

**ENJEKSİYONLA KALIPLAMADA KALSİT KATKILI POLİPROPİLEN
MALZEMELERDE GERİ DÖNÜŞÜM ORANININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Ercüment ASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2013
ANKARA**

Ercüment ASLAN tarafından hazırlanan “ENJEKSİYONLA KALIPLAMADA KALSİT KATKILI POLİPROPİLEN MALZEMELERDE GERİ DÖNÜŞÜM ORANININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ” adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç Dr. Ahmet TAŞKESEN
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç Dr. Ahmet TAŞKESEN
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 10/06/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ercüment ASLAN

**ENJEKSİYONLA KALIPLAMADA KALSİT KATKILI POLİPROPİLEN
MALZEMELERDE GERİ DÖNÜŞÜM ORANININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ercüment ASLAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2013**

ÖZET

Plastik parçaların mekanik özelliklerinin korunabilmesi için nitelikli geri dönüşüm öneminden hareketle; bu çalışmada, sanayide kullanılan % 40 kalsit (kalsiyum karbonat) katkı polipropilen (PP) malzemenin geri dönüşümlü olarak kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. Hammaddenin geri dönüşümündeki mekanik özelliklerini inceleyebilmek numuneler hazırlanmıştır. %100 geri dönüşümsüz malzeme ile %5, %10, %15, %25, %50, %75 ve %100 oranında bir kez geri dönüştürülmüş malzeme karışımları ile hazırlanmış numunelere normal çekme, kaynak bölgesi çekme, üç nokta eğme ve izod çentik darbe testleri uygulanmıştır. Ayrıca, yapılan testlerin kullanım koşullarını simüle etmesi için etüv kabinlerinde bekletildikten sonra da (yaşlandırılarak) aynı testler uygulanmıştır. Testler sonucunda malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimler belirlenmiş ve plastik parçanın kullanım alanlarına göre kırma malzeme seçimi için bir uygunluk kitlesi elde edilmiştir. Sonuçlar geri dönüşümlü malzeme kullanımında darbe dayanımının azaldığını, eğme ve çekme dayanımlarında ise dikkate değer olumsuz bir değişim olmadığını ortaya koymuştur.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Geri dönüşüm, kalsit, polipropilen,
plastik enjeksiyon
Sayfa Adedi : 76
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN

**DETERMINATION OF THE EFFECTS ON MECHANICAL PROPERTIES
OF RECYCLE RATIO IN CALCIT REINFORCED POLYPROPYLENE
MATERIALS IN INJECTION MOULDING
(M.Sc. Thesis)**

Ercüment ASLAN

**GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
June 2013**

ABSTRACT

Because of qualified recycling is an important issue for protecting the mechanical properties of the plastic parts, the using of recycled polypropylene material, added 40 % of calcite (calcium carbonate), experimentally investigated. In this study, the samples are prepared with 100 % pure, %5, %10, %15, %25, %50, %75 and 100 % recycled material mixtures for investigating mechanical properties of raw material at the recycled using. Measurement proficiency have been checked by doing dimensional measurements of the samples. The samples tested by normal tensile, weld tensile, three-point bending and charpy impact testing methods. Also, after aging process, similar tests have been applied for simulating using conditions of tests. At the end of the tests, the changes at the mechanical properties of the material were determined. According to the results of tests, a prediction obtained for recycling material selection. The decreasing of impact resistance has been identified by using recycled material. There aren't any significant changes in values of the bending and tensile testing.

Science Code : 708.3.028
Key Words : Recycle, polypropylene, calcium carbonate,
plastic injection
Page number : 76
Adiser : Assist. Prof. Dr. Ahmet TAŞKESEN

TEŞEKKÜR

Tez aşamasında bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet Taşkesen'e, laboratuvar imkânlarından yararlandığım Arçelik AŐ'ye, test malzemelerinin baskılarının yapılması için yardımcı olan Plastika AŐ, Vatan Plastik, Alfa Plastik firmalarına, Kağan Verçin'e, tezim süresince maddi ve manevi olarak bana her zaman destek olan eşim Bahar Aslan'a ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. PLASTİK MALZEMELER.....	21
3.1. Plastik Malzemelerin Tarihi.....	21
3.2. Plastik Malzemelerin Tanımı.....	21
3.3. Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması	25
3.3.1. Kimyasal esasa göre sınıflandırma.....	26
3.3.2. Yapı esasına göre sınıflandırma.....	26
3.3.3. Kullanım alanına göre sınıflandırma	27
3.3.4. Fiziksel esasa göre sınıflandırma	27
3.3.5. İşleme esasına göre sınıflandırma.....	28
3.4. Plastik Malzemelerin Mekanik Özellikleri	31
3.5. Sanayide Sık Kullanılan Termoplastikler	32
3.5.1. Polietilen.....	32

	Sayfa
3.5.2. Polipropilen.....	33
3.5.3. Polistiren.....	34
3.5.4. Polivinil klorür	35
3.5.5. Polimetil metakrilat	36
3.5.6. Polietilen tereftalat.....	36
3.5.7. Polikarbonat	37
3.5.8. Poliamidler (Naylonlar)	38
3.5.9. Politetrafloroetilen.....	38
3.6. Plastik Malzemelerde Kullanılan Katkı Maddeleri	39
3.6.1. Plastikleştiriciler.....	40
3.6.2. Yağlayıcılar.....	41
3.6.3. Darbe dayanımı arttırıcılar.....	41
3.6.4. Köpürtücü Katkılar	42
3.6.5. Kristalliği düzenleyiciler	43
3.6.6. Anti statik katkılar	43
3.6.7. Renklendiriciler.....	43
3.6.8. Yanma Dayanımı Arttırıcılar	44
3.6.9. Isı stabilizatörleri.....	44
3.6.10. UV stabilizatörleri.....	44
4. GERİ DÖNÜŞÜM	48
4.1. Geri Dönüşüm Süreci	52
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	59
5.1. Numunelerin hazırlanması.....	59

	Sayfa
5.2. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi.....	60
5.2.1. Çekme testleri	61
5.2.2. Üç nokta eğme testleri.....	62
5.2.3. İzod çentikli darbe testleri.....	63
6. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	64
6.1. Çekme Testleri.....	64
6.2. Kaynak Bölgesi Çekme Testleri	65
6.3. Üç Nokta Eğme Testleri.....	67
6.4. İzod Çentikli Darbe Testleri.....	68
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kırma malzemenin tekrar kullanımına bağlı mekanik özelliklerinin değişimi	5
Şekil 2.2. Kırma malzeme oranının mekanik özelliklere etkisi.....	5
Şekil 2.3. Kırma malzemenin tekrar kullanımına bağlı mekanik özelliklerinin değişimi	6
Şekil 2.4. Kırma malzeme kullanım oranının uzamaya etkisi	6
Şekil 2.5. Kırma malzeme kullanımının çekme dayanımına ve uzamaya etkisi	7
Şekil 2.6. Kırma malzeme kullanımının darbe dayanımına etkisi.....	8
Şekil 2.7. Kırma malzeme kullanımının çekme dayanımına etkisi.....	11
Şekil 2.8. CaCO ₃ (1µm ve 50 nm) parçacıkları ve elastomer ekleyerek yapılan uzama gerilmesi testleri.....	14
Şekil 2.9. CaCO ₃ (1µm ve 50 nm) parçacıkları ve elastomer ekleyerek yapılan izod darbe dayanımı test sonuçları.....	14
Şekil 2.10. CaCO ₃ (1µm ve 50 nm) parçacıkları ve elastomer ekleyerek yapılan elastikiyet modülü test sonuçları.....	15
Şekil 2.11. Geri dönüşümsüz PP ile CaCO ₃ karışımının izod darbe ve elastikiyet modülüne etkisi.....	16
Şekil 2.12. Geri dönüşümlü PP ile CaCO ₃ karışımının izod darbe dayanımına ve elastikiyet modülüne etkisi.....	17
Şekil 2.13. Yapay sinir ağları ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	19
Şekil 3.1. Polimerlerin sınıflandırılması	26
Şekil 3.2. Amorf ve kristal polimerlerin iç yapıları.....	27
Şekil 3.3. Termoset ve termoplastik malzemelerin içyapıları	28
Şekil 3.4. Polietilenlerin kimyasal olarak gösterimi.....	32
Şekil 3.5. Polipropilenin kimyasal olarak gösterimi.....	33

Şekil	Sayfa
Şekil 3.6. Polistirenin kimyasal olarak gösterimi.....	34
Şekil 3.7. Polivinil klorürün kimyasal olarak gösterimi.....	35
Şekil 3.8. Polietilen tereftalatın kimyasal olarak gösterimi.....	37
Şekil 3.9. Polikarbonat malzemenin kimyasal olarak gösterimi.....	37
Şekil 3.10. Poliamidlerin kimyasal olarak gösterimi.....	38
Şekil 3.11. Politetrafloroetilenin kimyasal olarak gösterimi.....	39
Şekil 4.1. Geri dönüşüm ünitesi genel görünümü.....	54
Şekil 4.2. Geri dönüşüm ünitesi birimleri.....	54
Şekil 4.3. Geri dönüşüm kırıcı ünitesi.....	55
Şekil 4.4. Çeşitli ürünler için geri dönüşüm sembolleri.....	57
Şekil 5.1. İzod çentik darbe testi numuneleri.....	63
Şekil 6.1. Kırma malzeme kullanımına göre çekme dayanımı değişimi	65
Şekil 6.2. Kırma malzeme kullanımına göre yükte uzama değişimi	66
Şekil 6.3. Kırma malzeme kullanımına göre kaynak bölgesindeki çekme dayanımı değişimi	67
Şekil 6.4. Kırma malzeme kullanımına göre kaynak bölgesindeki çekme-yükte uzama değişimi.....	68
Şekil 6.5. Kırma malzeme kullanımına göre eğme dayanımı değişimi	69
Şekil 6.6. Kırma malzeme kullanımına göre yükte uzama değişimi	69
Şekil 6.7. Kırma malzeme kullanımına göre izod çentik darbe değişimi.....	70

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kıрма malzeme kullanımının elastisite modülüne etkisi	8
Çizelge 2.2. Kıрма malzeme kullanımının akma dayanımına etkisi	9
Çizelge 2.3. Kıрма malzeme kullanımının eğilme modülüne etkisi	9
Çizelge 2.4. Kıрма malzeme kullanımının kopma uzamasına etkisi	9
Çizelge 2.5. Kıрма malzeme kullanımının izod darbe dayanımına etkisi	10
Çizelge 2.6. Kıрма malzeme kullanımının oranları.....	10
Çizelge 2.7. Kıрма malzeme kullanımının oranları.....	11
Çizelge 2.8. Test numunesi karışım oranları.....	12
Çizelge 2.9. Test sonuçları karşılaştırma tablosu.....	13
Çizelge 2.10. Test sonuçları karşılaştırma tablosu.....	13
Çizelge 2.11. Test sonuçları karşılaştırma tablosu.....	16
Çizelge 2.12. Test numuneleri karışım oranları.....	18
Çizelge 2.13. Test sonuçları tablosu	18
Çizelge 3.1. Ülkelerin malzeme cinsine göre yıllık kullanım oranları	22
Çizelge 3.2. Ülkelerin malzeme cinsine göre yıllık kullanım oranları	23
Çizelge 3.3. Katkı maddelerinin malzemeye kazandırdıkları özellikler.....	45
Çizelge 4.1. Avrupa'daki ambalaj malzemelerinin geri toplama ve geri kazanım oranları.....	50
Çizelge 4.2. Plastiklerin kullanım yerleri ve genel kullanımdaki dağılımları..	51
Çizelge 4.3. Homopolimerlerin malzemelerin karıştırılabilirlik özellikleri	56
Çizelge 4.4. Plastikler için kullanılan semboller ve anlamları	58
Çizelge 5.1. Test numuneleri karışım oranları	60

RESİMLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Resim 3.1. Kalsit malzemesinin doğal şekilleri.....	46
Resim 5.1 Üretilen parçaların ölçüsel kontrollerinin gösterimi.....	60
Resim 5.2. Çekme test düzeneğini gösterimi.....	62
Resim 5.3. Üç nokta eğme test düzeneği şematik gösterimi.....	63
Resim 5.4. İzod çentik darbe test düzeneği gösterimi.....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Kısaltmalar	Açıklama
PP	Polipropilen
UV	Ultraviyole
PA6	Poliamid 6
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
NBR	Nitril kauçuk
EOR	Elastomer (ethylene–octene rubber)
PE	Polietilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil klorür
PMMA	Polimetil metakrilat
PET	Polietilen tereftalat
PC	Polikarbonat
PTFE	Politetrafloroetilen
LCA	Life Cycle Assesment

1. GİRİŞ

Plastik ürünler ev eşyaları, otomotiv, sağlık vb. birçok sektörlerde kullanılmaktadır. Üretilen plastik malzemelerden; gerek üretim koşulları sırasında gerekse de kullanım ömrü bittikten sonra hurda malzemeler oluşmaktadır. Ortaya çıkan bu hurda ya da atık malzemeler; maddi ve çevresel sorunlara yol açmaktadır.

Problem çevresel boyutları ile ele alındığında; tüketim miktarının arttığı günümüzde, üretilen her ürünün tekrar kullanılabilir olması istenmektedir. Plastiklerin bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, UV (ultraviyole) ışınlarına ve biyolojik aktivitelere karşı dayanıklı olmaları nedeniyle doğada uzun süre bozulmadan kalabilmektedirler. Doğayı kirleten bu özellikleri nedeniyle plastik malzemeler geri kazanımı yapılması istenen başlıca malzemelerden biridir. Son yıllarda artan sivil toplum örgütlerinin baskısı, yeni kanunlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Maddelerin geri kazanımının yapılması istenmekte ve kaynakların geri dönüştürülebilir şekilde etkin kullanımı konusunda yaptırımlar uygulanmaktadır.

Geri dönüşümün bir başka boyutu da maddi avantajlar sağlamaktır. Genel kullanım plastikleri geri dönüştürülerek daha ucuz hammadde temini sağlanmaktadır. Artan talepler doğrultusunda geri dönüşümlü malzeme kullanımına geçilmiş fakat bunun sonucunda malzemelerin mekanik özelliklerinde düşüş olduğu tespit edilmiştir. Geri dönüşüm işleminin polimer zincirini bozarak malzemenin mekanik özelliklerinde düşüğe neden olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle geri dönüşümlü malzeme kullanımı için seçici olunmuş ve plastik ürünün enjeksiyonla kalıplanması sonucunda oluşan atık malzemelerin (yolluk, hatalı basılmış ürün, hurdaya ayrılmış kırık parçalar vb.) geri dönüştürülerek kullanılması önem kazanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalar genel olarak sanayii de kullanılması istenen özellikli plastikler için yapılmaktadır. Geri dönüştürülen plastikler, geri

dönüştürülme işlemi yapılmamış ham plastikler ile karşılaştırılmaktadır. Bir diğer araştırma şekli de, geri dönüşürme işleminin birden fazla uygulanarak hammadde ile karşılaştırılması olarak yapılmaktadır. Plastik parçaların çekme, eğilme, basma vb. dayanım testleri karşılaştırmalı olarak yapılmakta ve sonuçları yorumlanmaktadır.

Bu çalışmada özel bir firmanın kullanmış olduğu özel karışım oranlarına sahip hammaddenin geri dönüşüm yoluyla kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Firmanın kullandığı hammadde % 40 kalsit katkılı PP hammadDEDİR. Hammadde; PP içerisine istenilen sonuç elde edilinceye kadar çeşitli oranlarda kalsit katılarak testler yapılmış ve % 40 oranının uygun olduğu belirlenerek oluşturulmuştur. Malzemenin yaygın olarak kullanımına başlanmasından sonra hammaddenin hurda ve atık kısımlarının değerlendirilmesi gündeme gelmiştir. Bu atık malzemelerin değerlendirilebilmesi için mekanik özellikleri incelenmeye çalışılmıştır.

Hazırlanan numuneler ile belirlenen karışım oranlarında elde edilen malzemelerin mekanik özellikleri incelenerek, karışım oranlarının sonuçları araştırılmıştır. Bu çalışmada hammaddenin kabul testleri aşamasında firmanın en fazla geri dönüşüm malzeme oranı olan % 15 temel alındı. Bu çalışmalara ek olarak hammaddenin geri dönüşümündeki genel davranışlarını inceleyebilmek için % 5, % 10, % 15, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında bir kez geri dönüştürülmüş malzeme kullanılması durumundaki mekanik özellikleri incelenmiştir.

Malzemenin test edilebilmesi için normal çekme, kaynak bölgesi çekme, izod çentik darbe ve eğme testlerinin yapılmasına karar verilmiştir. Test çubukları için Arçelik ve Plastika firmalarında bulunan kalıplar kullanılmıştır. Bu kalıplarda belirlenen oranlarda (% 5, % 10, % 15, % 25, % 50, % 75 ve % 100) karışımlar hazırlanarak baskılar alınmıştır. İmal edilen test çubuklarının ölçüsel kontrolleri yapılmıştır. İmal edilen test çubukları normal çekme, kaynak bölgesi çekme, izoçentik darbe ve üç nokta eğme testlerine tabi

tutularak mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu testlere ek olarak hammaddenin çalışma koşullarına uygunluğunu da test edebilmek için etüv kabinlerinde yaşlandırılarak testler tekrarlanmıştır.

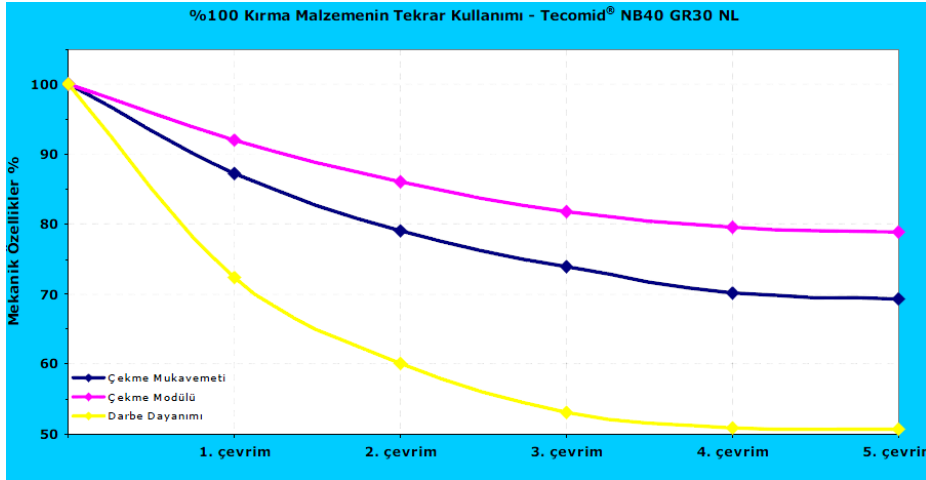
2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışmada kullanılan hammadde % 40 kalsit katkılı polipropilendir. hammadde özel bir hammadde olduğu için literatür taramasında benzer bir çalışma tespit edilememiştir. Bu nedenle literatür çalışmasında PP ve benzeri malzemelerin geri dönüşümlü malzeme ile kullanımı ve PP içerisine kalsit (CaCO_3) eklenerek yapılan araştırmalar incelenmiştir.

2.1. Literatür Çalışmaları

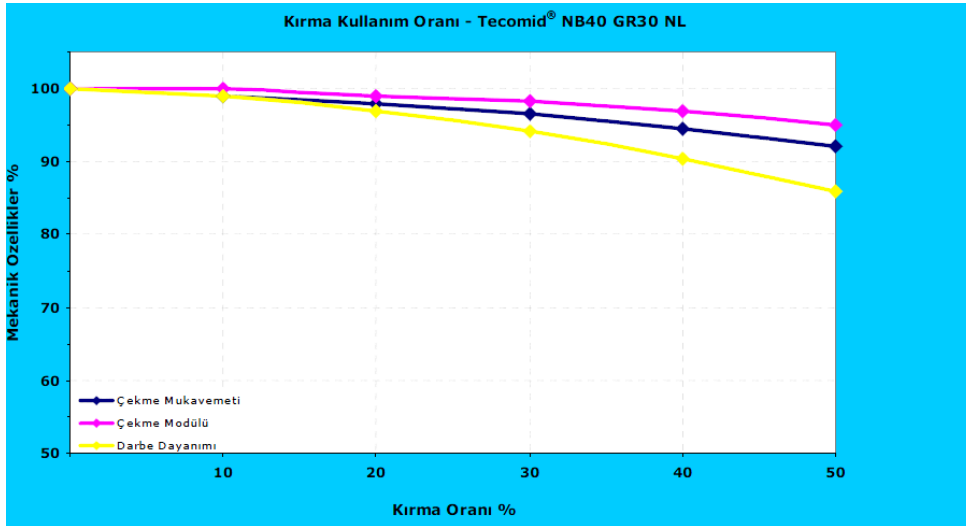
Eurotec firması plastik hammadde üreticisidir. Firmanın hazırlamış olduğu “enjeksiyonda geri dönüşümlü malzeme kullanımı” isimli dokümanında geri dönüşümlü malzeme kullanımı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Dokümanda; mühendislik plastiklerinde geri dönüşümlü malzeme kullanımı için bazı ölçütler öngörülmüştür. Malzeme seçiminde kalıplama sırasında oluşan eksik baskılar, yolluk artıkları ve üretilmiş hatalı parçaların geri dönüşümlü makinalarında kırıldıktan sonra tekrar ana hammaddeyle karıştırılmasının uygun olacağı belirtilmiştir. Ayrıca geri dönüşüm ile kullanılacak hammaddenin boyut, renk, kullanım oranı gibi seçim ölçütleri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir [1].

Araştırmacılar % 100 geri dönüştürülmüş Poliamid 6 (PA6) % 30 cam elyafı malzemeyi beş kez geri dönüştürerek, malzemenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Şekil 2.1’de gösterilen grafikte cam elyafı bir malzemenin mekanik özelliklerinin 1.çevrimde % 10-30 oranında azalırken 5.çevrimde % 50 oranında azaldığı görülmüştür. Tabloda geri dönüşümsüz hammaddenin tüm özellikleri % 100 olarak gösterilmiştir [1].



Şekil 2.1. Geri dönüşümlü malzemenin tekrar kullanımına bağlı mekanik özelliklerinin değişimi [1].

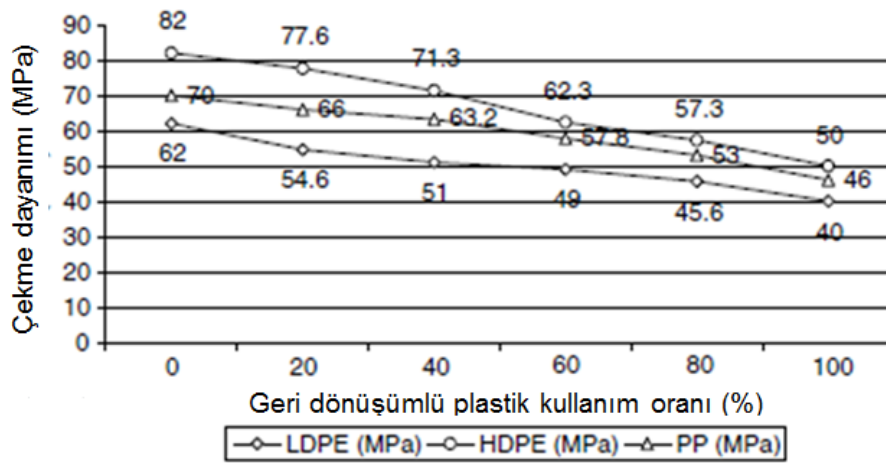
Aynı araştırmada PA6 % 30 cam elyafli geri dönüşümsüz malzeme, % 10-20-30-40-50 oranlarında geri dönüşümlü malzeme ile karıştırılarak malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Değişim sonuçları Şekil 2.2'de verilmiştir.



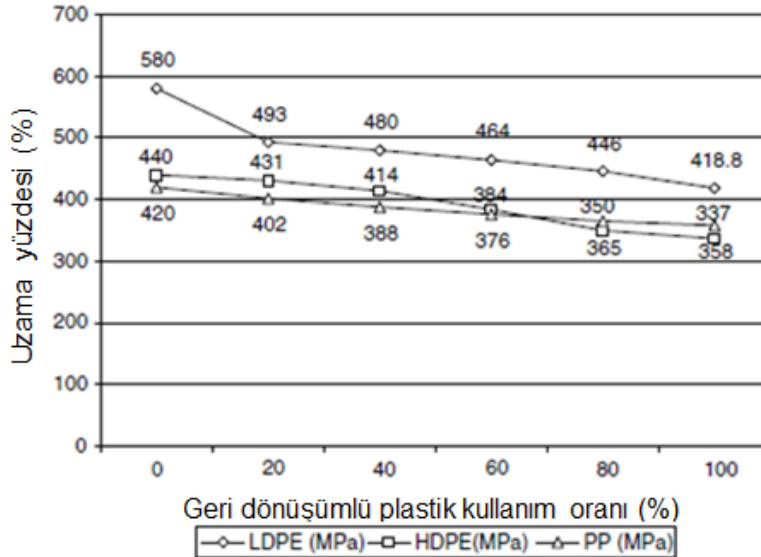
Şekil 2.2. Geri dönüşümlü malzeme oranının mekanik özelliklere etkisi [1].

Araştırmacılar yaptıkları deneyler sonucunda % 20'den fazla geri dönüşümlü malzeme kullanıldığında mekanik özelliklerde dikkate değer düşüşler saptamıştır.

Cemal Meran ve arkadaşları, PP ve polietilen (PE) hammaddelerin geri dönüşümlü malzeme ile kullanımını incelemişlerdir. Araştırmacılar, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) hammaddelerin % 0-20-40-60-80-100 oranlarında geri dönüşümlü malzeme ile karıştırarak malzemenin çekme dayanımı ve uzama değişimini incelemiştir. Değişim sonuçları Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de verilmiştir [2].



Şekil 2.3. Geri dönüşümlü malzemenin tekrar kullanımına bağlı mekanik özelliklerinin değişimi [2].

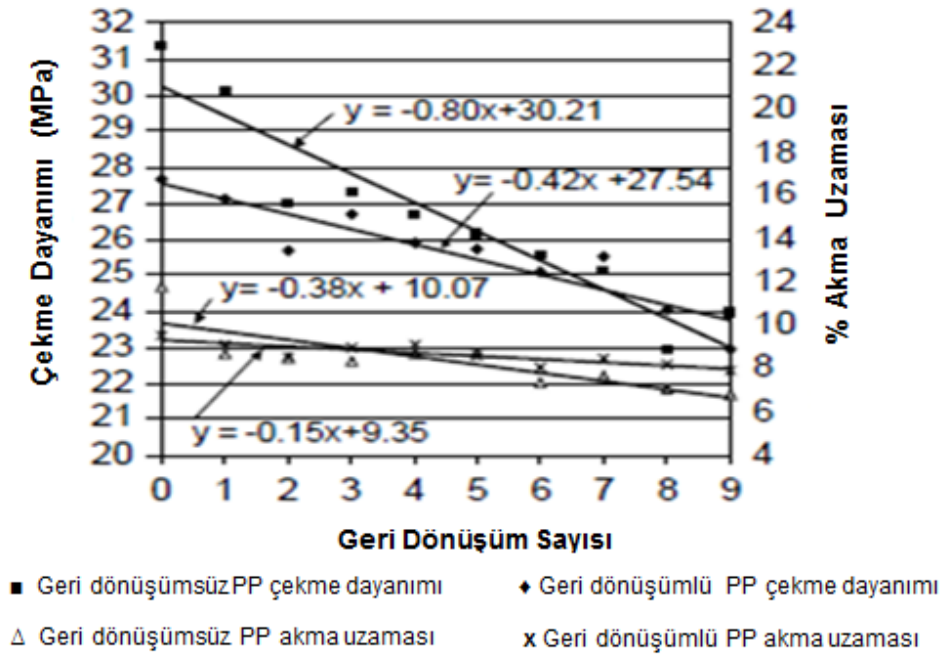


Şekil 2.4. Geri dönüşümlü malzeme kullanım oranının uzamaya etkisi [2].

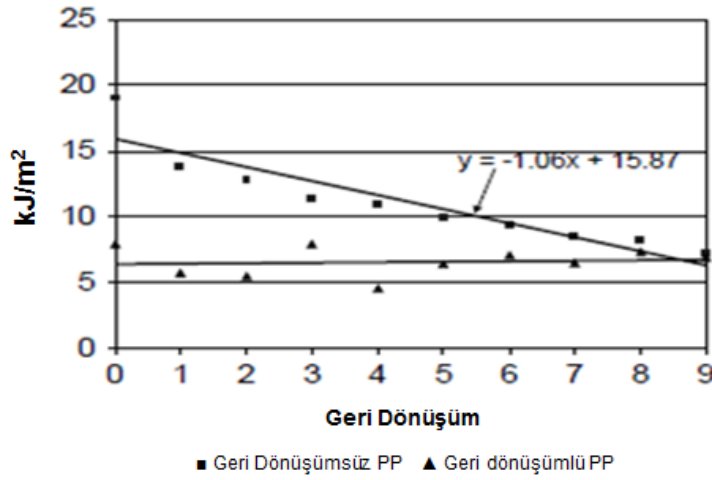
Araştırma sonucunda, LDPE malzemede % 100 geri dönüşümsüz malzemeye göre çekme dayanımında % 36 ve uzama miktarında % 28

düşüş gözlemlenmiştir. HDPE malzeme için % 100 geri dönüşümsüz malzemeye göre çekme dayanımında % 24 ve uzama miktarında % 40 düşüş gözlemlenmiştir. PP malzeme için % 100 geri dönüşümsüz malzemeye göre çekme dayanımında % 15 ve uzama miktarında % 35 düşüş gözlemlenmiştir [2]. Bu araştırma sonucunda geri dönüşümlü malzeme kullanımında; LDPE malzeme için % 15, HDPE malzeme için % 5, PP malzeme için % 5 oranlarını sınır olarak kabul edildiği görülmüştür [2].

N.Rust ve arkadaşları kurşun-asit bataryalarının yapımında kullanılan PP hammaddenin geri dönüşümlü malzeme ile kullanımını incelemişlerdir [3]. Geri dönüşümsüz hammadde ile 9 defa geri dönüşüme maruz bırakılmış PP hammaddenin çekme dayanımı, uzaması ve darbe dayanımı sonuçları Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da karşılaştırılmıştır [3].



Şekil 2.5. Geri dönüşümlü malzeme kullanımının çekme dayanımına ve uzamaya etkisi [3].



Şekil 2.6. Geri dönüşümlü malzeme kullanımının darbe dayanımına etkisi [3].

Sercan Telli, yapmış olduğu çalışmada PP malzemelerin geri dönüşümlerinde elde edilen ürünlerin mekanik özelliklerini incelemiştir [4]. Araştırmacı, PP hammaddeyi % 25-50-75-100 oranlarında geri dönüştürülmüş malzeme ile karıştırılarak malzemenin çekme, izod darbe ve üç nokta eğme dayanımlarını incelemiştir. Yapılan testler sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 2.1, Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4, Çizelge 2.5’de verilmiştir [4]. Çizelgelerde dört farklı test numunesi PP-1, PP-2, PP-3 ve PP-4 olarak belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Geri dönüşümlü malz. kullanımının elastise modülüne etkisi [4].

Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanım Oranı	Elastise Modülü, Mpa			
	PP - 4	PP - 3	PP - 2	PP - 1
0%	2396	2396	2396	2396
25%	2150	2170	2304	2314
50%	1965	1990	2190	2260
75%	1960	1960	2210	2115
100%	2020	1900	2055	2045

Çizelge 2.2. Geri dönüşümlü malz. kullanımının akma dayanımına etkisi [4].

Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanım Oranı	Akma Dayanımı, Mpa			
	PP - 4	PP - 3	PP - 2	PP - 1
0%	28	28	28	28
25%	26,14	24,8	27	27,7
50%	26	25,8	26,8	27,5
75%	25,1	25,4	26,2	27,2
100%	24,8	24,6	25,5	25,7

Çizelge 2.3. Geri dönüşümlü malz. kullanımının kopma uzamasına etkisi [4].

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

Çizelge 2.4. Geri dönüşümlü malzeme kullanımının eğme mod. etkisi [4].

Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanım Oranı	Eğilme Modülü, Mpa			
	PP - 4	PP - 3	PP - 2	PP - 1
0%	1483	1483	1483	1483
25%	1561	1535	1553	1523
50%	1587	1552	1556	1533
75%	1575	1546	1508	1499
100%	1545	1528	1463	1420

Çizelge 2.5. Geri dönüşümlü malzeme kullanımının izod darbe dayanımına etkisi [4].

Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanım Oranı	İzod Darbe Dayanımı, (kJ/mm ²)			
	PP - 4	PP - 3	PP - 2	PP - 1
0%	6,903	6,903	6,903	6,903
25%	7,034	7,001	7,429	7,1
50%	7,166	7,133	7,495	7,199
75%	7,56	7,297	7,593	7,33
100%	7,593	7,297	7,692	7,56

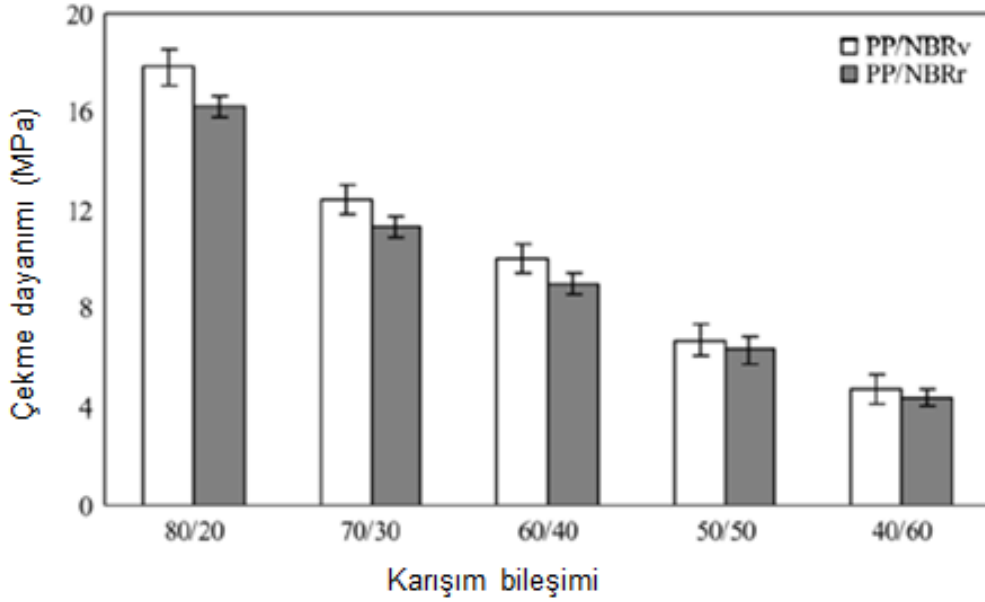
Araştırma sonuçlarına göre özellikle ikinci geri dönüşüm sürecinden sonra mekanik özelliklerde büyük düşüşler gözlemlenmiştir. Ayrıca, geri dönüşüm oranının % 50 katkının üzerinde olduğu durumlarda mekanik özellikler de büyük düşüşler gözlemlenmiştir. Kristalleşme oranlarının azalması esnek olmayan yapılara neden olduğundan, malzemenin elastiklik modülü ve akma dayanımı değerleri artarken darbe dayanımı değerleri azalma göstermiştir [4].

D.Galpaya ve arkadaşları PP hammadde ile geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz nitril kauçuk (NBR) malzemeyi karıştırarak malzeme özellikleri incelemişlerdir [5]. Yapılan testlerde kullanılan malzemelerin hacimce karışım oranları Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Malzeme karışım tablosu [5].

PP/NBR(saf) ve PP/NBR (geri dönüşümlü) karışım tablosu										
Karışım bileşimi	KARIŞIM ORANI									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PP	80	70	60	50	40	80	70	60	50	40
NBR _v	20	30	40	50	60	-	-	-	-	-
NBR _r	-	-	-	-	-	20	30	40	50	60

Yapılan testler sonucunda çekme dayanımındaki değişim Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Geri dönüşümlü malz. kullanımının çekme dayanımına etkisi [5].

Karim Shelesh-Nezhad ve arkadaşları, PP ve CaCO₃ karışımının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar % 100 PP ve % 5, % 10, % 15 CaCO₃ karıştırarak numuneler hazırlamışlardır. Yapılan testler sonucunda kullanılan CaCO₃ oranının artması ile gerilme direnci ve kopma uzamasının düştüğü gözlemlenmiştir. Darbe dayanımı ve kopma uzamasında büyük artışlar gözlemlenmiştir. Yapılan testlerin değerleri Çizelge 2.7’de gösterilmiştir [6].

Çizelge 2.7. Geri dönüşümlü malzeme kullanımının oranları [6].

CaCO ₃ Karışım (%)	Elastikiyet Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (J/m)
0	960.17	36.04	19.81	75.03	47.52	32.70
5	971.65	35.67	11.62	122.88	50.27	44.50
10	983.94	34.64	6.81	161.29	52.00	58.00
15	990.41	33.80	7.58	118.87	52.63	67.70

Branchet ve arkadaşları, geri dönüştürülmüş PP malzemenin özelliklerinin ilave maddelerle iyileştirilip iyileştirilemeyeceğini araştırmışlardır. Bu araştırma yapılırken katkı maddesi olarak elastomer (ethylene–octene rubber –EOR) ve CaCO_3 kullanılmıştır [7]. Eklenen katkı maddelerinin geri dönüşümlü PP üzerinde olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür. CaCO_3 ile EOR geri dönüşümlü PP ile karıştırılarak dokuz farklı numune çeşidi hazırlanmıştır. Karışım oranları Çizelge 2.8 'de verilmiştir [7].

Çizelge 2.8. Test numunesi karışım oranları [7].

Karışım Oranları	Malzeme			
	Chimassorb (%)	Irganox (%)	Elastomer (%)	CaCO_3 (%)
PP + S	0.15	0.15	–	–
PP + S + 5%E	0.15	0.15	5	–
PP + S + 5%E + 10%C	0.15	0.15	5	10
PP + S + 5%E + 20%C	0.15	0.15	5	20
PP + S + 10%E + 10%C	0.15	0.15	10	10
PP + S + 10%E + 20%C	0.15	0.15	10	20
PP + S + 10%C	0.15	0.15	–	10
PP + S + 20%C	0.15	0.15	–	20

Hazırlanan numuneler üzerinde yoğunluk ve akış testleri, çekme testi, charpy darbe testi ve yaşlandırma testleri yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda geri dönüşümlü PP içerisine eklenen CaCO_3 ve elastomer oranı arttıkça malzemenin akma gerilmesinin düştüğü tespit edilmiştir. Yapılan testlerin değerleri Çizelge 2.9'da gösterilmiştir [7].

Çizelge 2.9. Test sonuçları karşılaştırma tablosu [7].

Test numuneleri	Elastikiyet Modülü (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Akma Uzunması (%)	Maksimum Uzunması (%)
(a)				
PP + S	3400 ± 200	43.8 ± 0.7	3.4 ± 0.1	110 ± 50
PP + S + 5%E	2800 ± 300	43.5 ± 0.6	4.1 ± 0.6	95 ± 30
PP + S + 5%E + 10%C	3300 ± 600	41.4 ± 0.3	3.6 ± 0.3	120 ± 30
PP + S + 5%E + 20%C	3100 ± 500	39.0 ± 0.3	3.4 ± 0.3	120 ± 40
PP + S + 10%E + 10%C	2800 ± 300	39.8 ± 0.6	4.3 ± 0.4	160 ± 80
PP + S + 10%E + 20%C	3000 ± 700	37.9 ± 0.5	3.9 ± 0.4	200 ± 100
PP + S + 10%C	3300 ± 300	42.4 ± 0.3	2.8 ± 0.2	160 ± 70
PP + S + 20%C	3700 ± 700	40.4 ± 0.6	2.4 ± 0.1	120 ± 50
(b)				
PP + S	1010 ± 60	24.6 ± 0.1	6.7 ± 0.1	16 to 580
PP + S + 5%E	910 ± 30	23.6 ± 0.4	8.9 ± 0.7	>150
PP + S + 5%E + 10%C	970 ± 40	22.2 ± 0.9	8.5 ± 0.1	>150
PP + S + 5%E + 20%C	1080 ± 120	20.4 ± 0.1	8.3 ± 0.1	>150
PP + S + 10%E + 10%C	890 ± 50	20.4 ± 0.2	12.5 ± 0.1	>150
PP + S + 10%E + 20%C	960 ± 80	19.5 ± 0.1	9.5 ± 1.1	>150
PP + S + 10%C	1140 ± 40	22.9 ± 0.1	6.2 ± 0.2	>150
PP + S + 20%C	1250 ± 60	21.6 ± 0.1	5.6 ± 0.2	>150
(c)				
PP + S	590 ± 140	14.5 ± 0.1	10 ± 2	>150
PP + S + 5%E	390 ± 40	13.1 ± 0.1	13.5 ± 0.5	>150
PP + S + 5%E + 10%C	410 ± 80	12.7 ± 0.2	11 ± 2	>150
PP + S + 5%E + 20%C	380 ± 40	12.1 ± 0.1	12 ± 1	>150
PP + S + 10%E + 10%C	320 ± 30	12.2 ± 0.2	12 ± 4	>150
PP + S + 10%E + 20%C	340 ± 20	11.3 ± 0.1	13 ± 2	>150
PP + S + 10%C	420 ± 70	13.9 ± 0.1	11.1 ± 0.6	>150
PP + S + 20%C	450 ± 60	13.6 ± 0.1	9.9 ± 0.2	>150

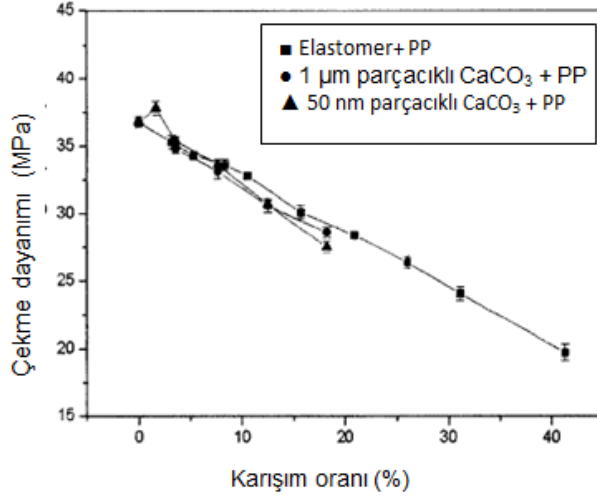
Charpy dayanım testlerinde ise; yapılan ölçümler sonucunda geri dönüşümlü PP içerisine eklenen CaCo₃ ve EOR oranının artışının PP malzemenin en fazla kuvveti üzerinde önemli bir değişiklik yaratmadığı tespit edilmiştir. Yapılan testlerin değerleri Çizelge 2.10'da gösterilmiştir [7].

Çizelge 2.10. Test sonuçları karşılaştırma tablosu [7].

Karışım Oranları	Enerji (kJ/m ²)	Max Kuvvet (N)
PP + S	2.0 ± 0.3	270 ± 34
PP + S + 5%E	1.7 ± 0.2	240 ± 21
PP + S + 5%E + 10%C	2.2 ± 0.2	275 ± 35
PP + S + 5%E + 20%C	1.8 ± 0.1	270 ± 11
PP + S + 10%E + 10%C	2.5 ± 0.9	280 ± 26
PP + S + 10%E + 20%C	2.0 ± 0.3	280 ± 32
PP + S + 10%C	2.1 ± 0.3	330 ± 69
PP + S + 20%C	2.0 ± 0.3	270 ± 33

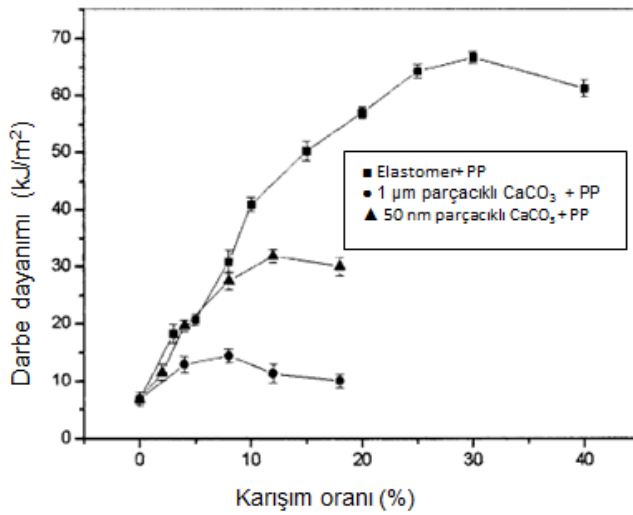
L.Zhang ve arkadaşları yaptıkları araştırmada PP malzemenin içerisine farklı elastomer ve CaCO₃ ekleyerek dayanıklılığı test etmişlerdir. Yapılan çalışmada PP içerisine eklenen farklı boyutlarda hacme sahip CaCO₃ (1µm ve 50 nm) parçacıkları ve elastomer ekleyerek numuneler hazırlamışlardır. Testler sonucunda ilave edilen elastomerin, CaCO₃'a göre dayanıklılığı daha

fazla arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan test ile ilgili grafik Şekil 2.8'de belirtilmiştir [8].



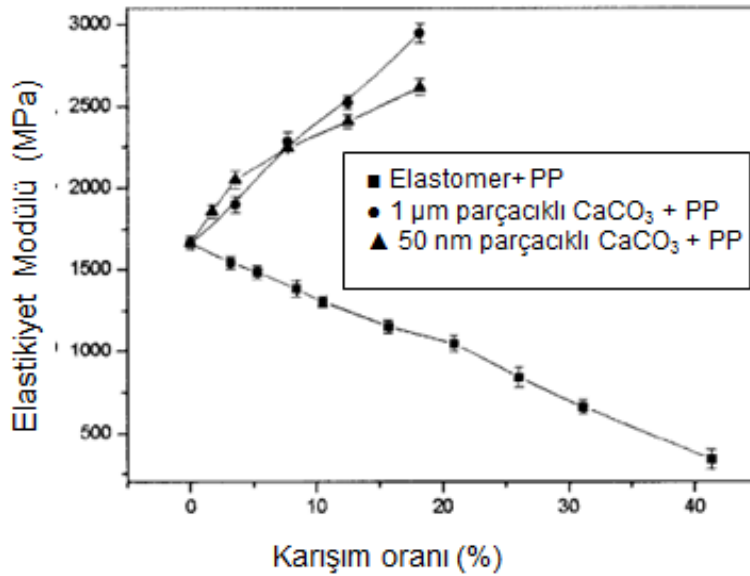
Şekil 2.8. CaCO₃ (1µm ve 50 nm) parçacıkları ve elastomer ekleyerek yapılan uzama gerilmesi testleri [8].

Şekil 2.9'de belirtilen grafikte belirtilen izod darbe dayanımı test sonuçları, PP içerisinde elastomer kullanımının, CaCO₃ kullanımına göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [8].



Şekil 2.9. CaCO₃ (1µm ve 50 nm) parçacıkları ve elastomer ekleyerek yapılan izod darbe dayanımı test sonuçları [8].

Ayrıca CaCO_3 kullanımının elastikiyet modülünü arttırdığı gözlemlenmiştir. Elastomer kullanımının ise elastikiyet modülüne etkisinin negatif yönde olduğu tespit edilmiştir. Testlerle ilgili grafik Şekil 2.10 'da belirtilmiştir.



Şekil 2.10. CaCO_3 (1µm ve 50 nm) parçacıkları ve elastomer ekleyerek yapılan elastikiyet modülü test sonuçları [8].

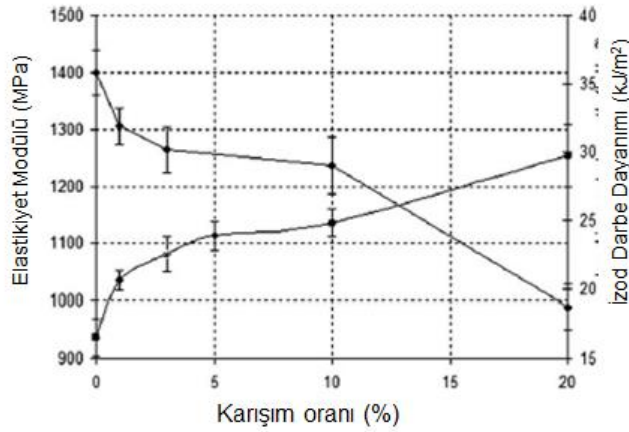
Elloumi ve arkadaşları yaptıkları araştırmada geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz PP içerisine farklı oranlarda CaCO_3 katarak oluşan malzemenin termomekanik özelliklerini incelemişlerdir. Testlerin yapılması için ISO 527-2 standartlarına uygun bir çekme çubuğu kullanılmıştır [9].

Yapılan testlerde geri dönüşümsüz PP içerisine katılan CaCO_3 oranı arttırıldığında; elastikiyet modülü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Ancak akma, kopma ve gerilme dayanımı kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Geri dönüşümlü PP içerisine katılan CaCO_3 oranı arttırıldığında; elastikiyet modülü, akma, kopma ve gerilme dayanımı kuvvetlerinin önemli olmayacak oranda azaldığı gözlemlenmiştir. Yapılan testler ile ilgili değerler çizelge 2.11'de verilmiştir [9].

Çizelge 2.11. Test sonuçları karşılaştırma tablosu [9].

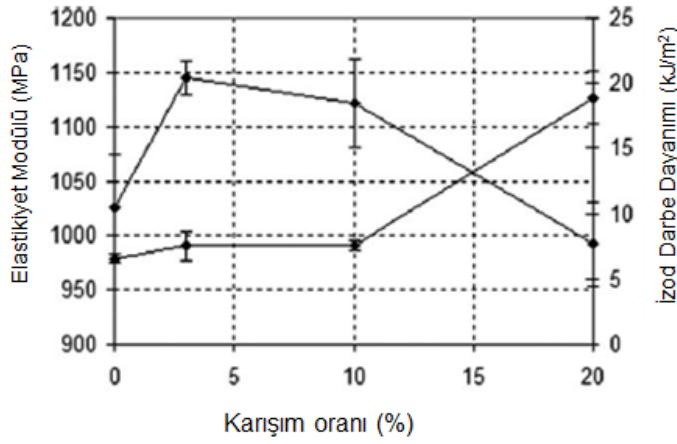
	Elastikiyet Modülü (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Akma Uzaması (%)	Kopma Uzaması (%)
Virgin PP	969 (32)	21.7 (0.3)	7.0 (0.2)	158 (34)
PP 3% NCC	1081 (40)	21.1 (0.5)	6.1 (0.1)	160 (47)
PP 10% NCC	1136 (24)	20.8 (0.2)	5.8 (0.1)	82 (34)
PP 20% NCC	1253 (54)	19.7 (0.1)	4.1 (0.2)	38.6 (14.9)
Recycled PP	1025 (19)	19.9 (0.4)	6.3 (0.2)	61 (7.8)
PPR 3% NCC	1145 (16)	19.8 (0.4)	5.7 (0.4)	47.3 (9.5)
PPR 10% NCC	1122 (41)	20.0 (0.3)	5.0 (0.3)	36 (3.7)
PPR 20% NCC	992 (38)	17.6 (0.4)	5.4 (0.1)	43.4 (8.7)

Test verilerine göre geri dönüşümsüz PP içerisine katılan CaCO_3 oranı arttırıldığında; elastikiyet modülü değerlerinin artarken izod darbe dayanımı değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir [9]. Test sonuçları şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Geri dönüşümsüz PP ile CaCO_3 karışımının izod darbe ve elastikiyet modülüne dayanımına etkisi [9].

Test verilerine göre geri dönüşümlü PP içerisine katılan CaCO_3 oranı arttırıldığında; izod darbe dayanımı değerlerinde 8 kJ/m^2 'lik değerden 20 kJ/m^2 'lik değere çıktığı (% 20'lik kullanımda) tespit edilmiştir. Diğer yandan elastikiyet modülü değerlerinin çok önemli bir değişim gözlemlenmiştir [9]. Test sonuçları Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. Geri dönüşümlü PP ile CaCO_3 karışımının izod darbe dayanımına ve elastikiyet modülüne etkisi [9].

M.E. Altan, HDPE malzemesinin geri dönüşümlü olarak kullanılmasını incelemiştir. Bu çalışma sonucunda elde ettiği verileri yapay sinir ağları ile değerlendirerek bir formülasyon oluşturmuştur [10].

Farklı karışım oranlarına sahip orijinal ve geri dönüşümlü malzemeleri karıştırarak 5 farklı numune tipi hazırlamıştır. Numunelerin karışım oranları Çizelge 2.12.'de belirtilmiştir [10].

Çizelge 2.12. Test numuneleri karışım oranları [10].

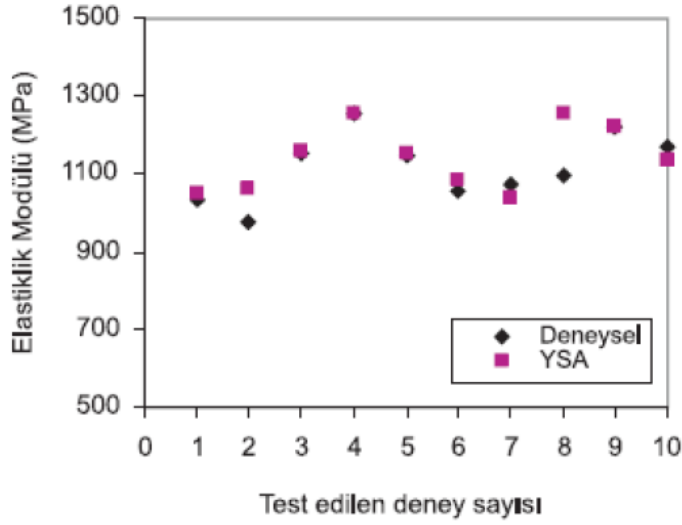
HDPE		
KARIŞIM NO	GERİ DÖNÜŞÜM ORANI (% ağırlıkça)	ORİJİNAL MALZEME ORANI (% ağırlıkça)
1	0	100
2	30	70
3	50	50
4	70	30
5	100	0

Bu numuneleri farklı baskı şartlarında (ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve soğutma zamanı) basarak 25 farklı numune hazırlamıştır. Test sonuçları Çizelge 2.13 'de verilmiştir.

Çizelge 2.13. Test sonuçları tablosu [10].

DENEY NO	Girdi			Çıktı
	T (°C)	t (s)	Geri Dönüşüm Oranı (%)	Elastiklik Modülü (Mpa)
1	40	10	0	1091
2	30	10	0	981
3	50	10	0	1229
4	40	5	0	980
5	40	15	0	1291,34
6	40	10	30	1035,19
7	30	10	30	975
8	50	10	30	1196
9	40	5	30	973
10	40	15	30	1094,62
11	40	10	50	1155
12	30	10	50	1091
13	50	10	50	1224
14	40	5	50	1094
15	40	15	50	1257
16	40	10	70	1145
17	30	10	70	1058
18	50	10	70	1207
19	40	5	70	1254,62
20	40	15	70	1074
21	40	10	100	1088
22	30	10	100	1100
23	50	10	100	1191
24	40	5	100	1027
25	40	15	100	1169

Yaptığı denemeleri yapay sinir ağları ile analiz ederek bir model oluşturmuştur. Bu çalışma neticesinde oluşturduğu modelin % 3,5 oranında hata ile çalıştığını belirtmiştir. Yapay sinir ağları ve deneysel sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 2.13 'de verilmiştir [10].



Şekil 2.13. Yapay sinir ağları ve deneysel sonuçların karşılaştırılması [10].

2.2. Literatür Değerlendirmesi

Yapılan bu çalışmada % 40 kalsit katkılı PP malzemenin geri dönüşümlü olarak kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. Kullanılan malzeme plastik parça imalatında sıkça kullanılan bir malzeme olmadığı için literatür araştırmasında tam karşılığı bulunamamıştır. Bu nedenle PP ve kalsit malzemeler ile yapılan araştırmalar olarak iki kısımda literatür değerlendirmesi yapılmıştır.

Birinci kısımda PP ve benzeri malzemelerin geri dönüşüm ile kullanımı incelenmiştir. PP ve benzeri plastiklerin geri dönüşümleri incelenirken farklı metotlar kullanılmıştır. İlk olarak malzemenin birkaç kez geri dönüştürülmesi incelendiğinde, ikinci çevrimden sonra malzemenin mekanik özelliklerinde kayda değer düşüşler gözlemlenmiştir. İkinci araştırma metodu olarak, bir kez geri dönüştürülmüş hammaddenin, geri dönüşümsüz hammadde ile belirli oranlarda karıştırılmasının araştırmaları yapılmıştır. Araştırmalarda genel olarak % 15 oranında geri dönüşümlü malzeme kullanımının malzemenin mekanik özelliklerini çok fazla değiştirmedeği görülmektedir. Belirtilen oran kullanılan hammaddeye göre küçük sapmalar göstermektedir. PP ve türevi malzemelerde % 15 oranından fazla kullanımında mekanik

özelliklerin kötüleştiği tespit edilmiştir. Bu nedenle belirlenen orandan daha fazla kullanılması durumunda üretilen parçalarda deformasyonların artabileceği belirtilmiştir. Yapılan tez çalışmasında da literatürdeki çalışmaların sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir.

İkinci olarak da kalsit kullanılarak yapılan araştırmalar incelenmiştir. Kalsit ile yapılan araştırmalarda; kalsitin çeşitli hammaddelere katılarak, hammaddelere kazandırabileceği yeni özellikler tespit edilmeye çalışılmıştır. Araştırmalarda kalsit kullanımı ile malzemenin çekme dayanımı değerlerine olumlu bir etkisi tespit edilememiştir. Ancak malzemenin başta darbe dayanımı ve elastikiyet modülü gibi özelliklerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Elastomerlerde ise elastikiyet modülüne de olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir. Araştırmalar sonucunda çekme dayanımının önemli olmadığı parçalarda kalsit kullanımının uygun olduğu gözlemlenmiştir. Yine benzer araştırmalarda geri dönüşümlü PP içerisine kalsit ekleyerek malzemenin darbe dayanımını artırdığı tespit edilmiştir. Literatür çalışmalarında, hammadde sektöründe sıklıkla kullanılan talk katkı maddesinin yerine alternatif olarak kalsit katkısının kullanımı incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalarla diğer katkılara oranla daha ucuz olan kalsit kullanılarak maliyet avantajı da sağlanması amaçlanmıştır.

Yapılan bu çalışma ile literatür karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kalsit katkılı PP malzemenin bir kez geri dönüştürülerek, geri dönüşümsüz malzeme ile karıştırılması durumunda elde edilecek sonuç incelenmiştir. Bu sonuçlara göre malzemenin diğer PP ve türevleri gibi geri dönüşümlü olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir. PP malzemelerin içerisine kalsit eklenmesi durumunda elde edilen maliyet avantajının, malzemenin geri dönüştürülmesi ile daha fazla arttırılabileceği tespit edilmiştir.

3. PLASTİK MALZEMELER

3.1. Plastik Malzemelerin Tarihi

İngiliz John Osborne 17. yüzyılda doğal plastik olan boynuzu ısıtıp kalıplaması ile plastik sektörünün başlamasını sağlamıştır. 1847 yılında tropik ağaçlardan elde edilen kauçuk ve gutta percha çokça kullanılmıştır. Hancock ve Goodyear firmaları bu dönemlerde ilk bilinçli kimyasal çalışmalar olan vulkanizasyon ile ilgili çalışmalar yaptılar. 1862 yılında Alexander Parkes'in Parkesin adını verdiği nitrik asitle pamuk artıklarının birleştirilmesi ile elde edilen selüloz nitrat ilk insan yapımı plastik olarak tarihe geçmiştir. 1868 yılında John Hyatt ticari anlamda ilk plastik olan nitroselülozu üretmesi ile plastik endüstrisinin başladığı kabul edilmektedir [11]. 1907 yılında Leo Baeklan tamamen sentetik olan ilk plastik olan bakaliti üretti. Sıcaklığı ve basıncı değiştirebildiği bir düzene kurarak çabuk soğuyabilen içine girdiği kabın şeklini alabilen malzemeyi üretti. Yanmayan, çözücülerle çözünmeyen ve erimeyen bu madde ilk termoset plastiktir [12]. 1922 yılında Hermann Staudinger kauçuk çalışmalar sırasında plastiklerin binlerce molekülün birleşmesinden oluştuğunu keşfetti. İkinci sentetik plastik olan fenol-formaldehit esaslı polimerler ve 19. yüzyılın ikinci yarısında plastik endüstrisinin en önemli unsuru olan polimerlerin bulunması ile plastikler en önemli malzemelerden biri haline gelmiştir [11]. 2012 yılında Boeing 737 modelinin gövdesinin plastikle üretilmesi ile birlikte plastik kullanımı için zirve nokta olmuştur.

3.2. Plastik Malzemelerin Tanımı

Doğada; polimerler, metaller ve seramikler olmak üzere 3 farklı temel malzeme olduğu kabul edilmektedir. Kimya derslerinde öğrendiğimiz periyodik cetvelin sol tarafında metalik elementler ve sağ tarafında ise ametaller bulunmaktadır. Ametaller polimerlerin yapı taşlarıdır. Ametal ve metallerin birleşmesinden ise seramikler oluşmaktadır.

Bu üç ana malzeme farklı özelliklerine göre çeşitli alanlarda tercih edilmektedirler. Plastik yılı olarak kabul edilen 1980 yılında polimerlerin hacimce metallere daha fazla üretilmesiyle en fazla kullanılan malzeme plastik olmuştur [11]. Ülkelerin malzeme cinsine göre yıllık kullanım oranları Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Ülkelerin malzeme cinsine göre yıllık kullanım oranları [11].

Ülke	AYPE	YYPE	PVC	PP	PS	Diğer	Toplam
Hindistan	0,5	0,7	0,8	0,9	0,2	0,1	3,2
Romanya	1,7	0,9	0,7	1,3	0,6	0	5,2
Çin	2,7	1,7	2,6	2,4	1,5	1,9	12,8
Brezilya	4,2	3,8	3,7	3,8	1,5	0,3	17,3
Polonya	5,7	3,8	3,9	6,6	1,3	0,1	21,4
Türkiye	5,7	2,4	7,1	6,2	2,6	0,5	24,5
Bulgaristan	5,7	1,1	6,2	9,2	3,5	0,1	25,8
Macaristan	10,2	6,5	9,6	8,9	5,3	0,2	40,7
Malezya	9	6,6	9,8	4,9	6,4	4,4	41,1
Batı Avrupa	17,8	11,5	17,8	14,4	5,9	1,9	69,3
Kanada	22,5	18,1	13,8	21,1	6,7	2,1	84,3
ABD	24,5	22,6	21,8	21,6	9,1	2,3	101,9

Plastikler günlük yaşamımızdaki uygulamalardan, havacılık ve uzay sanayi, inşaat sektörü ve ambalaj sektörü gibi aklımıza gelebilecek her türlü sektörde kullanılmaktadır. Plastiklerin tercih nedenlerini olarak; [11, 13]

- Düşük maliyet
- Kolay ve yeniden şekillendirilme
- Hafif olmaları, (özgül ağırlıkları azdır)
- Kimyasal ve fiziksel özelliklerinin katkı maddeleri ve teknolojik yöntemlerle değiştirilebilir olması

- Kimyasal etkilere dayanıklılıkları yüksektir. Asitlere ve bazlara iyi dayanabilmeleri,
- Üstün mekanik ve termal özellikleri olması gösterebilmeleri,
- Polimer malzeme ısı ve elektriğe karşı iyi yalıtkan olmaları,
- Makaslamaya duyarlı, kayma direnci düşüktür. Çekme ve basınç dayanımlarının yüksek olması
- Suya karşı dayanıklılıkları iyidir.

Plastiklerin tercih edilmesine ön önemli örnek ambalaj sektöründen verilebilir. Şişe, kap, bidon gibi ambalaj ürünlerinin fazla ağırlığa ulaşmadan yüksek hacimli ürünler olması istenmektedir. Bu da daha az ve daha hafif bir malzeme ile daha büyük hacimlerin sağlanması anlamına gelmektedir. Örneğin 1 kg plastik ile 27 kg sıvı ürün (su, soda, meyve su, vb.) ambalajlanabilir. Aynı miktarda sıvıyı ambalajlayabilmek için 1,5 kg alüminyum, 4 kg kadar çelik, 13-14 kg cam malzeme gerekmektedir [11]. Bu nedenle ambalaj sektörü plastik kullanım adetleri genel kullanım oranı içerisinde önemli bir yer arz etmektedir. Çizelge 3.2.'de plastik tiplerine göre plastik hammadde ithalat verileri gösterilmiştir [14].

Çizelge 3.2. Ülkelerin malzeme cinsine göre yıllık kullanım oranları [14].

Malzeme	2009 (ton)	2010 (ton)	% Artış
S-PVC	568 204	665 000	17
E-PVC	49 353	60 000	21,6
PVC TOPLAM	617 557	725 000	17,4
HDPE	456 526	536 000	17,4
LDPE	155 286	194 000	24,9
LLDPE	206 931	259 000	25,2

Çizelge 3.2. (Devam) Ülkelerin malz. cinsine göre yıllık kullanım oranları [14].

PE TOPLAM	818 743	989 000	20,8
PP HOMOPOLİMER	839 171	972 000	15,8
PP KOPOLİMER	322 814	398 000	23,3
PP TOPLAM	1 161 985	1 370 000	17,9
EPS	62 858	84 000	33,6
GPPS+HIPS	217 044	250 000	15,2
PS TOPLAM	279 902	334 000	19,3
PET TEKSTİL	44 431	62 000	39,5
PET ŞİŞE	125 768	156 000	24
PET TOPLAM	170 199	218 000	28,1
ABS	63 474	84 000	32,3
DİĞERLERİ	743 894	963 499	29,5
TOPLAM İTHALAT	3 855 754	4 683 499	21,5

Plastik tanım olarak bir malzeme türünü belirtir. En basit şekilde yük altında kalıcı şekil değiştirebilen cisim olarak tanımlanmaktadır. Örneğin; bakır plastik bir cisimdir ancak plastik değildir. Diğer taraftan bakalit plastiktir, gevrek olmasından dolayı plastik malzeme sayılmaz. Buna göre endüstride plastiğin anlamı; üretimlerinin belirli aşamalarında akıcı veya plastik kıvam almaları ve basınçlı olarak kalıbın şeklini alabilen ürünlerdir. Plastik sınıfına giren malzemeler doğal ve sentetik olmak üzere iki türdür. Ahşap, deri, yün vb. lifli malzemeler doğal polimerlerdir. Bunun dışında endüstride kullanılan plastikler sentetik polimerlerdir [11, 15].

Plastiklerin basit adı merdir. Aynı ya da farklı merlerin birden fazla yan yana gelmesiyle polimerler meydana gelmektedir. Polimerler yüksek molekül ağırlıklı, uzun zincirimsi bir yapıda olan mer moleküllerinden oluşur. Başka bir tanımla ise küçük kimyasal yapılarının çok sayıda tekrarından oluşan geniş moleküllerdir. Monomerlerin birbirleriyle eklenmesi sonucunda elde edilen

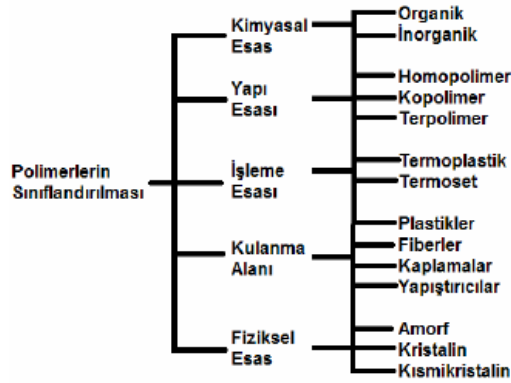
moleküllerin yapıdaki mer sayısına bağlı olarak gaz, sıvı ve katı halde bulunurlar. Polimer kelimesi iki sözcükten oluşur. Poli, çok demek, mer ise birim molekül anlamındadır. Birim molekülün birbirine eklenmesi sonucu polimer meydana gelir. Yani molekül boyutundaki binlerce merin birleşmesinden polimerler oluşur. Büyük şekil değişimlerine dayanabilen polimerlere de elastomer adı verilir. Sentetik ve doğal lastikler bu gruba girer [11].

Polimerlerin malzeme olarak kullanılmaları için işlenmeleri gerekmektedir. Polimerlerin içerisine eklenen kaydırıcılar, boyar maddeler, işleme kolaylığı sağlayan maddeler gibi katkı maddeleri eklenerek karışımlar oluşturulur. Daha sonra bu karışımlar eritme, kalıplama gibi şekil verici yöntemlerle plastiğe dönüşürler [15].

Küçük molekülden büyüklerini oluşturma işlemine polimerizasyon adı verilir. Bir zincirin büyüdüğü ortalama boya polimerizasyon derecesi denir. Polimer bir tip monomer içerirse polimerizasyon derecesi zincirde bulunan molekül veya merlerin ortalama sayısıdır. Ticari plastiklerde bu sayı 75 ile 750 arasında değer alır [12].

3.3. Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması

Plastik malzemeler fiziksel özellikleri, yapı esaslarına, kullanım alanları, işleme şekilleri, monomer bileşimi, fiyat ve pazar gibi özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır [16].



Şekil 3.1. Polimerlerin sınıflandırılması [16].

3.3.1. Kimyasal esasa göre sınıflandırma

Plastik malzemeler kimyasal bileşenlerine göre; organik ve inorganik 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 [16]. 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 [16].

3.3.2. Yapı esasına göre sınıflandırma

Polimerler yapılarına göre plastik malzemeler, homopolimer, kopolimer, terpolimer olarak üç ana sınıfa ayrılmaktadır [16]. Homopolimerler tek bir monomerin tekrarlanması ile oluşurlar. Kopolimer; ise iki değişik monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Terpolimerler; ise üç farklı cins monomerden oluşur [16].

3.3.3. Kullanım alanına göre sınıflandırma

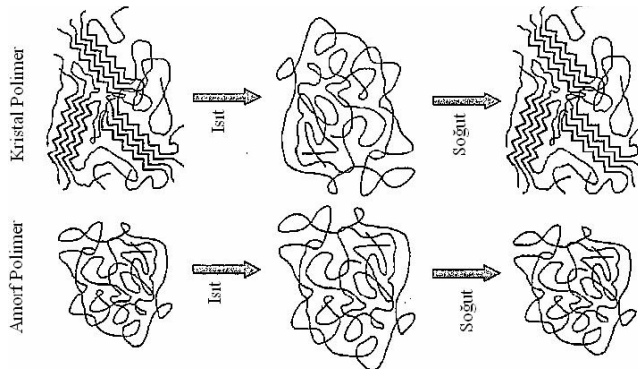
Kullanım alanına göre plastik malzemeler; plastikler, fiberler, kaplamalar, yapıştırıcılar olmak üzere dört ana sınıfa ayrılmaktadırlar. Buna ilave olarak plastikler; saf plastikler ve kuvvetlendirilmiş (dolgu malzemeli) olmak üzere iki ana gruba ayrılır [16].

3.3.4. Fiziksel esasa göre sınıflandırma

Plastik malzemeler fiziksel esasa göre; kristal yapılar, kristal olmayan yapılar, (amorf yapılar, camı yapılar) ve yarı kristalin yapılar olmak üzere üç gruba ayrılır [16].

Kristal bir yapıda merler belirli bir düzeye göre dizilirler. Kristal olmayan yapılarda genel olarak bir düzen söz konusu değildir. Kristalleşme ile polimer malzemedeki daha yüksek dayanım ve mekanik özellikler elde edilir. Yarı kristal yapılarda polimerlerdeki kristallik toplam hacmin % 5 ile 95'i arasındadır [16].

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 3.2'de amorf ve kristal polimerlerin içyapıları gösterilmektedir [17].



Şekil 3.2 Amorf ve kristal polimerlerin içyapıları [17].

3.3.5. İşleme esasına göre sınıflandırma

Plastik malzemeler sıcaklık etkisiyle davranışları yönünden endüstride termoplastikler (lineer polimerler) ve termoset plastikler (uzay ağı polimerleri) olmak üzere iki gruba ayrılır. Termosetlerde moleküller dallanmış, komşu moleküller arasında bağ köprüleri oluşmuştur. Mekanik dayanımları yüksektir. Dallanma da makro molekülün yerine başka bir makro molekül eklenerek oluşur. Köprüleşme ise polimerlerin korozyonuna sebep olurlar. Termoplastik malzemelerde ise moleküller uzun, ipliğimsi, birbirleriyle birleşmemiş moleküllerdir. Termoplastikler kolayca eğilirler, kaymaya direnç göstermezler [11, 12].



Şekil 3.3. Termoset ve termoplastiklerin iç yapıları [17].

Termoplastikler; lineer polimerler olup sıcaklık artınca yumuşarlar, soğuyunca sertleşen polimerlerdir. Soğutulduklarında tekrar ilk sertliklerine dönebilirler. Bu nedenle kolay şekillendirilebilirler. Termoplastikler genellikle sünektir. Mekanik özellikleri yükleme hızına, yükleme süresine ve sıcaklığa bağlı olarak değişirler. Oda sıcaklığında sabit gerilme altında sürekli şekil değiştirirler. Malzemenin en önemli özelliği ise geri dönüşüm özelliğinin olmasıdır [11, 12]. Termoplastikler;

- Sellülozikler (Poliesterler, polieter)
- Poliamitler (Naylon)
- Vinilikler (Polikarbürler, Polialkoller, Poliesterler)

olmak üzere üç ana grupta toplanırlar.

Termoplastikler kendi içerisinde de amorf ve yarı kristal olmak üzere farklı iki yapıya sahiptirler.

Amorf yapıya sahip termoplastikler örnek; PS, HIPS, SAN, ABS, PC, PMMA, PEI malzemelerini sayabiliriz. Amorf yapıdaki malzemelerin ortak özellikleri olarak;

- Sabit mekanik değerler (ısı değişiminden etkilenmeyen)
- Ölçüsel sabitlik
- Sürtünme dayanımı
- Şeffaflık
- Ortalama kalıp çekmesine (% 0,5) sahip olmaları gösterilebilir.

Yarı kristal yapıya sahip termoplastikler örnek; PA6, PA66, PP, POM, PBT, PPS malzemelerini sayabiliriz. Yarı kristal yapıdaki malzemelerin ortak özellikleri olarak;

- Kimyasal dayanıklılık
- İyi aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yük altında yüksek deformasyon sıcaklığı
- Ortalama kalıp çekmesine (% 1,5) sahip olmaları gösterilebilir.

Termoset plastikler ise polimerizasyon işlemi sonucunda sertleşen ve tekrar yumuşama olmayan malzemelerdir. Bazı lineer polimerler molekül zincirleri arasında çapraz kovalent bağ oluşumu sonucu termosetlere dönüşürler. Plastiklerin bu farklı davranış biçimleri moleküllerin kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. Bu da molekülün büyüklüğüne (mer sayısına), moleküllerin diziliş şekline ve moleküller arası oluşan kuvvetli bağlara bağlıdır. Termoset plastikleri dayanımları, rijidlikleri, kullanım sıcaklık sınırları ve dış etkilere karşı dayanıklılıkları yönünden termoplastiklerden daha

üstündürler, ancak tekrar kullanılmazlar. Termoset plastikler gevrek olup plastik şekil değiştirme olmadan kırılırlar. Yumuşamaz ve plastikleşmezler. Sıcaklık arttıkça dayanım azalır ve oluşan hasar kalıcıdır [11, 12]. Fenoplastlar, aminoplastlar, poliesterler, polieterler, poliüretanlar olarak beş ana sınıfta toplanırlar.

Termoset plastiklerle termoplastiklerin özelliklerinin karşılaştırılmasını kısaca aşağıdaki gibi sınırlandırabiliriz [11, 12].

- Termoset plastikler ısıya karşı daha dayanıklıdırlar.
- Termoset plastikler serttirler. Bileşimi ayarlanarak yumuşatılabilirler.
- Termoplastiklerin sünme eğilimi termoset plastiklere oranla daha fazladır.
- Termoplastikler bazı organik çözücülere karşı dayanıksızdırlar. Termoplastikler saydam olarak üretilebilirler.

Elastomer terimi kauçuk terimiyle birbirlerinin yerine kullanılabilirler. Elastomerler amorf yapılı polimerlerdir. Normal kullanım sıcaklıkları camsı geçiş sıcaklıklarının üzerindedir, böylelikle büyük oranda moleküler parça hareketi muhtemeldir. Sert plastikler normalde camsı geçiş sıcaklığının altında ya da oda sıcaklığında yarı kristalin olarak katıdırlar [18].

Elastomerler (elastiki: yay gibi, meros: parça) eritilmez ve çözülmezler ama şişebilirler. Elastomerler hafif çapraz bağlantılıdırlar (yani çapraz bağlantılar ayırıcıdır) ve bu nedenle oda sıcaklığında yumuşak, esnek bir durumda bulunurlar. Elastomerlere örnekler olarak otomobil lastikleri ve kauçuk contalar sayılabilir [18].

Plastiklerden farklı birçok mekanik ve fiziksel özelliği vardır. Aralarındaki farkı anlamak için aşağıda plastiklerle kauçuğu kıyaslayan mekanik bir özelliğe ait diyagram verilmiştir [18].

3.4. Plastik Malzemelerin Mekanik Özellikleri

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

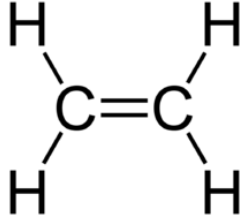
- Özgül ağırlıklarının dolayısı ile ağırlıklarının çok az olması,
- Elektrik direnci yüksektir yalıtım malzemesi olarak çok geniş uygulama alanları mevcuttur,
- Korozif ortamlarda rahatlıkla kullanılırlar,
- Plastik malzemelerin kısmen yanıcı ve alev alıcı özelliği vardır,
- Bazı çözümlendirici maddeler plastiği çözümlendirirler veya eritirler,
- Plastik malzemelerin ısı dayanımı düşüktür. Termoplastik malzemelerin ortalama dayanımı 50-150 °C'dir. Bu değer termosetlerde ise 300 °C'ye kadar çıkar,
- Isı iletkenlikleri düşüktür. Isı iletim kabiliyeti yaklaşık olarak çeliğin yüzde biri kadrır,
- Plastik malzemelerin en önemli dezavantajlarından birisi düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır.
- Estetik açıdan iyidir. Birçok plastik türleri istenilen renklere renklendirilebilir. Şeffaf olanları da vardır,
- Talaşlı şekil verme, döküm, ekstrüzyon, enjeksiyon, kaynak vb. çok geniş şekillendirme olanağı vardır,
- Plastiklerin göreceli olarak maliyetleri düşüktür,
- Plastiklerin eğilme yumuşaklığı metallere nazaran fazladır yani elastik modülleri düşüktür,
- Elastik modülleri sıcaklığa bağlıdır. Örneğin plastik borular ısınınca yumuşar soğukta ise katılaşır,
- Termoplastikler oda sıcaklığında bile sürünme gösterir,
- Plastik malzemeler kısmen su alma eğilimi gösterirler böylelikle elektrik ve mekanik özellikleri değişime uğrar.

olarak özetlenir [19].

3.5. Sanayide Sık Kullanılan Termoplastikler

3.5.1. Polietilen

Plastik sanayinde PE olarak adlandırılan polietilen; etilen moleküllerinin çeşitli tekniklerle polimerizasyonu ile elde edilir. Polietilen yoğunluk ve kimyasal özellikleri temel alınarak çeşitli kategorilerde sınıflanır. Mekanik özellikleri, moleküler ağırlığı, kristal yapısı ve dallanma tipine bağlıdır [13, 20]. Polietilenlerin kimyasal olarak gösterimi Şekil 3.4'de belirtilmiştir.



Şekil 3.4. Polietilenlerin kimyasal olarak gösterimi [20].

Plastik sektöründe kullanılan polietilen türlerinden bazıları aşağıda belirtilmiştir.

- UHMWPE (ultra yüksek moleküler ağırlıklı PE)
- HDPE (yüksek yoğunluklu PE)
- HDXLPE (yüksek yoğunluklu çapraz bağlı PE)
- PEX (çapraz bağlı PE)
- MDPE (orta yoğunluklu PE)
- LDPE (düşük yoğunluklu PE)
- LLDPE (lineer bağlı düşük yoğunluklu PE)
- VLDPE (çok düşük yoğunluklu PE)

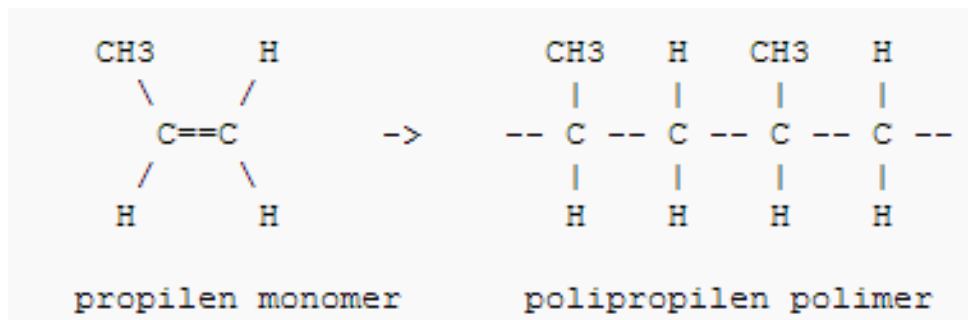
Polietilenlerin özellikleri tiplere göre değişiklik göstermekle beraber; dış ortam koşulları ve neme karşı iyi direnç, zayıf mekaniksel kuvvet, üstün kimyasal direnç ve esneklik malzemenin genel özellikleridir [13, 20].

Düşük yoğunluklu polietilenler; mumsu yapıda düşük sıcaklıklara dayanıklı, ışık geçirgenliğine sahip, esnek ve ucuz malzemelerdir. Saklama kapları, gıda ürünlerinin ambalajında, plastik poşet, gaz ve su boruları gibi ürünlerin üretilmesinde kullanılırlar [13, 20].

Yüksek yoğunluklu polietilenler yarı sert, yüksek dayanım, yarı ışık geçirgenliği ve yüksek kimyasal dayanıklılığa sahip ucuz malzemelerdir. Süt ve sıvı deterjan kapları, benzin depoları, yiyecek kaplama malzemeleri ve mutfak aletlerinin yapımında kullanılırlar [13, 20].

3.5.2. Polipropilen

Plastik sanayinde PP olarak adlandırılan polipropilen; propilen gazının polimerizasyonu ile elde edilir. Yapı olarak düşük yoğunluklu polietilen ile yüksek yoğunluklu polietilen arasında bir yapıya sahiptir. LDPE'den daha az sert ve HDPE 'den çok daha az gevrektiler. Polipropilenin kimyasal olarak gösterimi Şekil 3.5'de belirtilmiştir [13, 21].



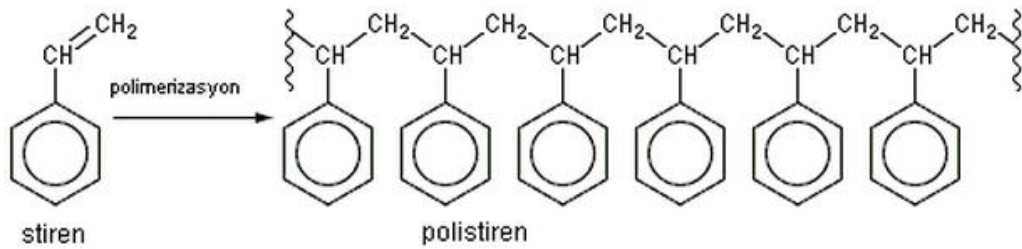
Şekil 3.5. Polipropilenin kimyasal olarak gösterimi [21].

Polipropilen; yorulma direnci, darbe dayanımı, kimyasal direnç bakımından iyi performans gösterir. Sürtünme kuvvetinin düşük olması ve yüksek elektrik iletimi, leke tutmaması, suyu emmemesi ve zehirsiz olması malzemenin diğer olumlu özellikleridir. 160 °C ergime sıcaklığına sahip polipropilen tüm termoplastik işleme koşullarına uygundur [13, 21].

Bu özelliklerinin yanında; yanıcı olması, UV ışını dayanımının az olması, kolay oksitlenmesi, dış hava koşullarına uygun olmaması ve boyama, kaplama gibi işlemlere uygun olmaması gibi bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır [13, 21]. Küçük ev aletleri, masa ve sandalye yapımı, beyaz eşya parçaları, halat ve boru yapımı, otomotiv parçaları başta olmak üzere çok fazla kullanım alanları bulunmaktadır.

3.5.3. Polistiren

Plastik sanayinde PS olarak adlandırılan polistiren, monomer halinde bulunan petrol ürünü sıvı stirenin polimerizasyonu ile edilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan polistiren 210-250 °C gibi yüksek sıcaklıklarda eriyik hale geçer. Polistirenin kimyasal olarak gösterimi Şekil 3.6'da belirtilmiştir [13, 22].



Şekil 3.6. Polistirenin kimyasal olarak gösterimi [13, 22].

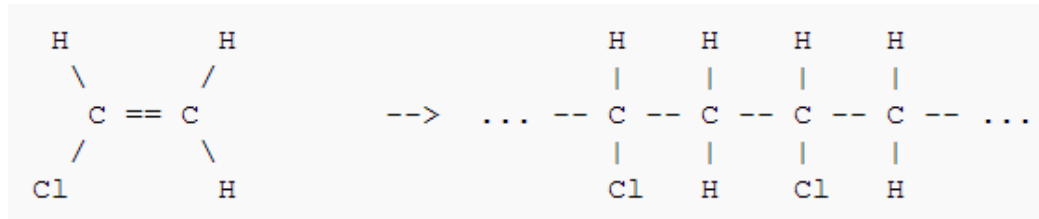
Polistiren, oldukça sert, kırılğan ve parlak bir malzemedir. İyi darbe ve gerilme direnci, UV ışınlarına yüksek dayanım, asit alkali ve tuzlara karşı yüksek direnç, düşük fiyat ve işleme kolaylığı gibi olumlu özellikleri vardır. Hızlı yanması, kurum üretmesi, kuvvetli gaz kokusu yayması ve asetonlu ortamlarda kabarması olumsuz özellikleridir [13, 22].

Polistiren, ince cidarlı kaplarda, karton yumurta kolilerinde, kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde, paketlenme ürünlerinde, oyuncak, ses ve videokasetlerinde olmak üzere çeşitli ürünlerde kullanılır. Tek kullanımlık tabak, bardak, yoğurt kapları gibi ürünlerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Polistirenin en tanınmış formu olan Styrofoam (köpük polistiren), normal polistirenden 30 kat daha hafif olması nedeniyle paketlenme ve yalıtım malzemesi olarak en çok kullanılan ürünlerden biridir [13, 22].

3.5.4. Polivinil klorür

Plastik sanayinde PVC olarak adlandırılan polivinil klorür, monomer halinde bulunan vinil kloridin polimerizasyonu ile edilir. Polivinil klorürün kimyasal olarak gösterimi Şekil 3.7’de belirtilmiştir [13, 23].



Şekil 3.7. Polivinil klorürün kimyasal olarak gösterimi [13, 23].

Polivinil klorürün çeşitli katkı maddeleri ile uyumlu olması nedeniyle çok yaygın olarak kullanımına yol açmıştır. İçinde bulunan klor atomları nedeniyle alev almaması en önemli özelliklerinden biridir. Mükemmel elektrik yalıtımı, tüm hava koşullarına dayanıklı olması, yüksek performansı ve ucuz olması olumlu özellikleridir [13, 23].

Kimya endüstrisinin en önemli ürünlerinden birisidir. PVC ucuz ve kolay üretilebilmesi nedeniyle ahşap ve beton gibi ürünlerin kullanıldığı birçok yerde kullanılmaktadır. Dünya üzerinde kullanılan PVC'nin %50'sinden fazlası cephe kaplaması, kapı ve pencere profilleri, boru ve tesisat malzemeleri, elektrik kabloları, döşeme ve hobi malzemelerinde kullanılmaktadır. Ayrıca sağlık sektörü, su ve atık su borusu sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır [13, 23].

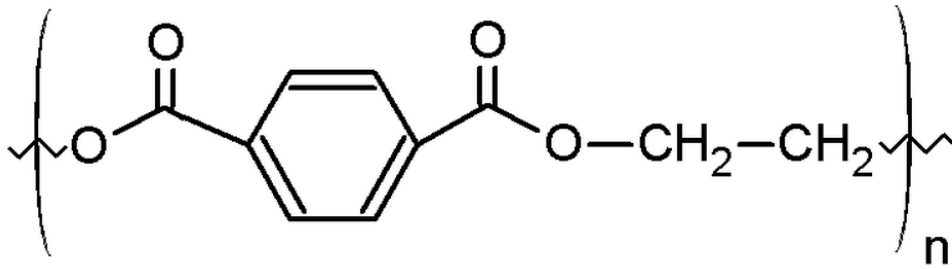
3.5.5. Polimetil metakrilat

Plastik sanayinde PMMA olarak adlandırılan polimetil metakrilat, camın alternatifi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Camın yarısı kadar ağırlığa sahip kırılmaz malzemedir. UV ışığını engelleyemez ve kolay çizilirler. Ancak engelleyici kaplamalarla birlikte bu özellikler kazandırılabilir [13, 24].

Takma diş uygulamaları, otomobil farları, ışık taşıyıcı, buz hokeyi sahası kenarları, koruyucu cam, akvaryum, göz merceği yapımında kullanılmaktadır [13, 24].

3.5.6. Polietilen tereftalat

Plastik sanayinde PET olarak adlandırılan polietilen tereftalat, poli kondenzasyon metoduyla üretilmektedir. Isıl işlenmesine bağlı olarak, amorf (şeffaf) ve yarı-kristal (opak ve beyaz) olarak bulunmaktadır. Polietilen tereftalatın kimyasal olarak gösterimi Şekil 3.8'de belirtilmiştir [13, 25].



Şekil 3.8. Polietilen tereftalatın kimyasal olarak gösterimi [13, 25].

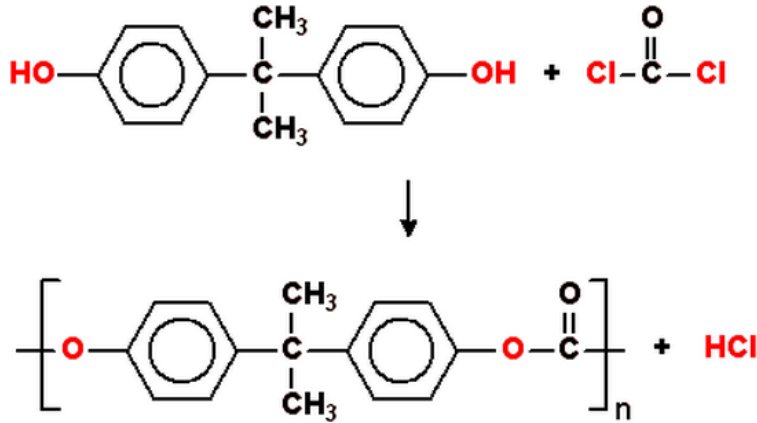
Malzemenin en önemli özelliği tamamen geri dönüştürebilir olmasıdır. Kalınlığına bağlı olarak yarı-rijit ve rijit olabilir. Çok hafif, renksiz şeffaf, sert ve darbeye karşı dayanıklıdır. Kayma ve kaynak olma özellikleri iyidir. İyi bir gaz ve nem bariyeri olarak kullanılır. Bu özelliklerinin yanında darbeye karşı dayanıklılığının az olması dezavantajlı olan bir özelliğidir [13, 25].

Günlük hayatımızda dilimize yerleşmiş bir kelime olan PET şişe kavramı, PET malzemesinin genel olarak yiyecek, içecek ve çeşitli sıvı kapların üretiminde kullanılması kaynaklıdır [13, 25].

3.5.7. Polikarbonat

Plastik sanayinde PC olarak adlandırılan polikarbonat; kırılmaz ve dağılmaz cam olarak bilinmektedir [13, 26].

Kurşungeçirmez cam yapımında kullanılacak kadar dayanıklı bir malzemedir. Polimetil metakrilat malzeme ile benzer özellikte olmasına rağmen daha neme dayanıklılığı ve sağlamlığı daha iyidir. Polimetil metakrilata göre daha pahalıdır. Birçok cam türünden daha iyi ışık geçirgenliği ve şeffaflığı vardır. UV ışığına karşı zayıf olmalarına rağmen engelleyici kaplamalarla birlikte bu özellikler kazandırılabilir. Polistirenin kimyasal olarak gösterimi Şekil 3.9'da belirtilmiştir [13, 26].

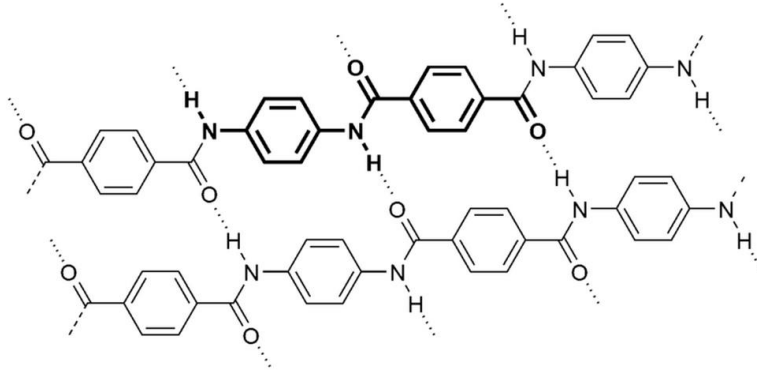


Şekil 3.9. Polikarbonatın kimyasal olarak gösterimi [13, 26].

Polikarbonat bebek biberonları, yiyecek kapları, koruyucu ve normal gözlük camları, otomobil iç parçaları, otomobil farları, cep telefonu, bilgisayar parçaları ve CD gibi ürünlerin yapımında kullanılmaktadır [13, 26].

3.5.8. Poliamidler (Naylonlar)

Peptid bağları tarafından bağlanmış monomerlerden oluşan poliamitler günlük hayatta naylon olarak bilinmektedir. Naylon, kevlar gibi çeşitli isimler altında da suni olarak üretilmektedirler. Poliamidlerin kimyasal olarak gösterimi Şekil 3.10'da belirtilmiştir [13, 27].



Şekil 3.10. Poliamidlerin kimyasal olarak gösterimi [13, 27].

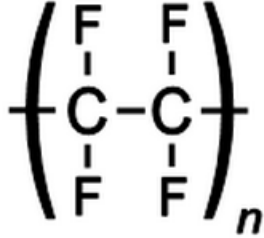
İlk olarak diş fırçası kıllarının yapımında kullanılan malzeme, kadın çoraplarının imalatında kullanılması ile birlikte popüleritesini arttırmıştır. İlk olarak pamuk ve yün lifleri ile üretilen malzeme daha sonraları yerini naylon liflerine bırakmıştır. Lastiklerdeki kort bezi, tekstil, ağ, kilim, paraşüt, raket ve gitar telleri, diş fırçası gibi ürünlerinde yapımında sıklıkla kullanılmaktadır [13, 27].

3.5.9. Politetrafloroetilen

Plastik sanayinde PTFE olarak bilinen malzemenin sıklıkla kullanılan adı teflondur. Molekül yapısı polietilene çok benzeyen malzemede polietilenden farklı olarak hidrojen atomları yerine flor atomlarını barındırmaktadır [13, 28].

Isıya, mekanik baskılara, ultraviyole ışınlarına, tuza neme yüksek dayanıklılık göstermektedir. Malzeme sanayide kullanılan kimyasallara karşı dayanıklıdır. 300 °C'nin altında politetrafloroetileni çözebilen bir madde bulunmamaktadır.

Çok etkin bir yalıtım malzemesidir. Mevcut plastikler içerisinde sürtünme katsayısı en düşük malzemedir. Politetrafloroetilenin kimyasal olarak gösterimi Şekil 3.11'de belirtilmiştir [13, 28].



Şekil 3.11. Politetrafloroetilenin kimyasal olarak gösterimi

Yüksek ısıya dayanıklı conta, keçe, bant gibi sızdırmazlık elemanlarının yapımında kullanılır. Taşıyıcı bant ve merdaneler, makine sanayinde sürtünmeye dayanıklı yağsız yataklar ve burçlar, köprü ve binalar için kayar yataklar, segmanlar ve yağ sıyırma siğilleri, pnömatik ve hidrolik parçalar yapımı, kimyevî maddelere dayanıklı boru, karıştırıcı, laboratuvar cihazları, filtre, diyafram, elektrik gerilimlerine dayanıklı kablo yalıtkanı, izalotör, elektrikli âletlere gerekli muhtelif yalıtkan parçalar, mouse altları diğer kullanım alanlarıdır. W.L. Gore tarafından üretilen Gore-Tex adlı dokuma ile rüzgâr ve yağmuru geçirmeyen ama havayı ve teri geçirebilen, sert koşullara dayanıklı ürünler üretilmeye başlandı. Teflon mutfak araçlarının iç yüzeylerine kaplanarak ürünlere yapışmazlık özelliği kazandırmaktadır. Bu sayede yağsız ve susuz bir şekilde yiyecekler yapışmadan pişirme işlemi yapılabilir. Ancak teflonun bu özelliği 230°C'nin altındaki sıcaklıklarda kullanılabilir. Bu sıcaklık üzerindeki sıcaklıklar teflonu kansorejen ve çevreyi kirleten bir ürüne dönüştürmektedir [13, 28].

3.6. Plastik Malzemelerde Kullanılan Katkı Maddeleri

Plastik malzemelerin seçiminde kullanım şartları, fiyat gibi unsurlar önem kazanmıştır. Malzemenin eksik olan özelliklerini arttırmak, malzemeye

istenen bir özelliği kazandırmak ya da fiyatını azaltmak için malzeme içerisine katkı maddeleri eklenir. Bu katkı maddelerinin aşağıdaki gibi sıralanabilir [11].

- Yağlayıcılar
- Darbe dayanımı arttırıcılar
- Renklendiriciler
- Biyostabilleştiriciler
- Kristalliği düzenleyiciler
- Çapraz bağlayıcılar
- Floresant ve beyazlaştırıcılar
- Köpürtücüler
- Anti statik katkılar
- Isı Stabilizatörleri
- UV Stabilizatörleri

3.6.1. Plastikleştiriciler

Plastik eşyanın fiziksel ve mekanik özelliklerini arttırmak için plastik işleme karışımlarına eklenen kimyasal maddelerdir. Plastikleştiriciler ile malzemenin elastik modülü, camsı geçiş sıcaklığı ve ergime sıcaklığı düşürülebilir. Buna karşılık malzemenin kopma dayanımı ve sertliği azalmış olur. Plastiklerin eklenmesi fiziksel işlemlerle sağlanması nedeniyle kimyasal yapılarında fazla değişiklik görülmez. Bu tür ürünlerde Plastikleştiriciler zamanla ürünlerin yüzeyine göç ederek plastiğin fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesine yol açabilir. Ayrıca bu tarz ürünlerde plastik eşyanın temasta bulunduğu maddeleri kimyasal olarak kirletebilmektedir. Bu nedenle gıda maddeleri ile ilgili ürünlerde kullanılmasına dikkat edilmelidir.

Genel olarak plastikleştiricilerin yüksek saflıkta, renksiz, kokusuz ve tatsız, tepkimeye girmeyen malzemeler olması istenmektedir. Başlıca

plastikleştiricilere ftalat esterleri, fosfat esterleri, epoksiler, sulfonamidler örnek olarak gösterilebilirler [11-13].

3.6.2. Yağlayıcılar

Yağlacılar (Lubricant), polimer malzemelerin katı ve ergimiş haldeki akışkanlıklarını arttırmak için kullanılır. Ergimiş haldeki polimerin makinelere yapışmasını önleyerek malzemenin işlenmesini ve kolay şekil alabilmesini sağlar. Yağlayıcının temel fonksiyonu iç ve dış sürtünmelerin azalmasını sağlayarak akışkanlığı arttırmaktır. Bu temel özelliklerinin yanı sıra ergimeyi kolaylaştırma, ergimiş plastiğin yapışkanlığını azaltma, anti statik özellik sağlama, darbe dayanımı arttırma, yüzey ve renk görünümünde iyileştirmeler sağlamaktadır. Sıvı yağlayıcılar olmakla beraber genel olarak kolay akabilen ve aglomere olmayan toz yağlayıcılar kullanılmaktadır [11-13].

Yağlacıların uçucu olmamaları, işleme sırasında dumanlanmaya yol açmamaları, mekanik özellikleri bozmamaları, yüzey bozukluklarına yol açmamaları, ergimiş plastiğin ısıl kararlılığını bozmamaları ve insan sağlığına zarar vermemesi istenmektedir. Başlıca yağlayıcılara hidrokarbonlar, alkoller, ketonlar, amidler, karboksilik asitler örnek olarak gösterilebilirler [11-13].

3.6.3. Darbe dayanımı arttırıcılar

Termoplastiklerin, özellikle düşük sıcaklıklara maruz bırakıldığı uygulamalarda darbe dayanımının düşük olması en önemli sorunlardan biridir. Bu olumsuz özellik PVC, PS, PVC gibi çok yaygın kullanılan plastikler içinde geçerlidir. Darbe dayanımı düşük kırılgen plastiklerin dayanımını arttırmak için çeşitli yöntemler vardır [11-13].

Polimer içerisine plastikleştirici katılarak camsı geçiş sıcaklığının düşürülmesi ya da camsı geçiş sıcaklığı düşük olan başka bir polimer medde ile karıştırılması bu yöntemlerden bir tanesidir [11-13].

Darbe dayanımı arttırıcıların, katıldıkları polimerlerinkinden daha düşük camsı geçiş sıcaklığına sahip olmamaları, ısı, UV ışınması gibi özelliklerini bozmaması beklenmektedir. Polimerler içerisinde uygun bir şekilde dağılabilmeleri beklenmektedir [11-13].

3.6.4. Köpürtücü Katkılar

Plastiklerin köpürtülmesi ile gözenekli bir yapıya ulaşmaları günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. Yapılan bu işlem malzemenin;

- Isı ve ses yalıtımı özellikleri iyileşir.
- Televizyon ve müzik sistemlerindeki akustik özellikler iyileşir.
- Yoğunluğun daha düşük olması nedeniyle malzeme tasarrufu ve maliyet avantajı sağlar.
- Malzemelerin dielektrik özellikleri iyileşir.

Köpürtücüler genellikle ince tanecikli toz yapıdaki malzemelerdir. Malzemenin kullanılması sırasında homojen olabilmesi için karışımın homojen olması önemlidir. Bu nedenle köpürtücülerin kullanıldığı uygulamalarda homojen karışımı sağlayacak özel dispersan ya da toz karışımlar kullanılmaktadır [11-13].

Köpürtücülerin plastik işleme sıcaklığına uygun bir sıcaklıkta bozulması ve bozulma sonrasında ortaya çıkan gazların patlayıcı olmaması istenmektedir. Ayrıca malzemenin işleme yapan makinalarda korozyona neden olmaması, parça yüzeylerinde çöküntü ve renk bozuklukları oluşturmaması ve düşük maliyetli olması istenmektedir [11-13].

3.6.5. Kristalliği dzenleyiciler

Polimerler hızlı ya da yavaş soğutulduklarında ergime noktalarının altında ve camsı geçiş sıcaklığına yakın olmayan noktalarda kristalleşebilirler. Dzenleyicilerin polimerlerde çözünmeleri, ergime noktalarının polimerlerinkinden yüksek olması, ince tanecikli ve homojen dağılabilmeleri istenmektedir [11-13].

3.6.6. Anti statik katkılar

Plastik malzemeler işlenmeleri ya da kullanımları sırasında üzerlerinde statik elektrik oluşabilmektedir. Bu oluşun statik elektrik nedeniyle malzemede toz birikmesi, elektriksel çok, yanma ve patlama riski oluşmaktadır. Plastik malzemeye eklenen anti statik katkı maddeleri toplanan elektriksel yükün malzemeden atılmasını sağlar. Malzemeye işleme sırasında katılanlara iç, sonradan püskürtme ya da daldırma yöntemiyle uygulananlara dış anti statik katkı olarak tanımlanmaktadır [11-13].

Anti statik katkı maddelerinin malzeme ile uyumlu olması, opaklaşmaya ya da renk kaybına neden olmaması, malzemenin fiziksel özelliklerini etkilememesi ve işleme sıcaklığında malzemeye iyi karışabilmesi istenmektedir [11-13].

3.6.7. Renklendiriciler

Plastiklerin görünümünü iyileştirmek için renklendiriciler kullanılmaktadır. Pigmentler ve çözünebilen boyalar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Pigmentler saydam ve parlak bir yapıya sahip olmakla birlikte ışığa dayanıksızdırlar. Pigmentler ise opak renkli olup, ışık ve ısıya yüksek dayanım sağlayabilmektedir [11-13].

Renklendiricilerin seçimi kullanım yerlerine göre değişmektedir. Renklendiricilerin, ısı ve ışık geçirgenliği kararlılığı, kimyasal maddelere

dayanıklılık, homojen dağılım gibi özelliklerinin iyi olması istenmektedir [11-13].

3.6.8. Yanma Dayanımı Arttırıcılar

Plastiklerin kolayca yanması geri dönüşüm için istenen bir özellik olmasına rağmen kullanım alanları için olumsuz bir özellik olabilmektedir. Elektronik eşyalar, mobilyalar, bina elemanları, taşıtlar vb. uygulamalarda yanmazlık olmazsa olmaz bir özelliktir. Yanma dayanımı arttırıcı maddeler, malzemenin düşük sıcaklıklarda alev almamasını ve alev oluşursa ilerlememesini sağlamaktadır [11-13].

Yanma dayanımı arttırıcı maddeler; bu önemli işlevlerinin aksine, malzemenin işlenebilirliğini, çekme direncini ve yumuşaklığını azaltmaktadırlar. Bu nedenle malzemeni tasarımı ve kullanılacağı bölge önem kazanmaktadır [11-13].

3.6.9. Isı stabilizatörleri

Malzemenin sıcaklık aralığının azaltılması ve kullanım ömürlerinin uzatılması için ısı stabilizatörleri kullanılmaktadır. Plastiğin işlenmesi ya da karışımının hazırlanması sırasında ısı stabilizatörleri katılarak, malzemenin ısı ile bozunması ve özelliklerinin değişmesi engellenmektedir [11-13].

Eklenen stabilizatörlerin; kokusuz, zehirsiz, uçucu ve ekonomik olması beklenmektedir [11-13].

3.6.10. UV stabilizatörleri

UV ışınların güneşin yaydığı ışınların 200-400 nm arasında dalga boylu olanlarıdır. 250-400 nm arasında dalga boylu ışınlar polimerlere zarar vermektedirler. UV ışınlarına maruz kalan polimerlerde kırılma, kırılganlaşmalar,

Çizelge 3.3. (Devam) Katkı maddelerinin malzemeye kazandırdıkları özellikler [29].

Isıl iletkenlik		+	+	+	+			+		+
Isıl deformasyon sıcaklığı	+	+				+		+	+	
Elektrik iletkenliği			+							+
Elektrik direnci					+	++			+	
Isıl kararlılık				+	+	+			+	+
Kimyasal direnç			+			+	+			
Abrasyon direnci			+			+				
Ektrüzyon hızı						+		+		
Makine aşınması			0	-			0	0		0
Maliyet düşmesi			+	++	+	+	+	++		
(++ OLDUKÇA ÖNEMLİ) / (+ ÇOK ETKİLİ DEĞİL) / (0 ETKİSİZ) / (- NEGATİF ETKİLİ)										

Yapılan bu deneysel çalışmada kullanılan malzeme içerisine % 40 oranında kalsit malzeme katılmaktadır. Eklenen kalsit malzemesi kimyasal gösterimi CaCO_3 olan kristalleşmiş kalsiyum karbonat malzemedir. $2,71 \text{ gr/cm}^3$ özgül ağırlığa sahip bu malzeme doğada saydam, beyaz, sarı, rüstik yeşil ve mavi olarak Resim 3.1'de gösterilmiştir.



Resim 3.1. Kalsit malzemesinin doğal şekilleri [30, 31].

Kalsit malzemesi kâğıt, boya, lastik, seramik vb. birçok üründe kullanılmaktadır. Kalsitin plastikte kullanımı da oldukça yaygındır. Plastiklerde dayanıklılık, kalıptan kolay çıkma ve malzeme kalınlığının her yerde aynı olmasını sağlaması için dolgu malzemesi olarak kullanılır. Bu özelliklerinin yanında sertlik, dayanım, iç gerilmeyi önleme, esneklik ve yüksek sıcaklığa dayanım özellikleri de katmaktadır [31].

4. GERİ DÖNÜŞÜM

Plastik, cam, kâğıt, karton vb. malzemelerin atıklarının çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlerden geçirilerek yeni bir hammaddeye, ürüne ve ya katkı maddesine dönüştürülmesi geri dönüşüm olarak tanımlanmaktadır [12].

Plastik yılı olarak kabul edilen 1980 yılından itibaren plastiklerin geri dönüşümü de önemli bir sorun olarak gündemdeki yerini almaktadır. Atık plastiklerin geri dönüştürülmesi, tükenbilir doğal kaynakların israf edilmesinin önlenmesi, verimli kullanılması, toprağa gömülen atıkların çevreye verdiği zararın en aza indirilmesi ve havaya daha az karbondioksit salınarak küresel ısınmanın azaltılması gibi yararlarıyla çok önemlidir [11, 12].

Çeşitli ülkeler ve şirketler farklı politikalar oluşturarak geri dönüşüm konusunu gündeme getirmişlerdir. Geri dönüşüm ile ilgili politikaların oluşmasında aşağıda belirtilen nedenler etkili olmuştur [11, 12].

- Katı atıkların yakılması ile ilgili çeşitli sorunların bulunması ve yakılma ile ilgili oluşan kamuoyu baskısı
- Katı atıkların gömüleceği alanların azalması
- Atmosferin ısınmasına neden olan emisyonların artması
- Yer altı sularının kirlenmesi ve bu konuda oluşan kamuoyu baskıları
- Hidrokarbon kaynaklarının bilinçsizce kullanılması nedeniyle bilim çevrelerinin baskıları

Geri dönüşümde atığın azaltılması öncelikli konu olarak belirlenmiştir. Ürünler tasarımına ya da üretimine başlamadan önce minimum atık olacak şekilde düşünülmelidir. Parçaların boyutları ve üretim yöntemleri minimum boyutlarda tasarlanmakta ve kullanılacak malzemeler mutlaka geri dönüşüme uygun olarak tasarlanmaya başlamıştır. Tasarlanan parçalar en gelişmiş teknoloji

kullanılarak minimum atık olacak şekilde üretilmektedir. Giriş bölümünde verilen örnekte belirtildiği gibi 27 kg'lık su veya soda gibi bir sıvıyı ambalajlayabilmek için seçilecek madde mutlaka plastik seçilmelidir [11, 12]. Geri dönüştürülebilir atıklardan yeni ürün ve malzemeler üretmek için en önemli konu, atıkların temiz ve türlerine göre ayrılmış olarak biriktirilmesidir. Değerlendirilebilir atıkların diğer atıklar ile karıştırılması elde edilecek yeni ürünün kalitesinin düşük olmasına neden olacaktır. Bu nedenle geri dönüştürülebilir atıkların, diğer atıklardan ayrı ve temiz olarak toplanması büyük önem arz etmektedir [32].

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 değerlerinin, yani doğada parçalanmaları için geçen ömürlerinin yüksek olması ve yeniden kullanım oranlarının düşüklüğü, atık plastik miktarını hızla arttırmaktadır [33].

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 bozulmadan 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 [33].

Plastiklerin hacim ağırlık oranlarının yüksek oluşu, bu atıkların etkin ve ekonomik bir biçimde toplanmasında çeşitli sıkıntılara yaratmaktadır. 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 [33].

Japonya ve Almanya' da atık plastiklerin miktarlarının azaltılması ve daha verimli bir geri dönüşümün sağlanması için atık plastiklerin yüksek sıcaklıklı fırınlarda kullanılması yöntemi geliştirilmiştir. Daha önce geliştirilmiş olan toz kömür, gaz ve fueloil ile çalışan yüksek fırınlardaki kok tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır. Bu yakıt elemanlar yerine plastik atıkların konulması çalışmaları 90'lı yıllarda çalışılmıştır [34].

Katı atıkların geri dönüşüm metotları ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Katı atıkların, Fransa'da %32'si, İsveç'te %50'si, Danimarka'da %65'i, İsviçre'de %80'i kontrollü bir şekilde yakılmaktadır. İngiltere'de katı atıkların %80'i gömülmektedir. Avrupa'daki ambalaj malzemelerinin geri toplama ve geri kazanım oranları aşağıdaki gibidir [11].

Çizelge 4.1 Avrupa'daki ambalaj malzemelerinin geri toplama ve geri kazanım oranları [11].

Malzeme Cinsi	Piyasaya Sürülen Ambalaj Malzemesi Miktarı, Ton/yıl	Geri Toplama Oranı, %	Yeniden Kullanılabilme Oranı, %
Kâğıt ve Karton	19 137 605	61	53
Cam	12 292 870	51	51
Plastik	7 521 549	28	16
Metal	3 536 528	48	48

Plastik atıklar, kaynaklarına göre proses atıkları ve kullanım sonrası atıklar olarak iki sınıfta incelenebilir. Kullanım sonrası atıklarla ilgili birçok sınıflanma yapılmakla birlikte bunları oluşturdukları 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 kâğıt, 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. 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 katı atıklar % 40-60 oranında toplanarak geri kazanılabilmektedir [32].

Plastik malzemelerin tüketim alanlarında önemli bir yer tutan ambalaj malzemeleri; 1-3 ay arasında olan kullanım ömürleri nedeniyle kısa bir zaman sonra katı atık malzemeler içerisinde yer almaktadırlar. Bu süre dayanıklı tüketim malları için 1-5 yıl, inşaat sektörü plastikleri içinse 5-25 yıldır. Bu nedenle kullanım sonrası geri dönüşüm plastikleri için ambalaj malzemeleri dışındaki ürünler fazla katkı sağlayamamaktadır [32].

Çizelge 4.2 Plastiklerin kullanım yerleri ve genel kullanımdaki dağılımları [11].

Kullanım Alanı	Toplam Tüketim İçindeki Payı %
Günlük kullanımlar	7
Otomotiv ve havacılık	9
Elektrik-Elektronik	24
İnşaat	29
Ambalaj	31

Avrupa'da plastik katı atıkların oluştuğu kaynaklarda, kentsel atıklar en büyük orandadır. Bu atıkların çeşitli plastiklerin karışımları olması sebebi ile bir kaynak olarak kullanılması bugüne kadar tam olarak çözülmemiş ve çözümlenmesi zor bir problem olarak görölmektedir. 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 [35].

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. 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 [35].

4.1. Geri Dönüşüm Süreci

Daha önce belirtildiği gibi plastik geri dönüşümü, atık plastiklerin yeniden değerlendirilebilir hammadde haline getirilmesi işlemidir. Geri dönüşüm yöntemlerini genel olarak incelendiğinde süreç beş ana başlık altında incelenebilir [36]:

- Plastiklerin yeni plastiklere karıştırılarak kullanılması
- Yakma yöntemi
- Plastiklerin kimyasal olarak parçalanması
- Atıkların gömülmesi ya da tabiatta bozunması
- Atık plastikten kompozit malzeme yapılması

Plastiklerin yeni plastiklerle kullanılması; kullanılacak plastiğin temiz ve cinsinin bilinmesine bağlıdır. Bu yöntemin en önemli avantajı plastik maliyetinin az olması ve çevre açısından en az zararı vermesidir [36].

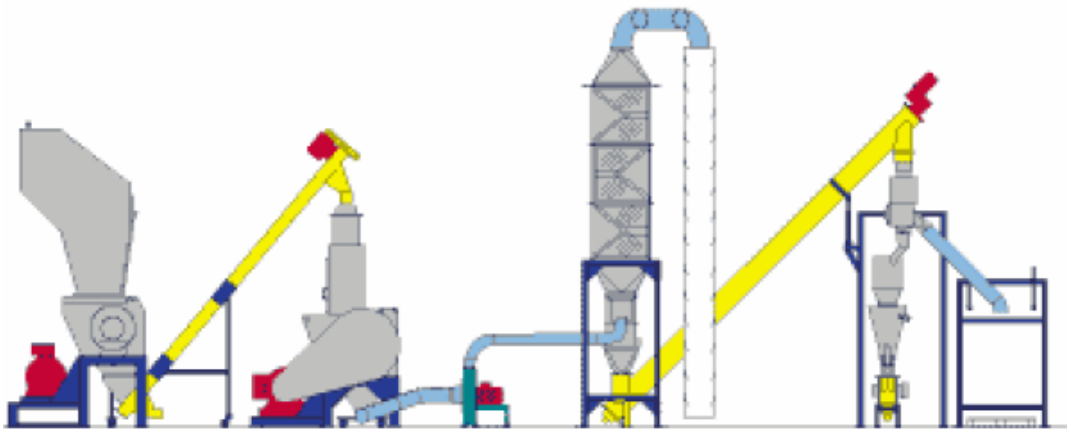
Yakma yönteminde; plastiklerin yakılması sonucunda elde edilen enerjinin kullanılması ile geri dönüşüm sağlanmaktadır. Plastiklerin yapısının petrol vb. olması nedeniyle yakıldıklarında petrole yakın bir enerji açığa çıkmaktadır. Plastiklerden elde edilen enerji kömürden daha fazladır. 1 kg plastik yakıldığında 1 lt mazota eşdeğer bir enerji vermektedir. Bu yöntemin en önemli dezavantajı ise yakma işlemi sırasında ortaya çıkacak zehirli gazlardır. Bu nedenle özellikle PVC gibi plastiklerin yakılmasında ciddi önlemler alınması gerekmektedir. Aksi halde ortaya çıkan zehirli gazlar çok büyük çevresel zararlara yol açabilirler [36].

Plastiklerin kimyasal olarak parçalanması, atık malzemelerin kimyasal reaksiyona uğratılarak yeniden değerlendirilmesidir. Kimyasal işlemler; hidroliz yöntemi, alkoliz yöntemi ve hidrojenasyon ve piroliz yöntemi olmak üzere dört ana başlık altında toplanabilir. Malzemelerin özelliklerine göre seçilen bu yöntemler, malzemenin havasız ortamda yakılması ya da belirli kimyasal işlemler uygulanarak malzemenin çeşitli ürünlere dönüştürülerek yeni malzeme oluşturulması esasına göre kullanılırlar [36].

Atıkların gömülmesi ya da tabiatta bozunması yöntemi, plastiklerin doğada bozunmasının çok zor olması nedeniyle kolayca uygulanabilen bir yöntem değildir. Bu nedenle malzemenin doğada çözünmesini engelleyecek malzemeler eklenmemelidir. Örneğin güneş ışığına dayanıklılığını sabitleyen katkıları kullanılmamış olmalıdır ya da malzemenin doğada çözünmesini sağlayacak malzemeler eklenmelidir. Bu tür uygulamalar çevre açısından uygun olmasına rağmen, uzun süreli kullanımına uygun olmadığı için çok fazla tercih edilmezler. Tek kullanımlık plastik çatal, bıçaklar için kullanımı uygundur.

Atık plastikten kompozit malzeme yapılması, atık plastiklerin başka bir sınıftan malzeme ile birleştirilerek yeni bir kompozit malzeme oluşturulması işlemidir. Bu işlem çok fazla temizleme ve ayırma işlemine gerek duymaması nedeni ile avantajlıdır. Uygulamaya örnek olarak ağaç talaşı ile atık plastiğin karıştırılması gösterilebilir.

Yukarıda plastiklerin geri dönüşümlerinden genel olarak bahsedilmiştir. Sanayide kullanılan genel geri dönüşüm sistemi atık plastiklerin türlerine göre ayrılması ile plastik geri dönüşümü başlar. Temiz plastikler, granül makinesi kullanılarak yeniden eritilip granül hale getirilerek hammaddeye çevrilebilir. Çöp olarak toplanan atık plastiklerin ise yıkanması ve kurutulması gerekir. Plastiklerin geri dönüşüm ünitelerinde granül hale getirilmesinin şematik hali Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir. [37].

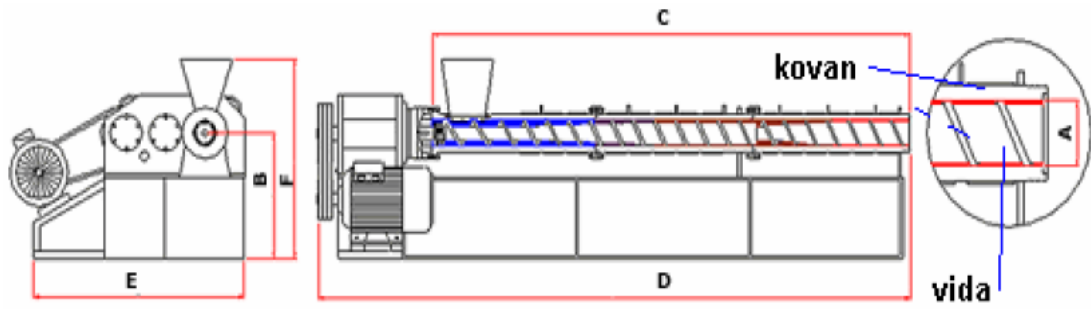


Şekil 4.1. Geri dönüşüm ünitesi genel görünümü [37].



Şekil 4.2. Geri dönüşüm ünitesi birimleri [37].

Geri dönüşüm sistemine girecek plastikler yükleme konveyörüne konular ve konveyör plastiği kırma makinesine besler. Şekil 4.3 de şematik gösterimi verilen kırma makinesi, plastik malzemeyi, parça boyutu standart olacak şekilde küçültür. Kırma makinesine plastik malzeme ile birlikte üst hazneden su püskürtülerek, kirli malzemenin ön yıkaması sağlanır. Kırma makinesindeki spiral vida formundaki elevatör ile plastik malzeme taşınır. Çıkış elevatörü, plastik malzemeyi yatay temizleme separatörüne besler. Elevatör gövdesinin delikli sac yapısı sayesinde kirli su tahliye olur. İkinci temizleme separatöründe plastik parçalar kirden ve havuzdan taşınan sudan arındırılır. Plastikten ayrılan su, bir boru ile havuzun giriş bölümüne geri döndürülerek su dolaşımı sağlanır [37].



Şekil 4.3. Geri dönüşüm kırıcı ünitesi [37].

Yatay temizleme separatöründen konik sıkma makinesine beslenen plastikler, burada delikli kovan içinde dönen konik vida içinden geçerek yüksek basınca tabi tutularak sıkılır ve fazla su üzerinden atılır. Konik sıkma çıkışında bulunan transfer fanı plastik malzemeyi Aglomer üstü adı verilen siloya taşır. Aglomer makinesi sabit ve döner bıçaklarla plastiği karıştırıp, sürtünme gücüyle ısıtarak hem kurutur, hem de yoğunlaştırır. Böylece geri dönüşüm hattının son aşaması olan ekstrüzyona hazır hale gelir [37].

Granül makinesi, plastik malzemeyi ısı ve yüksek basınç altında ergime ısısına getirip eriterek, kullanılabilir hammadde haline getirir [37].

4.2. Geri Dönüşümlü Plastik Malzemelerin Kullanım Alanları

Geride dönüştürülen plastiklerin tekrar kullanımını için en önemli konulardan biri kullanım alanlarının doğru belirlenmesidir. Çok az plastik grubu diğer plastiklerle karıştırılabilir. Özellikle mekanik özellikler bakımından önem arz eden ürünlerde farklı polimer zincirlerine sahip ürünler karıştırılmamalıdır. Birbiri ile karışmayan plastikler genellikle bu plastiklerin kopolimerleri ile birlikte kullanılarak karıştırılabilir hale getirilir. Çizelge 4.3'de homopolimer malzemelerin birbirleri ile karıştırılabilirliği gösterilmiştir [36].

Çizelge 4.3 Homopolimerlerin malzemelerin karıştırılabilirlik özellikleri [36].

	PS	ANTIŞOK K PS	SAN	ABS	PA	PC	PMMA	PF	PVC	PP	AYPE	YYPE	PBT
ANTIŞOK PS	1												
SAN	6	6											
ABS	6	6	1										
PA	5	4	6	6									
PC	6	5	2	2	6								
PMMA	4	4	1	1	6	1							
PF	6	6	6	5	6	6	5						
PVC	6	6	2	3	6	5	1	6					
PP	6	6	6	6	6	6	6	6	6				
AYPE	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6			
YYPE	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	1		
PBT	6	6	6	5	5	1	6	6	6	6	6	6	
PET	5	5	6	5	5	1	6	6	6	6	6	6	6

1 = Çok iyi, her oranda karışan / 6 = Hiç karışmayan uyumsuz









Malzemelerin karıştırılabilir malzeme olup olmadığı çeşitli yöntemlerle anlaşılabilir. Görünüş olarak tek ve homojen görünen parçalara ısıtma ve soğutma gibi işlemler uygulayarak karıştırılabilir olup olmadıkları tespit edilebilir. Birbiri ile karışan plastikler tek bir ergime noktasına sahip iken, birbiri ile karıştırılmaması gereken plastikler farklı ergime noktasına sahip olacaklardır. Bir başka yöntem ise malzemenin optik özelliklerinin incelenmesidir. Karışım çözgünde çözülerek film haline getirilir. Çözgen

kurduğunda elde edilen film şeffafsa karıştırılabilir malzeme, mat ise karıştırılmaz malzemedir.

4.3. Geri Dönüşüm Sembolleri ve Anlamları

Geri dönüşüm sürecinde plastiklerin sınıflandırılarak toplanmasının önemi bir önceki bölümde açıklanmıştır. Süreci kolaylaştırmak için geri dönüştürülerek kullanılan plastiklerin ürünler üzerinde gösterimi yasal zorunluluk haline getirilmiştir. Bu gösterim firmalar için çevreye olan duyarlılıklarını belirttikleri bir reklam özelliği de taşımaktadır.








Resmi gazetede yayınlanan 25777 sayılı 5 Nisan 2005 tarihli yönetmelikle geri dönüşüm sembolleri zorunlu hale getirilmiştir. Sembol üzerindeki kısaltmalar büyük harflerle, plastik numaralar ise yönetmelikte belirtilen koşullara uygun olarak yazılmalıdır. Çeşitli ürünlere ait bazı semboller şekil 4.4'de gösterilmiştir [38].

 PAP	 FE	 ALU	 FOR
OLUKLU MUKAVVA	DEMİR	ALUMİNYUM	AHŞAP
 TEX	 GL	 GL	 C/PAP
TEKSTİL	RENKSİZ CAM	YEŞİL CAM	AHŞAP

Şekil 4.4. Çeşitli ürünler için geri dönüşüm sembolleri [38].

Plastikler için kullanılan semboller plastiğin türüne göre sınıflandırılmışlardır. Plastikler için kullanılan semboller ve anlamları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Plastikler için kullanılan semboller ve anlamları

SEMBOL	TANIM	AÇIKLAMA	HAM MADDE KULLANIM ALANI	GERİ DÖNÜŞÜM KULLANIM ALANI
	PET	PET plastiği tek kullanımlık sıvı şişelerinde sıkça kullanılmaktadır. Ucuz, hafif ve geri dönüştürülebilir olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bunların yanı sıra kırılma riski düşük olduğu için sıvı mamul üreticileri tarafından tercih edilmektedir.	Su şişeleri, sıvı yağ şişeleri vs.	Polar ceketler, fiber, taşıma çantaları, mobilya, halı, yeni sıvı şişeleri vs.
	YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN	Çok yönlü kullanım alanına sahip bir plastik türüdür. Geri kazanımı sonucunda bir çok farklı ürüne dönüşebilir.	Çöp ve alışveriş poşetleri, şampuan kutuları, motor yağı kutuları, margarin ve yoğurt kutuları	Drenaj borusu, piknik masaları, döşeme, yağ kutuları, deterjan kutuları
	PVC	Sert ve yalıtkan bir malzeme olduğu için borularda ve kaplama işlemlerinde kullanılmaktadır. İçerisinde barındırdığı klorin yüzünden geri kazanımı yapılsa yüksek miktarda toksin açığa çıkarır. Yakılmaması gerekmektedir.	Plastik borular, elektrik kabloları, pencere vs..	Plastik döşeme
	ALÇAK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN	Genellikle esnek olması gereken ürünlerde kullanım alanı bulmaktadır.	Sıkılabilir kutular, elbiseler, halılar, mobilya vs.	Plastik alışveriş çantaları, yer döşemeleri, plastik çöp kutuları
	POLİPROPİLEN	Yüksek erime sıcaklığı yüzünden sıcak ürünlerde kullanım alanı bulmaktadır. Geri kazanım oranı yüksek olup, geri dönüşüm şirketlerinin ilgisini çekmektedir.	Ketçap kutuları, ilaç kutuları, şişe kapakları	Sinyal lambaları, palet, kutu, fırça
	POLİSTİREN	Strafor olarak da bilinen köpük malzemelerin yapımında kullanılır. Geri kazanımı zor ve çevreye zararı büyüktür.	Atılabilir bardak, tabak, yumurta kutuları, cd kapları vs..	Yalıtım malzemesi, cetvel, köpük dolgu vs..
	DiĞER PLASTİKLER	Akrilik, ABS, fiberglas, naylon, polikarbonat, poliaktik asit tipindeki plastikler diğer olarak sınıflandırılmaktadır. Genellikle sert plastikler bu gruba dahildir.	Güneş gözlüğü, bilgisayar kasası, damacana, naylon poşetler vs.	Plastik döşemeler, diğer plastik ürünler

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan deneysel tezin amacı; % 40 kalsit katkılı polipropilen hammaddenin geri dönüşümlü olarak kullanımının incelenmesidir. Geri dönüşümsüz hammadde ile belirli oranlardaki geri dönüştürülmüş malzeme birleştirilmiş ve yapılan mekanik testlerle mekanik özellikleri incelenmiştir.

5.1. Numunelerin hazırlanması

Çekme, eğilme, izod çentik darbe test numuneleri sıcak yolluklu plastik enjeksiyon kalıplarında üretilmiştir. Test numuneleri için kullanılacak geri dönüştürülecek plastikler bir kere geri dönüştürülmüştür. Yapılan testlerin güvenilirliğini arttırmak için, % 40 kalsit katkılı hammadde, belirlenmiş herhangi bir kalıp ile basılmış ve daha sonra geri dönüşüme gönderilmiştir. Geri dönüşüme gönderilen parçalar kırma makinaları ile granül hale getirilmiştir. Granül boyutlarının geri dönüşümsüz malzemeleri ile aynı boyutlu olmasına dikkat edilmiştir. Granül hale getirilen plastikler otomatik karıştırma makinalarında hacimsel olarak belirli oranlarda karıştırılmıştır. Karışım işlemi sırasında homojen dağılımın sağlanması yapılan çalışmanın doğru sonuçlar vermesi için oldukça önemlidir. Bu nedenle BRM MİX 250 adlı otomatik karıştırıcı ile granül haldeki malzemeler karıştırılmıştır. Hazırlanan sekiz farklı tip numunelerin karışım oranları Çizelge 5.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Test numuneleri karışım oranları

Kalsit Katkılı Polipropilen Test Numuneleri		
Karışım No	Geri Dönüşüm Oranı (%hacimce)	Orijinal Malzeme Oranı (%hacimce)
1	0	100
2	5	95
3	10	90
4	15	85
5	25	75
6	50	50
7	75	25
8	100	0

Test çubukları, mekanik testler bölümünde belirtilen ilgili standartlara uygun şekilde hazırlanmıştır. Test çubukları Arçelik A.Ş. Ar-Ge laboratuvarlarında bulunana hazır kalıplar ile üretilmiştir. Bu nedenle testler için yeni kalıp yapılmamıştır. Hazırlanan karışımlar, belirlenen testlerin kalıplarında plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmişlerdir. Plastik enjeksiyon Haitan HTF 120 X plastik baskı makinası ile üretilmiştir.

Sekiz farklı karışım oranında üretilen parçaların, boyutlarının uygunluğunu kontrol edebilmek için çoklu ölçüsel kontrolleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerle ilgili resimler Resim 5.1'de verilmiştir.



Resim 5.1. Üretilen parçaların ölçüsel kontrollerinin gösterimi

Üretilen tüm test numuneleri eşit şartlarda test edilebilmesi için baskı sonrasında oda sıcaklığı olan 23 ± 2 °C 'de 1 hafta bekletilmiştir. Hazırlanan bu malzemelere ek olarak, baskı numuneleri 100 °C de etüv fırınında 168 saat bekletilerek test numuneleri hazırlanmıştır. Bu malzemeler belirtilen şartlarda yaşlandırılarak tekrar test edilmiştir. Yapılan bu testlerle malzemenin kullanım ömrü deneysel olarak incelenmeye çalışılmıştır.

5.2. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

Üretilen numuneleri karşılaştırmak amacıyla; çekme, eğilme ve izod çentik darbe deneyleri uygulanmıştır. Mekanik testlerin tamamı; ısı kontrollü

odalarda yapılmıştır. Böylece malzemenin kullanım ömrü de test edilmeye çalışılmıştır.

Üretilen numunelerin karşılaştırılmasının yapılabilmesi için mekanik testlerin en belirleyici olan testler seçilmiştir. İlk olarak malzemelerin elastiklik modülü, akma sınırı gibi birçok mekanik özelliklerinin incelenmesini sağlayan çekme testi yapılmıştır. Çekme testi basit, diğer testlere göre ucuz ve tüm deneysel çalışmalarda kullanılan standart bir test olduğu için tercih edilmiştir. Üretilen numuneler tek yolluk girişli olması nedeniyle orta kısmında soğuk birleşme oluşmamaktadır. Buna rağmen soğuk birleşim olan test çubuklarında yapılan kaynak çekme testleri de uygulanmıştır. Test sonuçları normal çekme test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Mekanik özellikler incelenirken seçilen bir diğer test ise izod çentik darbe testidir. Malzemenin gevrekliğini ve ani yüke maruz kaldığındaki mekanik özelliklerini inceleyebilmek için izod çentik darbe testi seçilmiştir. Üçüncü test metodu olarak eğme testi seçilmiştir. Eğme testleri malzemenin sünekliği ile ilgili bilgiler elde etmemize yardımcı olacaktır.

Yapılan literatür araştırmalarında plastik malzemeler yorulma testinin çok sık uygulanmadığı görülmüştür. Yorulma testleri dinamik yüklerin olduğu parçalar için geçerlidir. Yapmış olduğumuz çalışma da malzemenin geri dönüşümlü malzemelerin kullanımının dinamik yükler için riskli olabileceği düşünülmüş ve bu nedenle yorulma testi uygulanmamıştır. Yorulma gerilmesi gevrek kırılma olduğu için izod darbe testleri yorulma açısından öngörü elde etmemize yardımcı olacaktır.

5.2.1. Çekme testleri

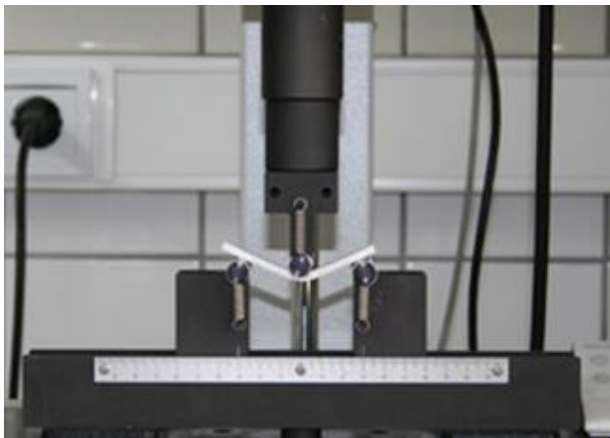
Çekme deneyleri ISO R/527 standartlarında belirtildiği gibi 50 mm/dk çekme hızında, 70 mm aralığında ekstensometre ile yapılmıştır. Testler sonucunda malzemenin akma dayanımı ve akma uzaması değerleri elde edilmiştir. Yapılan testin gösterimi Resim 5.2'de verilmiştir.



Resim 5.2. Çekme test düzeneği gösterimi

5.2.2. Üç nokta eğme testleri

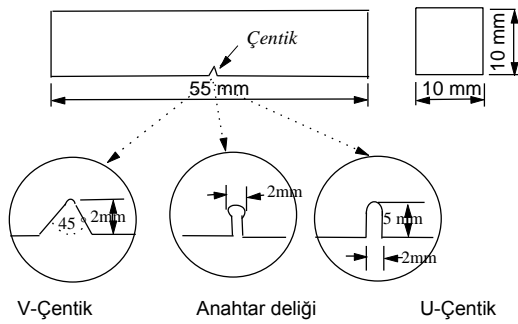
Üç nokta eğme testleri, Instron 4505 test cihazı ile 5 kN'luk yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde ISO 178 standartlarında belirtildiği gibi çene hızı 5 mm/dk. olarak belirlenmiştir [39]. Yapılan testin gösterimi Resim 5.3'de verilmiştir.



Resim 5.3. Üç nokta eğme test düzeneği gösterimi

5.2.3. İzod çentikli darbe testleri

İzod çentikli darbe testleri, Zwick darbe cihazı ile 2,75 kN'luk çekiç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde ISO 180 standartları referans alınmıştır [40]. Boyutları Şekil 5.1'te verilen test numunelerinden V çentik formu olan çubuklar kullanılmıştır.



Şekil 5.1. İzod çentik darbe test numuneleri

İlgili standartta belirtildiği gibi test numunesine 45° bıçak ile 2 mm'lik bir çentik açılmıştır. V çentikli form, literatürde en çok kullanılan form olması ve çentik etkisinin en çok olduğu tip olması nedeniyle seçilmiştir. Yapılan testin gösterimi Resim 5.4'de verilmiştir.



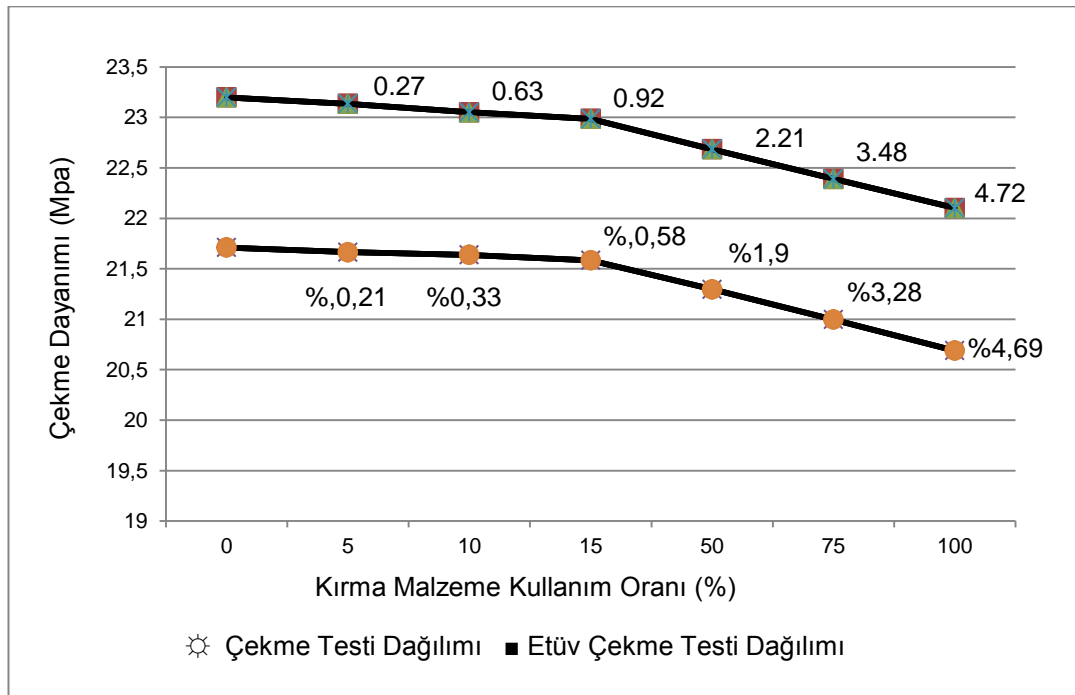
Resim 5.4. İzod çentik darbe test düzeneği şematik gösterimi

6. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

DeneySEL çalışma bölümünde belirtilen şartlar sağlanarak yapılan testler sonucunda elde edilen veriler grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir.

6.1. Çekme Testleri

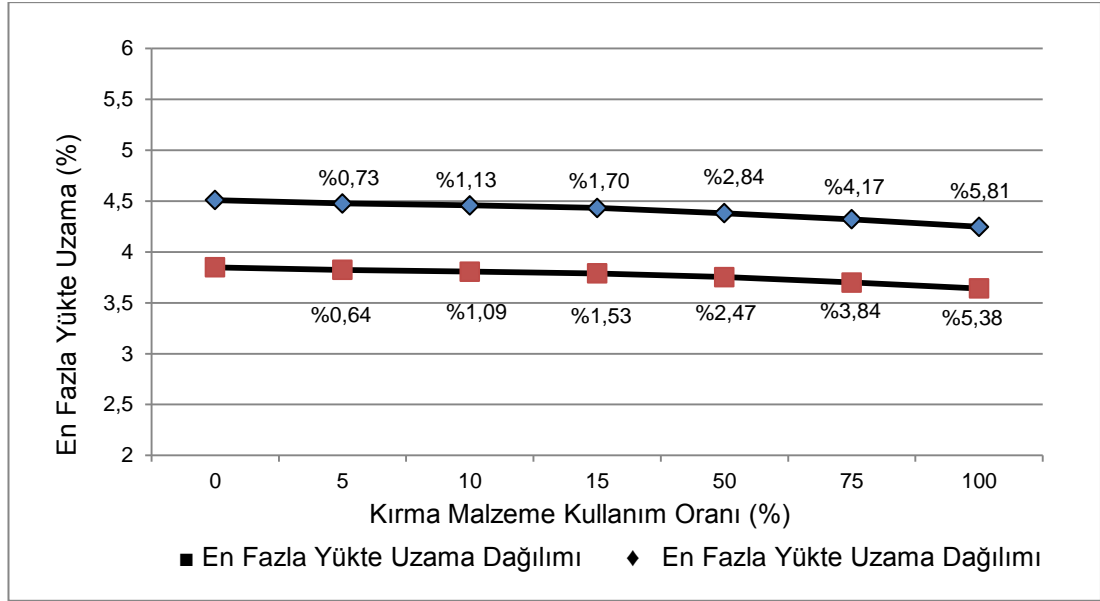
Çekme testleri sonucunda; % 100 orijinal hammadde ile % 100 geri dönüşüm oranlı hammadde arasındaki çekme dayanımı değerleri arasında % 4,69 oranında bir düşüş görülmüştür. Aynı oran yaşlandırılmış test numunelerinde % 4,72 olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelerin çekme testleri sonucunda oluşan grafiği Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Geri dönüşümlü malz. kullanımına göre çekme dayanımı değişimi

Çekme testleri sonucunda; % 100 orijinal hammadde ile % 100 geri dönüşüm oranlı hammadde arasındaki yükte uzama miktarında % 5,38 bir düşüş görülmüştür. Aynı oran yaşlandırılmış test numunelerinde % 5,81 olarak

tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelerin çekme testleri sonucunda en fazla yükte uzaması için oluşan grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.

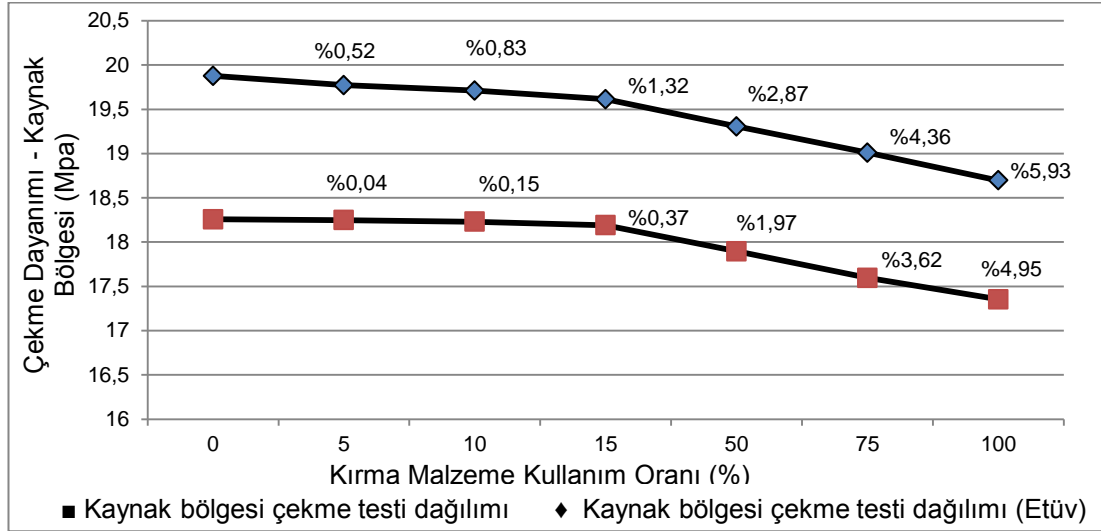


Şekil 6.2. Geri dönüşümlü malzeme kullanımına göre yükte uzama değişimi

Grafikler incelendiğinde % 15’den daha fazla geri dönüşümlü malzeme kullanımı olduğunda çekme dayanımında ve en fazla yükte uzama değerlerinde azalma göz ardı edilecek düzeydedir. % 50 oranından daha fazla geri dönüşümlü malzeme kullanımında ortaya çıkan değerler ise parçaların kullanım alanlarına göre önemli ya da önemsiz olarak değerlendirilebilir.

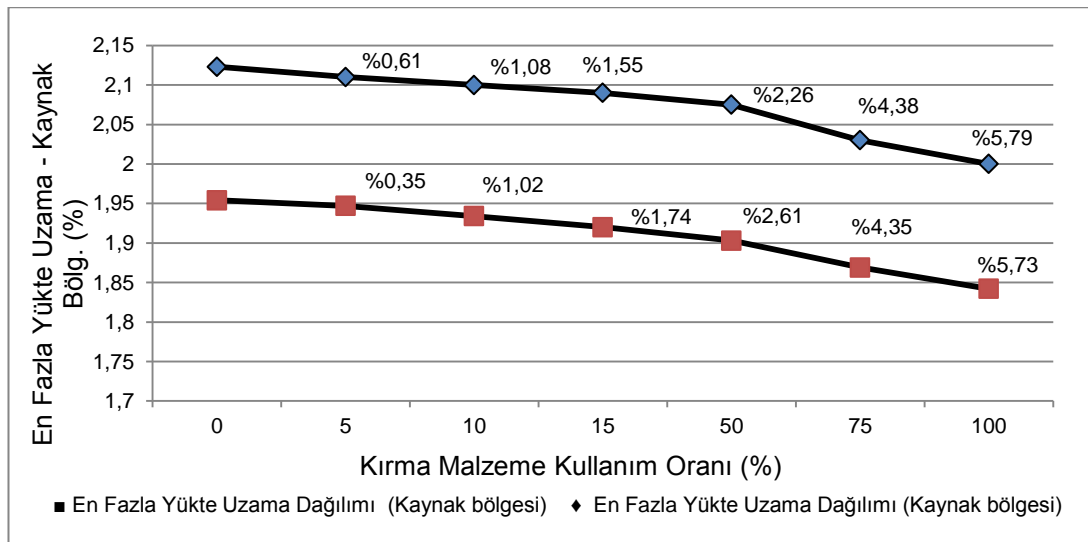
6.2. Kaynak Bölgesi Çekme Testleri

Kaynak bölgesi çekme testleri sonucunda; % 100 orijinal hammadde ile % 100 geri dönüşüm oranlı hammadde arasında çekme dayanımı değerleri arasında % 4,95 oranında bir düşüş görülmüştür. Aynı oran yaşlandırılmış test numunelerinde % 5,93 olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelerin kaynak bölgesi çekme testleri sonucunda oluşan grafiği Şekil 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.3. Kırma malzeme kullanımına göre kaynak bölgesi çekme dayanımı değişimi

Kaynak bölgesi çekme testleri sonucunda; % 100 orijinal hammadde ile % 100 kırma oranlı hammadde arasındaki en fazla yükte uzama miktarında % 5,73 bir düşüş görülmüştür. Aynı oran yaşlandırılmış test numunelerinde % 5,79 olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelerin çekme testleri sonucunda en fazla yükte uzaması için oluşan grafiği Şekil 6.4'de verilmiştir.

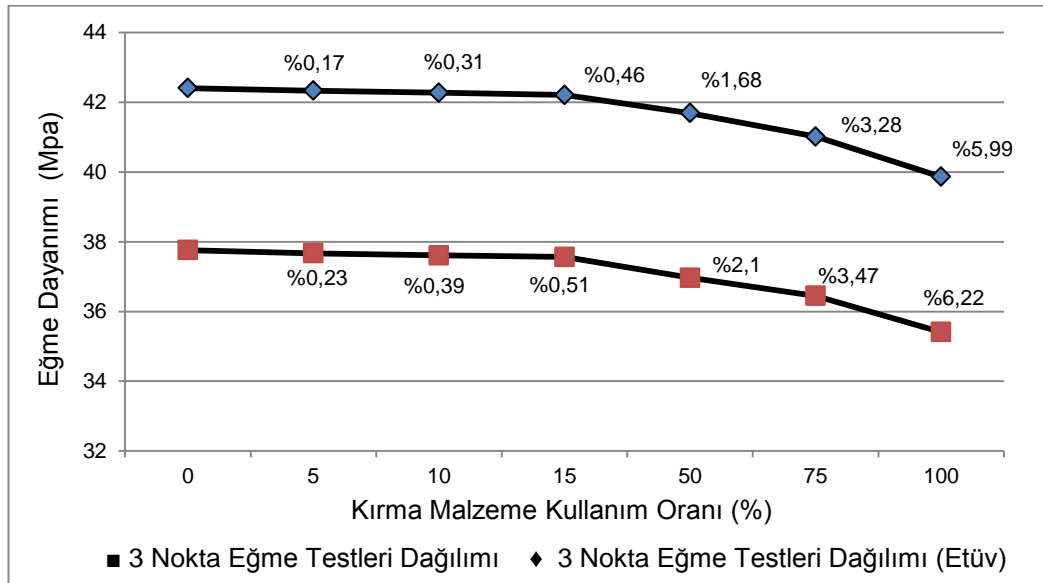


Şekil 6.4. Kırma malzeme kullanımına göre kaynak bölgesi çekme-yükte uzama değişimi

Grafikler incelendiğinde % 15'den daha fazla kırma malzeme kullanımı olduğunda çekme dayanımında ve en fazla yükte uzama değerlerinde azalma göz ardı edilecek düzeydedir. % 50 oranından daha fazla geri dönüşümlü malzeme kullanımında ortaya çıkan değerler ise parçaların kullanım alanlarına göre önemli ya da önemsiz olarak değerlendirilebilir.

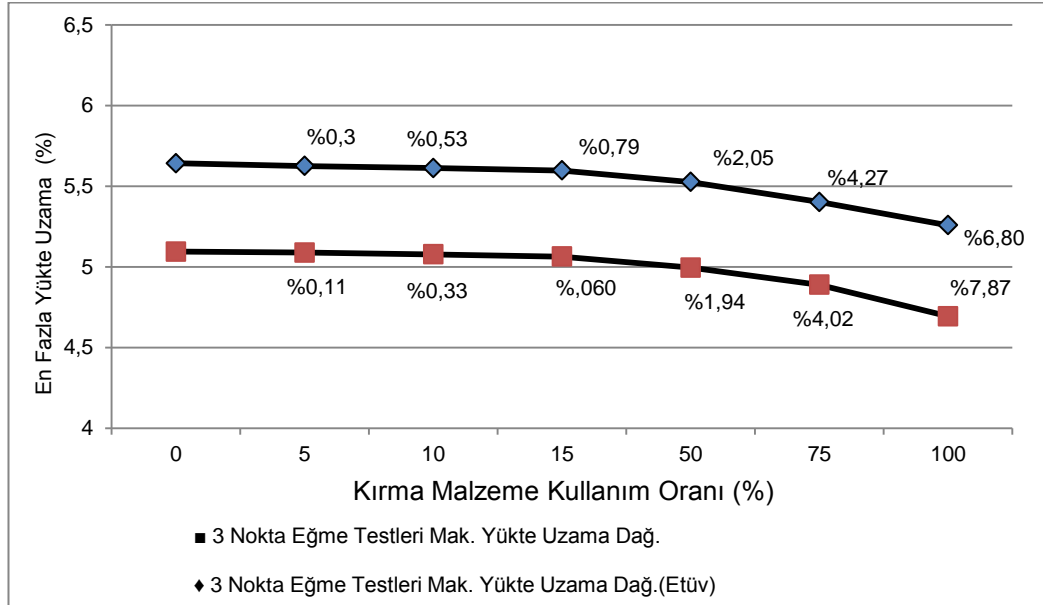
6.3. Üç Nokta Eğme Testleri

Üç nokta eğme testleri sonucunda; % 100 orijinal hammadde ile % 100 geri dönüşüm oranlı hammadde arasındaki eğme dayanımı değerleri arasında % 6,22 oranında bir düşüş görülmüştür. Aynı oran yaşlandırılmış test numunelerinde % 5,99 olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelerin üç nokta eğme testleri sonucunda oluşan grafiği Şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.5. Geri dönüşümlü malz. kullanımına göre eğme dayanımı değişimi

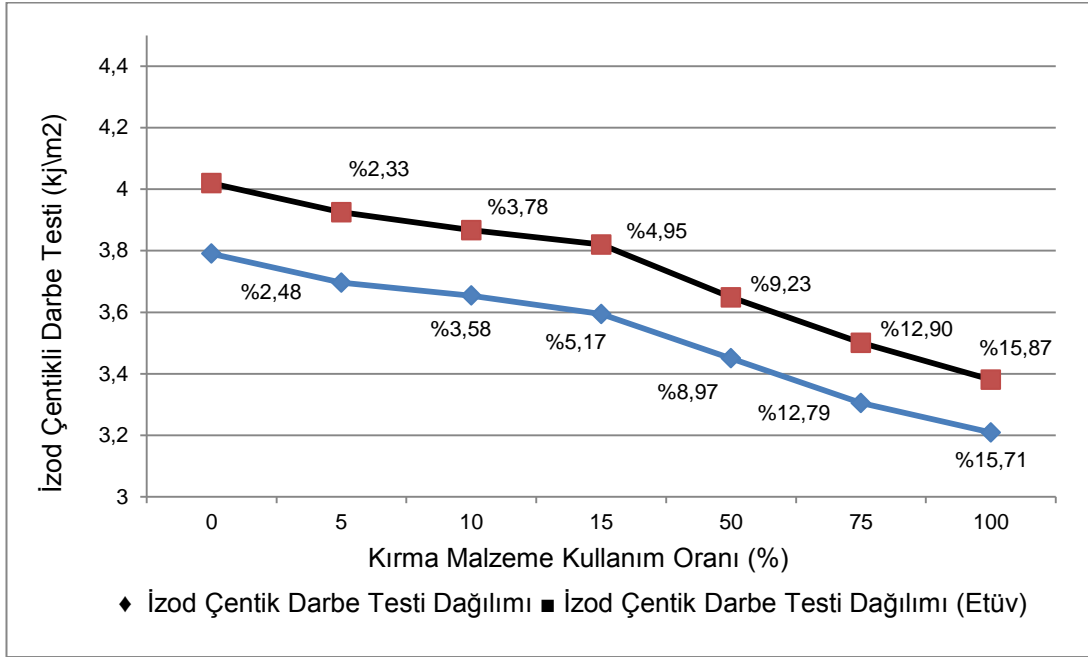
Üç nokta eğme testleri sonucunda; % 100 orijinal hammadde ile % 100 geri dönüşüm oranlı hammadde arasındaki yükte uzama miktarında % 6,8 bir düşüş görülmüştür. Aynı oran yaşlandırılmış test numunelerinde % 5,79 olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelerin üç nokta eğme testleri sonucunda oluşan grafiği Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Geri dönüşümlü malzeme kullanımına göre yükte uzama değişimi Grafikler incelendiğinde % 15'den daha fazla geri dönüşümlü malzeme kullanımı olduğunda üç nokta eğme değerlerinde azalma göz ardı edilecek düzeydedir. % 50 oranından daha fazla geri dönüşümlü malzeme kullanımında ortaya çıkan değerler ise parçaların kullanım alanlarına göre önemli ya da önemsiz olarak değerlendirilebilir.

6.4. İzod Çentikli Darbe Testleri

İzod çentik darbe testleri sonucunda; % 100 orijinal hammadde ile % 100 geri dönüşüm oranlı hammadde arasındaki izod çentik darbe değerleri arasında % 15,71 oranında bir düşüş görülmüştür. Aynı oran yaşlandırılmış test numunelerinde % 15,87 olarak tespit edilmiştir Hazırlanan numunelerin izod darbe testleri sonucunda oluşan grafiği Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Geri dönüşümlü malz. kullanımına göre izod çentik darbe değişimi

Grafikler incelendiğinde geri dönüşümlü malzeme kullanımı olduğunda izod çentik darbe dayanımında belirgin bir düşüş gözlemlenmektedir. % 15'e kadar olan geri dönüşümlü malzeme kullanımı parçanın kullanım alanlarına göre kabul edilebilecek boyuttadır. Ancak % 50'den daha fazla geri dönüşümlü malzeme kullanımı riskli olabilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; hammaddenin kabul testleri aşamasında % 100 katkısız hammadde, % 5, % 10, % 15, % 25, % 50, % 75 ve % 100 geri dönüşümlü malzeme kullanılması durumundaki mekanik özellikleri; normal çekme, kaynak bölgesi çekme, izoçentik darbe ve üç nokta eğme testleri yapılarak incelenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda öncelikle karışımın hazırlanmasının çok önemli olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan % 25 geri dönüşümlü malzeme kullanılmış test numunelerinin sonuçları bulgular kısmında belirtilmemiştir. Numuneler ile yapılan testlerde tekrarlanabilir sonuçlar elde edilemediği ve deneysel sonuçları etkilememesi için göz ardı edilmiştir. Sonuçların değişken olmasının nedeni olarak karışımın düzgün olarak hazırlanamaması fikrine varılmıştır. Bu nedenle karışım olarak kullanılan malzemelerin kendi içerisinde homojen olarak dağılımının sağlanması oldukça önemlidir. Geri dönüşümlü malzeme kullanımında malzemenin özel karıştırıcılarda hazırlanması gerekmektedir. Malzemeler bu şartlarda hazırlanmazsa yapılan deneylerde saçınıklıklar oluşacaktır. Saçınıklıklar üretilen parçalarda ise kalite hatalarına neden olabilecektir.

Elde edilen test sonuçlarına göre malzemenin mekanik özellikleri hakkında genel bir yargıya ulaşılabilmektedir. Malzemenin geri dönüşümlü malzeme olarak kullanımını test sonuçlarına göre değerlendirdiğimizde; malzeme çekme deneyleri sonucuna göre geri dönüşümlü malzeme kullanımına uygun bir yapıdadır. Testlerde ; % 100 geri dönüşümlü malzeme kullanımı durumunda, geri dönüşümsüz hammaddeye göre yaklaşık % 5 oranında dayanım düşüşü görülmüştür. Yine çekme test sonuçlarına göre en fazla yükte uzama miktarı da yaklaşık % 5 oranında düşüş göstermiştir. Malzemelerin kullanım koşulları sonrasında ki durumunu simule eden etüv testlerinde de normal testlere paralel sonuçlar elde edilmiştir. Çekme testleri

sonuçlarına göre malzemede özel bir şart istenmiyorsa çekme özellikleri açısından geri dönüşümlü malzeme kullanımı uygundur.

Malzemenin kalıp birleşim hattı orta noktasında olduğunda (çift yolluklu) kaynak bölgesi çekme testi uygulanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kalıpta bu durum olmamasına rağmen kaynak bölgesi çekme testleri de uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, kaynak bölgesi çekmenin normal çekme ile yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Kaynak bölgesi çekme testleri sonuçlarına göre malzemede özel bir şart istenmiyorsa çekme özellikleri açısından geri dönüşümlü malzeme kullanımı uygundur.

Malzeme üç nokta eğme deneyleri sonucuna göre geri dönüşümlü malzeme kullanımına uygun bir yapıdadır. Testlerde; % 100 geri dönüşümlü malzeme kullanımı durumunda orijinal hammaddeye göre; eğme dayanımında yaklaşık % 6 oranında düşüş görülmüştür. Yine üç nokta eğme test sonuçlarına göre en fazla yükte uzama miktarı da yaklaşık % 8 oranında düşüş göstermiştir. Malzemelerin kullanım koşulları sonrasında durumunu simule eden etüv testlerinde de normal testlere paralel sonuçlar elde edilmiştir. Üç nokta eğme testleri sonuçlarına göre malzemede özel bir şart istenmiyorsa eğilme özellikleri açısından geri dönüşümlü malzeme kullanımı uygundur.

Malzeme izod çentik darbe deneyleri sonucuna göre geri dönüşümlü malzeme kullanımına uygun olmadığı görülmüştür. Malzemenin %100 geri dönüşümlü malzeme kullanımı durumunda orijinal hammaddeye göre yaklaşık % 16 oranında dayanım düşüşü görülmüştür. Malzemelerin kullanım koşulları sonrasında durumunu simule eden etüv testlerinde de normal testlere paralel sonuçlar elde edilmiştir. İzod çentik darbe testleri sonuçlarına göre malzeme darbe özellikleri açısından geri dönüşümlü malzeme kullanımı uygun gözükmemektedir.

Yapılan testler sonucunda malzemenin geri dönüşümlü malzeme kullanımının parçanın kullanım alanına göre belirlenmesinin uygun olacağı

tespit edilmiştir. Malzeme çekme ve eğme özellikleri bakımından geri dönüşümlü kullanımına uygun olduğu tespit edilmiştir. Darbe dayanımında düşüşün fazla olması nedeniyle sürtünme ve darbeye maruz kalan yerlerde malzemenin geri dönüşümlü olarak kullanılması risk oluşturacaktır. Bu nedenle parçanın tasarım aşamasında belirlenen kriterlere uygunluğu kontrol edilmelidir. İstenen dayanımın değerlerinin yakalandığı durumlarda parçanın kullanımı mümkün olabilir. Değerlerin sağlanması durumunda bile parçanın karışım malzeme olması nedeniyle, kullanımı risk içermektedir. Bu nedenle malzemenin kullanılmasının zorunlu olduğu bir durumda kullanım yerine göre ömür testlerinin yapılması ve çoklu kontrol edilmesi gerekmektedir.

Hammadde tedarikçilerinden alınan 2013 yılı verilere göre geri dönüşümlü hammadde ile geri dönüşümsüz hammaddenin birim fiyatları arasında % 30 oranında maliyet farkı olduğu belirlenmiştir. Yaptığımız testler sonucunda elde ettiğimiz %15 güvenilir karışım oranında kullanılması durumunda % 5 maliyet avantajı bulunmaktadır. Bu değerlere göre; yıllık üretiminde tonlarca kullanılacak malzemenin geri dönüşüm yolu ile kullanılması durumunda ciddi maliyet kazançlarının da sağlanabileceği tespit edilmiştir.

PP ve türevi malzemelerin, toplam plastik kullanımının yaklaşık % 20'sini oluşturduğu günümüzde bu malzemelerin geri dönüşümü oldukça önemlidir. PP türevleri içeride çok sık kullanılan talk katkılı PP malzemelere alternatif olabilecek bu malzeme maliyet avantajlarını da göz önüne aldığımızda oldukça yaygınlaşacaktır. Bu nedenle malzemenin geri dönüştürülerek kullanılması çevre açısından büyük avantaj sağlamıştır. Malzeme içindeki kalsitin dayanıma olumlu etkisi göz önüne alındığında malzemenin birden fazla geri dönüştürülerek kullanımı araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Eurotec "Enjeksiyonda Kırma Malzeme Kullanımı", http://www.eurotec-ep.com/s/1404/i/Eurotec_Literatür_Kırma-2007-08.pdf, (2002)
2. C.Meran, "Examination of the possibility of recycling and utilizing recycled polyethylene and polypropylene", **Materials & Design** 701-705, (2008)
3. N.Rust, "A degradation study of isostatic virgin and recycled polypropylene used in lead acid battery casings", **Polymer Testing**, 130-139, (2005)
4. S.Telli, "PP Malzemelerin Geri Dönüşümlerinde Elde Edilen Ürünlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans, **Gebze Yüksek Teknolojisi Enstitüsü**, Gebze, (2008)
5. İsmail, "Comparison of Properties of Polypropylene (PP)/Virgin Acrylonitrile Butadiene Rubber (NBRv) and Polypropylene (PP)/Recycled Acrylonitrile Butadiene Rubber (NBRr) Blends", **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 440-445, (2009)
6. Shelesh-Nezhad, "Crystallization, shrinkage and mechanical characteristics of polypropylene/CaCO₃ nanocomposites", **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, (2012)
7. Branchet, "Modification of mechanical properties of recycled polypropylene from post-consumer containers", **Waste Management**, 2456-2464, (2008)
8. L.Zhang, "Toughness Mechanism in Polypropylene Composites : Polypropylene Toughened with Elastomer and Calcium Carbonate", **Polymer Physics**, China, 1656-1662 (2004)
9. Elloumi, "Thermomechanical Properties of Virgin and Recycled Polypropylene Impact Copolymer/CaCO₃ Nanocomposites", **Polymer Engineering & Science**, 1904-1913, (2010)
10. M.ALTAN, "Yapay Sinir Ağı Yöntemi ile Plastik Enjeksiyonda İmal Edilmiş Geri Dönüşümlü HDPE Parçaların Elastiklik Modülünün Tahmini ", **Mühendis ve Makina**, 17-22, (2008)
11. Savaşçı, "Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi", (2008)
12. S.Kıralp, "Plastikler", **ODTU Yayıncılık**, Ankara, (2007)

13. İnternet: "Rüstem Polat ders notları", (2012) Pagev, 2011, Plastik Ambalaj Sektörü 2011 Yılı Beklentileri, **Pagev Plastik Dergisi**, 115, 38 (2011)
14. A.BATUR, "Plastiklere Uygulanan Mekanik Deneyler ve İlgili Standartlar", Yüksek Lisans, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2009)
15. M.Akkurt, "Plastik Malzeme Bilgisi", **Birsen Yayınevi**, İstanbul, (1991)
16. Malloy, "Plastic part design for injection molding", **Hanser**, New York, (1994)
17. Baker, "Reactive Polymer Blending", **Hanser**, Munich,(2006)
18. E.Kaluç, "Plastik teknolojisi ders notları", (1996)
19. İnternet, Wikipedia, "Polietilen", <http://tr.wikipedia.org/wiki/Polietilen>, (2012)
20. İnternet, Wikipedia, "Polipropilen", <http://tr.wikipedia.org/wiki/Polipropilen>, (2013)
21. İnternet, Wikipedia, "Polistiren", <http://tr.wikipedia.org/wiki/Polistiren>, (2013)
22. İnternet, Wikipedia, "Polivinil klorür", http://tr.wikipedia.org/wiki/Polivinil_klorür, (2012)
23. İnternet, Wikipedia, "Polimetil metakrilat", <http://tr.wikipedia.org/wiki/Polikarbonat>, (2012)
24. İnternet, Wikipedia, "Polietilen tereftalat", http://tr.wikipedia.org/wiki/Polietilen_tereftalat, (2013)
25. İnternet, Wikipedia, "Polikarbonat", <http://tr.wikipedia.org/wiki/Polikarbonat>, (2013)
26. İnternet, Wikipedia, "Poliamit", <http://tr.wikipedia.org/wiki/Poliamit>, (2013)
27. İnternet, Wikipedia, "Politetrafloroetilen ", <http://tr.wikipedia.org/wiki/Politetrafloroetilen>, (2013)
28. Pagev, "Katkı Maddelerinin Özellikleri", **Pagev Yayınevi**, İstanbul, (2006)

29. İnternet, Wikipedia, "Kalsit", <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kalsit>, (2013)
30. İnternet: "Madencilik Bülteni", http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/2d0e1beec7c6f76_ek.pdf, (2008)
31. İnternet, Hürplastik, "Plastiklerde Geri Dönüşüm", http://www.hurplastik.com/tr/?page_id=24, (2008)
32. Erünsal, "Atık Plastik Malzemelerin Yüksek Fırınlara Enjeksiyonu", **Erdemir Test, Kalite ve Teknoloji Baş Md. Araştırma ve Geliştirme Md.**, (2002)
33. Tucker, "Chemical Recycling of Plastics Waste", **TNO Institute of Strategy Technology and Policy**, (1999)
34. Tan, "Combustion characteristics of coal in a mixture of oxygen and recycled flue gas", **Fuel**, 507-512, (2006)
35. A.Ezdeşir, "Polimerler 1", **Pagev Yayınları**, İstanbul, 257, (2006)
36. Megep, "Geri dönüşüm makinelerinde üretim", **M.E.B. Yayınevi**, Ankara, (2006)
37. İnternet, Wikipedia, "Geri Dönüşüm", http://tr.wikipedia.org/wiki/Geri_dönüşüm, (2013)
38. İnternet: "Plastikler, Eğilme özelliklerinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, (TS 985 EN ISO 178)", (2006)
39. İnternet: Türk Standartları Enstitüsü "Plastikler – Izod darbe dayanımının tayini", TS EN ISO 180, (2006)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ASLAN, Ercüment
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 13.03.1981 İzmir
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 211 11 07
e-mail : erc_aslan@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	G.Ü.T.E.F. Mak. Res.ve Konst. Öğr.	2005
Lise	Çınarlı Endüstri Meslek Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2012	Arçelik A.Ş.	Arge Teknisyeni
2005-2008	MDK Makine	Teknik Ressam

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, kitap okumak, sinema