

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

PP MALZEMELERİN GERİ
DÖNÜŞÜMLERİNDE ELDE EDİLEN
ÜRÜNLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Sercan TELLİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

GEBZE

2009

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

PP MALZEMELERİN GERİ
DÖNÜŞÜMLERİNDE ELDE EDİLEN
ÜRÜNLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Sercan TELLİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

GEBZE

2009



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JÜRİ ONAY FORMU

JÜRİ

ÜYE (BAŞKAN) :Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE : Doç. Dr. Faruk YILMAZ

ÜYE : Y. Doç. Dr. Mehmet Ali ARSLAN

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı ile yukarıdaki öğretim elemanlarından oluşmuş jüri tarafından düzenlenen/...../..... tarihli Tez Savunma Tutanağı neticesinde Yüksek Lisans / Doktora öğrencisi'ın çalışması GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Yönetim Kurulu/...../..... tarih ve/..../..... sayılı kararıyla Anabilim Dalında Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak onaylanmıştır.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI: PP Malzemelerin Geri Dönüşümlerinde Elde Edilen Ürünlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması.

YAZAR ADI: Sercan TELLİ

Plastik ürünlerin işlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Enjeksiyon, ekstrüzyon ve şişirme bu yöntemlerin başında gelmektedir. Plastik işleyen işletmelerde bu proseslerde nihai ürün haline gelemeyen plastik malzemeler yani diğer bir deyişle fireler hem maliyetleri açısından hem de çevresel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan bu çalışmada ana amaç ürüne dönüşemeyen plastik ürünlerin yeniden kazanılarak tekrar prosese sokulması ve bu şekilde geri kazanılmasıdır.

Projede kullanılan yöntem deneysel olup plastik işleme prosesi olarak gelişen otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan yöntem olan enjeksiyon seçildi. Kullandığımız plastik malzeme de yine otomotiv sektöründe en çok kullanılan polipropilen (PP) malzeme seçildi. Standart test çubuğu kalıbı ile DOW firmasının ürettiği PPC 705 ticari isimli PP malzemedan hazırlanan geri dönüşüm malzeme yine kendi malzemesinin orijinaline % 25-% 50-% 75 ve % 100 oranlarında katılarak test çubukları oluşturuldu. Ayrıca bu geri dönüşüm işlemi ikinci, üçüncü ve dördüncü kez tekrarlanarak belirtilen oranlarda her bir parametre için ayrı ayrı numuneler hazırlandı. Hazırlanan bu numunelere çekme, izod darbe, üç nokta eğme ve akış testleri yapılarak mekanik özelliklerine etkiler değerlendirildi. Geri dönüşüm malzemelerinin tekrar kullanılabilirliği mekanik özellikler açısından incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar halinde açıklanarak aralarındaki değişimler değerlendirilmiştir.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS: Investigation of mechanical properties of the parts produced by using recycled PP.

AUTHOR: Sercan TELLİ

Different methods are used for processing plastic products. Injection molding, extrusion and blow molding are leading methods of plastic processing. In the facilities where plastics are processed in different ways, non-conforming products in other words, scrapped products create cost and environmental problems.

Main purpose of this study is to reprocess a plastic product which could not meet the requirements expected from the finished product and resulted as scrap. Method that is used on project is plastic injection which is the most used plastic parts production technique in the developing automotive industry. Selected plastic material type is polypropylene which is also the mostly used plastic raw material in automotive industry. By adding recycled PP material which is named PPC 705 and is produced by the company DOW to it's original, non-recycled material with the rates of 25%-50%-75% and 100%, test samples were produced by means of the standard tensile test sample mold. Also this recycling process was repeated for the second, third and fourth times and different samples were prepared for each configuration.

Tensile, izod impact, three point bending and flow tests were applied to these samples and the effects on their mechanical properties were evaluated. The reuseability of the recycled materials were examined in terms of their mechanical properties. Obtained results were explained with graphs and tables and the differences among the results were evaluated.

TEŞEKKÜR

GYTE'deki öğrenim hayatım boyunca tüm çalışmalarında beni destekleyen, tez çalışmamın başından sonuna kadar bana devamlı yol gösteren danışmanım Sayın Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e; numunelerin hazırlanması ve deneysel çalışmayı yapma imkanı sağladıkları için halen çalışmakta olduğum GALSAN Plastik ve Kalıp San. A.Ş.'den Sayın Noyan ÜNAL'a; çalışma testlerin tamamlanması için desteklerinin esirgemeyen arkadaşım Alper ÖZBAY'a; çekme test cihazını kullandırdıkları için Kocaeli Üniversitesinden Doç. Dr. Tamer SINMAZÇELİK ve asistanları M. Özgür BORA, Onur ÇOBAN'a; üç nokta eğilme deneyini yapmama yardımcı olduğu için GYTE'den Adem ŞEN'e, bu tezi 2008-A19 no'lu BAP projesi kapsamında destekleyen GYTE'ye ve tabi ki bugün burada olmamı sağlayan, hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, sadece anne baba kardeş değil birer dost olan sevgili aileme; sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİK MALZEMELER	4
2.1. Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması	4
2.1.1. Kimyasal Esasa Göre Sınıflandırma	5
2.1.2. Yapı Esasına Göre Sınıflandırma	6
2.1.3. İşleme Esasına Göre Sınıflandırma	6
2.1.4. Kullanım Alanına Göre Sınıflandırma	7
2.1.5. Fiziksel Esasa Göre Sınıflandırma	7
2.2. Plastik Malzemelerin Mühendislik Özellikleri	8
2.3. Plastiklerin Mekanik Davranışı	9
2.3.1. Güçlendirme	13
2.3.2. Sıcaklık	13
2.3.3. Şekil Değiştirme Hızı	15
2.3.4. Sürünme	16
2.3.5. Polimer malzemelerin kırılması	16
2.4. Plastik Ürün Üretimi	16
2.5. Plastiklerin Kullanıldığı Alanlar	19
2.5.1. PET veya PETE Plastikler	20
2.5.2. HDPE Plastikler	21
2.5.3. PVC Plastikleri	21
2.5.4. LDPE Plastikleri	22
2.5.5. Polipropilen (PP) Plastikler	22
2.5.6. Polistiren (PS) Plastikler	23
2.6. Polipropilen (PP) Genel Özellikleri	23
2.6.1. PP–Polipropilen’in tipleri	25

2.6.2. Polipropilen'in kullanım alanı	26
3. GERİ DÖNÜŞÜM	27
3.1. Plastiklerin Geri Kazanımı	28
3.1.1. Plastik Atık Kaynakları	28
3.1.2. Plastik Atık Geri Kazanımı	29
3.1.2.1. Birincil Geri Kazanım	30
3.1.2.2. İkincil Geri Kazanım	31
3.1.2.3. Üçüncül Geri Kazanım	31
3.1.2.4. Dördüncül Geri Kazanım	32
3.2. Geri Dönüşümün Faydaları	34
3.2.1. Doğal Kaynaklar	34
3.2.2. Enerji Tasarrufu	35
3.2.3. Ekonomiye Katkı	35
3.2.4. Atık Miktarı	35
3.2.5. Gelecek	36
3.3. Geri Dönüşüm Plastikleri	36
3.4. Atıkların Geri Dönüşümü ile İlgili Yeni Çalışmalar	37
4. LİTERATÜR TARAMASI	39
4.1. Benzer ve Kullanılan Çalışmaların Özetleri	39
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	57
5.1. Malzemelerin Hazırlanması	57
5.2. Akış Testi	57
5.3. Numunelerin Hazırlanması	58
5.4. Mekanik Testler	60
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	62
6.1. Orijinal ve Geri Dönüşümlü Polipropilenin Akış Davranışları	62
6.2. Orijinal ve Geri Dönüşümlü PP'nin Mekanik Davranışları	64
6.3. Sonuçlar	79
6.4. Öneriler	81
EK-1 Çalışmada Kullanılan Polimerin Özellikleri	
EK-2 Çalışmada Kullanılan Plastik Enjeksiyon Makinesinin Özellikleri	
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
C	Karbon
Cl	Klor
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
E	Elastisite Modülü
EPS	Köpükleştirilmiş Polistiren
H	Hidrojen
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
LCA	Life Cycle Assesment (Doğada parçalanma için geçen ömür)
LDPE	Alçak Yoğunluklu Polietilen
MFI	Melt Flow Index(Ergiyik Akış İndeksi)
N	Azot
O	Oksijen
PA 6	Poliamid 6
PE	Polietilen
PET	Polietilen Teraftalat
PP	Polipropilen
PP-0	Saf Polipropilen
PP-1	Birinci Geri Dönüşüm Polipropilen
PP-2	İkinci Geri Dönüşüm Polipropilen
PP-3	Üçüncü Geri Dönüşüm Polipropilen
PP-4	Dördüncü Geri Dönüşüm Polipropilen
PS	Polistiren
PU	Poliüretan
PVC	Poli Vinil Klorür
R	Recycled (Geri Dönüşüm)
RDF	Atıktan Türetilmiş Yakıt
Tg	Camsı Geçiş Sıcaklığı
Tm	Ergime Sıcaklığı
UV	Ultraviyole

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Polimerlerin sınıflandırılması	5
2.2 Amorf ve kristal polimerlerin iç yapıları	8
2.3 Kısmi kristalin polimerlerde sıcaklığa bağlı elastiklik modülü	10
2.4 Kısmi kristalin polimerlerde çekme dayanımı ve kopma uzaması	11
2.5 Polipropilende kristalleşme oranı ve darbe dayanımı	12
2.6 HDPE’de yoğunluk ve MFI değerinin % uzamaya etkisi	12
2.7 Yoğunluğa göre gerilme - genleme grafiği	13
2.8 E katsayısının sıcaklığa göre değişim	14
2.9 PS Çekme diyagramının zamanla değişmesi	15
2.10 Şekil değiştirme hızına göre alüminyum malzemenin çekme dayanımı	15
2.11 Enjeksiyonlu dökme	17
2.12 Ekstrüzyon üfleli dökme sistemi	17
2.13 Sıkıştırarak kalıba dökme	18
2.14. Vakum termo şekil verme	18
2.15 Çeşitli plastiklerden üretilen malzemeler ve kod numaraları	19
2.16 Plastikleri teşhis etme metodu	20
2.17 Polipropilenin kimyasal gösterilişi	24
2.18 Polipropilen üretim şeması	25
2.19 İzotaktik polipropilen	26
2.20 Sindiyotaktik polipropilen	26
2.21 Ataktik polipropilen	26
3.1 Plastik kırma makinesi	31
3.2. Plastiklerin geri kazanımı	34
3.3 Beyaz granüllü geri dönüşüm malzemesi	37
3.4 Siyah granüllü geri dönüşüm malzemesi	37
3.5 Atık plastiklerin çimento fırınında alternatif yakıt olma projesi	38
4.1 Geri dönüşüm numune hazırlama projesi	41
4.2 Elastisite modülü	42
4.3 Maksimum çekme gerilmesi	42
4.4 Kopma uzaması	42
4.5 Darbe mukavemeti	43

4.6 Elastisite modülü	43
4.7 Eğilme Mukavemeti	44
4.8 Viskozite	44
4.9 MFI değerleri	44
4.10 Geri dönüşüm çevrimlerinin mekanik özelliklere etkisi	45
4.11 Geri dönüşüm kullanım oranlarının mekanik özelliklere etkisi	46
4.12 Geri dönüşüm katkısının kopma uzamasına etkisi	48
4.13 Geri dönüşüm katkısının eriyik akışına etkisi	49
4.14 Geri dönüşüm katkısının kopma uzamasına etkisi	49
4.15 Çekme testi sonrası numunede görülen bölgeler	50
4.16 Kırılmada kuvvet-zaman eğrisi	50
4.17 Saf PP ve geri dönüşümlü PP’de plastik deformasyon alanı karşılaştırılması	51
4.18 Geri dönüşümlü PS oranına bağlı olarak mekanik özelliklerdeki değişim	53
4.19 Geri dönüşümlü HPDE oranına bağlı olarak mekanik özelliklerdeki değişim	55
5.1 Ergiyik akış test cihazı	58
5.2 Plastik enjeksiyon makinesi	59
5.3 Test çubuğu kalıbı ve numunesi	59
5.4 Çekme numunesinin şekil ve boyutları	60
5.5 TS 985 EN ISO 178’e göre 3 nokta eğilme deneyi numunesi	60
5.6 ISO 180’e göre Izod darbe deneyi numunesi	60
6.1 Orijinal ve geri dönüşümlü PP’nin MFI değerleri	63
6.2 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için Elastisite Modülü değerleri	65
6.3 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının E değerleri	65
6.4 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının E değerleri	66
6.5 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının E değerleri	66
6.6 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının E değerleri	67
6.7 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için akma dayanımı değerleri	68
6.8 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının akma dayanımı değerleri	69
6.9 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının akma dayanımı değerleri	69
6.10 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının akma dayanımı değerleri	70
6.11 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının akma dayanımı değerleri	70
6.12 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için kopma uzaması değerleri	71
6.13 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının yüzde kopma uzaması değerleri	72
6.14 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının yüzde kopma uzaması değerleri	72

6.15 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının yüzde kopma uzaması değerleri	73
6.16 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının yüzde kopma uzaması değerleri	73
6.17 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için eğilme modülü değerleri	74
6.18 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının eğilme modülü değerleri	74
6.19 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının eğilme modülü değerleri	75
6.20 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının eğilme modülü değerleri	75
6.21 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının eğilme modülü değerleri	76
6.22 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için Izod darbe dayanımı değerleri	77
6.23 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının Izod darbe dayanımı değerleri	77
6.24 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının Izod darbe dayanımı değerleri	78
6.25 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının Izod darbe dayanımı değerleri	78
6.26 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının Izod darbe dayanımı değerleri	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Örnek polimerler ve oluştukları merler	4
4.1 Çalışmada kullanılan malzemelerin geri dönüşüm özellikleri	40
4.2 Farklı tipte polimerlerin birbirleri ile uyumu	47
4.3 Çalışmada kullanılan PP için mekanik ve fiziksel özellikler	48
4.4 Çekme Gerilmesi Ölçümleri	48
4.5 Orijinal ve geri dönüşümlü PS karışımlarının MFI sonuçları	53
4.6 Orijinal ve geri dönüşümlü HDPE karışımlarının MFI sonuçları	54
5.1 Test çubuğu için belirlenen enjeksiyon parametreleri	61
6.1 Orijinal ve geri dönüşümlü PP'nin MFI değerleri	62
6.2 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için Elastisite Modülü değerleri	64
6.3 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için Akma Dayanımı değerleri	67
6.4 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için kopma uzaması değerleri	71
6.4 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için eğilme modülü değerleri	73
6.5 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için Izod darbe dayanımı değerleri	76

1. GİRİŞ

Plastik ürünlerin işlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Enjeksiyon, ekstrüzyon ve şişirme bu yöntemlerin başında gelmektedir. Plastik işleyen işletmelerde bu proseslerde nihai ürün haline gelemeyen plastik malzemeler yani diğer bir deyişle fireler hem maliyetleri açısından hem de çevresel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çevreye atılan maddelerin; biyolojik, iklim ve kimyasal etkilerle bozunması, diğer bir deyişle çevre tarafından özümlemesi istenmektedir. Bu maddeler kullanılıp atıldığında çevreye zarar vermemesi arzulanmaktadır. Çevresel etkileri açısından plastiklere baktığımızda, bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, UV ışınlarına dayanıklı olmaları ve doğada döngüyü sağlayan biyolojik aktivitelere karşı dayanıklı olmaları dolayısıyla doğada uzun süre bozunmadan kalabilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı doğayı kirletmekte ve geri kazanımı toplumsal gereklilik haline sokmaktadır. Son yıllarda artan sivil toplum örgütlerinin baskısı ve yeni kanunlar, bu gibi maddelerin geri kazanımını zorlamakta ve kaynakların etkin kullanımı konusuna yönlendirmektedir. Bu yüzden bu konudaki çalışmalar son yıllarda hızla artmaktadır [DPT, 2001; Erünsal, 2002].

Plastik malzemelerin geri dönüşümü üzerine yapılan çalışmalarda;

- Geri dönüşümlü ve saf PP malzemesinin kırılma davranışları,
- Fiber katkılı PP malzemelerin mekanik özellikler üzerine etkileri,
- Katkılı ve geri dönüşümlü PA6 malzemesinin çeşitli oranlarda ve tekrarlanan geri dönüşüm proseslerinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri,
- Geri dönüşümlü HDPE ve PS katkılı malzemelerin kalıntı gerilmeler ve mekanik özellikler üzerinde etkileri,
- PA6 cam elyaf katkılı malzemenin çeşitli oranlarda ve tekrarlanan geri dönüşümünün mekanik özelliklere etkileri,

konularına yoğunlaşmıştır.

Yapılan bu çalışmada ana amaç ürüne dönüşemeyen plastik ürünlerin yeniden kazanılarak tekrar prosese sokulması ve bu şekilde geri kazanılmasıdır.

Artan talepler doğrultusunda geri dönüşüm malzeme kullanımına gidilmiş fakat bunun sonucunda malzemelerin termo-mekanik özelliklerinde düşüş olduğu tespit edilmiştir [MasPOCH ve diğ., 2003].

Plastik işleyen firmalarda odaklanacak noktalar; spek dışı malzemeler, yolluklar, çapaklar, üretim firelerinin azaltılması ve ürün haline gelemeyen bu malzemelerin geri dönüştürülerek tekrar kullanılması olmuştur. Plastik malzeme pazarında farklı kalitelerde geri dönüşüm malzemeler bulunmaktadır. Genel endüstriyel uygulamalarda orijinal malzemeye belirli oranlarda geri dönüşüm malzemesi katılmaktadır. Geri dönüşüm işlemi polimer zincirini bozarak malzemenin mekanik özelliklerinde düşüşe neden olmaktadır [Ehrig, 1992; Brandrup, 1996; Scheirs, 1998].

Mekanik özellikler, karışım oranı %20'ye kadar çok fazla etkilenmemekle birlikte, %30'dan sonra ciddi bir azalma eğilimine girmektedir. Geri dönüşümlü malzeme kullanımı yalnızca mekanik özelliklere değil, üretilen ürünün ısısal, elektriksel, görsel ve boyutsal özelliklerine de olumsuz etkide bulunabilir. Üründe oluşan siyah nokta (benek), yanık, soyulma, renk dalgalanması ve solması, kırılganlık, çöküntü ve koku gibi problemlerin kaynağı, kullanılan geri dönüşüm malzemenin kalitesi ve yanlış kullanım oranı olabilir. Eğer elde bulunan kırma malzeme kendi asıl hammadde ile karıştırılma imkanına sahip değilse, farklı tipte polimerler ile beraber karıştırılıp kullanılabilirler. Burada dikkat edilmesi gereken konu, bu farklı tipte polimerlerin birbirleri ile uyumlu karışım göstermesidir [Eurotec, 2009].

Bu tezde kullanılan yöntem deneysel olup plastik işleme prosesi olarak gelişen otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan yöntem olan enjeksiyon seçildi. Plastik malzeme olarak da yine otomotiv sektöründe en çok kullanılan polipropilen (PP) malzeme seçildi. Standart test çubuğu kalıbı ile DOW firmasının ürettiği PPC 705 ticari isimli PP malzemeden hazırlanan geri dönüşüm malzeme yine kendi malzemesinin orijinaline %25-%50-%75 ve %100 oranlarında katılarak test çubukları oluşturuldu. Ayrıca bu geri dönüşüm işlemi ikinci, üçüncü ve dördüncü kez tekrarlanarak belirtilen oranlarda her bir parametre için ayrı ayrı numuneler hazırlandı. Hazırlanan bu numunelere çekme, izod darbe, üç nokta eğme ve akış testleri yapılarak mekanik özelliklerine geri dönüşüm malzemelerin etkileri değerlendirildi.

Hazırlanan numuneler ile tüm karışım oranlarında ve geri dönüşüm seviyelerinde elde edilen plastik ürünlerin, mekanik özellikleri ölçülerek hangi seviyedeki numunelerin daha iyi sonuç verdiği araştırıldı.

Bu çalışma giriş bölümünden itibaren altı bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde, çalışmada kullanılan plastik malzemelerin genel özellikleri anlatılmaktadır. Özellikle çalışma konusu ile yakından ilgili olduğundan mekanik özelliklere ikinci bölümde detaylıca değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, deneysel çalışmada kullanılan geri dönüşüm malzemeler hakkında bilgi verilmektedir.

Dördüncü bölümde, çalışmada yararlanılan, önceden gerçekleştirilen makaleler hakkında bilgiler verilmektedir.

Beşinci bölümde ise yapılan deneysel çalışma için numunelerin hazırlanması ve numunelere uygulanan akış ve mekanik testler hakkında bilgiler bulunmaktadır.

Altıncı bölümde, beşinci bölümde anlatılan deneysel çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesi, tablolar ve grafiklerle tüm numuneler için elde edilen değerlerin yorumlanması ve ileride yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır.

2. PLASTİK MALZEMELER

2.1. Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması

Mühendislikte kullanılan malzemeler;

- Metal malzemeler,
- Organik malzemeler,
- Seramik malzemeler,
- Kompozit malzemeler

olarak sınıflandırabiliriz.

Organik malzemeler, polimer olarak bilinen plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Bunlar karbonun (C) metal olmayan elementlerle (H, O, Cl, N) meydana getirdiği büyük moleküllü organik bileşiklerdir [Akkurt, 1991]. Polimer malzemelere kendi aralarında,

- Doğal,
- Yapay (sentetik)

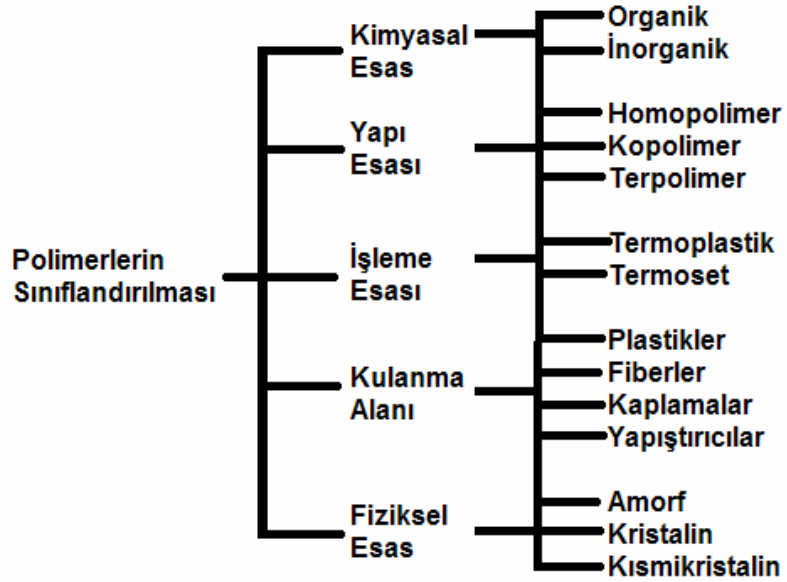
olarak sınıflandırılır.

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan plastikler genellikle sentetik polimerlerdir. Yapay polimerler genellikle çok sayıda tekrarlanan monomerlerden (kısaca mer) oluşmaktadır. Bu şekilde elde edilen polimerler grubu, Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi tekrarlanan birimin kimyasal adının önüne “poli” sözcüğü konularak elde edilir [Akkurt, 1991].

Çizelge 2.1 Örnek polimerler ve oluştukları merler. [Akkurt, 1991]

Tekrarlanana birim	Birimin Kimyasal Adı	Polimer Adı
$\begin{array}{c} \text{-O-C-} \\ \\ \text{O} \end{array}$	Ester	Poliester
$\begin{array}{c} \text{-C-NH-} \\ \\ \text{O} \end{array}$	Amid	Poliamid
$\begin{array}{c} \text{-C-C-} \\ \quad \\ \text{Cl} \end{array}$	Viniklorür	Poliviniklorür
$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ \text{-C-C-} \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$	Tetrafluoretilen	PoliTetrafluoretilen

Doğal polimerler de yapay polimerler gibi tekrarlanan ünitelerden oluşur. Doğal polimerlere örnek olarak selüloz, nişasta, doğal kauçuk verilir. Polimerler çeşitli kriterlere göre sınıflandırılır. Polimerlerin çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması Şekil 2.1’de gösterilmektedir [Akkurt, 1991].



Şekil 2.1 Polimerlerin sınıflandırılması. [Akkurt, 1991]

2.1.1. Kimyasal Esasa Göre Sınıflandırma

Polimerler kimyasal bileşenlerine göre;

- Organik,
- İnorganik

olarak sınıflandırılır.

Organik polimerlerin ana zincirinde başta karbon olmak üzere, oksijen, azot atomları bulunur. İnorganik polimerlerde ise ana zincir üzerinde karbon yerine silisyum, germanyum, bor, fosfor bulunur.

İnorganik polimerlerde ana zincir üzerinde bulunan elemanların bağ enerjisi organik polimerlerde bulunanlardan daha yüksektir. Bu nedenle organik polimerler daha yaygın kullanılmalarına rağmen inorganik polimerler daha yüksek ısı ve mekanik dayanıklılığa sahiptir [Akkurt, 19991].

2.1.2. Yapı Esasına Göre Sınıflandırma

Polimerler yapılarına göre;

- Homopolimer,
- Kopolimer,
- Terpolimer

sınıflandırılır.

Homopolimerler tek bir monomerin tekrarlanması ile oluşurlar. Kopolimer ise iki değişik monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Terpolimerler ise üç farklı cins monomerden oluşur.

2.1.3. İşleme Esasına Göre Sınıflandırma

Polimerler işleme esasına göre;

- Termoplastikler, (termoplastlar)
- Termoset plastikler (duroplastlar)

olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Termoplastikler ısı ile şekillendirilebilen yapay bir malzemedir. Lineer zincir biçiminde makro moleküllerden oluşur. Bunlar kuvvetli atom bağları ile birbirine bağlıdırlar. Fakat çizgisel moleküller arasında zayıf Van Der Walls bağları vardır. Artan sıcaklıkla moleküller arası bağ daha da zayıflar ve zincir moleküllerinin birbiri üzerinde kaymasını kolaylaştırır. Termoplastikler artan sıcaklık ile elastik durumdan, plastik hamur haline hatta sıvı hale geçerler ve soğutulduklarında yeniden katı hale geçerler. Buharlaşma ile bileşim değişmedikçe, bu çevrim istenildiği kadar tekrarlanabilir [Kaluç, 1996].

Termoplastığın hamur halinde bulunma sıcaklıklarının alt sınırında ekstrüzyon, haddeleme, basma vb. işlemler; üst sınırında kaynak; sıvılaştırma sıcaklığının üstünde de enjeksiyon döküm yapılır [Kaluç, 1996].

Termoset plastiklerin makro molekülleri, hacimsel kafes sistemindedir. Makro moleküller arasında kuvvetli bağlar oluşmuş üç boyutlu ağ yapısına sahiptir. Ağ yapısı tekrar ısıtılarak yumuşatılamaz [Akkurt, 1991]. Sıcaklık çok artırılırsa özelliklerini kaybeder ve giderek kömürleşirler. Termoset malzemeler talaş kaldırılarak, basınçlı kalıplama vb. yöntemlerle şekillendirilir.

Termosetting plastiklerin mekanik özellikleri iyileştirmek için genelde %40

ile %60 arasında katkı maddesi katılır ve henüz sertleşmemiş kütle belli bir sıcaklıkta ve basınçta preslenir.

Termoset plastiklerin mühendislik alanlarında uygulamalarının tercih sebepleri;

- Yüksek ısıl kararlılık,
- Yüksek boyutsal kararlılık,
- Yük altında sürünme ve şekil değiştirmeye karşı direnç,
- Hafiflik,
- Yüksel elektrik ve yalıtım özelliği

olarak belirtilebilir [Akkurt, 1991].

2.1.4. Kullanım Alanına Göre Sınıflandırma

Kullanım alanına göre polimerler;

- Plastikler,
- Fiberler,
- Kaplamalar,
- Yapıştırıcılar

olmak üzere bölümlendirilir. Buna ilave olarak plastikler;

- Saf plastikler,
- Kuvvetlendirilmiş (dolgu malzemeli)

olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

2.1.5. Fiziksel Esasa Göre Sınıflandırma

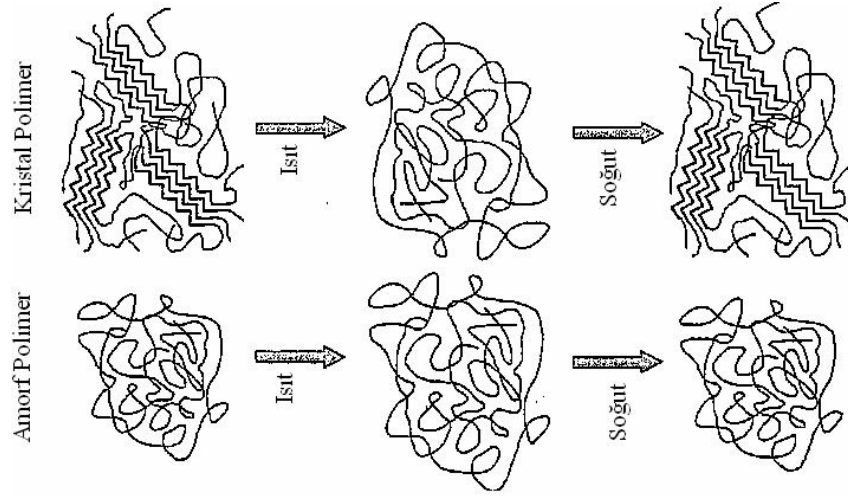
Fiziksel esasa göre;

- Kristal yapılar,
- Kristal olmayan yapılar, (amorfl yapılar, camsı yapılar)
- Yarı kristalin yapılar

olmak üzere üç gruba ayrılır.

Kristal bir yapıda merler belirli bir düzeye göre dizilirler. Kristal olmayan yapılarda genel olarak bir düzen söz konusu değildir. Kristalleşme ile polimer malzemede daha yüksek dayanım ve mekanik özellikler elde edilir. Yarı kristal yapılarda polimerlerdeki kristallik toplam hacmin %5 ile 95'i arasındadır. Plastiklerde tam kristalleşme mümkün değildir. Genel olarak kristalleşme derecesi arttıkça dayanım artar. Bunun için yüksek dayanım gereken yerlerde polimerlerin kristallik derecesinin yüksek olması istenir. Şekil 2.2'de amorf ve

kristal polimerlerin iç yapıları gösterilmektedir [Malloy, 1994].



Şekil 2.2 Amorf ve kristal polimerlerin iç yapıları. [Malloy,1994]

2.2. Plastik Malzemelerin Mühendislik Özellikleri

Plastikler, metallere ve diğer mühendislik malzemelerine nazaran oldukça farklı özellikler gösterir. Bu özellikleri;

- Özgür ağırlıklarının dolayısı ile ağırlıklarının çok az olması,
- Elektrik direnci yüksektir izolasyon malzemesi olarak çok geniş uygulama alanları mevcuttur,
- Korozif ortamlarda rahatlıkla kullanılırlar,
- Bazı çözümlendirici maddeler plastiği çözümlendirirler veya eritirler,
- Isı iletkenlikleri düşüktür. Isı iletim kabiliyeti yaklaşık olarak çeliğin üç yüzde biri kardır,
- Estetik açıdan iyidir. Birçok plastik türleri istenilen renklerde renklendirilebilir. Şeffaf olanları da vardır,
- Talaşlı şekil verme, döküm, ekstrüzyon, enjeksiyon, kaynak vb. çok geniş şekillendirme olanağı vardır,
- Plastiklerin göreceli olarak maliyetleri düşüktür,
- Plastik malzemelerin en önemli dezavantajlarından birisi düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır.
- Plastiklerin eğilme yumuşaklığı metallerden fazladır yani elastik modülleri düşüktür,
- Elastik modülleri sıcaklığa bağlıdır. Örneğin plastik borular ısınınca yumuşar soğukta ise katılaşır,

- Plastik malzemelerin ısı dayanımı düşüktür. Termoplastik malzemelerin ortalama dayanımı 50-150 °C'dir. Bu değer termosetlerde ise 300 °C'ye kadar çıkar,
- Termoplastikler oda sıcaklığında bile sürünme gösterir,
- Plastik malzemelerin kısmen yanıcı ve alev alıcı özelliği vardır,
- Plastik malzemeler kısmen su alma eğilimi gösterirler böylelikle elektrik ve mekanik özellikleri değişime uğrar.

olarak özetlenir. [Kaluç, 1996].

Tezin konusunu ilgilendirdiğinden dolayı plastik malzemelerin mekanik özellikleri aşağıda ayrıca açıklanmaktadır.

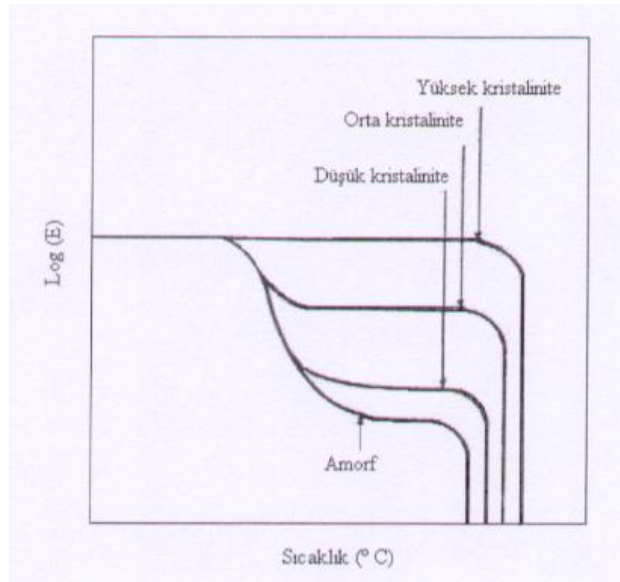
2.3. Plastiklerin Mekanik Davranışı

Polimer malzemelerde moleküler yapı, binlerce monomerin zincire benzer bir şekilde birbirine kenetlenmesinden meydana gelmektedir. Polimer malzeme ısıtılıp moleküler yapısı zayıfladığında, malzeme esnek ve yumuşak olmakta ve hatta sıcaklık daha yükseldiğinde ise malzeme viskoz bir ergiyik olmaktadır. Soğutulduğunda tekrar eski haline dönmekte ve bu bir çevrim halinde devam etmektedir. Bu tip polimer malzemelere termoplastik denmektedir. Termoplastik malzeme sıcaklığın etkisiyle ergiyip katılaştıktan sonra bu işlem bir çevrim şeklinde devam edemiyorsa, bu tip malzemelere termoset denmektedir. Termosetler, proseslendirildikten sonra ısı etkisiyle yumuşayamazlar. Çünkü termosetlerin molekülleri birbirine, termoplastiklerin aksine, kuvvetli bağlar ile bağlıdır ve yapıları çok rijittir [Crawford, 1989]. Mekanik özellikler genel olarak kristalleşme oranına bağlıdır [Tadmor, 1979; Crawford, 1989; Young, 1992; Brydson, 1996].

Kısmi kristalin polimerler, çok düşük sıcaklıklarda hem rijit hem de camsıdırlar. Sıcaklık arttığında amorf kısımlarda hareketlilik gözlemlenir fakat bu hareketlilik kristalin bölgeler tarafından sınırlandırılmaktadır. Camsı geçiş sıcaklığında, amorf bölge kauçuk gibi davranırken, kristalin bölge rijitliğini korumaya devam etmektedir. Sıcaklık Tg değerinin üstüne çıktığında ise malzeme yumuşamakta ve matris bölge daha sünek olmaktadır. Tg değerinin çok çok üzerindeki ergime sıcaklığında (Tm) ise kristalin bölgeler ergimeye başlamaktadır [Altan, 2007].

Kısmi kristalinlerde sıcaklık yükseldikçe, elastiklik modülü değerinde düşüş görülmektedir [Tadmor, 1979; Pişkin, 1987; Pötsch, 1995; Powell, 1998]. Şekil

2.3'te kısmi kristalin malzemeler için sıcaklığa bağlı olarak elastiklik modülü değişimi verilmiştir. Yüksek kristalleşme derecesi gösteren polimerlerde elastiklik modülü, ergime sıcaklığına kadar sabit kalmakta ve bundan sonra yükselen sıcaklıklarda hızla düşmektedir. Kısmi kristalinlerde mekanik özellikler üzerinde önemli derecede etkili olan kristalleşme oranı, elastiklik modülü ile doğru orantılıdır. Ne kadar çok kristalleşme olursa, elastiklik modülü o kadar yükselmektedir.

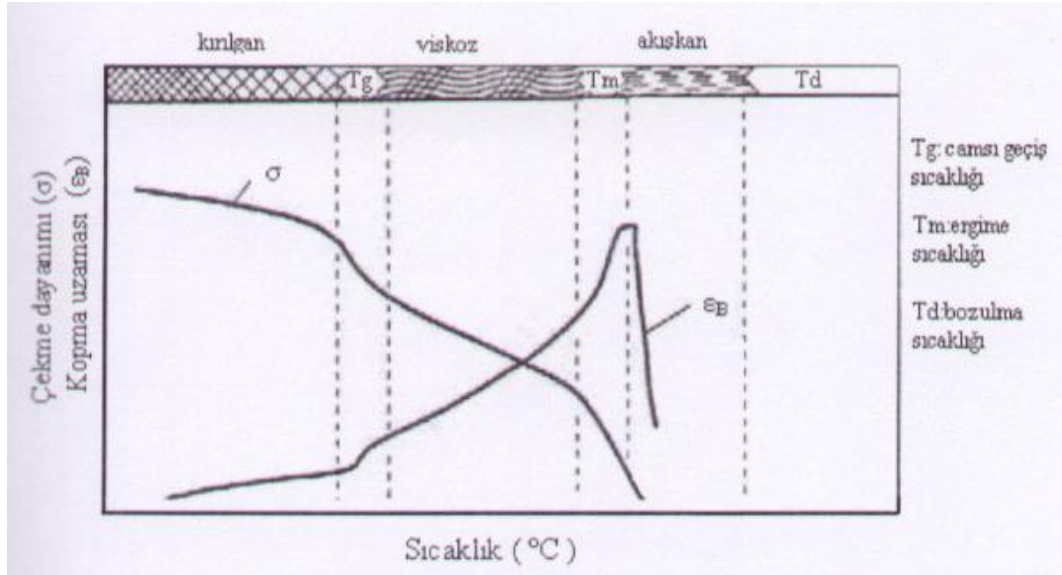


Şekil 2.3 Kısmi kristalin polimerlerde sıcaklığa bağlı elastiklik modülü [Pişkin, 1987]

Kristalinler, katı halde iken %100 kristalin yapı yerine amorf ve kristalin karışımı bir yapı gösterirler ve çeşitli parametrelere bağlı olarak belirli bir kristalleşme oranına sahiptirler. Sıcaklık, basınç ve soğuma hızı gibi faktörler malzemenin kristalleşme oranını etkilemektedir. Yüksek kristalleşme oranı polimerik yapının mekanik dayanıklılık, sertlik ve ısıl dayanıklılık gibi özelliklerini iyileştirmektedir.

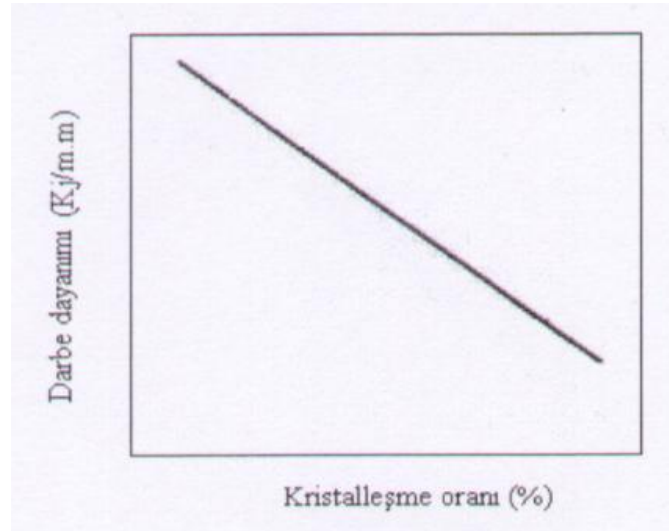
Amorf polimerler için T_g 'nin üzerinde akma dayanımında ve elastiklik modülünde belirgin değişimler gözlemlenmektedir. T_g 'nin altında bu değerler hemen hemen sabittir ve moleküler ağırlıktaki değişimlerden çok fazla etkilenmemektedir. Ancak faz değişimine sahip kısmi kristalinlerde bu durumun tersi söz konusudur. Mekanik özellikler hem moleküler ağırlıktan, hem kristalleşme oranından hem de moleküller arası çekimden oldukça etkilenmektedir [Pötsch, 1995; Brydson, 1996]. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi kısmi kristalinlerde T_g değerinin çok üstünde malzemenin mekanik özellikleri hala yüksektir. Malzemeye dayanıklılığı

veren kristalin bölgeleridir. Kısmi kristalinlerde de malzeme kırılgan iken çekme dayanımı daha yüksektir, fakat T_g 'den sonra amorfllarda olduğu gibi ani bir düşüş görülmez sıcaklığa bağlı olarak daha yavaş bir düşüş vardır. Kopma uzaması, sıcaklık ile yükselmekte ve amorfllardan farklı olarak viskoz halden akışkan hale geçene kadar yükselmeye devam etmektedir [Altan, 2007].



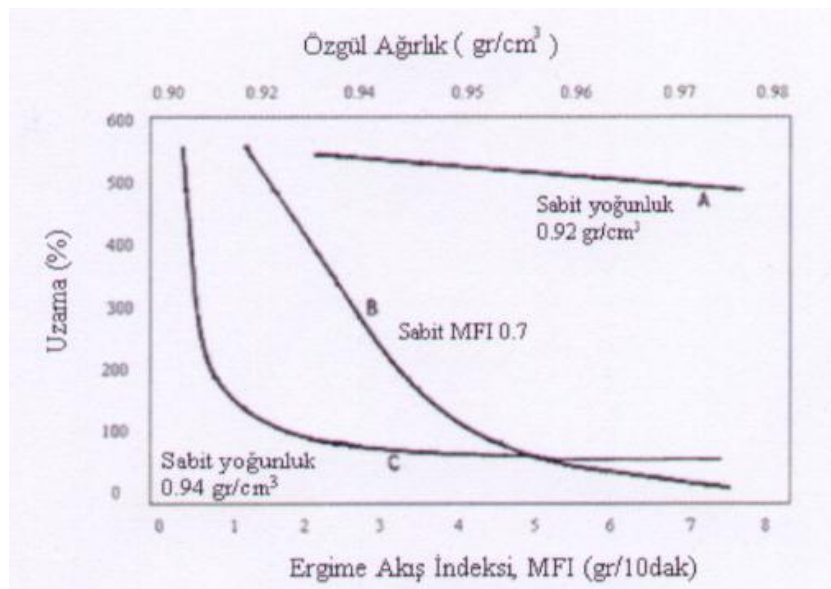
Şekil 2.4 Kısmi kristalin polimerlerde çekme dayanımı ve kopma uzaması [Pötsch, 1995]

Tokluk da, elastiklik modülü gibi kristalleşme oranına bağlıdır. Yüksek kristalleşme oranları esnek olmayan yapılara neden olmakta ve bu tip yapıları polimerler çok yüksek darbe dayanımı gösterememektedir (Şekil 2.5). Ayrıca yavaş soğuma hızlarında görülen aşırı büyümüş, küreye yakın kristalin yapılar da düşük darbe dayanımına neden olmaktadır [Brydson, 1996].



Şekil 2.5 Polipropilende kristalleşme oranı ve darbe dayanımı [Pötsch, 1995]

Kısmi kristalinlerden yüksek yoğunluklu polietilendeki uzama, malzemenin özgül ağırlığı ve MFI değeri ile beraber incelendiğinde (Şekil 2.6), kristalleşme oranı yüksek olan polietilenin çok sünek olmadığı ve yüzde uzamalarının da düşük olduğu görülmektedir. Sabit ve düşük özgül ağırlıkta (A), MFI değerinin değişmesiyle malzemenin çok fazla etkilenmemektedir. Sabit ve yüksek özgül ağırlıkta (C) ise MFI değerinin artması ile uzama hızla düşmekte ve bir süre sonra sabit olmaktadır. Sabit MFI değerinde (B) özgül ağırlık değişiyorsa, malzemenin artan özgül ağırlığı ile yüzde uzaması düşmektedir [Altan, 2007].



Şekil 2.6 HDPE'de yoğunluk ve MFI değerinin % uzamaya etkisi A, sabit yoğunluk (0,92 gr/cm³) – B, sabit MFI – C, sabit yoğunluk (0,94 gr/cm³) [Brydson, 1992]

2.3.1. Güçlendirme

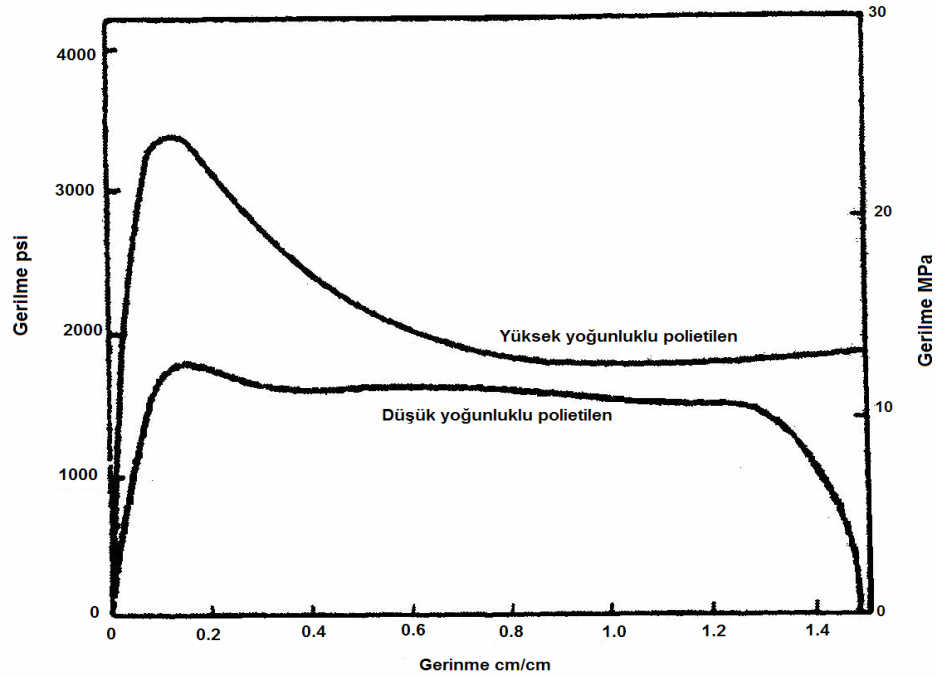
Termoset plastiklerde malzemenin içinde üç boyutlu ağ yapısı oluşturularak dayanım artırılır.

Termoplastik malzemenin dayanımını artırmak için ;

- Malzemenin kristalin derecesini artırmak,
- Polimer zincirinin ortalama molekül kütlesini artırmak (molekül zincirini uzatmak),
- Cam lifi eklemek,
- Ana karbon kütlesinin üzerine yüksek kutuplu atomlar bağlamak (çekme kuvvetini artırmak)

yöntemleri uygulanır.

Şekil 2.7’de yüksek yoğunluk ve düşük yoğunluk polietilenin gerilme-genleme çizelgesi verilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere ortalama molekül kütlesi arttıkça malzemenin mukavemet özellikleri iyileşmektedir.



Şekil 2.7 Yoğunluğa göre gerilme - genleme grafiği [Kaluç, 1996]

2.3.2. Sıcaklık

Polimerler metallerin tersine bir erime noktasına sahip değildirler. Isıtma esnasında davranışlarını mevcut sekonder bağlar belirler. Tüm plastikler düşük sıcaklıkta yüksek elastiklik ve kayma modülüne sahiptir ve gevrektiler.

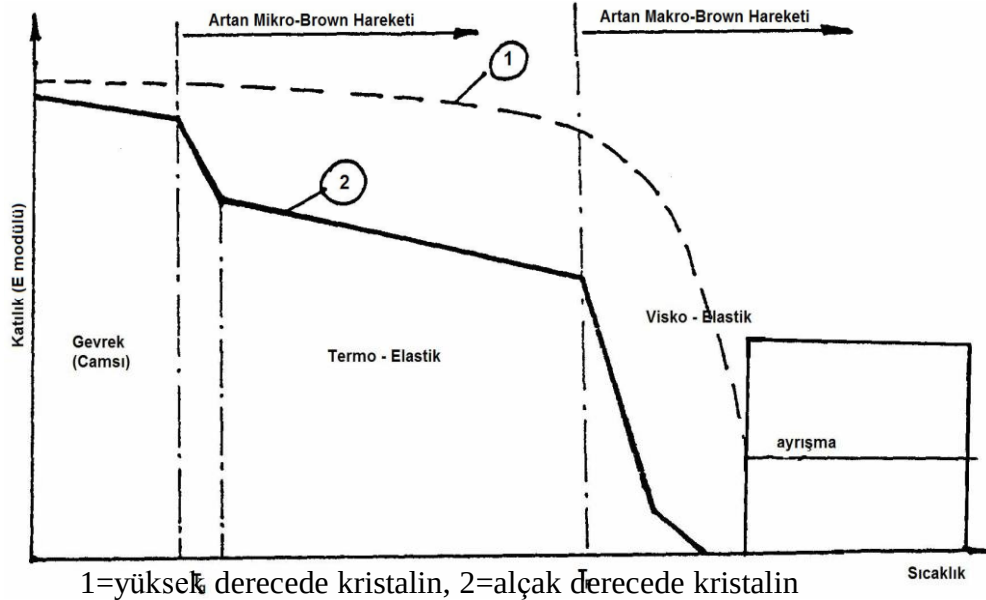
Sıcaklık arttıkça elastiklik ve kayma modülü düşer, süneklik artar [Kaluç, 1996].

Termoset plastikler, sıcaklık arttıkça mukavemetleri düşer, atomlar ortaklaşa bir ağ ile bağlandıklarından ağdalaşamazlar, en yüksek kullanım sıcaklığının üzerinde kömürleşirler.

Termoplastik malzemeler, sıcaklık arttıkça yumuşarlar dolayısıyla dayanımları düşer. Termoplastikler de sıcaklık attıkça Van Der Walls bağları zayıflar ve polimer zincirleri birbirlerinin üzerinde kaymaya başlar, böylece polimer ağdalaşır.

Camlaşma sıcaklığı olarak adlandırılan belirli bir sıcaklığın üzerinde zincir molekülleri, belirli bir hareketlilik kazanır ve zincir halkaları yer değiştirir veya eğilir. Bu harekete mikro- brown hareketi denir. Böylece, madde daha kolay bükülebilir hale gelir ve sünekleşir.

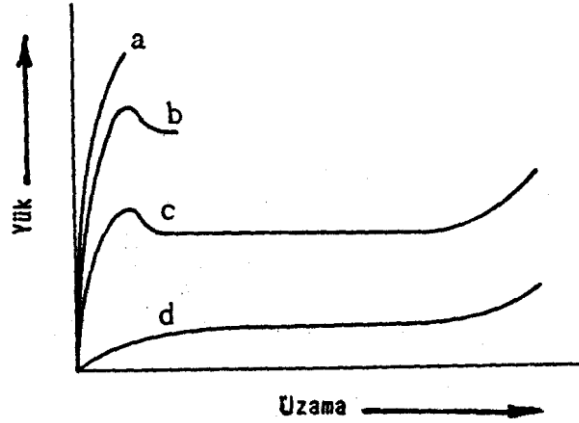
Sekonder bağlar ve hareket sonucu oluşan karmaşıklık kaymayı engeller malzeme termoelastik (lastik gibi) duruma geçer. Plastiklerde önce daha düzensiz bölgeler olan amorf bölgeler hareketlenir, kristalin bölgeler katılaştırıcı bir rol oynar. Şekil 2.8’de kristalin derecesine göre yapının sıcaklık ile elastiklik modülü arasındaki ilişki göstermektedir [Kaluç, 1996].



Şekil 2.8 Elastisite modülünün (E) sıcaklığa göre değişimi [Kaluç, 1996]

Sıcaklık artışı devam ederse hareketlilik devamlı artar ve akma sıcaklığı olan T_g 'den sonra zincirler karşılıklı hareketlenir. Bu harekete makro-brown hareketi denir. Bu bölgede plastik viskoelastik durumdadır. Sıcaklık daha da artarsa primer bağlar çözülmeye başlar böylece molekül zincirleri parçalanır. Tüm termoplastikler Şekil 2.8'de gösterilen davranışa sahiptirler.

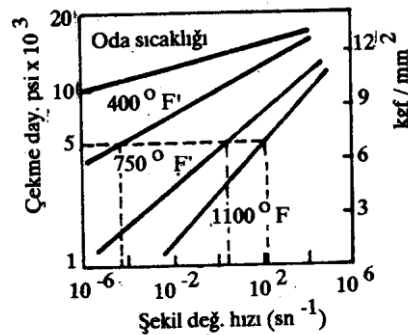
PS için farklı sıcaklıklar için uzama-çekme diyagramı Şekil 2.9'de verilmektedir [Akkurt, 1991].



Şekil 2.9 PS Çekme diyagramının zamanla değişmesi (a,b,c,d sıcaklık değerlerini simgeler $a < b < c < d$). [Akkurt, 1991]

2.3.3. Şekil Değiştirme Hızı

Malzemelerin dayanımı sıcaklığın yanı sıra şekil değiştirme hızına da bağlıdır. Şekil 2.10'da sıcaklık ve şekil değiştirme hızına göre alüminyum malzemenin çekme dayanımı göstermektedir [Çapan, 2003].



Şekil 2.10 Şekil değiştirme hızına göre alüminyum malzemenin çekme dayanımı [Çapan, 2003].

Bu durum plastik malzemeler için daha fazla kendini göstermektedir. Bundan dolayı plastik malzemelerin çekme deneyi sonuçlarının bir anlam ifade etmesi için

şekil değiştirme hızı bilinmelidir [Çapan, 2003].

2.3.4. Sürünme

Sürünme malzemenin sabit yük altında zamanla şekil değiştirmesidir. Yük altında polimer malzeme oda sıcaklığında bile sürünebilir. Sıcaklık miktarı arttıkça malzemenin sürünme olayı artar. Termoplastikler de camsı nokta geçiş sıcaklığının altında sürünme olayı yavaş iken camsı nokta geçiş sıcaklığının üzerinde sürünme olayı artar. Plastiklerin cam lifi ile güçlendirilerek sürünme dayanımı artırılır [Çapan, 2003].

2.3.5. Polimer Malzemelerin Kırılması

Polimer malzemede gevrek kırılma, sünek kırılma veya bu iki cins kırılmanın karışımı görülür. Termosetler gevrek kopma gösterir. Termoplastikler ise cama dönüşüm sıcaklığının altında gevrek, cama dönüşüm sıcaklığının üzerinde ise sünek kopma gösterir. Gerilme hızı yavaş oldukça moleküller kendilerini yenilebileceğinden sünek kopma ihtimali artış gösterir [Çapan, 2003].

2.4. Plastik Ürün Üretimi

Plastiklerin kaynağı, ham petrol, gaz ve kömürdür. Plastiğin genelde ana kaynağı petrol rafinerisinden arta kalan bakiye maddelerdir. Dünyada üretilen toplam petrolün sadece %4'ü plastik üretimi için kullanılmaktadır [Öztürk, 2005].

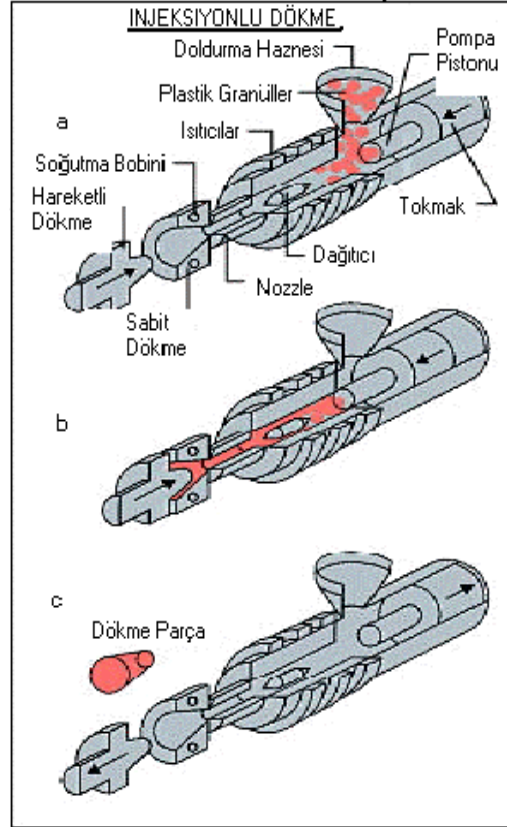
Plastikler, karbonun hidrojen, oksijen, azot ve diğer organik ve inorganik elementlerle oluşturduğu monomerler diye adlandırılan en küçük ve basit molekülü gruplardaki çift bağın koparılarak polimerler diye adlandırılan uzun zincirli yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen insan yapımı maddelerdir. Polimerler, belli bir sıcaklık ve basınç altında ve belli katalizörler kullanılarak bir reaktörde monomerleri reaksiyona sokularak elde edilir. Bu işlemler sonucu elde edilen polimerler reçine, granül ve toz halindedir [Öztürk, 2005].

Polimerlerin plastik ürünlerine dönüşümü üç kademedir gerçekleşir. Bunlar;

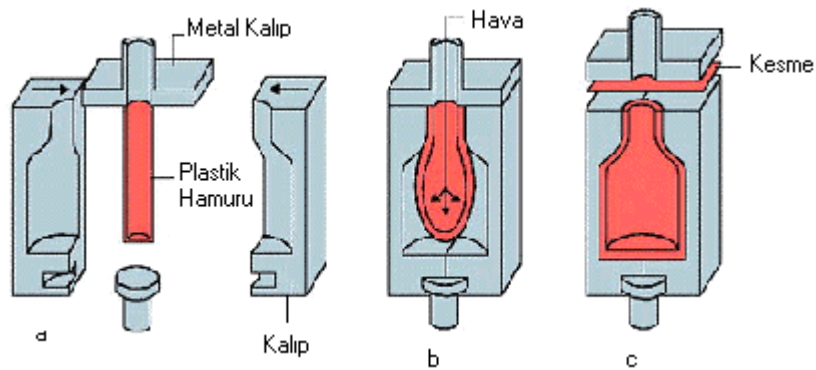
- Reçine granülleri, tozları yumuşatmak için ısıtılır,
- Yumuşatılmış madde belli kalıplara dökülür,
- Ürün soğutulur

ve şekillenmiş plastik ürün elde edilir.

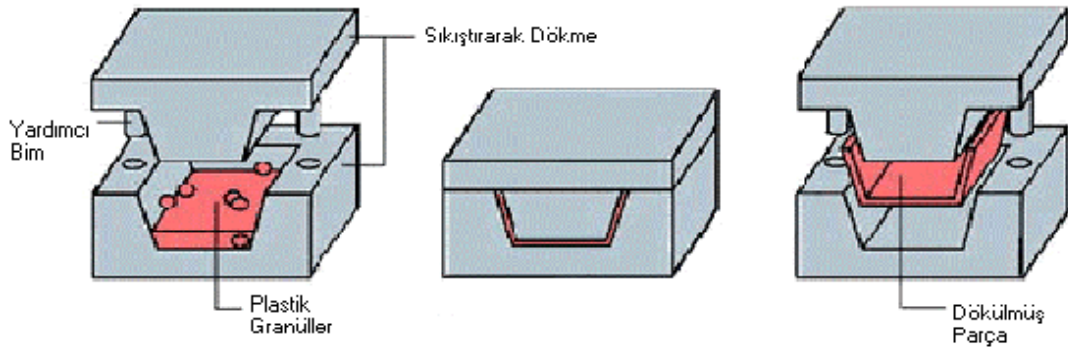
Plastik ürünlerinin üretildiği birkaç metot vardır. Bunlar, enjeksiyonla dökme (kalıba dökme) (Şekil 2.11) (oyuncaklar, başlıklar ve su tesisatı), ekstrüzyonlu kalıba dökme (plastik levhalar, borular ve tüpler), üflelemeli kalıba dökme (şişeler ve variller) (Şekil 2.12), sıkıştırılmalı dökme (Şekil 2.13) ve vakum termo şekil verme (Şekil 2.14)dir [Öztürk, 2005].



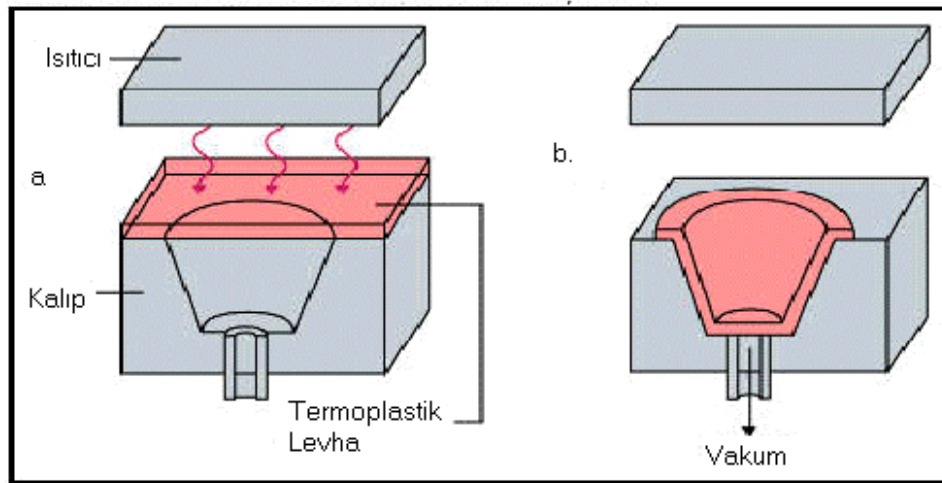
Şekil 2.11 Enjeksiyonlu dökme [Öztürk, 2005]



Şekil 2.12 Ekstrüzyon üflelemeli dökme sistemi [Öztürk, 2005]



Şekil 2.13 Sıkıştırarak kalıba dökme [Öztürk, 2005]



Şekil 2.14. Vakum termo şekil verme [Öztürk, 2005]

Bugün takriben 40 farklı polimer kullanılmaktadır. Her bir polimer farklı kimyasal kompozisyona sahiptir. Plastikler düşük yoğunluklu, kuvvetli, istenen şekilde şekillendirme özelliğine sahip ve düşük maliyetinden dolayı daha fazla alanda kullanılmaya başlanılmıştır. Kullanım kapasitesi sürekli olarak artmaktadır. Bu gün plastikler otomotiv ve endüstriyel uygulamalar başta olmak üzere tıbbi ilaçların dağıtımında, yapay aşı ve diğer sağlık uygulamalarında, bakterilerin bertarafında ve diğer sağlık uygulamalarında, halı üretiminde ve suların tuzluluğunun giderilmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır [Öztürk, 2005].

Plastikleri ayırt etmek için, plastik teşhis etme kodu kullanılır. Genelde kullanılan 7 tür plastik teşhis etme kodu vardır (Şekil 2.15). Bunlar, polietilen tereftalat (PET veya PETE veya PE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polivinil klorür (PVC), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polipropilen (PP),

polistiren (PS), genişletilmiş (veya köpükleştirilmiş) polistiren (EPS) ve diğerleridir [Öztürk, 2005].

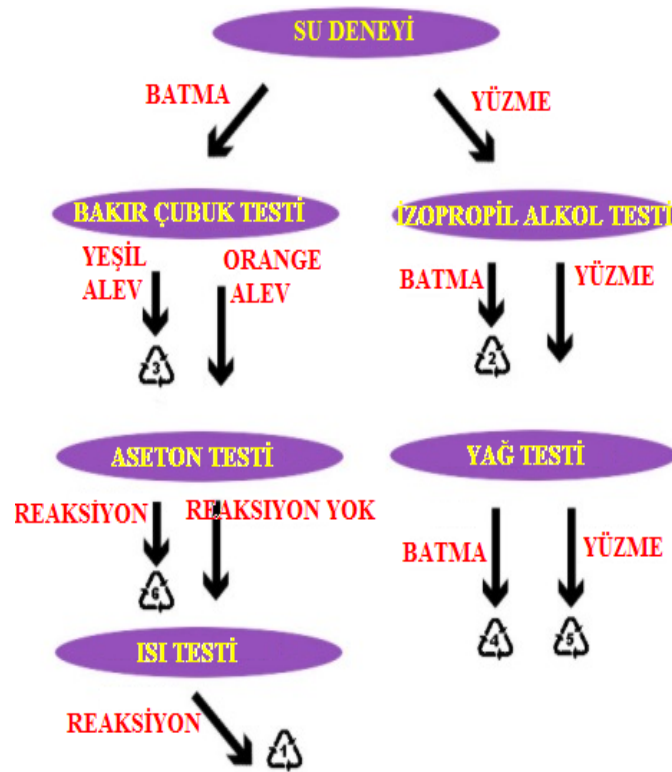


Şekil 2.15 Çeşitli plastiklerden üretilen malzemeler ve kod numaraları [Öztürk, 2005]

2.5. Plastiklerin Kullanıldığı Alanlar

Plastikler günlük hayatımızda çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Plastikler global enerji ihtiyaçlarını minimize etmeye yardımcı olur ve yenilenmeyen kaynakların ömrünü uzatır. Bir cam şişenin ağırlığı 300 gram iken aynı boyuttaki plastik şişenin ağırlığı 50 gramdır. Hangi sahada ne tür plastiğin kullanıldığını bilerek bunları geri kazanıp tekrar kullanılabilir hale dönüştürmek mümkündür. Plastikler şişe, kavanoz, leğen, kova, saksı, elbise, halı, çorap, her türlü boru, pencere malzemesi, paketlenme, oyuncak ve mobilya gibi değişik ürünlerin/malzemelerin elde edilmesinde kullanılır.

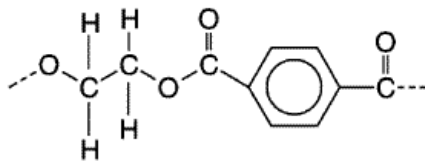
Piyasada kullanılan tüm plastikler kolay teşhis edilebilir, kolay ayrıştırılmaları için kimliklerine göre kodlanmalıdır. Kodlamalar plastik malzemelerin kolay teşhis edileceği ve görüleceği yerlere yapılmalıdır. Plastikleri teşhis etme metodu Şekil 2.16’de verilmiştir. Kodlanmayan plastiklerin satışları önlenmelidir. Piyasada en çok kullanılan plastikler, PET veya PETE, HDPE, PVC, LDPE, Polipropilen (PP), Polistiren (PS), poli ürethan (PU) ve diğerleridir. Bu plastiklerin özellikleri ve kullanım alanları aşağıda verilmiştir [Öztürk, 2005].



Şekil 2.16 Plastikleri teşhis etme metodu [Öztürk, 2005]

2.5.1. PET veya PETE Plastikler

Polietilen tereftalatın formülü;

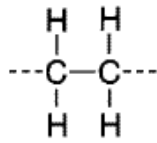


PET, etilen glikol ve tereftalik asitin yoğunlaştırılması ile elde edilir. PET’leri teşhis etme Kodu 1’dir. Yoğunluğu 1.33 – 1.38 gr/ml.dir. Maksimum kullanılabilir

sıcaklığı 60 °C dir. Orta sertlikte bir plastiktir. En çok kullanılan plastiklerden biridir. PET, açık veya hafif renkli, yarısaydam, suda yüzebilir fakat köpük yapılamaz, 250 °C gibi yüksek erime sıcaklığına sahip bir plastiktir. Çeşitli boyutlarda içme suyu, gazlı içme suyu, meyve suyu ve bitkisel yağ şişeleri, fıstık yağı kavanozu, mikro dalga gıda tepsisi örtüsü, salata kapları PET plastiğinden yapılmaktadır. Son yıllarda levha uygulamaları artmaktadır. PET hızlı yanar, alevleri renksiz, yanarken mum kokusu ve sönerken beyaz duman verir [Öztürk, 2005].

2.5.2. HDPE Plastikler

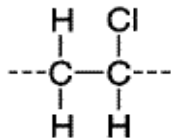
Yüksek Yoğunluklu Polietilenin formülü;



HDPE nispeten düz bir zincir yapıya sahiptir. HDPE'leri teşhis etme Kodu 2 dir. Yoğunluğu 0.94 – 0.96 gr/ml.dir. Doğal olarak süt rengi görünümündedir. Maksimum kullanılabilme sıcaklığı 120 °C'dir. Yarı saydam veya renklidir. Orta sertlikte ve dayanıklı bir plastiktir. En çok kullanılan plastiklerden biridir. Düşük maliyetli, kolay şekillenebilmesi ve kırılmaya dayanıklı olması nedeni ile geniş bir kullanım alanına sahiptir. Plastik tüpler, atık torbaları, kaseler, kablo yalıtımları, kovalar, ince taşıyıcı torbalar ile süt, su, meyve suları, sıvı deterjanlar, motor yağları, çamaşır suları, şampuanlar, parfüm ve losyon kapları HDPE den yapılmaktadır [Öztürk, 2005].

2.5.3. PVC Plastikleri

Poli Vinil Klorürün formülü;

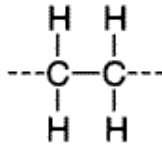


PVC'i vinil klorürden üretilmektedir. PVC'leri teşhis etme Kodu 3 dür. Yoğunluğu 1.32 – 1.42 gr/ml.dir. Maksimum kullanılabilme sıcaklığı 70 °C'dir. Sert ve esnek olmak üzere iki tür PVC malzemesi vardır. Parlak yüzeye, iyi fiziksel özelliğe ve kimyasal dirence sahip bir plastiktir. Uzun süre kararlı kalır, yanmaya dayanıklı ve iyi bir yalıtım özelliğine sahiptir. Bitkisel yağlar ve şampuan şişeleri, çamaşır suyu ve şeffaf sıvı deterjan kapları, sıvı motor yağı şişeleri, yapay deriler, pencere temizleme ürünleri, taze et kapları, ketçap şişeleri, yumuşak oyuncaklar,

elektriksel yalıtımlar, çatı malzemeleri, borular ve pencere çerçevesi malzemeleri PVC'den yapılmaktadır. PVC, %43 etilen ile %57 klor içermektedir. PVC yakıldığı zaman çok asidik özelliğe sahip hidrojen klorür gaz kirleticisi yanında kanser yapıcı dioksin ve furan gibi kirleticiler oluşur. Aynı zaman da çok asidik koku yayar. Sert PVC, benzenli ortamda lastik halini alır, metil etil ketonlu ortamda ise çözünür. PVC'nin sağlık ve çevresel etkisi hakkındaki halkın endişesinden dolayı birçok gelişmiş ülkede gıda sektöründe kullanımı kaldırılmıştır. Bazı ülkelerde dioksin ve furan gibi kanser yapıcı kirletici gaz emisyonlarını kontrol etmek amacı ile PVC'nin katı atık yakma tesislerinde yakılması yasaklanmıştır [Öztürk, 2005].

2.5.4. LDPE Plastikleri

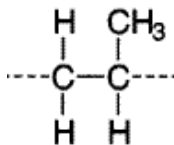
Düşük Yoğunluklu Polietilenin formülü;



LDPE'leri teşhis etme Kodu 4 dür. Yoğunluğu 0.91 – 0.93 gr/ml.dir. Maksimum kullanılabilme sıcaklığı 80 °C'dir. Düşük yoğunluklu polietilendir. Erime sıcaklığı 120 °C'dir. Esnek, yumuşak, kolay kesilebilir ve buruşmaz özelliğe sahip bir plastiktir. LDPE plastikleri, pürüzsüz, esnek ve nispeten saydam olduğundan dolayı en çok film hammaddesi olarak kullanılır. LDPE plastikler, pigment ilave edilmezse süt beyazı rengindedir. Ayrıca çuval, büzgü ve germe şalı, film torbası, çöp torbası, ekmek ve sandviç torbası, çeşitli yiyecek torbaları, gıda kutusu, derin dondurucu torbası, ucuz mutfak malzemesi, bakkal torbaları, margarin tüpleri, çeşitli kavanozların esnek kapaklarının yapımında kullanılır [Öztürk, 2005].

2.5.5. Polipropilen (PP) Plastikler

Poli Propilenin formülü;

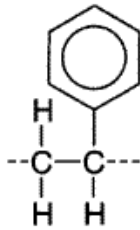


PP'leri teşhis etme Kodu 5 dir. Yoğunluğu 0.90 – 0.92 gr/ml. arasında değişir. Maksimum kullanılabilme sıcaklığı 135 °C'dir. Yarı saydam, suda yüzebilen fakat köpük olmayan bir plastiktir. Kimyasal maddelere, ısıya ve aşırı yorulmaya

dayanıklı bir maddedir. Orta sertliğe ve parlaklığa sahip plastiklerdir. Margarin tüpleri, ketçap şişeleri, çubuk, başlıklar, cips ve bisküvi için poşetler, mikrodalga yiyecek tepsileri, ilaç şişeleri, yoğurt kapları, sandalyeler, bavullar, halı yapma, halat ve bazı kaplar ile kapaklar polipropilen plastiklerden yapılmaktadır. Paketlemede kullanılan plastiklerin en düşük yoğunluklu olanıdır. PP yavaş yanar, yanan bir yakıt gibi kokar. PP sıcak toluende çözünür [Öztürk, 2005].

2.5.6. Polistiren (PS) Plastikler

Polistirenin formülü dir.



PS'leri teşhis etme Kodu 6 dır. Yoğunluğu 1.03 – 1.06 gr/ml arasında değişmektedir. Maksimum kullanılabilme sıcaklığı 70 °C'dir. Rigit ve köpük olabilir, çok yönlü ve amaçlı kullanılan bir plastiktir. Oldukça sert, kırılğan ve parlak bir plastiktir. Nispeten düşük erime noktasına sahip çok pahalı olmayan bir recinedir. Polistiren hızlı yanar, kuvvetli gaz kokusu yayar, önemli miktarda kurum üretir. Asetonlu ortamda hızla kabarıır. Koruyucu paketleme, yumurta kartonları, soğutucular, tepsiler, fast-food paketleme kapları, kahve kapları, video ve ses kaset kapları, çatal ve bıçak takımı, su bardağı, kapaklar, küçük botlar ve köpek kapları polistren plastiklerden yapılmaktadır [Öztürk, 2005].

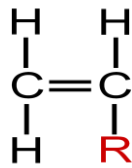
Yapılan çalışmada polimer olarak PP seçilmiştir. Seçilen malzemelerden PP yarı kristalin yapıya sahiptir. Aşağıda, çalışmada kullanacağımız polimerler olan PP özellikleri ayrıntılı olarak verilmiştir.

2.6. Polipropilen (PP) Genel Özellikleri

- PP'nin yüzeyi parlak ve serttir, ele pürüzsüz ve kuru olduğu duygusunu verir.
- Folyolarla ince levhalar şeffaftırlar.
- PP kolayca istenilen renge boyanabilir. İs karası (Carbon black) ile siyaha boyanmış PP'nin UV dayanımı yüksektir.
- PP seyreltik tuz, baz ve asit çözeltilerine, yağ ve alkollere karşı dayanıklıdır.

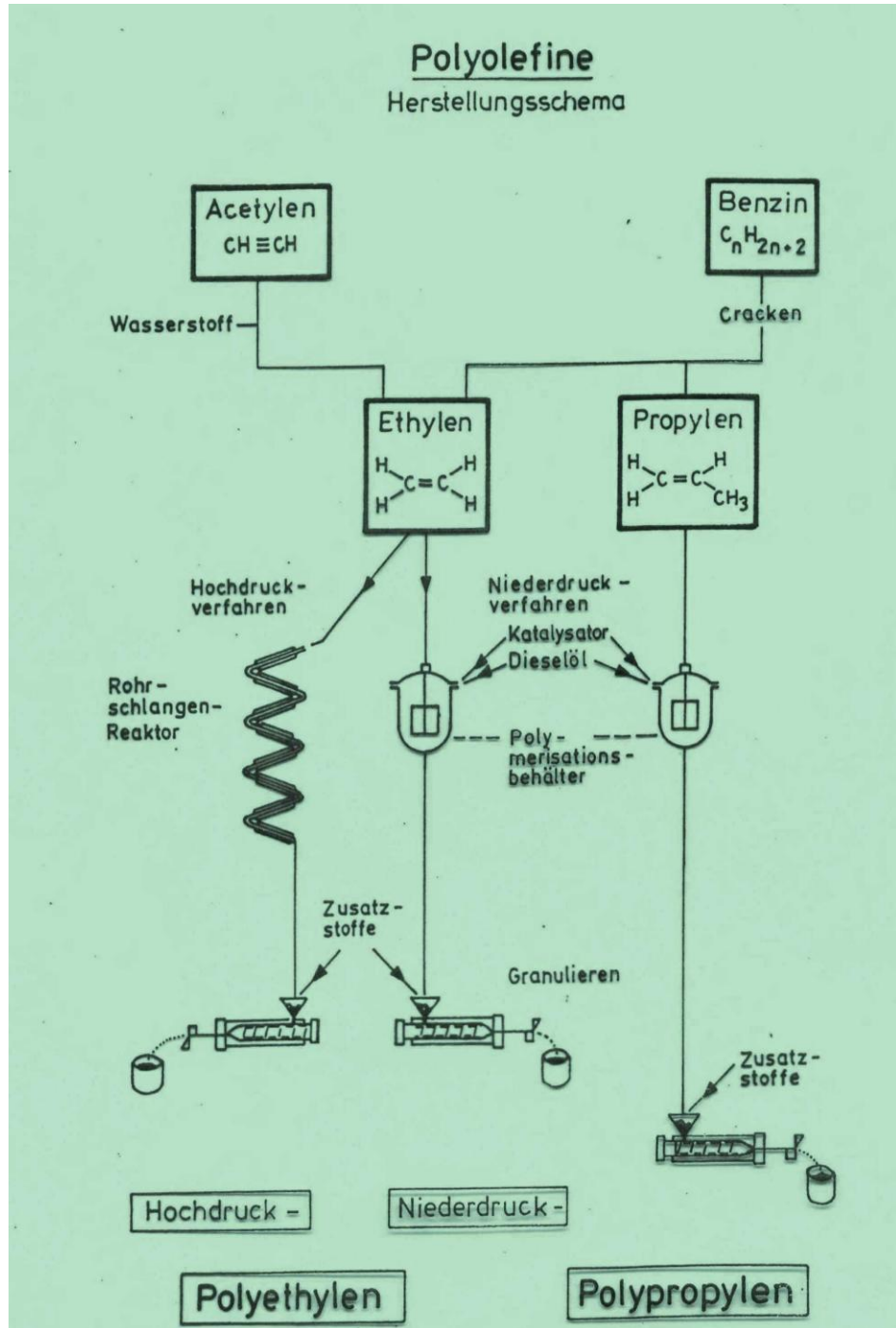
- Benzine karşı şartlı dayanımı vardır, fakat konsantre sülfürik ve nitrik asit ile hidrojenperoksit'e karşı dayanıklı değildir.
- Kolay tutuşur ve alev çekilince de, ortası mavi, parlak, sarı bir alevle yanmağa devam eder. Çıkardığı duman mum gibi parafin kokar ve ayrıca, hafif yanmış lastik kokusu da vardır.
- Kolay kırılmaması, kırılınca kıymık ve keskin kenarlar oluşturmaması ve diğer fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı otomotiv, elektronik ve beyaz eşya üreticileri tarafından çok kullanılır. Araçların dışındaki kullanım alanlarında, darbe dayanımı sıfırın çok altındaki sıcaklıklarda da iyi olan polietilen-propilen kopolimer malzeme daha çok kullanılır. Alçak yoğunluktadır.
- Tabi olarak yarısaydam ve süt beyazı rengindedir.
- Çok iyi boyanma kabiliyeti vardır.
- Orta derece mukavemeti vardır.
- Sınırlı kimyasal, ısısal ve elektriksel özelliği vardır.
- Cam elyafı ile mukavemeti iyileştirilebilir.
- Enjeksiyon, ekstrüzyon üfleme gibi yöntemler ile şekillendirilir.

Poliolenlerin Polivinil grubundan olan Polipropilen alçak basınç metodu ile üretilirler. Üretim sırasında uygulanan şartlara bağlı olarak, içyapısı değişik üç tip Polipropilen elde edilir [Tanrıkulu, 2005]. Üretim şeması Şekil 2.18'deki gibidir. Polipropilen'nin monomeri de Propilendir.



R Yerine geçen	Yapı Taşı Monomer	Polimer Yapısı
-CH ₃	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{ccccccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & & & \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ & & & & & \\ \text{H} & \text{CH}_3 & \text{H} & \text{CH}_3 & \text{H} & \text{CH}_3 \end{array}$

Şekil 2.17 Polipropilenin kimyasal gösterilişi [Tanrıkulu, 2005]

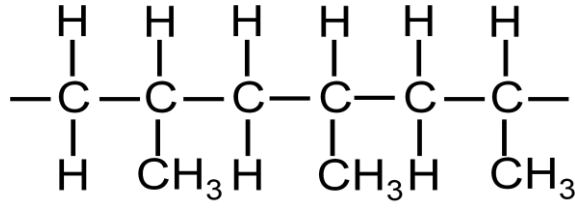


Şekil 2.18 Polipropilen üretim şeması [Tanrıkulu, 2005]

2.6.1. PP – Polipropilen’in tipleri

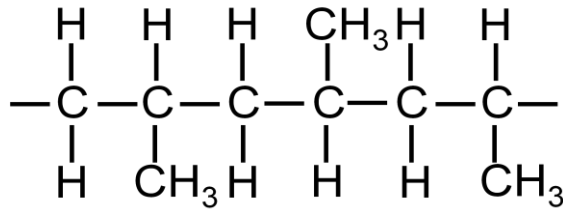
CH_3 Kökünün molekül zincirindeki dizilişine göre 3 şekilde gruplandırılır.

- İzotaktik Polipropilen: CH_3 kökü hep aynı konumda bulunur (Şekil 2.19). İzotaktik PP’nin ayırıcı özelliği kristalleşme oranının çok yüksek olmasıdır.



Şekil 2.19 İzotaktik polipropilen [Tanrıkulu, 2005]

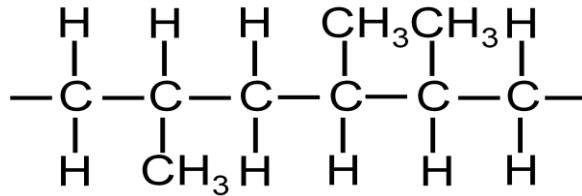
- Sindiyotaktik PP: CH₃ kökleri ana zincirde hep biri diğerinin karşısında konumlanmıştır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Sindiyotaktik polipropilen [Tanrıkulu, 2005]

Sindiyotaktik Polipropilen’de kristalleşme oranı daha düşüktür.

- Ataktik Polipropilen: CH₃ Kökleri molekül zincirine gelişigüzel dağılmışlardır (Şekil 2.21). Ataktik polipropilen hemen hemen tamamen amorf yapıdadır.



Şekil 2.21 Ataktik polipropilen [Tanrıkulu, 2005]

2.6.2. Polipropilen’in kullanım alanı

Polipropilen genelde saf ve cam elyafı ile güçlendirilmiş çeşidi ilaç, kozmetik ve besin alanında; kutu, şişe, kap v.b parçaların yapımında kullanılır. Köpük çeşidi ise mobilya veya koltuk yastıklarının yapımında kullanılır [Akkurt, 1991].

3. GERİ DÖNÜŞÜM

Cam, metal, plastik ve kağıt/karton gibi değerlendirilebilir atıklar çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir hammaddeye veya ürüne dönüştürülebilirler. Bu atıkların bir takım işlemlerden geçirildikten sonra ikinci bir hammadde olarak üretim sürecine sokulmasına geri dönüşüm denir.

Bu süreç her bir atık türü için malzemenin cins ve niteliğine göre farklılık gösterir. Geri kazanım terimi ise tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da içerdiği için biraz daha geniş kapsamlıdır. Değerlendirilebilir atıkların kaynağında ayrı toplanması, sınıflandırılması, fiziksel ve kimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye dönüştürülmesi işlemlerinin bütünü geri kazanım olarak adlandırılır. Geri dönüştürülebilir atıklardan yeni ürün ve malzemeler üretmek için en temel konu bu atıkların oluşturdıkları kaynakta temiz ve türlerine göre ayrılmış olarak biriktirilmesidir. Değerlendirilebilir atıklar, diğer atıklar ile karıştırılırsa kirleneceği için elde edilecek yeni ürünün kalitesi düşük olur. Bu nedenle geri dönüştürülebilir atıklar, diğer atıklardan yani çöplerden ayrı ve temiz olarak toplanmalıdır [Hürplastik, 2008].

Çevreye atılan maddelerin; biyolojik, iklim ve kimyasal etkilerle bozunması, diğer bir deyişle çevre tarafından özümlemesi istenmektedir. Bu maddeler kullanılıp atıldığında çevreye zarar vermemesi arzulanmaktadır. Çevresel etkileri açısından plastiklere baktığımızda, bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, UV ışınlarına dayanıklı olmaları ve doğada döngüyü sağlayan biyolojik aktivitelere karşı dayanıklı olmaları dolayısıyla doğada uzun süre bozunmadan kalabilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı doğayı kirletmekte ve geri kazanımı toplumsal gereklilik haline sokmaktadır. Son yıllarda artan sivil toplum örgütlerinin baskısı ve yeni kanunlar, bu gibi maddelerin geri kazanımını zorlamakta ve kaynakların etkin kullanımı konusuna yönlendirmektedir. Bu yüzden bu konudaki çalışmalar son yıllarda hızla artmaktadır [DPT, 2001; Erünsal, 2002].

3.1. Plastiklerin Geri Kazanımı

3.1.1. Plastik Atık Kaynakları

Plastiklere olan talebin artması atık plastik miktarında da artışa yol açmaktadır. Kullanım ömrünü dolduran plastikler, açık depolama alanlarında biriktirilmekte ve uzun süre (35–40 yıl) çeşitli kirlilikler oluşturmaktadır. Plastiklerin LCA (Life Cycle Assesment) değerlerinin yani doğada parçalanmaları için geçen ömürlerinin yüksek olması ve yeniden kullanım oranlarının düşüklüğü, atık plastik miktarını hızla arttırmaktadır. 2005 yılında sadece PVC'nin dünyada 250 milyon ton atık oluşturacağı hesaplanmıştır [DPT, 2001; Erünsal, 2002].

Atık plastikler, günümüzde dünya kamuoyunun üzerinde durduğu en önemli konulardan birisidir. Konunun önemi, plastiklerin geri dönüşümü ve enerji üretmek amacıyla değerlendirilmesi konularındaki araştırma ve geliştirme çalışmalarına hız kazandırmıştır. Gelişmiş ülkelerde atık plastiklerin geri kazanımı için atık yakma tesisleri kurulmuştur. Bu sayede hem atıklar ortadan kaldırılmakta hem de elektrik enerjisi üretilmektedir. Japonya'da endüstriyel ve evsel kaynaklardan gelen atık plastikler 1997'de yaklaşık 9,5 milyon tona ulaşmıştır. Bu miktarın %34'ü (yaklaşık 3,25 milyon ton) araziye gömülmemekte, kalan 6 milyon ton ise yakılmaktadır. Yakılan kısmın yaklaşık 2,8 milyon tonu elektrik üretiminde ya da ısı geri kazanımında kullanılmaktadır. Geri dönüştürülen miktar ilave edilse bile, %40'tan biraz fazlası ya da 4 milyon tonluk miktar ancak verimli olarak kullanılmaktadır [DPT, 2001; Ogaki ve diğ., 2001; Furukawa, 1998].

Atık plastiklerin miktarlarının azaltılması ve daha verimli bir geri dönüşümün sağlanması için Japonya ve Almanya'da atık plastiklerin yüksek fırına enjeksiyonu yöntemi geliştirilmiştir. Daha önce geliştirilmiş olan toz kömür, gaz ve fueloil enjeksiyonu yoluyla yüksek fırında kok tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır. Bu redükleyici elemanlar yerine plastik atıkların konulması çalışmaları 8–10 yıllık bir geçmişe sahiptir [Tucker ve diğ., 1999].

Plastik atıklar, kaynaklarına göre proses atıkları ve kullanım sonrası atıklar olarak iki sınıfta incelenebilir: Proses atıkları ve kullanım sonrası atıklar. Proses atıkları, plastik fabrikaları ve imalathanelerinde üretimler yapılırken üretilen malzemelerin soğuk yolluk atıkları, çapaklarının alınması veya üretim hatasından kaynaklanmaktadır. Bu şekilde oluşan atıklar toplam üretimin %10'u civarındadır

ve genel olarak temizdirler [Tan ve diğ., 2006].

Kullanım sonrası atıklarla ilgili birçok sınıflanma yapılmakla birlikte bunları oluşturdıkları sektörlere göre incelemek gerekmektedir. Bunlar, kentsel atıklar (süpermarketler, alış-veriş merkezleri ve ev atıkları vb.), ambalaj, ziraat, otomotiv, inşaat ve elektrik - elektronik atıkları olarak sınıflanabilir.

Kentsel atıklar içinde plastiklerden başka kağıt, metal, cam, inşaat, ziraat, tekstil vb. atıkları gibi katı atıklar da bulunmaktadır. Katı atıklar içinde plastikler gerek miktar olarak ve gerekse hacim olarak önemli bir yer tutmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde 1993 yılında yapılan bir araştırmaya göre, toplam kentsel atık içinde ağırlıkça %9'una yakın kısmını ve Brezilya' da 1992 yılında yapılan araştırmaya göre de toplam atık içinde plastik atıkların payının %13 civarında olduğu görülmüştür. Ülkemizde kentsel katı atıkların içinde ne kadar plastik olduğunu gösteren bir araştırma yapılmamıştır, kentlerde toplanan tüm katı atıklarla ilgili bazı rakamlar ileri sürülmekte ve bu rakamlara göre 1960'lı yıllarda üretilen atık miktarının yılda 3-4 milyon ton olduğu bugün ise yılda 15 milyon ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'de Ataköy projesi ve Bursa geri kazanım projesi gibi projeler sayesinde bugün kâğıt, plastik, metal ve cam gibi değerlendirilebilir atıklar %40–60 oranında toplanarak geri kazanılabilmektedir [Öztürk, 2005]. Plastik atıkların olduğu kaynaklarda, kentsel atıklar en büyük orandadır. Bu atıkların çeşitli plastiklerin karışımları olması sebebi ile bir kaynak olarak kullanılması bugüne kadar tam olarak çözülmemiş ve çözülmesi zor bir problem olarak görülmektedir.

Bu kaynağın sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için plastik katı atıkların diğer atıklardan ayrılması, ayrılmış olan plastik atıkların plastik türlerine göre birbirinden ayrılması ve ayrılan bu plastiklerin temizleme, kıyma vb gibi işlemlerle uygulanacak prosese hazırlanması gerekmektedir [Tan ve diğ., 2006].

3.1.2. Plastik Atık Geri Kazanımı

Kâğıt, metal, cam gibi katı atıkları oluşturan geri kazanım uygulamaları, günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu işler için toplama sektörleri oluşmuştur. Katı atıklardaki plastiklerde ise oluşan atığa göre ancak çok küçük oranlarda bölgesel değerlendirmeler yapılmaktadır [Tan ve diğ., 2006].

Kaynakların etkin kullanımına katkısı ve zamanımızda oluşan çevre bilincinin baskısı ile plastiklerin geri kazanım oldukça önemlidir. Bugüne kadar ekonomik uygulanabilir bir yöntem (kâğıt, metal ve cam sanayilerinde olduğu gibi) ortaya konulmadığından plastik atıkların giderilmesinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır [Öztürk, 2005].

Bu araştırmaların ekonomik itici gücünü her 100 kg atık haline gelmiş plastiğin %7,4'ünün geri kazanılması ile polimerin üretimde kullanılan enerji ve hammadde tasarrufunda toplam %22,1 tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca atıkların çevreyi kirletmemesi için; toplama, nakliye, araziye doldurma vb. gibi sarf edilecek değer de ilave edildiğinde değerlendirme proseslerinin yakın bir gelecekte ekonomik olarak uygulanacağı beklenmektedir. Proses ve kullanım sonrası oluşan atık plastiklerin değerlendirilmesi incelendiğinde dört ana yöntemin uygulandığı görülmektedir. Bunlar, birincil, ikincil, üçüncül ve dördüncül geri kazanım yöntemleridir. Bu yöntemlerin ayrıntıları aşağıda açıklanmıştır [UNEP, 1994].

3.1.2.1. Birincil Geri Kazanım

Bu yöntem genelde termoplastikler için kullanılmaktadır, asıl amaç atık plastiklerden, orijinal polimerlerden elde edilen ürünlere yakın eşdeğerde ürün elde etmektir. Birincil geri kazanım yönteminde atık plastikler mekanik kırıyıcılarla (Şekil 3.1) boyutları küçültülmekte, orijinal plastiklerle karıştırılıp tekrar işlenmektedir. Özellikle bu yöntemde proses atıklarının (imalat sırasında kalıptan çıkan maddelerin tıraşlanması vb. gibi oluşan plastikler) yeniden kullanılması ve kullanım sonrası atıklardan temiz olarak toplanabilen (toptan dağıtım merkezlerinde açılan büyük koli paketlenmelerinde kullanılan kirlenmemiş ambalaj plastikleri) atıklar kullanılmaktadır. Bu tip atıkların geri kazanılması ucuz olduğu kadar da basittir. Eğer plastikler herhangi bir madde ile (gübre torbalarındaki gibi) ya da dış etkiler ile (sera örtüleri) kirletilmiş ise, bunlara uygulanacak işlemler daha karmaşık ve pahalıdır. Atık plastiklerin bu yöntemde uygulanabilmesi için temel unsur, orijinal polimerden elde edilen ürüne eşdeğer özellikte ürün elde etmektir [UNEP, 1994].



Şekil 3.1 Plastik kırma makinesi [Hurplastik, 2008]

3.1.2.2. İkincil Geri Kazanım

Atık plastikten orijinal polimerden elde edilen ürüne eşdeğer olmayan ikincil kalitede mamul üretimine yönelik geri kazanımdır. Burada kullanım sonrası kirlenmiş plastik atıkların, eritilerek ekstruderden geçirilmesi esnasında temizleme, kurutma vb işlemlerden sonra bir kıyıcıyla küçük boyutlara getirilerek tekrar işlenmesidir. Bunlar genel olarak imalatla polimerin içine fazla katkı maddesi katılması ve sera örtüleri, gübre torbaları gibi kullanım sonrasında kirlenmeden dolayı kalitesinde düşmeler olan plastik atıklara uygulanmaktadır. İkincil geri kazanım ile elde edilen plastik atıklar genel olarak ikinci sınıf kalitesiz mamullerin üretiminde kullanılmaktadır [UNEP, 1994].

3.1.2.3. Üçüncül Geri Kazanım

Üçüncül geri kazanım, kimyasal geri kazanım olarak da tarif edilmektedir. Bu geri kazanımda temel amaç atık plastiklerden, plastiğin üretildiği polimerin monomerini, orijinal polimerini (veya daha düşük molekül ağırlıklı polimerini) ve diğer amaçlar için kullanılmak üzere çeşitli kimyasal maddelerin üretilmesidir (Şekil 3.2). Bu geri kazanımda plastik atıklar, ya kendi polimerinin üretimi için monomer üretmek üzere değerlendirilmekte, ya da hammadde ve ara madde olarak kullanılmak üzere çeşitli kimyasallara dönüştürülebilmektedir. Kimyasal geri kazanım yöntemi ile plastik atıkların geri kazanımı üzerinde dünyada son

yıllarda bir çok araştırma yapılmıştır ve yapılmaktadır [UNEP,1994].

3.1.2.4. Dördüncül Geri Kazanım

Plastik atıklardan ısı geri kazanmak için yapılan bir yakma işlemidir. Burada plastik atıklar yakılarak enerjisinden faydalanılmaktadır. Özellikle son yıllarda çıkan çevre kanunlar ve diğer yaptırımlar yüzünden en son düşünülmesi gereken bir yöntemdir. Diğer yandan atıkların yakılması sonucu meydana gelecek toksik özelliğe sahip gazlar yüzünden insan sağlığı açısından da mahsurlu bir yöntemdir. Ayrıca, bir takım üretimlerde potansiyel kaynak olarak kullanılabilecek böyle bir imkânın değerlendirilmesinde, yakıt olarak düşünülmesi en kötü değerlendirme olarak nitelenmektedir. Petrolün değerlendirilmesinde de benzer münakaşalar yapılmaktadır [Lacqueline, 1994].

Geri kazanım yöntemleri hakkında genel bir değerlendirme yapılacak olursa; birincil ve ikincil geri kazanımı ekonomik olarak avantajlı gözükmekle birlikte plastiklerin tekrar eritilip şekillendirilmesinde esneklik ve dayanıklılık gibi önemli olan niteliklerinde düşme olmaktadır. Bu yöntemler ile geri kazanımda sürekli aynı mamulü elde etmek mümkün olamamakta ve her işlemde ürün kalitesinde düşme olmaktadır. Bu yüzden birincil ve ikincil geri kazanım yöntemleri dezavantajlı gözükmektedir. Dördüncül geri kazanım yönteminde ise plastik atıkların yakılması kaynak israfı yanında yakma esnasında baca gazları ile sürüklenen furandioksin ve ağır metal buharları gibi zararlı etkileri bulunan gazların giderilmesi ve kontrolü pahalı yatırımlar gerektirdiğinden yakma en son düşünülmesi gereken bir yöntemdir. Bu yöntemler içinde geriye kalan en uygun yöntem üçüncül geri kazanımdır. Gerek çevresel ve gerekse ekonomik olarak çok sorunları olmasına rağmen gelecek vaat eden bir yöntem olduğundan dolayı bugün dünyada üzerinde en çok çalışılan bir yöntemdir [Herberg ve diğ., 1993].

Üçüncül geri kazanım yönteminin, diğer yöntemlere göre en dezavantajlı yönü halen ekonomik olarak kendini ispatlamış bir proses geliştirilememiş olmasıdır. Bunun yanında bu konuda dünyada hızlı gelişmeler olmaktadır. Üçüncül geri kazanım ile elde edilen katı, sıvı veya gaz ürünler rafineriler, kimya ve petrokimya fabrikalarında hammadde olarak kullanmak için bazı prosesler uygulama aşamasına gelmiştir ve hatta Almanya'da Veba Otel'in 40.000 ton/yıl kapasiteli bir lisansı vardır. Ayrıca, BASF 15.000 ton/yıl kapasiteli bir pilot uygulamaya başladığını açıklamış ve yapacağı araştırma geliştirme sonucunda bu

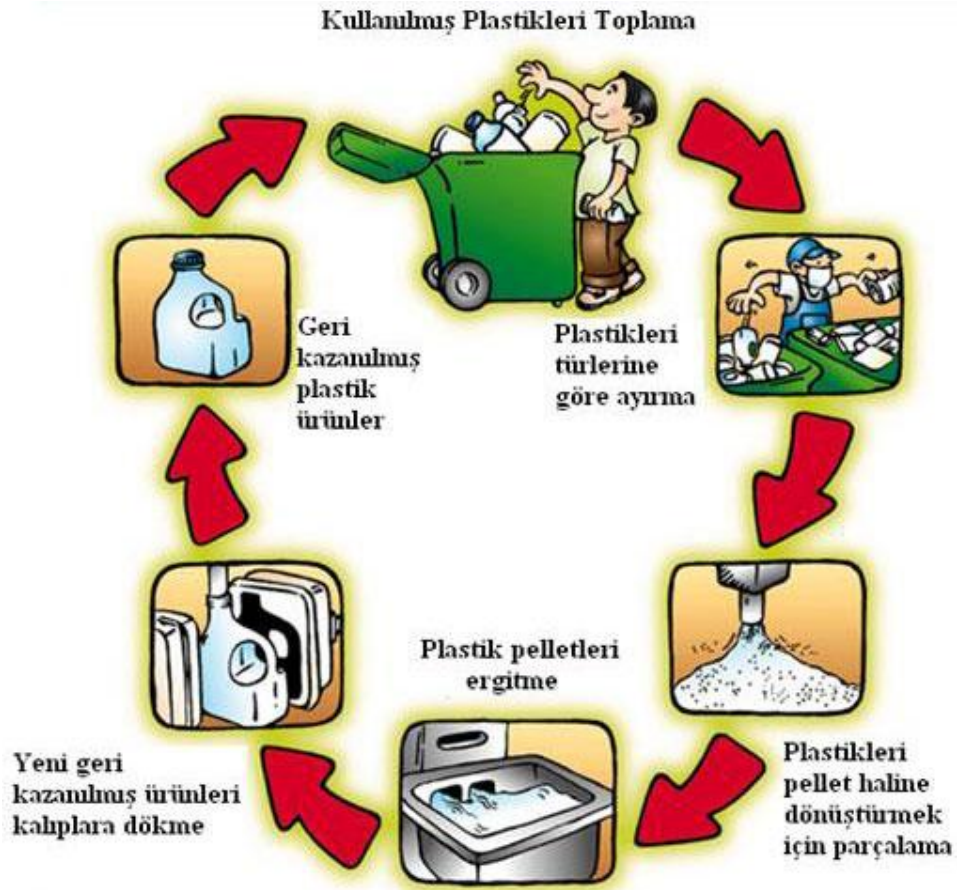
tesisin kapasitesini 300.000 ton/yıla çıkarmayı planlamaktadır. Almanya dışında da bu gibi gelişmeler olmaktadır. BP, ATO, DSM, Enichem ve FINE firmaları bir konsorsiyum oluşturarak bu konu üzerinde çalışmaktadırlar [UNEP,1994].

Yurdumuzda da geri kazanma uygulamaları genelde birincil ve ikincil geri kazanıma yöneliktir. Bunun yanında PET'in üçüncül geri kazanımı ile Poliol (sünger sanayinde temel girdi maddesi) üretimi için Sabancı Holding A.Ş. Adana'da bir fabrika kurmuş ve fabrikada deneme üretimi çalışması yapmaktadır. PET atıklarının bu tesiste Poliole dönüştürülmesi ile piyasadaki PET'lerin % 35'inin geri kazanılacağı hesaplanmaktadır [DPT,1994].

Plastiğin geri dönüşümden elde edilen bazı malzemeler şunlardır;

- Sera örtüsü,
- Otomotiv sektöründe plastik torba,
- Marley,
- Pis su borusu,
- Elyaf ve dolgu malzemesi,
- Araba yedek parçası yapımında
- Deterjan şişeleri, çöp kutuları ve benzeri ürünler
- Yağmursuyu ve atık su boruları
- Marley ve çeşitli plastik dolgu malzemeleri
- Çeşitli plastik oyuncak ve kırtasiye malzemeleri

oluşmaktadır [Hurplastik, 2008].



Şekil 3.2. Plastiklerin geri kazanımı [Tan ve diğ., 2006]

3.2. Geri Dönüşümün Faydaları

3.2.1. Doğal Kaynaklar

Doğal kaynaklarımız, dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynakların verimli olarak kullanılması gerekmektedir. Ormanlar, su, petrol vb. doğal kaynaklarımızın üretim sürecinde kullanılması sonucu, cam, metal, plastik ve kağıt/karton ambalajlar elde edilmektedir. Piyasaya sürülen ambalajların atık haline geldikten sonra, türlerine göre ayrılıp geri dönüşüm sanayine sevk edilmesi sonucu, geri dönüştürülmüş malzemeler çeşitli ürünlerin üretim aşamasında ikincil hammadde olarak kullanılmaktadır. Böylece doğal kaynaklarımız daha az kullanılarak, doğaya katkı sağlanmış olmaktadır. Örneğin; 1 ton kâğıdın geri dönüşüme katılması sonucu 17 ağacın kesilmesi önlenmektedir. Plastik ambalaj atıklarının geri kazanılması sonucu ise petrolden tasarruf sağlanabilmektedir.

Dönüşen her ton cam için, 100 litre petrol tasarrufu sağlanır [Çevko, 2009].

3.2.2. Enerji Tasarrufu

Geri dönüşüm, malzeme üretiminde endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlar. Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde bu metaller direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünden, bu metallerin üretimi için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırılma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde bir alüminyum kutunun geri dönüşümünden, ham maddeden ürün elde etmeye göre, % 95 oranında enerji tasarrufu sağlanabilir. Benzer şekilde katı atıklarda ayrılan kağıdın yeniden işleme sokulması için gerekli olan enerji normal işlemler için gerekli olanın % 50'si kadardır. Ayrıca %45 oranında su tasarrufu sağlanır. Aynı şekilde cam ve plastik atıkların da geri dönüşümünden önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilir [Çevko, 2009]. 1 Ton plastik ambalaj atığının geri dönüşümü sonucunda 14000 kwh enerji tasarrufu sağlanmış olur. Ülke genelinde tasarruf edebilecek enerji miktarı yıllık 4 Milyon Megavattır [Wikipedia, 2009].

3.2.3. Ekonomiye Katkı

Geri dönüşüm uzun vadede verimli bir ekonomik yatırımdır. Hammaddenin azalması ve doğal kaynakların hızla tükenmesi sonucunda ekonomik problemler ortaya çıkabilmektedir. Geri dönüşümün bu noktada ekonomi üzerinde olumlu etkileri olabilmektedir. Enerji ve Doğal Kaynakların tüketiminin azaltılması ülke ekonomisi için de büyük önem arz etmektedir. Ayrıca dışarıya bağımlı olduğumuz petrol gibi hammaddelerin tüketiminin azalması sonucu paramız yurtiçinde kalmakta ve ekonomimiz daha iyiye gitmektedir. Geri dönüşüm sonucu oluşan sentetik elyaf gibi ürünlerimizi de yurtdışına satarak ülkemize döviz girişi sağlanmaktadır [Çevko, 2009].

3.2.4. Atık Miktarı

Geri dönüşümün uygulanması ile çöplere giden atık miktarında azalma sağlanarak bu atıkların taşınması ve depolanması işlemleri için daha az miktarda alan ve enerji kullanılmış olur. Evsel atıkların yaklaşık yoğunluğu $0,6 \text{ kg/m}^3$ iken, ambalaj atıklarının yoğunluğunun yaklaşık $0,3 \text{ kg/m}^3$ olduğu görülmektedir. Evsel atıklar için bu azalma ağırlık olarak fazla olmamakla birlikte, hacimsel olarak

bakıldığında oldukça önemli bir oran teşkil etmektedir. Yapılan toplama operasyonlarında evsel atıklar yaklaşık %75-80 oranında sıkıştırılabilirken, ambalaj atıklarında bu oranın yaklaşık %25 olduğu tespit edilmiştir. Ambalaj atıklarını geri kazanılması ile daha fazla evsel atık toplama araçlarında toplanabilmekte, bu durumda toplama ve taşıma maliyetlerini düşürmektedir. Depolama sahalarına daha az gideceğinden, çok yüksek maliyetlerle inşa edilen depolama alanları daha uzun sürelerle kullanılabilir [Çevko, 2009].

3.2.5. Gelecek

Üzerinde yaşadığımız dünyanın bize sağlamış olduğu doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılması, gelecek nesillerin de kaynak sıkıntısı çekmemesi için önem arz etmektedir. Biz bu dünyanın doğal kaynaklarını ne kadar tasarruflu kullanırsak; bizden sonraki nesiller de o kadar az kaynak sıkıntısı çekecek ve gelecek kuşaklar da doğal kaynaklardan yararlanma olanağı bulacaktır. Bunun yanı sıra ülkemizde geri dönüşüm sektörü her geçen gün gelişmektedir. Bu gelişim, yeni tesislerin kurulmasını ve yeni iş imkânlarının oluşmasını sağlayacaktır [Çevko, 2009].

3.3. Geri Dönüşüm Plastikleri

Polietilen (PE) :Çamaşır suyu, deterjan, şampuan, motor yağı şişeleri, çöp torbaları ve bunun gibi bir çok ambalaj bu tür malzemeden yapılır. Geri dönüştürülmüş PE ise yine benzer amaçlarla kullanılabilir.

Polipropilen (PP) :Bu malzeme türünden, deterjan kutu kapakları, margarin kapları gibi malzemeler üretilir. Geri dönüşümü ile sentetik halı tabanı, çeşitli plastik oyuncak, kırtasiye malzemeleri ve benzeri ürünler imal edilebilir.

Polistiren (PS) :Çoğunlukla yoğurt ve margarin kapları bu malzemeden üretilir. Geri kazanılmış PS' den de yalıtım malzemesi, çeşitli mutfak gereçleri ile muhtelif levhalar üretilmektedir.

Beyaz granüllü geri dönüşüm malzemesi, beyaz plastik ürünlerin geri dönüşümü ile elde edilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Beyaz granüllü geri dönüşüm malzemesi [Hurplastik, 2008]

Siyah granüllü geri dönüşüm malzemesi ise karışık ve renkli hurda plastikten elde edilir (Şekil 3.4). Renklendirmelerde herhangi kimyasal reaksiyon olmaz. Renklendirme tamamen fizikseldir [Hurplastik, 2008].

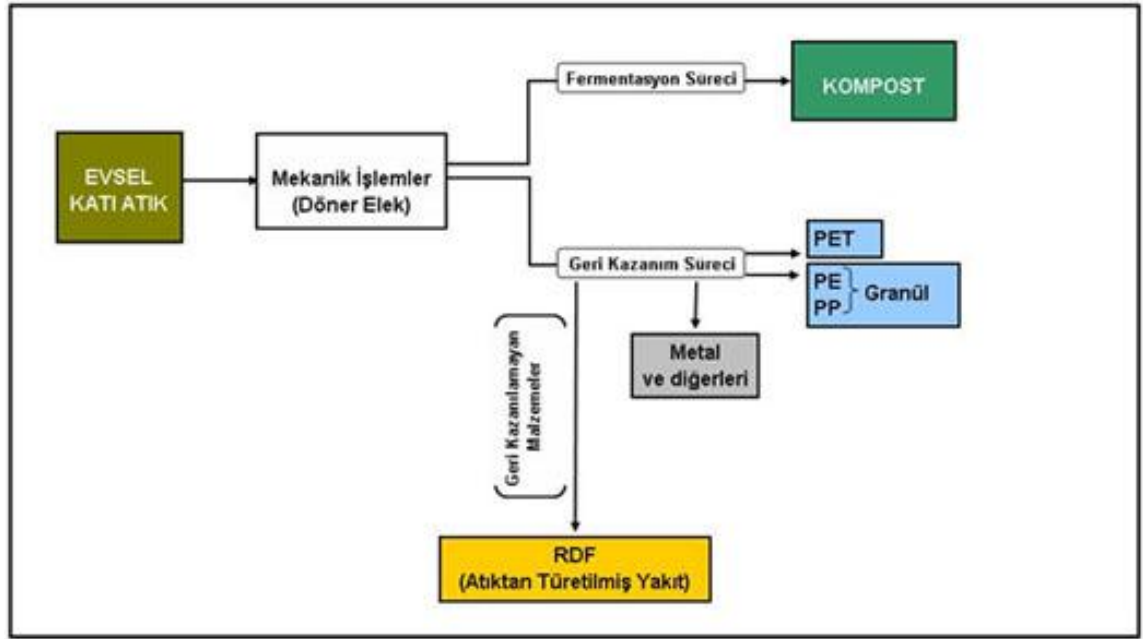


Şekil 3.4 Siyah granüllü geri dönüşüm malzemesi [Hurplastik, 2008]

3.4. Atıkların Geri Dönüşümü ile İlgili Yeni Çalışmalar

105G108 no'lu "Geri Dönüşümlü Plastik Atıkların Granül Ürüne Dönüştürülmesi ve Geri Dönüştürülemeyen Diğer Atıkların Çimento Fabrikalarında Ek Yakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması" konulu TÜBİTAK Projesi kapsamında, ayırma ünitesinden çıkan ve geri dönüştürülemeyen (mevcut sistemde depolama alanlarına gönderilen atıklar) atıklardan RDF (Atıktan Türetilmiş Yakıt) malzeme üretilmesi ve bu malzemenin çimento fırınlarında ek yakıt (fosil yakıtlar yerine) olarak kullanılması amacıyla Kemerburgaz Kompost ve Geri Kazanım Tesisinde parçalayıcılar ve separatörden oluşan bir RDF (Atıktan Türetilmiş Yakıt Üretim) tesisi kurulmuştur. Nihai olarak elde edilen parçalanmış atıklardan oluşan ve kalorifik değeri yaklaşık 4000 kcal/kg olan atıklar çimento fabrikalarında kullanılacak fiziksel büyüklüğe indirilmek üzere son parçalayıcıda kıyılarak hazır hale getirilmektedir. 3100 m²'lik alana kurulmuş olan tesis, 20-25 ton/saat kapasiteye sahiptir. Tamamen İSTAÇ mühendisleri tarafından dizayn edilerek kurulan bu tesis sayesinde depolama alanlarına gönderilen atık miktarı azalmış, nakliye ve depolama masraflarından tasarruf sağlanmış, böylece depolama alanlarının ömrü uzatılmıştır. Bu sistemle atıklar depolamaya göre daha çevre dostu bir yöntemle bertaraf edilmektedir (Şekil 3.5))ve nihai ürün ekonomik olarak değerlendirilebilmektedir. İSTAÇ A.Ş. tarafından işletilen Kemerburgaz Kompost

ve Geri Kazanım Tesisi ayırma ünitesinde ayrılan geri dönüşümlü plastik atıkların ekonomik değerinin artırılması amacıyla PE (Polietilen), PP (Polipropilen) ve PET türü plastik atıklar için 2 hattan oluşan (kırıcı ve yıkama havuzları) bir granül tesisi kurulmuştur. 1400 m²'lik alana kurulan tesiste atık plastikler temizleme, kırma, öğütme, eritme aşamalarından sonra granül haline getirilmektedir. Tesis kapasitesi 5 ton/gün'dür. Kurulan bu tesis ile plastiklerin daha küçük boyutlara getirilerek hammadde olarak kullanımları sağlanmış ve ekonomik değerleri artırılmıştır [İSTAÇ, 2009].



Şekil 3.5 Atık plastiklerin çimento fırınında alternatif yakıt olma projesi [İstaç, 2008]

4. LİTERATÜR TARAMASI

4.1. Benzer ve Kullanılan Çalışmaların Özetleri

Plastik malzemelerin geri dönüşümü üzerine yapılan literatür taramasında;

- Geri dönüşümlü ve saf PP malzemesinin kırılma davranışları [Aurrekoetxea, 2003],
- Fiber katkıların PP malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkileri [Santos ve diğ., 2003],
- Cam elyaf katkılı ve geri dönüşümlü PA6 malzemesinin çeşitli oranlarda ve tekrarlanan geri dönüşüm proseslerinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri [MasPOCH ve diğ., 2003],
- Geri dönüşümlü yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polistiren (PS) katkılı malzemelerin kalıntı gerilmeler ve mekanik özellikler üzerinde etkileri [Altan, 2007],
- PA6 cam elyaf katkılı malzemenin çeşitli oranlarda ve tekrarlanan geri dönüşümünün mekanik özelliklere etkileri [Eurotec, 2009],

konuları üzerinde yoğunlaşmıştır.

Plastik parçanın mekanik özelliklerini esasen kullanılan polimerin özellikleri belirlemesine rağmen, enjeksiyon parametrelerinin de nihai ürün mukavemeti üzerinde etkisi vardır [Avelar-Batista ve diğ., 2006; Tomori ve diğ., 2002; Ishiaku ve diğ., 2005]. Bundan dolayı soğuma süresi, enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı, gibi enjeksiyon parametreleri plastik ürünün çekme dayanımı, eğilme dayanımı, sünekliği gibi mekanik özelliklerini etkiler[Özbay, 2008].

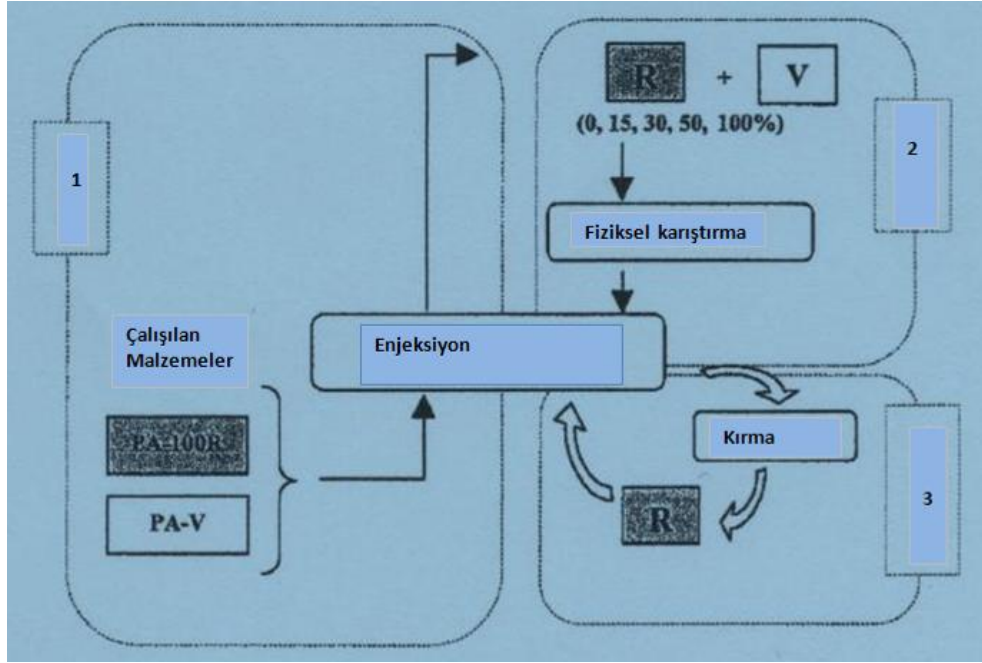
Artan talepler doğrultusunda geri dönüşüm malzeme kullanımına gidilmiş fakat bunun sonucunda malzemelerin termo-mekanik özelliklerinde düşüş olduğu tespit edilmiştir. Geri dönüşümlü malzemedede termal, mekanik (çekme, eğme ve darbe testleri), morfolojik özellikler incelenmiştir. Orijinal PA6 malzemesine %15,30 ve 50 oranlarında geri dönüşüm malzeme karıştırılmış ayrıca geri dönüşüm işlemi 3 kez tekrarlanmıştır (Şekil 4.1). Bunlara ek olarak bu çalışmada fiber katkıların da etkisi incelenmiştir [MasPOCH ve diğ., 2003].

Plastik işleyen firmalarda odaklanacak noktalar; spek dışı malzemeler, yolluklar, çapaklar, üretim firelerinin azaltılması ve ürün haline gelemeyen bu malzemelerin geri dönüştürülerek tekrar kullanılması olmuştur. Plastik malzeme pazarında farklı kalitelerde geri dönüşüm malzemeler bulunmaktadır. Genel endüstriyel uygulamalarda orijinal malzemeye belirli oranlarda geri dönüşüm malzemesi katılmaktadır. Geri dönüşüm işlemi polimer zincirini bozarak malzemenin mekanik özelliklerinde düşüğe neden olmaktadır [Ehrig, 1992; Brandrup, 1996; Scheirs, 1998].

Maspoch tarafından yapılan çalışmada kullanılan farklı karışımdaki plastik malzemelerin bilgileri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan malzemelerin geri dönüşüm özellikleri [Maspoch ve diğ., 2003]

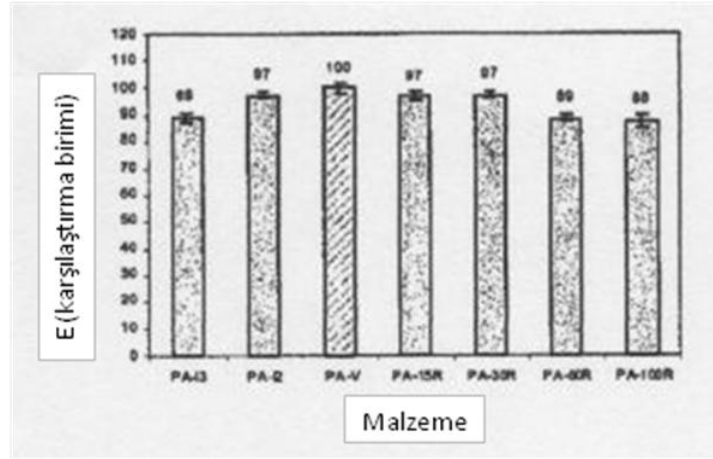
Kod	Açıklama
PA-V	Orijinal PA6
PA-15R	%15 PA-100R + %85 PA-V Karışımı
PA-30R	%30 PA-100R + %70 PA-V Karışımı
PA-50R	%50 PA-100R + %50 PA-V Karışımı
PA-100R	%100 geri dönüşümlü PA-V
PA-I2	2 kez geri dönüşümlü PA-V
PA-I3	3 kez geri dönüşümlü PA-V



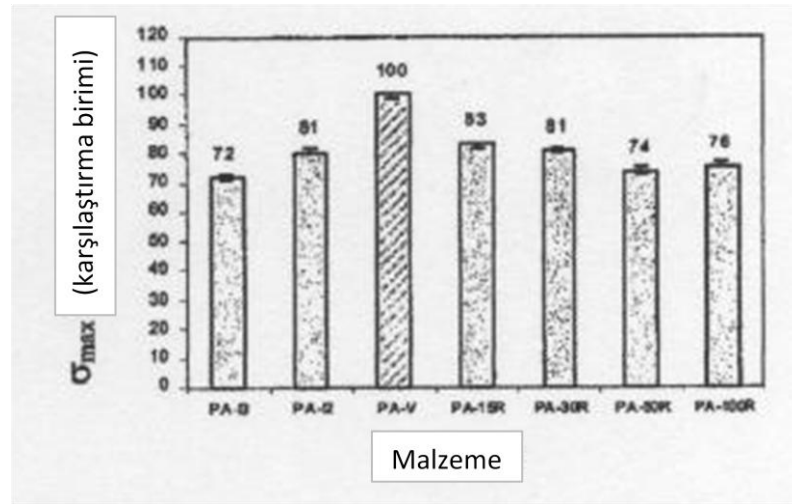
Şekil 4.1 Geri dönüşüm numune hazırlama prosesi [MasPOCH ve diğ., 2003]

Geri dönüşüm malzeme yüzdesi arttıkça Şekil 4.2-4.7’de görülen mekanik özellikler doğrusal olarak azalmaktadır. PA-50R karışımında görüldüğü gibi maksimum çekme, darbe mukavemeti ve elastisite modülü değerleri PA-100R ile PA-V değerlerinin ortalaması gibidir. 3 kez geri dönüşüm yapılmış malzemede maksimum çekme gerilmesinde (Şekil 4.3) %28 ve elastisite modülünde (Şekil 4.2) %11 kayıp bulunmaktadır. Kopma uzamalarında (Şekil 4.4) ise PA-I3 PA-I2’den daha büyük çıkmıştır [MasPOCH ve diğ., 2003].

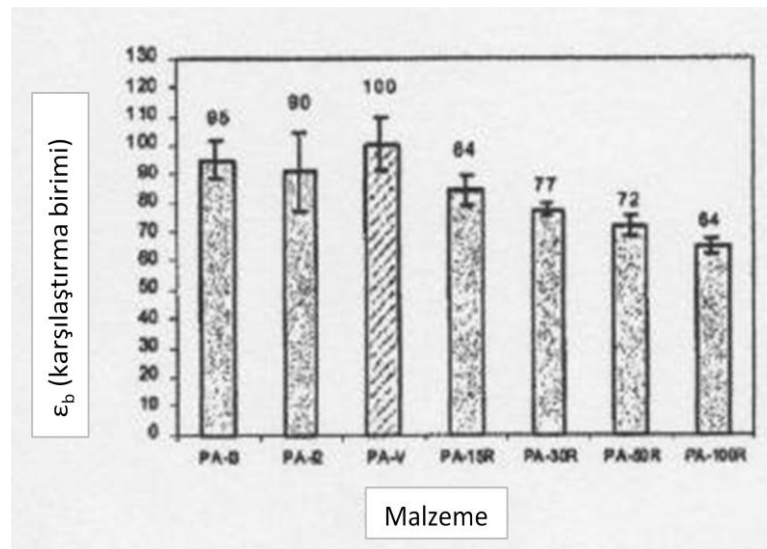
Geri dönüşüm sayısı ve katkı miktarlarının artmasıyla mekanik özelliklerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. En önemli fark darbe mukavemetinde gözükmemektedir (Şekil 4.5). PA-100R malzeme PA-V’ye oranla %31 oranında kayba uğramıştır. Üç kez geri dönüşüm işlemi tekrarlanan malzeme ise % 16 kayba uğramıştır [MasPOCH ve diğ., 2003].



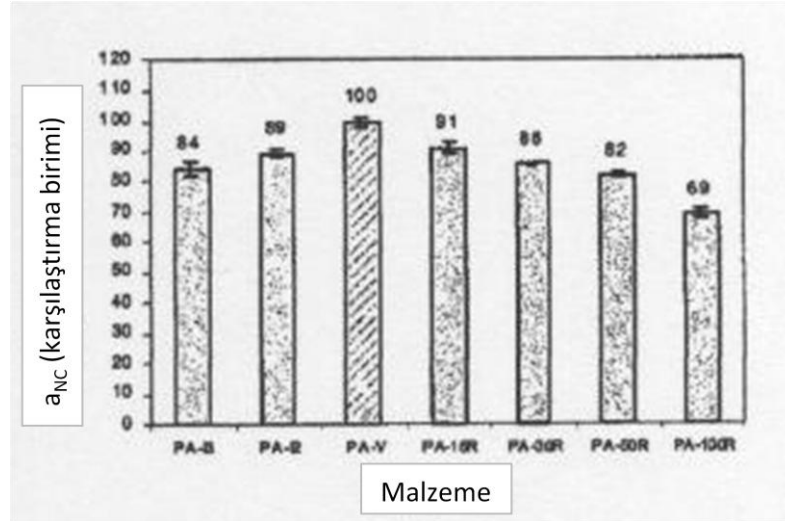
Şekil 4.2 Elastisite modülü [MasPOCH ve diğ., 2003]



Şekil 4.3 Maksimum çekme gerilmesi [MasPOCH ve diğ., 2003]

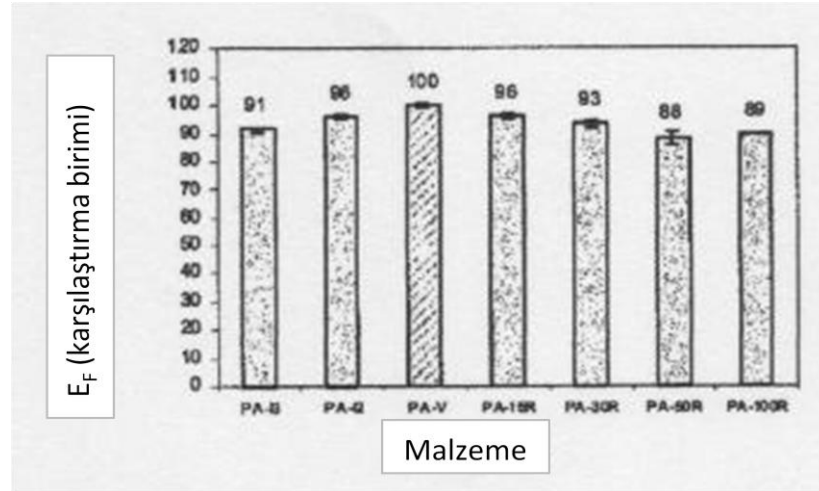


Şekil 4.4 Kopma uzaması [MasPOCH ve diğ., 2003]

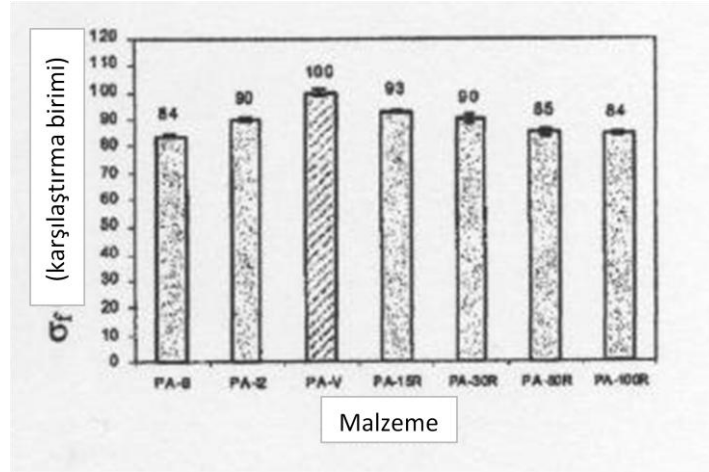


Şekil 4.5 Darbe mukavemeti [MasPOCH ve diğ., 2003]

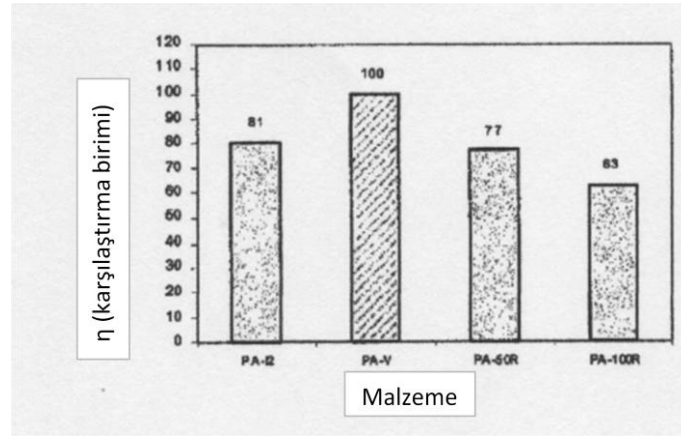
Şekil 4.6-4.7’de görüldüğü gibi, eğme testi sonucunda çekme testine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Viskozite değeri PA-100R malzemede %37 kayba uğramıştır. Şekil 4.8-4.9’da görülen viskozite ve MFI değerleri PA-50R için beklenildiği gibi PA-V ve PA-100R arasında çıkmıştır [MasPOCH ve diğ., 2003].



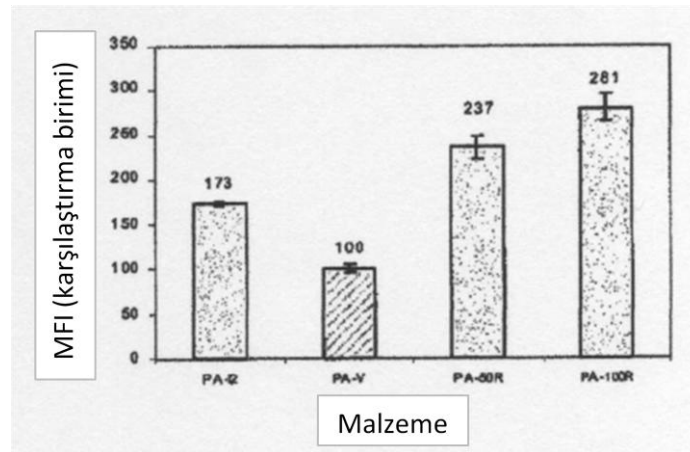
Şekil 4.6 Elastisite modülü [MasPOCH ve diğ., 2003]



Şekil 4.7 Eğilme Mukavemeti [MasPOCH ve diğ., 2003]



Şekil 4.8 Viskozite [MasPOCH ve diğ., 2003]

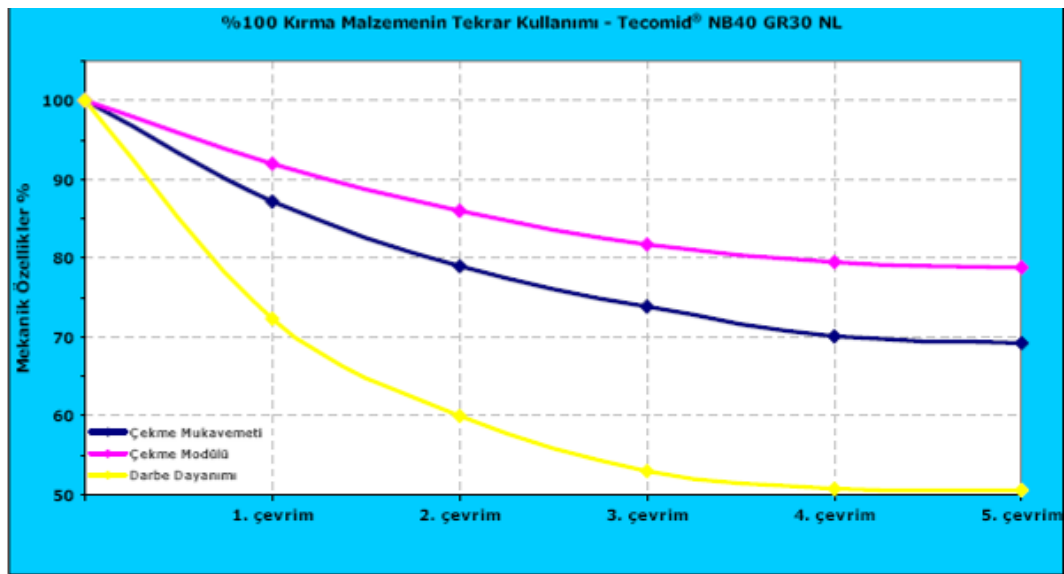


Şekil 4.9 MFI değerleri [MasPOCH ve diğ., 2003]

Viskozitelerde PA-100R için %19 kayıp olmuştur. Bunun nedeni polimerin molekül ağırlığının azalmasıdır. Kalıplanan parçalarda da bundan dolayı mekanik özellikler azalmaktadır. Akışkanlıkta hem proses sayısının artması hem de katkı

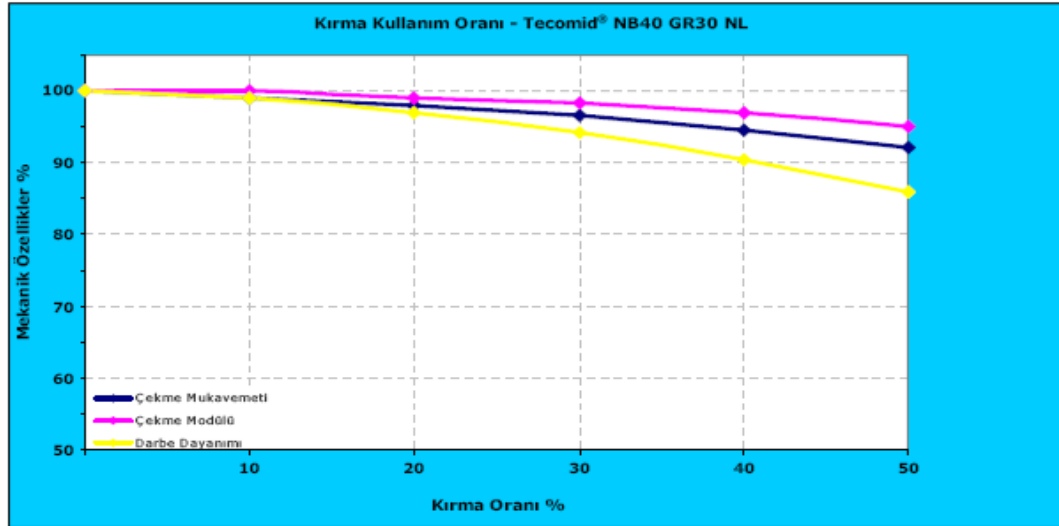
miktarının artması artışa neden olmuştur. Geri dönüşüm miktarı ve geri dönüşüm işlem sayısı arttıkça mekanik özellikler azalmaktadır. En hassas özellikler maksimum çekme gerilmesi, kopma uzaması ve darbe mukavemetidir. Geri dönüşüm malzeme orijinal malzemeye göre daha akıcı olmaktadır. Geri dönüşüm proseslerinin tamamında en iyi kombinasyon %30 ile yapılan karışımlarda gözlemlenmiştir [MasPOCH ve diğ., 2003].

Benzer bir çalışmada PA 6 %30 cam elyafı malzemenin 100% kırmasının geri dönüşüm çevrimlerinin mekanik özelliklerine etkisi Şekil 4.10'da yer almaktadır. Burada saf hammaddenin her bir özelliği 100 olarak alınmıştır.



Şekil 4.10 Geri dönüşüm çevrimlerinin mekanik özelliklere etkisi [Eurotech, 2009]

Görüleceği üzere cam elyafı bir malzemenin mekanik özellikleri 1. çevrimde %10 - %30 arasında azalırken, 5. çevrimde yarıya kadar inmektedir. Bu bilgiler ve yukarıdaki tavsiyeler ışığında geri dönüşümlü malzeme saf hammaddeye belirli oranlarda karıştırılabilir. PA 6 %30 cam elyafı malzemenin, geri dönüşüm karışım oranlarının, malzemenin mekanik özelliklerine etkisi Şekil 4.11'de görülmektedir [Eurotec, 2009].



Şekil 4.11 Geri dönüşüm kullanım oranlarının mekanik özelliklere etkisi [Eurotech, 2009]

Mekanik özellikler, karışım oranı %20'ye kadar çok fazla etkilenmemekle birlikte, %30'dan sonra ciddi bir azalma eğilimine girmektedir. Geri dönüşümlü malzeme kullanımı yalnızca mekanik özelliklere değil, üretilen ürünün ısısal, elektriksel, görsel ve boyutsal özelliklerine de olumsuz etkiye bulunabilir. Üründe oluşan siyah nokta (benek), yanık, soyulma, renk dalgalanması ve solması, kırılabilirlik, çöküntü ve koku gibi problemlerin kaynağı, kullanılan geri dönüşüm malzemenin kalitesi ve yanlış kullanım oranı olabilir. Eğer elde bulunan kırma malzeme kendi asıl hammaddesi ile karıştırılma imkanına sahip değilse, farklı tipte polimerler ile beraber karıştırılıp kullanılabilirler. Burada dikkat edilmesi gereken konu, bu farklı tipte polimerlerin birbirleri ile uyumlu karışım göstermesidir. Çizelge 4.2'de polimerlerin birbiri ile uyum sağlaması konusunda yol gösterici olarak kullanılabilir [Eurotec, 2009].

Çizelge 4.2 Farklı tipte polimerlerin birbirleri ile uyumu [Eurotech, 2009]

	ABS	ASA	CA	EVA	PA	PBT	PC	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPO	PS	PVC	SAN	TPU
ABS	2	2	2	0	1	2	2	0	1	2	0	0	1	1	2	2	2
ASA	2	2	2	2	0	2	2	0	1	2	0	0	1	1	2	2	2
CA	2	2	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
EVA	0	2	1	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0
PA	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2
PBT	2	2	2	0	0	2	2	0	2	1	0	0	1	0	0	2	1
PC	2	2	0	0	0	2	2	0	2	2	0	0	1	1	2	2	2
PE	0	0	0	2	1	0	0	2	0	1	1	2	0	0	1	0	1
PET	1	1	0	0	0	2	2	0	2	1	0	0	1	0	0	2	1
PMMA	2	2	0	0	0	0	2	1	1	2	0	0	1	1	1	2	2
POM	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1
PP	0	0	0	2	1	0	0	2	0	0	1	2	0	0	1	0	1
PPO	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	2	2	0	1	1
PS	1	1	0	2	0	0	1	0	0	1	1	0	2	2	1	1	1
PVC	2	2	2	0	0	0	2	1	0	1	1	1	0	1	2	2	2
SAN	2	2	2	0	0	2	2	0	2	2	0	0	1	1	2	2	2
TPU	2	2	2	0	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2

2 : iyi uyuşma // 1 : sınırlı uyuşma – düşük oranlar tavsiye edilir // 0 : kötü uyuşma

PET yüksek performansı, düşük fiyatı ve geri dönüştürülebilirliği ile endüstride en yaygın kullanılan fiber malzemesidir [Hobbs ve diğ., 2000]. Özellikle ambalaj sektöründe şişe malzemesi olarak çok fazla kullanılmakta ve yüksek miktarlarda geri dönüşümü yapılmaktadır. Deterjan kutusu, ip, vakum termoform parçalar, halı ve kilim yapımında da kullanılmaktadır.

PET katkısı polimerlerde mekanik özelliklerde belirgin bir artışa neden olmaktadır. Özellikle çekme gerilmesi ve elastisite modulünü arttırmaktadır [Bijstrebosch ve diğ., 1995; Doshi ve diğ., 1989].

Çizelge 4.3'te mekanik özellikleri görülen PP malzeme, tek vidalı ekstruderle homojen karıştırılmış ve bu malzemeden % 3-5-7 oranlarında fiber katkılı hammadde hazırlanmıştır. Karışım, % 10 fiber katkısı hammadde de kırılmalara neden olduğundan % 7 ile sınırlandırılmıştır [Santos ve diğ., 2003].

Çizelge 4.3 Çalışmada kullanılan PP için mekanik ve fiziksel özellikler [Santos ve diğ., 2003].

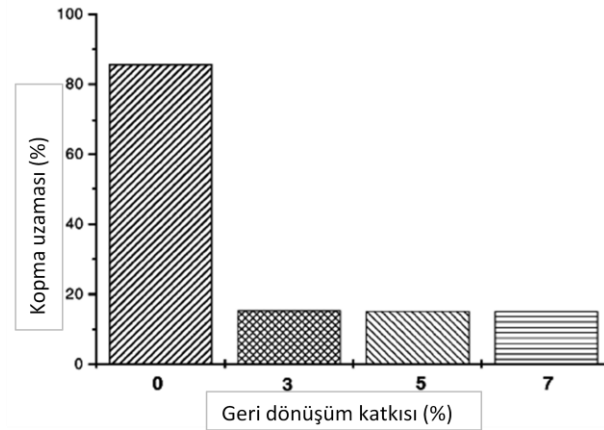
Çekme Gerilmesi (MPa)	Eğilme Gerilmesi (MPa)	Yoğunluk	MFI (g/10 dk.)	Vicat Yumuşama Sıcaklığı (°C)	IZOD Darbe Mukavemeti (J/m)
32	1,15	0,905	20	152	25

Çekme testi sonuçları Çizelge 4.4'teki gibi gerçekleşmiştir. Çekme mukavemetinde çok belirgin bir artış görülmemiştir. % 5 fiber katkılı PP malzemenin çekme mukavemeti değeri % 3,7 oranında artmıştır.

Çizelge 4.4 Çekme Gerilmesi Ölçümleri [Santos ve diğ., 2003]

Fiber Katkısı (%)	Çekme Gerilmesi (MPa)
0	30,82
3	31,22
5	31,97
7	31,64

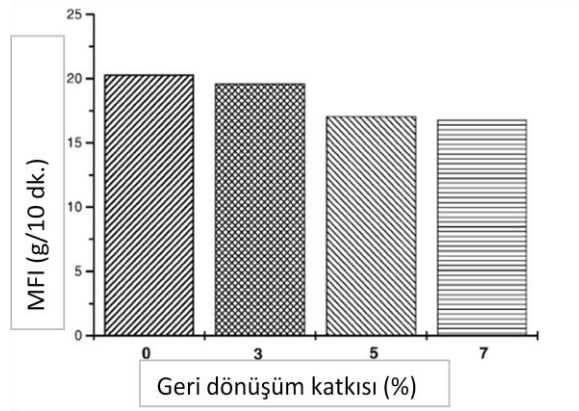
Şekil 4.12'de kopma uzamaları gösterilmektedir. Geri dönüşüm PET katkısı kopma uzamasını dramatik olarak % 82 oranında düşürmektedir.



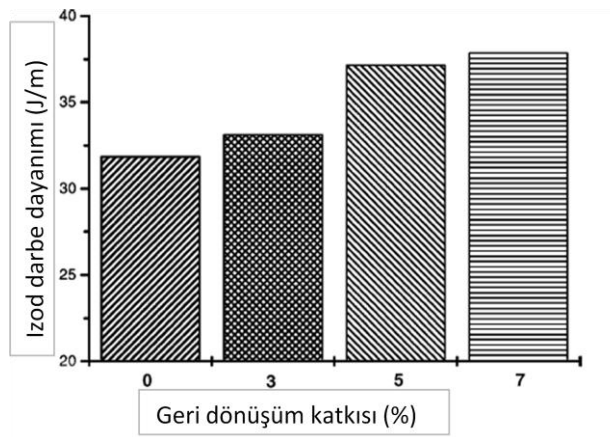
Şekil 4.12 Geri dönüşüm katkısının kopma uzamasına etkisi [Santos ve diğ., 2003]

Şekil 4.13'te eriyik akış indeksindeki değişim görülmektedir. Geri dönüşüm PET malzeme oranı arttıkça karışımın MFI değeri o oranda doğrusal olarak azalmaktadır. En büyük düşüş % 7 oranında geri dönüşüm katılan karışımda görülmektedir. Bunun sebebi ölçüm sıcaklığında katkı malzemenin tam erimediğinden akışa engel teşkil etmesidir [Hobbs ve diğ., 2000].

Şekil 4.14'te ise izod darbe test sonuçları görülmektedir. En büyük artış bu sonuçlarda elde edilmiştir. PP ve PET iyi birleşmemesine rağmen düşük katkı oranlarında daha iyi sonuçlar vermektedir [Santos ve diğ., 2003].



Şekil 4.13 Geri dönüşüm katkısının eriyik akışına etkisi [Santos ve diğ., 2003]



Şekil 4.14 Geri dönüşüm katkısının kopma uzamasına etkisi [Santos ve diğ., 2003]

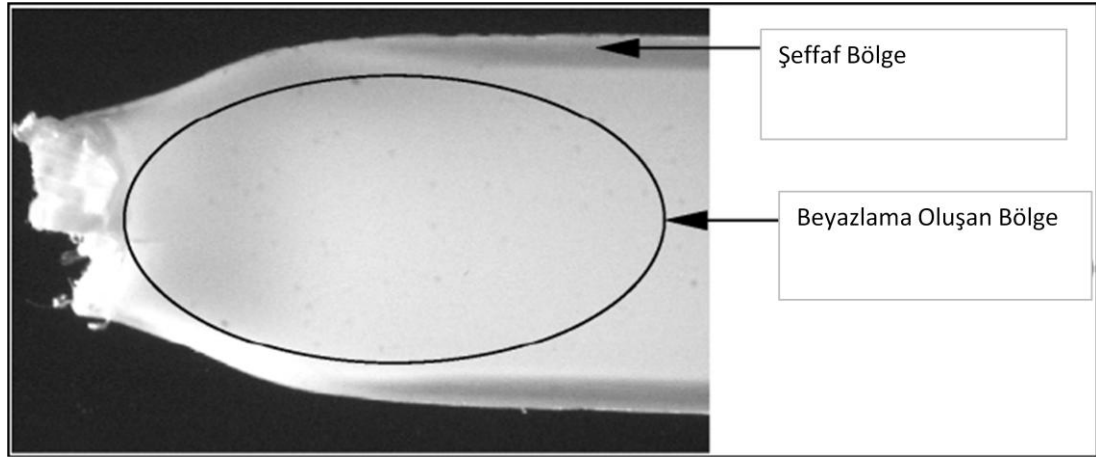
Mikrosertlik ve kristallenme derecesi kırılma ile doğrudan ilgilidir. Çatlak başlangıcında saf PP, geri dönüşüm PP ye göre yüksek mikrosertlik ve büyük plastik deformasyon göstermektedir. Bu iki farklılık geri dönüşümlü PP nin yüksek kristallenme derecesindendir [Aurrekoetxea, 2003].

Altı kez geri dönüşümlü PP, saf PP ye göre daha kötü kırılma özellikleri göstermektedir. Mikroskobik kırılma davranışları ve mekanik özellikleri kırılma davranışlarındaki farklılıkları açıklıyor. Kırılma yüzey analizleri kırılma yüzeyi boyunca farklılıkları ortaya koymaktadır [Aurrekoetxea, 2001].

Plastiklerin kırılma özellikleri ve kırılma mikromekanizması iki prensipten etkilenmektedir. Birincisi dış etkiler (sıcaklık, gerinim oranı, çatlak geometrisi,

yüklemeye tipi ve çevre), ikincisi ise kristal yapı, kristallenme derecesi ve süper moleküler yapı gibi mikro yapısal parametrelerdir[Aurrekoetxea, 2001].

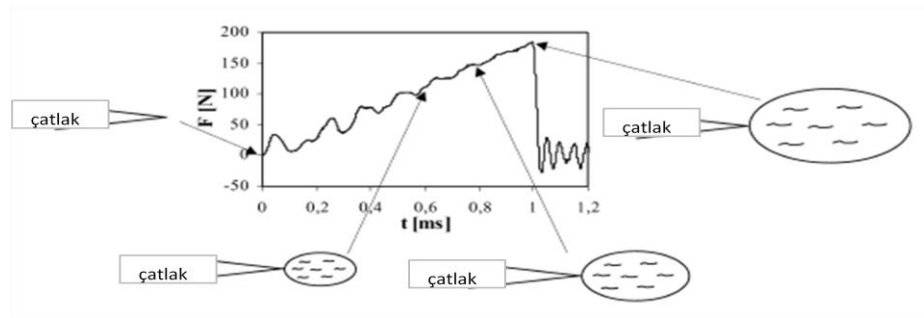
Liu tarafından yapılan çalışmada çekme testinde yüzeyde ve iç kısımlarda farklı deformasyonlar ve kırılma mikromekanizmaları gelişmiştir. Saf PP ve geri dönüşümlü PP’de iç kısımlarda beyazlama ve yüzeyde şeffaflaşma görülmüştür. Beyazlamalar çatlaklar ile beraber gözlenmiştir. [Liu, 1997].



Şekil 4.15 Çekme testi sonrası numunede görülen bölgeler [Aurrekoetxea, 2003]

Fujiyama tarafından yapılan çalışmada PP malzemelerde kırılma; yüzeylerde düşük uzama ile iç kısımlarda ise yüksek uzama oranları ile oluşmuştur. Yüzeyde moleküler yönlenmenin yüksek olmasından dolayı akma esnasında kırılma oluşmuştur [Fujiyama, 1998].

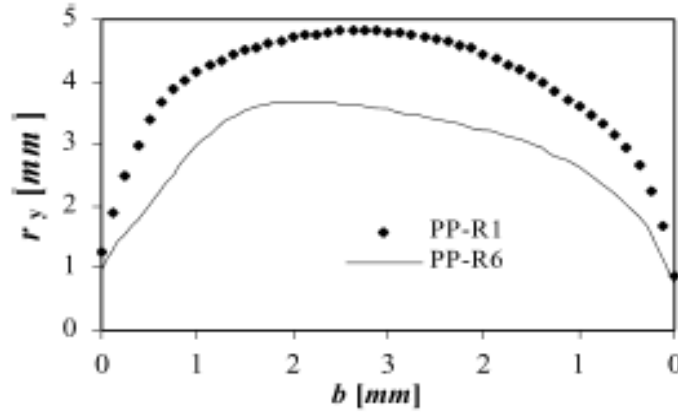
Kırılma, çatlakların oluşmasıyla beraber gerçekleşmiştir. [Aurrekoetxea, 2001].



Şekil 4.16 Kırılmada kuvvet-zaman eğrisi [Aurrekoetxea, 2003]

Dış yükün artmasıyla kırılmada oluşan plastik deformasyon alanının gelişmesi Şekil 4.16’da görülmektedir. Plastik bölgenin büyümesi ile stabil olmayan deformasyon ve kırılma oluşmuştur [Aurrekoetxea, 2003].

Optik mikroskopla kırılma sırasında oluşan plastik deformasyon alanı ölçülmüştür. Saf PP'de plastik deformasyon alanı geri dönüşümlü PP'ye göre daha büyük gözlemlenmiştir (Şekil 4.17). Bunun nedeni düşük kristallenme derecesi ile açıklanmıştır [Aurrekoetxea, 2003].



Şekil 4.17 Saf PP ve geri dönüşümlü PP'de plastik deformasyon alanı karşılaştırılması [Aurrekoetxea, 2003]

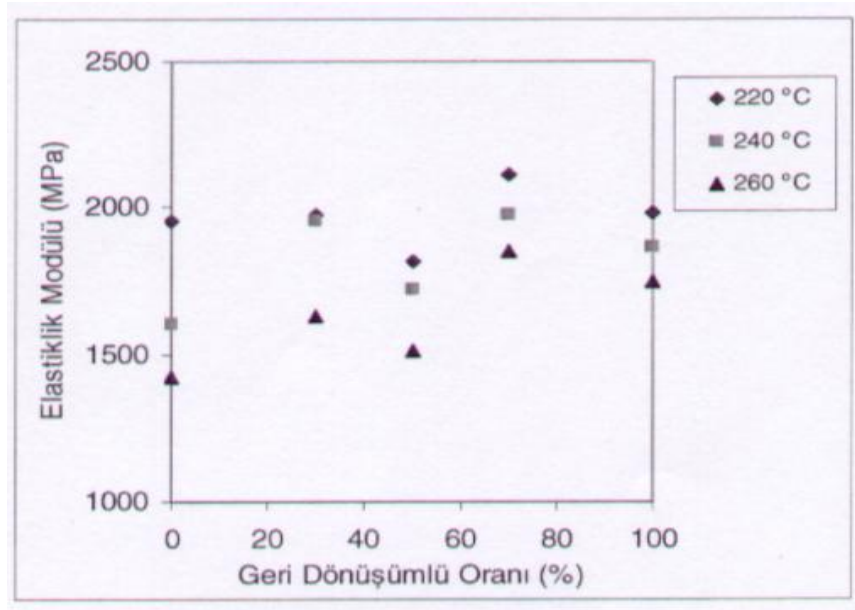
PS malzemeye ağırlıkça % 30, % 50, % 70 ve % 100 oranlarında geri dönüşümü ilave edilerek yapılan çalışmada kalıntı gerilmeler ve mekanik özellikler incelenmiştir. PS karışımların eriyik akış indeksleri Çizelge 4.5'teki gibi elde edilmiştir. MFI sonuçlarına bakıldığı zaman geri dönüşümlü oranı arttığında eriyik akış indeksi artmıştır. Çünkü geri dönüşümlü malzemenin her bir prosesten geçişinde zincirler kırılarak zincir boyları orijinal malzemeninkine göre kısalmıştır. % 100 geri dönüşümlü PS'de MFI değerleri orijinal malzemeye en yakın olarak bulunmuştur. Bunun nedeni % 100 geri dönüşümlü PS bir prosesten geçirilerek oluşturulmuştur. Karışımlar hazırlanırken ilave bir ekstrüzyon prosesi daha olduğundan karışımların MFI değerleri daha yüksek olmuştur [Altan, 2007].

Çizelge 4.5 Orijinal ve geri dönüşümlü PS karışımlarının MFI sonuçları [Altan, 2007]

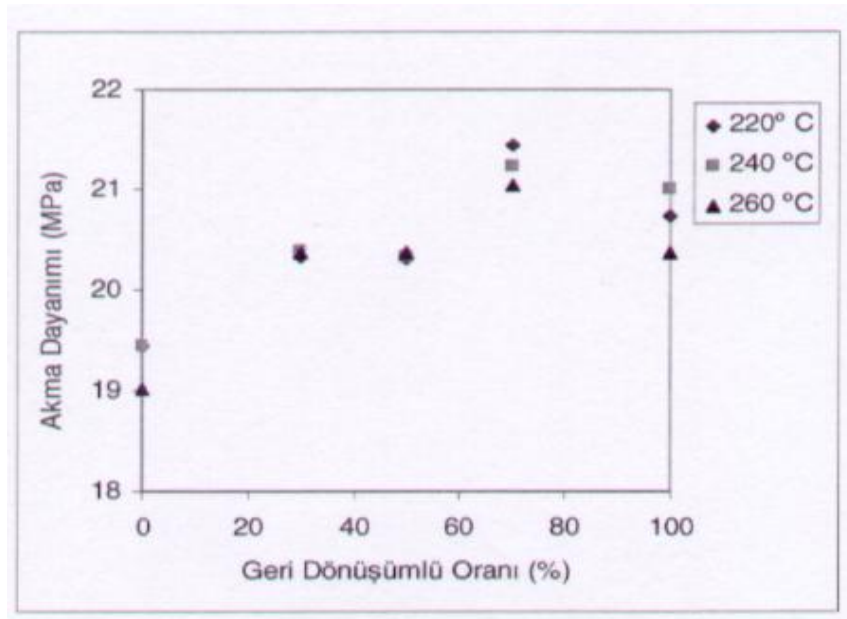
Karışımındaki geri dönüşümlü oranı (% ağırlıkça)	MFI (gr/10 dak)	Tg (°C)
0	7.72	90.32
30	9.70	90.52
50	10.72	89.84
70	9.74	89.99
100	9.26	89.85

PS malzemenin ve geri dönüşümlü karışımlarının elastiklik modülü, akma dayanımı ve çentik darbe dayanımı geri dönüşümlü oranına bağlı olarak Şekil 4.18'deki grafiklerde verilmiştir. Amorf malzemelerde sıcaklık yükseldikçe moleküler esnekliğin artmasıyla, moleküller arası çekim kuvveti azalmakta ve elastiklik modülü ile akma dayanımlarında düşüş meydana gelmektedir. Geri dönüşümlü polimerlerde zincirler kırılmakta, moleküler yapı bozulmakta ve malzemenin davranışı tamamen değişmektedir. Bazı durumlarda geri dönüşümlü malzeme takviye malzeme gibi davranıp karışımlarda meknik özelliği yükseltmektedir. PS karışımında geri dönüşümlü oranına bağlı olarak elastiklik modülü ve akma dayanımı incelendiğinde genellikle % 30 ve % 70 oranlarındaki karışımların bu değerleri orjinale göre yüksek çıkmıştır. % 30 geri dönüşümdeki bu yükseliş az miktardaki geri dönüşümlü malzemenin kırılmış zincirlerinin arasına girerek takviye malzeme etkisi yaratmasıdır. Geri dönüşümlü malzemenin darbe mukavemetine etkisi karışımların Tg sıcaklığıyla doğrudan ilişkilidir. Özellikle % 30 geri dönüşümlü malzemede moleküler esnekliğin azalması ile Tg değeri yükselmiş ve çentik darbe mukavemeti düşmüştür. % 30 geri dönüşüm oranı haricindeki karışımlarda geri dönüşümlü malzeme plastikleştirici olarak davrandığından bu karışımlarda çentik darbe dayanımı biraz daha yüksektir [Altan, 2007].

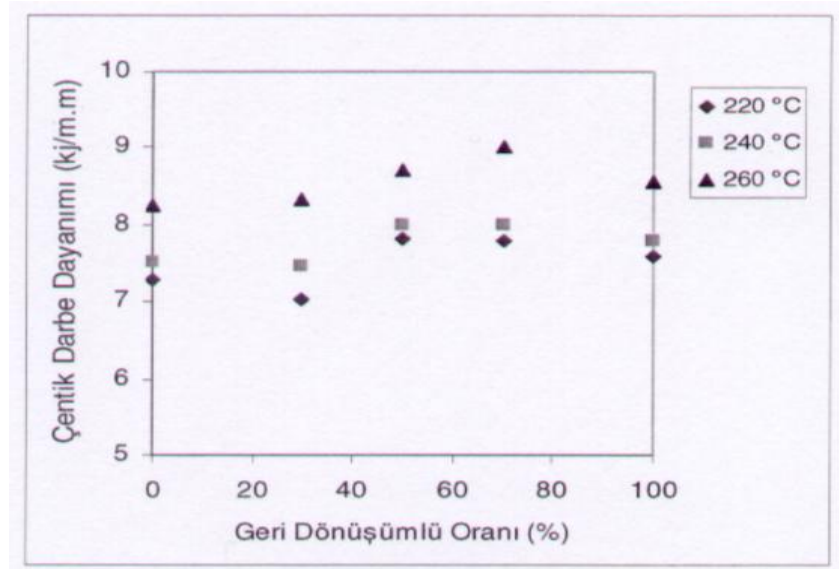
Şekil 4.18 Geri dönüşümlü PS oranına bağlı olarak mekanik özelliklerdeki değişim
[Altan, 2007]



(a) PS karışımlarda elastiklik modülündeki değişim



(b) PS karışımlarda akma dayanımındaki değişim



(c) PS karışımlarda darbe dayanımındaki değişim

HDPE karışımlarda geri dönüşüm oranı arttıkça akıcılık azalmış, malzeme viskozlaşmıştır (Çizelge 4.6). Bunun sebebi orijinal HDPE geri dönüşümlü olduğunda molekül zincirlerinin kolay kırılmaması ve yapıdaki iç düğümlerin oluşma ihtimalinin artmasıdır [Altan, 2007].

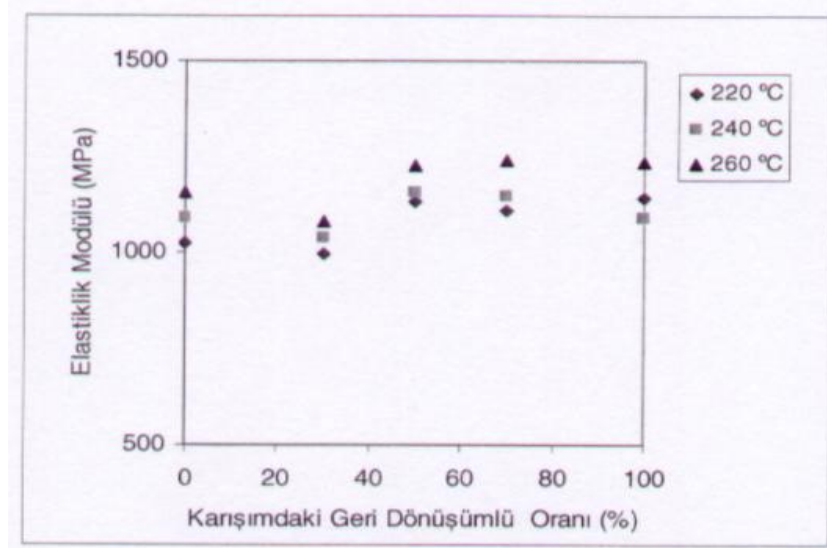
Çizelge 4.6 Orijinal ve geri dönüşümlü HDPE karışımlarının MFI sonuçları [Altan, 2007]

Karışımlardaki geri dönüşümlü oranı (% ağırlıkça)	MFI (gr/dk)	T _m (°C)
0	6.10	135.05
30	4.80	132.14
50	5.94	132.79
70	5.60	132.69
100	5.95	132.88

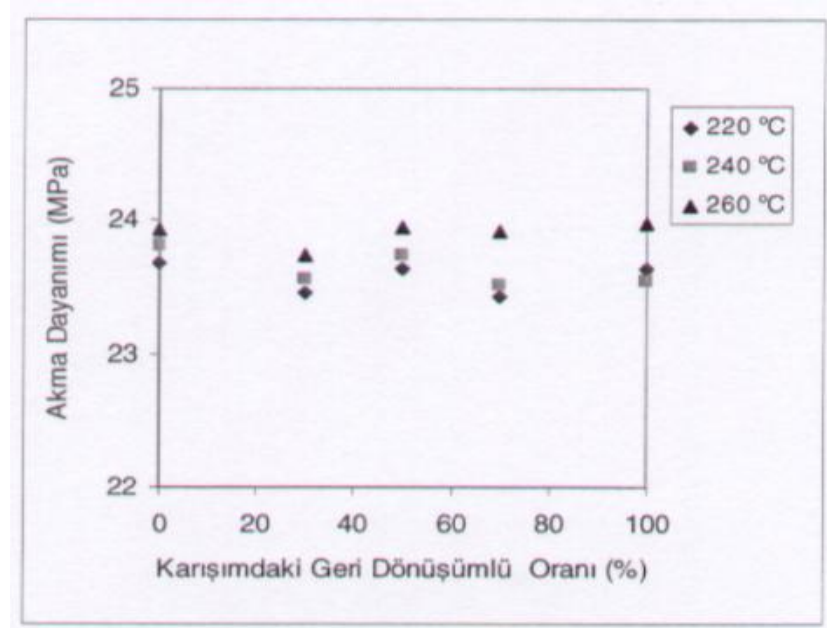
HDPE ve geri dönüşümlü karışımlarının elastiklik modülü, akma dayanımı ve çentik darbe dayanımının geri dönüşüm oranına bağlı olarak değişimleri Şekil 4.19'daki grafiklerde verilmiştir. Mekanik özelliklerin değişiminin geri dönüşüm oranına bağlı olarak incelendiğinde, % 30 geri dönüşümlü karışımda elastiklik modülü ve akma dayanımlarında düşüş olmuştur. % 50 ve % 100 oranlarındaki karışımlarda birbirlerine benzer mekanik özellikler gözlemlenmiştir fakat % 50 geri dönüşümlü karışımın elastiklik modülü ve akma dayanımı diğer karışımlardan daha yüksek ve orijinal HDPE malzemeye daha yakın çıkmıştır.

Karışımlar içinde çentik darbe dayanımı en yüksek olan % 30 geri dönüşümlü malzeme olmuştur. [Altan, 2007].

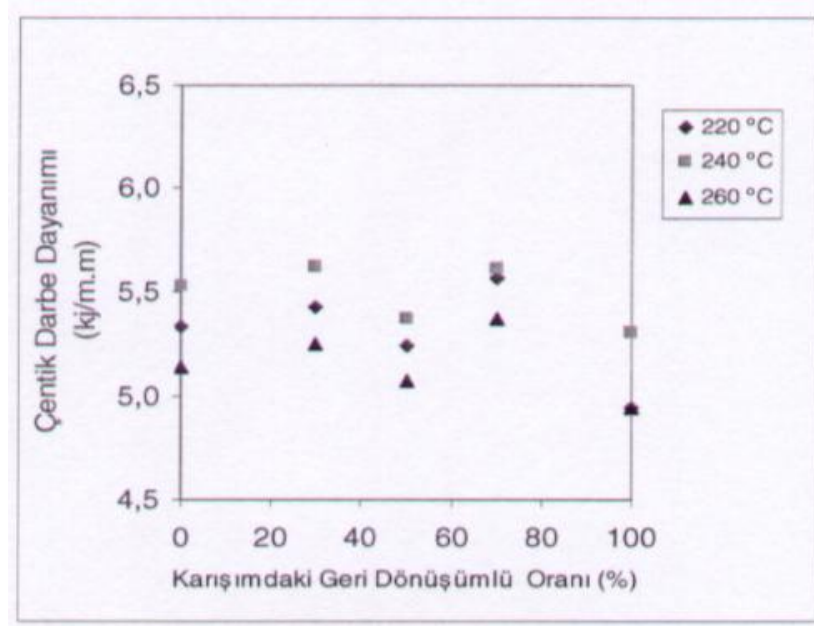
Şekil 4.19 Geri dönüşümlü HPDE oranına bağlı olarak mekanik özelliklerdeki değişim [Altan, 2007]



(a) HDPE karışımlarda elastiklik modülündeki değişim



(b) HDPE karışımlarda akma dayanımındaki değişim



(c) HDPE karışımlarda darbe dayanımındaki değişim

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyisel çalışmada amaçlanan, PP hammaddenin üretimi esnasında ürün haline gelmeyen parçaların yani prosesi başlatırken yaptıkları ayar esnasında üretilen parçaların ve üretim esnasında uygun kaliteyi sağlamayan parçaların tekrar kullanılmasını sağlamak için orijinal malzemeye göre mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi ve buna göre geri dönüşüm stratejisinin belirlenmesidir.

5.1. Malzemelerin Hazırlanması

Deneyisel çalışmada kısmi kristalin polimer malzeme olan PP Dow Chemical firmasından temin edilen C705 kodlu ürünü kullanılmıştır. Dow PP C705 malzemesinin özellikleri EK-1’de verilmiştir. Ürünler standart test çubuğu kalıbı ile hazırlanmış ve geri dönüşümlerini elde etmek için bu numuneler mekanik kırıcılar ile geri dönüştürülmüştür. Elde edilen malzeme fiziksel olarak karıştırılarak deneyisel çalışmada kullanılacak tüm test numuneleri oluşturulmuştur. Geri dönüşüm işlemi dört kez tekrarlanmıştır. Ayrıca her kademedede %25-50-75 ve 100 oranlarında karışım hazırlanmıştır.

5.2. Akış Testi

Ergiyik akış testi, Şekil 5.1’de görülen Ceast 7021 cihazında gerçekleştirilmiştir. ISO 1133-1991’e göre PP malzeme için öngörülen test şartları 230°C, 2,16 kg ağırlıktır.



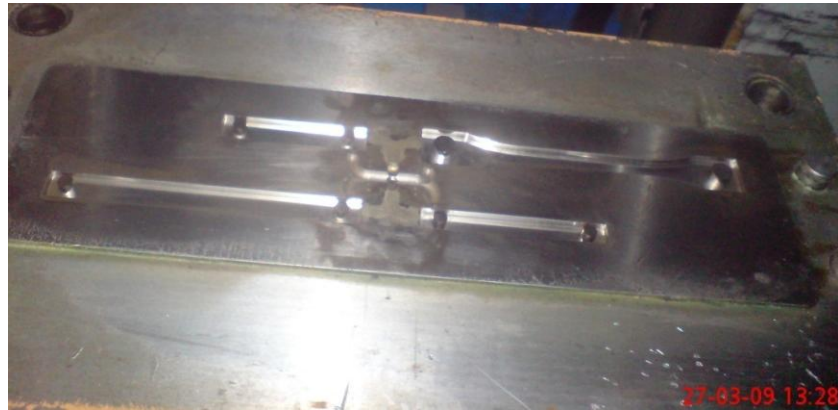
Şekil 5.1 Ergiyik akış test cihazı

5.3. Numunelerin Hazırlanması

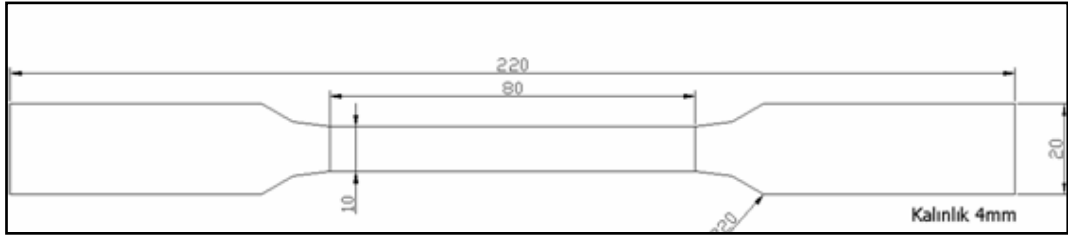
Çok fonksiyonlu test çubuğu kalıbı ile standartlara uygun (ASTM D638) çekme deneyi numunesi, üç nokta eğme numunesi ve darbe testi numuneleri 50 tonf sıkma kapasitesine sahip elektrikli tahrik edilen makaslı Mitsubishi 50 MEt III model plastik enjeksiyon makinesi ile üretilmiştir (Şekil 5.2). EK-2 'de enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri verilmiştir. Çekme numunesinin şekil ve boyutları Şekil 5.4'te verilmiştir. Kalıp fotoğrafı ve test numunelerine ait fotoğraflar ise Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.2 Plastik enjeksiyon makinesi

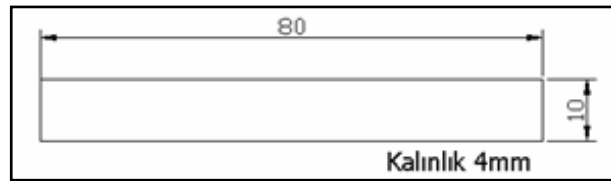


Şekil 5.3 Test çubuğu kalıbı ve numunesi

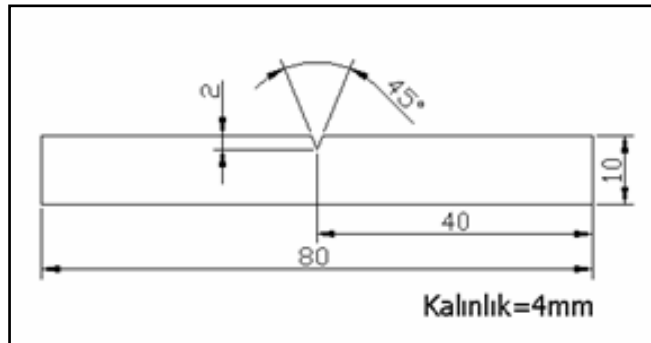


Şekil 5.4 Çekme numunesinin şekil ve boyutları (ASTM D638).

3 nokta eğme deneyi numunesi (TS 985 EN ISO 178) Şekil 5.5 ve izod darbe deneyi numunesi (ISO 180) ise Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.5 TS 985 EN ISO 178'e göre 3 nokta eğilme deneyi numunesi.



Şekil 5.6 ISO 180'e göre Izod darbe deneyi numunesi.

5.4. Mekanik Testler

Numunelerin üretilmesi için enjeksiyon makinesi parametreleri akış analiz programı aracılığıyla belirlenmiştir. Buna göre elde edilen etken parametreler Çizelge 5.1'de verilmiştir. Hazırlanan her numune için test çubukları hazırlanarak mekanik özelliklerin değişimleri gözlemlenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde enjeksiyon işlemi ile elde edilen numunelere;

- Çekme deneyi,
- 3 nokta eğme deneyi,
- Izod darbe deneyi

testleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.1 Test çubuğu için belirlenen enjeksiyon parametreleri

Eriyik Sıcaklığı (°C)	200
Tutma Basıncı (MPa.)	13
Soğuma Süresi (s.)	16
Enjeksiyon Basıncı (MPa.)	16
Tutma Zamanı (s.)	4

Çekme deneyi, Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümündeki INSTRON 4411 çekme makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Çekme hızı olarak 10 mm/dk (ASTM D638) seçilmiştir. Çekme deneyleri klima kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığı 21 +/- 3°C'dir. Çekme deneyi numuneler en az iki gün bekledikten sonra yapılmıştır. Üç nokta eğilme deneyi GYTE Malzeme Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Test cihazı olarak INSTRON 5560 kullanılmıştır. Hareketli çenenin ilerleme hızı olarak 2mm/dk (TE 985 EN ISO 178) olarak belirlenmiştir. Izod darbe deneyi Galsan Plastik firmasında CEAST 6545 model test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çekiç 10 J (ISO 180) olarak seçilmiştir.

Bu deneyler sayesinde numunelerinin;

- Elastisite modülü,
- Akma Gerilmesi,
- Kopmada Yüzde Uzama,
- Eğilme Modülü,
- İzod Darbe Dayanımı

değerleri belirlenmiştir. Her ortam için çekme deneyi ve izod darbe deneyi 5 kez, üç nokta eğme deneyi ise üç kez tekrarlanmıştır. Yanlış olduğu düşünülen değerler atılıp kalan değerlerin aritmetik ortalaması değerlendirilmeye alınmıştır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

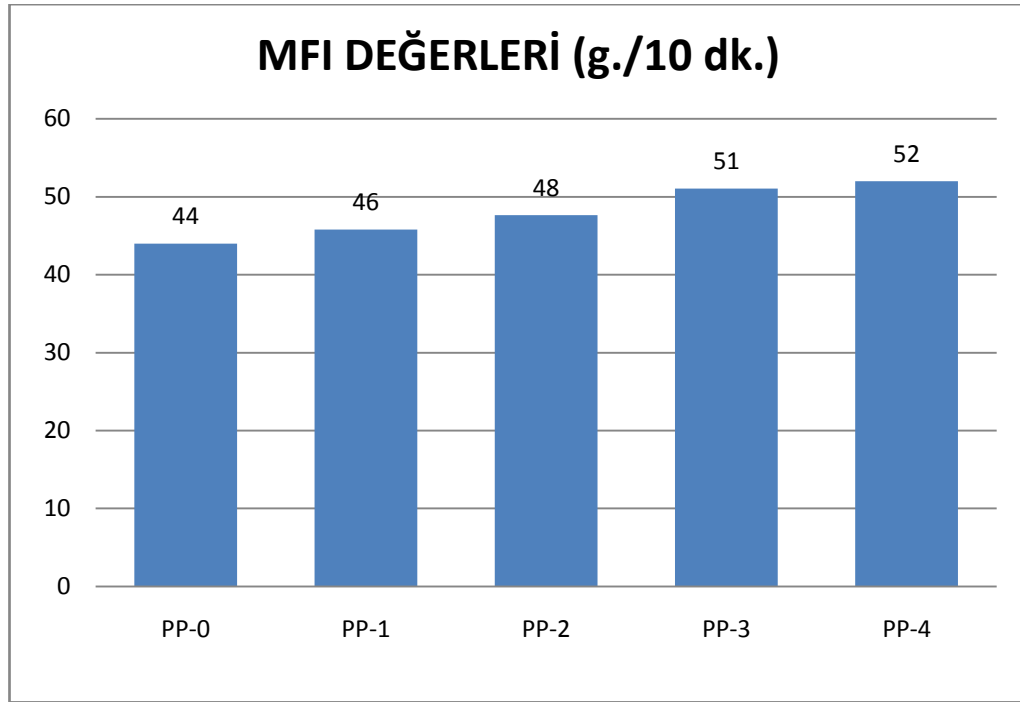
6.1. Orijinal ve Geri Dönüşümlü Polipropilenin Akış Davranışları

Polipropilen malzemenin ve geri dönüşümlerinin ergiyik akış indeksleri (MFI) Çizelge 6.1’de verilmiştir. MFI testleri orijinal (PP-0) malzemeye, bu malzemenin geri dönüştürülerek % 100 oranındaki karışımına (PP-1), aynı şekilde ikinci (PP-2), üçüncü (PP-3) ve dördüncü (PP-4) geri dönüşümlerinin % 100 oranındaki karışımlarına uygulanmıştır. Her bir tip numunenin akışının belirlenmesi için on iki ölçüm alınmış ve en düşük ile en yüksek değerler ortalamaya etki etmemiştir. MFI sonuçlarına bakıldığı zaman geri dönüşüm yapıldıkça ergiyik akış indeksleri artmıştır. Bunun sebebi geri dönüşümlü malzemenin her bir prodesten geçişlerinde zincirler kırılarak zincir boyları orijinal malzemeninkine göre kısalmasıyla oluşmuştur. Dolayısıyla moleküler ağırlığı azalmakta ve akış testinde malzeme akışı daha hızlı gerçekleşmektedir.

Çizelge 6.1 Orijinal ve geri dönüşümlü PP’nin MFI değerleri (g/10 dk.)

PP-0	PP-1	PP-2	PP-3	PP-4
44	48,13	min	45,44	47,56
44	45,44	43,26	min	40,87
44	35,83	45,19	42,81	45,19
44	38,01	41,71	44,54	41,29
44	min	44,45	50,21	Min
44	42,14	45,44	maks	47,01
44	47,01	49,80	50,21	52,82
44	49,30	50,52	51,48	57,28
44	49,30	52,48	54,22	59,81
44	51,81	52,48	56,88	63,05
44	maks	maks	60,23	maks
44	50,84	51,13	54,59	65,07

PP-1 malzemesinin ergiyik akış indeksi değeri orijinal malzemeye en yakın değerde olup diğer malzemelerin MFI değerine göre daha düşüktür, yani daha viskozdur. Çünkü PP-1, orijinal malzemenin bir kez prodesten geçirilmesi ile elde edilmiştir. Şekil 6.1’de numunelerin ortalama MFI değerleri görülmektedir.



Şekil 6.1 Orijinal ve geri dönüşümlü PP'nin MFI değerleri

Şekil 6.1'de de görüldüğü gibi proses sayısı arttırıldıkça malzemeler daha akışkan bir hale gelmektedir. Birinci proses sonucu MFI değeri % 4 artarken, ikinci kez yüksek sıcaklıklarda tekrar prostesten geçen malzemenin zincirlerinin kopması ve kısalması sonucu MFI değeri orijinal malzemeye göre % 8 oranında artmaktadır. Aynı işlem üçüncü kez tekrarlandığında (PP-3) malzemenin MFI değeri % 16 artış göstermiştir. Dördüncü proses sonucunda ise orijinal malzemeye göre MFI değeri % 18 oranında artmıştır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi malzemenin akış değeri proses miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Yani malzemenin geri dönüşümünün kullanımının akış indeksi bakımında bir kısıt içermediği test sonuç değerlerinden anlaşılmaktadır. Zira, plastik enjeksiyon proseslerinde malzemenin akışkan olması istenen bir durumdur. Malzemenin akışkanlığı arttıkça plastiğin kalıp içerisindeki yürüme hızı artmaktadır. Yani malzeme kalıp içerisinde daha rahat hareket etmektedir. Bunun sonucunda malzemeyi kalıp boşluğuna doldurmak için gereken enjeksiyon basıncı değerleri azalmaktadır. Aynı zamanda azalan enjeksiyon basıncı değeri ile beraber buna karşı koyan makine kapama kuvveti değeri de azalmaktadır. Enjeksiyon kapama kuvvetinin azalması hem daha düşük kapama kuvvetine sahip bir makine ile prosesi gerçekleştirmeye ve dolayısıyla makine yatırımını küçültmeye, hem de proses enerji giderini azaltarak ikinci bir maliyet azalmasına sebep olmaktadır.

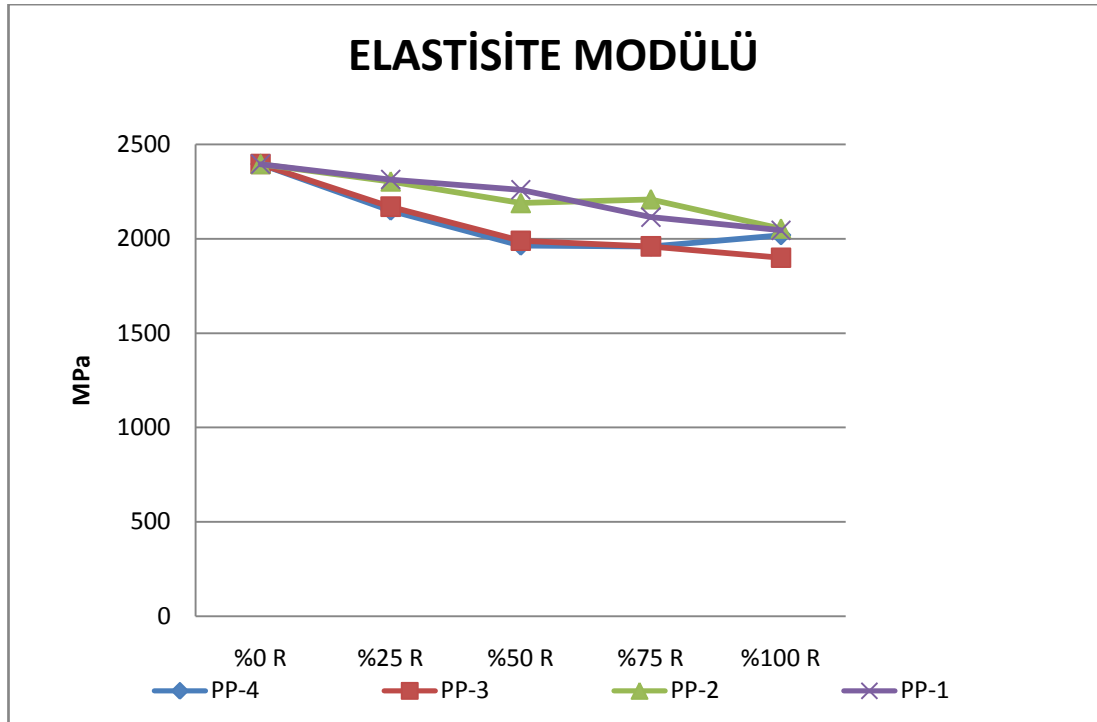
6.2. Orijinal ve Geri Dönüşümlü PP'nin Mekanik Davranışları

Polipropilen malzeme ve geri dönüşümlü malzemelerin elastislik modülü Çizelge 6.2'de verilmiştir. Elastislik modülü ergiyik akış değerlerinde olduğu gibi dört kez geri dönüşüm işlemi tekrarlanarak yapılmıştır. Bunlara ek olarak da her bir proseste % 25-50-75 ara değerlerinde karışımlar hazırlanıp bu karışımların da değişimleri incelenmiştir.

Çizelge 6.2 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için elastisite modülü değerleri

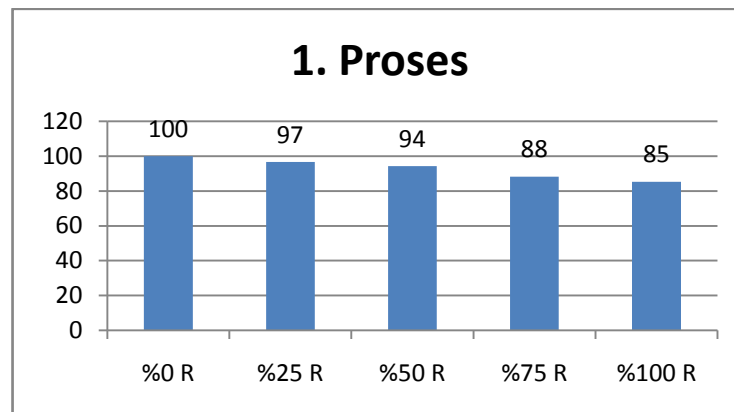
Elastisite Modülü (MPa)	PP-4	PP-3	PP-2	PP-1
%0 R	2396	2396	2396	2396
%25 R	2150	2170	2304	2314
%50 R	1965	1990	2190	2260
%75 R	1960	1960	2210	2115
%100 R	2020	1900	2055	2045

Elastislik modülü değerlerinde orijinal malzemeye göre düşüşler gözlemlenmiştir. Şekil 6.2'de elde edilen elastisite modülü değerleri grafikte verilmektedir. Bu düşüşler beklediğimiz gibi proses miktarı artırıldıkça polimer zincirlerinin kırılması ve kısalmasından kaynaklanmaktadır. Orijinal malzemeye göre her bir numune için düşüşler gözlemlendiğinden, değerlendirme yaparken karşılaştırma kolaylığı için orijinal malzemenin değerini 100'e tamamlayıp diğer elde edilen değerler aynı oranda değiştirilmiştir.

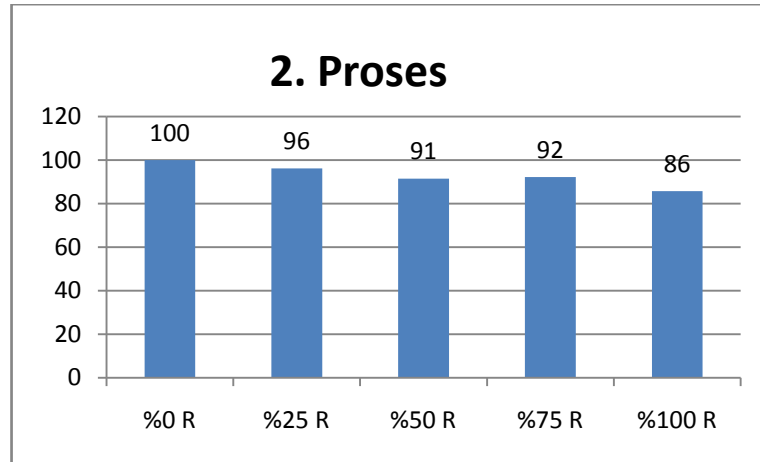


Şekil 6.2 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için elastisite modülü değerleri

Şekil 6.3'te birinci kez geri dönüştürülmüş PP için elde edilen farklı geri dönüşüm oranlarındaki elastisite modülü (E) değerleri verilmiştir. Buna göre % 50 geri dönüşüm malzeme ve % 50 orijinal malzemenin karışımından elde edilen numunelerdeki E değerleri % 6 kadar kayba uğrarken geri dönüşüm miktarı % 100 olduğundaki E değerleri % 15'e kadar düşüşler göstermektedir.

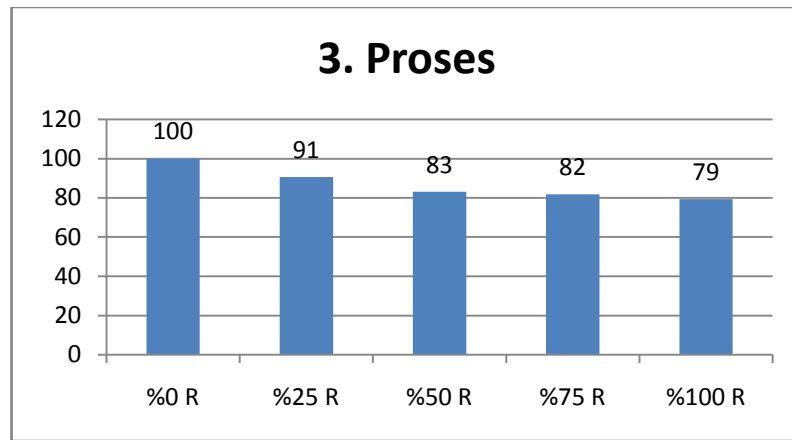


Şekil 6.3 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının E değerleri



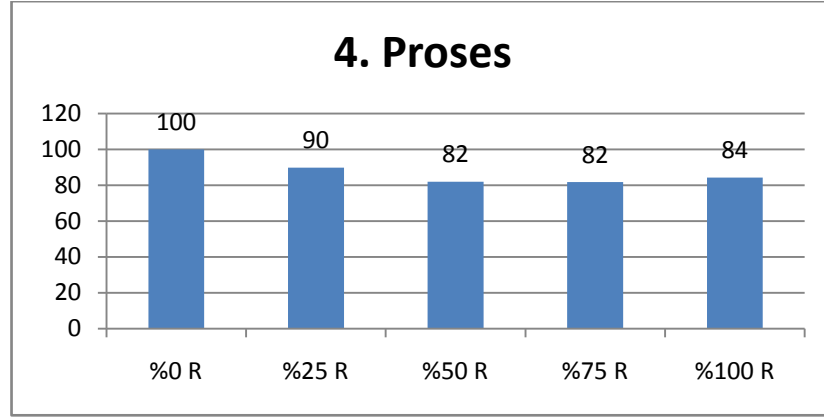
Şekil 6.4 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının E değerleri

Şekil 6.4'te ikinci kez geri dönüştürülmüş PP için elde edilen farklı geri dönüşüm oranlarındaki elastisite modülü (E) değerleri verilmiştir. Buna göre % 25 geri dönüşüm malzeme ile elde edilen değerlerde % 4 azalma görülürken % 50 ve 75 oranlarındaki karışımlarda % 7-8'lik kayıp gösteren benzer değerler elde edilmiştir. % 100 geri dönüşümlü malzeme için ise elde edilen değer orijinal malzemeye göre % 14 kayıp göstermektedir.



Şekil 6.5 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının E değerleri

Şekil 6.5'te üçüncü kez geri dönüştürülmüş PP için elde edilen farklı geri dönüşüm oranlarındaki elastisite modülü (E) değerleri verilmiştir. Buna göre % 25 geri dönüşüm malzeme ile elde edilen değerlerde % 9 azalma görülürken % 50 ve 75 oranlarındaki karışımlarda % 18'e kadar düşüşler görülmüştür. % 100 oranındaki üçüncü proses malzeme için orijinal malzemeye göre kayıp değeri % 21'dir.



Şekil 6.6 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının E değerleri

Şekil 6.6’da dördüncü kez geri dönüştürülmüş PP için elde edilen farklı geri dönüşüm oranlarındaki elastisite modülü (E) değerleri verilmiştir. Dördüncü geri dönüşüm prosesindeki düşüşler üçüncü prosesteki oranlarda gerçekleşmiştir. % 25’lik geri dönüşüm % 10 değerinde düşüşe neden olmuştur.

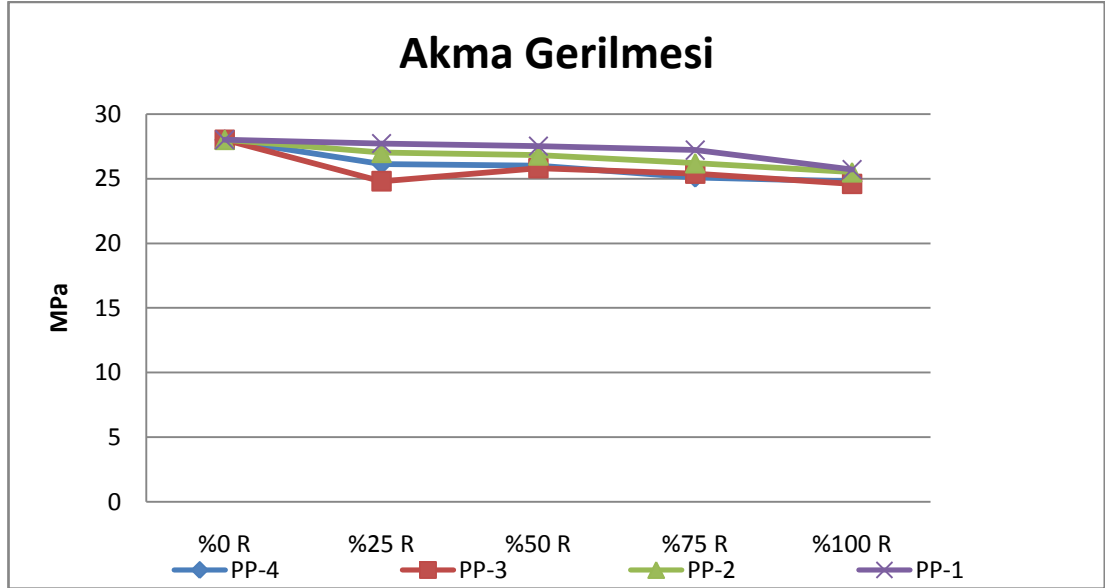
Elastisite modülleri değerlendirildiğinde birinci ve ikinci prosesler için % 25 oranındaki karışımlardaki düşüşler % 3-4 değerlerinde iken diğer karışımlardaki düşüşler % 10 ve üzerindeki seviyelerinde olmuştur. Elastisite değerleri malzemenin geri dönüşüm sayısına ve karışımın geri dönüşüm oranına bağlı olarak lineer düşüş göstermiştir.

Geri dönüşüm sayısının ve karışımındaki miktarlarının akma dayanımı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Çizelge 6.3’te akma dayanımının geri dönüşüm prosesi sayısı ve karışımındaki geri dönüşüm miktarına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Akma dayanımı değerleri de elastisite modülü değerleri gibi orijinal PP malzemeye göre düşüş göstermiştir. Bu yüzden elde edilen değerler göreceli karşılaştırma oranları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.3 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için Akma Dayanımı değerleri

Akma Dayanımı (MPa.)	PP-4	PP-3	PP-2	PP-1
%0 R	28	28	28	28
%25 R	26,14	24,8	27	27,7
%50 R	26	25,8	26,8	27,5
%75 R	25,1	25,4	26,2	27,2
%100 R	24,8	24,6	25,5	25,7

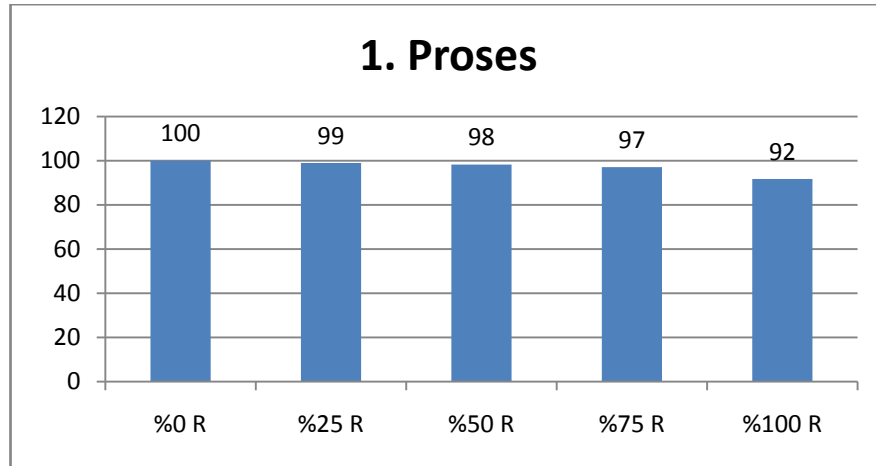
Orijinal ve geri dönüşümlü PP için akma dayanımı değerleri Şekil 6.7’de grafik ile gösterilmektedir.



Şekil 6.7 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için akma dayanımı değerleri

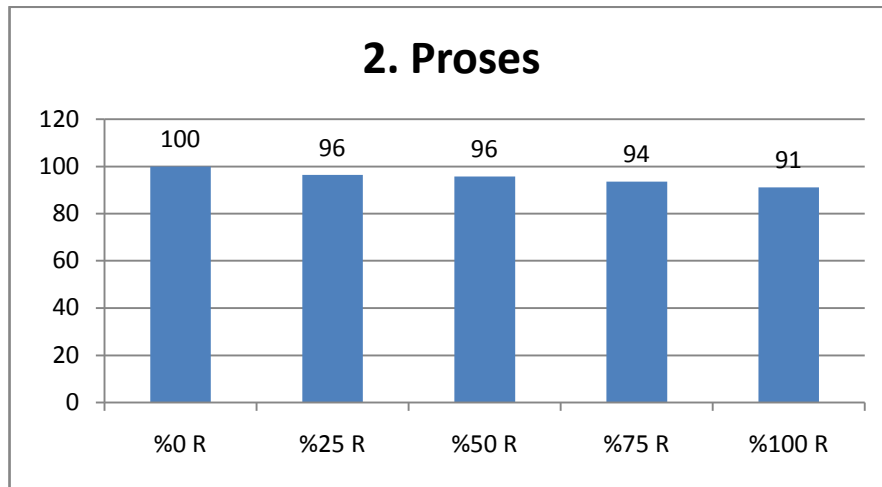
Geri dönüşümlü ve orijinal PP malzeme için akma mukavemeti değerleri incelendiğinde hem artan proses sayısında hem de artan geri dönüşümlü malzeme miktarında orijinal PP malzemeye göre düşüşler görülmüştür.

Birinci geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen malzeme ile hazırlanan karışımlardaki akma dayanımı değerlerinin göreceli birimler ile gösterilişi Şekil 6.8’de verilmiştir. % 25 geri dönüşümlü malzeme karıştırılarak hazırlanan numunelerde %1 oranında akma dayanımı kaybı olmuştur. % 50 ve % 75 oranlarında geri dönüşüm malzeme ile hazırlanan numunelerde de elde edilen akma dayanımı değerleri orijinal malzemeye oranla % 2 ve 3 seviyelerindedir. Tamamen geri dönüşümlü malzeme ile elde edilen numunelerdeki akma dayanımı değerlerindeki kayıp ise % 8 oranına ulaşmıştır.



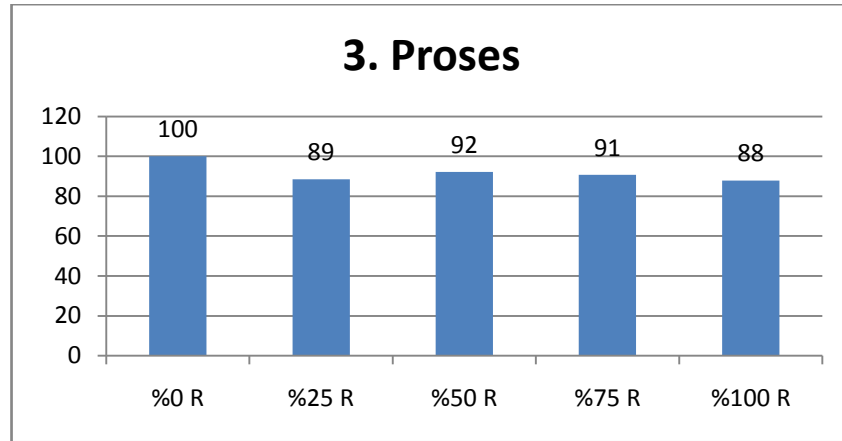
Şekil 6.8 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının akma dayanımı değerleri

İkinci geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen malzemeler ile hazırlanan numunelerdeki akma dayanımı değerleri Şekil 6.9’da verilmiştir. Bunun sonucunda % 25 ve % 50 oranlarında ikinci geri dönüşüm malzemesi karıştırılarak elde edilen numunelerdeki akma dayanımı değerleri % 4 oranında düşüş göstermiştir. % 75 ve % 100 oranlarındaki geri dönüşümlü numunelerdeki kayıplar sırasıyla % 6 ve 9’dur.



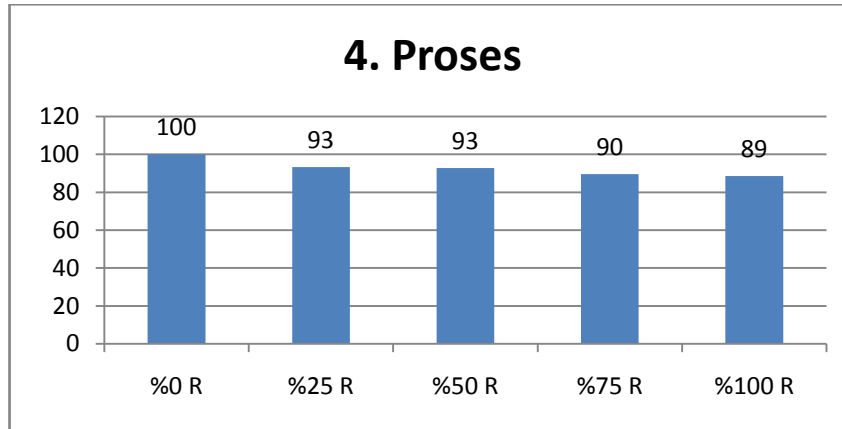
Şekil 6.9 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının akma dayanımı değerleri

Üçüncü geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen numunelerdeki akma dayanımı değerleri Şekil 6.10’da verilmiştir. İkinci ve birinci geri dönüşüm ile elde edilen numunelerdeki değerlere göre düşüş daha fazladır. Karışımlar ile hazırlanan numunelerdeki akma dayanımı değerleri % 10 seviyesinde düşüşler göstermiştir.



Şekil 6.10 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının akma dayanımı değerleri

Şekil 6.11’de dördüncü geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen numunelerdeki akma dayanımı değerleri verilmiştir. Akma değerlerindeki değişim üçüncü geri dönüşümlü malzemedekine çok benzer değerler vermiştir.



Şekil 6.11 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının akma dayanımı değerleri

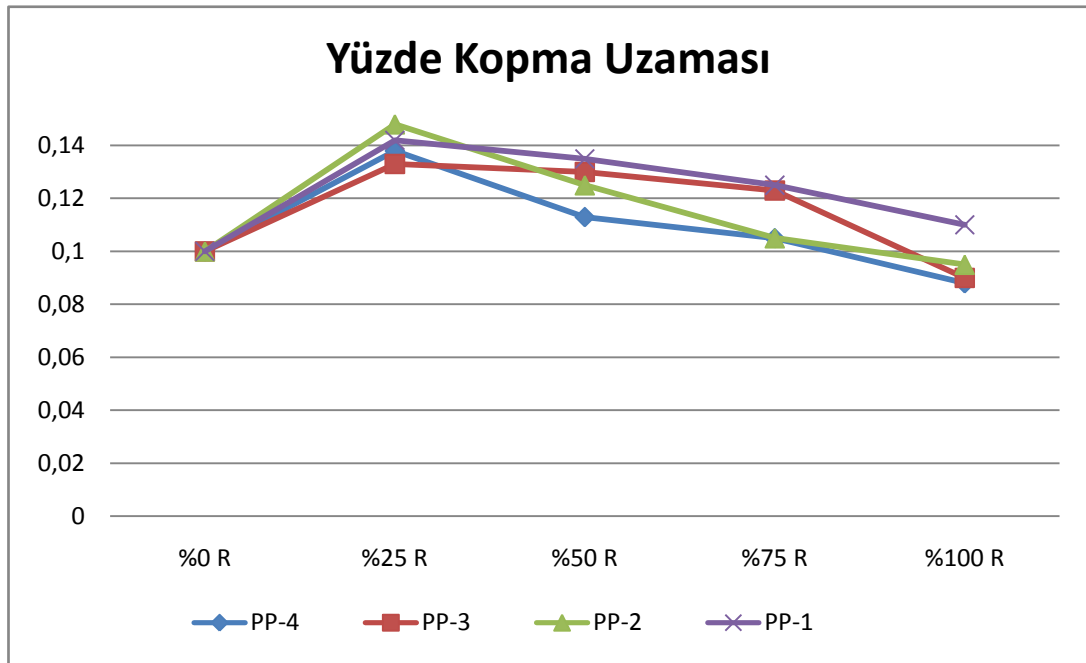
Akma dayanımlarındaki değişimler göz önüne alındığında birinci geri dönüşüm prosesi ile hazırlanan numunelerdeki değerler % 75’e kadar olan karışımlarda % 3 değerini geçmemektedir. Geri dönüşüm prosesi arttıkça değerlerdeki kayıplar daha yüksek oranlarda artmaktadır.

Geri dönüşümlü PP malzeme ve orijinal PP malzeme ile elde edilen % kopma uzaması değerleri Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.4 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için kopma uzaması değerleri

Kopma Uzaması (%)	PP-4	PP-3	PP-2	PP-1
%0 R	0,1	0,1	0,1	0,1
%25 R	0,138	0,133	0,148	0,142
%50 R	0,113	0,13	0,125	0,135
%75 R	0,105	0,123	0,105	0,125
%100 R	0,088	0,09	0,095	0,11

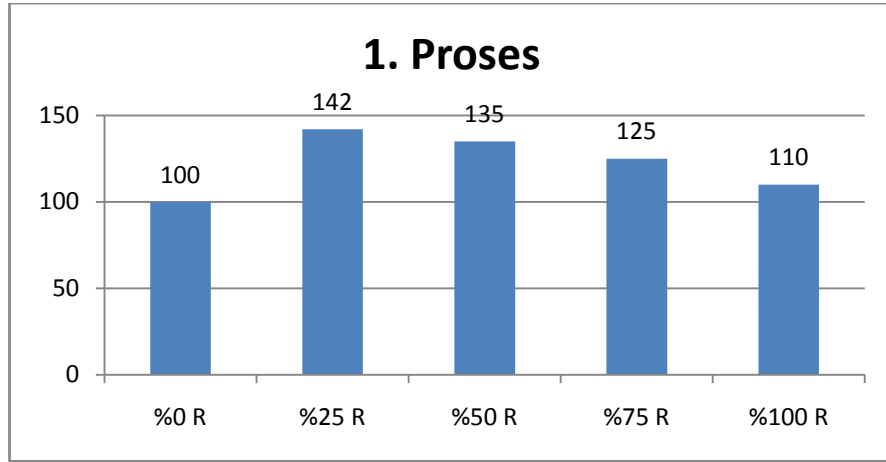
Geri dönüşümlü ve orijinal PP malzeme karışımlarının kopma uzaması değerlerinin grafik ile gösterilişi Şekil 6.12’de verilmiştir. Kopma uzaması değerleri artan geri dönüşüm miktarı ile beraber azalmaktadır. Geri dönüşüm oranı % 100 olan malzemelerdeki kopma uzaması değerleri orijinal malzemenin kopma uzaması değerlerine en yakın değerlerde çıkmıştır.



Şekil 6.12 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için kopma uzaması değerleri

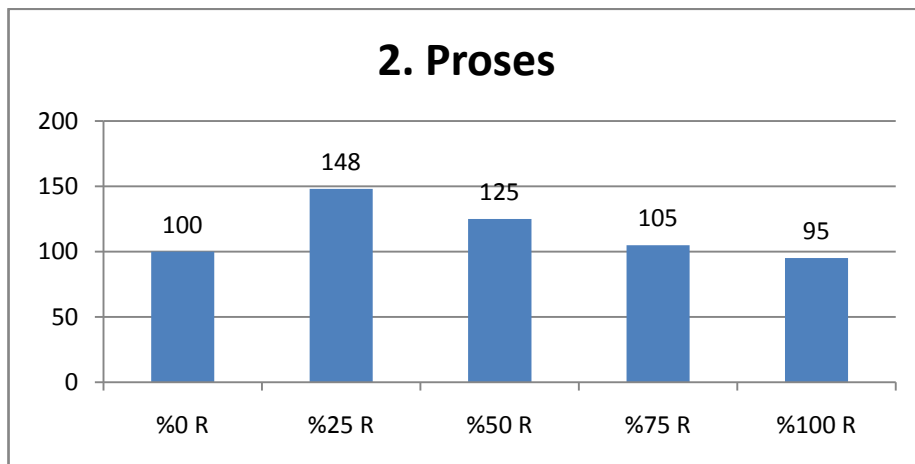
Birinci geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen numunelerdeki yüzde kopma uzaması değerleri Şekil 6.13’te verilmiştir. Geri dönüşümlü malzemenin orijinal malzemeye katılmasıyla kopma dayanımı değerleri yükselmektedir. Malzemenin iki farklı fazda olması kopma değerlerinin artmasına neden olmuştur. Kopma uzaması değerleri % 25 oranındaki karışımlarda en yüksek değerde iken saf PP ve % 100 oranındaki geri dönüşümlü malzemelerde yani farklı faz içermeyen malzemelerde en

düşük ve birbirine en yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Artan geri dönüşümlü malzeme miktarı ile beraber kopma uzaması azalmaktadır. Geri dönüşümlü malzeme ile beraber % 30-40'lara ulaşan kopma uzaması artışı görülmüştür.

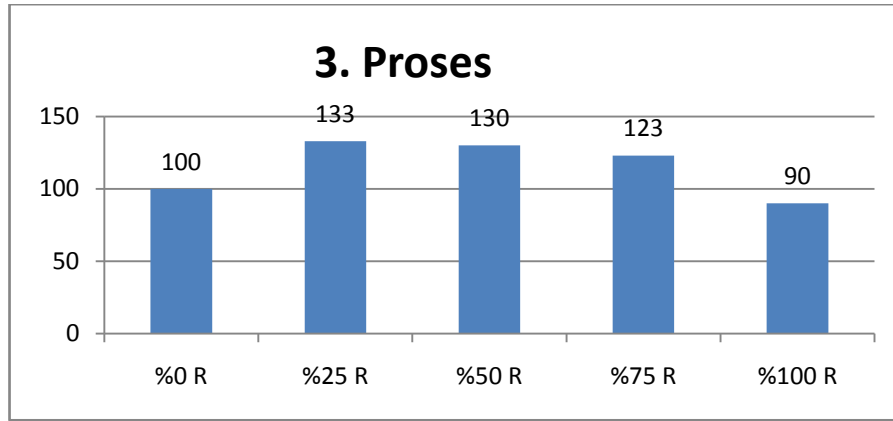


Şekil 6.13 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının yüzde kopma uzaması değerleri

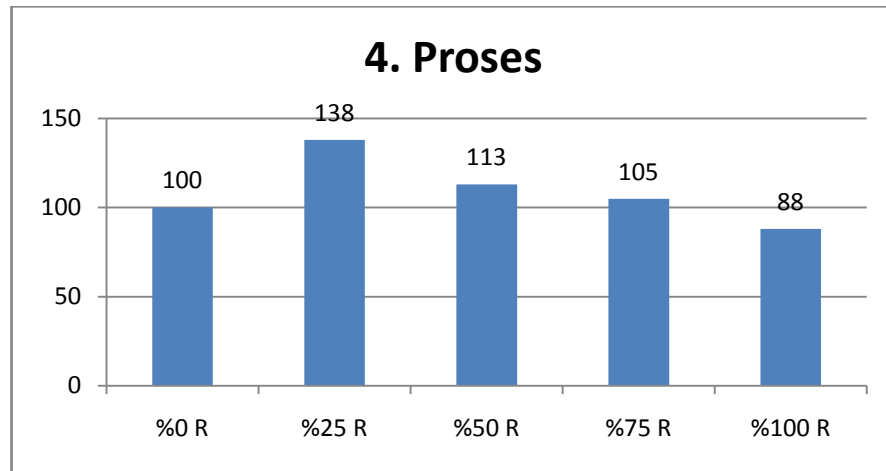
İkinci üçüncü ve dördüncü geri dönüşüm malzeme ile elde edilen numuneler ile yapılan test sonuçlarına göre yüzde kopma uzamaları Şekil 6.14-16'da verilmiştir. Tüm bu numunelerde iki farklı fazın olduğu durumlarda yani geri dönüşüm ve orijinal malzeme karışımlarında yüzde kopma uzama değerleri orijinal PP malzemesine ve diğer % 100 oranındaki geri dönüşümlülere oranla yüksek çıkmıştır. İki farklı fazın birbiriyle karışımları malzemedeki kopma değerlerini arttırmıştır [Altan, 2007]. % 100 geri dönüşümlü malzemeleri kendi aralarında değerlendirecek olursak, geri dönüşüm prosesi arttıkça yüzde kopma uzaması değerlerinde doğrusal bir azalma gözlemlenmiştir. Bu da diğer mekanik test sonuçları ile paralel bir sonuç göstermektedir.



Şekil 6.14 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının yüzde kopma uzaması değerleri



Şekil 6.15 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının yüzde kopma uzaması değerleri



Şekil 6.16 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının yüzde kopma uzaması değerleri

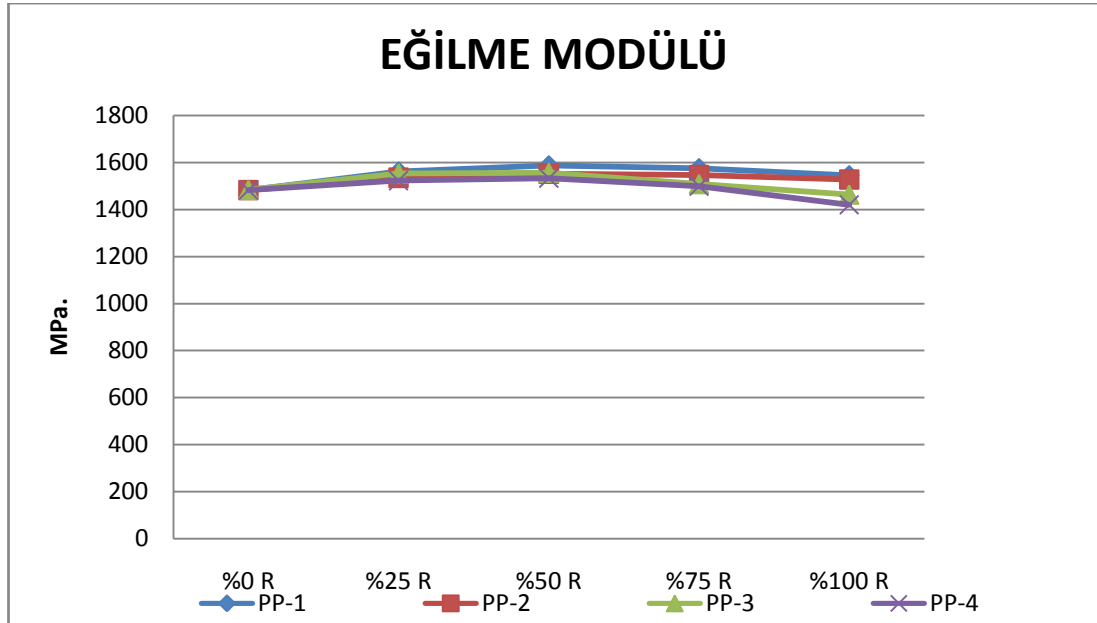
Yapılan üç nokta eğme testleri neticesinde elde edilen değerler Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için eğilme modülü değerleri

Eğilme Modülü (MPa.)	PP-1	PP-2	PP-3	PP-4
%0 R	1483	1483	1483	1483
%25 R	1561	1535	1553	1523
%50 R	1587	1552	1556	1533
%75 R	1575	1546	1508	1499
%100 R	1545	1528	1463	1420

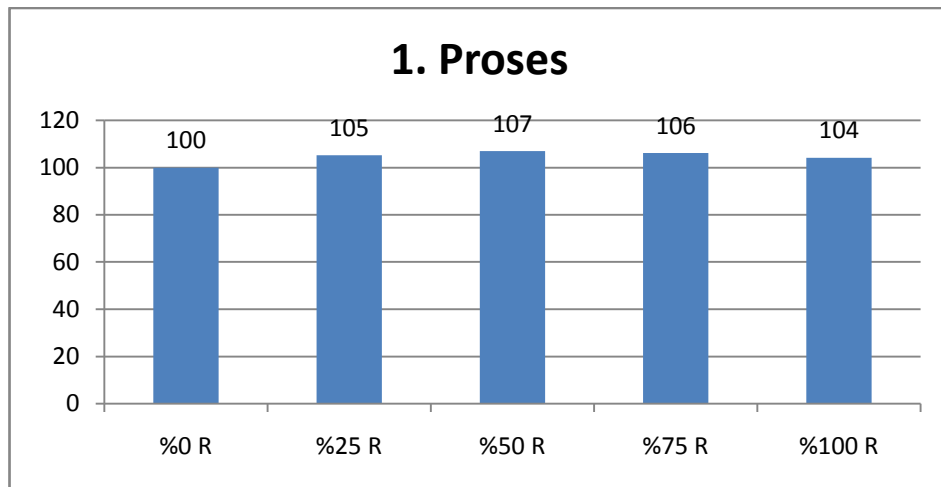
Üç nokta eğme testi sonuçlarında orijinal PP ve geri dönüşümlü karışımları karşılaştırıldığında eğilme modüllerindeki değişim orijinal ve % 100 oranındaki geri dönüşümlü malzemeler için birbirine en yakın değerlerdir. Malzeme içerisine katılan

geri dönüşümlü malzeme % 50 oranında iken eğilme modülleri maksimum değerlerde gözükmemektedir. Orijinal ve geri dönüşümlü PP karışımlarının eğilme modülü değişimi grafiği Şekil 6.17’de verilmiştir.



Şekil 6.17 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için eğilme modülü değerleri

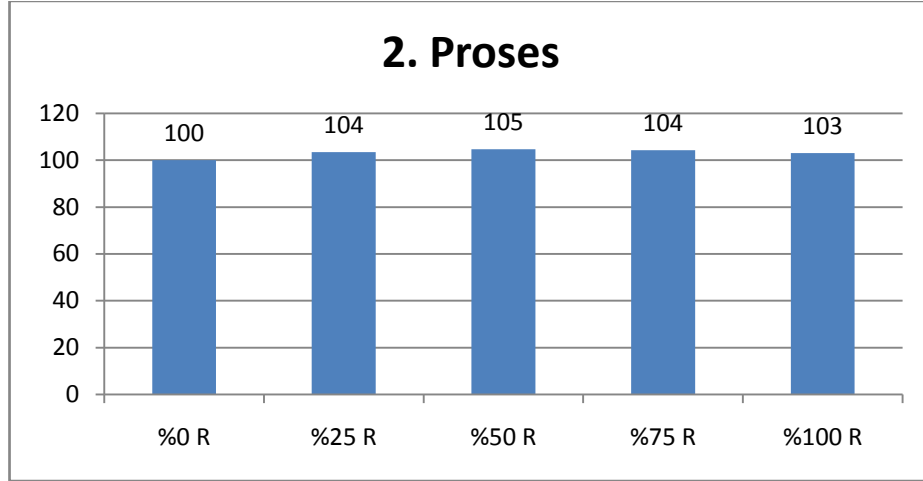
Birinci geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen numuneler için eğilme modüllerindeki değişim % 50 geri dönüşümlü PP katkısına kadar artış göstermiştir. % 100 oranındaki geri dönüşümlü malzeme miktarında ise tekrar orijinal malzemeye yakın değerler düşmüştür. % 50 geri dönüşüm oranındaki PP’de eğilme modülü artışı miktarı %7 değerindedir. Birinci proses sonucu elde edilen eğilme modülü değerleri Şekil 6.18’de verilmiştir.



Şekil 6.18 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının eğilme modülü değerleri

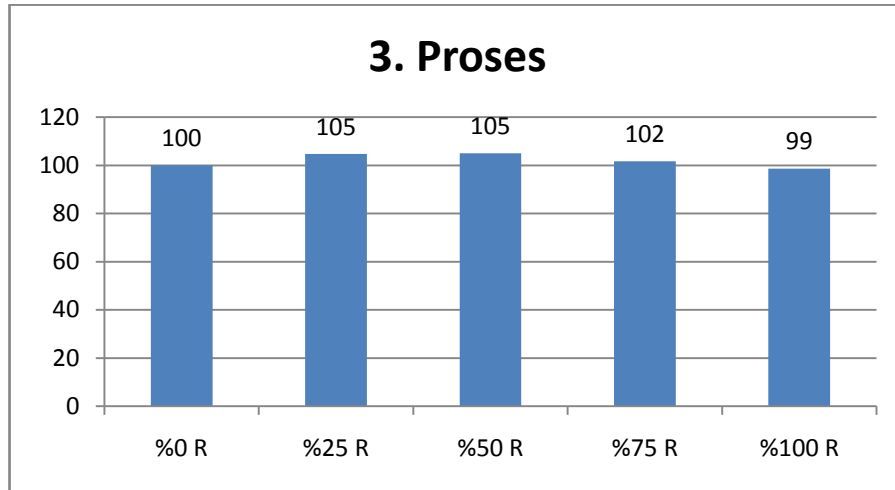
İkinci geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen numuneler için eğilme modülü

değerleri Şekil 6.19’da gösterilmiştir. Eğilme modülü değişimindeki eğilim birinci proses sonucu elde edilene benzerdir. Fakat maksimum eğilme modülü % 50 geri dönüşümlü katkısında % 5 değerindedir. % 100 geri dönüşümlü PP malzeme için eğilme modülü değerlerinde tekrar düşüş görülmektedir.



Şekil 6.19 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının eğilme modülü değerleri

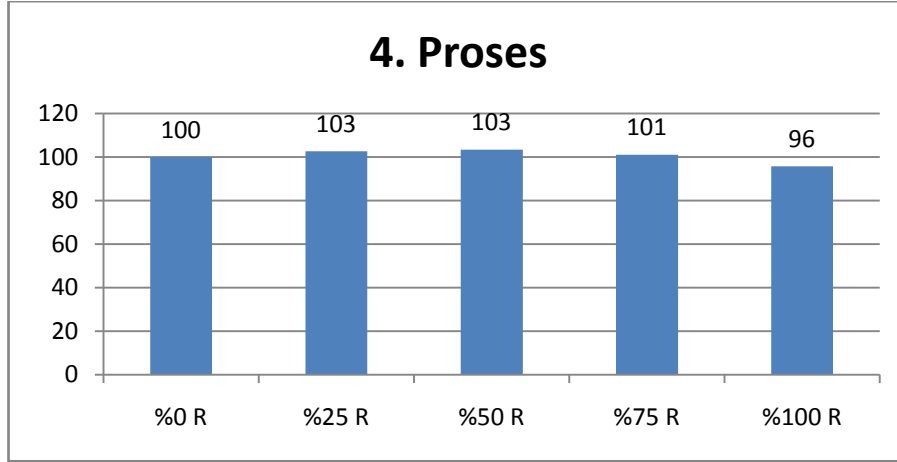
Üçüncü geri dönüşüm prosesi sonucu eğilme modüllerindeki değişim Şekil 6.20’de verilmiştir. Eğilme modülleri maksimum % 5 değerinde artış göstermektedir. Eğilim diğer proseslere benzerdir. % 100 geri dönüşümü ile elde edilen değerler orijinal PP değerlerinin % 1 altında çıkmıştır.



Şekil 6.20 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının eğilme modülü değerleri

Dördüncü geri dönüşüm prosesi neticesinde eğilme modülleri diğer proseslere göre düşüşler göstermiştir. Şekil 6.21’de dördüncü geri dönüşüm prosesi için elde

edilen eğilme modülü değerleri verilmiştir. Maksimum artış % 3 değerlerine gerilerken % 100 dördüncü geri dönüşümlü malzeme için eğilme modülü değerleri % 4 oranında azalmıştır.



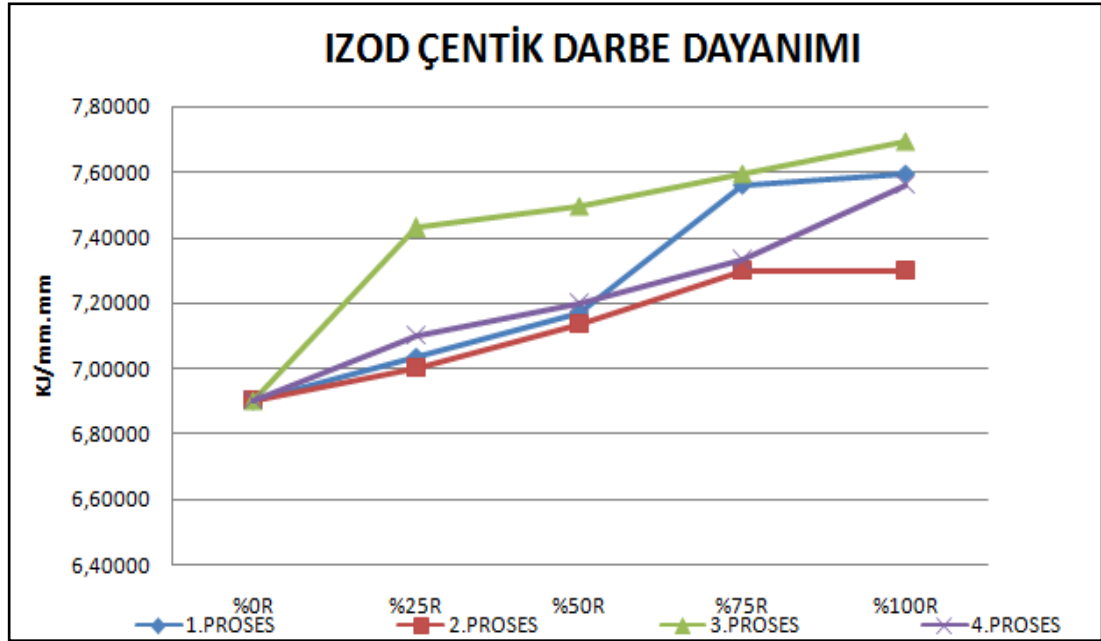
Şekil 6.21 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının eğilme modülü değerleri

Orijinal ve geri dönüşümlü PP malzeme için elde edilen Izod darbe dayanımı değerleri Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için Izod darbe dayanımı değerleri

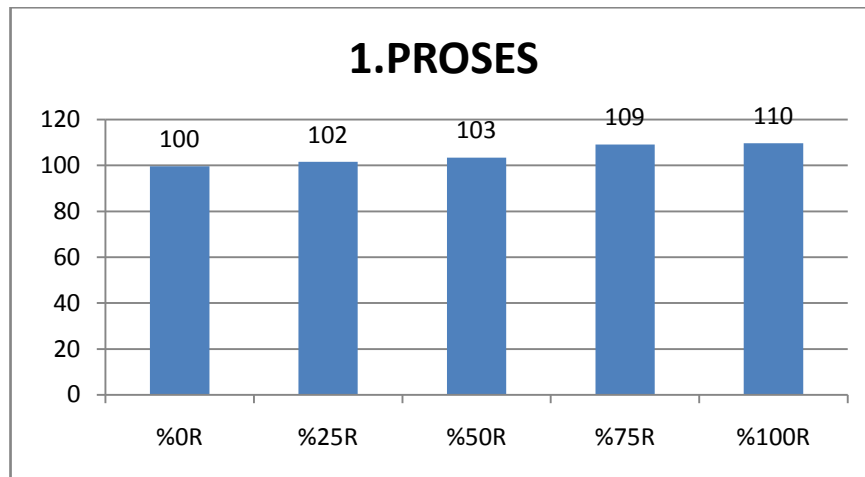
IZOD Darbe Dayanımı (kJ/mm.mm)	PP-1	PP-2	PP-3	PP-4
%0R	6,90335	6,90335	6,90335	6,90335
%25R	7,03485	7,00197	7,42932	7,10059
%50R	7,16634	7,13346	7,49507	7,19921
%75R	7,56082	7,29783	7,59369	7,33070
%100R	7,59369	7,29783	7,69231	7,56082

Geri dönüşümlü karışımlar ile hazırlanan numuneler için elde edilen darbe dayanımı değerlerinin grafik ile gösterimi Şekil 6.22'de verilmiştir.



Şekil 6.22 Orijinal ve geri dönüşümlü PP için Izod darbe dayanımı değerleri

Çentik darbe dayanımı değerleri artan geri dönüşümlü malzeme katkısı ile beraber artış göstermektedir. Birinci geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen numunelerdeki darbe dayanımı değerleri Şekil 6.23'te verilmiştir. Artan geri dönüşümlü malzeme ile beraber darbe dayanımı değerleri doğrusal bir artış göstermiştir. % 50 geri dönüşüm katkısında % 3 oranında darbe dayanımı artarken katkı oranı % 100 değerine çıktığı zaman darbe dayanımındaki artış miktarı % 10 değerlerine ulaşmıştır.

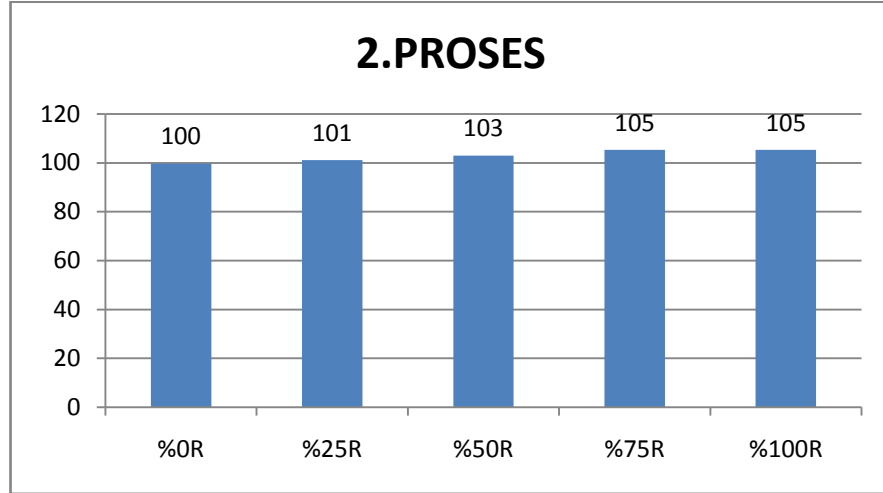


Şekil 6.23 PP-1 için geri dönüşüm karışımlarının Izod darbe dayanımı değerleri

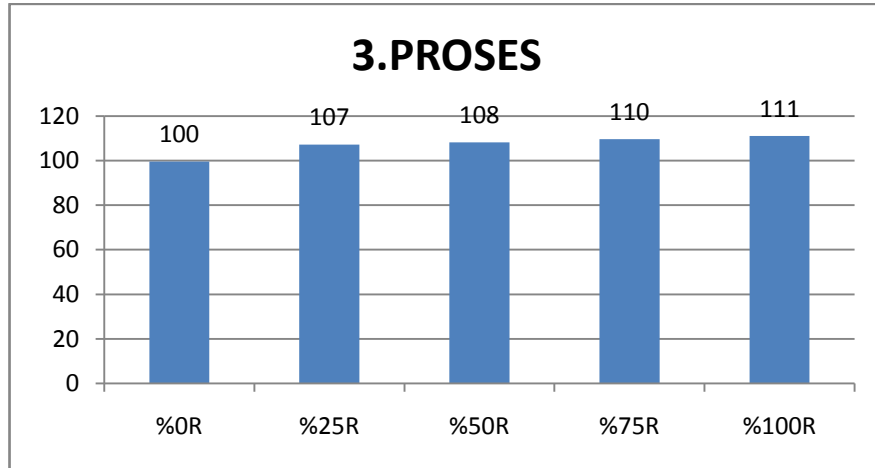
Geri dönüşüm prosesi ikinci kez tekrarlandığında elde edilen darbe dayanımı değerleri Şekil 6.24'teki grafikte verilmiştir. İkinci geri dönüşüm prosesi sonucu elde

edilen değerlerde % 5 oranlarına kadar artışlar gözlemlenmiştir.

Üçüncü geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen değerler de Şekil 6.25'te verilmiştir. Geri dönüşüm katkısının artışı ile % 11 oranına kadar darbe dayanımı artışı görülmektedir.

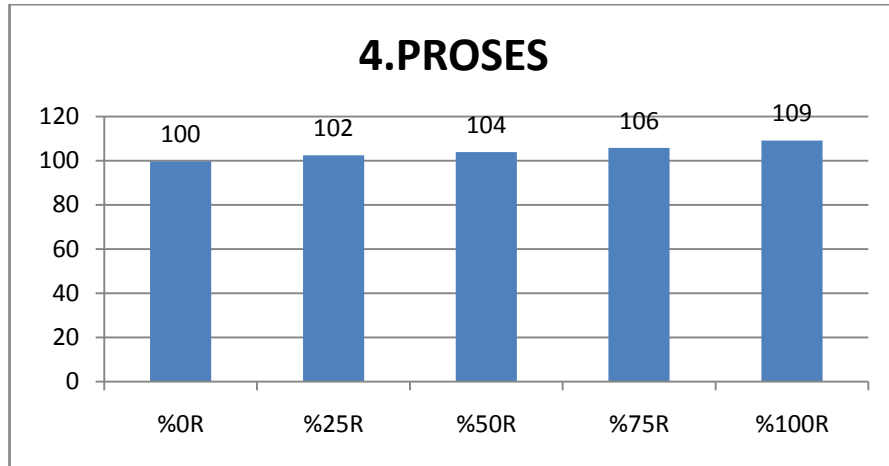


Şekil 6.24 PP-2 için geri dönüşüm karışımlarının Izod darbe dayanımı değerleri



Şekil 6.25 PP-3 için geri dönüşüm karışımlarının Izod darbe dayanımı değerleri

Dördüncü geri dönüşüm prosesi sonucu elde edilen darbe dayanımı değerleri Şekil 6.26'da verilmiştir. Dördüncü proses sonuçlarına darbe dayanımı artışı değerleri % 9 oranında olmuştur.



Şekil 6.26 PP-4 için geri dönüşüm karışımlarının Izod darbe dayanımı değerleri

Çentik darbe dayanımı kristalleşme derecesi ile ilişkilidir. Yüksek kristalleşme oranları esnek olmayan yapılara neden olmakta ve bu yapıların yüksek darbe dayanımları yoktur. Kristalin yapıların şekli de çentik darbe dayanımını etkilemektedir. Örneğin, kristaller yavaş soğumanın etkisi ile büyümeye devam ettiğinde, geniş kristalin yapılar meydana gelmekte ve bunlar düşük çentik darbe dayanımına neden olmaktadır [Altan, 2007]. Bu sebeple yapılan çalışmada kristalleşme oranlarındaki azalma, çentik darbe dayanımında artışa neden olmuştur.

6.3. Sonuçlar

Plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak analiz programından bulunan enjeksiyon parametreleri ile polipropilen (PP) malzeme ve bu malzemenin geri dönüşümleri ile elde edilen çeşitli numunelerin akış ve çekme, üç nokta eğilme, çentik darbe gibi mekanik testler yapılmıştır. Geri dönüşüm işlemi dör kez tekrarlanmış ve % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında geri dönüşümlü malzeme katkısı her bir proses için orijinal malzemeye ilave edilmiştir. Bu testlerin sonucunda PP malzemenin geri dönüşümü sayısına ve farklı geri dönüşümlü malzeme katkı miktarlarına bağlı olarak aşağıdaki bilgiler bulunmuştur.

- Geri dönüşüm prosesi arttıkça ergiyik akış testi neticesinde elde edilen MFI değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Yani malzemenin viskozitesi azalmıştır. Çünkü, geri dönüşüm prosesi ile beraber polimer zincirlerinde kırılmalar ve boylarında kısaltmalar meydana gelmiştir. Kısalan moleküler zincirler malzemeyi daha akışkan hale getirmiştir. PP C705 polipropilen malzemesinin

MFI değeri 44 g/10dk. iken artan geri dönüşüm prosesi ile beraber 52 g/10dk. değerlerine ulaşmıştır. Akıcılığın en fazla olduğu dördüncü geri dönüşüm prosesi sonucunda artış % 18 değerlerinde gerçekleşmiştir. Malzemenin geri dönüşümünün akış indeksi bakımında bir kısıt içermediği test sonuç değerlerinden anlaşılmaktadır. Plastik enjeksiyon proseslerinde malzemenin akışkan olması istenen bir durumdur. Malzemenin akışkanlığı arttıkça plastiğin kalıp içerisindeki yürüme hızı artmaktadır. Yani malzeme kalıp içerisinde daha rahat hareket etmektedir. Bunun sonucunda malzemeyi kalıp boşluğuna doldurmak için gereken enjeksiyon basıncı değerleri azalmaktadır. Aynı zamanda azalan enjeksiyon basıncı değeri ile beraber buna karşı koyan makine kapama kuvveti değeri de azalmaktadır. Enjeksiyon kapama kuvvetinin azalması hem daha düşük kapama kuvvetine sahip bir makine ile prosesi gerçekleştirmeye ve dolayısıyla makine yatırımını küçültmeye, hem de proses enerji giderini azaltarak ikinci bir maliyet azalmasına sebep olmaktadır.

- Elastislik modülü değerlerindeki değişim hem geri dönüşüm prosesi sayısına hem de farklı oranlarda geri dönüşümlü malzemenin orijinal PP malzemeye katılmasına bağlı olarak düşüşler göstermiştir. Birinci geri dönüşüm prosesinde orijinal malzemeye göre fazla değişim olmamaktadır fakat geri dönüşüm prosesi arttıkça özellikle % 50 ve üzeri olan karışımlarda % 10 değerlerinde düşüş olmuştur. Kristalleşme oranının orijinal malzemeye göre düşük olması bu düşüşün sebebidir.
- Akma dayanımı değerleri de tıpkı elastislik modülü değerleri gibi sonuçlar göstermiştir. Katkı oranının % 100 olduğu durumlarda dramatik düşüşler gözlemlenmiştir. Fakat birinci geri dönüşümü prosesindeki değişimler % 75 katkılı malzemelerde bile % 3 değerini geçmemektedir.
- Kopma uzaması değerleri artan geri dönüşüm miktarı ile beraber azalmaktadır. Geri dönüşüm oranı % 100 olan malzemelerdeki kopma uzaması değerleri orijinal malzemenin kopma uzaması değerlerine en yakın değerlerde çıkmıştır. Tüm bu numunelerde iki farklı fazın olduğu durumlarda yani geri dönüşüm ve orijinal malzeme karışımlarında yüzde kopma uzama değerleri orijinal PP malzemesine ve diğer % 100 oranındaki geri dönüşümlülere oranla yüksek çıkmıştır. İki farklı faz gibi davranan bu durum malzemedeki kopma değerlerini arttırmıştır [Altan, 2007]. % 100 geri

dönüşümlü malzemeleri kendi aralarında değerlendirecek olursak, geri dönüşüm prosesi arttıkça yüzde kopma uzaması değerlerinde doğrusal bir azalma gözlemlenmiştir. Bu da diğer mekanik test sonuçları ile paralel bir sonuç göstermektedir.

- Üç nokta eğme testi sonuçlarında orijinal PP ve geri dönüşümlü karışımları karşılaştırıldığında eğilme modüllerindeki değişim orijinal ve % 100 oranındaki geri dönüşümlü malzemeler için birbirine en yakın değerlerdir. Malzeme içerisine katılan geri dönüşümlü malzeme % 50 oranında iken eğilme modülleri maksimum değerlerde gözükmemektedir.
- Çentik darbe dayanımı değerleri artan geri dönüşümlü malzeme katkısı ile beraber artış göstermektedir. Artan geri dönüşümlü malzeme ile beraber darbe dayanımı değerleri doğrusal bir artış göstermiştir. Çentik darbe dayanımı kristalleşme derecesi ile ilişkilidir. Yüksek kristalleşme oranları esnek olmayan yapılara neden olmakta ve bu yapıların yüksek darbe dayanımları yoktur. Bu sebeple yapılan çalışmada kristalleşme oranlarındaki azalma, çentik darbe dayanımında artışa neden olmuştur.

Sonuçlar özetlenecek olursa yapılmış olan bu tez çalışmasında geri dönüşümlü PP karışımlarının akış ve mekanik test sonuçlarına göre özellikle ikinci geri dönüşüm prosesinden sonra mekanik özelliklerde dramatik düşüşler gözlemlenmiştir. Ayrıca, geri dönüşüm oranının arttığı durumlarda da % 50 katkının üzerinde mekanik özellikler dramatik düşüşler görülmüştür. Birinci geri dönüşüm prosesi ve % 25 geri dönüşüm katkısının orijinal malzemeye en yakın değerlerde olduğu hatta akış ve darbe dayanımı değerleri de orijinal malzemeden yüksek olduğu görülmüştür. Kristalleşme oranlarının azalması esnek olmayan yapılara neden olduğundan elastislik modülü ve akma dayanımı değerlerini arttırırken darbe dayanımı değerlerini düşürmüştür.

Kısaca belirtmek gerekirse bu bilgiler dahilinde malzemelerden istenen özelliklere göre geri dönüşüm oranları belirlenerek uygun miktarlar belirlenmelidir.

6.4. Öneriler

Yapılan bu tez çalışmasında polipropilen malzeme için geri dönüşüm ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada PP malzeme

seçilmesinin sebebi otomotiv sektörü için yüksek oranlarda kullanılmasıdır. Fonksiyonel olmayan parçalar için özellikle kapak ve otomotiv parçalarını çevreleyen koruma parçaları için geri dönüşümlü malzemelerin kullanımı idealdir. Bu parçalar mekanik olarak bir fonksiyon içermediğinden geri dönüşümlü malzeme kullanılarak plastik enjeksiyon firmalarında proses atıklarının değerlendirilmesi çok önem verilmesi gereken bir konudur. Çeşitli sektörlerde geri dönüşüm malzemeler kullanılırken otomotiv sektöründe geri dönüşüm malzeme kullanılmamaktadır.

Bu sebeple yapılan çalışmada % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar ayrıca dördüncü kez geri dönüşümü tekrarlanarak bu parametrelerin de sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmada geri dönüşüm malzemeleri orijinal malzeme ile aynı lottan seçilerek aynı şartlar sağlanmıştır.

PP malzemenin içerisine farklı malzemelerin karıştırılması katkı malzemesi etkisi yapacağından bu konu da çalışılabilecek bir konudur. Çünkü farklı malzemelerin katkısı bazı mekanik özellikleri düşürürken bazı mekanik özellikleri arttırabilmektedir. Kötüleşen bu özellikler de başka malzemelerin katkısı ile iyileştirilebilmektedir. Ayrıca hammadde olarak PP yarı kristalin bir malzemedir. Bunun yerine amorf bir malzeme ile geri dönüşüm etkilerinin araştırılması farklı bir çalışma konusu olabilir.

EK-1 Çalışmada Kullanılan Polimerin Özellikleri

PP – Dow C 705

Properties	Units	Test Method	Value
Physical ⁽¹⁾			
Melt Flow Rate (230 °C, 2.16 kg)	g/10min	ISO 1133	44
Density	g/cm ³	ISO 1183	0.9
Mechanical ^(1,2)			
Flexural Modulus	MPa	ISO 178	1450
Tensile Strength at Yield	MPa	ISO 527-2	28
Tensile Elongation at Yield	%	ISO 527-2	7
Thermal ^(1,2)			
HDT B (0.45 MPa)	°C	ISO 75/B	100
Vicat Softening Point A (10 N)	°C	ISO 306/A	152
Impact ^(1,2)			
CHARPY (notched) Impact Strength (23 °C)	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	7.0
CHARPY (notched) Impact Strength (0 °C)	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	5.0
CHARPY (notched) Impact Strength (-20 °C)	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	4.0

Mitsubishi 50 MEt III

Model			Units	50MEt III							
Injection	Injection system		-	In-line screw							
	Injection stroke		mm	64	72		72	96	112		
	Screw diameter		mm	16	18	20	20	24	28	32	
	Theoretical injection capacity		cm ³	13	18	23	23	43	69	90	
	Standard	Injection unit		-	-			1.5H			
		Injection rate		cm ³ /s	-			94	136	185	-
		Max. injection speed		mm/s	-			300			
		Max. injection pressure		MPa	-			274.5	235.4	182.3	-
		Max. injection holding pressure		MPa	-			274.5	196.0	147.0	-
	High-speed	Injection unit		-	0.7H			2.5H			
		Injection rate		cm ³ /s	60	76	94	-	136	185	241
		Max. injection speed		mm/s	300			300			
		Max. injection pressure		MPa	254.9	254.9	235.2	-	274.5	235.2	181.3
		Max. injection holding pressure		MPa	254.9	254.9	235.2	-	274.5	176.4	147.0
	Superhigh speed	Injection unit		-	0.7U			2.5U			
		Injection rate		cm ³ /s	101	127	157	-	226	308	402
		Max. injection speed		mm/s	500			500			
		Max. injection pressure		MPa	254.9	254.9	235.2	-	274.5	235.2	181.3
		Max. injection holding pressure		MPa	254.9	254.9	235.2	-	274.5	176.4	147.0
	Recovery rate (PS)		kg / h	11.1	14.4	17.6	13.9	25.0	41.0	62.0	
Screw revolution speed		min ⁻¹	500			350					
Nozzle pressing force		kN	9.8			19.6					
Clamping	Clamping system		-	Double toggle							
	Clamping force		kN	490							
	Clamping stroke		mm	270							
	Min. mold height		mm	150							
	Max. mold height		mm	380							
	Tie bar clearance (H×V)		mm	360x325							
	Die plate size (H×V)		mm	500x460							
	Ejector force		kN	19.2							
	Ejector stroke		mm	70							

Other	Heater capacity	kW	2.05	2.275	2.575	3.45	5.50	5.50	5.85
	Mold height motor output	kW	0.1						
	Nozzle touch motor output	kW	0.1			0.2			
	Machine dimension <L>	mm	3427			3427	3494	3590	3692
	Machine dimensions <W×H>	mm	1001x1523						
	Power source	-	Three-phase AC200V/200, 220V±10% 50Hz/60Hz						
	Main breaker capacity	A	75(2.5U:150)						
	Total electric capacity	KVA	0.7H:10			1.5H:13			
			0.7U:18			2.5H:20			
						2.5U:35			
	Cable size 200V Class[400V Class *1]	mm ²	14[8]			2.5H:14[8] 2.5U:38[14]			
	Machine weight	t	2.0			2.2			

KAYNAKLAR

1. Akkurt., S., 1991, “Plastik Malzeme Bilgisi”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
2. Altan, M., 2007, “Plastik enjeksiyonda geri dönüşümlü malzeme katkısı ile işlem parametrelerinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisinin incelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Doktora Tezi, İstanbul.
3. Aurrekoetxea, J., Sarrionandia, M.A., Urrutibeascoa, I., Maspoch, M.L., 2003, Polymer 44 6959–6964.
4. Aurrekoetxea J., Sarrionandia M.A., Urrutibeascoa I., Maspoch M.L., 2001, Mater Sci 36:1.
5. Aurrekoetxea J., Sarrionandia M.A., Urrutibeascoa I., Maspoch M.L., 2001, Mater Sci 36:5073.
6. Bijstrebosch, H., Gaymans, R.J., 1995, Polym. Compos., 16, 363.
7. Brandrup, J., 1996, “Recycling and recovery of plastics”, Hanser.
8. Brydson, J.A., 1996, “Plastics Materials”, Butterworth-Heinmann, Oxford.
9. Crawford, R.J., 1989, “Plastics Engineering”, Pergamon Press, England.
10. Çapan, L., 2003, “Metallere plastik şekil verme”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
11. Çevko, 2009.
12. Doshi, S.R., Charrier, J.M., 1989, Polym. Compos., 10, 28.
13. DPT, 1994, “Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı”.
14. DPT, 2001, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, DPT: 2547- ÖİK: 563, Ankara.
15. Ehrig, R.J., 1992, “Plastic recycling – products and processes”, Hanser.
16. Erünsal, E., 2002, “Atık Plastik Malzemelerin Yüksek Fırınlara Enjeksiyonu”, Erdemir Test, Kalite ve Teknoloji Baş Md. Araştırma ve Geliştirme Md.
17. Eurotec Mühendislik Plastikleri, 2009, “Enjeksiyonda kırma kullanımı”.
18. Fujiyama M., Wakino T., Kawasaki Y. J., 1998, Appl Polym Sci 35:29.
19. Furukawa, T., 1998, “Plastic as Ironmaking Fuel at NKK”, New Steel.
20. Hegberg, B.A., Hallenbeck, W.H., Brenniman, G.R., 1993, ”Plastics Recycling Rates”, Resource, Conversation and Recycling”.
21. Hobbs, T., Hesser, A.J., 2000, Polymer 41, 6223.
22. Hurplastik, 2008.
23. İstaç, 2008.

24. Kalu E., 1996, “Plastik teknolojisi ders notları”, Kocaeli.
25. Lacqueline (Director), 1994, “Industry and Environment”, Volume 17, No:2.
26. Liu Y., Kennard C.H.L., Truss R.W., Calos N.J., 1997, Polymer 38:2797.
27. Malloy, A, 1994 “Plastic part design for injection molding”, Hanser, New York.
28. MasPOCH, M.L., Fernando, H.E., Velasco, J.I., 2003, “Characterisation of filled and recycled PA6”, Macromol. Symp. 194,295-303.
29. Ogaki, Y., Tonioka, K., Watanabe, A., Arita, K., Kuriyama I. ve Sugayashi, T., 2001, “Recycling of Waste Plastic Packaging in a Blast Furnace System “, NKK Technical review, No:84.
30. Özbay, A., 2008, “Alternatif kalıp malzemelerinin değişik parametrelerden elde edilmiş nihai ürünün mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılması”, GYTE, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
31. Öztürk, M., 2005, “Daha İyi Bir evre İçin Plastiklerin Geri Kazanılması”, evre Bakanlığı, Ankara.
32. Pişkin, E., 1987, “Polimer Teknolojisine Giriş”, İnkılap Yayınevi, İstanbul.
33. Powell, P.C., Housz, A.J.I., 1998, “Engineering with Polymers”, Stanley Thornes, England.
34. Pötsch, G. ve Michaeli, W., 1995,” Injection Molding: An Introduction”, Hanser Publishers, New York.
35. Santos, P., Pezzin, S.H., 2003, “Mechanical Properties of Polypropylene Reinforced With Recycled PET Fibres”, Journal of Materials Processing Technology, 143-144, 517-520.
36. Scheirs, J., 1998, “Polymer recycling: science, technology and applications”, John Wiley & Sons.
37. Tadmor, Z., ve Gogos, C., 1979, “Principles of Polymer Processing”, John Wiley, USA.
38. Tanrıkulu, R., 2005, “Plastik ve Enjeksiyonu Notları”, Kocaeli.
39. Tukker, A., De Groot, H., Simons, L., Wiegersma, S., 1999, “Chemical Recycling of Plastics Waste”, TNO Institute of Strategy Technology and Policy, Netherlands.
40. UNEP, 1994, IE Volume 17, No:2.
41. Young, R.J., ve Lovell, P.A., 1992, “Introduction to Polymers”, Chapman Hall, London.

42. Wikipedia, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İstanbul Kadıköy’de doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi Maltepe’de bitirdi. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2004 yılında Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Lisans tez çalışmasını deneysel olarak PE boruların ağırlık düşürmeli darbe dayanımlarının test çubuğu ile yapılan Izod ve Charpy metodu ile karşılaştırılması üzerine hazırladı. Üniversiteyi bitirdikten sonra Galsan Plastik ve Kalıp San. A. Ş.’de Üretim Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2005 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans programına kabul edildi. 2008 yılı itibarı ile bölümünün adı Makine Mühendisliği olarak değiştirildi. Aynı yıl askerlik görevini tamamladı. Halen Galsan Plastik’te iş hayatına devam etmektedir.