEM Analiz Sonuçları	51
5.1.6. Kızılötesi (Infrared) Spektroskopisi (FTIR) Sonuçları	52
5.1.7. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları	53
5.1.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Sonuçları	54
5.2. % 30 Cam Elyaf Katkılı Polipropilen Polietilen Karışımı (PPCE-PE)	55
5.2.1. Çekme Testi Sonuçları	56
5.2.2. Eğilme Testi Sonuçları	59
5.2.3. İzod Darbe Testi Sonuçları	61
5.2.4. Eriyik Akış Testi Sonuçları	62
5.2.5. SEM Analiz Sonuçları	63
5.2.6. Kızılötesi (Infrared) Spektroskopisi (FTIR) Sonuçları	64
5.2.7. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları	65
5.2.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Sonuçları	66
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

C-H	: Karbon hidrojen bağı
E	: Elastisite modülü
T _m	: Erime sıcaklığı
ε _B	: Maksimum kopma uzaması
ε _f	: Maksimum akma uzaması
σ _B	: Çekme dayanımı
σ _f	: Akma dayanımı
ΔH _f	: Ergime ısısı
ASTM	: Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetri
FTIR	: Kızılötesi (Infrared) spektroskopisi
G.D.	: Geri dönüşüm
HP	: Beygir gücü
IS	: Darbe dayanımı
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
iPP	: İzotaktik polipropilen
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen tereftalat
POD	: Geri dönüştürülmüş poliolefin
PP	: Polipropilen
PP-PE	: Polipropilen polietilen karışımı
PPCE-PE	: % 30 Cam elyaf katkılı polipropilen polietilen karışımı
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil klorür
R.	: Recycle

rpm	: Dakikadaki dönüş sayısı
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TEM	: Geçirimli elektron mikroskobu
TGA	: Termal gravimetrik analiz
THF	: Tetrahidrofuran
UTS	: Maksimum çekme dayanımı
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Plastik tüketiminde yıllara göre değişme.	3
3.1: PP ile geri dönüşümlü HDPE'nin a) 90/10, b) 70/30 ve c) 50/50 karışım oranlarının TEM görüntüleri.	11
3.2: Sırasıyla 70/30 oranlarında karıştırılan PP/HDPE'nin a) % 5, b) % 15 uyumlaştırıcılı TEM görüntüleri.	11
3.3: LDPE ile geri dönüştürülmüş HDPE'nin a) 70/30, b) 50/50 karışım oranlarının TEM görüntüleri.	12
3.4: Sırasıyla 80/20 oranlarında karıştırılmış PP/POD'un a) uyumlaştırıcısız, b) % 12 uyumlaştırıcılı SEM görüntüleri.	14
3.5: Sırasıyla 90/10 oranlarında karıştırılmış LDPE/POD'un a) uyumlaştırıcısız, b) % 10 uyumlaştırıcılı karışımlarının SEM görüntüleri.	15
3.6: Saf HDPE, saf PP ve sırasıyla 95/5 karışım oranlarındaki PP/HDPE ile 90/10 karışım oranlarındaki PP/HDPE karışımlarının çekme dayanımı diyagramı.	16
3.7: Farklı oranlarda HDPE ile PP karışımının a) elastisite modülü ve b) çekme dayanımı grafikleri.	17
3.8: Farklı oranlarda HDPE ile PP karışımlarının çekme oranı.	18
3.9: HDPE'nin PP/HDPE karışımı içerisindeki a) % 1, b) % 10, c) % 20, d) % 50 karışım oranlarındaki TEM görüntüleri.	18
3.10: Sırasıyla 80/20 karışım oranlarındaki PP/HDPE karışımının ara yüzeyinin TEM görüntüsü.	19
3.11: % 70 PP ile % 30 geri dönüştürülmüş ve geri dönüştürülmemiş HDPE'nin farklı oranlarda uyumlaştırıcılı karışımlarının a) elastisite modülü, b) kopma uzamasındaki değişimler.	20
3.12: % 70 PP ile % 30 geri dönüştürülmüş ve geri dönüştürülmemiş HDPE'nin farklı oranlarda uyumlaştırıcılı karışımlarının a) çekme dayanımı, b) darbe dayanımındaki değişimler.	21
3.13: Kopolimer ilavesiz PP/geri dönüşümsüz HDPE karışımının TEM görüntüsü.	21

3.14: PP/geri dönüşümsüz HDPE'nin a) % 5, b) % 15 kopolimerli karışımlarının TEM görüntüleri.	22
3.15: Kopolimersiz PP/geri dönüştürülmüş HDPE karışımının TEM görüntüsü.	22
3.16: PP/geri dönüştürülmüş HDPE'nin a) % 5, b) % 15 kopolimerli karışımlarının TEM görüntüleri.	23
4.1: Plastik enjeksiyon makinesi.	24
4.2: Kalıp şartlandırıcısı.	25
4.3: Soğutucu.	25
4.4: Enjeksiyon makinesinde kullanılan kalıp.	26
4.5: Kırma makinesi.	26
4.6: Darbe test cihazı.	27
4.7: Erime akış ölçüm cihazı.	27
4.8: Çekme test cihazı.	28
4.9: Termal gravimetrik analiz cihazı.	29
4.10: Kızıl ötesi (Infrared) spektrometresi (ATR-FTIR).	29
4.11: Taramalı elektron mikroskobu (SEM).	30
4.12: Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC).	30
4.13: Polipropilenin (PP) kimyasal formülü.	32
4.14: Polietilen kimyasal formülü.	33
4.15: PP-PE ikili karışımı kimyasal yapısı.	33
4.16: PPCE-PE ikili karışımı kimyasal yapısı.	34
4.17: Çekme numunesinin şekil ve boyutları (ISO 527).	35
4.18: ISO 180'e göre çentikli izod darbe test numunesi.	35
4.19: ISO 180 ve ISO 178'e göre hazırlanan test numunesi.	35
5.1: PP-PE karışımı örnek çekme dayanımı - birim uzama grafiği.	39
5.2: PP-PE saf ve geri dönüşümlerin maksimum uzama (%) grafiği.	41
5.3: PP-PE geri dönüşüm oranına göre maksimum uzama (%).	42
5.4: PP-PE karışımı çekme dayanımı grafiği.	42
5.5: PP-PE karışımı % 0,2 akma dayanımı grafiği.	43
5.6: PP-PE saf + geri dönüşüm oranına göre çekme dayanımı.	43
5.7: PP-PE saf + geri dönüşüm oranına göre % 0,2 akma dayanımı.	44
5.8: PP-PE karışımı elastisite modülü grafiği.	45
5.9: PP-PE saf malzemenin örnek eğilme dayanımı uzama grafiği.	46

5.10: PP-PE karışımı eğilme dayanımı grafiği.	47
5.11: PP-PE saf ve geri dönüşümlerin izod darbe dayanımı grafiği.	47
5.12: PP-PE geri dönüşüm oranına göre izod darbe dayanımı.	49
5.13: PP-PE karışımı eriyik akış grafiği.	49
5.14: PP-PE geri dönüşüm oranına göre eriyik akış oranı.	51
5.15: PP-PE karışımının a) saf, b) 1.G.D. ve c) 4.G.D.'lerinin SEM görüntüleri.	52
5.16: PP-PE FTIR spektrumu.	53
5.17: PP-PE termal gravimetrik analiz termogramı.	54
5.18: PP-PE diferansiyel taramalı kalorimetri termogramı.	55
5.19: PPCE-PE karışımı örnek çekme dayanımı-birim uzama grafiği.	56
5.20: PPCE-PE maksimum uzama (%) grafiği.	57
5.21: PPCE-PE çekme dayanımı grafiği.	58
5.22: PPCE-PE % 0,2 akma dayanımı grafiği.	58
5.23: PPCE-PE malzemesi elastisite modülü grafiği.	59
5.24: PPCE-PE saf malzeme örnek eğilme dayanımı uzama grafiği.	60
5.25: PPCE-PE malzemesi eğilme dayanımı grafiği.	61
5.26: PPCE-PE izod darbe dayanımı grafiği.	62
5.27: PPCE-PE eriyik akış oranı grafiği.	63
5.28: PPCE-PE karışımının a) saf, b) 1.G.D. ve c) 5.G.D.'lerinin SEM görüntüleri.	64
5.29: PPCE-PE FTIR spektrumu.	65
5.30: PPCE-PE termal gravimetrik analiz termogramı.	66
5.31: PPCE-PE diferansiyel taramalı kalorimetri termogramı.	67

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Bazı ülkelerin kişi başına plastik tüketimleri (kg/kişi).	4
2.2: Kişi başına plastik tüketimi.	5
2.3: Petrokimya iç pazar talebi (bin ton).	5
3.1: PP'nin farklı oranlarda geri dönüştürülmüş HDPE ile karışımının mekanik özellikleri.	9
3.2: % 70 PP ile % 30 geri dönüştürülmüş HDPE'nin farklı oranlarda kopolimer ilaveli karışımlarının test sonuçları.	10
3.3: Saf LDPE ile geri dönüştürülmüş HDPE'nin mekanik özellikleri.	12
3.4: POD ile farklı oranlardaki PP karışımının termal ve mekanik özellikleri.	13
3.5: Sırasıyla 80/20 oranlarında karıştırılmış PP ve POD'un farklı oranlarda kopolimerli karışımlarının test sonuçları.	14
3.6: Sırasıyla 90/10 oranlarında karıştırılmış LDPE/POD'un farklı oranlarda kopolimerli karışımlarının mekanik ve termal özellikleri.	15
3.7: Farklı oranlarda saf ve geri dönüşümlü HDPE ile PP karışımının mekanik özelliklerindeki değişimler.	19
4.1. Kullanılan PP malzemenin teknik özellikleri.	31
4.2: Kullanılan alçak yoğunluklu polietilen malzemenin teknik özellikleri.	32
4.3: PP-PE ekstrüder çalışma şartları.	33
4.4: PPCE-PE ekstrüder çalışma şartları.	34
4.5: PP-PE enjeksiyon üretim şartları.	36
4.6: PP-PE üretilen test çubukları.	37
4.7: PPCE-PE enjeksiyon üretim şartları.	38
4.8: PPCE-PE üretilen test çubukları.	38
5.1: PP-PE malzeme çekme test sonuçları.	40
5.2: PP-PE malzemesi elastisite modülü test sonuçları.	45
5.3: PP-PE malzemesi eğilme dayanımı test sonuçları.	46
5.4: PP-PE karışımı izod darbe test sonuçları.	48
5.5: PP-PE karışımı eriyik akış test sonuçları (g/10dk).	50
5.6: PPCE-PE malzeme çekme test sonuçları.	57
5.7: PPCE-PE malzemesi elastisite modülü test sonuçları.	59

5.8: PPCE-PE malzemesi eğilme testi sonuçları.	60
5.9: PPCE-PE malzeme izod darbe test sonuçları.	61
5.10: PPCE-PE malzeme eriyik akış sonuçları.	62
6.1: PP-PE saf ve geri dönüşümlerinin mekanik test sonuçları.	69
6.2: PP-PE geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümünün 5 geri dönüşüm sonrası maksimum uzamadaki (%) yüzde değişimi.	70
6.3: PP-PE geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümünün 5 geri dönüşümünde çekme dayanımındaki yüzde değişimi.	71
6.4: PP-PE geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümünün 5 geri dönüşümünde % 0,2 akma dayanımındaki yüzde değişimi.	71
6.5: PP-PE'nin % 100 saf malzemesi ile geri dönüşüm sonrası malzeme içerisinde artan geri dönüşüm oranlarına göre izod darbe dayanımındaki yüzde değişimleri.	72
6.6: PP-PE'nin % 100 saf malzemesi ile geri dönüşüm sonrası malzeme içerisinde artan geri dönüşüm oranlarına göre eriyik akış oranındaki yüzde değişimleri.	73
6.7: PPCE-PE saf ve geri dönüşümlerinin mekanik özelliklerindeki yüzde değişimler.	74
6.8: PP-PE ve PPCE-PE saf ve geri dönüşümlerinin mekanik test sonuçları.	75

1. GİRİŞ

Plastik malzemelerin geri dönüşümleriyle ilgili son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Özellikle plastik malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi plastik malzemeleri diğer malzemelerin alternatifi haline getirmiştir. Plastik malzemelerin üretiminde ve tüketiminde yaşanan artış nedeniyle plastik atıkların yeniden kullanılması önem kazanmıştır. Geri dönüşümlü malzemelerin üretimde yeniden kullanılmasının birçok avantajı vardır. Plastik atıklar doğada uzun süre bozunmadan kaldıkları için doğal dengeyi bozmaktadırlar. Atıklardan plastiklerin ayrıştırılarak yeniden kullanılması çevre kirliliğini önleyecektir. Ayrıca proses sırasında ortaya çıkan çapak, üretim hatası ürünler ve soğuk yolluklarda hurdaya atılmak yerine yeniden kullanılabilir. Petrol fiyatlarının artmasından dolayı ham madde fiyatlarının pahalılaşması da geri dönüşümün önem kazanmasını sağlamıştır. Bunlara ilave olarak geri dönüşümlü malzeme kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu tez çalışmasında, ülkemizde ve dünyada en fazla kullanılan plastik çeşitlerinden polipropilen (PP) ve polietilen (PE) malzeme karışımının cam elyaf katkılı ve katkısız olanlarının saf ve yeniden üretimde geri dönüştürülmesi durumunda mekanik ve kimyasal özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Tez çalışmasında bu malzemelerin seçilmesinin nedenleri, polipropilen ve polietilen malzemelerin çevresel ve proses atıkların içerisinde yüksek oranda bulunmalarıdır. İlave olarak bu malzemeler yüksek darbe dayanımı ve düşük sıcaklıkta tokluk gibi özelliklerinden dolayı önemli ticari karışımlardır. Ayrıca polipropilenin içerisine polietilen ilavesi polipropilenin darbe dayanımını, polietilenin içerisine polipropilen ilavesi ise polietilenin yüzeyinde çatlak oluşumuna karşı direncini artırır [Jose et al., 2004]. Bu çalışmada bir de polietilen ve polipropilen karışımının içerisine cam elyaf katkısının mekanik ve kimyasal özelliklere etkisi incelenmiştir. Karışımlar hazırlanırken PP-PE malzemesinin saf, 1., 2., 3., 4., 5. geri dönüşümleri ve % 25, % 50, % 75 oranlarında saf + geri dönüşümleri hazırlanmıştır. İkinci karışım malzemesi olarak % 30 cam elyaf katkılı PP ile alçak yoğunluklu PE'nin % 60 - % 40 karışım oranında (PPCE-PE) hazırlanan malzeme kullanılmıştır. PPCE-PE malzemesinin saf

ve 1., 2., 3., 4., 5. geri dönüşümleri hazırlanmıştır. Geri dönüşüm için malzemeler kırma makinesinde kırılmış üretimi ise plastik enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. Her bir enjeksiyon basımında testler için gerekli sayıda numune alınmıştır. Saf ve geri dönüşümlü malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemek için çekme testi (maksimum uzama (%), çekme dayanımı, % 0,2 akma dayanımı ve elastisite modülü), eğilme testi, izod darbe testi ve eriyik akış testleri uygulanmıştır. Bu testler beş kez tekrar edilmiştir. Kimyasal özellikleri incelemek için ise malzemelere taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi, kızılötesi (Infrared) spektroskopisi (FTIR), termal gravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) testleri uygulanmıştır.

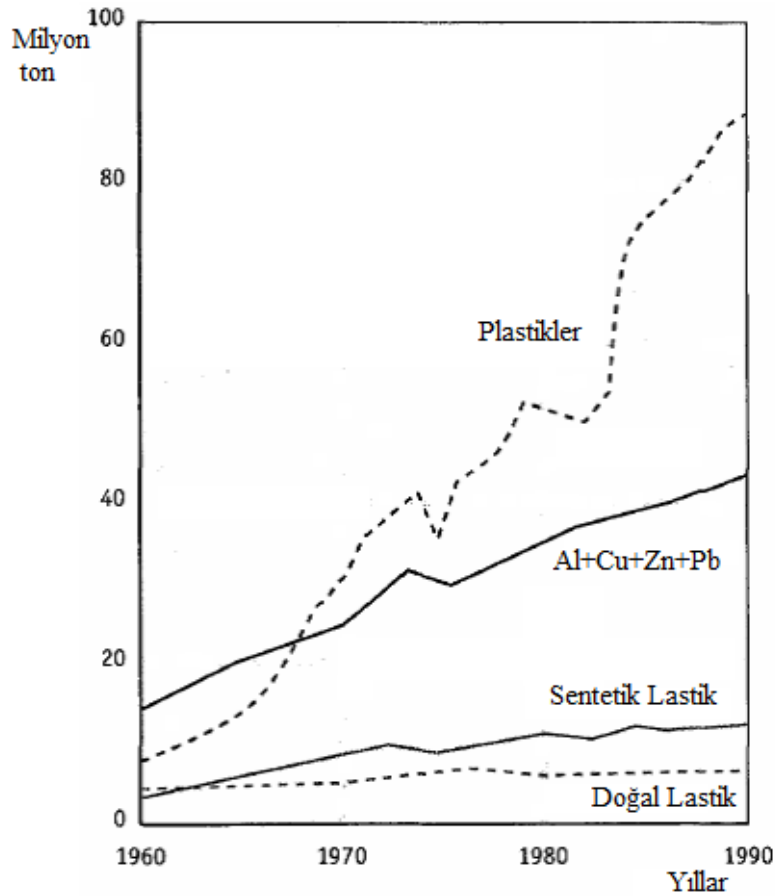
Bu tez kapsamında, öncelikle ikinci bölümde dünyada plastik malzemelerin kullanımı ve plastik malzemelerde geri dönüşüm anlatılmıştır. Üçüncü bölümde literatür taraması yapılmıştır. Dördüncü bölümde deneysel çalışma ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde deney sonuçları şekil ve tablolar halinde ayrı ayrı verilmiş ve her bir sonuç tartışılmıştır. Altıncı bölümde ise test sonuçlarındaki değişimler yüzde olarak tablolarda verilmiş, sonuçlar yorumlanmış ve daha sonra yapılacak benzer çalışmalara öneriler sunulmuştur.

2. PLASTİK MALZEMELER

Karbonun (C), hidrojen (H), azot (N), oksijen (O) ve diğer elementler ile oluşturduğu monomer olarak adlandırılan, basit yapıdaki moleküllü gruplardaki bağın koparılarak, polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen malzemelere plastik malzemeler denir [Web 1, 2013]. Plastikler ilk olarak 1860 yılında Alexander Parker tarafından keşfedilmiştir [Web 2, 2005].

2.1. Plastik Malzemelerin Üretimi ve Tüketimi

Plastik malzemeler ekonomik ve kolay uygulanabilir malzemeler olduğundan cam, tahta ve demir gibi malzemelerin yerine kullanılmaktadırlar. Bunun sonucunda da plastik malzemelerin tüketiminde artış olmaktadır [Web 3, 2006]. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi dünyada plastik malzeme tüketimi zamanla artmıştır [Web 2, 2005].



Şekil 2.1: Plastik tüketiminde yıllara göre değişme.

1998 yılında dünyada plastik tüketimi 115 milyon tondur. Bu miktarın 28.8 milyonu Batı Avrupa’da, 2.024 milyon tonu ise ülkemizde gerçekleşmiştir. Ülkemizin plastik tüketimi Batı Avrupa’nın % 7.013’ü dünya tüketiminin de % 1.756’ı civarındadır [Web 4, 2001]. Termoplastik malzeme çeşitleri olarak plastik malzeme tüketimleri Tablo 2.1’de verilmiştir [Web 4, 2001].

Tablo 2.1: Bazı ülkelerin kişi başına plastik tüketimleri (kg/kişi).

	AYPE	YYPE	PVC	PP	PS	DİĞER	TOPLAM
Batı Avrupa	17,1	10,9	14,4	16,8	5,7	4,1	69
Romanya	1,8	0,9	1,4	0,8	1,2	0,0	6,1
Çin	2,6	1,5	2,1	2,4	1,3	1,2	11,1
Malezya	9,3	6,9	5,5	8,4	4,8	4,7	39,6
Hindistan	0,4	0,6	0,7	0,7	0,2	0,1	2,7
ABD	24,0	21,0	20,5	19,9	9,1	3,6	98,1
Türkiye	5,6	2,26	6,34	7,1	2,16	6,94	30,4

Günümüzde dünyada üretilen plastik miktarı çelik üretiminden fazladır. Her geçen yıl plastik malzeme üretimi ve tüketiminde artış yaşanmaktadır. Plastik malzemelerin doğada çözünme süresi yaklaşık 100 yıl olduğu düşünülürse plastiklerin çevre açısından çok büyük tehlike oluşturduğu düşünülebilir [Saçak, 2010].

Plastik malzeme tüketimi ülkelerin gelişmişlik ölçüsünün bir göstergesi olarak kabul edilebilmektedir. Tablo 2.2’de 2007 ve 2010 yılları arasında dünyada ve ülkemizde plastik tüketimindeki değişim görülmektedir [Web 5, 2011].

PET ve PC malzemeleri dünya plastik hammadde tüketiminde artış hızı en fazla olan plastiklerdir. Dünyada en fazla plastik tüketen ülkeler ise K. Amerika, Güney Doğu Asya ve Batı Avrupa ülkeleridir. Dünya plastik tüketiminde ambalaj sanayi % 29 inşaat sanayi % 24 orana sahiptir [Web 6, 2010].

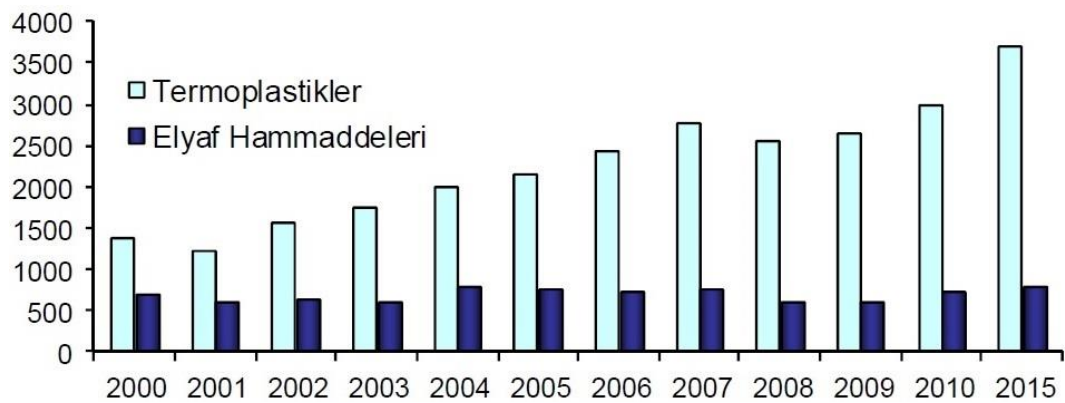
Tablo 2.2: Kişi başına plastik tüketimi.

kg/kişi	2007	2008	2009	2010
ABD	90	75	76	71
Batı Avrupa	78	69	70	65
Türkiye	45	43	45	52
Çin	30	28	30	37
Dünya	25	24	24	25
Brezilya	23	5	6	6
Hindistan	6	5	6	6

Plastik sektörü ülkemizin en hızlı büyüyen sektörleri arasındadır. Ülkemiz plastik işleme kapasitesi olarak İspanya'dan sonra Avrupa'da 6.sıradadır. Türkiye'de plastik üretiminde ağırlıklı olarak PE, PP, PVC ve PS malzemeleri tüketilmektedir. Bu tezde ülkemizde en fazla üretilen PE ve PP malzemelerin ikili karışımları kullanılmıştır. 2004 yılında ülkemizde toplam sanayi % 9,8 imalat sanayi % 10,4 büyümekte iken plastik sanayinde % 12,7 büyümeye gerçekleşmiştir [Web 6, 2010].

Tablo 2.3'te Türkiye'de son yıllarda özellikle termoplastik malzemeye olan talep artışı görülmektedir [Web 6, 2010].

Tablo 2.3: Petrokimya iç pazar talebi (bin ton).



2.2. Plastik Malzemelerde Geri Dönüşüm

2.2.1. Geri Dönüşümün Önemi

Plastik malzemeler doğada uzun yıllar boyunca çözünemediklerinden dolayı aşırı miktarda çevreyi kirletmektedirler [Su et al., 2007]. Bu sebeple plastik malzemelere geri dönüşüm uygulanması çok önemlidir. Geri dönüşüm çalışmalarına bakıldığında son yıllarda ciddi miktarda artış görülmektedir [Balart et al., 2005].

Plastik malzemelerin geri dönüşümü kısaca atıkların çevreyi kirletmesinin önlenmesi, sıfırdan plastik üretmek yerine atık kullanımı ile enerji tasarrufu sağlanması, hammadde ihtiyacının azaltılması ve artan tüketimin doğal dengeyi bozmasının engellenmesi açısından çok önemlidir [Web 7, 2009].

Her 100 kg plastik atığının % 7,4'ünün geri kazanılması ile polimerin üretiminde gereken enerji ve hammadde açısından % 22,1 tasarruf sağlanmaktadır. [Tan vd., 2007]. Günlük hayatta kullanılan plastiklerden geri dönüşüm sonucu daha dayanıklı malzeme imal edilerek plastiklerin en az üç yıl kullanımı sağlanmalıdır. Son yıllarda plastik ürünlerin performansı, dizaynı ve düşük maliyeti geri dönüştürülmüş plastiklere olan ilgiyi arttırmıştır. Bu ürünlere örnek olarak ev aletleri, bilgisayar parçaları, bahçe mobilyaları, halılar ve oto yedek parçaları sayılabilir [Web 2, 2005].

Plastiklerin geri dönüşümünün önemini arttıran nedenler;

- Petrole yapılan zamlar plastiklerin geri dönüşümünü hızlandırmıştır.
- Piyasadaki geri dönüştürülmüş plastikler kullanılmış plastiğe talebi arttırmıştır.
- Geri dönüştürülmüş plastikten yapılmış ürünlere olan pazar talebinin teşvik edilmesi plastiklerin geri dönüşümünü hızlandırmıştır.
- Plastik madde üretiminde saf malzemenin yanında geri dönüştürülmüş plastik kullanılmasının zorlanması geri kazanımı arttırmıştır. Birçok ülkede kullanılmış ambalaj malzemelerden yeni ürünler üreten sanayi oluşturulmuştur [Web 2, 2005].

2.2.2. Tez Çalışmasındaki Geri Dönüşüm Uygulamasının Önemi

Plastik atıklar kullanım sonrası atıklar ve proses atıkları olarak iki gruba ayrılır. Proses atıkları plastik imal eden fabrikalardan elde edilen soğuk yolluk atıkları, üretim hatası parçalar ve çapaklardır. Proses atıkları toplam üretimin % 10'u kadardır ve genel olarak temizdirler. Kullanım sonrası atıklar ile ilgili birçok sınıflandırma mevcuttur. Bunları sektörlerine göre incelemek gerekir. Bunlar ambalaj, otomotiv, ziraat, kentsel atıklar (ev, alış-veriş merkezleri ve süpermarket atıkları vb.), elektronik-elektrik ve inşaat atıkları olarak sınıflandırılabilirler [Telli, 2009].

Bu tez çalışmasında, proses atıklarının geri dönüşüm çalışması yapılmıştır. Ortalama bir plastik enjeksiyon fabrikasında yılda 500 ton plastik atık oluşmaktadır. Ülkemizdeki plastik enjeksiyon ile parça üreten fabrikalara bakıldığında genellikle oluşan atıklar ya hurdacılara verilmekte veya da saf malzemenin içerisine yaklaşık % 30 civarında katılarak kullanılmaktadır. Hâlbuki geri dönüşümlü malzeme kullanılırken malzemeye kaç geri dönüşüm uygulandığı ve geri dönüşüm oranı çok önemlidir. Fakat ne yazık ki plastik parça üreten firmalar genellikle geri dönüşüm sonrası plastik parçanın mekanik özelliklerini incelemeden sadece plastik parçanın plastik enjeksiyonda basılabilesine bakmaktadırlar. Ama aslında plastik malzemeler türlerine göre geri dönüşüm prosesinden farklı etkilenmektedirler. Kimi plastik malzemeler belirli geri dönüşüm sayısına kadar özelliklerini korurken bazı plastik malzemeler geri dönüşüm sonucunda özelliklerini çabuk kaybetmektedir. Ayrıca, bazı plastik malzemelerin geri dönüşüm uygulanmadan önce tesisin bazı donanımlara sahip olması gerekir. Örneğin, PVC malzemenin diğer malzemeler ile aynı makinede kullanımı uygun olmadığı için ayrı bir enjeksiyon makinesi gerekir. PVC üretimi sırasında açığa çıkan HCl gazı makine ekipmanlarında korozyona sebep olmaktadır ve özel kaplama gerektirmektedir. PVC üretiminin yapıldığı enjeksiyon makinesinin fırın kısmı özel soğutma sistemleriyle donatılarak, ısınma önlenmelidir. Eğer bu önlemler alınması PVC plastik enjeksiyon makinesinde korozyona sebep olacağı için makinenin ömrünü azaltacak ve PVC'nin sadece birkaç geri dönüşümü yapılabilecektir. Bunlarla beraber plastik malzemeler kullanıldığı alana göre çeşitli mekanik özelliklere sahip olması gerekir. Örneğin, otomobillerin dış tasarım parçalarında kullanılan tamponlar darbe ve titreşime dayanıklı olmalıdır ama küçük plastik çöp kutularının çok dayanıklı plastik malzemedan yapılmasına gerek yoktur,

geri dönüşümlü PP'den imal edilebilirler. Bunlar gibi nedenlerden dolayı plastik enjeksiyonda parça üretiminde geri dönüşümlü malzeme kullanılabilmesi, oranları, çeşidi, geri dönüşüm sayısı gibi parametreler çok önemlidir. Bu tez çalışmasında proses sonrası oluşan PP-PE ve PPCE-PE atıklarının tekrardan üretimde kullanılabilmeleri için geri dönüşüm sonrası mekanik ve kimyasal özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

3.1. Önceki Benzer Çalışmalar

Albano ve arkadaşları poliolefin malzemelerinin geri dönüşümü konusunda yapmış oldukları bir çalışmada geri dönüştürülmüş poliolefine kopolimer ilave ederek geri dönüştürülmüş poliolefinin mekanik özelliklerini geliştirmiş ve daha kullanışlı bir karışım oluşturmuşlardır. PP/geri dönüştürülmüş HDPE karışımının mekanik ve termal test sonuçları karışımdaki geri dönüştürülmüş HDPE oranının % 30 olması gerektiğini göstermiştir. Böylece saf malzeme maliyetleri azaltılmıştır. Uyumlaştırıcının % 5 ilavesi ile optimal konsantrasyon sağlanmıştır. Ayrıca LDPE malzemesinin içerisinde geri dönüştürülmüş HDPE kullanarak ürünün özellikleri geliştirilmiştir. Bu çalışmanın hedeflerinden biri özellikle Venezuela’da en çok üretilen ve kullanılan poliolefinli yeni malzemeler geliştirmektir. PP’nin hem geri dönüştürülmüş HDPE ile hem de geri dönüştürülmüş LDPE ile karışımları hazırlanmıştır. Saf PP ile geri dönüştürülmüş polimerler ekstrüzyonda farklı kompozisyonlarda karıştırılmıştır. Karışımlara çekme testi, izod darbe testi, DSC testi ve TEM analizi uygulanmıştır [Albano et al., 1998a]. PP ile geri dönüştürülmüş HDPE karışımında HDPE’nin % 0-50 karışım oranı aralığında Tablo 3.1’deki mekanik test sonuçlarında benzerlik görülmüştür.

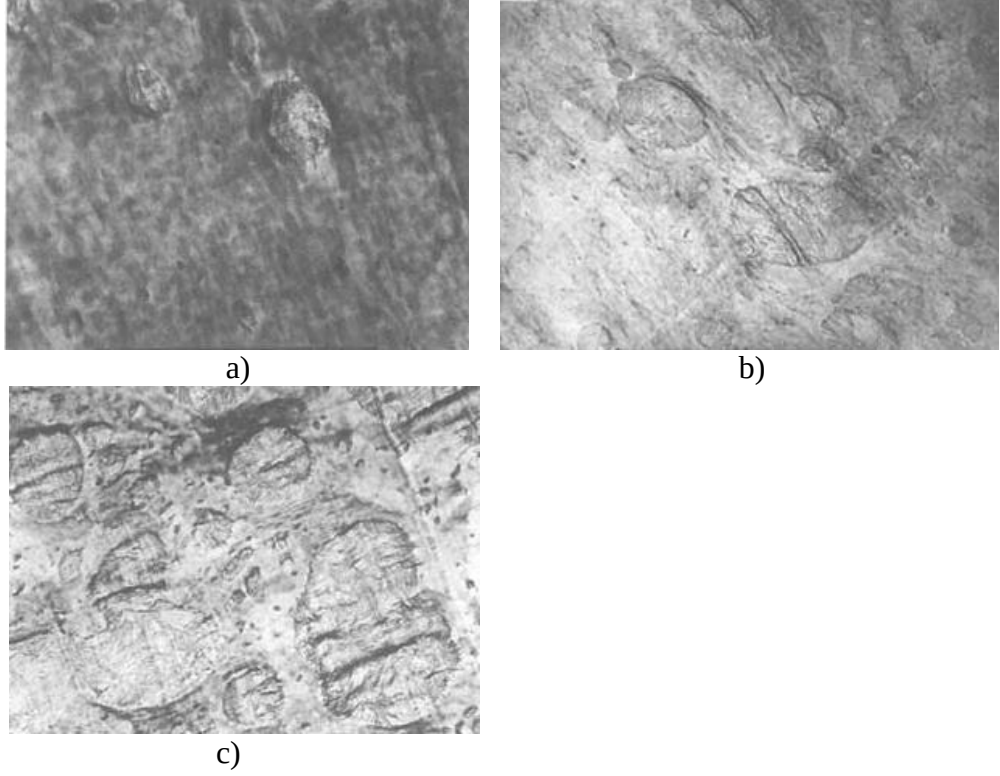
Tablo 3.1: PP’nin farklı oranlarda geri dönüştürülmüş HDPE ile karışımının mekanik özellikleri.

HDPE (%)	E (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	ϵ_B (%)	IS (J/m)
0	63,6	3,6	12,6	7
5	68,4	3,6	10,1	9,3
10	72,6	3,4	8,6	8,5
20	72	3,1	7,1	6,5
30	71	3,2	6,9	9,3
40	64,7	3,1	8,3	7,5
50	69,2	2,9	7,1	7
100	55,2	1,6	560	38,3

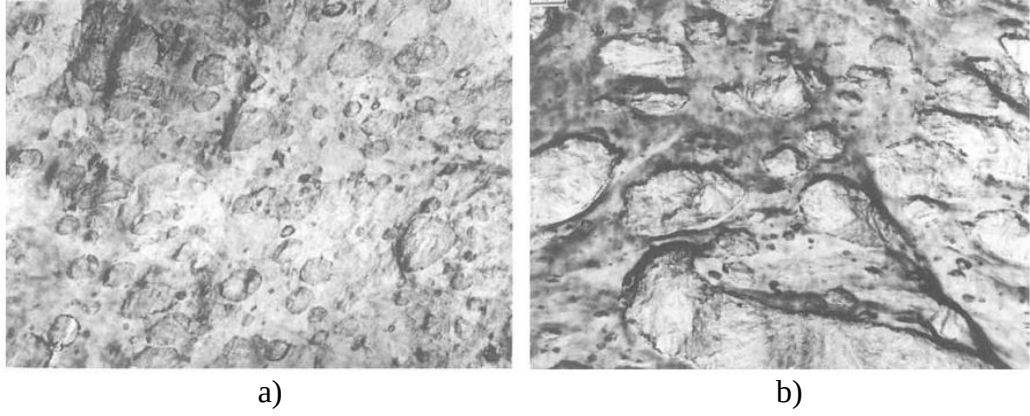
Maksimum uzamadaki sonuçlarda anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Bu da bize karışımların uyumsuz olduğunu göstermiştir. HDPE'nin karışım içerisindeki oranı % 0 ile % 50 arasındayken darbe dayanım sonuçları birbirine yakın çıkmış, % 100 HDPE olduğunda ise darbe dayanımında bir anda artış olmuştur. Bu olay PP ile HDPE karışımının ara yüzeyindeki yapışmanın zayıflığından kaynaklanıyor olabilir. Burada ara yüzeyde hiç süreklilik olmamasına atıf yapılabilir. TEM'den elde edilen Şekil 3.1'deki görüntülere bakıldığında karışımın matris fazındaki az olan komponentlerin zayıf bağlandığı ve karışımın ara yüzeyinde boşluklar görülmüştür. PP/geri dönüştürülmüş HDPE karışımına kopolimer (uyumlaştırıcı) ilavesinin karışıma etkisini belirlemek için uyumlaştırıcı % 5 ile % 20 arasında karışıma ilave edilmiştir ve bu karışım malzemelerinin mekanik özelliklerindeki değişimler Tablo 3.2'de verilmiştir. Test sonuçlarında kopmadaki uzama sonuçları dağınık çıkmıştır. Darbe dayanımında benzer sonuçlar elde edilmiştir. % 5'ten sonraki uyumlaştırıcı karışım oranları ile uyumlaştırıcı kullanılmadan elde edilen sonuçlar birbirine benzer çıkmıştır. Elastisite modülünde % 5 uyumlaştırıcı ilavesiyle şiddetli bir düşüş elde edilmiştir. Elastisite modülünde % 5'ten daha fazla uyumlaştırıcı oranı ile uyumlaştırıcı kullanılmadan elde edilen test sonuçları birbirine benzer çıkmıştır. Şekil 3.2'deki TEM görüntülerine göre karışıma % 5 uyumlaştırıcı ilavesi matristeki partikül boyutlarını küçültmektedir [Albano et al., 1998a].

Tablo 3.2: % 70 PP ile % 30 geri dönüştürülmüş HDPE'nin farklı oranlarda kopolimer ilaveli karışımlarının test sonuçları.

Kopolimer (Uyumlaştırıcı) (%)	E (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	ϵ_B (%)	IS (J/m)
0	68,9	3,2	6,8	9,3
5	11,4	1,7	15,9	16,8
7	79,6	1,7	2,8	10,2
10	78,4	2,7	6,1	10,2
12	80,9	2,8	5,7	10,6
15	83,6	3,7	7,0	13,0
20	76,3	2,9	6,3	12,1



Şekil 3.1: PP ile geri dönüşümlü HDPE'nin a) 90/10, b) 70/30 ve c) 50/50 karışım oranlarının TEM görüntüleri.



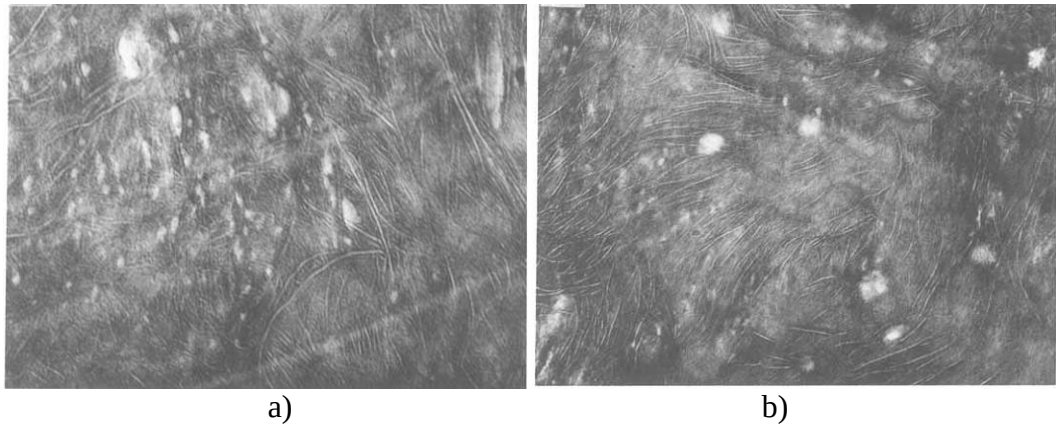
Şekil 3.2: Sırasıyla 70/30 oranlarında karıştırılan PP/HDPE'nin a) % 5, b) % 15 uyumlaştırıcılı TEM görüntüleri.

Saf LDPE ile geri dönüştürülmüş HDPE karışımlarının mekanik özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Saf LDPE ile geri dönüştürülmüş HDPE karışımında karışımdaki HDPE oranının artmasıyla elastiklik modülü değerinde artış yaşanmıştır. Bu sonuçtan karışımda HDPE'nin artmasıyla rijitliğin arttığı söylenebilir. Kristalin polimerlerde modül yapı sferülitik morfolojisine, sferülitlerin boyutuna ve lamellerin kalınlığına bağlıdır [Teh, 1983]. Bu polimerlerin yüksek çekirdeklenme hızları

vardır. Bunun sonucunda yapıda küçük sferülitler oluşur ve yapı tanecikli görünüme sahiptir. Kopmadaki uzama ve çekme dayanımı değerlerinde geri dönüştürülmüş HDPE'nin % 50 kompozisyonu hariç diğer kompozisyonlarda artış olmuştur. Darbe dayanımında lineer düşüş yaşanmıştır. Mekanik özellikler açısından geri dönüştürülmüş LDPE ile PP sırasıyla 30/70 oranlarında kullanılırsa malzeme maliyetleri azaltılabilir. LDPE'nin içerisinde geri dönüştürülmüş HDPE kullanılmasıyla malzeme maliyetleri düşürülmüş ve bitmiş ürünün özellikleri geliştirilmiş oldu [Albano et al., 1998a]. LDPE ile geri dönüştürülmüş HDPE'nin farklı karışım oranlarının TEM görüntüleri Şekil 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Saf LDPE ile geri dönüştürülmüş HDPE'nin mekanik özellikleri.

HDPE (%)	E (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	ϵ_B (%)	σ_f (kg/mm ²)	ϵ_f (%)	IS (J/m)
0	15,0	0,9	83,0	1,0	18,4	200
10	20,9	0,9	251,6	1,2	14,8	117
20	26,0	1,0	325,1	1,2	14,9	62
30	35,2	1,1	487,4	1,4	14,3	32
40	41,1	1,1	514,6	1,6	13,5	23
50	354	0,5	9,0	1,2	8,2	22
100	54,8	1,6	560,0	2,3	10,9	38



Şekil 3.3: LDPE ile geri dönüştürülmüş HDPE'nin a) 70/30, b) 50/50 karışım oranlarının TEM görüntüleri.

Albano ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir başka çalışmada geri dönüştürülmüş poliolefinin bazı katkılarla mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve poliolefinin daha kullanışlı hale getirilmesi amaçlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre PP ile % 20 POD (Geri dönüştürülmüş poliolefin) ve % 12 kopolimer ilavesi ara yüzeydeki yapışmayı (interface adhesion) geliştirmiştir. Düşük yoğunluklu polietilen ile POD karışımında maksimum özelliklerde gelişim % 10 POD ilavesiyle gerçekleşmiştir. Tablo 3.4'te görüldüğü gibi % 10 POD ile % 90 PP karışımında karışımın elastisite modülü maksimum değerde çıkmıştır. Optik mikroskopta karışımın görüntüsüne bakıldığında bunun nedeni olarak PP sferülitlerin boyutunun küçüldüğü ve bunun sonucunda yapının yoğunluğunun arttığı söylenmiştir [Albano et al., 1998b].

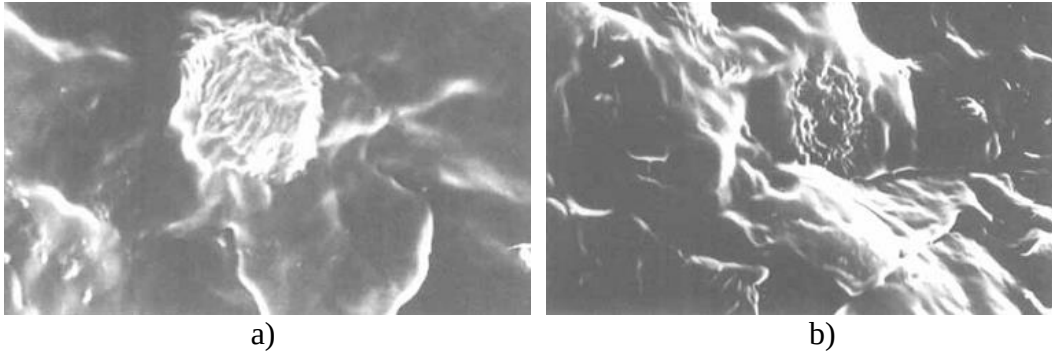
Tablo 3.4: POD ile farklı oranlardaki PP karışımının termal ve mekanik özellikleri.

Malzeme	Sıcaklık Özellikleri			Mekanik Özellikler			
PP (%)	Sıcaklık 1 (°C)	Sıcaklık 2 (°C)	ΔH_f (J/g)	E (kg/mm ²)	UTS (kg/mm ²)	ϵ_B (%)	IS (J/m)
100		162	89	96,5	4,0	16,6	15,5
90	126	161	75	110,4	3,6	10,1	12,8
80	126	161	78	93,6	3,7	7,6	12,0
70	125	159	78	98,2	3,6	8,2	9,9
60	126	160	77	85,7	3,2	6,7	7,9
50	128	159	65	77,4	2,7	5,4	7,2
0	128	160	106	46,3	2,9	11,5	10,5

Tablo 3.5'te sırasıyla 80/20 oranlarında karıştırılmış PP ve POD'un farklı oranlarda kopolimerli (uyumlaştırıcı) karışımlarının test sonuçları verilmiştir. Maksimum uyumlaştırıcı konsantrasyonu % 12 bulunmuştur. Bunun nedeni kopmadaki uzama ve darbe dayanımı değerlerinin artmasıdır. Şekil 3.4'te SEM görüntülerinde PP matris fazı içerisinde POD'un gömülü olduğu görülmektedir. PP'nin içerisinde POD kullanılması daha küçük partikül boyutlarını sunmakta ve ara yüzey geriliminin azalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak POD % 20 oranında PP ile karıştırılabilir. Bunun sonucunda malzeme maliyetleri düşer. Ek olarak % 12 uyumlaştırıcı kullanılması ara yüzeydeki gerilimi geliştirir [Albano et al., 1998b].

Tablo 3.5: Sırasıyla 80/20 oranlarında karıştırılmış PP ve POD'un farklı oranlarda kopolimerli karışımlarının test sonuçları.

Malzeme	Sıcaklık Özellikleri			Mekanik Özellikler			
Kopolimer (Uyumlaştırıcı) (%)	Sıcaklık 1 (°C)	Sıcaklık 2 (°C)	ΔH_f (J/g)	E (kg/mm ²)	UTS (kg/mm ²)	ϵ_B (%)	IS (J/m)
0	128	161	78	93,6	3,6	7,6	12,1
5	126	160	82	71,3	3,1	8,8	11,6
7	127	160	81	67,1	3,2	9,1	12,7
10	126	160	80	67,5	3,1	9,4	13,6
12	126	160	80	67,3	2,9	9,6	15,5
15	127	161	81	70,4	2,5	9,7	15,4
20	126	161	81	68,8	2,6	9,9	16,0
100	147		63	109,4	3,3	11,0	65,0



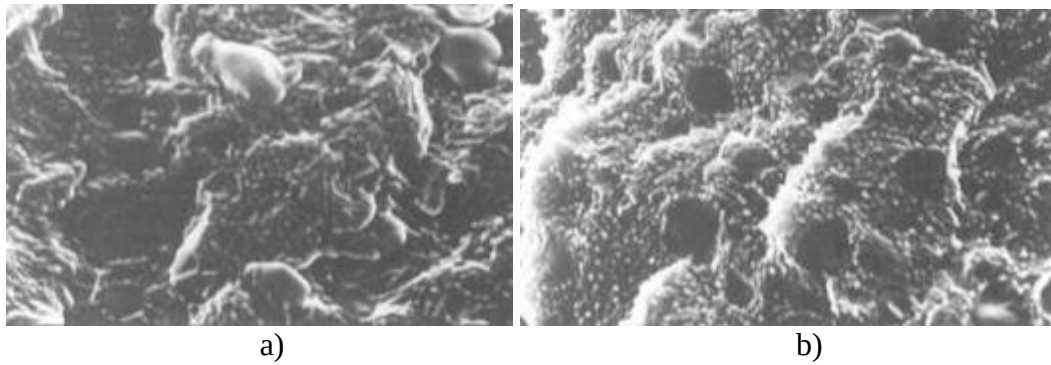
Şekil 3.4: Sırasıyla 80/20 oranlarında karıştırılmış PP/POD'un a) uyumlaştırıcısız, b) % 12 uyumlaştırıcılı SEM görüntüleri.

Çalışmanın devamında karışım olarak en iyi mekanik özelliklere sahip olan % 10 POD ile LDPE kompozisyonu seçilmiştir ve içerisine uyumlaştırıcı malzeme olarak etilen propilen eklenmiştir. Uyumlaştırıcının oranları ise % 3 polietilen % 97 propilen olarak belirlenmiştir. Tablo 3.6'da sırasıyla 90/10 karışım oranlarında LDPE-POD'un farklı oranlarda uyumlaştırıcılı karışımlarının mekanik ve termal özellikleri verilmiştir [Albano et al., 1998b].

Tablo 3.6: Sırasıyla 90/10 oranlarında karıştırılmış LDPE/POD'un farklı oranlarda kopolimerli karışımlarının mekanik ve termal özellikleri.

Kopolimer (Uyumlaştırıcı) (%)	Sıcaklık 1 (°C)	Sıcaklık 2 (°C)	ΔH_f (J/g)	E (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	ϵ_B (%)	IS (J/m)
0	109	116,5	95,9	11,0	0,5	85,0	74,0
5	108		103,9	28,4	1,2	35,0	15,0
7	109		98,3	29,4	1,3	30,2	14,9
10	108		98,8	30,2	1,3	21,4	14,6
12	109		96,5	30,9	1,4	25,9	14,6
15	107		96,4	30,7	1,4	20,1	14,0
20	108		95,5	31,0	1,4	15,6	13,9
100	147		63,4	109,4	3,3	11,0	65,0

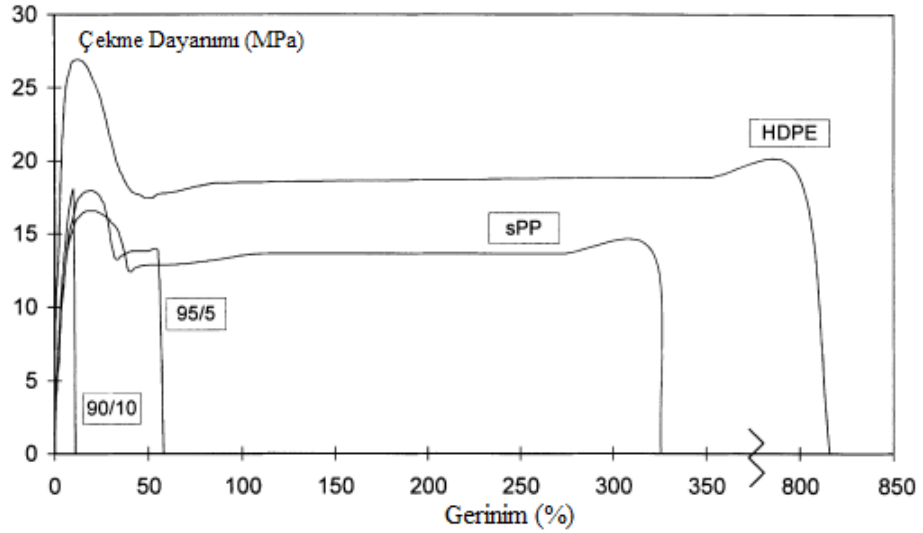
Şekil 3.5'te SEM görüntüsü verilen uyumlaştırıcılı örnekte POD'un matris içine daha fazla gömüldüğü görülmektedir. Tablo 3.6'da karışımın elastiklik modülü ve çekme dayanımı az miktarda uyumlaştırıcı ilavesiyle artmaktadır ve % 10 uyumlaştırıcı ilavesinden sonra sabit kalmaktadır. Kopma uzaması ve darbe dayanımında % 7'den daha az uyumlaştırıcı ilavelerinde büyük miktarda değişim olmuştur. % 10'dan sonraki uyumlaştırıcı ilavelerinde ise bu özelliklerde fazla değişiklik olmamıştır. Bu özellikler malzemenin daha fazla rijit olduğunu ve sünekliğini kaybettiğini göstermektedir. Bu da tamamen karışım içerisinde PP içeriğinin artmasına bağlıdır [Albano et al., 1998b].



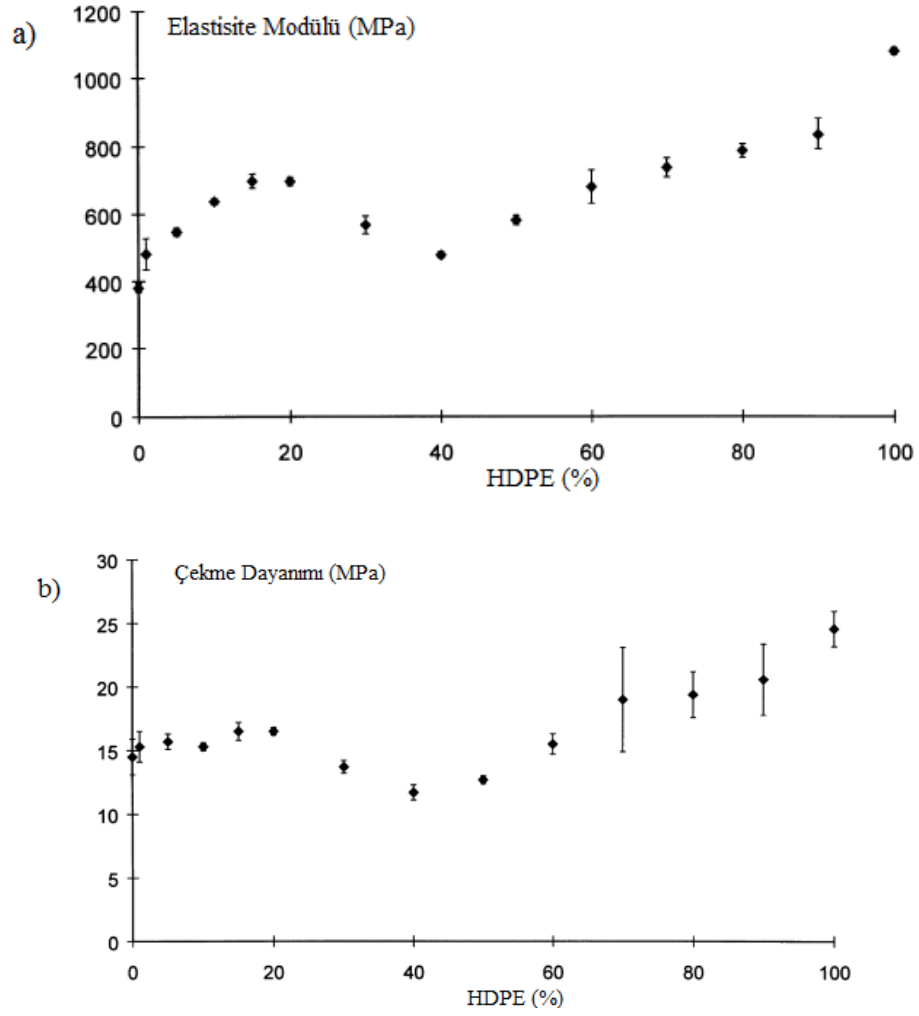
Şekil 3.5: Sırasıyla 90/10 oranlarında karıştırılmış LDPE/POD'un a) uyumlaştırıcısız, b) % 10 uyumlaştırıcılı karışımlarının SEM görüntüleri.

Sonuç olarak karışımın rijitliğini arttırmak açısından maksimum konsantrasyon % 10 bulunmuştur. Bununla birlikte eğer ana hedef bu değilse uyumlaştırıcı ilave edilmemesi daha uygundur. Ayrıca başka bir uyumlaştırıcı seçilmesi bitmiş ürünün özelliklerinin geliştirilmesini sağlayabilir. [Albano et al., 1998b].

Bir başka çalışmada sindiyotaktik polipropilen ve polietilen malzemelerin karışımlarının morfolojisi ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Şekil 3.6'da PP ile HDPE'nin sırasıyla 90/10 oranlarında karışımı ile 95/5 oranındaki karışımı karşılaştırıldığında 90/10 oranlarındaki karışımın % gerinim oranı daha düşük çıkmıştır. Şekil 3.7'de PP-HDPE karışımında HDPE'nin karışımındaki oranı % 40'tan % 100'e artarken karışımın elastisite modülü ve çekme dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür [Bonnet et al., 2000].

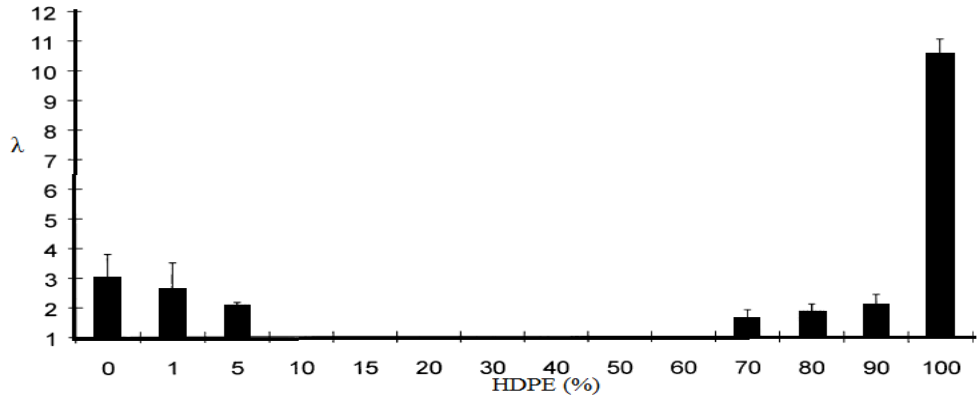


Şekil 3.6: Saf HDPE, saf PP ve sırasıyla 95/5 karışım oranlarındaki PP/HDPE ile 90/10 karışım oranlarındaki PP/HDPE karışımlarının çekme dayanımı diyagramı.



Şekil 3.7: Farklı oranlarda HDPE ile PP karışımının a) elastisite modülü ve b) çekme dayanımı grafikleri.

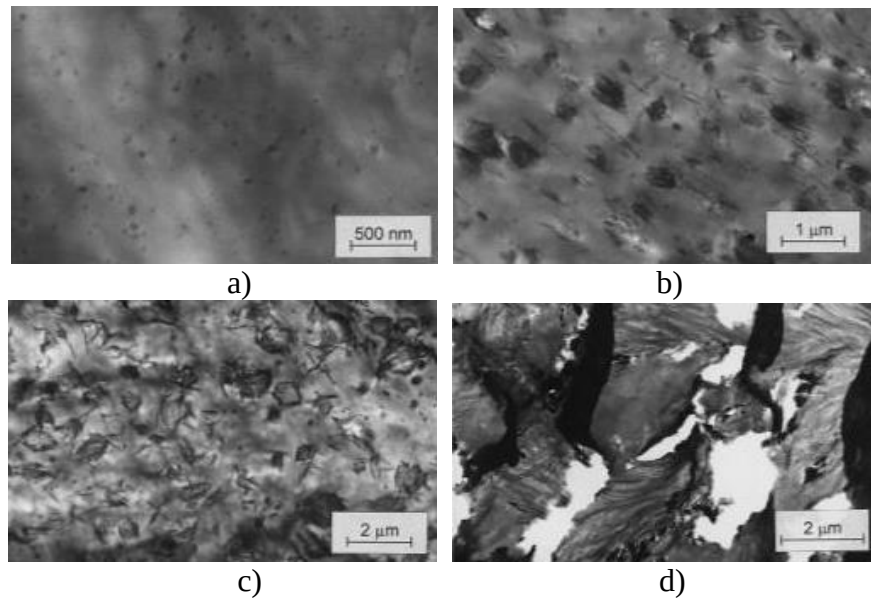
Şekil 3.8’de PP’nin içerisinde HDPE’nin oranının artmasıyla karışımın çekme oranı düşmüştür. HDPE’nin % 10 ve % 70 karışım oranları arasında karışımın boyun verme olayı gözlenmemiştir. Şekil 3.9’da PP-HDPE karışımı içerisinde HDPE’nin düşük karışım orandaki karışımlarının morfolojik görüntülerinde HDPE tanecikleri PP fazının içerisinde adacık şeklinde oluşmuştur ve fazlar arasında iyi bir ara yüzey yapışması görülmüştür. % 50 HDPE karışımında HDPE ve PP’nin homojen dağıldığı görülmektedir. Karışımın HDPE’nin oranı arttıkça HDPE tanecikleri büyümektedir. İçerisinde düşük oranda HDPE bulunan PP-HDPE karışımlarının morfolojik görüntülerinde HDPE tanecikleri PP fazının içerisinde adacık şeklinde oluşmuştur. Fazlar arasında iyi bir ara yüzey yapışması gerçekleşmiştir [Bonnet et al., 2000].



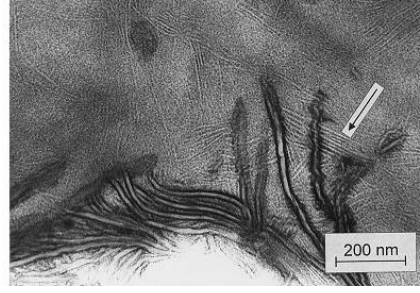
Şekil 3.8: Farklı oranlarda HDPE ile PP karışımlarının çekme oranı.

Şekil 3.10'da PE kristal yüzeyinde büyümekte olan PP lamelleri ok ile gösterilmiştir. Bu SEM görüntüsünde kristal ve amorf bölgeler ayırt edilebilir. Amorf bölgelerin içindeki yüksek miktardaki RuO_4 'den dolayı amorf bölgeler kristal bölgelere göre daha koyu görünürler [Bonnet et al., 2000].

Bir başka çalışmada PP ve HDPE'nin geri dönüştürülmüş ve geri dönüşüm uygulanmamış malzemelerine etilen-propilen kopolimeri katılmasıyla mekanik ve morfolojik davranışlarındaki değişimler incelenmiştir. Geri dönüşümsüz örneklerde kopolimerin mekanik ve morfolojik özelliklere etkisi ihmal edilebilir. Geri dönüşümlü örneklerde % 5 kopolimer kullanıldığında ara yüzey kalınlığında azalma görülmüştür. Karışıma % 5 kopolimer ilavesi, karışımın ara yüzeylerinin birbirine yapışması ve esnekliğinde optimum gelişme sağlamıştır [Albano et al., 1998c].



Şekil 3.9: HDPE'nin PP/HDPE karışımı içerisindeki a) % 1, b) % 10, c) % 20, d) % 50 karışım oranlarındaki TEM görüntüleri.



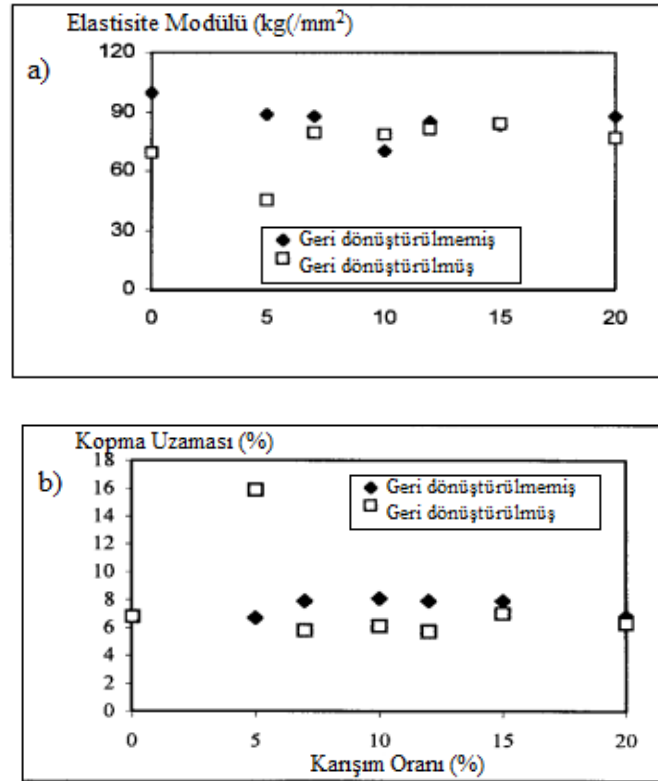
Şekil 3.10: Sırasıyla 80/20 karışım oranlarındaki PP/HDPE karışımının ara yüzeyinin TEM görüntüsü.

D' Orazio çalışmalarında PP/HDPE ikili karışımlarına etilen-propilen kopolimeri ilave ederek karışımların mekanik özelliklerini geliştirmiştir [D' Orazio et al., 1982], [D' Orazio et al., 1983]. Vicki-Flaris PP/LDPE karışımına blok kopolimer katarak darbe dayanımını arttırmıştır [Vicki and Stachurski, 1992]. Geri dönüştürülmüş komponent kullanılması malzemelerin karışmasını daha zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı uyumlaştırıcı kullanılması önemlidir. Bu araştırmanın amacı da PP ile saf ve geri dönüşüm uygulanmış HDPE karışımlarına blok kopolimer etkisini araştırmaktır. Etilen ile propilen kopolimerinde etilen yüzdesi % 8'dir. Geri dönüşümlü HDPE ile saf HDPE'nin PP ile karışımında mekanik özelliklerdeki değişimler Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7: Farklı oranlarda saf ve geri dönüşümlü HDPE ile PP karışımının mekanik özelliklerindeki değişimler.

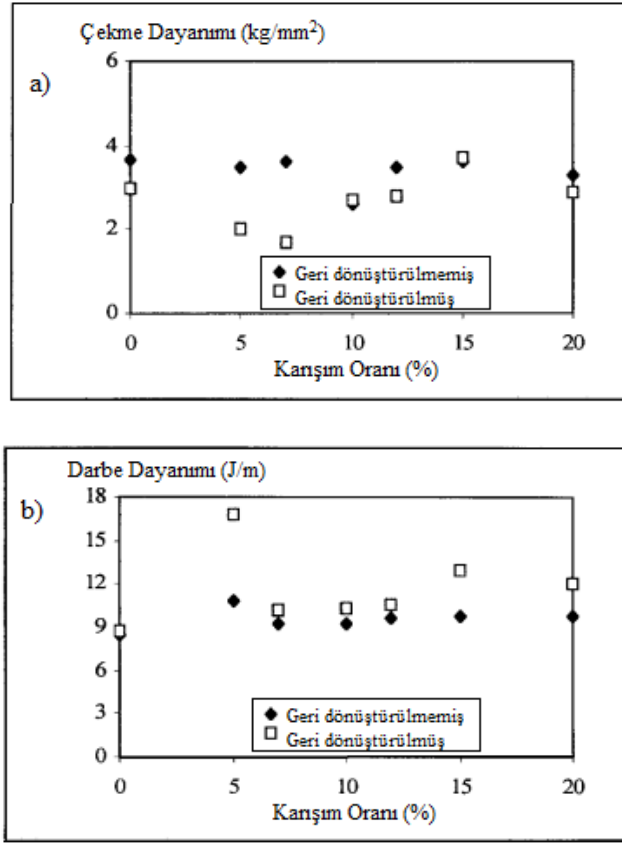
HDPE (%)	E (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	ϵ_B (%)	IS (J/m)
0	64 ± 8	3,6 ± 0,1	12,6 ± 0,7	7,0 ± 1,0
5	69 ± 4	3,2 ± 0,3	8,0 ± 2,0	6,0 ± 1,0
10	78 ± 6	3,4 ± 0,3	12,0 ± 2,0	6,2 ± 0,9
20	88 ± 6	3,1 ± 0,4	8,0 ± 2,0	8,1 ± 0,5
30	99 ± 5	3,7 ± 0,2	9,0 ± 1,0	8,5 ± 1,0
50	85 ± 4	2,7 ± 0,3	6,5 ± 0,6	2,6 ± 0,2
100	48 ± 5	2,3 ± 0,3	960,0 ± 50,0	28,0 ± 4,0
5 r	68 ± 8	3,6 ± 0,2	10,1 ± 0,8	9,3 ± 1,0
10 r	73 ± 5	3,4 ± 0,2	8,6 ± 0,9	8,5 ± 1,1
20 r	72 ± 5	3,1 ± 0,3	7,1 ± 0,9	9,3 ± 0,9
30 r	68 ± 9	3,2 ± 0,2	6,8 ± 0,9	8,7 ± 0,5
40 r	65 ± 3	3,1 ± 0,2	8,3 ± 0,8	7,5 ± 0,8
50 r	69 ± 10	2,9 ± 0,1	7,1 ± 0,3	7,0 ± 0,5
100 r	55 ± 4	1,6 ± 0,7	560,0 ± 100,0	38,3 ± 5,0

Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de % 70 PP ile % 30 geri dönüştürülmüş ve geri dönüştürülmemiş HDPE karışımlarına farklı oranlarda kopolimer ilavesinin mekanik test sonuçları görülmektedir. PP/geri dönüşümlü HDPE karışımında kopma uzaması maksimum değerine % 5 kopolimer ilavesinde ulaşmıştır ve diğer karışımlarda kopolimersiz karışımla yakın değerlerde çıkmıştır. Çekme dayanımı geri dönüştürülmüş HDPE’li karışımda % 5 kopolimer ilavesi ile yavaşça azalmış daha sonra kopolimer ilavesiyle artarak kopolimersiz değerine ulaşmıştır. PP/geri dönüşümsüz HDPE’de kopolimerin hemen hemen bütün mekanik özelliklerdeki etkileri ihmal edilebilecek kadar küçük çıkmıştır. Buradan kopolimerin yapışmayı, esnekliği ve gevrekliği arttırmadığı sonucu çıkarılabilir [Albano et al., 1998c].



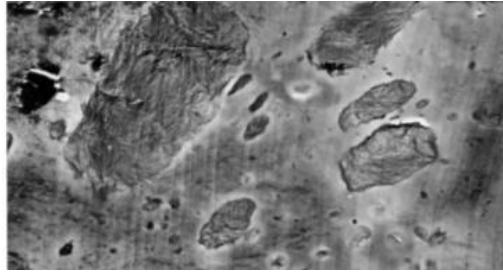
Şekil 3.11. % 70 PP ile % 30 geri dönüştürülmüş ve geri dönüştürülmemiş HDPE’nin farklı oranlarda uyumlaştırıcı karışımlarının a) elastisite modülü, b) kopma uzamasındaki değişimler.

Barlow’a göre blok kopolimerlerde süneklik random kopolimerlerden daha fazla olur ve aynı anda elastiklik modülü ve kopma direnci düşer [Barlow and Paul, 1984]. Buna karşın Dumolin PP/HDPE’ye blok kopolimer ilave ettiğinde blok kopolimerin malzemenin rijitliğini, gevrekliğini, elastisite modülünü ve çekme dayanımını arttırdığını görmüştür [Dumoulin et al., 1984].

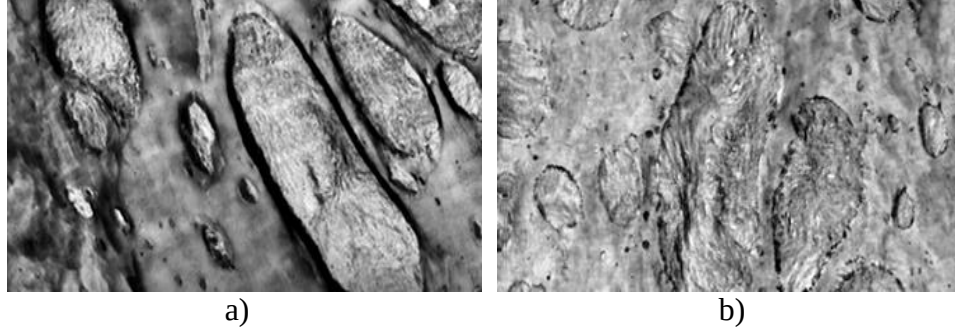


Şekil 3.12: % 70 PP ile % 30 geri dönüştürülmüş ve geri dönüştürülmemiş HDPE'nin farklı oranlarda uyumlaştırıcı karışımlarının a) çekme dayanımı, b) darbe dayanımındaki değişimler.

Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'teki TEM görüntülerine bakıldığında PP/geri dönüşümsüz HDPE'nin kopolimerli ve kopolimersiz karışımlarında HDPE taneciklerinin boyutlarında fark edilebilir bir değişiklik olmamıştır (0.5-3 μm). Bu sonuçlar mekanik test sonuçlarıyla uyumludur.

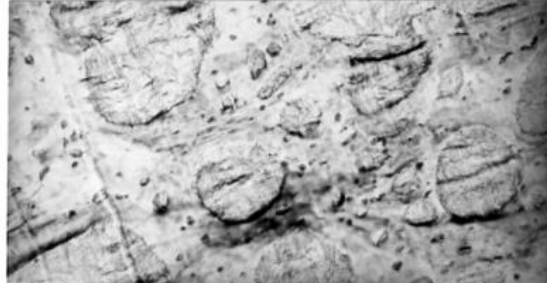


Şekil 3.13: Kopolimer ilavesiz PP/geri dönüşümsüz HDPE karışımının TEM görüntüsü.



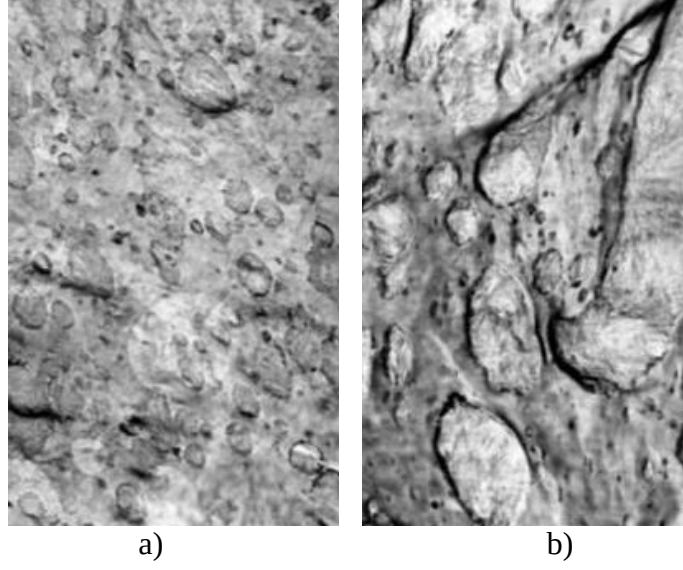
Şekil 3.14: PP/geri dönüşümsüz HDPE'nin a) % 5, b) % 15 kopolimerli karışımlarının TEM görüntüleri.

Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da PP/geri dönüşümlü HDPE'nin kopolimerli ve kopolimersiz karışımlarında % 5 kopolimer ilavesi partiküllerin boyutunu küçültmüştür. % 15 kopolimerli karışımın TEM görüntüsü ile kopolimersiz karışımın TEM görüntüsü birbirine yakındır. Çalışmanın sonucu olarak PP/geri dönüşümlü HDPE karışımlarında optimum kopolimer kompozisyonu adezyonun ve esnekliğin artmasından dolayı % 5 bulunmuştur [Albano et al., 1998c].



Şekil 3.15: Kopolimersiz PP/geri dönüştürülmüş HDPE karışımının TEM görüntüsü.

Özet olarak literatürde, polietilen ile polipropilen malzemelerin geri dönüşümleriyle ilgili birçok farklı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda PP-PE karışımlarının hazırlanmasında; LDPE, HDPE, PP, isotaktik PP ile bir nevi polietilen ve polipropilen olan poliolefin malzemelerinin saf ve geri dönüşümleri kullanılmış. Saf ve geri dönüşümlü malzemelerin mekanik ve kimyasal özellikleri incelenmiş. Ayrıca kopolimerin (uyumlaştırıcı) PP-PE karışımı içerisine farklı oranlarda ilave edilmesiyle uyumlaştırıcının karışımındaki etkisine bakılmış. PP-PE'nin SEM ve TEM görüntüleri alınarak geri dönüşüm sonrasında mikro yapıdaki değişimleri incelenmiştir.



Şekil 3.16: PP/geri dönüştürülmüş HDPE'nin a) % 5, b) % 15 kopolimerli karışımlarının TEM görüntüleri.

Bu tez çalışmasının literatürden farkı ise PP-PE malzemesinin karışım oranı değiştirilmeden sadece geri dönüşüm prosesi sonrasındaki mekanik ve kimyasal özellikleri incelendi. Ayrıca % 30 cam elyaf katkılı PP-PE karışımı ile PP-PE karşılaştırılarak cam elyafın karışıma etkisi incelendi.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Kullanılan Deney Araç-Gereçleri ve Özellikleri

Deneyde kullanılan makine ve araçların teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

4.1.1. Enjeksiyon Makinesi

125 gr basma kapasitesi, 900 kN kapama kuvveti, WENSUI 5HP gücünde soğutma sistemi ve maksimum 95 °C'ye ayarlanabilen kalıp şartlandırıcısı olan Şekil 4.1'deki YIZUMI-UN90A2 marka enjeksiyon makinesi kullanıldı. Ayrıca, standartlara uygun test çubukları verecek şekilde tasarlanmış kalıp enjeksiyon makinesinde kullanılmıştır. Şekil 4.2'de ise kalıp şartlandırıcısının resmi verilmiştir.



Şekil 4.1: Plastik enjeksiyon makinesi.

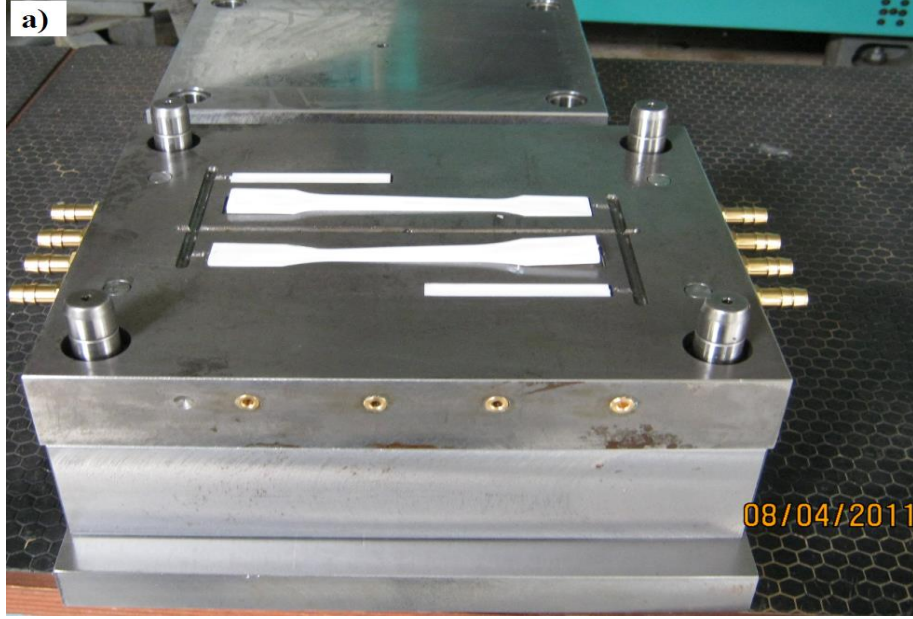


Şekil 4.2: Kalıp şartlandırıcısı.

Soğutucunun resmi Şekil 4.3'te verilmiştir. Enjeksiyon makinesinde kullanılan kalıbın resmi de Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Soğutucu.



Şekil 4.4: Enjeksiyon makinesinde kullanılan kalıp.

4.1.2. Kırma Makinesi

Şekil 4.5’te resimle gösterilen kırma makinesi plastik enjeksiyon makinesinde üretilen malzemelerin geri dönüştürülmesinde kullanıldı.



Şekil 4.5: Kırma makinesi.

4.1.3. Darbe Test Cihazı

Dokunmatik ekranlı, otomatik çekiç tanımlama özelliğine sahip Şekil 4.6’da gösterilmiş manuel INSTRON (Ceast 9050) marka cihaz darbe mukavemet ölçümleri için kullanıldı.



Şekil 4.6: Darbe test cihazı.

4.1.4. Erime Akış Ölçüm Cihazı

Maksimum 300 °C kapasiteli, zaman ayarlı, $\pm$ % 1 duyarlılıklı, otomatik kesme özellikli Devotrans-EA3 marka cihaz eriyik akış ölçümleri için kullanıldı. Eriyik akış ölçümü ile 10 dakikada akan eriyik plastik malzemenin ağırlığı belirlenmektedir. Erime akış ölçüm cihazının fotoğrafı Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7: Erime akış ölçüm cihazı.

4.1.5. Çekme ve Eğilme Test Cihazı

Bilgisayar yazılımı ile kontrol edilen INSTRON 5569 marka cihaz çekme ve eğilme test ölçümleri için kullanıldı. Şekil 4.8’de çekme test cihazının resmi verilmiştir.



Şekil 4.8: Çekme test cihazı.

4.1.6. Termal Gravimetrik Analizi (TGA)

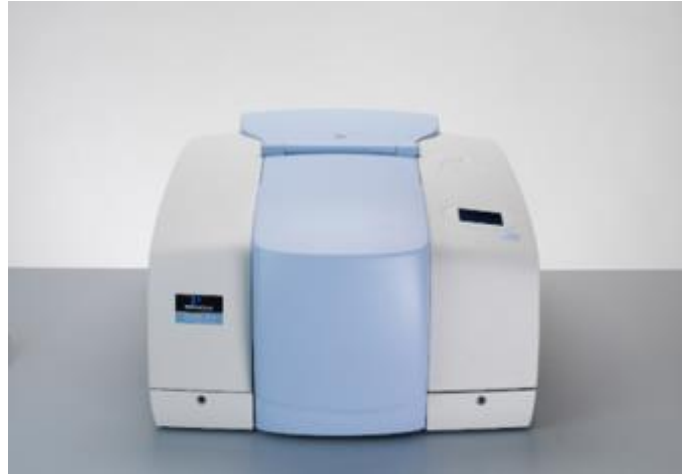
GYTE Kimya bölümünde bulunan Şekil 4.9’da gösterilen Mettler Toledo-TGA/SDTA 851 marka cihaz termal analiz için kullanıldı. Termal gravimetrik analizi yöntemiyle madde ile ortam arasındaki ısı alışverişi sırasında kütle değişimi incelenir [Web 8, 2013].



Şekil 4.9: Termal gravimetrik analiz cihazı.

4.1.7. Kızıl ötesi (Infrared) Spektrometresi (ATR-FTIR)

GYTE Kimya bölümünde bulunan Şekil 4.10’da gösterilmiş Perkin Elmer 100 21.JPEG marka cihaz ile kızıl ötesi (infrared) spektrometresi analizleri gerçekleştirildi. Kızıl ötesi spektrometresi moleküllerdeki çeşitli bağların titreşim frekansını ölçer ve moleküldeki fonksiyonel gruplar hakkında bilgi verir [Web 9, 2013].



Şekil 4.10: Kızıl ötesi (Infrared) spektrometresi (ATR-FTIR).

4.1.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM analizleri GYTE Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Philips XL 30 SFEG marka taramalı elektron mikroskobu cihazı ile gerçekleştirildi. SEM analizi plastik, metal, seramik gibi malzemelerin kesit ve yüzey görüntülerinin

incelenmesinde, toz numunelerin parçacık Şekil ve boyutlarını karakterize edilmesinde kullanılmaktadır [Web 10, 2013]. Şekil 4.11’de taramalı elektron mikroskobunun resmi verilmiştir.



Şekil 4.11: Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

4.1.9. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

GYTE Kimya Bölümünde bulunan Şekil 4.12’de gösterilmiş DSC 822 (Mettler Toledo) marka cihaz ile diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri gerçekleştirildi. DSC yönteminde örnek ve referans maddenin sıcaklıklarının eşit olması sağlanır ve bu sırada örneğe verilen ısı izlenir. DSC yöntemi ile erime sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı, faz değişimi gibi özellikler bulunabilir [Saçak, 2010].



Şekil 4.12: Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC).

4.2. Kullanılan Plastik Malzeme ve Özellikleri

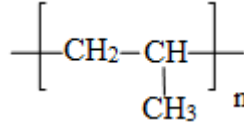
4.2.1. Polipropilen (PP)

İkili karışımların hazırlanmasında kullanılmıştır. Yarı kristal yapılıdır. Sembol olarak PP olarak gösterilir. PP en hafif termoplastiklerden biridir. 0,902 ile 0,910 g/cm³ yoğunluklu, kristal yapılıdır. Erime noktası 164 °C'dir. PP, yüksek saflıktaki propilen (% 99) gazının basınç altında, Ziegler-Natta katalizörleri yardımıyla radikalik olarak polimerleşmesiyle elde edilir. PP, yapısındaki tersiyer karbon atomu nedeniyle güneş ışığına dayanıksızdır. AYPE ve YYPE bu konuda PP'ye göre daha iyidir. PP termoplastiklere uygulanan bütün metotlarla işlenebilir. Enjeksiyonla üretiminde çok küçük ayrıntıları olan küçük kalıplarla boyut kararlılığı iyi oldukça düzgün parçalar üretilebilir [Web 4, 2001].

Tez kapsamında ikili malzemelerin karışımında polipropilen malzeme olarak PETKİM MH418 marka ürün kullanıldı. PETKİM MH418 polipropilen malzemeye ait üretici tarafından sağlanan teknik bilgiler Tablo 4.1'de verildi. PP'nin kimyasal formülü Şekil 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.1. Kullanılan PP malzemenin teknik özellikleri.

PETKİM MH418 POLİPROPİLEN			
Test	Birim	Değer	Test Metodu
Fiziksel			
Eriyik akış indeksi (230 °C/2,16 kg)	g/10 dk	4-6	ASTM D-1238
Mekanik			
Kopma dayanımı (23 °C, hız=50mm/dk)	MPa	430	ASTM D-638
Akma dayanımı (23 °C, hız=50mm/dk)	MPa	350	ASTM D-638



Şekil 4.13: Polipropilenin (PP) kimyasal formülü.

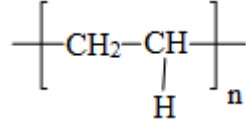
4.2.2. Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE)

İkili karışımların hazırlanmasında alçak yoğunluklu (AYPE) kullanılmıştır. Yarı kristal yapılıdır. Tez içerisinde ikili karışım malzemelerde kısaca polietilen (PE) olarak gösterilmiştir. AYPE'nin yoğunluğu 0.910-0.925 gr/cm³ arasında değişir. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) bir otoklavda veya boru tipi tübular reaktörde, etilen monomerlerinin 1200-3000 atm basınç ve 130-350 °C sıcaklıkta, organik peroksitlerin yardımıyla polimerizasyonundan elde edilir. AYPE filmleri ucuz, parlak ve şeffaf olup kolay işlenebilir. Filmlerin uygulama alanları; inşaat örtüsü, yiyecek paketlenme, ziraat örtüleri, çöp gübre torbaları, büzme ile sarma alanlarıdır. AYPE esneklik, parlaklık ve sertlik istenen yerlerde kumaş ve kâğıt gibi yüzeylerin kaplanmasında kullanılır [Web 4, 2001].

Tez kapsamında ikili karışımlarda polietilen malzeme olarak DOW LDPE 780E marka ürün kullanılmıştır. DOW LDPE 780E alçak yoğunluklu polietilen malzemeye ait üretici tarafından sağlanan teknik bilgiler Tablo 4.2'de verilmiştir. PE'nin kimyasal yapısı Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Kullanılan alçak yoğunluklu polietilen malzemenin teknik özellikleri.

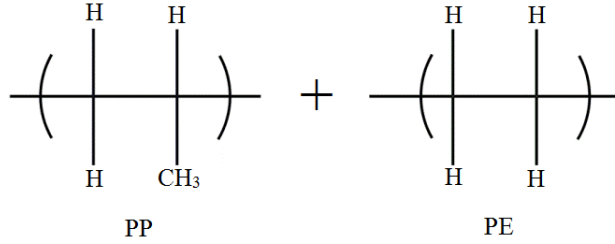
DOW LDPE 780E POLİETİLEN			
Test	Birim	Değer	Test Metodu
Eriyik akış indeksi (230 °C/2,16 kg)	g/10 dk	19	ASTM D-1238
Yoğunluk	g/cm ³	0,9222	ASTM D-792
Maksimum dayanım (23 °C, hız=50mm/dk)	MPa	11	ISO 527-2
Akma dayanımı (23 °C, hız=50mm/dk)	MPa	8,2	ISO 527-2
Maksimum uzama (23 °C, hız=50mm/dk)	%	50	ISO 527-2



Şekil 4.14: Polietilen kimyasal formülü.

4.2.3. Polipropilen-Polietilen (PP-PE)

Kimyasal yapısı Şekil 4.15’te verilen polipropilen polietilen ikili karışımı, homopolimer polipropilen (% 53) ve homopolimer alçak yoğunluklu polietilen (% 40) polimerlerine “Engage” ticari isimli uyumlaştırıcı (% 7) katılarak ekstrüzyon makinesinde karıştırılmıştır. Dow firmasına ait LDPE 780E ve Petkim marka PPMH 418 ürünleri Polipro firmasında hazırlanmıştır.

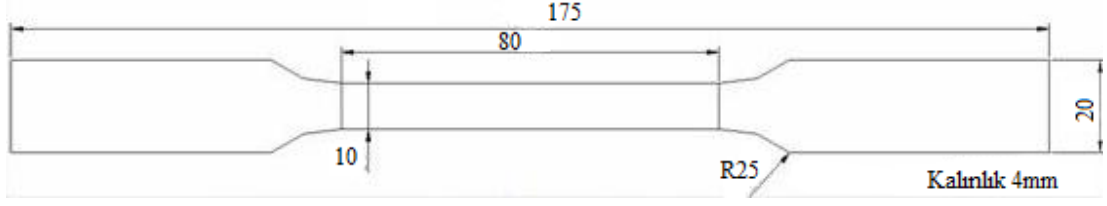


Şekil 4.15: PP-PE ikili karışımı kimyasal yapısı.

PP ve PE’nin ekstrüder çalışma şartları aşağıda Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3: PP-PE ekstrüder çalışma şartları.

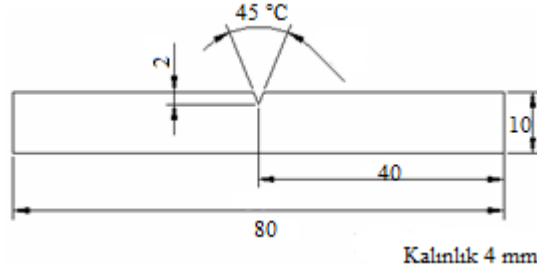
Ekstrüder vida dönüş hızı	240 rpm
Çekme hızı	800 rpm
Ekstrüzyon fırın sıcaklıkları	210 °C - 220 °C – 210 °C
Soğutma suyu	≈15°C
Hava kurutması	var
1.kalıp	215°C
2.kalıp	220°C



Şekil 4.17: Çekme numunesinin şekil ve boyutları (ISO 527).

4.3.2. Darbe Test Numunesi (Çentikli)

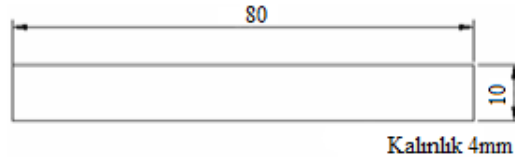
PP-PE malzemesinin izod darbe test numuneleri Şekil 4.18'de görülen ISO 180 standardına göre üretildi. Darbe testleri 2,75 joule'lük çekiç kullanılarak gerçekleştirildi.



Şekil 4.18: ISO 180'e göre çentikli izod darbe test numunesi.

4.3.3. Darbe Test (Çentiksiz) ve Eğilme Test Numunesi

PPCE-PE malzemesinin izod darbe ve eğilme test numuneleri Şekil 4.19'da verilen sırasıyla ISO 180 ve ISO 178 standartlarına göre plastik enjeksiyonda basıldı. Darbe testlerinde 2,75 joule'lük çekiç kullanıldı. Üç noktalı eğilme dayanım testi ise 10mm/dak hızla gerçekleştirildi.



Şekil 4.19: ISO 180 ve ISO 178'e göre hazırlanan test numunesi.

4.4. Deney Numunelerinin Plastik Enjeksiyonda Üretilmesi

Deneyler ikili malzemeler için bilgi formlarında verilen enjeksiyon şartları göz önünde bulundurularak yapıldı. Bu aşamada, çapaksız, çöküntü içermeyen ve tam dolu numune veren enjeksiyon şartlarının belirlenmesi için, üretim şartları değiştirilerek uygun deney numuneleri üretilmeye çalışıldı. Deneme basımları ve deney numunelerinin üretiminde toplamda her bir malzeme çeşidi için yaklaşık olarak 1 çuval (25 kg) hammadde harcandı. Üretime önce saf malzeme basımıyla başlandı. Basımdan sonra yeterli sayıda test numunesi ayrıldı. Kalan malzemeler kırılarak 1.geri dönüşüm gerçekleştirildi. 1. Geri dönüşümden basılan malzemelerden test numuneleri ayrıldı ve kalan malzemeler yine kırılarak 2. geri dönüşüm için hazırlandı. 3., 4. ve 5. geri dönüşüm işlemleri için de aynı proses takip edildi. Ayrıca PP-PE'nin 1., 2., 3., 4. ve 5. geri dönüşüm malzemelerinin saf PP-PE ile % 25, % 50 ve % 75 oranlarında karışımlarının üretimi gerçekleştirildi. Bu karışım (saf ve geri dönüştürülmüş), hassas terazide tartılarak ve kapalı bir kapta iyice karıştırılarak hazırlandı. PPCE-PE malzemesi için sadece saf ve 1., 2., 3., 4. ve 5. geri dönüşüm malzemeleri hazırlandı. Tüm malzemeler için üretim şartları ve üretilen deney numunesi adetleri belirtildi.

4.4.1. Polipropilen Polietilen Karışımı (PP-PE) Üretimi

PP-PE test çubuklarının Tablo 4.5'teki üretim şartlarına göre plastik enjeksiyonda basımı gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.5: PP-PE enjeksiyon üretim şartları.

Isıtıcılar (°C)	225 – 220 – 215 - 205
Enjeksiyon basıncı (bar)	50
Enjeksiyon hızı (%)	30
Soğuma zamanı (sn)	25
Ütüleme basıncı (bar)	35
Ütüleme zamanı (sn)	3,5
Mal alma hızı (%)	50
Kalıp sıcaklığı (°C)	30
Chiller soğutma ünitesi sıcaklığı (°C)	15

PP-PE test çubukları Tablo 4.6’da belirtilen sayıda plastik enjeksiyonda basılmıştır.

Tablo 4.6: PP-PE üretilen test çubukları.

Malzeme	Karışım Oranları	Toplam	Karışımında Kullanılan Geri		
		Üretilen	Dönüştürülmüş ve Saf Malzeme		
		Adet	Miktarları		
Saf	% 100 Saf	377	G.D. (g)	Saf (g)	Toplam (g)
1. Geri Dönüşüm	% 25 1.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 1.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 1.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 1.G.D.	325			
2. Geri Dönüşüm	% 25 2.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 2.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 2.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 2.G.D.	266			
3. Geri Dönüşüm	% 25 3.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 3.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 3.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 3.G.D.	181			
4. Geri Dönüşüm	% 25 4.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 4.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 4.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 4.G.D.	125			
5. Geri Dönüşüm	% 25 5.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 5.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 5.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 5.G.D.	61			

4.4.2. % 30 Cam Elyaf Katkılı Polipropilen Polietilen (PPCE-PE) Üretimi

PPCE-PE test çubuklarının Tablo 4.7’deki üretim şartlarına göre plastik enjeksiyonda basımı gerçekleştirilmiştir. PPCE-PE test çubukları Tablo 4.8’de belirtilen sayıda plastik enjeksiyonda basılmıştır.

Tablo 4.7: PPCE-PE enjeksiyon üretim şartları.

Isıtıcılar (°C)	225 – 220 – 215 - 205
Enjeksiyon basıncı (bar)	50
Enjeksiyon hızı (%)	30
Soğuma zamanı (sn)	25
Ütüleme basıncı (bar)	35
Ütüleme zamanı (sn)	3,5
Mal alma hızı (%)	50
Kalıp sıcaklığı (°C)	30
Chiller soğutma ünitesi sıcaklığı (°C)	15

Tablo 4.8: PPCE-PE üretilen test çubukları.

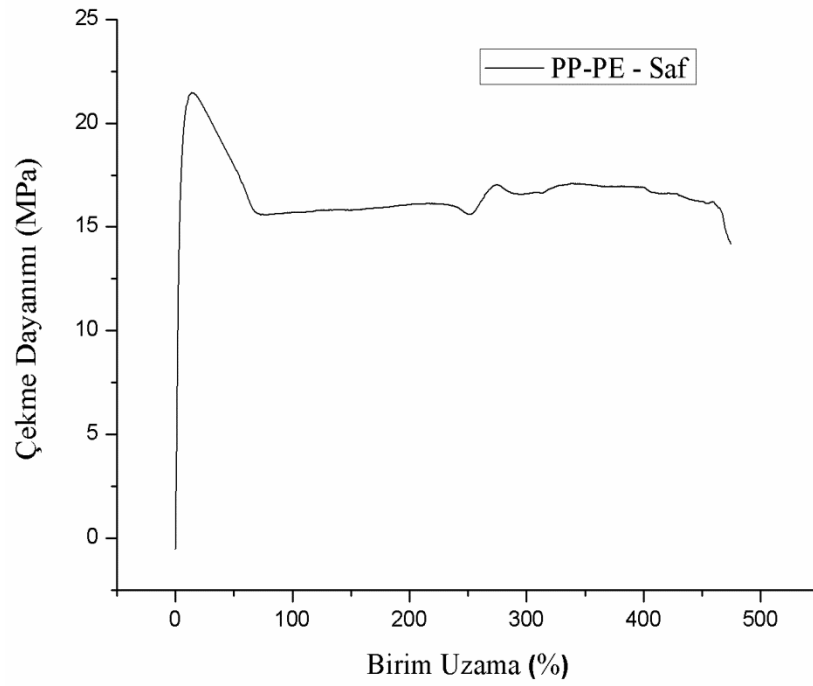
Malzeme	Karışım Oranları	Toplam Üretilen Adet	Karışımında Kullanılan Geri Dönüştürülmüş ve Saf Malzeme Miktarları		
			G.D. (g)	Saf (g)	Toplam (g)
Saf	% 100 Saf	361			
1. Geri Dönüşüm	% 25 1.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 1.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 1.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 1.G.D.	297			
2. Geri Dönüşüm	% 25 2.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 2.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 2.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 2.G.D.	236			
3. Geri Dönüşüm	% 25 3.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 3.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 3.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 3.G.D.	171			
4. Geri Dönüşüm	% 25 4.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 4.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 4.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 4.G.D.	115			
5. Geri Dönüşüm	% 25 5.G.D. + % 75 Saf	13	250	750	1000
	% 50 5.G.D. + % 50 Saf	13	500	500	1000
	% 75 5.G.D. + % 25 Saf	13	750	250	1000
	% 100 5.G.D.	51			

5. DENEYSEL SONUÇLAR ve YORUMLAR

5.1. Polipropilen Polietilen Karışımı (PP-PE)

5.1.1. Çekme Testi Sonuçları

PP-PE malzemesinin çekme testi 50 mm/dak hızla uygulanmıştır. Malzemenin saf örneğinin çekme dayanımı-birim uzama (%) grafiği Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1: PP-PE karışımı örnek çekme dayanımı - birim uzama grafiği.

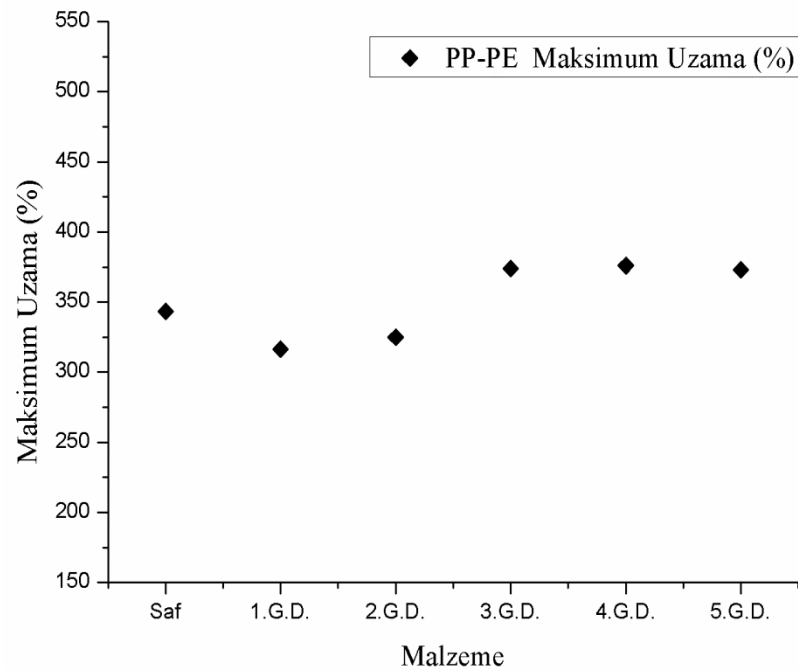
Tablo 5.1’de PP-PE’nin saf, geri dönüşümlerinin ve saf + geri dönüşüm karışımlarının çekme test sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.1: PP-PE malzeme çekme test sonuçları.

Malzeme	Maksimum Uzama (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	% 0,2 Akma Dayanımı (MPa)
	Ortalama	Ortalama	Ortalama
Saf	343,44	21,90	13,54
1. Geri Dönüşüm (G.D.)	316,24	22,56	14,52
2. G.D.	324,89	22,21	14,03
3. G.D.	373,78	21,46	13,34
4. G.D.	376,01	20,22	13,04
5. G.D.	373,05	19,96	12,16
1. % 25 G.D.+ Saf	322,35	21,26	13,38
1. % 50 G.D.+ Saf	298,33	21,27	13,25
1. % 75 G.D.+ Saf	293,02	21,13	13,35
2. % 25 G.D.+ Saf	278,57	22,28	14,11
2. % 50 G.D.+ Saf	364,21	22,50	14,41
2. % 75 G.D.+ Saf	344,72	22,33	14,17
3. % 25 G.D.+ Saf	332,16	21,54	13,90
3. % 50 G.D.+ Saf	374,04	21,49	13,35
3. % 75 G.D.+ Saf	319,26	21,78	13,47
4. % 25 G.D.+ Saf	322,77	20,70	13,23
4. % 50 G.D.+ Saf	339,60	20,65	13,23
4. % 75 G.D.+ Saf	374,70	20,58	13,20
5. % 25 G.D.+ Saf	363,23	19,83	13,04
5. % 50 G.D.+ Saf	338,34	20,13	12,42
5. % 75 G.D.+ Saf	338,98	20,08	12,22

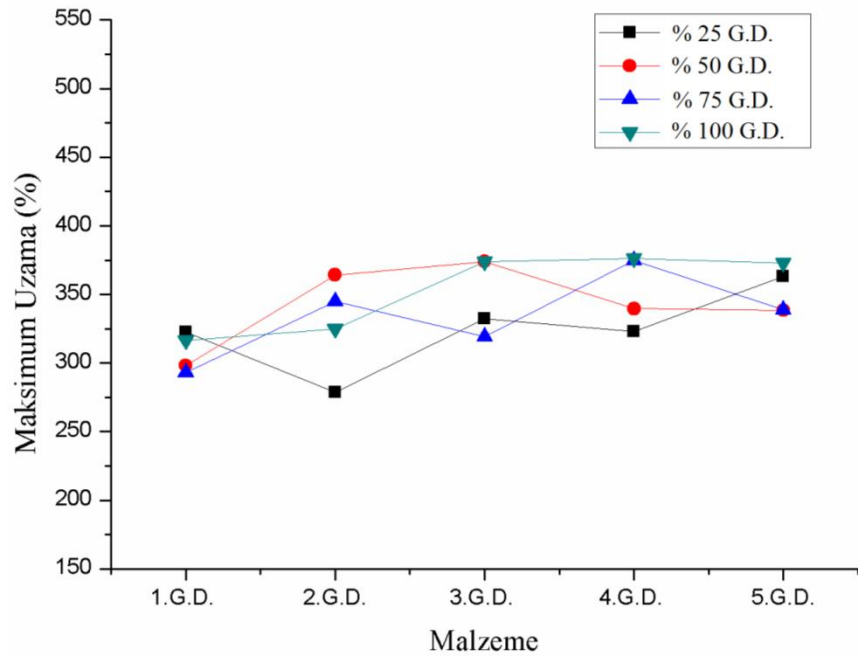
Şekil 5.2’de PP-PE’nin saf ve geri dönüşümlerinin maksimum uzama (%) grafiği verilmiştir. PP ve PE genel olarak karıştırılmaya uygun olmayan polimerlerdir [Keung et al., 1994], [Bertin and Robin, 2002]. Dolayısıyla bunların karışımının mekanik özellikleri düşük olması beklenir. PP-PE malzemesinin maksimum uzama (%) değeri 5. geri dönüşüme doğru arttı. Saf + geri dönüşümlü karışımlarda

maksimum uzama (%) değeri 4. geri dönüşümde % 75 geri dönüşüm + % 25 saf karışım malzemede 374,70 mm olarak bulundu. Maksimum uzama (%) değerinin artmasının nedeni geri dönüşümler sonucunda polimer zincirlerinin kırılmasıdır. Literatürdeki bir çalışmada cam elyafsız PP ve PE karışımının geri dönüşüm sonrası maksimum uzama (%) değeri artmıştır [Bertin and Robin, 2002]. Şekil 5.3'te PP-PE saf malzemesi ile % 25, % 50, % 75 ve % 100 geri dönüşüm oranlı karışımlarının 5 geri dönüşüm sonrasındaki maksimum uzama (%) grafikleri verilmiştir. Geri dönüşüm oranları sabit olduğunda da 5 geri dönüşüm sonrasında polimer zincirleri kırıldığı için maksimum uzama (%) artmıştır.

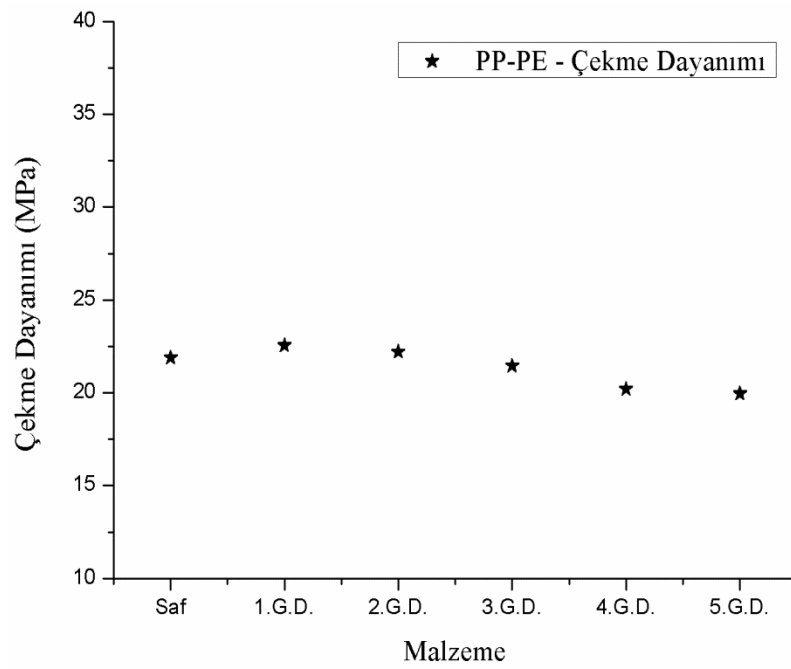


Şekil 5.2: PP-PE saf ve geri dönüşümlerin maksimum uzama (%) grafiği.

Şekil 5.4'te çekme dayanımı grafiği verilmiştir. Çekme dayanımı grafiğine bakıldığında 5. geri dönüşüme doğru % 9 az da olsa bir azalma görüldü. Elde edilen sonuçlar ile daha önce yapılmış başka bir çalışmadaki PP-PE malzemesinin 1. geri dönüşümünün çekme test sonuçlarıyla uyumludur [Albano et al., 1998c].

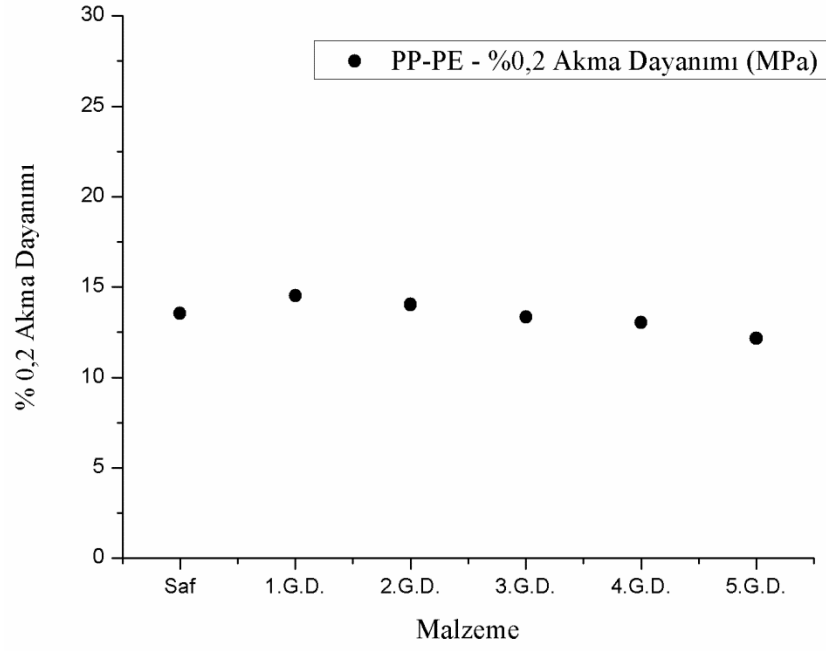


Şekil 5.3: PP-PE geri dönüşüm oranına göre maksimum uzama (%).



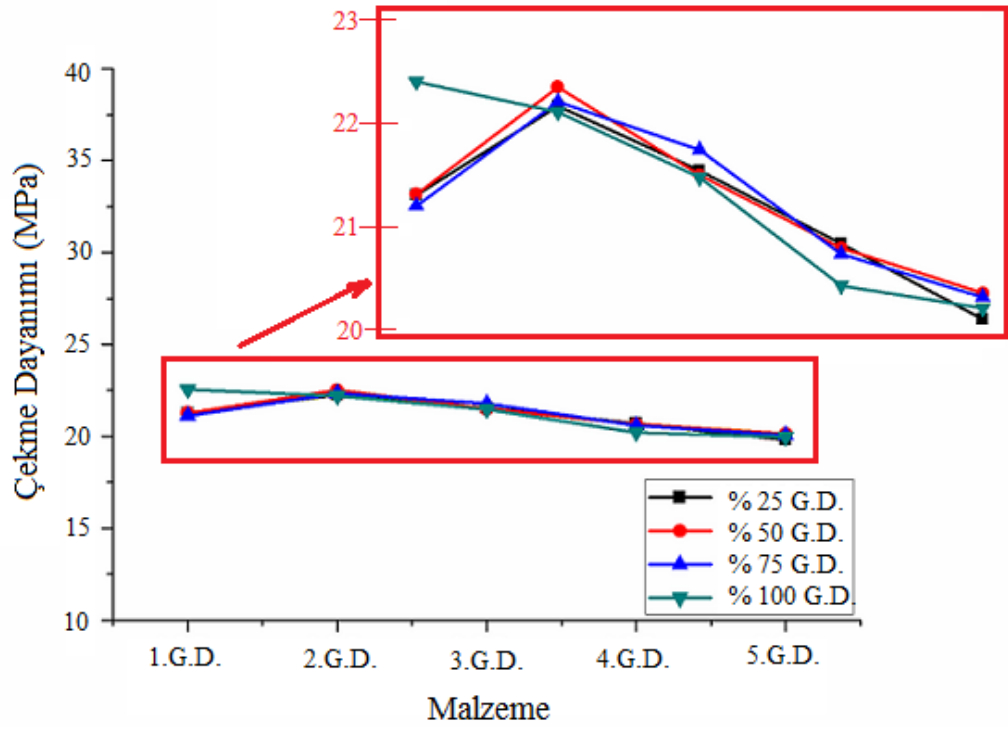
Şekil 5.4: PP-PE karışımı çekme dayanımı grafiği.

Şekil 5.5'te % 0,2 akma dayanımı grafiği verilmiştir. % 0,2 akma dayanımı grafiği incelendiğinde çekme dayanımı grafiği ile uyumlu bir grafik elde edildi.



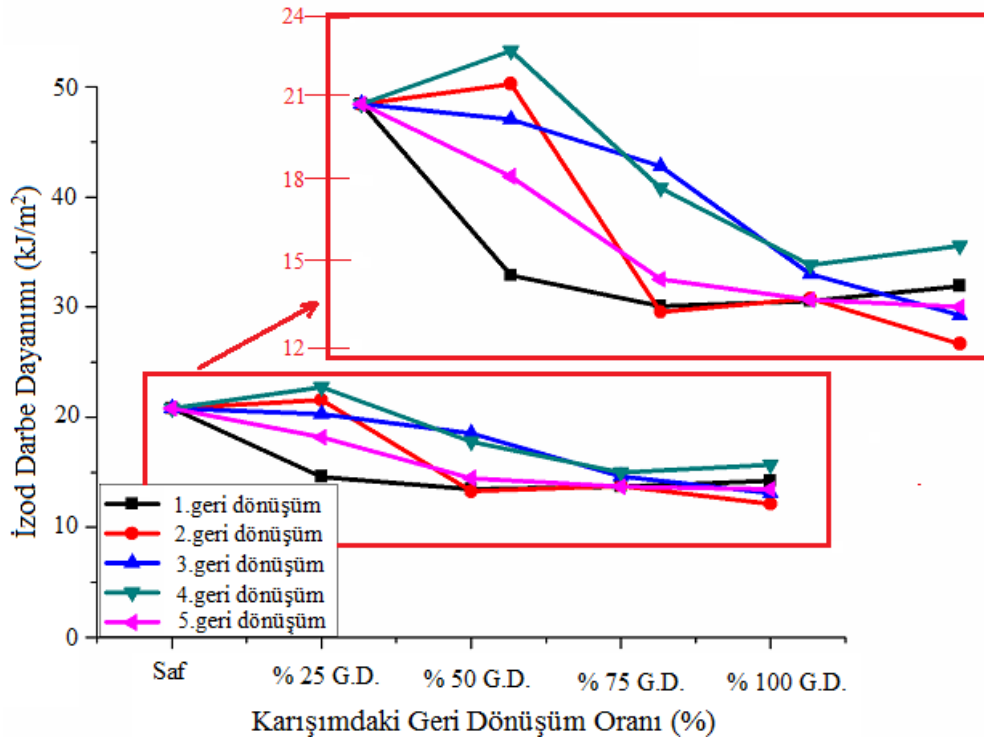
Şekil 5.5: PP-PE karışımı % 0,2 akma dayanımı grafiği.

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de PP-PE saf malzemesi ile % 25, % 50, % 75 ve % 100 geri dönüşüm oranlı karışımlarının 5 geri dönüşüm sonrasındaki çekme dayanımı ve % 0,2 akma dayanımı grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.6: PP-PE saf + geri dönüşüm oranına göre çekme dayanımı.

Elde edilen sonuçlar maksimum uzama (%) ve saf + geri dönüşümlü malzemelerin çekme ve % 0,2 akma dayanımı test sonuçları ile uyumludur. Geri dönüşüm sonrası polimer zincirleri kırıldığı için maksimum uzama (%) artarken çekme ve % 0,2 akma dayanımı değerleri düşmüştür. Saf + geri dönüşümlü malzemelerin de geri dönüşüm sonrası çekme ve % 0,2 akma değerleri azalmıştır. Daha önce yapılmış bir yüksek lisans tezinde PP malzemenin saf + geri dönüşümlü karışımlarının geri dönüşüm sonrası akma dayanımı değerinin azaldığı görülmüştür [Telli, 2009].

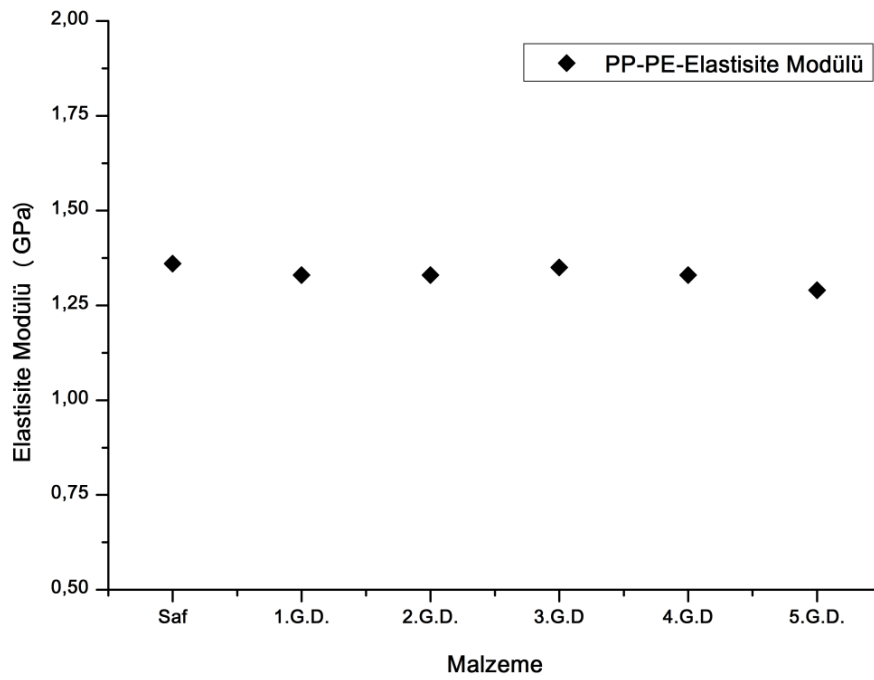


Şekil 5.7: PP-PE saf + geri dönüşüm oranına göre % 0,2 akma dayanımı.

Tablo 5.2’de PP-PE malzemesinin elastisite modülü test sonuçları, Şekil 5.8’de grafiği verilmiştir. PP-PE malzemesinin elastisite modülü sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Fakat küçük bir miktarda olsa saf malzeme ile 5. geri dönüşümlü malzeme karşılaştırıldığında elastisite modülü % 5 düşmüştür. Kısmi kristalinlerde sıcaklık artışıyla elastisite modülü düşmektedir [Telli, 2009]. Daha önceki çalışmalarda geri dönüşümler sonucunda elastisite modülünde azalma görülmüştür [Telli, 2009], [Fernando et al., 2003].

Tablo 5.2: PP-PE malzemesi elastisite modülü test sonuçları.

Malzeme	Elastisite Modülü (GPa)
Saf	1,36
1.Geri Dönüşüm	1,33
2. Geri Dönüşüm	1,33
3. Geri Dönüşüm	1,35
4. Geri Dönüşüm	1,33
5. Geri Dönüşüm	1,29

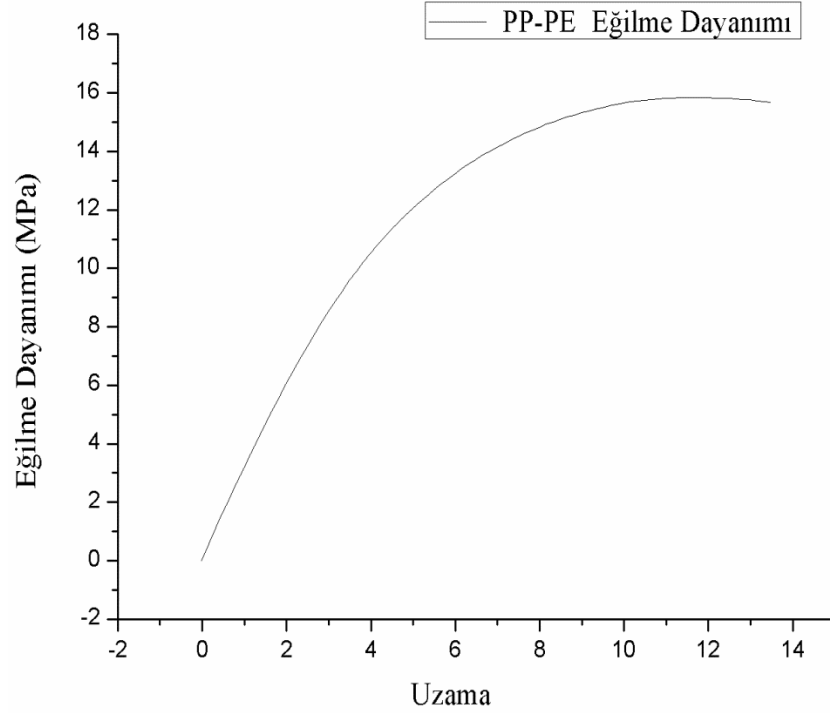


Şekil 5.8: PP-PE karışımı elastisite modülü grafiği.

5.1.2. Eğilme Testi Sonuçları

PP-PE karışım malzemesine üç noktalı eğilme dayanımı testi 10 mm/dak hızla uygulanmıştır. Şekil 5.9’da PP-PE saf malzemesine ait örnek eğilme dayanımı uzama grafiği verilmiştir. Tablo 5.3’te PP-PE malzemesinin eğilme dayanımı test sonuçları verilmiştir. Eğilme dayanımı ve eğilme modülü sonuçları birbirine yakındır. Saf malzeme ile 5. geri dönüşümlü malzemeler karşılaştırıldığında eğilme dayanımı % 4 ve eğilme modülünde % 3 az da olsa gelişme olmuştur. Bu sonuç geri dönüşüm sonrasında PP-PE malzemesinin sertliğinin arttığını göstermektedir. Buradan makro

moleküler zincir ayrılmaları ve geniş zincirlerin yapı içerisinde dağıldığı sonucu çıkarılabilir [Su et al., 2007]. Geri dönüşümde darbe dayanımı değerinin azalması bu sonucu desteklemektedir. PP-PE malzemesi geri dönüşüm prosesi sonrasında yumuşak ve dayanıklı yapıdan sert ve kırılğan yapıya dönüşmüştür. Yapılan bir çalışmada PA polimer malzemenin geri dönüşümünde benzer bir durum görüldü [Su et al., 2007].

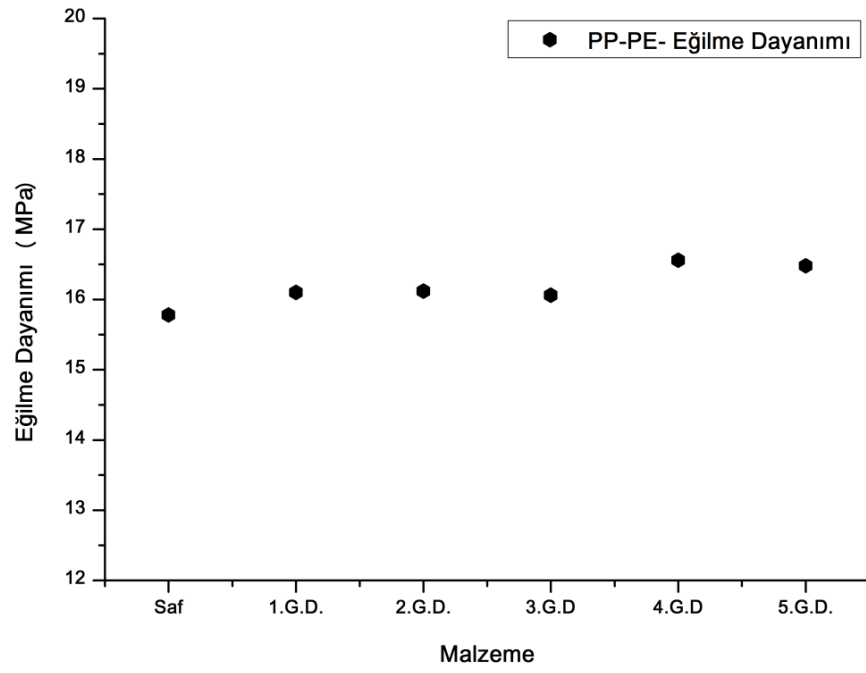


Şekil 5.9: PP-PE saf malzemenin örnek eğilme dayanımı uzama grafiği.

PP-PE'nin eğilme dayanımı grafiği ise Şekil 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.3: PP-PE malzemesi eğilme dayanımı test sonuçları.

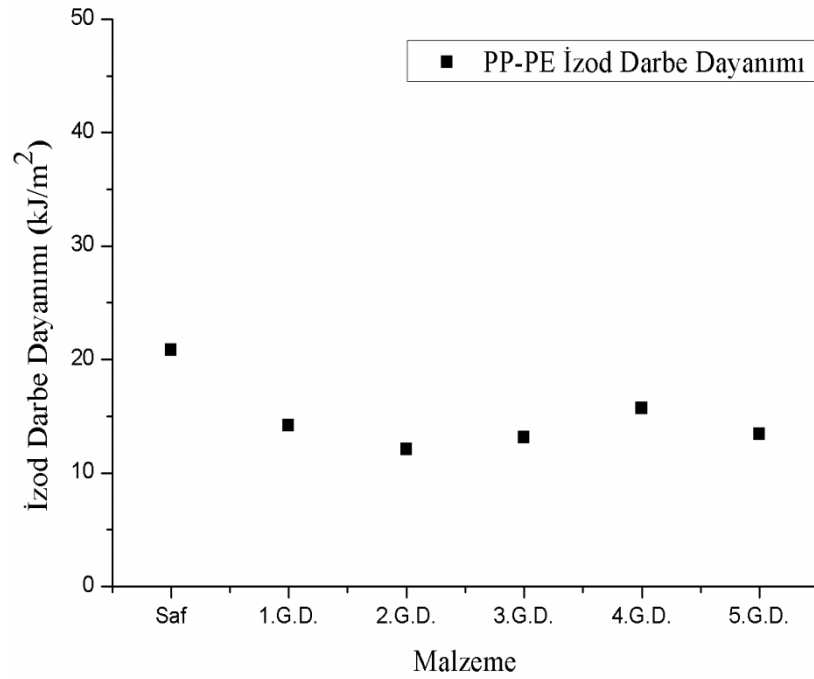
Malzeme	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)
	Ortalama	Ortalama
Saf	15,78	199,00
1. Geri Dönüşüm	16,10	199,80
2. Geri Dönüşüm	16,12	198,80
3. Geri Dönüşüm	16,06	198,60
4. Geri Dönüşüm	16,56	208,20
5. Geri Dönüşüm	16,48	204,80



Şekil 5.10: PP-PE karışımı eğilme dayanımı grafiği.

5.1.3. İzod Darbe Testi Sonuçları

PP-PE karışımı izod darbe testi çentikli çubuklar ile 2,75 joule'luk çekiç kullanılarak yapılmıştır. Saf ve geri dönüşümlerin darbe dayanımı grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir. Test sonuçları Tablo 5.4'te verilmiştir.



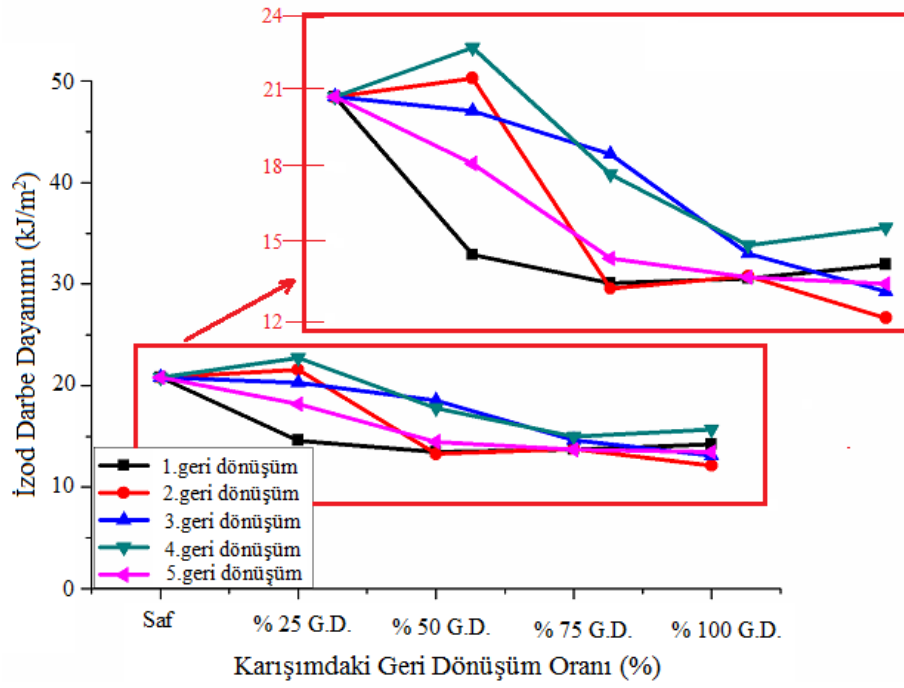
Şekil 5.11: PP-PE saf ve geri dönüşümlerin izod darbe dayanımı grafiği.

Tablo 5.4: PP-PE karışımı izod darbe test sonuçları.

Malzeme	Enerji (kJ/m ²)
	Ortalama
Saf	20,81
1. Geri Dönüşüm (G.D.)	14,20
2. G.D.	12,10
3. G.D.	13,13
4. G.D.	15,66
5. G.D.	13,44
1. % 25 G.D.+ Saf	14,59
1. % 50 G.D.+ Saf	13,47
1. % 75 G.D.+ Saf	13,66
2. % 25 G.D.+ Saf	21,55
2. % 50 G.D.+ Saf	13,26
2. % 75 G.D.+ Saf	13,74
3. % 25 G.D.+ Saf	20,26
3. % 50 G.D.+ Saf	18,56
3. % 75 G.D.+ Saf	14,63
4. % 25 G.D.+ Saf	22,76
4. % 50 G.D.+ Saf	17,76
4. % 75 G.D.+ Saf	14,96
5. % 25 G.D.+ Saf	18,19
5. % 50 G.D.+ Saf	14,45
5. % 75 G.D.+ Saf	13,70

Geri dönüşümlerin darbe dayanım değeri saf malzemeden düşük çıkmıştır. Bu sonuç eğilme dayanımı test sonuçlarını desteklemektedir. Geri dönüşüm prosesinde malzemeler sertleşip kırılma eğilimine başlamıştır.

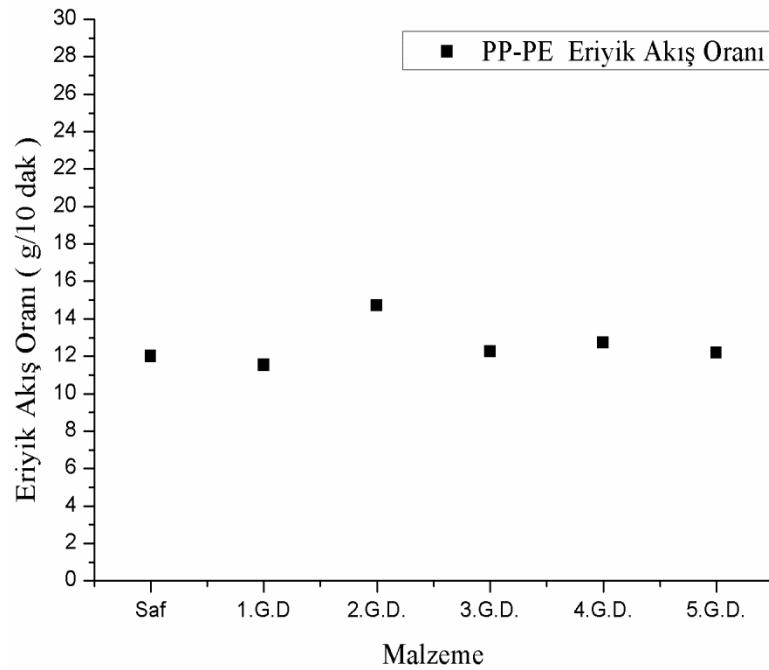
Şekil 5.12’de PP-PE malzemesinin geri dönüşümlü karışım oranına göre darbe dayanım test sonuçları verilmiştir. Karışımdaki geri dönüşüm oranı artması malzemeyi gevreklettiği için darbe dayanım değeri düşmektedir. Yapılmış bir doktora tezinde yüksek yoğunluklu PE’nin geri dönüşümünde sabit proses şartlarında benzer bir sonuç bulunmuştur. Çalışmada, geri dönüşümlü malzeme oranı arttıkça darbe dayanım değeri düşmüştür [Altan, 2007].



Şekil 5.12: PP-PE geri dönüşüm oranına göre izod darbe dayanımı.

5.1.4. Eriyik Akış Testi Sonuçları

PP-PE ikili karışımının eriyik akış testi 230 °C sıcaklıkta 2.16 kg ağırlık ile gerçekleştirilmiştir. Saf ve geri dönüşümlerinin eriyik akış değerleri de Şekil 5.13'te ve Tablo 5.5'te verilmiştir.

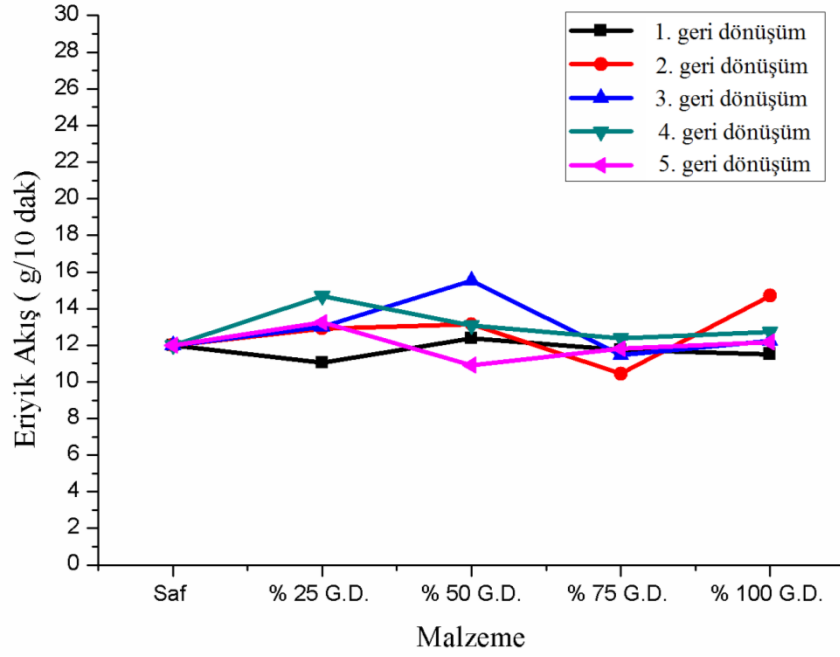


Şekil 5.13: PP-PE karışımı eriyik akış grafiği.

Tablo 5.5: PP-PE karışımı eriyik akış test sonuçları (g/10dk).

Malzeme	Ortalama
Saf	12,00
1. Geri Dönüşüm (G.D.)	11,52
2. G.D.	14,70
3. G.D.	12,24
4. G.D.	12,72
5. G.D.	12,18
1. % 25 G.D.+ Saf	11,04
1. % 50 G.D.+ Saf	12,36
1. % 75 G.D.+ Saf	11,76
2. % 25 G.D.+ Saf	12,90
2. % 50 G.D.+ Saf	13,14
2. % 75 G.D.+ Saf	10,44
3. % 25 G.D.+ Saf	13,02
3. % 50 G.D.+ Saf	15,54
3. % 75 G.D.+ Saf	11,46
4. % 25 G.D.+ Saf	14,70
4. % 50 G.D.+ Saf	13,08
4. % 75 G.D.+ Saf	12,36
5. % 25 G.D.+ Saf	13,26
5. % 50 G.D.+ Saf	10,92
5. % 75 G.D.+ Saf	11,82

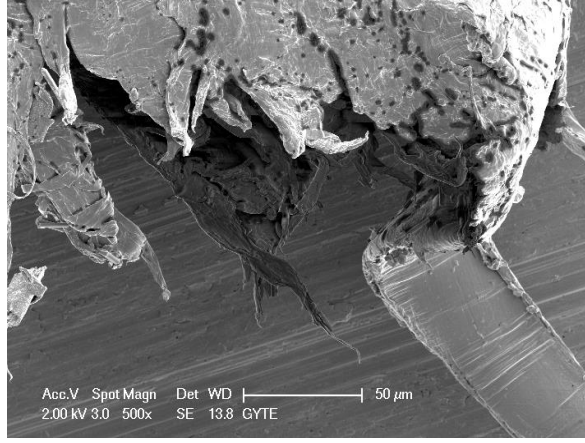
Şekil 5.14'te PP-PE malzemesinin geri dönüşümlü karışım oranına göre eriyik akış test sonuçları verilmiştir. Saf malzeme ile % 100 geri dönüşümlü malzemeler ile saf + geri dönüşümlü karışımların eriyik akış oranları birbirine yakın çıkmıştır. Bunun sebebi olarak kırılan polimer zincirlerinin kendi arasında yeniden bağ yapması söylenebilir. Çekme ve % 0,2 akma dayanım değerlerinin 5 geri dönüşüm sonucunda az düşmesi eriyik akış oranında fazla bir değişim olmamasını desteklemektedir. PP-PE malzemesine 5 ten daha fazla geri dönüşüm uygulandığı zaman eriyik akış oranlarında artış görülebilir.



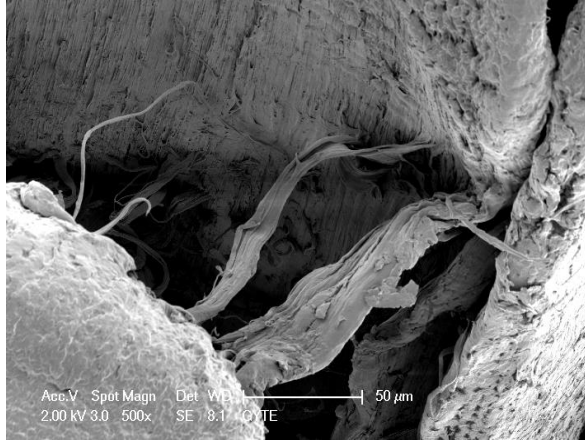
Şekil 5.14: PP-PE geri dönüşüm oranına göre eriyik akış oranı.

5.1.5. SEM Analiz Sonuçları

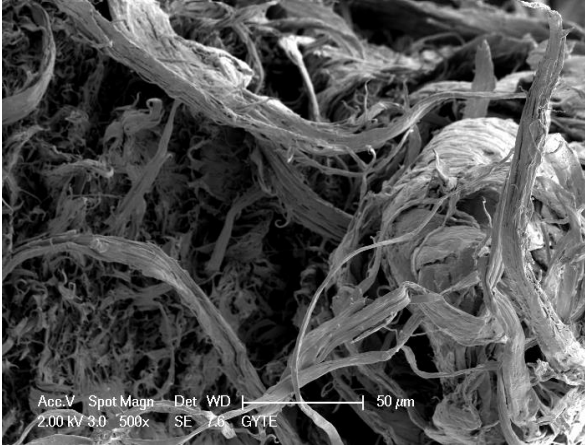
5. geri dönüşümlü malzeme çekme testi sonucunda kopmadığı için yerine 4. geri dönüşümlü malzemenin SEM görüntüleri alındı. Saf, 1. geri dönüşümlü ve 4. geri dönüşümlü PP-PE malzemesinin kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 5.15'te verildi. SEM görüntüleri karşılaştırıldığında, saf malzemeden 4. geri dönüşümlü malzemeye doğru gidildikçe kopma yüzeylerindeki liflenme artmıştır. Bunun nedeni geri dönüşümler sonucunda deformasyonun artması olarak düşünülmüştür. Genel olarak mekanik özelliklerdeki düşüşün nedeni, geri dönüşümler sonucunda malzemenin içerisinde ayrışma ve liflenme olmasıdır. Başka bir çalışmada da PP-PE malzemesinin benzer SEM görüntüleri alınmıştır [Radonjic and Gubelj, 2002], [Evva et al., 2003].



a)



b)



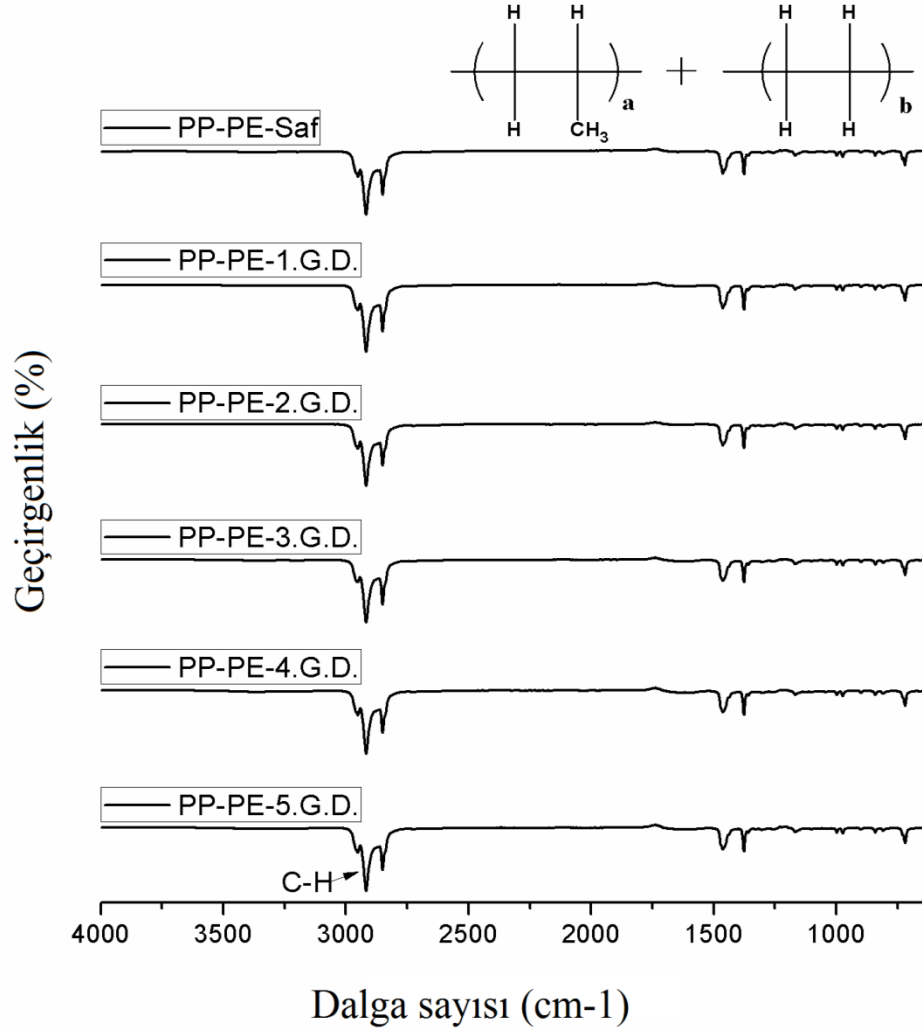
c)

Şekil 5.15: PP-PE karışımının a) saf, b) 1.G.D. ve c) 4.G.D.'lerinin SEM görüntüleri.

5.1.6. Kızılötesi (Infrared) Spektroskopisi (FTIR) Sonuçları

Şekil 5.16'da, 2800-3100 cm^{-1} aralığında PP-PE karışım malzemesine ait alifatik C-H gerilmeleri görülmektedir. Geçirgenliğin (%) dalga sayısına (cm^{-1}) göre çizilen kızılötesi spektrumu incelendiğinde, saf ve geri dönüştürülmüş PP-PE karışım

malzemelerin karakteristik gerilmelerinin hemen hemen aynı oldukları görülmektedir. Dolayısıyla, bu durum PP-PE karışım malzemelerin geri dönüşümlerinin sorunsuz gerçekleştirildiğini ve kimyasal yapılarında bir değişiklik olmadığını göstermektedir.

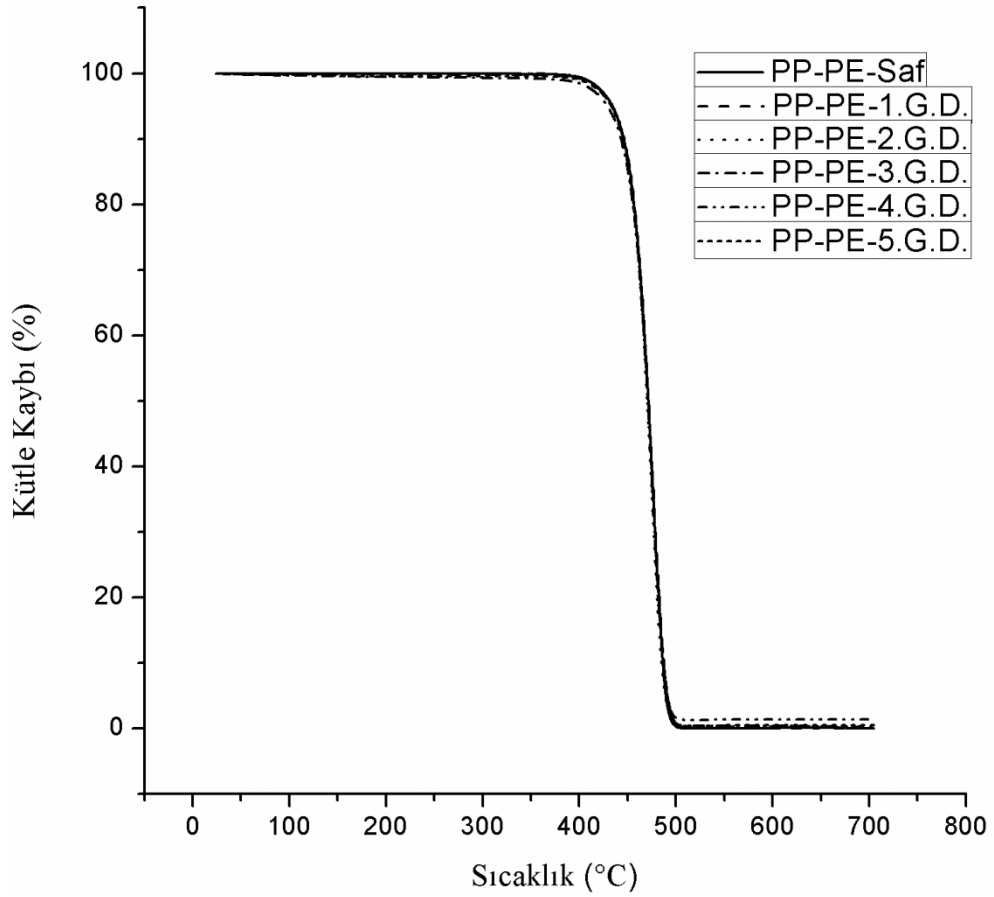


Şekil 5.16: PP-PE FTIR spektrumu.

5.1.7. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

PP-PE karışım malzemelerin termal olarak bozunma analizi oda sıcaklığından 700 °C'ye kadar 20 °C/dk hızında TGA analizi ile gerçekleştirilmiştir. PP-PE karışımların saf ve geri dönüşümlerinin TGA analiz sonuçları Şekil 5.17'de grafik halinde verilmiştir. PP-PE malzemeler kütle kaybına uğramaya 442 °C sıcaklığında başlamış, tek kademede gerçekleşen bozulma ise 498 °C'de sona ermiştir. Burada görülen bozunmanın beklenenin tersine tek aşamada gerçekleşmesi PP ve PE

malzemelerin kimyasal benzerliklerinden ileri gelmektedir. Benzer kütle kayıplarının sonucunda, kalan miktar % 1'den az olup, kalan kömür miktarını ifade etmektedir. Comacho ve Karlsson'nun yapmış olduğu bir çalışmada % 20 PP ile % 80 HDPE karışımına 6 kere ekstrüzyon makinesi ile geri dönüşüm uygulanmış ve TGA analiz sonuçlarında bu çalışmada olduğu gibi geri dönüşümler arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir [Camacho and Karlsson, 2002].

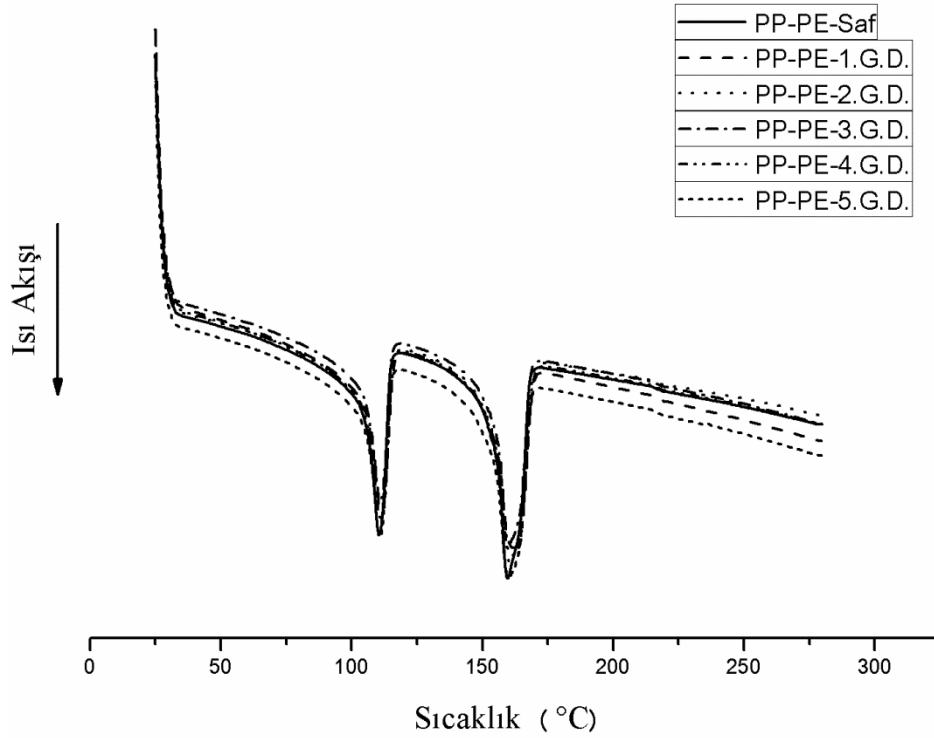


Şekil 5.17: PP-PE termal gravimetrik analiz termogramı.

5.1.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Sonuçları

PP-PE malzemelerin termal özellikleri 0-280 °C arasında, 10 °C/dk ısıtma hızında, argon atmosferi altında Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile araştırıldı. PP-PE karışım malzemesinin elde edilmesinde kullanılan PE ve PP homopolimerlerine ait T_m değerleri sırasıyla 113,02 ve 166,59 °C'dir. Şekil 5.18'de PP-PE karışım malzemesine ait DSC termogramında görülen T_m değerleri yaklaşık olarak 111 ve 161 °C'dir. Bu durum, ekstrüzyonla karışım oluşturma işleminin

gerçekleştğini göstermektedir. Ayrıca, geri dönüşüm işlemleri sonucunda Tg değerlerinde önemli farklılık gözlenmedi. Benzer bir başka çalışmada % 20 PP ile % 80 HDPE'nin karışımına 6 kere ekstrüzyon makinesi ile geri dönüşüm uygulanmış ve bu çalışmaya benzer DSC analiz sonuçları elde edilmiştir [Camacho and Karlsson, 2002].



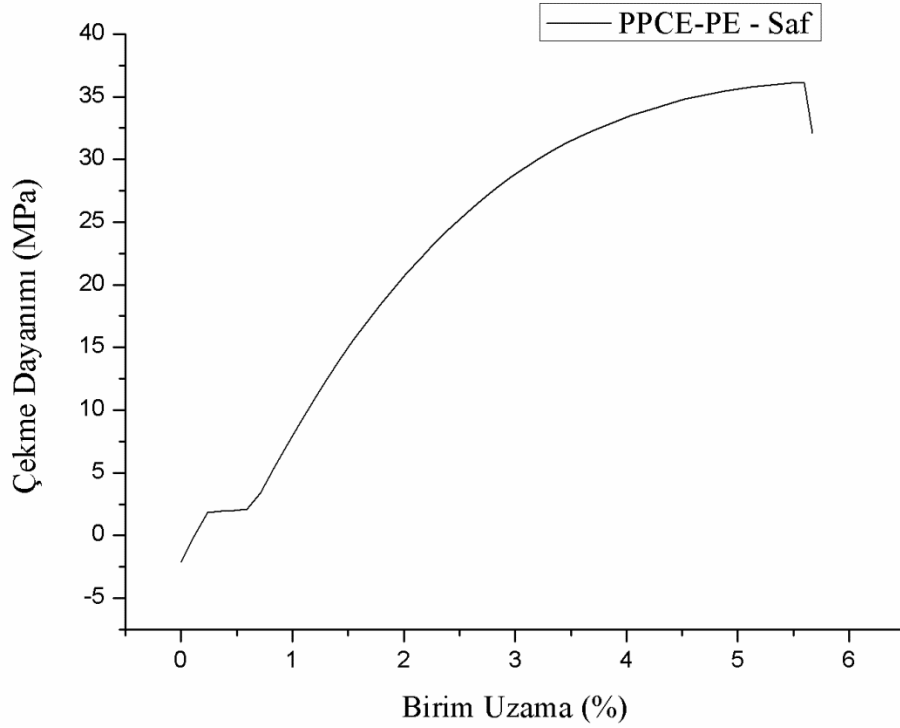
Şekil 5.18: PP-PE diferansiyel taramalı kalorimetri termogramı.

5.2. % 30 Cam Elyaf Katkılı Polipropilen Polietilen Karışımı (PPCE-PE)

% 30 cam elyaf katkı PP (PPCE) ile alçak yoğunluklu PE'nin ekstrüzyon makinesinde % 60 PPCE, % 40 PE oranlarında karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Deney sonuçları içerisinde kısaca PPCE-PE karışımı olarak yazılmıştır. PPCE-PE malzemesinin mekanik testleri PP-PE'den farklı olarak sadece saf ve geri dönüşümlere uygulanmıştır.

5.2.1. Çekme Testi Sonuçları

PPCE-PE malzemesinin çekme testi 50 mm/dak hızla gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.19'da geri dönüşüm yapılmamış saf PPCE-PE malzemesinin örnek çekme dayanımı-birim uzama (%) grafiği verilmiştir. Saf PPCE-PE malzemenin geri dönüşümler sonucu maksimum uzama (%), çekme dayanımı ve % 0,2 akma dayanımı sonuçları Tablo 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.20'de saf PPCE-PE ile 5 geri dönüşüm uygulanmış PPCE-PE malzemesinin maksimum uzama (%) grafiği verilmiştir.

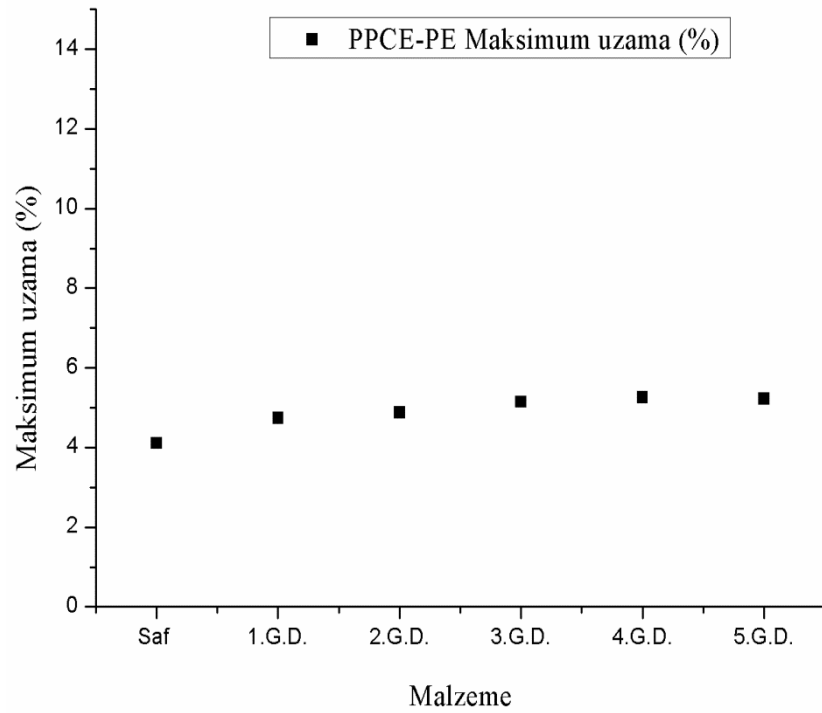


Şekil 5.19: PPCE-PE karışımı örnek çekme dayanımı-birim uzama grafiği.

PP-PE saf malzemenin maksimum uzama (%) değeri 343,44 mm iken cam elyaf katkılı PPCE-PE malzemesinde cam elyafların etkisiyle maksimum uzama (%) 4,11 mm'ye düşmüştür. PPCE-PE malzemesinin maksimum uzama (%) değeri geri dönüşümler sırasında artmasının nedeni polimer zincirlerinin ve cam elyafların kırılmasından kaynaklanmaktadır.

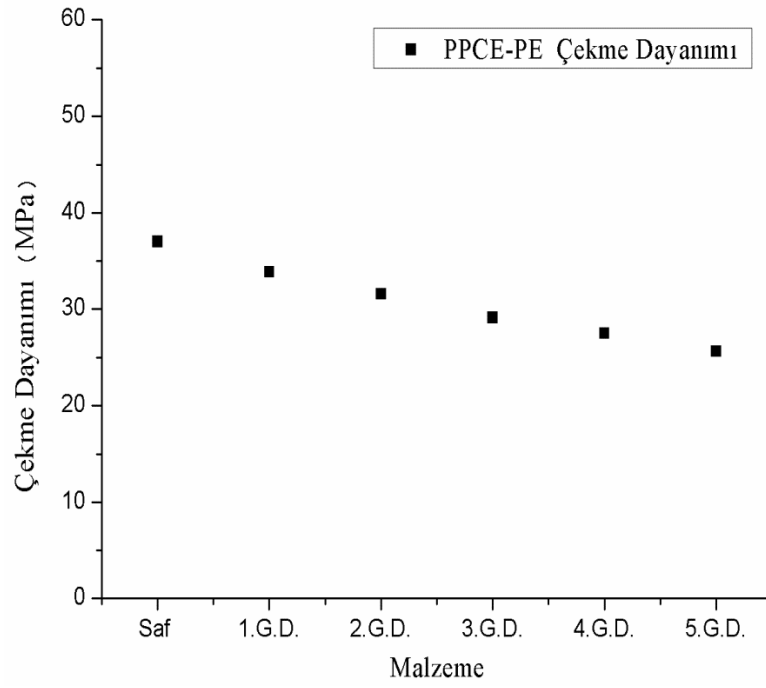
Tablo 5.6: PPCE-PE malzeme çekme test sonuçları.

Malzeme	Maksimum Uzama (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	% 0,2 Akma Dayanımı (MPa)
	Ortalama	Ortalama	Ortalama
Saf	4,11	37,00	26,95
1. Geri Dönüşüm	4,74	33,86	25,01
2. Geri Dönüşüm	4,88	31,60	24,00
3. Geri Dönüşüm	5,15	29,13	22,44
4. Geri Dönüşüm	5,26	27,51	21,76
5. Geri Dönüşüm	5,23	25,63	20,69

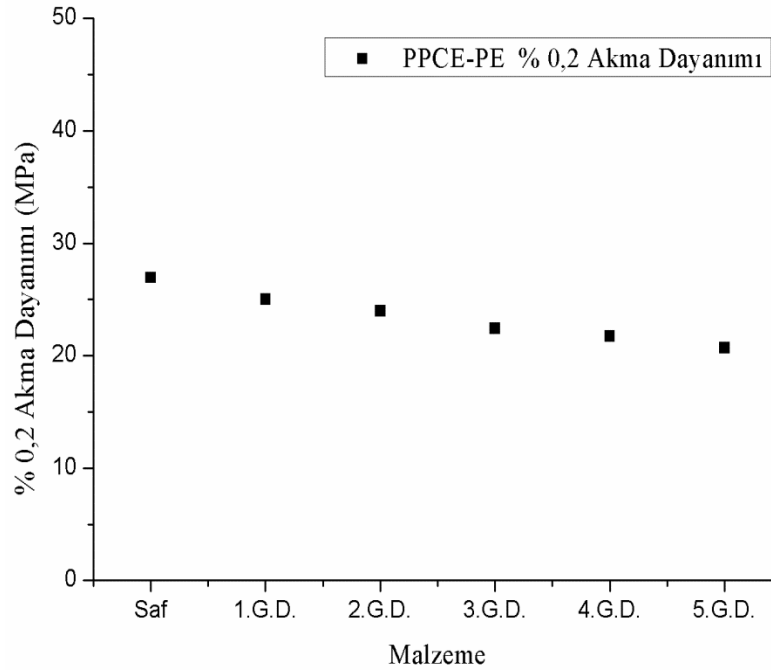


Şekil 5.20: PPCE-PE maksimum uzama (%) grafiği.

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de PPCE-PE malzemesinin sırasıyla çekme ve % 0,2 akma dayanımı grafikleri verilmiştir. PPCE-PE malzemesine cam elyaf katılmasıyla çekme ve akma dayanımı değerlerinde ciddi artış görülmüştür. Cam elyaf katkısı plastiklerde sürünme dayanımını arttırmaktadır [Çapan, 2010]. Çekme ve akma dayanımları saf malzemeden geri dönüşümlere doğru azalmıştır.



Şekil 5.21: PPCE-PE çekme dayanımı grafiği.



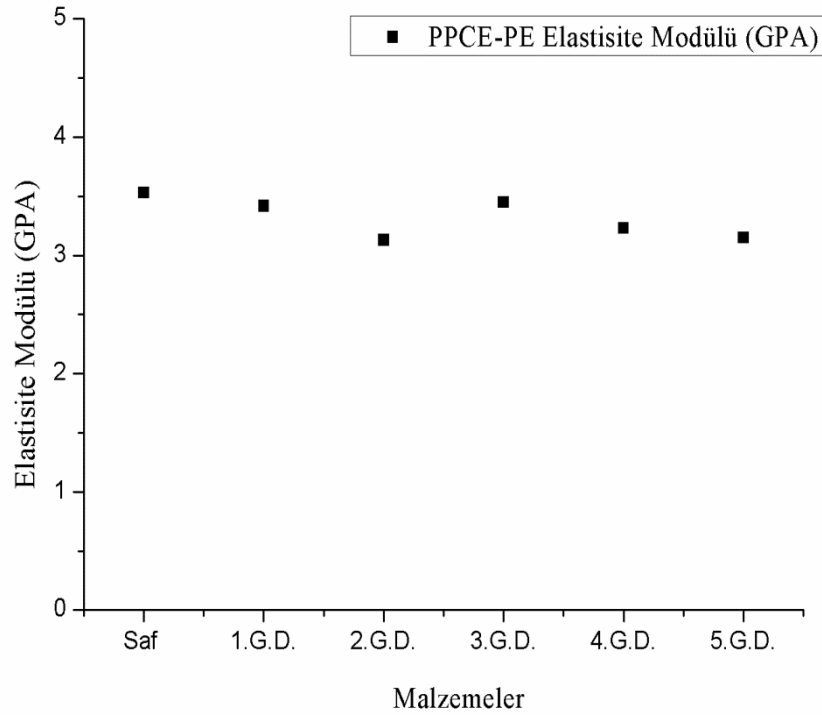
Şekil 5.22: PPCE-PE % 0,2 akma dayanımı grafiği.

PPCE-PE malzemesinin saf ve geri dönüşümlerinin elastisite modülü test sonuçları Tablo 5.7'de, grafiği ise Şekil 5.23'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, geri dönüşüm sayısı arttıkça elastisite modülü değerlerinin birbirine yakın çıktığı görüldü. Ama saf malzeme ile 5. geri dönüşümlü malzeme karşılaştırıldığında elastisite modülü % 11 azalmıştır. Kısmi kristalin malzemelerde sıcaklık artışı

elastisite modülünün düşmesine neden olmaktadır [Telli, 2009]. Birçok geri dönüşüm çalışmasında geri dönüşümler sonucunda elastisite modülünün azaldığı görülmüştür [Telli, 2009], [Fernando et al., 2003].

Tablo 5.7: PPCE-PE malzemesi elastisite modülü test sonuçları.

Malzeme	Elastisite Modülü (GPa)
Saf	3,53
1. Geri Dönüşüm	3,42
2. Geri Dönüşüm	3,13
3. Geri Dönüşüm	3,45
4. Geri Dönüşüm	3,23
5. Geri Dönüşüm	3,15



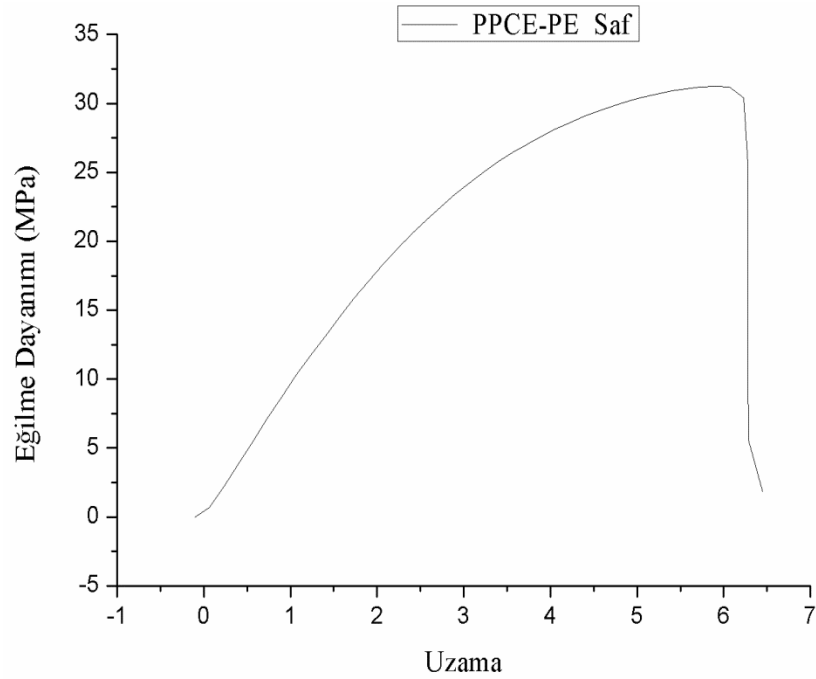
Şekil 5.23: PPCE-PE malzemesi elastisite modülü grafiği.

5.2.2. Eğilme Testi Sonuçları

PPCE-PE malzemesine üç noktalı eğilme dayanımı testi 10 mm/dak hızla uygulanmıştır. Şekil 5.24'te PPCE-PE saf malzemeye ait örnek eğilme dayanımı

uzama grafiği verilmiştir. Tablo 5.8’de PPCE-PE malzemesinin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri verilmiştir.

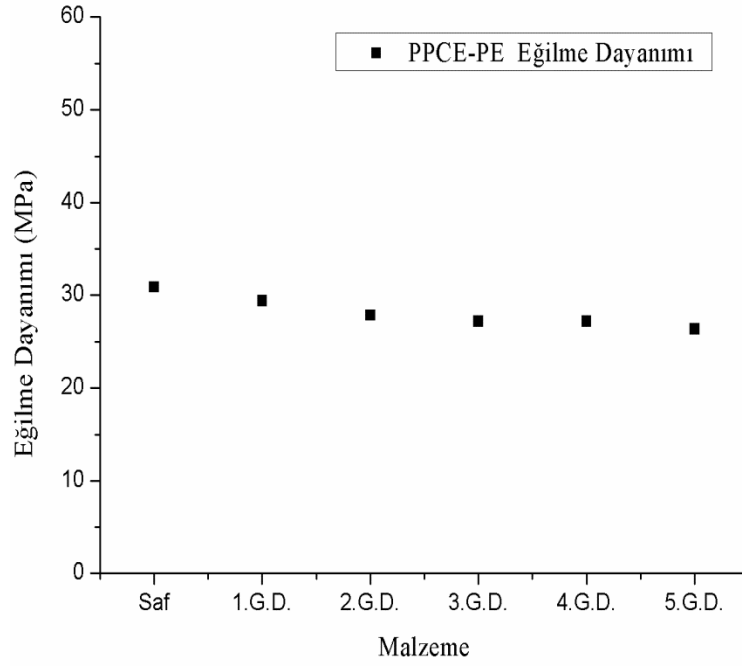
şekil 5.25’te ise eğilme dayanımı grafiği verilmiştir. Eğilme dayanımı ve eğilme modülü sonuçları saf malzemeden 1., 2., 3., 4. ve 5. geri dönüşüme doğru sırasıyla % 15 ve % 21 azalmıştır.



şekil 5.24: PPCE-PE saf malzeme örnek eğilme dayanımı uzama grafiği.

Tablo 5.8: PPCE-PE malzemesi eğilme testi sonuçları.

Malzeme	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)
	Ortalama	Ortalama
Saf	30,91	631,17
1. Geri Dönüşüm	29,41	596,22
2. Geri Dönüşüm	27,84	566,97
3. Geri Dönüşüm	27,21	539,11
4. Geri Dönüşüm	27,21	528,62
5. Geri Dönüşüm	26,36	500,26



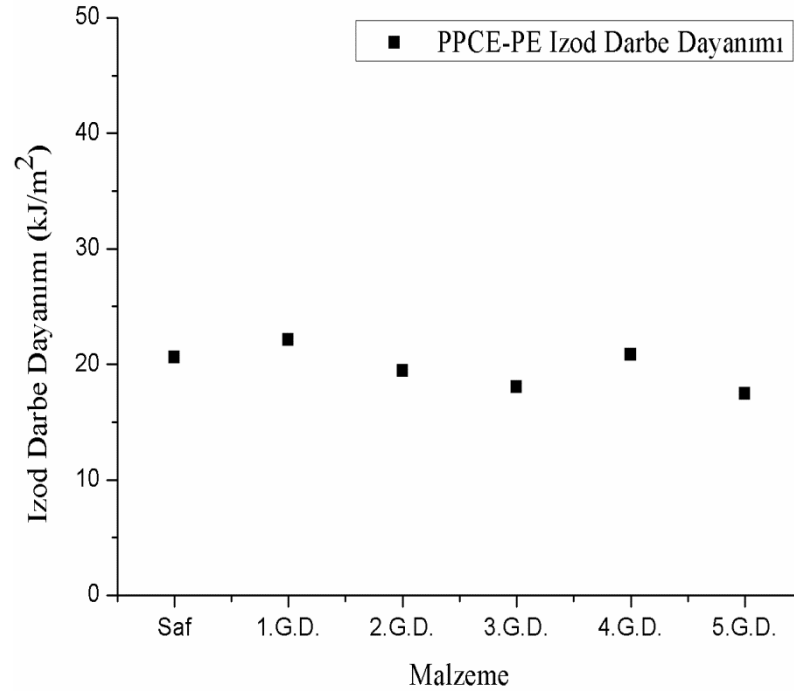
Şekil 5.25: PPCE-PE malzemesi eğilme dayanımı grafiği.

5.2.3. İzod Darbe Testi Sonuçları

PPCE-PE'nin izod darbe testi çentiksiz çubuklarla 2,75 joule'luk çekiç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları Tablo 5.9'da verilmiştir. İzod darbe dayanım grafiği de Şekil 5.26'da verilmiştir. İzod darbe testi sonuçlarına baktığımızda geri dönüşümler arasında artış ve azalmalar olmakla beraber saf ile 5. geri dönüşümlü malzeme karşılaştırıldığında geri dönüşümler sonucunda darbe dayanımında düşüş olduğu görülür.

Tablo 5.9: PPCE-PE malzeme izod darbe test sonuçları.

Malzeme	Enerji (J) RE (kJ/m ²)	
	Ort.	Ort.
Saf	0,82	20,57
1. Geri Dönüşüm	0,88	22,09
2. Geri Dönüşüm	0,78	19,43
3. Geri Dönüşüm	0,77	18,03
4. Geri Dönüşüm	0,83	20,80
5. Geri Dönüşüm	0,74	17,43



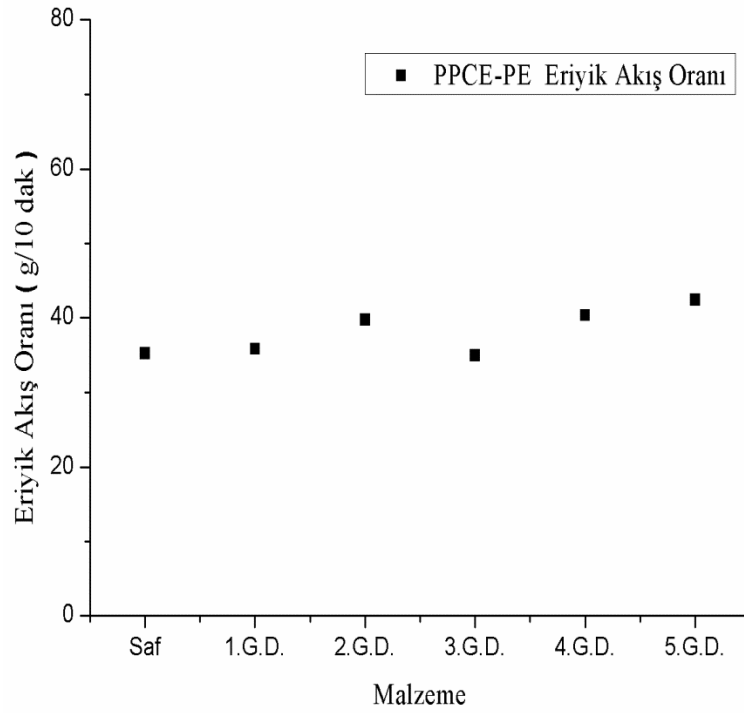
Şekil 5.26: PPCE-PE izod darbe dayanımı grafiği.

5.2.4. Eriyik Akış Testi Sonuçları

PPCE-PE malzemesinin eriyik akış testi 230 °C sıcaklıkta 2.16 kg ağırlık ile gerçekleştirildi. Tablo 5.10’da PPCE’nin eriyik akış test sonuçları detaylı olarak verilmiştir. Şekil 5.27’de saf PPCE-PE ile geri dönüştürülmüş PPCE-PE’nin eriyik akış değerlerinin grafiği verilmiştir. Eriyik akış sonuçlarında geri dönüşümler sonucunda 3. geri dönüşüm hariç artış yaşanmıştır. Eriyik akış oranının artmasının nedeni geri dönüşümler sonucunda polimer zincirlerinin ve cam elyafların kırılması bunun sonucunda akışın hızlanmasıdır.

Tablo 5.10: PPCE-PE malzeme eriyik akış sonuçları.

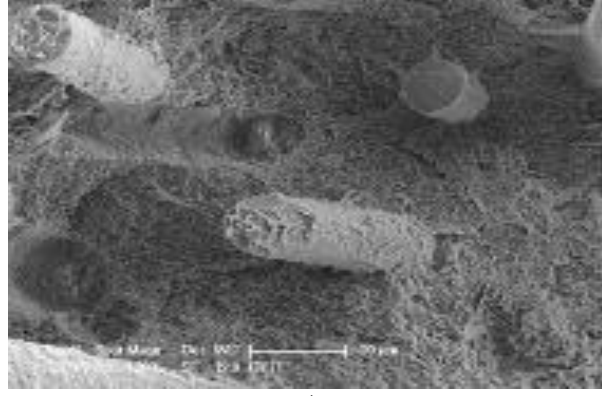
Malzeme	Ort.
Saf	35,25
1. Geri Dönüşüm	35,85
2. Geri Dönüşüm	39,75
3. Geri Dönüşüm	34,95
4. Geri Dönüşüm	40,35
5. Geri Dönüşüm	42,45



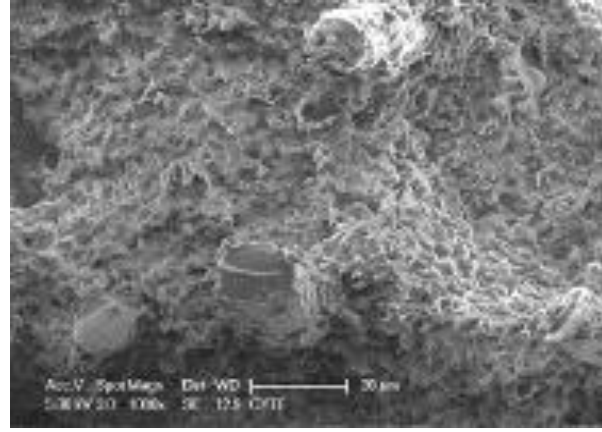
Şekil 5.27: PPCE-PE eriyik akış oranı grafiği.

5.2.5. SEM Analiz Sonuçları

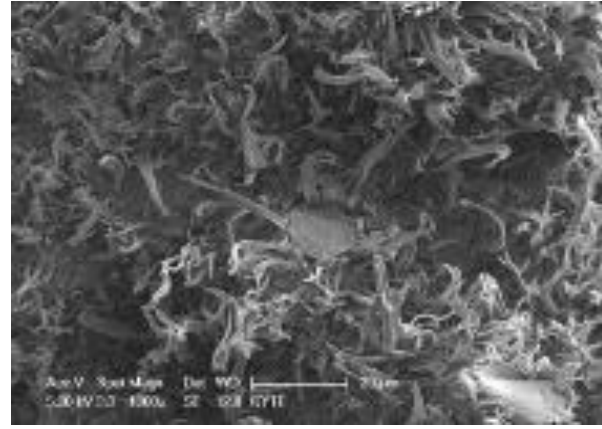
PPCE-PE malzemesinin SEM analiz görüntüleri 1000x büyütme yapılarak alınmıştır. Saf, 1. geri dönüşümlü ve 5. geri dönüşümlü PPCE-PE malzemesinin kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 5.28’de verilmiştir. Görüntülerin hepsinde cam elyaflar net bir şekilde görülmektedir. Saf, 1. geri dönüşümlü ve 5. geri dönüşümlü malzemelerin hepsinde cam elyaflar matrise iyi tutunmuştur. Ama saf malzemedeki matris 1. geri dönüşümde bozulmaya başlamış 5. geri dönüşümde ise yapıda ayrışmaların olduğu görülmüştür. SEM görüntüleri ile geri dönüşümler sonucunda mekanik özelliklerdeki azalma desteklenmiştir.



a)



b)



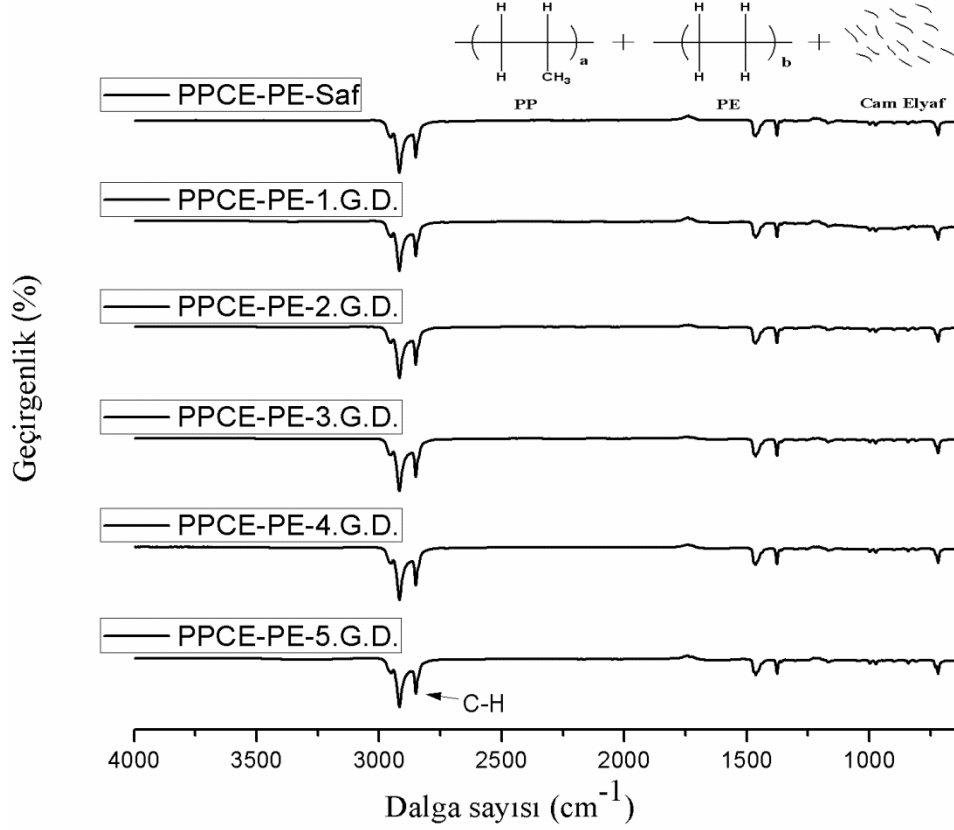
c)

Şekil 5.28: PPCE-PE karışımının a) saf, b) 1.G.D. ve c) 5.G.D.'lerinin SEM görüntüleri.

5.2.6. Kızılötesi (Infrared) Spektroskopisi (FTIR) Sonuçları

Şekil 5.29'da, 2800-3000 cm^{-1} aralığında PPCE-PE karışım malzemesine ait alifatik C-H gerilmeleri görülmektedir. Geçirgenliğin (%) dalga sayısına (cm^{-1}) göre çizilen kızılötesi spektrumu incelendiğinde, saf ve geri dönüştürülmüş PPCE-PE karışım malzemelerin karakteristik gerilmelerinin hemen hemen aynı oldukları

görülmektedir. Dolayısıyla, bu durum PPCE-PE karışım malzemelerin geri dönüşümlerinin sorunsuz gerçekleştirildiğini ve kimyasal yapılarında bir değişiklik olmadığını göstermektedir.

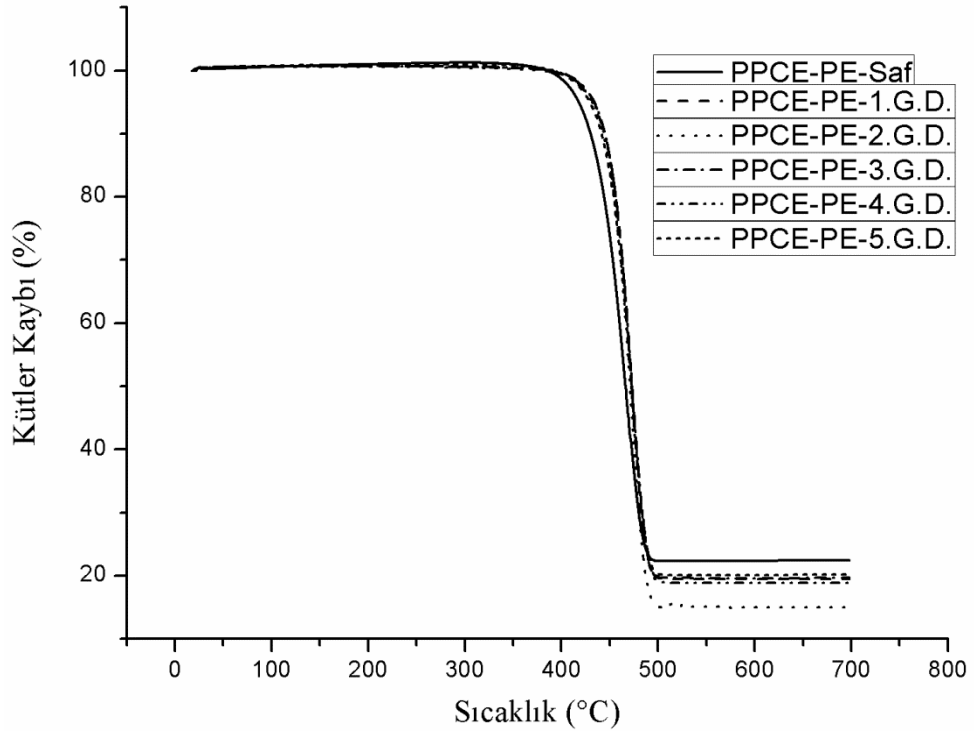


Şekil 5.29: PPCE-PE FTIR spektrumu.

5.2.7. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

PPCE-PE ikili karışım malzemelerin termal olarak bozunma analizi oda sıcaklığından 700 °C'ye kadar 20 °C/dk hızında TGA analizi ile gerçekleştirilmiştir. PPCE-PE karışımların saf ve geri dönüşüm olanlarının TGA analiz sonuçları Şekil 5.30'da grafik halinde verilmiştir. PPCE-PE malzemeler kütle kaybına uğramaya 370 °C sıcaklığında başlamış, tek kademede gerçekleşen bozulma ise 500 °C'de sona ermiştir. Burada görülen bozunmanın beklenenin tersine tek aşamada gerçekleşmesi cam elyaf katkılı polipropilen ve polietilen malzemelerin kimyasal benzerliklerinden ileri gelmektedir. Karışımın ısıtılma sonucunda bozunmadan kalan kısmı cam elyaf katkılı polipropilenden gelen cam elyafıdır. Saf ve geri dönüşümler ile elde edilen PPCE-PE karışım malzemelerden kütle kayıplarından sonra kalan cam elyaf

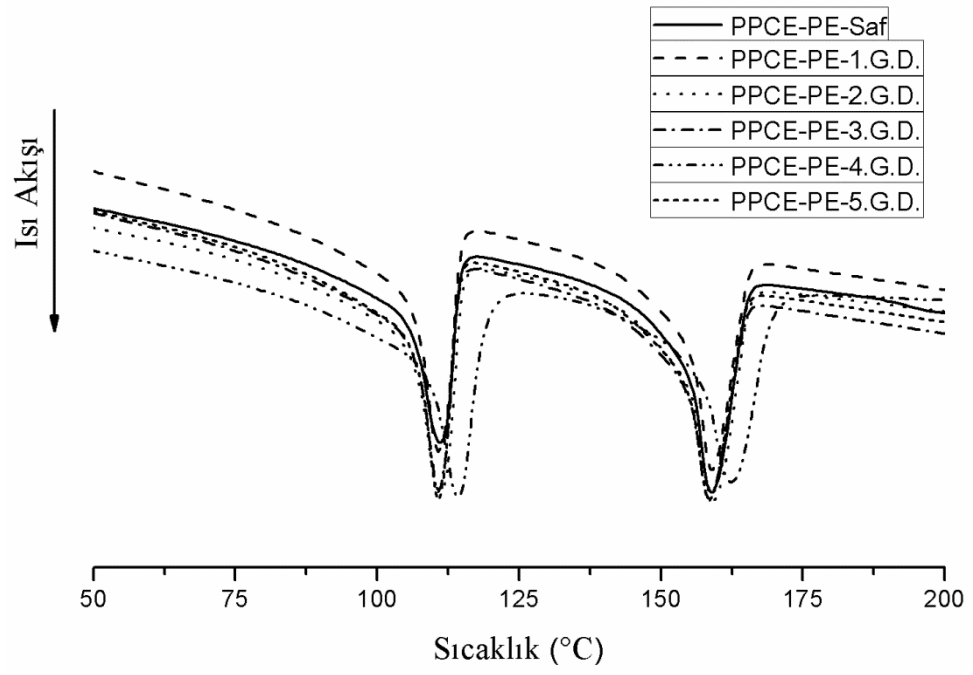
miktarlar % 15-22 aralığındadır. Bu aralıktaki değerlerin büyük bir kısmı % 18-22 aralığında yoğunlaşmıştır, saf ve 2. geri dönüşümlü malzeme % 15 ve % 22 kalan cam elyaf miktarlarına sahiptir. Bu değerlerin birbirlerine yakın olması hazırlanan karışımın homojenitesi hakkında bilgi vermektedir. Kalan kütle miktarlarında elde edilen yakın değerler karışımın başarılı bir şekilde hazırlandığı ve geri dönüşümler ile karışımdaki polipropilen ve polietilen fazlarının yüzdelерinin çok fazla değişmediğini göstermektedir.



Şekil 5.30: PPCE-PE termal gravimetrik analiz termogramı.

5.2.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Sonuçları

PPCE-PE malzemelerin termal özellikleri 0-280 °C arasında, 10 °C/dk ısıtma hızında, argon atmosferi altında diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile araştırıldı. PPCE-PE karışım malzemesinin elde edilmesinde kullanılan PE ve cam elyaf katkılı PP homopolimerlerine ait T_m değerleri sırasıyla 113 °C ve 162 °C'dir. PPCE-PE karışım malzemesine ait Şekil 5.31'de DSC termogramında görülen T_m değerleri yaklaşık olarak 110-114 °C ve 158-162 °C'dir. Bu durum, ekstrüzyonla karışım oluşturma işleminin gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca, geri dönüşüm işlemleri sonucunda T_m değerlerinde önemli farklılık gözlenmedi.



Şekil 5.31: PPCE-PE diferansiyel taramalı kalorimetri termogramı.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında PP-PE ve % 30 cam elyaf katkılı PPCE-PE karışımlarının plastik enjeksiyonda basılan numunelerine beş adet geri dönüşüm uygulanmış ve geri dönüşümler sonucunda mekanik ve kimyasal özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Önce PP-PE malzemesinin deney numuneleri hazırlanmış ve deneyleri yapılmıştır. PP-PE malzemesinin saf, 1., 2., 3., 4. ve 5. geri dönüşümlü ve saf ile geri dönüşümlü malzemelerin % 25, % 50 ve % 75 oranlarında karışımlarının deney numuneleri plastik enjeksiyonda basılmıştır. PPCE-PE malzemesinin ise saf ve geri dönüşümlü malzemelerinin deney numuneleri plastik enjeksiyonda basılmıştır. PP-PE ve PPCE-PE malzemelerine çekme testi (maksimum uzama (%), çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastisite modülü), eğilme testi, izod darbe testi ve eriyik akış testi uygulanmıştır. Kimyasal testler olarak SEM analizi, kızılötesi (Infrared) spektroskopisi (FTIR), termal gravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralanmıştır.

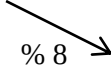
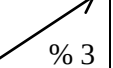
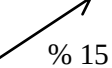
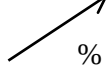
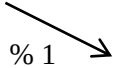
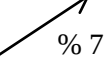
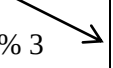
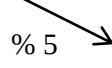
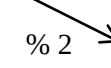
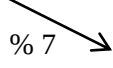
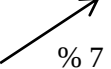
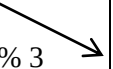
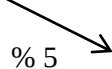
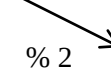
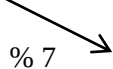
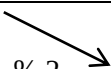
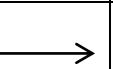
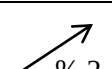
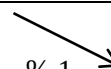
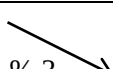
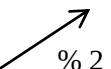
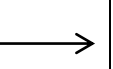
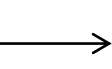
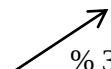
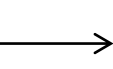
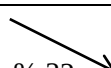
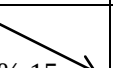
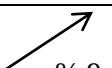
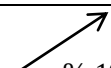
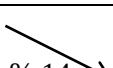
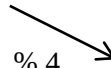
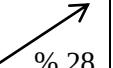
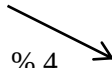
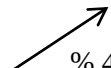
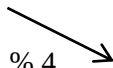
PP-PE saf ve geri dönüşümleri için;

- PP-PE malzemeler birbiriyle karıştırılması uygun olmayan malzemelerdir. Fakat uyumlaştırıcılar kullanılarak karışımların ara yüzlerinin yapışması arttırılmaktadır. Tablo 6.1’de PP-PE malzemesinin saf malzemedan sonra her bir geri dönüşüm sonrasında (toplam 5 geri dönüşüm) mekanik özelliklerindeki yüzde değişim miktarı verilmiştir. PP-PE’nin maksimum uzama (%) değeri 1. ve 5. geri dönüşümde azalmış 2., 3. ve 4. geri dönüşümlerde ise artmıştır. Geri dönüşümler sonrasında maksimum uzama (%) değerinde artış miktarı daha fazla olmuştur. Bunun nedeni geri dönüşümler sırasında polimer zincirlerinin kırılarak birbirinden ayrılmasıdır. Çekme dayanımı ve akma dayanımı değerlerine bakıldığında her ikisi de geri dönüşümlerde aynı oranda artıp azalmıştır. Çekme ve akma dayanımı 1. geri dönüşümde artmış sonraki geri dönüşümlerde ise azalmıştır. Elastisite modülü 1. geri dönüşümde azalmış, 2. geri dönüşümde değişmemiş, 3. geri dönüşümde artarak saf malzeme ile aynı değere ulaşmış, 4. ve 5. geri dönüşümde ise azalmıştır.
- PP-PE malzemenin eğilme dayanımı test sonuçlarında eğilme dayanımı 1. ve 4. geri dönüşümde sırasıyla % 2 ve % 3 artmış, diğer geri dönüşümlerde

değişmemiştir. 5 geri dönüşüm uygulamanın eğilme dayanımına fazla etkisi olmadığı söylenebilir.

- PP-PE malzemesinin izod darbe dayanımı 1., 2. ve 5. geri dönüşümde azalmış 3. ve 4. geri dönüşümde ise artmıştır. En fazla değişim 1. geri dönüşümde % 32 azalarak gerçekleşmiştir.
- Eriyik akış sonuçlarında 2. geri dönüşümde % 28’lik ani bir artış olmuştur. Diğer geri dönüşümlerde ise eriyik akış oranı % 4 civarında 1., 3. ve 5. geri dönüşümde azalmış, 5. geri dönüşümde ise artmıştır.
- SEM görüntülerinde özellikle 4. geri dönüşümde matris fazında ve kopan yüzeylerde ayrışma ve liflenmeler açık bir şekilde görülmektedir. SEM görüntüleriyle mekanik özelliklerdeki düşüş desteklenmektedir.
- Kızılötesi (Infrared) spektroskopisi (FTIR) kimyasal yapıda değişim olmadığını, termal gravimetrik analiz (TGA) PP ve PE’nin benzer kimyasal yapıda olduğunu, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) fiziksel karışım hazırlandığını ve geri dönüşümlerde Tm değerlerinin birbirine çok yakın çıktığını göstermiştir.

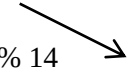
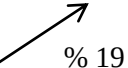
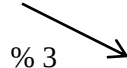
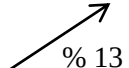
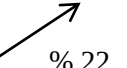
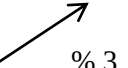
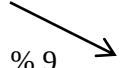
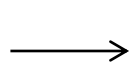
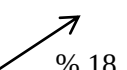
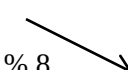
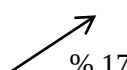
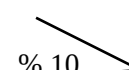
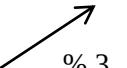
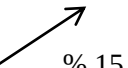
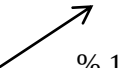
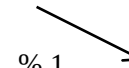
Tablo 6.1: PP-PE saf ve geri dönüşümlerinin mekanik test sonuçları.

PP-PE	Saf	1.G.D.	2. G.D.	3. G.D.	4. G.D.	5. G.D.
Maksimum Uzama (%)	343,44	 % 8	 % 3	 % 15	 % 1	 % 1
Çekme Dayanımı (MPa)	21,90	 % 7	 % 3	 % 5	 % 2	 % 7
% 0,2 Akma Dayanımı (MPa)	13,54	 % 7	 % 3	 % 5	 % 2	 % 7
Elastisite Modülü (GPa)	1,36	 % 2		 % 2	 % 1	 % 3
Eğilme Dayanımı (MPa)	15,78	 % 2			 % 3	
Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	20,81	 % 32	 % 15	 % 9	 % 19	 % 14
Eriyik Akış Oranı (g/10dk)	12,00	 % 4	 % 28	 % 4	 % 4	 % 4

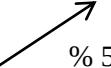
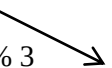
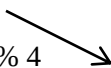
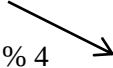
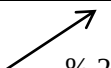
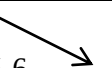
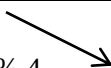
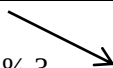
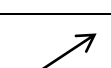
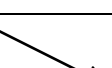
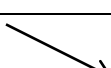
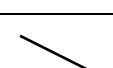
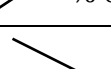
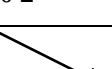
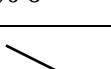
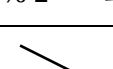
PP-PE geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümlerinin mekanik test sonuçları;

- PP-PE'nin saf + geri dönüşüm ve % 100 geri dönüşümlerinin 1. geri dönüşümden 5. geri dönüşüme kadar maksimum uzama (%)'daki yüzde değişimleri Tablo 6.2'de verilmiştir.
- Maksimum uzama (%) sonuçlarına bakıldığında geri dönüşümler sırasında artış azalmalar olmuştur. 5. geri dönüşüm sonrası maksimum uzama (%) değerlerine bakılırsa maksimum uzama (%) artmıştır.
- PP-PE'nin geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümlerinin 1. geri dönüşümden 5. geri dönüşüme kadar çekme dayanımındaki yüzde değişimleri Tablo 6.3'teki tabloda verilmiştir.
- Çekme dayanımı sonuçlarında 1. ile 5. geri dönüşüm arasında farklı yüzdelerde artış azalmalar olmuştur. 5. geri dönüşüm sonrası ise hem geri dönüşüm + saf karışımların hem de % 100 geri dönüşümün çekme dayanımı azalmıştır.

Tablo 6.2: PP-PE geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümünün 5 geri dönüşüm sonrası maksimum uzamadaki (%) yüzde değişimi.

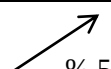
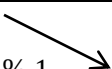
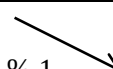
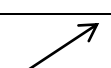
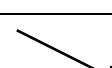
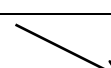
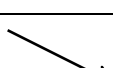
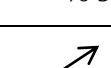
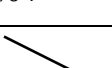
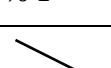
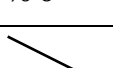
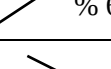
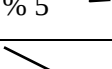
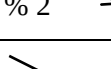
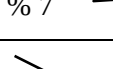
PP-PE Maksimum Uzama (%)	1.G.D.	2. G.D.	3. G.D.	4. G.D.	5. G.D.
% 25 G.D.+ % 75 SAF	322,35	 % 14	 % 19	 % 3	 % 13
% 50 G.D.+ % 50 SAF	298,33	 % 22	 % 3	 % 9	
% 75 G.D.+ % 25 SAF	293,02	 % 18	 % 8	 % 17	 % 10
% 100 G.D.	316,24	 % 3	 % 15	 % 1	 % 1

Tablo 6.3: PP-PE geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümünün 5 geri dönüşümünde çekme dayanımındaki yüzde değişimi.

PP-PE Çekme Dayanımı (MPa)	1.G.D.	2.G.D.	3. G.D.	4. G.D.	5. G.D.
% 25 G.D. + % 75 SAF	21,26	 % 5	 % 3	 % 4	 % 4
% 50 G.D. + % 50 SAF	21,27	 % 22	 % 6	 % 4	 % 3
% 75 G.D. + % 25 SAF	21,13	 % 6	 % 2	 % 6	 % 2
% 100 G.D.	22,56	 % 3	 % 5	 % 2	 % 7

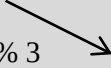
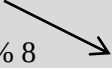
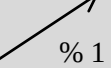
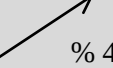
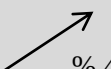
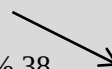
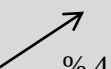
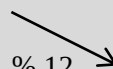
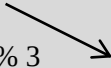
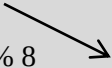
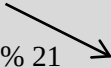
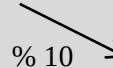
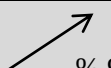
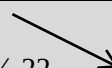
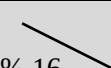
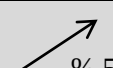
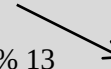
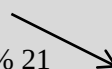
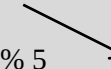
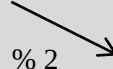
- Tablo 6.4'te PP-PE'nin geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümlerinin 1. geri dönüşümden 5. geri dönüşüme kadar % 0,2 akma dayanımındaki yüzde değişimleri verilmiştir.
- % 0,2 akma dayanımını sonuçları çekme dayanımı sonuçlarıyla benzer eğilim göstermiştir. 5. geri dönüşüm sonrası geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümlü malzemelerin % 0,2 akma dayanımları azalmıştır.

Tablo 6.4: PP-PE geri dönüşüm + saf ve % 100 geri dönüşümünün 5 geri dönüşümünde % 0,2 akma dayanımındaki yüzde değişimi.

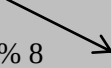
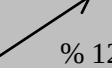
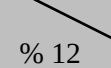
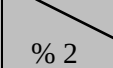
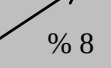
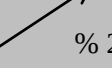
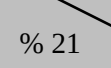
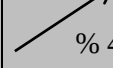
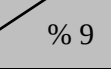
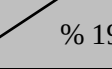
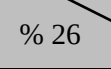
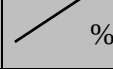
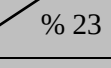
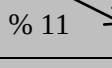
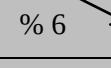
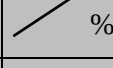
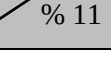
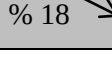
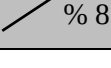
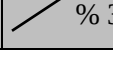
PP-PE % 0,2 Akma Dayanımı (MPa)	1.G.D.	2.G.D.	3.G.D.	4.G.D.	5.G.D.
% 25 G.D. + % 75 SAF	13,38	 % 5	 % 1	 % 5	 % 1
% 50 G.D. + % 50 SAF	13,25	 % 9	 % 7	 % 1	 % 6
% 75 G.D. + % 25 SAF	13,35	 % 6	 % 5	 % 2	 % 7
% 100 G.D.	14,52	 % 3	 % 5	 % 2	 % 7

- Tablo 6.5'te PP-PE'nin % 100 saf malzemesi ile geri dönüşüm sonrası malzeme içerisinde artan geri dönüşüm oranlarına göre izod darbe dayanımlarındaki yüzde değişimleri verilmiştir.
- PP-PE içerisinde geri dönüşümlü malzeme miktarı artıkça izod darbe dayanımı farklı yüzdelerde azalıp artmıştır. % 100 saf malzeme ile artan geri dönüşüm oranı % 100'e ulaştığında her geri dönüşüm sonrası izod darbe dayanım değeri azalmıştır.
- PP-PE'nin % 100 saf malzemesi ile geri dönüşüm sonrası malzeme içerisinde artan geri dönüşüm oranlarına göre eriyik akış oranlarındaki yüzde değişimleri Tablo 6.6'da verilmiştir.
- Eriyik akış oranları her bir geri dönüşüm prosesinde artan geri dönüşüm oranlarında farklı şekilde azalıp artmıştır. Fakat % 100 geri dönüşüm oranına gelindiğinde her geri dönüşümün eriyik akış oranı saf malzemenin eriyik akış oranı ile birbirine yakın çıkmıştır. Bu sonuçlar PP'nin saf ve geri dönüşümlerinin eriyik akış oranı sonuçları ile uyumludur.

Tablo 6.5: PP-PE'nin % 100 saf malzemesi ile geri dönüşüm sonrası malzeme içerisinde artan geri dönüşüm oranlarına göre izod darbe dayanımındaki yüzde değişimleri.

PP-PE İzod Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	% 100 SAF	% 25 G.D. + % 75 SAF	% 50 G.D. + % 50 SAF	% 75 G.D. + % 25 SAF	% 100 G.D.
1.Geri Dönüşüm	20,81	 % 3	 % 8	 % 1	 % 4
2.Geri Dönüşüm	20,81	 % 4	 % 38	 % 4	 % 12
3.Geri Dönüşüm	20,81	 % 3	 % 8	 % 21	 % 10
4.Geri Dönüşüm	20,81	 % 9	 % 22	 % 16	 % 5
5.Geri Dönüşüm	20,81	 % 13	 % 21	 % 5	 % 2

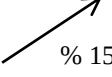
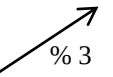
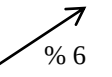
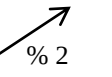
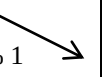
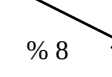
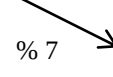
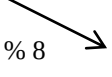
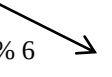
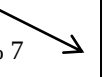
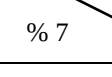
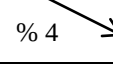
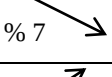
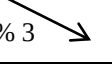
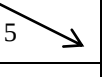
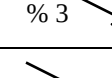
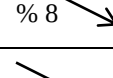
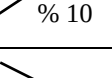
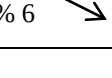
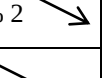
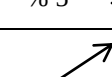
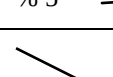
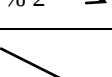
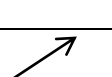
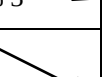
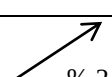
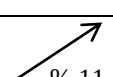
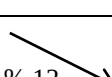
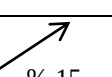
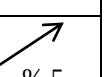
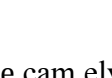
Tablo 6.6: PP-PE'nin % 100 saf malzemesi ile geri dönüşüm sonrası malzeme içerisinde artan geri dönüşüm oranlarına göre eriyik akış oranındaki yüzde değişimleri.

PP-PE Eriyik Akış Oranı (g/10dak)	% 100 SAF	% 25 G.D. + % 75 SAF	% 50 G.D. + % 50 SAF	% 75 G.D. + % 25 SAF	% 100 G.D.
1.Geri Dönüşüm	12,00	 % 8	 % 12	 % 12	 % 2
2.Geri Dönüşüm	12,00	 % 8	 % 2	 % 21	 % 41
3.Geri Dönüşüm	12,00	 % 9	 % 19	 % 26	 % 7
4.Geri Dönüşüm	12,00	 % 23	 % 11	 % 6	 % 3
5.Geri Dönüşüm	12,00	 % 11	 % 18	 % 8	 % 3

PPCE-PE saf ve geri dönüşümleri için;

- PPCE-PE'nin saf malzemesinin geri dönüşüm sonrası mekanik özelliklerindeki yüzde değişim miktarı Tablo 6.7'de verilmiştir.
- Maksimum uzama (%) değeri 1.'den 4. geri dönüşüme kadar artmış sadece 5. geri dönüşümde % 1 azalmıştır. Çekme dayanımı ile 0,2 akma dayanımı sonuçları geri dönüşümler sonucunda birbirleri ile uyumlu olarak her geri dönüşümde azalmıştır.
- Elastisite modülü 1., 2., 4. ve 5. geri dönüşümde azalmış bir tek 3. geri dönüşümde % 10 artmıştır.
- Eğilme dayanımı 4. geri dönüşümde değişmemiş diğer geri dönüşümlerde ise azalmıştır.
- İzod darbe dayanımı 1. ve 4. geri dönüşümde artmış, 2., 3. ve 5. geri dönüşümde ise azalmıştır. 5 geri dönüşüm sonunda izod darbe dayanımındaki azalma daha fazla olmuştur.
- Eriyik akış oranında sadece 3. geri dönüşümde % 12 azalma olmuş diğer geri dönüşümlerde ise eriyik akış oranı artmıştır.

Tablo 6.7: PPCE-PE saf ve geri dönüşümlerinin mekanik özelliklerindeki yüzde değişimler.

PPCE-PE	Saf	1.G.D.	2. G.D.	3. G.D.	4. G.D.	5. G.D.
Maksimum Uzama (%)	4,11	 % 15	 % 3	 % 6	 % 2	 % 1
Çekme Dayanımı (MPa)	37,00	 % 8	 % 7	 % 8	 % 6	 % 7
% 0,2 Akma Dayanımı (MPa)	26,95	 % 7	 % 4	 % 7	 % 3	 % 5
Elastisite Modülü (GPa)	3,53	 % 3	 % 8	 % 10	 % 6	 % 2
Eğilme Dayanımı (MPa)	30,91	 % 5	 % 5	 % 2		 % 3
İzod Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	20,57	 % 7	 % 12	 % 7	 % 15	 % 16
Eriyik Akış Oranı (g/10dk)	35,25	 % 2	 % 11	 % 12	 % 15	 % 5

PPCE-PE malzemesine cam elyaf katkısının etkisi;

- PPCE-PE karışımında PP-PE karışımından farklı olarak PP'nin içerisinde % 30 oranında cam elyaf bulunmaktadır. Bu da saf PPCE-PE'nin mekanik özelliklerinin saf PP-PE'den daha fazla olmasına neden olmuştur.
- Tablo 6.8'de PP-PE ve PPCE-PE'nin saf ve geri dönüşümlerinin mekanik test sonuçları toplu halde verilmiştir.
- Maksimum uzama (%) saf PP-PE'de 343,44 mm iken PPCE-PE'de 4,11 mm olmuştur. PPCE-PE'nin içerisindeki cam elyaf lifleri maksimum uzamayı (%) düşürmüştür. PPCE-PE malzemesinin maksimum uzaması (%) geri dönüşümler sonucunda yaklaşık % 27 artmıştır.
- Saf PPCE-PE malzemesine cam elyaf katkısı saf PP-PE malzemesine göre çekme dayanımını % 69, akma dayanımını ise % 99 arttırmıştır. Geri dönüşümler sonucunda PPCE-PE'nin çekme dayanımı 37,00 MPa'dan 25,63 MPa'a düşmüştür. Akma dayanımı ise 26,95 MPa'dan 20,69 MPa'a düşmüştür. PPCE-PE malzemesine cam elyaf ilavesi saf malzemenin elastisite modülünü 2,5 kat arttırmıştır. PPCE-PE'nin elastisite modülü geri dönüşüm sonrası azalmıştır.

- Cam elyaf ilavesi saf PPCE-PE'nin eğilme dayanımını saf PP-PE'ye göre % 96 geliştirmiştir. Geri dönüşümler sonucunda ise PPCE-PE'nin eğilme dayanımı ve eğilme modülü lineer olarak azalmıştır.
- PPCE-PE izod darbe dayanımı geri dönüşümler sırasında artıp azalmıştır. Saf malzeme ile 5. geri dönüşümlü malzeme karşılaştırıldığında darbe dayanımında azalma olduğu görülür. PPCE-PE'ye cam elyaf katılması saf malzemenin darbe dayanımını değiştirmemiştir fakat cam elyaf katkılı PPCE-PE'nin darbe dayanımı geri dönüşümler sonucunda PP-PE'ye göre daha az düşmüştür.

Tablo 6.8: PP-PE ve PPCE-PE saf ve geri dönüşümlerinin mekanik test sonuçları.

		Geri Dönüşüm Sayısı					
		Saf	1	2	3	4	5
PP-PE	Maksimum Uzama (%)	343,44	316,24	324,89	373,78	376,01	373,05
PPCE-PE		4,11	4,74	4,88	5,15	5,26	5,23
PP-PE	Çekme Dayanımı (MPa)	21,9	22,56	22,21	21,46	20,22	19,96
PPCE-PE		37,00	33,86	31,60	29,13	27,51	25,63
PP-PE	% 0,2 Akma Dayanımı (MPa)	13,54	14,52	14,03	13,34	13,04	12,16
PPCE-PE		26,95	25,01	24,00	22,44	21,76	20,69
PP-PE	Elastisite Modülü (GPa)	1,36	1,33	1,33	1,35	1,33	1,29
PPCE-PE		3,53	3,42	3,13	3,45	3,23	3,15
PP-PE	Eğilme Dayanımı (MPa)	15,78	16,10	16,12	16,06	16,56	16,48
PPCE-PE		30,91	29,41	27,84	27,21	27,21	26,36
PP-PE	İzod Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	20,81	14,20	12,10	13,13	15,66	13,44
PPCE-PE		20,57	22,09	19,43	18,03	20,80	17,43
PP-PE	Eriyik Akış Oranı (g/10dak)	12,00	11,52	14,70	12,24	12,72	12,18
PPCE-PE		35,25	35,85	39,75	34,95	40,35	42,45

- Saf PP-PE malzemesinin içerisine cam elyaf katılması saf PPCE-PE'nin akıcılığını yaklaşık üç kat artmıştır. Geri dönüşümler sonrasında polimer zincirleri ve cam elyaflar kırıldığı için PPCE-PE'nin eriyik akış oranı artmıştır.
- Beş geri dönüşüm sonrasında PPCE-PE malzemenin darbe dayanımı hariç, çekme dayanımı, akma dayanımı ve eğilme dayanımı saf PP-PE malzemesinden daha yüksek çıkmıştır.
- SEM görüntülerinde geri dönüşüm sonrasında cam elyaflar matrise tutunmaya devam etmektedirler. Fakat görüntülerde geri dönüşüm işleminin matriste bozunma ve ayrışmaya neden olduğu görülmektedir. SEM görüntülerindeki matris malzemesindeki deformasyon mekanik özelliklerdeki azalmayı desteklemektedir.
- Kızılötesi (Infrared) spektroskopisi (FTIR) analizi geri dönüşümlerde kimyasal yapıda değişim olmadığını, termal gravimetrik analiz (TGA) PP ve PE'nin benzer kimyasal yapıda olduğunu ve karışım içerisindeki cam elyaf miktarını, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) fiziksel karışım hazırlandığı ve geri dönüşüm sonucunda T_m değerlerinin birbirine yakın çıktığını göstermiştir.

PP ve PE malzemelerin cam elyaflı ve elyafsız karışımlarının geri dönüşümleri incelendi. PP-PE malzemesine cam elyaf katılmasıyla darbe dayanımı özelliği hariç mekanik özelliklerin geliştirilmesi sağlanmıştır. Bir sonraki çalışma konusu olarak farklı oranlarda cam elyaf takviyesinin mekanik özelliklere etkisi incelenebilir. PP-PE ve PPCE-PE malzemelerinin geri dönüşüm sonucunda mekanik özelliklerini arttırmak için farklı takviye malzemesi veya farklı uyumlaştırıcı malzemesi kullanılabilir. Takviye ve uyumlaştırıcı malzemesinin karışımdaki oranı çok önemli olduğu için değişik oranlarda karıştırılıp etkisi incelenebilir. Bazı mekanik test sonuçlarında 5 geri dönüşüm yapmak sağlıklı sonuç vermemektedir. Bu yüzden daha sonraki çalışmalarda geri dönüşüm sayısı artırılarak 5'ten sonraki geri dönüşümlü malzemelerin test sonuçları incelenebilir. Ayrıca geri dönüşüm sayısı arttığında malzemenin mekanik özelliklerinde ani düşüşler yaşanabilir veya malzeme plastik enjeksiyonda basılamayacak hale gelebilir. Böylelikle optimum geri dönüşüm sayısı da hesaplanabilir.

Bu tez çalışmasında malzemelerin karışım oranları değiştirilmemiş geri dönüşümlerin malzeme üzerine etkisi incelenmiştir. Bir sonraki çalışmada karışım oranları değiştirilerek karışım oranları ile geri dönüşümün mekanik özelliklere etkisi

incelenebilir. Malzemeler hazırlanırken biri saf diğeri geri dönüşümlü ve ikisi de geri dönüşümlü karışımlar hazırlanarak maliyet ve mekanik özellikler cinsinden optimum özelliğe sahip karışım bulunabilir. Proses şartlarının mekanik özellikleri etkilediği bilinmektedir. Bu çalışma sabit proses şartlarında gerçekleştirilmiştir. Proses şartları değiştirilerek malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimler incelenebilir. Proses şartları olarak; kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, ütleme basıncı, ütleme süresi, enjeksiyon basıncı, soğutma süresi, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi değiştirilebilir.

KAYNAKLAR

Albano C., Ismayel A., Sanchez G., (1998), "Recycling of polyolefins: Part 1: blends of two polymers", *Journal of Macromolecular Science*, A 35 (7), 1349-1361.

Albano C., Aparicio C., La Rocca L., (1998), "Recycling of polyolefins: Part 2: blends of several polymers", *Journal of Macromolecular Science*, A 35 (7), 1363-1373.

Albano C., Ismayel A., Sanchez G., (1998), "Influence of a copolymer on the mechanical properties of a blend of PP and recycled and non-recycled HDPE", *Polymer Bulletin*, 41, 91-98.

Balart R., Dolores Salvador M., García D., López J., (2005), "Recycling of ABS and PC from electrical and electronic waste. Effect of miscibility and previous degradation on final performance of industrial blends", *European Polymer Journal*, 41 (9), 2150-2160.

Barlow J. W., Paul D. R., (1984), "Mechanical compatibilization of immiscible blends", *Polymer Engineering and Science*, 24 (8), 525-534.

Bernardo C. A., Cunha A. M., Oliveria M. J., (1996), "The recycling of thermoplastics: prediction of the properties of mixtures of virgin and reprocessed polyolefins", *Polymer Engineering and Science*, 36 (4), 511-519.

Bertin S., Robin J. J., (2002), "Study and characterization of virgin and recycled LDPE/PP blends", *European Polymer Journal*, 38 (11), 2255-2264.

Bonnet M., Loos J., Petermann J., (2000), "Morphologies and mechanical properties of syndiotactic polypropylene (sPP)/ polyethylene (PE) blends", *Polymer Testing*, 41 (1), 351-356.

Camacho W., Karlsson S., (2002), "Assessment of thermal and thermo-oxidative stability of multiextruded recycled PP, HDPE and a blend thereof", *Polymer Degradation and Stability*, 78 (2), 385-391.

Çapan L., (2010), "Metallere Plastik Şekil Verme", 5. Baskı, Çağlayan Kitabevi.

D' Orazio L., Greco R., Martuscelli E., Ragosta G., (1982), "Effect of the addition of ethylene-propylene random copolymers on the properties of high-density polyethylene/isotactic polypropylene blends: Part 1 morphology and impact behavior of molded samples", *Polymer Engineering and Science*, 22 (9), 536-544.

D' Orazio L., Greco R., Martuscelli E., Ragosta G., (1983), "Effect of the addition of EPM copolymers on the properties of high density polyethylene/isotactic polypropylene blends: II. Morphology and mechanical properties of extruded samples", *Polymer Engineering and Science*, 23 (9), 489.

Dumoulin M. M., Farha C., Utraki L. A., (1984), "Rheological and mechanical properties of ternary blends of linear-low-density polyethylene/polypropylene/ethylene-propylene block polymers", *Polymer Engineering and Science*, 24 (17), 1319 -1326.

Evva N., Kosior E., Simon G. P., (2003), "Binary and ternary blends of recycled high density polyethylene containing polypropylene", *Polymer Engineering and Science*, 43 (2), 431-443.

Fernando H. E., Maspoch M. L., Velasco J. I., (2003), "Characterisation of filled and recycled PA6", *Macromolecular Symposia*, 194 (1), 295-303.

Gubeljak N., Radonjic G., (2002), "The use of ethylene/propylene copolymers as compatibilizers for recycled polyolefin blends", *Macromolecular Materials and Engineering*, 287 (2), 122-132.

Hill M. J., Montes P., Rafiq A. Y., (1998), "A study of blends of isotactic polypropylene with high density polyethylene by transmission electron microscopy", *Polymer*, 39 (25), 6669–6672.

Jose S., Aprem A. S., Chandy M. C., Francis B., (2004), "Phase morphology, crystallisation behaviour and mechanical properties of isotactic polypropylene/high density polyethylene blends", *European Polymer Journal*, 40 (9), 2105–2115.

Keung J. C., Rudin A., Teh J. W., (1994), "A review of polyethylene-polypropylene blends and their compatibilization", *Advances in Polymer Technology*, 13 (1), 1–23.

Lin J. H., Lin C. C., Su K. H., (2007), "Influence of reprocessing on the mechanical properties and structure of polyamide 6", *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193, 532-538.

Saçak M., (2010), "Polimer Kimyası", 5. Baskı, Gazi Kitabevi.

Su K. H., Lin J. H., Lin C. C., (2007), "Influence of reprocessing on the mechanical properties and structure of polyamide 6", *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193, 532-538.

Tan E., Tarakçılar A. R., Yurtseven R., (2007), "Plastik geri kazanımları ve plastik atıklardan plastik üretim teknolojileri", *Metal Dünyası*, 170, 132-137.

Teh J. W., (1983), "Structure and properties of polyethylene–polypropylene blend", *Journal of Applied Polymer Science*, 28 (2), 605-618.

Telli S., (2009), "PP Malzemelerin Geri Dönüşümlerinde Elde Edilen Ürünlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Vicki F., Stachurski Z. H., (1992), "The mechanical behavior of blends of polyethylene, polypropylene, and an ethylene-propylene block copolymer at -20°C", *Journal of Applied Polymer Science*, 45 (10), 1789-1798.

Web 1, (2013), <http://tr.wikipedia.org/wiki/Plastik>, (Erişim Tarihi: 16/07/2013).

Web 2, (2005), http://www.pagev.org.tr/admin/pics/dosyalar/plastik_geri_kazanim.pdf, (Erişim Tarihi: 28/08/2013).

Web 3, (2006), http://plan9.dpt.gov.tr/oik44_kimya/44KimyaSanayii_anarapor.pdf, (Erişim Tarihi: 28/08/2013).

Web 4, (2001), <http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/plastik/oik563.pdf>, (Erişim Tarihi: 28/08/2013).

Web 5, (2011), http://www.petkim.com.tr/UserFiles/file/Yatirimci_Iliskileri/_Yatirimci_Sunumlari/2011_Analyst%20Presentation_aug.pdf, (Erişim Tarihi: 01/08/2013).

Web 6, (2010), http://www.pagev.org.tr/contents_TR.asp?id=12&pid=351, (Erişim Tarihi: 11/06/2013).

Web 7, (2009), http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastikler_in_Geri_Kazanimi.pdf, (Erişim Tarihi: 28/08/2013).

Web 8, (2013), <http://www.an-ka.com/KMDefault.aspx?cntid=1219>, (Erişim Tarihi: 03/08/2013).

Web 9, (2013), <http://www.fatih.edu.tr/~besat/Teaching/Kim%20208/b9/IR&MS.pdf>, (Erişim Tarihi: 03/08/2013).

Web 10, (2013), http://gyte.edu.tr/kategori/1707/10/z44-taramali-elektron-mikros_ko_p-laboratuvari-sem.aspx, (Erişim Tarihi: 03/08/2013).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Metin Medar 1988 yılında İstanbul’da doğdu. 2006 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2011 yılında başarıyla tamamlayarak, aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2011-2013 yılları arasında Doç. Dr. Babür Özçelik’in yürütücü olduğu “Plastik Enjeksiyonda Oluşan Plastik Atıkların Tekrar Kullanılabilme Şartlarının Araştırılması ve Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi” konulu TÜBİTAK Projesinde çalıştı.