

**T.C**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİETİLENİN**  
**VE POLİPROPİLENİN TEKRAR**  
**KULLANILABİLİRLİĞİNİN**  
**ÇEKME DENEYLERİ İLE İRDELENMESİ**

**Orkun ÖZTÜRK**

**Yüksek Lisans Tezi**

**DENİZLİ - 2005**

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİETİLENİN  
VE POLİPROPİLENİN TEKRAR  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ÇEKME DENEYLERİ İLE İRDELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarafından Kabul Edilen  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

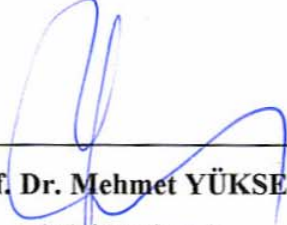
**Orkun ÖZTÜRK**


**Danışman : Prof. Dr. Mehmet YÜKSEL  
Tez Savunma Tarihi : 09/09/2005**


**DENİZLİ 2005**

## TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Mehmet YÜKSEL  
(Jüri Başkanı)

  
Prof. Dr. Güngör ÜLKÜ  
(Jüri Üyesi)

  
Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ  
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Ali. SARIGÖL  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

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

Orkun ÖZTÜRK

## TEŞEKKÜR

Yapılan bu proje içerisindeki tüm çalışmalar ve uygulamalar sanayi ile işbirliği içerisinde yürütülmüştür. Çalışmayı birlikte yürüttüğüm ve projenin başından sonuna kadar desteğini gördüğüm sayın hocam Prof. Dr. Mehmet YÜKSEL` e, bana her türlü konuda yardımcı olan, hiçbir bilgisini ve imkânını esirgemeyen DEBAK A.Ş. yönetim kurulu başkanı ve sahibi Mak. Yük. Müh. Faruk İNCEOĞLU` na, ve DENYA PLASTİK yönetim kurulu başkanı ve sahibi Günay TOKER` e, tüm DEBAK A.Ş.ve DENYA PLASTİK çalışanlarına ayrıca deneysel çalışmalarında bana yardımcı olan ve uygulama imkanı veren ERBAKIR firmasına teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca ve hayatımın her safhasında desteklerinin sonsuz gücünü hissettiğim aileme özel bir teşekkür sunmayı görev bilirim.

**Orkun ÖZTÜRK**

## ÖZET

Plastik malzemelerin kullanım miktarları ve kullanım alanları avantajlarının çok fazla olmasından dolayı her geçen gün artmaktadır. Gelişen teknolojiye paralel olarak artan plastik tüketiminin önüne geçilmesi mümkün olamayacağından plastikler ve çevre açısından yapılabileceklerin en mantıklısı onları geri kazanmanın ve değerlendirmenin yollarını aramaktır. Ayrıca petrokimya sektörüne bağlı olan ve her geçen gün kullanımları artan plastiklerin, geri dönüştürülüp kullanılması ülke ekonomisi içinde oldukça önemlidir.

Geri dönüşüm ile üretilmiş bir malzemedен orijinal malzemenin mekanik değerlerini beklemek olanaksızdır. Fakat bir optimum nokta bulmak mümkündür. Bu optimum noktalar deneylerle belirlenebilir.

Bu çalışmada dünya plastik üretiminin % 45'lik bölümünü oluşturan polietilen (AYPE, HDPE) ve polipropilen (PP) hurdalarının geri dönüştürülebilirliği ve geri dönüşümünün kullanılabilirliği çekme dayanımlarındaki değişim göz önünde bulundurularak araştırılacaktır. İlk olarak hurda plastik malzemeler içerisinde polietileni (AYPE, HDPE) ve polipropileni (PP), ayırt etmek için yapılacak deneylerden ve basit uygulamalardan bahsedilecektir. Ayırma işleminden sonra hurda plastik malzemeler, geri dönüştürülerek, saf malzeme içerisine çeşitli oranlarda katılıp belirli oranlarda geri dönüştürülmüş malzeme içeren karışımlar elde edilecektir. Oluşturulan bu karışımlarla enjeksiyon yöntemiyle çekme deneyi numuneleri elde edilecektir. Son olarak da çekme deneyi numuneleri çekme deneyine tabi tutularak çekme dayanımındaki değişimler gözlenecektir. Bu değişim oranlarına bağlıda malzemelerin kullanılabilirlik sınırları belirlenecektir.

Ayrıca tipik birer termoplast olan polietilenin (AYPE, HDPE) ve polipropilenin (PP) geri dönüşümlerinin kullanılabilirliğinin, termoset bir malzeme olan fenolformaldehitin (PF, Bakalit) geri dönüşümünün kullanılabilirliği ile karşılaştırılması yapılacaktır.

**Orkun ÖZTÜRK**

## ABSTRACT

Due to the advantages of using plastic materials their utilization fields and quantities are increasing rapidly as in last decade. Since it is impossible to avoid plastic consumption which has a parallel connection with developing technology we have to search realistic solutions i.e. recycle methods and find out the ways of evaluation for recycled materials. Also recycle refuse of plastic materials, that are related to petrochemical industry and utilization of plastics have been increasing day by day, are essential point for a national economy.

It is known that the actual mechanical value of original material is different than the recycled material. However, it is possible to find out an optimum point which can be determined by some experiments.

In this project possibility of recycling and employability for recycled refuse of polyethylene ( LDPE, HDPE ) and polypropylene ( PP ), which contain 45 % of the plastic production in the world, will be searched as take in consideration of tensile strength exchange ratio. First of all the experiments and simple methods to separate of polyethylene and polypropylene from refuse materials will be discussed. After separation, refuse plastic materials will be recycled and then that recycled materials will be added into the pure materials as determined ratios to get compound recycled samples. With the help of that materials the samples of the tensile strength experiment will be derivated by method of injection. Finally, that samples will be used at the experimentation of tensile strength to observe variations of tensile strength. Depend on that variations employability limits of the materials will be determined.

Futhermore, employability of recycled poliethilen and polypropiles which are typical termoplastics, will be compared with Phenolformaldehyt ( PF, Bakalit ) which is termoset.

**Orkun ÖZTÜRK**

## İÇİNDEKİLER

Teşekkür	i
Özet	ii
Abstract	iii
İçindekiler	iv
Şekiller Dizini	vii
Çizelgeler Dizini	ix
Simgeler Dizini	xi

### BİRİNCİ BÖLÜM

## PLASTİK MALZEMELERE GİRİŞ

1. PLASTİK MALZEMELERE GİRİŞ	1
1.1. Plastikler	1
1.2. Tanımlar	2
1.3. Yaygın Kullanılan Plastik Sembolleri	3
1.4. Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması	5
1.5. Plastik Malzemelerin Genel Özellikleri	6
1.6. Plastiklere Katılan Dolgu Malzemeleri	8
1.7. Plastik Malzeme Türlerinin Belirlenmesi	9
1.7.1. Termoplast / Termoset Ayrımı	9
1.7.2. Termoplastik Malzemelerin Belirlenmesi	9
1.7.3. Plastik Türü Anlaşıldıktan Sonra Emin Olmak İçin Yapılabilecek Deneyler	12

### İKİNCİ BÖLÜM

## PLASTİKLERE UYGULANAN ÇEKME DENEYİ

2. PLASTİKLERE UYGULANAN ÇEKME DENEYİ	14
---------------------------------------	----



2.1. Plastiklere Uygulanan Belli Başlı Deneyler ve Etki Eden Faktörler	14
2.2. Çekme Deneyi	17
2.2.1. Çekme Deneyi Cihazı	26
2.2.2. Plastiklerin Gerilme Eğrileri	29
2.2.2.1. Sert kırılğan	29
2.2.2.2. Sert dayanıklı	30
2.2.2.3. Yumuşak dayanıklı	31
2.2.2.4. Yumuşak zayıf	31

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### PLASTİKLER VE ÇEVRE

3. PLASTİKLER VE ÇEVRE	34
3.1. Dünyada ve Türkiye’de Plastikler	34
3.2. Plastikler ve Çevre	38
3.3. Katı Atıklardan Plastiklerin Geri Kazanılması	39

## DÖRÜNCÜ BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMA

4. DENEYSEL ÇALIŞMA	47
4.1. Deneysel Çalışmanın Amacı	47
4.2. Deney Malzemeleri ve Teknik Özellikleri	47
4.3. Polietilen ve Polipropilenin Geri Dönüşümü	51
4.4. Karışımların Hazırlanması	53
4.5. Test Çubuklarının Basılması	54
4.6. Çekme Deneyleri	56
4.6.1. Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE) ile Yapılan Çekme Deneyi	57
4.6.1.1. Karışimsız AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	57

4.6.1.2. %20 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	58
4.6.1.3. %40 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	58
4.6.1.4. %60 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	59
4.6.1.5. %80 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	59
4.6.1.6. %100 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	60
4.6.2. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ile Yapılan Çekme Deneyi	60
4.6.2.1. Karışimsız YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	60
4.6.2.2. %20 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	61
4.6.2.3. %40 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	61
4.6.2.4. %60 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	62
4.6.2.5. %80 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	62
4.6.2.6. %100 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	63
4.6.3. Polipropilen (PP) ile Yapılan Çekme Deneyi	63
4.6.3.1. Karışimsız PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	63
4.6.3.2. %20 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	64
4.6.3.3. %40 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	64
4.6.3.4. %60 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	65
4.6.3.5. %80 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	65
4.6.3.6. %100 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları	66

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### SONUÇLAR

5. SONUÇLAR	67
5.1. Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	67
Kaynaklar	74
Özgeçmiş	76

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Vizkoz ve Elastik Deformasyon	19
Şekil 2.2. Standart Çekme deneyi Numunesi (TS 1368-1 EN ISO 527)	20
Şekil 2.3. Termoplastik Malzemelerin Çekme Diyagramları	21
Şekil 2.4. Termoset Malzemelerin Çekme Diyagramları	22
Şekil 2.5. Termoset Mazemelere Sıcaklığın Etkisi	22
Şekil 2.6. Termoplastik Malzemelere Sıcaklığın Etkisi	23
Şekil 2.7. Çekme (Gerilme) Deneylerinden Elde Edilen Yük / Uzama Eğrileri	25
Şekil 2.8. Çekme Deneyi Numunesinin Deney Cihazına Bağlanış Şekli	27
Şekil 2.9. Çekme Deneyi Sonrası Numune ve Uzama Ölçer	28
Şekil 2.10. Sert Kırılgan Malzemelerin Gerilme Eğrileri	29
Şekil 2.11. Sert Dayanıklı Malzemelerin Gerilme Eğrileri	30
Şekil 2.12. Yumuşak Dayanıklı Malzemelerin Gerilme Eğrileri	30
Şekil 2.13. Yumuşak Zayıf Malzemelerin Gerilme Eğrileri	31
Şekil 2.14. Termoplastların Çekme Deneyi Davranışları	32
Şekil 3.1. Bazı Plastiklerin Toplam Dünya Üretimindeki Payları	34
Şekil 3.2. Çeşitli Ülkelerin 2004 Yılı Kişi Başına Plastik Tüketimleri	36
Şekil 3.3. Türkiye’de Yıllara Göre Kişi Başına Plastik Tüketimleri	37
Şekil 3.4. Plastiklerin Yarattığı Çevre Kirliliği	38
Şekil 3.5. Katı Atıklar İçerisinde Plastikler	40
Şekil 3.6. Geri Dönüşüm Değerlendirmesi	41
Şekil 3.7. Plastiğin Tekrar İşlenip Pellet Haline Getirilmesi	44
Şekil 3.8. Tekrar İşlenen Plastiğin Yarı Mamül Haline Getirilmesi	44
Şekil 3.9. Katı Atıkların İstiflenmesi	46
Şekil 4.1. Valsli Kırma Makinesi	52
Şekil 4.2. Kırma Valsleri	52
Şekil 4.3. Kırılmış Malzemenin Elendiği Elekler	54
Şekil 4.4. Test Çubuklarının Basıldığı Kalıp	55
Şekil 4.5. Test Çubuklarının Basıldığı Enjeksiyon Makinesi	55
Şekil 4.6. Basılan Test Çubukları	56

<b>Şekil 5.1.</b> Alçak Yoğunluklu Polietilenin Çekme Dayanımındaki Değişim	67
<b>Şekil 5.2.</b> Alçak Yoğunluklu Polietilenin Kopma Uzamasındaki Değişim	68
<b>Şekil 5.3.</b> Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Çekme Dayanımındaki Değişim	69
<b>Şekil 5.4.</b> Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Kopma Uzamasındaki Değişim	69
<b>Şekil 5.5.</b> Polipropilenin Çekme Dayanımındaki Değişim	70
<b>Şekil 5.6.</b> Polipropilenin Kopma Uzamasındaki Değişim	70
<b>Şekil 5.7.</b> Çekme Deneyi Uygulanan Malzemelerin Çekme Dayanımları	71
<b>Şekil 5.8.</b> Çekme Deneyi Uygulanan Malzemelerin Kopma Uzamaları	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 1.1.</b> Plastiklerin Genel Özelliklerinin Diğer Malzemeler İle Karşılaştırılması	7
<b>Çizelge 1.2.</b> Plastiklerin Mekanik Özelliklerinin Diğer Malzemeler İle Karşılaştırılması	7
<b>Çizelge 1.3.</b> 1 km Uzunluğundaki Metal ve Plastik Boruda Oluşan Hasar sayısı	8
<b>Çizelge 1.4.</b> Bazı Termoplastik Malzemelerin Malzeme Tespit Deneyleri Sonuçları	11
<b>Çizelge 2.1.</b> Plastiklere Uygulanan Belli Başlı Deneyler ve Etki Eden Faktörler	15
<b>Çizelge 2.2.</b> Bazı Malzemelerin Elastik Modülleri	26
<b>Çizelge 2.3.</b> Çekme Deney Cihazı İçin Tavsiye Edilen Deney Hızları	26
<b>Çizelge 2.4.</b> Gerilme Eğrileri Sonucu Ortaya Çıkan Sonuçlar	31
<b>Çizelge 3.1.</b> Yaygın Kullanılan Plastiklerin Yıllık Tüketim Artış Hızları	35
<b>Çizelge 3.2.</b> Plastiklerin Kullanım Alanları	35
<b>Çizelge 3.3.</b> Bazı Ülkelerin 2004 Yılı Kişi Başına Plastik Tüketimleri	35
<b>Çizelge 3.4.</b> Türkiye’de Yıllara Göre Kişi Başına Plastik Tüketimleri	37
<b>Çizelge 3.5.</b> Türkiye’de Plastiklerin Kullanım Alanları	37
<b>Çizelge 3.6.</b> Plastiklerin Geri Dönüşüm Numaraları ve Kullanım Alanları	42
<b>Çizelge 3.7.</b> Bir Ton PE ve PP Geri Kazanımının Ekonomisi	45
<b>Çizelge 3.8.</b> 2004 Yılı Verileriyle Dünyada Plastiklerin Geri Kazanılma Oranları	46
<b>Çizelge 4.1.</b> Alçak Yoğunluklu Polietilenin Teknik Özellikleri	48
<b>Çizelge 4.2.</b> Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Teknik Özellikleri	49
<b>Çizelge 4.3.</b> Polipropilenin Teknik Özellikleri	50
<b>Çizelge 4.4.</b> Kırılan Malzemelerin Eleklerden Geçen Miktarları	53
<b>Çizelge 4.5.</b> Çekme Deneyi Yapılacak Karışım Oranları	56
<b>Çizelge 4.6.</b> Karışimsız AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	57
<b>Çizelge 4.7.</b> %20 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	58
<b>Çizelge 4.8.</b> %40 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	58
<b>Çizelge 4.9.</b> %60 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	59
<b>Çizelge 4.10.</b> %80 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	59
<b>Çizelge 4.11.</b> %100 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	60
<b>Çizelge 4.12.</b> Karışimsız YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	60
<b>Çizelge 4.13.</b> %20 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	61

<b>Çizelge 4.14.</b> %40 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	61
<b>Çizelge 4.15.</b> %60 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	62
<b>Çizelge 4.16.</b> %80 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	62
<b>Çizelge 4.17.</b> %100 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	63
<b>Çizelge 4.18.</b> Karışimsız PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	63
<b>Çizelge 4.19.</b> %20 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	64
<b>Çizelge 4.20.</b> %40 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	64
<b>Çizelge 4.21.</b> %60 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	65
<b>Çizelge 4.22.</b> %80 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	65
<b>Çizelge 4.23.</b> %100 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları	66
<b>Çizelge 5.1.</b> Alçak Yoğunluklu Polietilenin Çekme Deneyi Sonuçları	67
<b>Çizelge 5.2.</b> Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Çekme Deneyi Sonuçları	68
<b>Çizelge 5.3.</b> Polipropilenin Çekme Deneyi Sonuçları	70
<b>Çizelge 5.4.</b> Termosetlerin (PF, Fenolformaldehit) Çekme Deneyi Sonuçları	72

## SİMGELER DİZİNİ

<b>L</b>	Deney parçası uzunluğu (mm)
<b>L<sub>0</sub></b>	Ölçme uzunluğu (mm)
<b>ΔL<sub>0</sub></b>	Ölçme uzunluğundaki artış (mm)
<b>V</b>	Deney hızı (mm/min)
<b>E</b>	Elastiklik modülü (N/mm <sup>2</sup> )
<b>σ</b>	Çekme gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
<b>σ<sub>y</sub></b>	Akma anında çekme gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
<b>σ<sub>B</sub></b>	Kopma anında çekme gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
<b>σ<sub>M</sub></b>	Çekme mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )
<b>σ<sub>x</sub></b>	% x uzamada çekme gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
<b>ε</b>	Çekme uzaması (%)
<b>ε<sub>y</sub></b>	Akma anında çekme uzaması (%)
<b>ε<sub>B</sub></b>	Kopma anında çekme uzaması (%)
<b>ε<sub>M</sub></b>	Çekme mukavemetinde çekme uzaması (%)
<b>ε<sub>tB</sub></b>	Kopma anında anma çekme uzaması (%)
<b>ε<sub>m</sub></b>	Çekme mukavemetinde anma çekme uzaması (%)
<b>ε<sub>n</sub></b>	İncelme (%)
<b>μ</b>	Poisson oranı (Boyutsuz)

# BİRİNCİ BÖLÜM

## PLASTİK MALZEMELERE GİRİŞ

### 1. PLASTİK MALZEMELERE GİRİŞ

#### 1.1. Plastikler

İstatistikler, plastiklerin tüketimindeki hızlı artışı çok net bir şekilde ortaya koymaktadır. 1930 yılında; kauçuk ve lifler hariç tutulduğunda, dünya plastik üretimi 100.000 ton idi. 1976 yılında bu miktar 25 milyon tona ulaştı. Teknolojideki ilerlemeyle birlikte plastik üretimi 1990 yılında 90 milyon tona ulaştı. 2004 yılında ise bu rakamın 450 milyon tonu aştığı düşünülmektedir.

1990-2004 yılları arasındaki tüketim değerleri incelenecek olursa yıllık metal tüketim miktarının ancak her dokuz senede bir iki katına çıkabildiği, buna karşılık plastik tüketiminin her dört yılda bir ikiye katlandığı görülür.

Plastik kullanımı ülkemizde diğer gelişmiş ülkelere nazaran daha azdır. Bunun nedeni ise plastik üretiminin yüksek yatırım harcamalarının gerektiği petrol endüstrisine muhtaç olmasıdır.

Günümüzden 10.000 yıl önce, insanlar taş devrinden maden devrine geçmişlerdi ve 10.000 yıl boyunca da madenlerin yerini başka malzemeler alamadı. Ancak 20. yüzyılda devreye giren plastikler, metallerin bu saltanatına son verdi. Ayrıca 10.000 yıldır iç içe olduğu maddelerle ilgili yapabilecek her uygulamayı yapan, tüm olası alışmaları deneyen insanoğlu, madenlerle ilgili yeni buluş ihtimalini çok aza indirmiştir. Plastiklere bakıldığında insanoğlu için çok yeni ve alabildiğine geniş bir kaynak olan plastik alanında bulunacak birçok yeni ürün sırada beklemektedir. Plastik sektöründe baş döndürücü bir gelişme yaşanmakta ve her yıl yeni plastik türleri kullanıma sunulmaktadır. Her yeni plastik türü ile metaller, kullanım alanlarından bir bölümünü daha kaybetmektedirler.



Yaşadığımız dünya üzerinde, gelişen teknolojiye paralel olarak artan plastik üretiminin önüne geçilmesi elbette mümkün değildir. Bu nedenle plastikler ve çevre açısından yapılabileceklerin en mantıklısı, onları tekrar geri kazanmanın ve değerlendirmenin yollarını aramaktır.

Plastik malzemeler çok yönlü, uzun ömürlü, maliyet performansı yüksek, güvenli ve hafiftirler. Bu nedenle birçok sektördeki üreticiler bu malzemelere yönelmişlerdir. Ancak ne var ki bu avantajlarla çevre koruması arasında iyi bir denge kurmak gerekir.

## 1.2. Tanımlar

**Plastikler**, esasını makromoleküllü organik maddelerin oluşturduğu yapay veya doğal maddelerin kimyasal yoldan dönüştürülmesiyle elde edilmiş malzemelerdir. **Organik madde**, anorganik kimyanın dışında kalan ve esasını karbon teşkil eden, canlı varlıklarda bulunabildiği gibi, yapay olarak da elde edilebilmesi mümkün olan maddelere denir. Organiklerin başlıca özellikleri arasında; ısıya dayanıklı olmamaları ve yanıcı olmaları gelir. **Polimer**, büyük moleküllü maddelere (molekül ağırlıkları= 8.000 ÷ 6.000.000) denir. Büyük moleküllü, yani makromoleküllü maddeler sadece plastikler değildir. Plastiklerin yanında büyük moleküllere sahip, hem organik (selüloz, protein, nişasta vs.) hemde inorganik (kuvars, cam vs.) maddeler bulunmaktadır. **Monomer**, makromolekül oluşturabilen molekül niteliğindeki atom topluluklarıdır. **Makromolekül**, birbirlerine kovalent bağ ile bağlanmış küçük atom gruplarından oluşan monomerlerin birbirlerine tekrar kovalent bağlarla kenetlenmesiyle meydana gelen büyük atom topluluklarıdır. Monomerlerin tekrarından oluşurlar. **Homopolimer**, aynı monomerden oluşan makromoleküle denir. Kopolimere oranla daha derli toplu makromoleküllerdir. Yine kopolimerlere oranla daha yüksek ergime sıcaklığına, daha yüksek kimyasal kararlılığa, daha yüksek eğme dayanımına ve daha yüksek yüzey sertliğine sahiptirler. **Kopolimer**, birden çok monomer türünden meydana gelen makromoleküldür. Kopolimerler metallerdeki katı eriyik türünden alaşımlarla karşılaştırılabilir. Yani bunlara plastiklerin katı eriyik cinsinden alaşımları gözüyle bakılabilir. **Polimerizasyon derecesi**, bir makromoleküldeki ortalama monomer adedi demektir. Dolayısıyla, bir monomerin molekül ağırlığıyla polimerizasyon derecesinin çarpımı o makromolekülün molekül ağırlığını verir (Yüksel, 2001).

### 1.3. Yaygın Kullanılan Plastiklerin Sembolleri (TS 1168, 1999)

Kimyasal ve karışık şekilde isme sahip olan plastiklerin tanımlanmasını kolaylaştırmak üzere kısa ifadeler şeklinde semboller kullanılmaktadır. Aşağıda TSE tarafından TS 1168 ile standartlaştırılmış bazı plastiklerin kısa sembolleri verilmiştir.

<b>A/MMA</b>	: <b>Akrilonitril / Metil Metakrilat</b>
<b>A/S/A</b>	: <b>Akrilonitril / Stiren / Akrlat</b>
<b>ABS</b>	: <b>Akrilonitril Butadien Stiren</b>
<b>CA</b>	: <b>Selüloz Asetat</b>
<b>CAB</b>	: <b>Selüloz Asetat Butirat</b>
<b>CAP</b>	: <b>Selüloz Asetat Propiyonat</b>
<b>CF</b>	: <b>Krezol Formaldehit</b>
<b>CMC</b>	: <b>Karboksi Metil Selüloz</b>
<b>CN</b>	: <b>Selüloz Nitrat</b>
<b>CP</b>	: <b>Selüloz Propiyonat</b>
<b>CS</b>	: <b>Kazein</b>
<b>CTA</b>	: <b>Selüloz Triasetat</b>
<b>DAP</b>	: <b>Diallül Ftalat</b>
<b>E/EA</b>	: <b>Etilen / Etil Akrlat</b>
<b>EC</b>	: <b>Etil Selüloz</b>
<b>EP</b>	: <b>Epoksit</b>
<b>ES</b>	: <b>Etilen / Propilen / Dien / Stiren</b>
<b>ETFE</b>	: <b>Etilen Tetraflor Etilen</b>
<b>EVA</b>	: <b>Etilen Vinilasetat</b>
<b>EVAl</b>	: <b>Etilen Vinilalkol</b>
<b>FEP</b>	: <b>Perfloretilen Propilen Kopolimeri</b>
<b>MBS</b>	: <b>Metilmetakrilat / Butadien / Stiren</b>
<b>MC</b>	: <b>Metilselüloz</b>
<b>MF</b>	: <b>Melamin Formaldehit</b>
<b>MPF</b>	: <b>Melamin Fenol Formaldehit</b>
<b>PA</b>	: <b>Poliamid</b>
<b>PA6/12</b>	: <b>PA6 ve PA12 Kopolimeri</b>
<b>PA66/610</b>	: <b>PA66 ve PA610 Kopolimeri</b>
<b>PAN</b>	: <b>Poliakrilnitril</b>
<b>PB</b>	: <b>Polibuten</b>
<b>PBT</b>	: <b>Polibuten Tereftalat</b>
<b>PC</b>	: <b>Polikarbonat</b>
<b>PCTFE</b>	: <b>Poliklor Triflor Etilen</b>
<b>PDAP</b>	: <b>Polidiallil Ftalat</b>
<b>PE</b>	: <b>Polietylen</b>
<b>PE-C</b>	: <b>Klorlu PE</b>
<b>PE-HD</b>	: <b>Yüksek Yoğunluklu PE</b>
<b>PEI</b>	: <b>Polieter İmid</b>
<b>PE-LD</b>	: <b>Düşük Yoğunluklu PE</b>
<b>PE-LLD</b>	: <b>Lineer Düşük Yoğunluklu PE</b>
<b>PEOX</b>	: <b>Polietylen Oksit</b>

<b>PET</b>	: <b>Polietilen Tereftalat</b>
<b>PE-UHMW</b>	: <b>Ultra Yüksek Moleküllü PE</b>
<b>PE-V</b>	: <b>Ağlaşmış PE</b>
<b>PE-VLD</b>	: <b>Çok Düşük Yoğunluklu PE</b>
<b>PF</b>	: <b>Fenol Formaldehit</b>
<b>PHA</b>	: <b>Fenol Akrilat Reçinesi</b>
<b>PI</b>	: <b>Poliimid</b>
<b>PIB</b>	: <b>Poliizobutilen</b>
<b>PIR</b>	: <b>Poliizosiyanür</b>
<b>PMI</b>	: <b>Polimetakril İmid</b>
<b>PMMA</b>	: <b>Polimetil Metakrilat</b>
<b>PMP</b>	: <b>Polimetil Penten</b>
<b>POM</b>	: <b>Polioksimetilen</b>
<b>PP</b>	: <b>Polipropilen</b>
<b>PP-C</b>	: <b>Klorlu PP</b>
<b>PPE</b>	: <b>Polifenilen Oksit</b>
<b>PP-O</b>	: <b>Biaksiyal Yönlenmiş PP</b>
<b>PPOX</b>	: <b>Polipropilen Oksit</b>
<b>PPS</b>	: <b>Polifenilen Sülfid</b>
<b>PS</b>	: <b>Polistren</b>
<b>PS-E</b>	: <b>Genleştirilmiş PS</b>
<b>PSU</b>	: <b>Polisülfid</b>
<b>PTFE</b>	: <b>Politetraflor Etilen</b>
<b>PUR</b>	: <b>Poliüretan</b>
<b>PVAC</b>	: <b>Polivinil Asetatü</b>
<b>PVAL</b>	: <b>Polivinil Alkol</b>
<b>PVB</b>	: <b>Polivinil Butiral</b>
<b>PVC</b>	: <b>Polivinil Klorür</b>
<b>PVC-C</b>	: <b>Klorlu PVC</b>
<b>PVDC</b>	: <b>Polivinil Diklorür</b>
<b>PVDF</b>	: <b>Polivinil Diflorür</b>
<b>PVF</b>	: <b>Polivinil Florür</b>
<b>PVFM</b>	: <b>Polivinil Formal</b>
<b>PVK</b>	: <b>Polivinil Karbozal</b>
<b>PVP</b>	: <b>Polivinil Prolidon</b>
<b>PVPD</b>	: <b>Polivinil Piridin</b>
<b>RF</b>	: <b>Resorsin Formaldehit</b>
<b>S/MS</b>	: <b>Stiren / Metilstiren</b>
<b>SAN</b>	: <b>Stiren / Akrilnitril</b>
<b>SI</b>	: <b>Silikon</b>
<b>SP</b>	: <b>Doymuş Poliester</b>
<b>T</b>	: <b>Triazin</b>
<b>TR</b>	: <b>Thermoplastic Rubber</b>
<b>UF</b>	: <b>Üre Formaldehit</b>
<b>UP</b>	: <b>Doymamış Poliester</b>
<b>VC/E</b>	: <b>Vinilklorür / Etilen</b>
<b>VC/E/MA</b>	: <b>Vinilklorür / Etilen / Metilakrilat</b>
<b>VC/MA</b>	: <b>Vinilklorür / Metilakrilat</b>
<b>VC/MMA</b>	: <b>Vinilklorür / Metilmetakrilat</b>
<b>VC/OA</b>	: <b>Vinilklorür / Oktilakrilat</b>

VC/VAC	: Vinilklorür / Vinilasetat
VC/VDC	: Vinilklorür / Vinildiklorür
VE	: Vinilester

#### 1.4. Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması

Plastiklerin sınıflandırılması çeşitli yönlerden yapılabilir:

1)Ham maddelerine göre sınıflandırma yapacak olursak;

- ✓ **Tamamen yapay olanlar**, (Bu plastiklerin monomerleri petrol ve doğalgaz gibi maddelerin sentezi yoluyla kazanılırlar.) ve
- ✓ **Doğal maddelerin dönüştürülmesiyle elde edilenler**, (Ham maddeleri selüloz ve ağaç reçineleri gibi büyük molekülü doğal organik maddelerin kimyasal işlemlerden geçirilmesiyle elde edilirler.) olarak iki gruba ayrılır (Yüksel, 2001).

2)Üretim yöntemlerine göre sınıflandırma yapacak olursak;

- ✓ **Polimerizatlar**, (Polimerizasyon yöntemiyle üretilen plastiklerdir. Polimerizasyon, aynı cins veya benzer monomerlerin yan yana birleşerek zincir şeklinde makromoleküller yapmalarıdır.),
- ✓ **Polikondenzatlar**, (Polikondenzasyon yöntemiyle üretilen plastiklerdir. Polikondenzasyon, farklı cins monomerlerin makromolekül oluşturacak şekilde birleşmesidir.) ve
- ✓ **Poliadüktler**, (Poliadisyon yöntemiyle üretilen plastiklerdir. Poliadisyon, farklı cins monomerlerin makromolekül oluşturacak şekilde birleşmesidir. Üç boyutlu ağlaşmış termosetlerin ve elastomerlerin önemli bir kısmı poliadükt grubundandır.) olarak üç gruba ayrılır (Yüksel, 2001).

3)İç yapılarına göre sınıflandırma yapacak olursak;

- ✓ **Termoplastlar**, (Makromolekülleri arasında sadece van der waals bağı bulunan plastiklerdir.),
- ✓ **Termosetler**, (Makromolekülleri arasında kovalent bağ bulunan plastiklerdir.),
- ✓ **Elastomerler**, (Makromolekülleri arasında kovalent bağ bulunan plastiklerdir. Makromolekülleri birbirleriyle termosetlerdeki gibi ağ oluşturmuştur, fakat ağ gözenekleri genişliği termosetlere göre büyüktür.) ve

- ✓ *Fluidoplastlar*, (Normal ortam sıcaklıklarında yer çekimi kuvvetiyle akabilen plastiklerdir.) olarak dört gruba ayrılır (Yüksel, 2001).

### 1.5. Plastik Malzemelerin Genel Özellikleri

- ✓ Metallerle oranla daha düşük yoğunluğa sahiptirler ( $0,9 \div 1,4 \text{ g/cm}^3$ ).
- ✓ Organik, büyük moleküllü (molekül ağırlıkları =  $8.000 \div 6.000.000$ ) malzemelerdir.
- ✓ Makromoleküller içindeki atomlar arasında kovalent bağ vardır.
- ✓ İnorganik çözeltilere karşı yüksek kimyasal dayanıklılık gösterirler.
- ✓ Elektriği, ısıyı ve sesi yalıtma kabiliyetleri yüksektir.
- ✓ Mekanik özellikleri amorf yapıda olduğu için homojen değildirler.
- ✓ Kompozit malzeme tekniğine, diğer malzemelere oranla daha uygundur.
- ✓ Metallerle oranla sıcaklığa karşı daha düşük dayanıklılık değerleri gösterirler ve bunun sonucu olarak da kullanım sıcaklıkları düşüktür.
- ✓ Bünyelerine bazı sıvıların az veya çok girebilmesi mümkündür.
- ✓ Isıl genleşme katsayıları metallerle oranla daha yüksektir (1 metre uzunluğundaki bir çubuğun  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ısıtılması ile, termoplastik çubuk 2,2 mm, alaşımsız çelik çubuk 0,13mm uzar.).
- ✓ Isı kapasiteleri düşüktür (birim hacimdeki ısı miktarları).
- ✓ Plastiklerin kullanım sıcaklıkları metallerle, seramiklere ve camlara oranla düşüktür.
- ✓ Ergiyik plastiklerin viskoziteleri metallerinkine oranla çok daha yüksektir.
- ✓ Plastiklerin ses yalıtım kabiliyetleri yüksek ve dolayısıyla da sesin plastik malzeme içindeki yayılma hızı düşüktür. Gürültüye karşı yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar.
- ✓ Sünme dayanımları metallerle oranla çok düşüktür. Plastikler genelde oda sıcaklığında sünerler.
- ✓ Yorulma dayanımları, statik yüklemdeki dayanımlarına oranla çok düşüktür.
- ✓ Çentik darbe dayanımları, çentiksiz numunelere oranla daha düşüktür.
- ✓ Şekillenme kabiliyetleri fazladır.
- ✓ Geri dönüşümleri mümkündür.
- ✓ Hafiftirler, montajda ve konstrüksiyonda avantaj sağlarlar.

**Çizelge 1.1.** Plastiklerin Genel Özelliklerinin Diğer Malzemeler ile Karşılaştırılması  
(Yüksel, 2001)

ÖZELLİKLER	METAL	SERAMİK / CAM	PLASTİK
Atomlar arası kovalent bağlar	—	+	+
Amorf yapı	—	+	+
Küçük yoğunluk	—	+	+
Yüksek elastite modülü	+	+	—
Elektrik, ısı ve ses yalıtımı	—	+	+
Tuz çözeltilerine dayanıklılık	—	+	+
Asitlere dayanıklılık	—	+	+,—
Organik çözücülere dayanıklılık	+	+	+,—
Mor ötesi ışınlarla dayanıklılık	+	+	+,—
Yüksek sıcaklıklara dayanım	+	++	+,—

**Çizelge 1.2.** Plastiklerin Mekanik Özelliklerinin Diğer Malzemeler ile Karşılaştırılması (Yüksel, 2001)

ÖZELLİKLER	BİRİM	DEĞERLER	MALZEMELER
ÇEKME DAYANIMI	N / mm <sup>2</sup>	1000-400	Çelikler
		800-500	Gerilmiş PA ve PET lifleri
		630-200	Cam elyaf takviyeli UP ve EP
		400-300	Demir
		290-150	Al ve diğer hafif metaller
		250-35	Cam elyaf takviyeli termoplastlar
		100-50	Camlar
		85-60	Ağaç malzemeler
		80-40	Termosetler (güçlendirilmemiş)
		70-2	Termoplastlar (güçlendirilmemiş)
KOPMA UZAMASI	%	1000-10	Elastomerler
		800-3	Termoplaslar
		3-0,9	Cam elyaf takviyeli termoplastlar
		3-0,8	Termosetler
		1,5-0,7	Ağaç malzemeler
		0,8-0,2	Cam elyaf takviyeli termosetler
		0,7-0,1	Doğal taşlar (mermer)
		0,2-0,07	Dökme demirler
		≈0,15	Camlar
		≈0,05	Tam setleştirilmiş çelik
BASMA DAYANIMI	N / mm <sup>2</sup>	2000-800	Camlar
		600-480	Dökme demirler
		480-180	Cam elyaf takviyeli termosetler
		420-350	Çelikler
		300-100	Termosetler
		140-80	Termoplastlar
		140-70	Alüminyum
		60-20	Ağaç malzemeler
		8-0,01	Elastomerler, Köpürtülmüş plastikler

Günümüzde gelişmiş ülkelerin doğalgaz, içme suyu ve kanalizasyon sistemlerinde kullanılan boruların %95'i plastik esastır. Metal boru sistemi gerek malzeme, gerekse

montaj işçiliğinin yüksek oluşu, kullanım sırasında karşılaşılan problemlerin çokluğu ve kısa ömürlü olmaları, yüzünden metalik borular yerlerini her geçen gün hızlı bir biçimde plastik sistemlere bırakmaktadır. 1 km uzunluğundaki bir hattın metal veya plastik sistemlerle döşenmesi durumunda boru hatlarında oluşması olası hasar sayısı metalik boruda plastik borunun iki katından çoktur (Yaşar, 2001).

**Çizelge 1.3.** 1 km Uzunluğundaki Metal ve Plastik Boruda Oluşan Hasar Sayısı

<b>Hasar Nedeni</b>	<b>Metalik Boru</b>	<b>Plastik Boru</b>
Paslanma hasarı	0,185	0
Döşeme esnasında hasar oluşumu	0,028	0,012
Mekanik hasarlar	0,038	0,009
Dışarıdan zorlanma sonucu oluşan hasarlar	0,029	0,122
Diğer hasarlar	0,114	0,027
<b>TOPLAM HASAR</b>	<b>0,394</b>	<b>0,17</b>

## **1.6. Plastiklere Katılan Dolgu Malzemeleri**

Birçok plastik, kendilerine çeşitli özellikler kazandıran dolgu maddeleriyle işlenmeden veya işlendikten sonra piyasaya sürülürler. Belirli amaçlara yönelik dolgu maddelerinin en önemlileri aşağıda çıkarılmıştır.

- 1- Pekiştirici ve dayanım arttırıcılar,
- 2- Renklendiriciler (boyar maddeler veya pigmentler),
- 3- Plastikleştiriciler,
- 4- Kaydırıcı ve işlemeyi kolaylaştırıcılar,
- 5- Antistatikler (statik elektriklenmeyi önleyiciler),
- 6- Ultraviyole ışınım dengeleyeciler (UV stabilizatörleri),
- 7- Oksitlenme önleyiciler,
- 8- Köpük yapıcılar (genleştiriciler),
- 9- Yataklarda kaymayı arttırıcılar, yanmayı güçleştiriciler ve ısı dengeleyiciler (ısı stabilizatörleri), plastiklere katılan başlıca dolgu maddeleridir.

Katkı maddeleri plastikten istenilen özelliklere göre belirli miktarlarda plastiğe katılarak plastiğin özelliklerinin değişmesine neden olur (Yüksel, 2001).

## 1.7. Plastik Malzeme Türlerinin Belirlenmesi

### 1.7.1. Termoplast / Termoset Ayrımı

Bu ayırım işlemi küçük deney parçalarının (talaş, parçacıklar, toz) bir deney tüpünde veya başka bir kaptaki ısıtılması ile yapılır. Termosetler ısıtılınca yumuşamadan kararır parçalanırlar. Tam olarak sertleşmemiş ürünler geçici olarak yumuşayabilir, fakat devam eden ısıtma sonunda ergimezler, reçine haline gelip katılaşırlar ve sonunda yapıları bozulur. Termoplastlar ise ısıtılınca yumuşamakta ve parçalanmadan öncede daha akışkan (ergiyik) hale geçmektedir. Kısmen kristalli termoplastlar (örneğin PE, PP), eğer renklendirici madde katılmamış ise parçalanmadan önce cam gibi olmaktadır (Kovan, 2002).

### 1.7.2. Termoplastik Malzemelerin Belirlenmesi

Termoplastik malzemeler kullanılan plastikler içerisinde %70-%80'lik bir orana sahiptir. Bu bakımdan çok kullanılan bu plastik malzeme grubunun türlerinin kolay ve çabuk belirlenmesi bilhassa hurda malzeme kullananlar için önem kazanmaktadır. Aşağıda belirtilen yöntemler ile belli bir sıra (sırası ile yüzdürme deneyi, yakma deneyi, kimyasal deney ve bakır tel deneyi) izlenerek yapılan basit deneyler sonucunda belirlenmek istenen plastik malzeme türü, plastik malzeme grubu içinden elenerek bulunur. Laboratuvar olanakları kısıtlı olan işletmelerde bu yöntem ile basit, kolay ve çabuk bir şekilde farklı malzeme türleri belirlenebilir (Kovan, 2002).

**Yüzdürme Deneyi:** Bu deney yoğunluğu sudan az veya daha fazla olan plastik türlerini birbirinden ayırmaya yarar. Bunun için su dolu bir kap yeterlidir. İnce parçaları önce dibe batırmak, sonra yüzüp yüzmediğini araştırmak gerekir. Ortası delik olan granüllerin deliklerinin yakınına ufak hava kabarcıklarının yapışmamasına dikkat edilmelidir. Büyük veya içinde metal parçaları olan malzemelerden küçük ve metalsiz parça kopartılarak deney yapılır.

**Yakma Deneyi:** Çakmak, kibrit veya diğer bir alevle plastik tutuşturulur. Daha sonra alevden ayırarak yanmanın devam edip etmediği, yanarsa alevin şeklini, isli olup



olmadığı araştırılır. Malzemenin yanarken damlayabileceği göz önüne alınarak dikkatli olmak ve tedbir almak gerekir.

**Kimyasal Deneyi:** Plastik parça üzerine bir damla çözücü damlatılarak parmakla ovalanır ve plastiğin kimyasala karşı davranışı (yapışıyor, yüzey etkileniyor veya yapışmıyor) gözlenir.

**Bakır Tel Deneyi:** Bakır tel ucu kızarıncaya kadar ısıtıldıktan sonra plastik malzemeye değdirilir. Yapıştıktan sonra tekrar aleve tutulur. Plastik malzemedeki halojen bileşimler varsa alev belirgin bir şekilde yeşil olarak yanacaktır.

Bu deneylerden sonra plastik malzeme türü genel olarak plastik malzeme grubu içinden elenerek tespit edilebilir. Fakat kesin olarak hangi malzeme olduğu belirlenmemiş ise tırnak ile kazıma, yaktıktan sonra malzemeyi koklama veya kırma deneyi ile kesin olarak plastik malzeme türü tespit edilebilir. Çizelge 1.4.'de bazı termoplastik malzemelerin bu deneyler için vereceği deney sonuçları verilmiştir. Bu ve benzeri diyagramlar yukarıdaki deneyler sırasında kullanılarak plastik türü tespit edilebilir.

Bu deneylerle plastik malzeme türü, malzeme grubu içinden elenerek belirlenebilir. Plastiğin türü tespit edildikten sonra alt türlerin belirlenmesi yapılacak ise daha ayrıntılı deneyler yapmak gerekir. Örneğin Poliamid türünden hangi poliamid olduğu belirlenmek isteniyorsa ergime noktası veya karınca asidinde çözünme durumu incelenmelidir. Çoğunlukla plastik malzeme türünü belirlemek yeterli olmaktadır ve bu arada belirtilen yöntemle çabuk, basit ve emin bir şekilde sağlanmaktadır (Kovan, 2002).

**Çizelge 1.4.** Bazı Termoplastik Malzemelerin, Malzeme Tespit Deneyi Sonuçları

TERMOPLASTİK MALZEMELER	PMP	PE	PP	CAB	PA	POM	PMMA	CA	PS	SB	SAN	ABS	PSO	PC
<b>Yüzdürme Deneyi</b>														
Yüzüyor	√	√	√											
Batıyor				√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
<b>Yakma Deneyi (Tutuşturucu alev ayrıldıktan sonra)</b>														
İssiz olarak yanmaya devam ediyor	√	√	√	√	√	√	√							
İsli olarak yanmaya devam ediyor								√	√	√	√	√		
Kısa yanarak sönüyor													√	√
<b>Çözünme Deneyi 1: (Karbon tetra klorür)</b>														
Yapışıyor									√	√				
Yüzey etkileniyor, matlaşıyor	√													
Yapışmıyor		√	√	√	√	√	√	√			√	√	√	√
<b>Çözünme Deneyi 2: (Asetik asit esteri)</b>														
Yapışıyor				√					√	√	√	√		√
Yüzey etkileniyor, matlaşıyor								√						
Yapışmıyor	√	√	√		√	√	√						√	
<b>Bakır Tel Deneyi</b>														
Pozitif (Yeşil alev)														
Negatif	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
<b>Tırnak İle Kazıma</b>														
Kazıma izi var		√												
Kazıma izi yok, ezilme var			√											
<b>Alevden Sonra Duman Kokusu</b>														
Çok nahoş koku						√								
Kavrulmuş boynuz kokusu					√									
Meyve kokusu							√							
<b>Kırma Deneyi</b>														
Gevrek kırılma									√		√			
Sünek kırılma										√		√		

### 1.7.3. Plastiklerin Türü Anlaşıldıktan Sonra Emin Olmak İçin Yapılabilecek Deneyler

Deneyler üç grupta yapılabilir;

Yapılacak ilk deney olarak bir cam tüpün içerisine ufak bir plastik parça konulur. Tüp 45° eğik olarak şiddetli olmayan bir alev üstünde devamlı hareket ettirilerek ısıtılır. Isıtmanın çok çabuk olmamasına dikkat edilir. Bu deneyin sonucunda:

- ✓ Poliolenler (PE, PP); ergir, saydamlaşır, ancak çok dikkatli bakılırsa görülebilen beyaz bir buhar çıkar.
- ✓ Stiren polimerleri, ABS; kimyasal olarak bozunur ve kararır, PS; ergir ve gaz haline gelir, SB; ergir ve sarımsı bir renk alır.
- ✓ Halojen polimerleri; yumuşar, kimyasal olarak bozunur, kahverengi / siyah arası bir renk alır.
- ✓ Poliakrilester, homopolimer grubu; CA, CAB ergir, siyahlaşır.
- ✓ PC; saydam ve vizkositesi yüksek bir ergiyik haline gelir, daha fazla ısıtıldığında kimyasal olarak bozunup siyahlaşır.
- ✓ PETP; ergir, eriyiğin etrafı çerçeve halinde beyazlaşabilir, koyu kahverengi artık kalır.
- ✓ PMMA; yumuşar, hafif köpürerek ve çatırdayarak kimyasal olarak bozunur, geriye az miktarda kahverengi/siyah atık kalır.
- ✓ POM; ergir, gaz haline gelir, kimyasal olarak bozunur.
- ✓ PA; kristalli türleri ergir, şeffaflaşır. Amorf türleri kimyasal olarak bozunur, kahverengi artık kalır.

İkinci deney olarak plastik yanarken alev incelenir. İçinde aleve karşı stabilizatör olmayıp da alevde yanmayan tek plastik türü PTFE'dir. Diğerleri iki grupta toplanır;

(\*) Alev içinde yanıyor, ayırınca sönyüyor.

(\*\*) Tutuştuktan sonra kendi başına yanıyor.

- ✓ Poliolenler (PE, PP), (\*\*), alev sarı renkte olup, merkezi mavidir, yanarak damlar.
- ✓ Stiren polimerleri, (\*\*), sarı veya parlak sarı alevle, çok fazla is çıkararak çıra gibi yanar.

- ✓ Halojen polimerleri (\*), yumuşak PVC türleri (\*\*), sarı alevle kurumlu olarak yanar. Alevin dip tarafı hafif köpüklü ve yeşil renktedir.
- ✓ Poliakrilester, homopolimer grubu, CA (\*\*), yeşil-sarı parlak alevle erir ve damlar.
- ✓ CAB, (\*\*), sarı parlak alevle yanarak damlar.
- ✓ PA, (\*/\*\*), Tutuşan yer mavimsi sarı renktedir, çatırdayarak damlar, söndükten sonra elyaf gibi çekilebilir.
- ✓ PC, (\*), parlak, çatırdılı, isli bir alevle damlayarak yanar.
- ✓ PMMA, (\*\*), çatırdayarak yanar, yanarak parlak bir alev ile damlar.
- ✓ POM, (\*\*), mavi veya renksiz olarak yanar.

Üçüncü ve son deney olarak boya katkı maddesi katılmamış plastiklerin dış görünümüne bakılır. Buda plastiklerin cinsleri hakkında bilgi verir. Amorf plastik türleri kalın parçalarda bile saydam olabilir. CA, CAB, PETB, PMMA, PS, PVC-S, PVC-y, SAN bu tür plastiklerdir. Sadece ince folyolar halinde iken saydam olabilen, et kalınlığı arttıkça bulanık, opak renk alan plastikler şunlardır; ABS, PA, PE, PP. Folyo halinde bulunmayan, folyodan büyük et kalınlıklarında opak olan plastik türleri ise POM ve PTFE'dir (Yüksel ve Çakmakçı, 1985).

## İKİNCİ BÖLÜM

# PLASTİKLERE UYGULANAN ÇEKME DENEYİ

## 2. PLASTİKLERE UYGULANAN ÇEKME DENEYİ

### 2.1. Plastiklere Uygulanan Belli Başlı Deneyler ve Etki Eden Faktörler

Plastikleri tanımlamada bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler kullanılır. Bunların belirlenmesi için çok sayıda standart deney vardır. Bu deneylerin yardımı ile üretici, işleyici ve kullanıcılar; bu malzemelerin özelliklerini ortak bir dille anlamakta ve aralarındaki ilişkileri düzenlemektedirler. Bu deneylerin hemen hepsi, ulusal ve uluslararası deney standartları olarak bilinmekte ve kullanılmaktadır. Bu standartların en yaygın olarak kullanılanları arasında, kısaltılmış şekilleri ile birlikte Türk -TS-, Amerikan-ASTM, Alman-DIN, İngiliz BS ve Uluslar arası-ISO bulunmaktadır.

Polimer malzemelerle ilgili standart deneyler, genellikle dinamik bir yapıdadır, yıllarca uygulanıp kullanıcılar tarafından benimsenseler de değiştirilmeye, geliştirilmeye ve eklemeler yapılmaya açıktır. Bu nedenle artık yerleşmiş standart haline gelmiş deneylerin daha da geliştirilmesi ve yenilerinin ortaya konulması için çalışmalar yapan kuruluş sayısı çok fazladır. Örneğin ABD'de bu kuruluşların sayısı 400 civarındadır. Ülkemizde standart deneyleri saptayan ve geliştirme çalışmaları yapan kurum TSE' dir. Yine sadece TSE ve ASTM tarafından bu güne kadar hazırlanmış olan plastiklerle ilgili standart, tarifleme ve deney yöntemlerinin sayısı, TS için 100 ve ASTM için 6000 civarındadır.

Doğal olarak bir deneyin doğru sonuç vermesinde, tekrarlanabilir ve değişik laboratuarlarda aynı hassasiyetle uygulanabilir olması esastır. Kalite kontrol amacı ile kullanılıyor ise, deneyin çabuk sonuç vermesi ve pratik olması da aranan diğer önemli özellikler olmaktadır. Plastik deneylerinde sonuçların doğruluğu; deneyin yapıldığı laboratuvarın sıcaklığı, nem oranı, deney örneklerinin hazırlanış yöntemi ve şekli, kondüsyonlanması gibi çeşitli parametrelerden etkilendiğinden, standart deneylerde bu parametrelerin de belli bir standarda bağlanması zorunlu olmaktadır.

Çizelge 2.1’de, yaygın olarak kullanılan fiziksel ve mekanik plastik deney yöntemlerinin bazıları, ilgili ASTM standardı ve bağlı olduğu koşullar ile birlikte tablo halinde verilmektedir. Daha sonra ise deneysel çalışmalarını destekleyecek deneyler detayları ile ele alınacaktır.

**Çizelge 2.1.** Plastiklere Uygulanan Belli Başlı Deneyler ve Etki Eden Faktörler (Savaşçı ve diğ., 2002)

<b>Özellik</b>	<b>ASTM</b>	<b>Etki Eden Faktörler</b>
*Sıkıştırma, (Basma)	D-695 D-3410	A,B,C,H,J
*Dinamik Mekanik	D-2236 D-4065	A,C,H,J,K
*Soğuk Akma	D-2990 D-621	A,C,H,J,M
*Yorulma	D-671 D-3479	A,B,C,D,H,J,K,M
*Esneme, (Eğilme)	D-790 D-747	A,B,C,H,J
*Darbe Dayanımı (Ağırlık düşürülerek)	D-1709 D-2444 D-3029 D-3420	A,B,C,D,E,H,J,N
*İzod Darbe Dayanımı	D-256	A,C,D,E,H,J
*Çekme Dayanımı (Gerilme Dayanımı)	D-638 D-882 D-1180 D-3039 D-1708	A,C,H,J,M A,B,C,H,J  A,B,C,E,H,J
*Aşınma	D-1242 D-673 D-1044	A,C,F,G,H,J,L,M A,C,F,G,H,I,J,L
*Kendisine veya Başka Yüzeye Sürtünme	D-1894 D-3028	A,C,F,G,H,I,J,L
*Sertlik	D-2583 D-785	A,C,F,H,J,N A,C,F,H,J,M,N
*Dielektrik Sabiti	D-150 D-669 D-1531 D-1673 D-2520 D-3380	A,C,H,J,L
*Dielektrik Gücü	D-149 D-3426 D-3755	A,B,C,D,E,H,J,K,M,N
*Elektrostatik Yük	D-3756 D-2679 D-1723 D-1185	A,C,D,F,G,H,I,J,L,M,N

**Çizelge 2.1.** Plastiklere Uygulanan Belli Başlı Deneyler ve Etki Eden Faktörler (Devam)  
(Savaşçı ve diğ., 2002)

Özellik	ASTM	Etki Eden Faktörler
*Kırılma Sıcaklığı	D-746	B,C,D,E,H,I,J,N
*Yanma	D-1790 D-635 D-757	A,C,D,E,H,I,J
*Oksijen İndisi	D-2863	A,C,D,E,J,N
*Duman Yoğunluğu	D-2843	A,C,D,E,M
*Isıl İletkenlik	C-177	A,C,H
*Isıl Genleşme	D-696 D-864	A,H,J
*Geçiş Sıcaklıkları	D-3418 D-4065 E-831 C-351 D-3418 D-1525	C,H,J  A,C,H D,F,H,I,J,N
*Renk	E-308	K
*Parlaklık	D-523 D-2457 D-179	E,H,J,L,N
*Işık Geçirgenliği Ve Bulanıklılık	D-1003 D-1494 D-1746	E,F,H,J,L,N
*Kırılma İndisi	D-542	A,K,N
*Gaz Geçirgenlik Hızı	D-1434 D-3985	A,C,D,F,H,J,M
*Su Buharı Geçirgenlik Hızı	E-96 E-398	A,C,D,F,H,J
*Su Absorbsiyonu	D-570	A,D,E,F,J,M
*Özgül Ağırlık ve Yoğunluk	D-792 D-1505	A,C,G,H,J

**Etki Eden Faktörler;**

A	Sıcaklık
B	Yükleme hızı
C	Nem düzeyi
D	Örnek boyutları
E	Örnek şekli
F	Basınç
G	Yüzey hızı
H	Kalıplama koşulları
I	Kötü tekrarlanabilir
J	Çevresel etkiler
K	Frekans
L	Yüzeyin veya birlikte Kullanılan malzemenin kalitesi
M	Deney süresi
N	Deney sistemi

## 2.2. Çekme Deneyi (TS 1168-1 EN ISO 527, 1997)

Bu deneyde; deney parçası, sabit hızda, uzunlmasına eksenini boyunca kopana kadar veya gerilme (yük) veya uzama (boyut değişimi) değeri önceden belirlenmiş bir değere ulaşana kadar çekilir. Bu işlem sırasında, deney parçasının dayanabildiği yük ve uzama değerleri ölçülür. Burada yazılı deney kuralları ile aşağıda yazılı bulunan malzemelere çekme deneyi uygulanabilir.

- ✓ Dolgusuz, dolgulu ve takviyeli karışımlar dahil, rijid ve yarı rijid termoplastik kalıplama ve ekstrüzyon malzemeleri,
- ✓ Dolgulu ve takviyeli karışımlar dahil, rijid ve yarı rijid termoset kalıplama malzemeleri, laminatlar dahil rijid ve yarı rijid termoset levhalar,
- ✓ Keçe, dokunmuş kumaş, dokunmuş fitil, kırpıntı, kobine ve hibrit takviye, fitil ve öğütülmüş elyaf gibi tek yönlü ve tek yönlü olmayan takviye malzemeleri ile bir arada bulunan elyaf takviyeli termoset ve termoplastik kompozitler, önemprenye işlemine tabi tutulmuş malzemelerden yapılan levhalar,
- ✓ Termoplastik sıvı kristal polimerleri,
- ✓ Deney metotları normal olarak, rijid gözenekli malzemeler veya gözenekli malzeme ihtiva eden sandviç yapılar için uygun değildir (Akkurt, 1991).

Aşağıda bu deneyle ilgili bazı terimlerin tanımları verilmiştir.

**Ölçme Uzunluğu**,  $L_0$  : Deney parçasının orta kısmında ölçme işaretleri arasındaki başlangıç mesafesidir. Ölçüm uzunluğu (mm) cinsinden verilir.

**Deney Hızı**,  $V$  : Deney esnasında deney cihazındaki çenelerin ayrılma hızıdır. Deney hızı (mm/min) olarak verilir.

**Çekme Gerilmesi**,  $\sigma$  : Herhangi bir anda deney parçasına uygulanan kuvvetin ölçme uzunluğu içindeki başlangıç kesit alanına oranıdır. Çekme gerilmesi ( $N/mm^2$ ) olarak verilir.



**Akma Anında Çekme Gerilmesi (Akma Gerilmesi),  $\sigma_y$**  : Gerilmede bir artış olmaksızın uzamada artışın olduğu ilk gerilmedir. Akma anında çekme gerilmesi ( $N/mm^2$ ) olarak verilir.

**Kopma Anında Çekme Gerilmesi,  $\sigma_B$**  : Deney parçasının koptuğu andaki çekme gerilmesidir. Kopma anındaki çekme gerilmesi ( $N/mm^2$ ) cinsinden verilir.

**Çekme Mukavemeti,  $\sigma_M$**  : Çekme deneyinde deney parçasının dayanabileceği en büyük çekme gerilmesidir. Çekme mukavemeti ( $N/mm^2$ ) cinsinden verilir.

**% x Uzamada Çekme Gerilmesi,  $\sigma_x$**  : Uzamanın yüzde olarak ifade edilen belirli bir x değerine ulaşması için gerekli gerilmedir. Sonuç ( $N/mm^2$ ) cinsinden verilir. (Bu özellik, gerilme/uzama eğrisinin bir akma noktası göstermediği durumlarda ölçülebilir. Böyle bir durumda, x değeri ilgili madde mamul standardından alınmalı veya ilgili taraflarca belirlenmelidir. Ancak, x değeri, her durumda, çekme mukavemetine tekabül eden uzama değerinden küçük olmalıdır).

**Çekme Uzaması,  $\varepsilon$**  : Başlangıç ölçüm uzunluğu başına uzunluktaki artıştır. Bu değer, boyutsuz bir oran olarak veya (%) cinsinden ifade edilir.

**Akma Anında Çekme Uzaması,  $\varepsilon_y$**  : Akma gerilmesindeki çekme uzamasıdır. Bu değer, boyutsuz bir oran olarak veya % cinsinden ifade edilir.

**Kopma Anında Çekme Uzaması,  $\varepsilon_B$**  : Deney parçası akma göstermeksizin kopuyorsa kopma anında çekme gerilmesindeki çekme uzamasıdır.

**Çekme Mukavemetinde Çekme Uzaması,  $\varepsilon_M$**  : Deney parçası akma göstermeksizin veya akma noktasında kopuyorsa, çekme mukavemetine tekabül eden noktadaki çekme uzamasıdır. Çekme mukavemetinde çekme uzaması, boyutsuz bir oran olarak veya (%) cinsinden verilir.

**Anma Çekme Uzaması,  $\varepsilon_t$**  : Çeneler arasındaki başlangıç mesafesi başına uzunluktaki artıştır. Bu değer, boyutsuz bir oran olarak veya (%) cinsinden ifade edilir.

**Kopma Anında Anma Çekme Uzaması,  $\epsilon_B$**  : Deney parçası akma noktasından sonra koparsa, kopma anında çekme gerilmesindeki anma çekme uzamasıdır. Bu değer, boyutsuz bir oran olarak veya (%) cinsinden ifade edilir.

**Çekme Mukavemetinde Anma Çekme Uzaması,  $\epsilon_m$**  : Deney parçası akma noktasından sonra koparsa çekme mukavemetindeki anma çekme uzamasıdır. Bu değer, boyutsuz bir oran olarak veya (%) cinsinden ifade edilir.

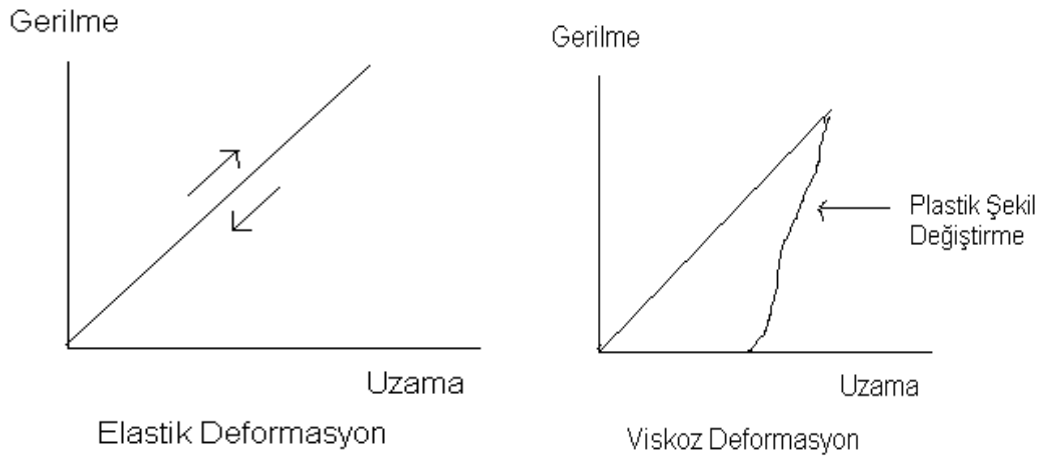
**Elastiklik Modülü, E** : İki ayrı uzama değeri için ölçülen gerilme değerleri arasındaki farkın uzama değerleri arasındaki farka oranıdır. Bu değer, ( $N/mm^2$ ) olarak ifade edilir.

**Poisson Oranı,  $\mu$**  : Deney parçasındaki uzamanın incelmeye karşı grafiğe geçirildiği eğride, başlangıçtaki doğrusal kısım içinde, çekme yönüne dikey doğrultudaki ekseninde meydana gelen boyut değişiminin (incelmenin) çekme eksenindeki boyut değişimine (uzamaya) oranının eksi (-) işaretli değeridir. Bu değer boyutsuz bir oran olarak ifade edilir.

**Viskozite(= Akmazlık):** Polimerik malzemenin akmaya karşı gösterdiği dirençtir.

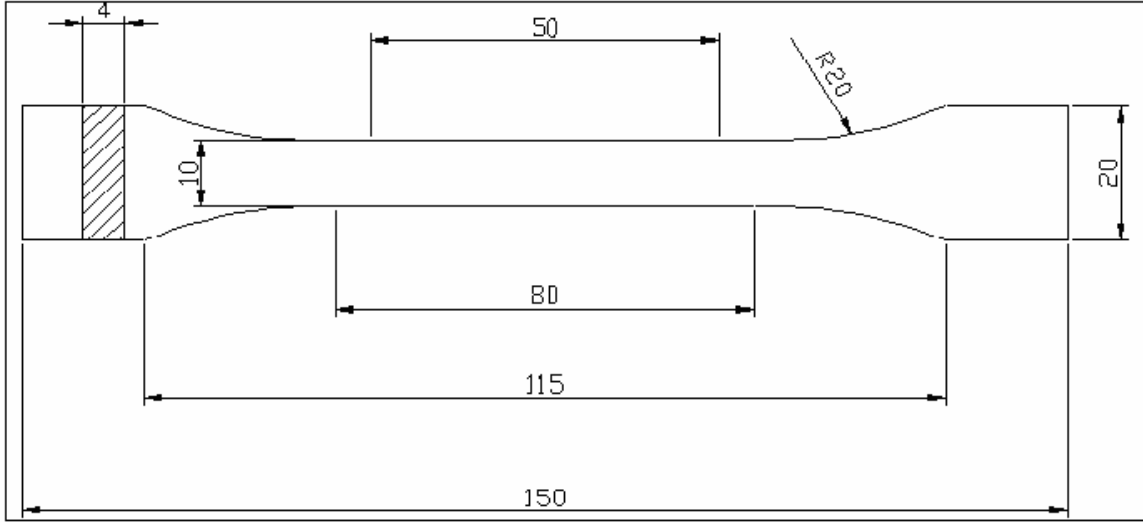
- Elastik deformasyon = Tersinir deformasyon

- Viskoz deformasyon = Tersinmez deformasyon



**Şekil 2.1.** Viskoz ve Elastik Deformasyon

Deney numuneleri, genelde enjeksiyonla doğrudan veya basınçla kalıplanan plakalardan kesilip hazırlanır. Örneklerin şekil ve boyutları, kopma anında oldukça yüksek uzama gösteren ve göstermeyen plastik malzemeye bağlı olarak iki farklı ölçüde; bunların dışındakiler için ise (Tip 1) Şekil 2.2’de verilen genel ölçülerdedir. Uzaması büyük olan malzemelerde daha kısa ve küçük boyutlu örnekler kullanılır (TS 1168-2 EN ISO 527, 1997).



**Şekil 2.2.** Standart Çekme Deneyi Numunesi (TS 1168-2 EN ISO 527, 1997)

Toplam Uzunluk (mm) : 150

Dar Paralel Kenarlı Kısım Uzunluğu (mm) : 80

Yarıçap (mm) : 20

Uçlardaki Genişlik (mm) : 20

Dar Kısım Genişliği (mm) : 10

Et Kalınlığı (mm) : 4

Ölçme Uzunluğu (mm) : 50

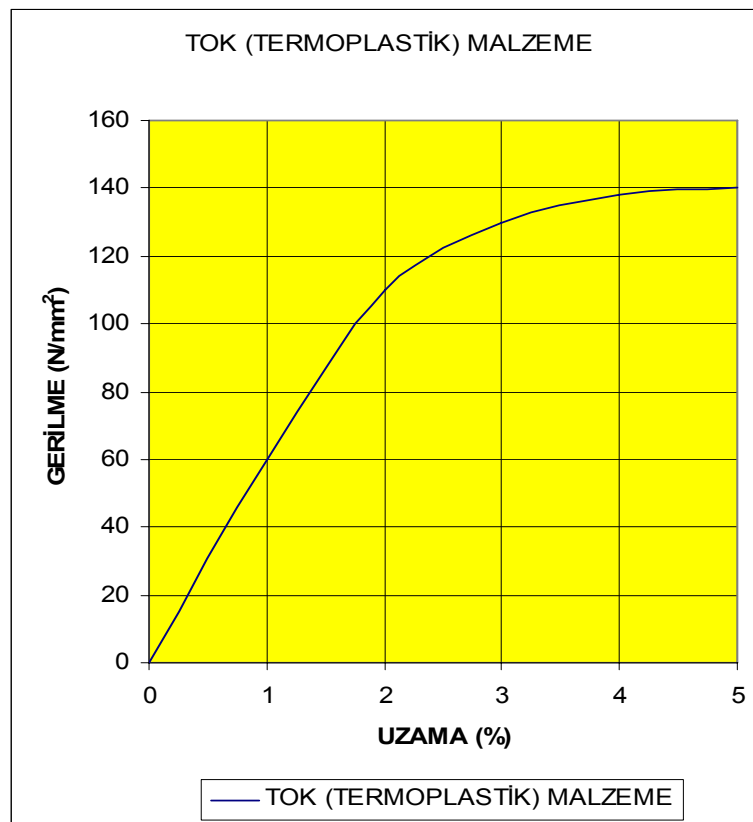
Çeneler Arası Mesafe (mm) : 115

Yukarıda verilen ölçüler EN ISO 527-2’ye göre Tip 1-A deney numunesi için geçerli olan standart ölçüleridir. Tip 1-A doğrudan kalıplanmış çok amaçlı deney parçaları için kullanılan çekme deneyi numunesidir (TS 1168-2 EN ISO 527, 1997).

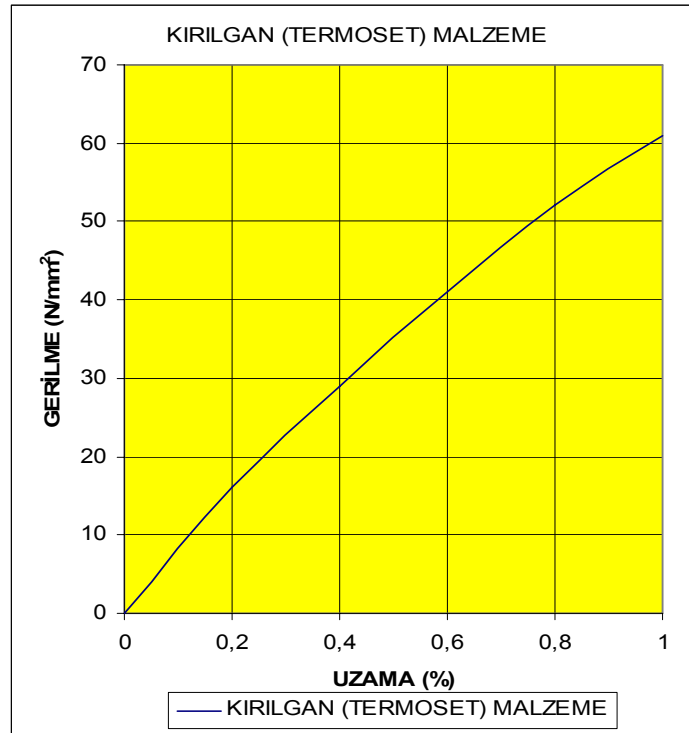
Deney sisteminde kullanılan çenelerde, uzama özelliklerine göre farklıdır. Deney parçasının tutturulduğu çeneler, deney parçasının uzunlama eksenine çeneler arasındaki merkez hattından geçen çekme yönü üst üste çakışacak şekilde cihaza monte edilmelidir. Bu çakıştırma işlemi, çenelerde merkezleme pimleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Deney parçasının çeneler arasında kayması mümkün olduğunca önlenmelidir. Bu işlem; tercihen, deney parçasına uygulanan kuvvet arttıkça, çenenin deney parçasına uyguladığı basıncın sabit kaldığı veya arttığı çene tipleri kullanılarak yapılabilir. Böylece bu sıkıştırma işlemi çenelerde vaktinden önce kopmaya sebep olmaz.

Deney sırasında ise numunenin iki ucu, standart deney sisteminde çeneler arasında sıkıştırılır ve çeneler birbirinden, seçilen belirli, sabit bir hızla uzaklaştırılırken örnek iki ucundan bu belirli hızla gerdirilir. Gerdirme hızları denenen malzemenin türüne göre, (Az uzayandan çok uzayana doğru artacak şekilde); 1, 5, 50, 100 ve 500 mm/min olarak seçilir. Bu esnada çekme gerilimi (veya çekmede gerilme miktarı, numunenin ilk kesitindeki birim alanına herhangi bir anda ( $N/mm^2$ ) olarak düşen yük miktarıdır, gerilme olarak tanımlanır) uzama yüzdesiyle birlikte kayıt edilir veya çekme hızları ve ilk uzunluk dikkate alınarak, deneysel veriler kullanılıp grafiğe geçirilir. Şekil 2.3.'de tok, termoplastik ve şekil 2.4.'de kırılğan, termoset plastik malzemeler için çekme deneyi sonucu oluşturulmuş çekme diyagramları verilmiştir (TS 1168-1 EN ISO 527, 1997).

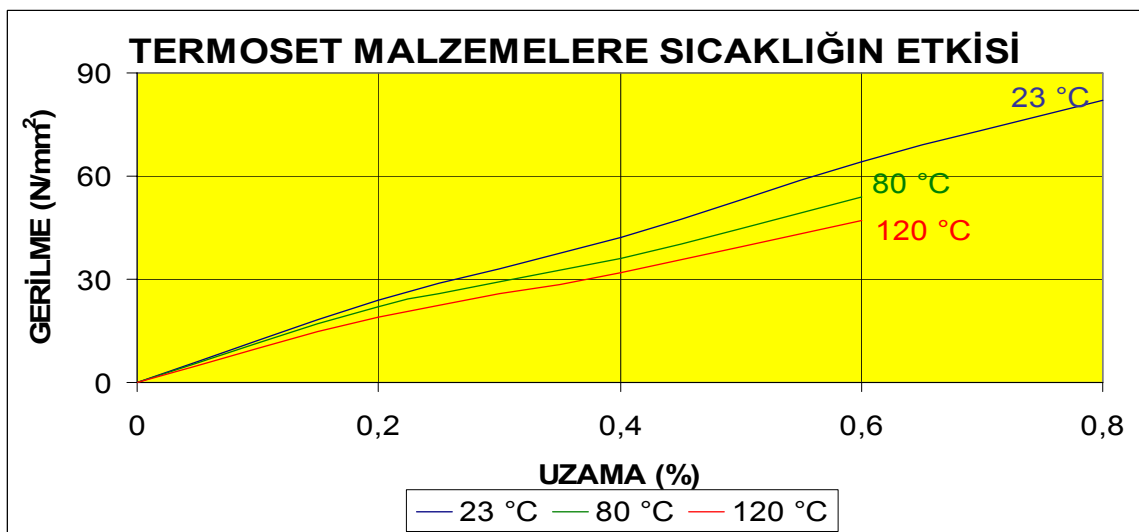


Şekil 2.3. Termoplastik Malzemelerin Çekme Diyagramları

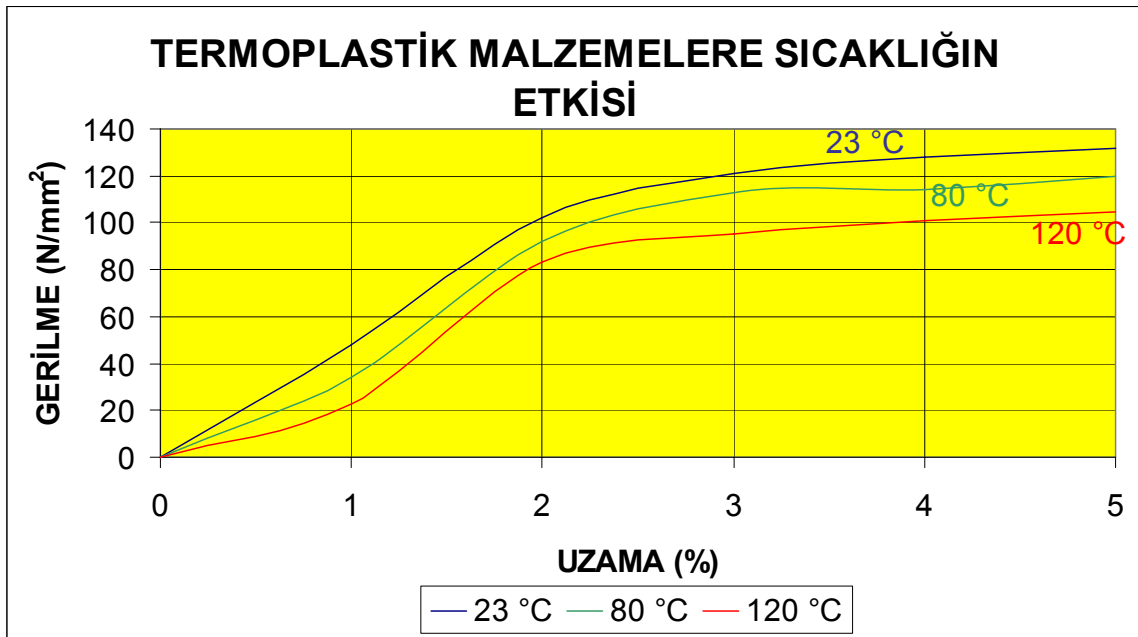


Şekil 2.4. Termoset Malzemelerin Çekme Diyagramları

Aksi istenmediği sürece deneyler, deney parçasının deneye hazırlandığı atmosfer şartlarında yani oda sıcaklığında gerçekleştirilir. Çünkü sıcaklık plastiğin özelliklerini oldukça fazla etkiler. Şekil 2.5’de bir termoset plastiğe, şekil 2.6’da bir termoplast plastiğe ait çekme diyagramının sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Bu diyagramlar sıcaklığın plastiğe etkisinin ne kadar fazla olduğunu göstermektedir(Lever ve Rhys, 1968).



Şekil 2.5. Termoset Malzemelere Sıcaklığın Etkisi (Lever ve Rhys, 1968)



**Şekil 2.6.** Termoplastik Malzemelere Sıcaklığın Etkisi (Lever ve Rhys, 1968)

Deney esnasında daha sonra hesaplarda kullanılmak üzere gözlenen kuvvet, buna tekabül eden uzunluk artışı ile çeneler arasındaki mesafe kaydedilir. Dikkat edilmesi gereken husus her örnek için en az 5 deney yapıлып ortalamasının alınmasıdır. Bu değerler ile gerilme, uzama ve molekül hesapları yapılır. Ayrıca poisson oranı hesaplanır.

Gerilme hesapları deney parçasının başlangıç kesit alanı esas alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Burada;

$\sigma$  : Aranılan gerilme değeri, MPa

F : Ölçülen ilgili kuvvet, N

A : Deney parçasının kesit alanı, mm<sup>2</sup>

Uzama hesaplamaları başlangıç ölçme uzunluğu esas alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \quad (2.2)$$

Burada;

$\varepsilon$  : Uzama, boyutsuz olarak veya yüzde, (%)

$L_0$  : Deney parçasının ilk ölçme uzunluğu, (mm)

$\Delta L_0$  : Ölçme uzunluğundaki artış, (mm)

Modül hesaplamaları, elastite modülü (gerilme elastik modülü) önceden belirlenmiş iki uzama değeri esas alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (2.3)$$

Burada;

$E_t$  : Elastite modülü (gerilme elastite modülü), (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_1$  : Uzama değeri,  $\varepsilon_1$  : 0,0005 olduğunda ölçülen gerilme, (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_2$  : Uzama değeri,  $\varepsilon_2$  : 0,0025 olduğunda ölçülen gerilme, (N/mm<sup>2</sup>)

Poisson oranı istendiğinde, poisson oranı birbirine dik iki boyut değişimi değeri esas alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\mu_n = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon} \quad (2.4)$$

Burada,

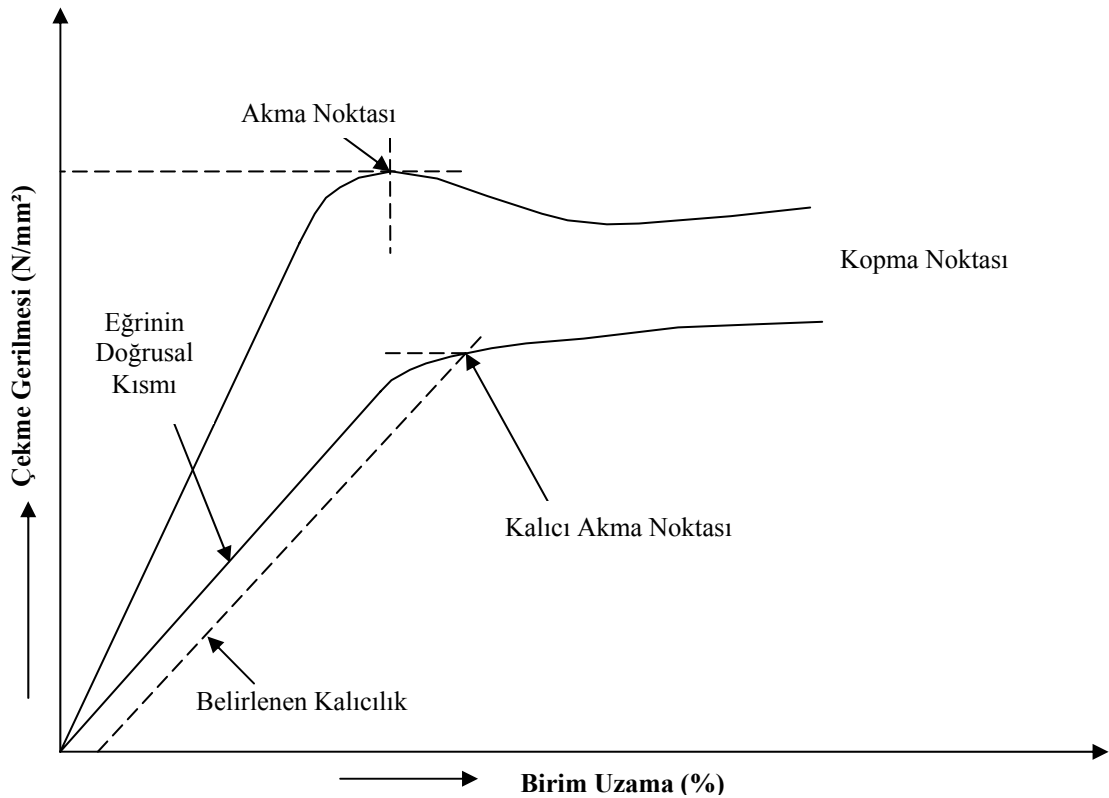
$\mu_n$  : Poisson oranı, boyutsuz

$\varepsilon$  : Uzama (Uzunlamasına yöndeki boyut değişimi), %

$\varepsilon_n$  : İncelme (Kalınlık (h) veya genişlikteki (b) değişim), %

Çekme deneyleri, plastik malzemenin mekanik dayanımını gösterir. Bu yolla iki ucundan kafalara tutturulup ( mümkün ise kopma noktasına kadar ) uzatmak için gerekli mekanik güç miktarı belirlenmekte, uzama miktarı uygulanan güç göz önünde bulundurularak esneklik veya kırılgenlik hakkında yargıya varılabilmektedir. Deneyde, elastik yapıdaki plastiklerin fazla, sert ve kırılgen yapıda olanların ise az birim uzama miktarlarının olduğu dikkate alınmalıdır. Uzama miktarlarının darbe dayanımının bir göstergesi olduğu da bilinmektedir (Savaşçı ve diğ. 2002).

Birim uzamaya karşı çizilen gerilme eğrilerinin altında kalan alan darbe dayanımı ile orantılıdır. Bu alan ne kadar büyük ise, malzeme, mekanik açıdan o kadar darbe dayanımlı ve güçlü olmaktadır. Bu nedenle, kopma anında uygulanan mekanik güç miktarının (kopma dayanımı) yüksek olması şüphesiz istenilen bir husus olmasına karşın; kopma anına kadar olan kısımda eğriler altında kalan alan (kopma anına kadar gerekli mekanik enerji ile orantılıdır), en az o kadar önemlidir ve bu değerinde yüksek olması istenir. Örneğin, kopma anında uygulanan mekanik gerilme değeri yüksek olan bir plastik türünde; gerilme-uzama eğrilerinin kopmaya kadar olan kısmında eğrinin altında kalan alan küçükse, yani bu malzeme çok az uzuyorsa, söz konusu malzeme kırılgan olacaktır. Şekilden görüldüğü gibi, gerilim / uzama eğrilerinde, ayrıca yükte herhangi bir artış olmadan uzamanın olduğu ilk nokta olan '*akma noktası*' bulunmaktadır. Çekme gerilmesi/uzama oranının sabit olduğu bölgede bu orana '*H : Elastite Modülü*' adı verilir ve birim yine ( $N/mm^2$ ) dir (Savaşçı ve diğ., 2002).



**Şekil 2.7** Çekme (Gerilme) Deneylerinden Elde Edilen Yük/Uzama Eğrileri  
(Savaşçı ve diğ., 2002)



**Çizelge 2.2.** Bazı Malzemelerin Elastite Modülleri (Yaşar, 2001)

<b>Malzeme</b>	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Poisson Oranı</b>
Elmas	80x10 <sup>4</sup>	0.2
Çelik	22x10 <sup>4</sup>	0.28
Bakır	17x10 <sup>4</sup>	0.34
YYPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)	2x10 <sup>3</sup>	0,28
MMA	3.7x10 <sup>3</sup>	0.33
PS	3.4x10 <sup>3</sup>	0.33
Doğal Kauçuk	1	0.5
Nylon 66	2x10 <sup>3</sup>	0.4
AYPE (Alçak Yoğunluklu Polietilen)	5x10 <sup>2</sup>	0.4

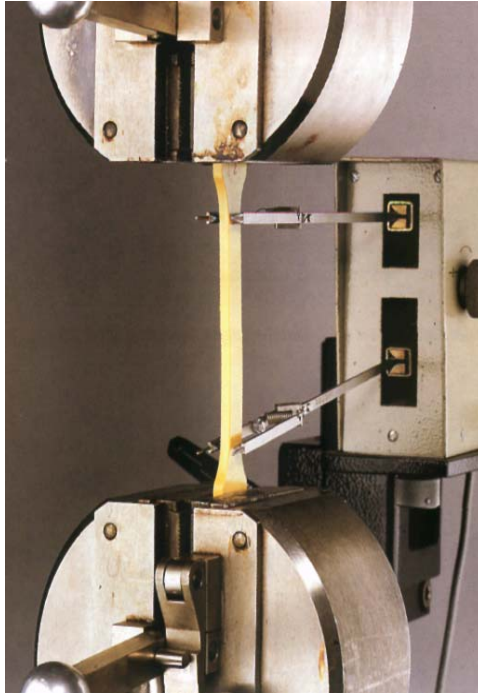
### 2.2.1. Çekme Deneyi Cihazı

Çekme deneyi cihazı öncelikli olarak Çizelge 2.3’de verilen deney hızlarını sağlayabilmelidir.

**Çizelge 2.3.** Çekme Deney Cihazı için Tavsiye Edilen Deney Hızları

Hız mm/min	Tolerans %
1	±20
2	±20
5	±20
10	±20
20	±10
50	±10
100	±10
200	±10
500	±10

Deney parçasının tutturulduğu parçalar, deney parçasının uzunlama eksenini ile çeneler arasındaki merkez hattından geçen çekme yönü üst üste çakışacak şekilde cihaza monte edilmelidir. Bu çakıştırma işlemi, çenelerde merkezleme pimleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Deney parçasının çeneler arasında kayması mümkün olduğunca önlenmelidir. Bu işlem; tercihen, deney parçasına uygulanan kuvvet arttırıldıkça, çenenin deney parçasına uyguladığı basıncın sabit kaldığı veya arttığı çene tipleri kullanılarak yapılabilir. Böylece bu sıkıştırma işlemi çenelerde vaktinden evvel kopmaya sebep olmaz. Şekil 2.8.'de numunenin deney cihazına bağlanmış şekli örnek olarak gösterilmiştir (TS 1168-1 EN ISO 527, 1997).



**Şekil 2.8.** Çekme Deneyi Numunesinin Deney Cihazına Bağlanmış Şekli

Yük göstergesi, çeneler arasında tutulan deney parçasına uygulanan toplam gerilme, yükü gösterebilen bir mekanizmaya sahip olmalıdır. Bu mekanizma, belirtilen deney hızında uygulanan yükü temelde bir gecikme olmadan ve gerçek değerinin en az %1'i doğrulukla göstermelidir.

Uzama Ölçer deneyin herhangi bir anında deney parçasının üzerinde bulunan ölçme uzunluğunda meydana gelen bağıl değişkenliği tayin edebilmelidir. Bu cihazın uzunluktaki değişmeyi otomatik olarak kaydetmesi tercih edilir. Cihaz, esas olarak, belirtilen deney hızında gecikme göstermemeli ve ölçme uzunluğundaki değişmeyi ilgili

değerin en az % 1'i doğrulukla göstermelidir. Bu değer, 50 mm'lik ölçme uzunluğu esas alındığında modül ölçümü için  $\pm 1$  mm'ye tekabül eder. Deney parçasına bir uzama ölçer tutturulurken parçada meydana gelecek deformasyonun veya hasarın minimumda tutulmasına gayret edilmelidir. Uzama ölçerle deney parçası arasında kayma olmaması önemlidir. Alternatif olarak, deney parçaları üzerine uzunlamasına boyut değişimi ölçerleri de yerleştirilebilir. Boyut değişimi ölçerlerin doğruluğu, ilgili değer en az %1'i olmalıdır. Bu değer modül ölçümü için 20 mikrometre boyut değişimi doğruluğuna tekabül eder. Boyut değişimi ölçerler, yüzey hazırlama ve bağlam maddeleri, söz konusu malzeme üzerinde yeterli performans gösterecek şekilde seçilmelidir. Şekil 2.9.'da standart deney sonrası termoset bir numunedeki gevrek kırılma ve uzama ölçer görülmektedir.



**Şekil 2.9.** Çekme Deneyi Sonrası Numune ve Uzama Ölçer

Deney cihazının yanı sıra deney parçalarının genişlik ve kalınlığını ölçme aletleri de standartlara uygun olmalıdır. Rijid (esnemez) malzemelerin boyutlarını ölçmek için 0,02 mm'yi veya daha küçük değerleri okuyabilen ve deney parçasının kalınlığını ve genişliğini ölçebilen bir mekanizmaya sahip bir mikrometre veya eşdeğer alet kullanılmalıdır. Mikrometrenin baskı ayaklarının boyutları ve şekli ölçüme tabi tutulan deney parçalarına uygun olmalı ve deney parçası üzerinde, ölçülen boyutu fark edilebilir oranda değişikliğe uğratabilecek büyüklükte bir kuvvet yaratmamalıdır. Esnek malzemelerin boyutlarını ölçmek için 0,02 mm'yi veya daha küçük değerleri okuyabilen

ve kalınlık ölçümü için malzemeye  $20 \text{ kPa} \pm 3 \text{ kPa}$ 'lık bir basınç uygulayan düz ve dairesel ayağı bulunan kadranlı kalınlık ölçer kullanılmalıdır (Swift, 1995).

### 2.2.2. Plastiklerin Gerilme Eğrileri

**Deformasyon;** Malzemenin bilinen bir gerilme altında akması, akışkan davranış göstermesi ve boyut değiştirmesidir.

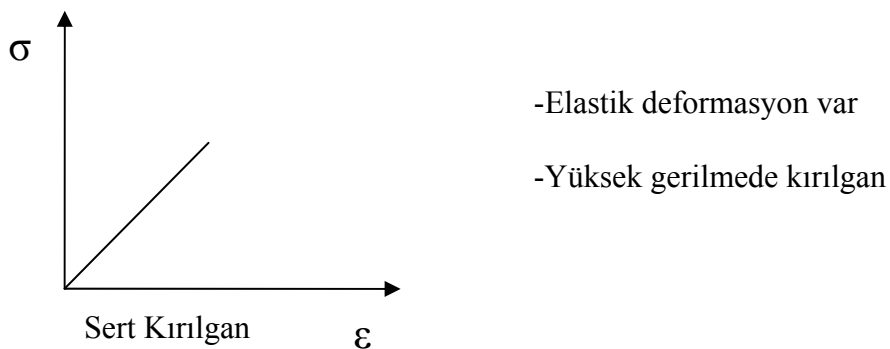
**Gerilim gevşemesi;** Polimerik malzeme belirlenen gerilim altında deforme edilir. Deformasyonun yarattığı gerilme direncinin değişimi zamana karşı ölçülür. Yarı kristalli polimerlerde kristal yüzdesi gerilme gevşemesini etkiler. Gerilme gevşemesi değerlerine göre kristal yüzdesi hakkında yani polimer hakkında bilgi sahibi olabiliriz.

**Akma verimi;** Plastik deformasyonun başlaması ile kopma anı arasındaki uzama yüzdesidir.

Plastiklerinin çekme özelliklerinin değişmesinde katkı malzemelerin etkisi büyüktür. Plastikten istenilen özelliklere göre kullanılan bu katkıları plastiğin yapısını da değiştirmektedir. Bu nedenle aynı plastiğin farklı dolgu malzemeli üretimlerinden elde edilen ürün farklı yapı gösterebilir (Öztürk, 2002).

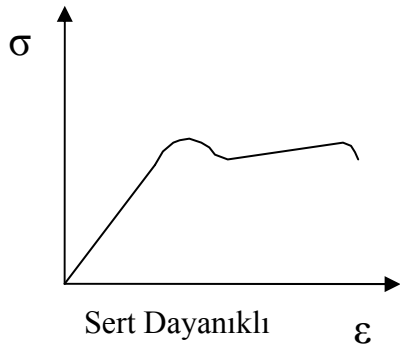
Plastikler genel olarak dört tip gerilme eğrisi oluştururlar. Bu eğrilere göre sert kırılğan, sert dayanıklı, yumuşak zayıf ve yumuşak dayanıklı olarak adlandırılırlar.

#### 2.2.2.1. Sert kırılğan



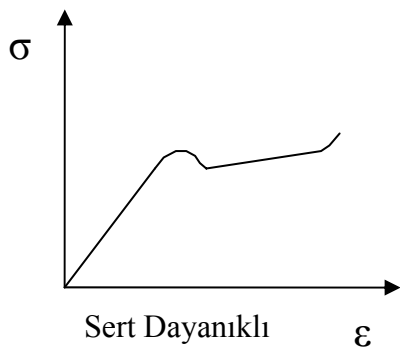
**Şekil 2.10** Sert Kırılğan Malzemelerin Gerilme Eğrileri

### 2.2.2.2. Sert dayanıklı



-Kırılma soğuk çekmeden sonra ani düşüşü izler.

-Yarı kristalli polimerlerde (kristal yüzdesi %20'nin üzerinde) ve düşük molekül ağırlıklı amorf polimerlerde gözlenir.



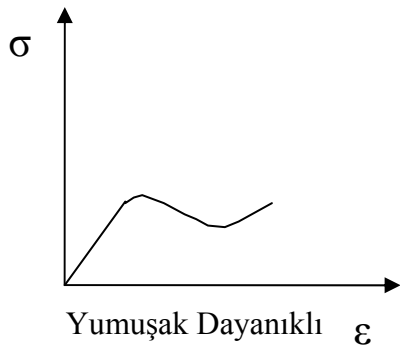
-Kırılmadan önce gerilme direncinde hızla artış gözlenir.

-Yarı kristalli polimerlerde gözlenir.

**Şekil 2.11.** Sert Dayanıklı Malzemelerin Gerilme Eğrileri

Soğuk çekme moleküllerde çekilme yönünde kaymasına neden olur. Ayrıca moleküller arasında ve içinde belli bir gerilme birleşmesi olur. Ön gerilme olarak bilinen bu olay gerilme direncinin artmasına neden olur.

### 2.2.2.3. Yumuşak dayanıklı

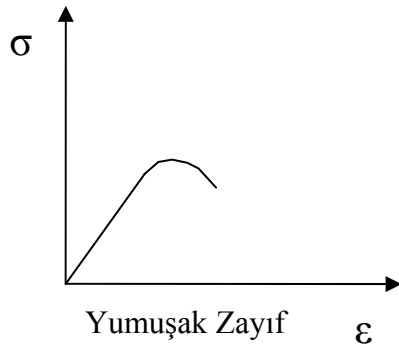


-Gerilme direnci hemen hemen yok gibidir.

-Kauçuk özellik gösteren polimerlerde gözlenir.

**Şekil 2.12.** Yumuşak Dayanıklı Malzemelerin Gerilme Eğrileri

#### 2.2.2.4. Yumuşak zayıf



-Polimer malzeme daha az uzama gösteriyor.

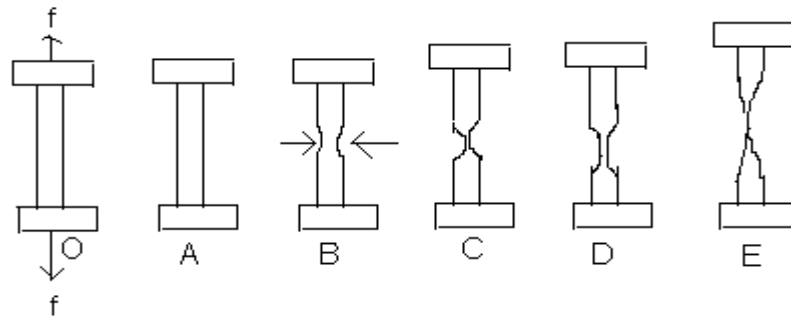
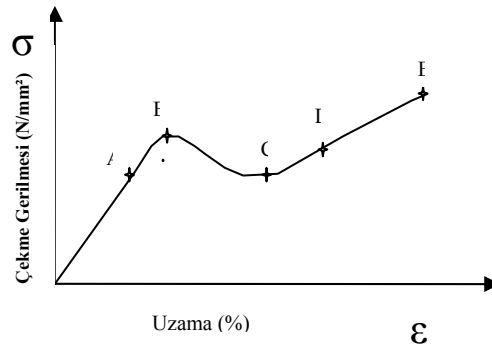
Şekil 2.13. Yumuşak Zayıf Malzemelerin Gerilme Eğrileri

Çizelge 2.4. Gerilme Eğrileri Sonucu Ortaya Çıkan Sonuçlar

Mekanik Davranış	Elastite Modülü	Akma Verimi	Kopmada Gerilim Direnci	Kopmada uzama yüzdesi (%)	Örnek polimerler
Yumuşak-zayıf	Düşük	Gözlenmeyebilir çok düşük	Düşük	150	Kauçuk ve Türevleri
Yumuşak-dayanıklı	Düşük	Gözlenmeyebilir çok düşük	Düşük	500	Kauçuk ve plastifiyanlı PVC türleri
Sert-dayanıklı	Yüksek	Yüksek	Yüksek	300	Yarı kristalli polimerler
Sert-kırılgan	Yüksek	Yok	Yüksek	Çok az	Termoset polimerler

Şekil 2.10., 2.11., 2.12. ve 2.13.'de görülen çekme eğrilerinin özellikleri çizelge 2.4.'de elastite modülü, akma verimi, kopma gerilme direnci ve kopmada uzama yüzdesi değerleri irdelenerek açıklanmıştır.

Yukarıdaki çekme davranışlarına göre termoplastların gerilme eğrisi incelenecek olursa;



**Şekil 2.14.** Termoplastların Çekme Deneyi Davranışları

*O-A* : Gerilme direnci uzama eğrisi düzgün doğrudur. Bu davranış elastik deformasyondur. Doğrunun eğimi elastite modülüdür.

*A-B* : Gerilme direnci ( $\sigma$ ) artışı, gerilmenin artmasına karşın azalmıştır. B noktasında bu değer maksimumuna ulaşmıştır. B noktası polimerin akma verimidir.

*B-C* : Polimerde boyun oluşmasının olduğu bölgedir. Plastik deformasyon ve akma boyun üzerinden çekme sürdükçe devam eder. Boyun oluşmasının tamamlanması C noktasında biter.

*C-D* : Gerilme direnci hemen hemen sabittir. Zincirler akma gösterir. Uzama devam ettiği sürece zincirler çekilme doğrultusunda yönlendirler. Bu tür işleme soğuk çekme veya soğuk akma denir. D noktasında daha düzenli bir hal alır.

*D-E* : Soğuk çekmenin veya plastik akmanın bittiği ve deformasyon sertleşmesi sonucu polimerde gerilme direncinin hızla arttığı bölgedir.

*E* : Bu noktada kopma meydana gelir.

Çekme sıcaklığı polimerlerin mekanik özelliklerinde çekme hızından daha etkindir. Çekme sıcaklığının azalması yüksek gerilme direnci ve elastite modülü ile uzamada azalmaya neden olur (Ward, 1983).

Plastiklerin sert, yumuşak veya elastik olmalarını nitelendiren önemli bir kavram da ‘‘Kohezyon Enerjisi Yoğunluğu’’ dur. Kohezyon enerjisi yoğunluğu moleküller arası çekim kuvvetinin ölçüsüdür. Moleküllerin çekim enerjilerinin yüksek olduğu, veya düşük olduğu oranlarda plastikler rijit veya yumuşak olabilmektedir. Bir bakıma kohezyon enerjisi yoğunluğu plastiklerin belirli mekanik özelliklerini tarif etmektedir. Kohezyon enerjisi yoğunluğu birimi cal / cm<sup>3</sup> ‘tür (Ward, 1983).



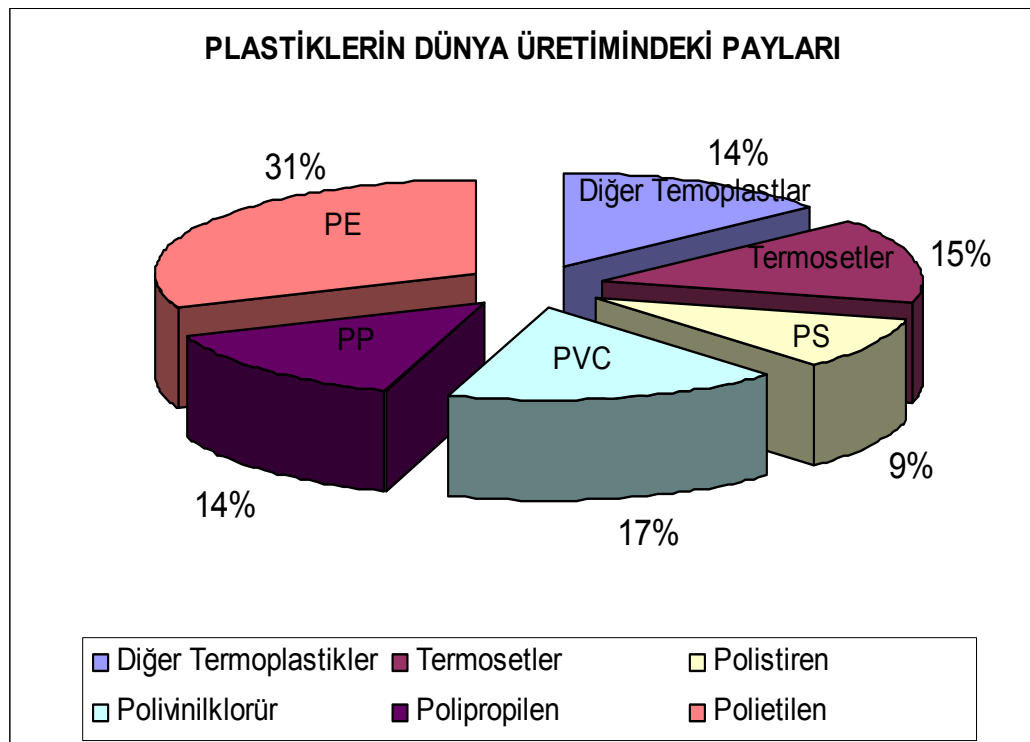
## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### PLASTİKLER VE ÇEVRE

#### 3. PLASTİKLER VE ÇEVRE

##### 3.1 Dünyada ve Türkiye’de Plastikler

Dünyada her yıl milyonlarca ton plastik üretilip tüketilmektedir. Ayrıca üretilip tüketilen plastiklerin türleri de oldukça çeşitlidir. Ancak şekil 3.1.’den görüleceği gibi, bazı plastiklerin üretim ve tüketimleri toplam içinde önemli bir paya sahiptir.



**Şekil 3.1.** Bazı Plastiklerin Toplam Dünya Üretimindeki Payları  
(Savaşçı ve diğ., 2002)

Grafikten de anlaşılacağı gibi kullanılan plastiklerin % 85'ini termoplastlar oluşturmaktadır. Bu nedenle termoplast malzemelerin geri dönüşümü ve geri dönüştürülen malzemelerin kullanılabilirliği önem kazanmaktadır. Petrokimya ile iç içe olan plastik malzemelerin doğa ile dost olarak üretilip tüketilmesi şüphesiz çok önemlidir.

**Çizelge 3.1.** Yaygın Kullanılan Plastiklerin Yıllık Tüketim Artış Hızları, %  
(Savaşçı ve diğ., 2002)

Bölge	AYPE	YYPE	PP	PVC	PS	Diğerleri
Kuzey Amerika	2,7	3,9	5,8	3,7	2,8	4,8
Güney Amerika	7,6	5,6	7,8	7	5,6	3,8
Batı Avrupa	2,8	3,2	3,9	2,7	2,8	3,1
Doğu Avrupa	2,4	3,7	3,8	2,5	3,8	2,6
Ortadoğu	4	5,6	8,7	5,5	2,9	7,6
Asya	5,8	5,1	6,3	4,1	4,3	3,9
<b>Dünya Ortalaması</b>	3,7	4,1	5,5	3,7	3,5	3,8

**Çizelge 3.2.** Plastiklerin Kullanılma Alanları (Savaşçı ve diğ., 2002)

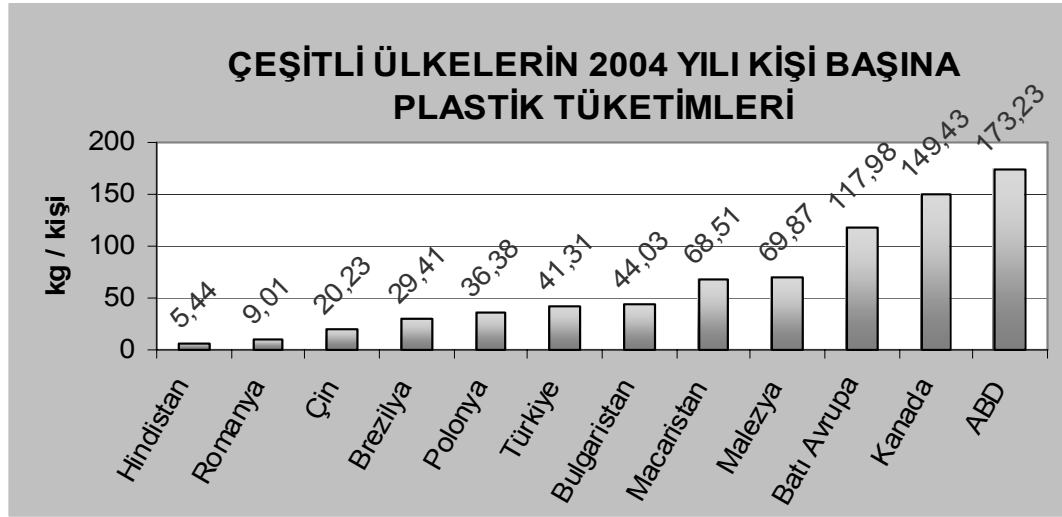
Uygulama Alanı	Toplam Tüketimdeki Payı, %
Günlük ve yaygın uygulamalar	7
Otomotiv ve havacılık sanayi	9
Elektrik-Elektronik	24
İnşaat	29
Ambalaj	31

Dünya genelinde plastiklerin kullanım alanları ve bu alanların toplam tüketim içindeki payları çizelge 3.2.'de verilmektedir. Bu tablodan görüldüğü gibi plastikler, elektronikten günlük uygulamalara, havacılık ve uzaydan ambalaja kadar çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ancak ambalaj ve inşaat uygulamalarının en büyük tüketim alanları olduğu anlaşılmaktadır.

**Çizelge 3.3.** Bazı Ülkelerin 2004 Yılı Kişi Başına Plastik Tüketimleri (kg/kişi)  
(Savaşçı ve diğ., 2002)

Ülke	AYPE	YYPE	PVC	PP	PS	Diğerleri	Toplam
Hindistan	0,85	1,19	1,28	1,53	0,32	0,17	5,44
Romanya	2,89	1,53	1,12	2,21	0,96	0,017	9,01
Çin	4,59	2,89	4,16	4,08	2,4	3,23	20,23
Brezilya	7,14	6,46	5,92	6,46	2,4	0,51	29,41
Polonya	9,69	6,46	6,24	11,22	2,08	0,17	36,38
Türkiye	9,69	4,08	11,36	10,54	4,16	0,85	41,31
Bulgaristan	9,69	1,87	9,92	15,64	5,6	0,17	44,03
Macaristan	17,34	11,05	15,36	15,13	8,48	0,34	68,51
Malezya	15,3	11,22	15,68	8,33	10,24	7,48	69,87
Batı Avrupa	30,26	19,55	28,48	24,48	9,44	3,23	117,98
Kanada	38,25	30,77	22,08	35,87	10,72	3,57	149,43
ABD	41,65	38,42	34,88	36,72	14,56	3,91	173,23

Gelişen teknoloji ve sanayi ile birlikte kişi başına tüketilen plastik miktarlarında her yıl gözle görülür bir artış olmaktadır. 2003 yılı verileri ile karşılaştırma yapıldığında 2004 yılı kişi başı plastik tüketimi dünya genelinde %3,8 artış göstermiştir. Buda plastik tüketiminin kaçınılmaz artışının bir göstergesidir. Şekil 3.2.'de çeşitli ülkelerin 2004 yılı kişi başına plastik tüketimleri görülmektedir.



**Şekil 3.2.** Çeşitli Ülkelerin 2004 Yılı Kişi Başına Plastik Tüketimleri  
(Savaşçı ve diğ., 2002)

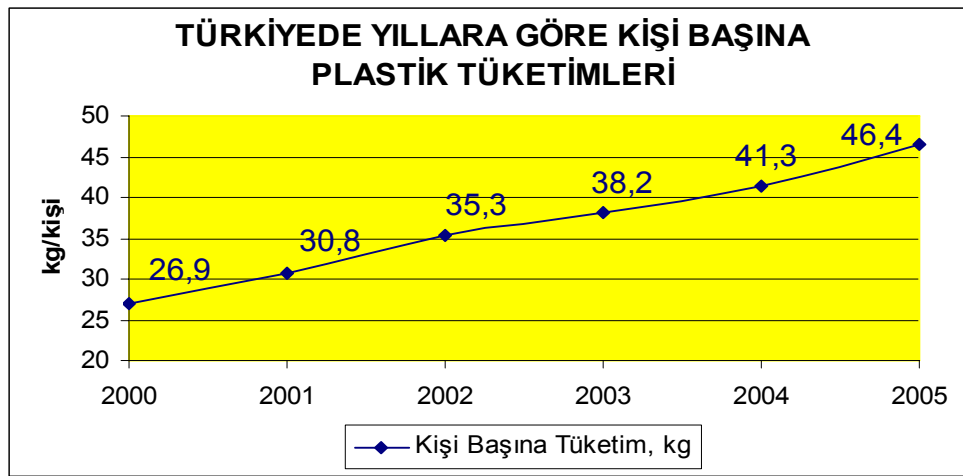
Çizelge 3.1., 3.2., 3.3. ve Şekil 3.1., 3.2.'i incelenir ise;

- ✓ Dünyada en fazla tüketilen plastik polietilen (PE) olup, onu sırası ile polivinilklorür (PVC), toplam termosetler, polipropilen (PP), toplam diğer termoplastikler, ve polistiren (PS) izler (Şekil 3.1. ).
- ✓ Dünyadaki yıllık plastik tüketim artış hızı %4 değerinde dengelenmektedir. Dünyanın gelişmiş bölgelerinde yıllık tüketim artış hızları oldukça fazladır (Çizelge 3.3. ).
- ✓ Yıllık tüketim artış hızı en fazla polipropilende görülmektedir. Polipropileni yüksek yoğunluklu polietilen izlemektedir (Çizelge 3.3. ).
- ✓ Plastiklerin en yaygın kullanım alanları %31 ortalamayla ambalaj sektörüdür (Çizelge 3.2. ).
- ✓ Kişi başına plastik tüketim miktarları fazla olan ülkelerin tamamı gelişimini tamamlamış ülkelerdir (Şekil 3.2. ).
- ✓ ABD'nin 173 kg/kişi ile başı çektiği kişi başı plastik tüketiminde Türkiye 42 kg/kişi ile gelişmekte olan ülkeler arasındadır (Çizelge 3.3. ).

Türkiye’de; yıllara göre kişi başı tüketim miktarları çizelge 3.4.’de ve Şekil 3.3.’de, plastiklerin kullanım alanları çizelge 3.5.’de görülmektedir.

**Çizelge 3.4.** Türkiye’de Yıllara Göre Kişi Başına Plastik Tüketimleri (kg/kişi)

Yıllar	Kişi Başına Tüketim, kg
2000	26,9
2001	30,8
2002	35,3
2003	38,2
2004	41,3
2005	46,4



**Şekil 3.3.** Türkiye’de Yıllara Göre Kişi Başı Plastik Tüketimleri (Savaşçı ve diğ., 2002)

**Çizelge 3.5.** Türkiye’de Plastiklerin Kullanım Alanları (Savaşçı ve diğ., 2002)

Kullanım Alanı	Toplam Tüketimdeki Payı, %
Boru ve boru parçaları	21,04
Film, levha ve yer karoları	32,45
Enjeksiyonla üretilen ürünler	16,66
Şişirme ile üretilen ürünler	8,77
Rotasyon tekniği ile kalıplanmış ürünler	0,06
Şişeler	1,24
Sentetik deri	0,71
Ayakkabı ve ayakkabı tabanı	0,41
İplik ve halat üretimi	0,51
PS, PA, PE, PVC köpükler	5,26
PP ağır hizmet torbaları	2,68
Kablo ve tel kaplama	3,11
Elyaf	0,92
Masterbatch üretimi	2,67
Diğerleri	3,51

### 3.2. Plastikler ve Çevre

Plastiklerin tamamının organik bileşiklerden oluşmasından dolayı dezavantajlarının başında doğada yok olma süreçlerinin çok uzun olması gelmektedir. Bilinçli toplumlarda atıklar (cam, kağıt, plastik v.s.) ayrılarak farklı yerlerde depolanması sağlanır, böylelikle geri dönüşüm kolaylaşır. Ülkemizde bu durum yeterince uygulanmamaktadır. Çevre kadar önemli bir olayda ekonomidir. Atıkların değerlendirilmesi ülkelerin ekonomisinde önemli bir unsur teşkil eder. Bu uygulamaları yapan ülkelerin gelişmiş ülkeler olduğu ve konuyla ilgili detay grafiklerle ilerleyen bölümlerde irdelenecektir.



**Şekil 3.4.** Plastiklerin Yarattığı Çevre Kirliliği

Kullanılan plastik ambalajların geri kazanılması, bu atıkların çevreye verdikleri olumsuz etkiyi azaltmak için uygulanan en etkin yöntemlerden biridir. Bu bağlamda, çevrenin korunması ve Avrupa Topluluğu'na üye ülkelerin çevresel atıklarla ilgili kurallar arasındaki farklılıkları azaltma hedeflenerek topluluk tarafından 1994 yılında, ambalaj ve ambalaj atıkları konusunda yönlendirici bir direktif yayınlanmıştır. Bu direktif, geri dönüşüme uyum için beş yıllık bir süre belirlemiş ve üye ülkelere de bu konuda bazı sorumluluklar yüklenmiştir.

Avrupa komisyonu da geri kazanım konusundaki çalışmalarını hızlandırmaktadır. 2006 yılından itibaren geçerli olması beklenen bazı kurallar, ambalaj atıkları verilerinden yola çıkarak her ülke için optimum geri kazanım ve geri dönüşüm hedeflerinin ne olması gerektiğini içermektedir. Türkiye'de plastik ambalajda ortalama geri kazanım oranı 2001

yılı itibariyle % 33'tür. 2001 yılında pazara sürülen 1 milyon ton plastik ambalajdan, 380 bin tonu geri kazanılmıştır. PET şişe geri dönüşümünde ise Türkiye; İtalya, Fransa, İsviçre ve Belçika'dan sonra beşinci sırada yer almaktadır. Avrupa Birliğine aday ülkelerde ambalaj ve geri kazanım yasalarına uyum konusunda önemli çalışmalar yürütülmektedirler. Zorunlu ambalaj geri kazanım yasası, Estonya ve Türkiye tarafından, diğer aday ülkelere çok daha önce kabul edilmiş ve yürürlüğe konmuştur. 2000 yılı verilerine göre, Türkiye ve Çekoslovakya'nın geri kazanım konusunda yüzde 25-30 oranında geri kazanım gerçekleştirdiği görülmektedir. AB'ye aday tüm ülkelerde, bu yasanın topluluğa uyumlu hale getirilmesi çalışmaları hala devam etmektedir (Savaşçı ve diğ., 2002).

### **3.3. Katı Atıklardan Plastiklerin Geri Kazanılması**

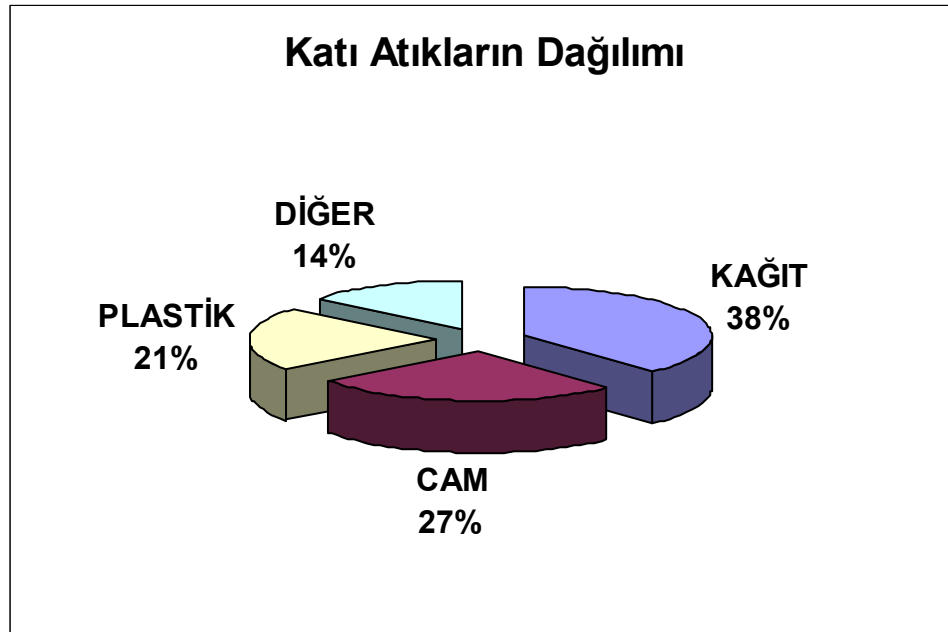
Son yıllarda önemli boyutlara ulaşan katı atıklar sorunu, ülkelerin gündemini 1980'li yıllardan bu yana oluşturmaktadır. Katı atıklarla ilgili politikalar, başlıca üç temel başlık altında toplanabilir:

- ✓ Atığın kaynağında önlenmesi veya atık azaltımı,
- ✓ Katı atıklar içinde yer alan çeşitli maddelerin geri döndürülerek yeniden kullanımı,
- ✓ Yeniden kullanılamayacak kısmın, emniyetli biçimde yok edilmesi ve/veya depolanması,
- ✓ Katı atıkların gömüleceği alanların tükenmesi veya sayılarının çok azalması,

Bu politika başlıklarına ulaşılmasının önemli nedenlerinin en belli başlıları ise,

- ✓ Katı atıkların yakılması ile ilgili çeşitli sorunların bulunması ve yakılmaya karşı oluşan kamuoyu baskıları,
- ✓ Hidrokarbon kaynaklarının sorumsuzca kullanılmasına karşı oluşan bilim çevreleri ve kamuoyu baskıları,
- ✓ Dünya atmosferinin ısınmasına katkıda bulunan emisyonların giderek artmasıdır.

Polimerler; plastik, lastik ve kauçuk malzemelerin temel yapı taşları olarak yaygın kullanım alanı bulmakta ve her yıl dünyamızda binlerce ton (yaklaşık 450 milyon ton) olarak tüketilmektedir. Bu plastiklerin içinde ise 370 milyon tonla termoplastikler başta gelmektedir. Bu uygulama alanları içinde %31'lik bir payla ambalaj malzemeleri en ön sırada yer almaktadır (Savaşçı ve diğ., 2002).

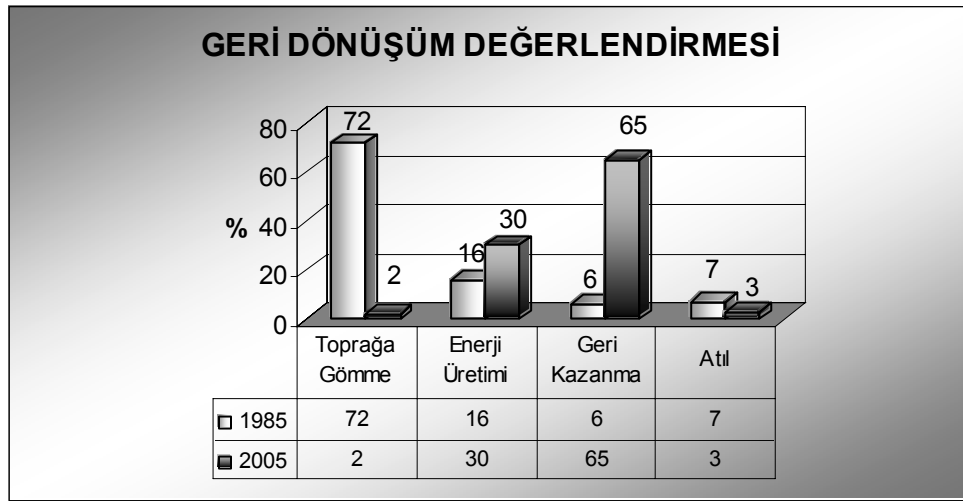


**Şekil 3.5.** Katı Atıklar İçerisinde Plastikler

Plastiklerin uygulama alanlarına göre tüketim yüzdelerinin dağılımı, ülkemizde de; dünya geneline büyük bir paralellik göstermektedir. Bu tüketim alanlarında ambalaj malzemelerinin kullanım ömrü 1-3 ay gibi az olup üretimlerinden çok kısa bir süre sonra evsel katı atıklar içindeki yerlerini almaktadırlar. Dayanıklı tüketim malzemelerinde yer alan plastiklerin 1-5 inşaat sektöründe kullanılan plastiklerin ise 5-25 yıllık faydalı kullanım ömürleri ile plastik katı atıklara çok fazla katkıda bulunmayacakları, açıktır. Bu nedenle, katı atıklardaki plastikler sorununa; bir ölçüde katı atıklar içindeki plastik ambalaj malzemelerin yarattığı bir sorun olarak bakmak gerekir. Katı atıkların ağırlıkça %11'ini oluşturan plastik ambalaj malzemelerinin hemen hemen yarısını polietilen malzemeler (AYPE, YYPE ve LAYPE) oluşturmaktadır.

Evsel katı atıkların işleme yöntemi Avrupa'da dahi halen ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Bu farklılık katı atıklardaki plastiklerin geri kazanım yöntemlerine de yansımaktadır. Örneğin, katı atıkların Fransa'da %32'si, İsveç'te %50'si,

Danimarka'da %65'i ve İsviçre'de 80'i enerji üretimi için kontrollü bir şekilde yakılırken; İngiltere'de yaklaşık %80'i toprağa gömülmektedir. Almanya'da ise daha şimdiden oldukça ileri hedefleri olan katı atıklardaki değişik maddelerin geri toplanarak malzeme olarak kullanımı uygulaması başlamış bulunmaktadır. Plastiklerin katı atıklardan geri kazanılıp yeniden kullanımı için bir Avrupa ortalamasından söz etmek mümkün olabilmektedir. Şekil 3.6.'da yönetmelik ve tüzüklerle AET için belirlenmiş olan katı atıklardan plastiklerin geri kazanım değerleri gösterilmektedir (Ives ve diğ.,1971).



**Şekil 3.6.** Geri Dönüşüm Değerlendirilmesi

Plastiklerin katı atıklardan plastik malzeme olarak geri kazanılmasının belli başlı aşamaları şunlardır:




- ✓ Plastiklerin katı atıklardan toplanması,
- ✓ Gerekiyor ise toplanan atıkların sıkıştırılıp yoğunlaştırılması,
- ✓ Yoğunlaştırılan atık plastiklerin sınıflandırılarak işlenmesi.

Plastiklerin katı atıklardan sağlıklı bir biçimde toplanması, plastiklerin malzeme olarak geri kazanımının temelini oluşturmaktadır. Bu konuda tercih edilen yöntem, katı atıkların kaynağında sınıflandırılarak toplanmasıdır. Bu amaçla, batı'da hazırlanmış olan çeşitli tüzük ve yönetmeliklerin yanı sıra, yoğun bir kamuoyu bilinçlendirilmesi ve eğitim programları da yürütülmektedir. Almanya'nın yeşil nokta uygulamasında olduğu gibi bazı hallerde zorunlu ve ekonomik hayatı etkileyici boyutlarda olan uygulamalara da rastlanılmaktadır. Aksi takdirde, plastikler; katı atıklardan elle toplanmakta, bu ise geri



kazanılmış plastiğin maliyetine artış getirmektedir. Her iki durumda da iyi bir toplama sisteminin geliştirilmesi esas olmaktadır(Ives ve diğ.,1971).

**Çizelge 3.6.** Plastiklerin Geri Dönüşüm Numaraları ve Kullanım Alanları  
(Crompton, 1991)

Plastiğin Uluslararası Kodu	Plastiğin Adı	Plastiğin Kısa Tanımı	Plastiğin Başlıca Kullanım Alanları	Geri Kazanılan Plastiğin Kullanım Alanları
	Polietilen teraftalat PET	Saydam, Tok Elyaf	Gazlı içecek şişeleri, Tekstil elyafı, Tekstil dolgusu,	Çok katmanlı şişeler, Deterjan şişeleri, Saydam filimler, Elyaf üretimi,
	Yüksek Yoğunluklu Polietilen YYPE	Çok kullanılan bir plastik, Beyaz yada siyah	Alışveriş poşetleri, Dondurucu poşetleri, Süt ve krema şişeleri, Deterjan şişeleri,	Taşıma kasaları, Deterjan şişeleri, Boru, Bidon, Film
	Plastikleştirici içermeyen polivinilklorür UPVC	Sert ve rijid Saydam	Saydam şişeler, Boru ve boru parçaları,	Deterjan şişeleri, Yer karoları, Boru ve boru parçaları,
	Plastikleştirici içeren polivinilklorür PPVC	Esnek, Elastik Saydam	Sulama hortumları, Ayakkabı tabanları, Kan, Serum torbaları,	Endüstriyel kaplamalar, Çok katmanlı şişeler, Çok katmanlı hortumlar,
	Alçak Yoğunluklu Polietilen AYPE	Yumuşak, Esnek,	Şişe kapakları, filmler, Alışveriş torbaları, Sera örtüleri, Sanayi torbaları,	Çöp torbaları, İnşaat örtüleri, Sera örtüleri,
	Polipropilen PP	Sert, Esnek hafif	Dondurma kapları, Çuval, Ambalaj kutuları,	Çöp bidonları, Enjeksiyon malzemeler,
	Polistiren PS	Rijit, Kırılgan Saydam, Camsı	Plastik kap, Paketleme dolgusu Yoğurt kapları	Enjeksiyon malzemeler Ev araç gereçleri Cd kutuları
	Diğerleri	Akrilikler ve Naylonlar dahil diğer plastikleri kapsar.		

Plastiklerin hacim/ağırlık oranının yüksek oluşu, bu atıkların etkin ve ekonomik bir biçimde toplanarak değerlendirilmesinde ciddi sorunlar yaratmaktadır. Bu sonucun

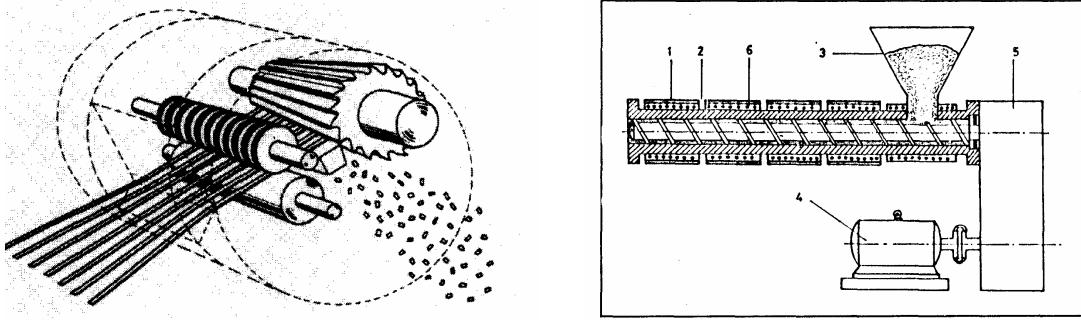
giderilmesi için kamyon üstüne yerleştirilmiş plastik sıkıştırma makineleriyle veya belirli noktalara konulmuş sabit makinelerle plastiklerin sıkıştırılarak toplanması sistemi batı ülkelerinde giderek yaygınlaşmaktadır. Bu amaçla kullanılan makineler iki sınıfta toplanabilir;

‘Compactors’ olarak adlandırılan birinci sınıfa giren makineler daha çok gezici ünitelerde bulunmakta olup, 10 kat gibi ortalama sıkıştırma kapasitesine sahiptir. Bu makineler çeşitli şişelerden filmlere kadar çok çeşitli plastik eşyayı sıkıştırabilir.

‘Flatteners-perforators’ olarak adlandırılan ikinci tip makineler balyalama sistemleriyle birlikte komple birer ünite görünümündedir. Sağladıkları %90'lara varan hacim azalması yanında, sıkıştırılmış plastik atıklardan, otomatik olarak, küçük balyaların hazırlanmasında da kullanılmaktadır. Sıkıştırma yöntemi her ne olursa olsun, sıkıştırma yoluyla; atık plastiklerin buldukları yerden işlenecekleri yere taşınmaları maliyetinden %60'lara varan tasarruf sağlamakta, bir defada taşınabilen miktar %90 arttırılabilmekte ve böylece geri kazanılmış plastiklerin %40 daha fazla gelir elde edilmektedir. Katı atıklardan elle ayırma ile toplanan karışık plastik atıklar; eski uygulamalarda, karışım halinde iken doğrudan kullanılmakta idi. Bu uygulama bugün aşağıda belirtilen nedenlerle tamamen geçerliliğini yitirmiştir. Geri kazanım uygulamasına en yakın olan plastikler; PE, PP, PVC ve PET'dir. Ancak PET'in 220°C olan yüksek erime sıcaklığında PVC'nin bozunması; PVC olmayan uygulamalarda ise poliolefinlerin elde edilen PET'in malzeme olarak özelliklerini kötüleştirme etkisi vardır. Katı atıklardan toplanan plastik malzeme miktarı, her geçen yıl artmaktadır. Bunlara yeterli miktarda tüketim alanı bulmak da giderek zor olmaktadır. Bu nedenle, her plastik türünün imalatta mümkün olduğunca saf eldesi önem kazanmaktadır. Bundan yararlanarak da, atık plastiklerin klasik elle tasnif etme yöntemi yerine otomatik sınıflandırma yapılabilmektedir (Ezdeşir ve diğ., 1999).

Katı atıklardan toplanan plastiklerin sınıflandırılmasında temel amaç, geri kazanılan plastiğin mümkün olabilen en ileri düzeydeki saflıkta ve değişmeyen spesifikasyonda eldesidir. Plastik şişe örneğinde, bu özelliklerin yanında şişelerin renklerine göre de mümkün olduğunca homojen şekilde sınıflandırılması gerekir. Bu nedenle atıklardan toplanan şişeler, önce aynı malzeme ve farklı renklerden yapılmış olan kapak-kapsül ve diğer parçalarından ayrılmalı ve bir eleme işleminden geçirilerek içerdiği taş - toprak v.s.'den temizlenmelidir. Bu işlemden sonra şişeler, bir mıknatıstan geçirilir;

demir esaslı kirlilik böylece ayrılır. Otomatik tasnifte önce bir ultrasonik sensör şişelerin bant üzerindeki konumunu belirler; bir IR sistem plastik türünü saptar, bir otomatik kamera şişe rengini belirler ve bilgisayar yardımı ile bu veriler birleştirilir, şişe tanımlanır. Daha sonra yine bilgisayar komutlu havalı (pnömomatik) bir jet şişeyi, tanımına uygun konveyör bandına iter. Şişelerin sınıflandırılmasında yer alan bu sistemler, geri kazanılan plastiğin saflığını ve kalitesini daha da iyileştirmek için her geçen gün daha da gelişmektedir. Son yıllarda, PVC ve PET şişelerin ayırımı için X-ışınlı sistemler de uygulanmaya başlanmıştır. Ayrıca optik bir sensör ile PP ve renklendirilmemiş YYPE de otomatik olarak birbirinden ayrılabilir. Çok katmanlı (ko-ekstrüde) plastikleri ve bir plastiğin değişik türlerini otomatik olarak ayırıp sınıflandırabilecek sistemlerden bahsedilmeye başlanmıştır.



**Şekil 3.7.** Plastiğin Tekrar İşlenip Pellet Haline Getirilmesi



**Şekil 3.8.** Tekrar İşlenen Plastiğin Yarı Mamul Haline Getirilmesi (Agromer)

Geri kazanılmış plastiklerin tekrar doğrudan kullanılabilme açısından riskli olan ve olmayan hususları, kabaca şu üç grupta toplanabilir: Geri kazanılmış plastikler tıp ve gıda sektöründe hiç kullanılmazlar, Büzülebilir (şirink) filmler, bazı boru üretimleri,

sandviç yapıda laminatlar, endüstriyel amaçlı kullanımı bulunan bazı konteynerler gibi uygulamalarda ise, %90' lara varan geri kazanılmış plastik kullanımı mümkündür.

Belirtilen kullanım alanlarının çeşitliliğine karşın henüz geri kazanılmış plastiklerin önemli bir bölümünü tüketebilecek uygulama alanları belirlenmiş değildir. Çalışmalar yoğun bir şekilde sürmekte olup, geri kazanma konusundaki yasal baskıların da etkisi ile kısa sürede önemli gelişmelerin olması beklenmektedir.

**Çizelge 3.7.** Bir ton PE ve PP Geri Kazanımının Ekonomisi

<b>Gider Kalemi</b>	<b>Euro</b>
Hammadde Gideri	0
Atık Plastiklerin Toplanması	50-60
Plastik Tipine Göre Ayrılması	20-30
Öğütme	40-60
Yıkama ve Kurutma	60-100
Geri Kazanma Maliyeti	170-250
Geri Kazanmanın Karı	30-60
Ufalanmış (Flake) Halinde Plastiğin Satış Fiyatı	200-310
Granül Oluşturma	80
Taşıma	20
Yeniden Katkı Maddesi Eklenmemiş Granül İçin Satış Fiyatı	300-410

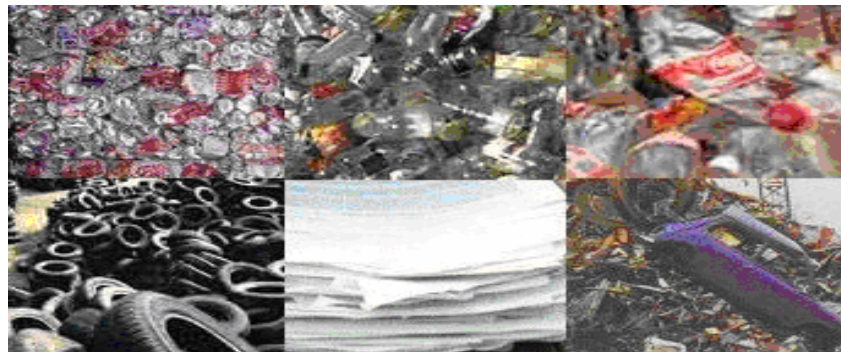
Avrupa'da geri kazanılmış plastiklerin tüketimlerinin, senede yaklaşık %4 civarında artması, buna karşılık ilk üretim plastiklerde bu oranın %3 olması beklenmektedir. Bu ise, 2005 yılına gelindiğinde, Avrupa'da tüketilen plastiklerin yaklaşık %60'ının geri kazanılmış olması demektir. Ancak geri kazanılmış plastikler, gerek kalite ve gerekse devamlı ve güvenilir bir ham madde kaynağı olarak kendilerini

henüz tam olarak ispatlamış da değildirler. İlk üretim plastiklerin fiyatlarında periyodik denebilecek iniş ve çıkışlar yaşanmakta; bu ise geri kazanılmış plastiklerin pazarlanabilme olasılığını ciddi olarak etkilemektedir. Çizelge 3.7.'de Avrupa için geri kazanılmış PE ve PP plastiklerinin maliyeti, euro olarak, verilmektedir. Bu değerlerden de görüldüğü gibi, geri kazanılmış plastiğin maliyeti; ilk üretim plastiğine kıyasla düşük kalmaktadır. Bu maliyet kâr marjı gösterebildiği sürece, geri kazanımdan söz edilebilecektir (Ezdeşir ve diğ., 1999).

**Çizelge 3.8.** 2004 Yılı Verileriyle Dünyada Plastiklerin Geri Kazanılma Oranları

Ürün Adı	Toplam Tüketim (Milyon Ton)	Geri Kazanılma Oranı (%)	Geriye Kazanılan Miktar (Milyon Ton)
Polietilen	127	40	76
PVC	95	10	9,5
Polipropilen	84	10	8,4
Polistiren	57	10	5,7
Toplam	403	25	99,6

Sonuç olarak geri kazanım ve geri kazanılmış malzemenin değerlendirilmesi ülke ekonomileri ve gelişmeleri için son derecede önemlidir. Geri kazanım birçok teknoloji ile yapılabilmektedir. Uygulanan yöntemlerde dikkat edilecek husus plastiğin kimyasal yapısını en az etkileyecek yöntemle dönüşüm yapmaktır. Plastiklerin cinslerine göre bu yöntemler farklılık göstermektedir.



**Şekil 3.9.** Katı Atıkların İstiflenmesi

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

### **DENEYSEL ÇALIŞMA**

#### **4. DENEYSEL ÇALIŞMA**

##### **4.1. Deneysel Çalışmanın Amacı**

Geri dönüşüm ile üretilmiş bir malzemedен orijinal malzemenin mekanik değerlerini beklemek olanaksızdır. Fakat bir optimum nokta bulmak mümkündür. Bu optimum noktalar deneylerle belirlenebilir.

Çalışmanın bu aşamasında kullanılmış alçak yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilen geri dönüştürülerek orijinal malzemelere çeşitli oranlarda karıştırılıp mekanik özellikleri irdelenecektir. Karışımları 5'er kg'lık numuneler halinde hazırlanarak enjeksiyona hazır hale getirilecektir. Standarda uygun ölçülerde test çubukları kalıplanıp, kalıplanan test çubuklarının çekme deneyleri yapılacaktır. Deneyler esnasında her farklı karışımdaki test çubuklarından 3'er adet kırılarak ortalama sonuçlara ulaşılabilecektir.

En yaygın kullanım alanına sahip olan ve termoplastik sınıftan olan alçak yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu polietilen ile polipropilenin geri dönüştürülmüş granülleri saf malzeye karıştırılarak, çekme deneyleri ile mekanik özelliklerindeki değişim gözlenerek kullanılabilirlikleri araştırılıp bir optimum nokta bulunmaya çalışılacaktır. Son olarak da termosetler ile termoplastlar arasındaki geri dönüştürülmüş malzeme kullanılabilirliği karşılaştırılacaktır.

##### **4.2. Deney Malzemeleri ve Teknik Özellikleri**

Numuneler Petkim Petrokimya A.Ş.'nin ürettiği AYPE-G03-5 (alçak yoğunluklu polietilen), YYPE-F-556 (yüksek yoğunluklu polietilen) ve PP-MH-418 (polipropilen),

kodlu granüllerden içlerine belirlenen oranlarda aynı sınıflardaki geri dönüştürülmüş granüller katılarak ve bu granüllerin saf halleri kullanılarak oluşturulacaktır. Termoset malzemeler ile yapılacak kıyaslamada ise Fenolformaldehit (bakalit) kullanılacaktır.

**Çizelge 4.1.** Alçak Yoğunluklu Polietilenin (AYPE) Teknik Özellikleri

<i>Alçak Yoğunluklu Polietilen</i>	Birim	Değerler
Yoğunluk, ISO 1183, DIN 53479	g / cm <sup>3</sup>	0,91÷0,925
Ham Yoğunluk, ISO 60, DIN 53479	g / cm <sup>3</sup>	0,786
İmalat Çekmesi, ISO 2577 ( 24 h - 23°C ), DIN 53464	%	0,5
Sonraki Çekme, ISO 2577 (168 h - 1 10°C ), DIN 53464	%	0,3
Toplam Çekme, ISO 2577, DIN 53464	%	0,8
Çekme Dayanımı, ISO 527, DIN 53455	N / mm <sup>2</sup>	60
Çekme Elastite Modülü, ISO 527, DIN 53457	N / mm <sup>2</sup>	4500
Basma Dayanımı, ISO 604, DIN 53554	N / mm <sup>2</sup>	255
Akma Sınırı, ISO 178, DIN 53452	N / mm <sup>2</sup>	40 ÷ 60
Eğme Elastite Modülü, ISO 178, DIN 53457	N / mm <sup>2</sup>	4000
Charpy Darbe Tokluğu, ISO 179 , DIN 53453	kJ / m <sup>2</sup>	6,0 ÷ 10,0
Charpy Çentik Darbe Tokluğu, ISO 179 , DIN 53453	kJ / m <sup>2</sup>	1,4 ÷ 1,6
Bilya izi Sertliği, ISO 2039, DIN 53456	N / mm <sup>2</sup>	275
Lineer Genleşme Katsayısı, ISO E 83 1, DIN 53752	10 <sup>-6</sup> / K	38
Maksimum Kullanım Sıcaklığı < 100 h , DIN 53	°C	180
Maksimum Kullanım Sıcaklığı, 20000 h, IEC 216 / T1	°C	150
Yüzey Direnci, IEC 93, DIN 53482	Ohm	1 x 10 <sup>10</sup>
Hacimsel Direnç, IEC 93, DIN 53482	Ohm x cm	1x10"
Dielektrik Katsayısı (ε <sub>r</sub> ), IEC 250, DIN 53483	100 Hz	0,6
Dielektrik Kayıp Faktörü ( tan δ ), IEC 250, DIN 53483	100 Hz	12
Delme Gerilimi, (1 mm), IEC 243-1, DIN 53481	kV / mm	45
Su Emiciliği, ( 23 <sup>0</sup> C 'de ), ISO 62, DIN 53495	Mg	<250

**Çizelge 4.2.** Yüksek Yoğunluklu Polietilenin (YYPE) Teknik Özellikleri

<i>Yüksek Yoğunluklu Polietilen</i>	Birim	Değerler
Yoğunluk, ISO 1183, DIN 53479	g / cm <sup>3</sup>	0,941÷0,965
Ham Yoğunluk, ISO 60, DIN 53479	g / cm <sup>3</sup>	0,827
İmalat Çekmesi, ISO 2577 ( 24 h - 23°C ), DIN 53464	%	0,4
Sonraki Çekme, ISO 2577 (168 h - 1 10°C ), DIN 53464	%	0,2
Toplam Çekme, ISO 2577, DIN 53464	%	0,6
Çekme Dayanımı, ISO 527, DIN 53455	N / mm <sup>2</sup>	81
Çekme Elastite Modülü, ISO 527, DIN 53457	N / mm <sup>2</sup>	4700
Basma Dayanımı, ISO 604, DIN 53554	N / mm <sup>2</sup>	290
Akma Sınırı, ISO 178, DIN 53452	N / mm <sup>2</sup>	60 ÷ 80
Eğme Elastite Modülü, ISO 178, DIN 53457	N / mm <sup>2</sup>	4200
Charpy Darbe Tokluğu, ISO 179 , DIN 53453	kJ / m <sup>2</sup>	7,0 ÷ 11,0
Charpy Çentik Darbe Tokluğu, ISO 179 , DIN 53453	kJ / m <sup>2</sup>	1,6 ÷ 1,9
Bilya izi Sertliği, ISO 2039, DIN 53456	N / mm <sup>2</sup>	315
Lineer Genleşme Katsayısı, ISO E 83 1, DIN 53752	10 <sup>-6</sup> / K	24
Maksimum Kullanım Sıcaklığı < 100 h , DIN 53	°C	220
Maksimum Kullanım Sıcaklığı, 20000 h, IEC 216 / T1	°C	180
Yüzey Direnci, IEC 93, DIN 53482	Ohm	1 x 10 <sup>10</sup>
Hacimsel Direnç, IEC 93, DIN 53482	Ohm x cm	1x10"
Dielektrik Katsayısı (ε <sub>r</sub> ), IEC 250, DIN 53483	100 Hz	0,55
Dielektrik Kayıp Faktörü ( tan δ ), IEC 250, DIN 53483	100 Hz	11
Delme Gerilimi, (1 mm), IEC 243-1, DIN 53481	kV / mm	51
Su Emiciliği, ( 23 <sup>0</sup> C 'de ), ISO 62, DIN 53495	Mg	<230



**Çizelge 4.3.** Polipropilenin (PP) Teknik Özellikleri

<i>Polipropilen</i>	Birim	Değerler
Yoğunluk, ISO 1183, DIN 53479	g / cm <sup>3</sup>	0,90÷0,91
Ham Yoğunluk, ISO 60, DIN 53479	g / cm <sup>3</sup>	0,805
İmalat Çekmesi, ISO 2577 ( 24 h - 23°C ), DIN 53464	%	0,2
Sonraki Çekme, ISO 2577 (168 h - 1 10°C ), DIN 53464	%	0,1
Toplam Çekme, ISO 2577, DIN 53464	%	0,3
Çekme Dayanımı, ISO 527, DIN 53455	N / mm <sup>2</sup>	70
Çekme Elastite Modülü, ISO 527, DIN 53457	N / mm <sup>2</sup>	4100
Basma Dayanımı, ISO 604, DIN 53554	N / mm <sup>2</sup>	240
Akma Sınırı, ISO 178, DIN 53452	N / mm <sup>2</sup>	50 ÷ 70
Eğme Elastite Modülü, ISO 178, DIN 53457	N / mm <sup>2</sup>	3900
Charpy Darbe Tokluğu, ISO 179 , DIN 53453	kJ / m <sup>2</sup>	7,5 ÷ 10,0
Charpy Çentik Darbe Tokluğu, ISO 179 , DIN 53453	kJ / m <sup>2</sup>	1,4 ÷ 1,8
Bilya izi Sertliği, ISO 2039, DIN 53456	N / mm <sup>2</sup>	295
Lineer Genleşme Katsayısı, ISO E 83 1, DIN 53752	10 <sup>-6</sup> / K	18
Maksimum Kullanım Sıcaklığı < 100 h , DIN 53	°C	210
Maksimum Kullanım Sıcaklığı, 20000 h, IEC 216 / T1	°C	170
Yüzey Direnci, IEC 93, DIN 53482	Ohm	2 x 10 <sup>10</sup>
Hacimsel Direnç, IEC 93, DIN 53482	Ohm x cm	2,2x10"
Dielektrik Katsayısı (ε <sub>r</sub> ), IEC 250, DIN 53483	100 Hz	0,49
Dielektrik Kayıp Faktörü ( tan δ ), IEC 250, DIN 53483	100 Hz	10
Delme Gerilimi, (1 mm), IEC 243-1, DIN 53481	kV / mm	47
Su Emiciliği, ( 23 <sup>0</sup> C 'de ), ISO 62, DIN 53495	Mg	<165

### 4.3. Polietilen ve Polipropilenin Geri dönüşümü

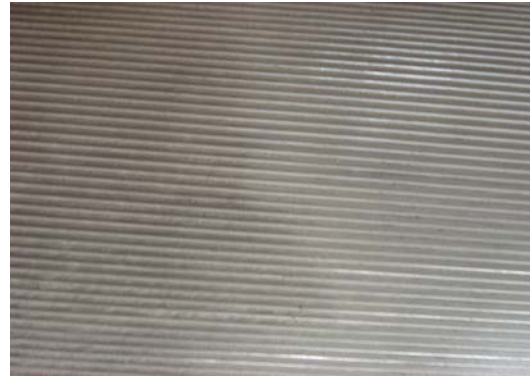
Atık olarak toparlanan ve gruplara ayrılan polietilen ve polipropilenin küçük parçalara ayrılarak eleklerden geçirilip boyutlarına göre stoklanması gerekmektedir. Ayırma işlemi için Denya Plastik firmasında bulunan valsli kırma makinesi kullanılacaktır.

Valsli kırma makinesinde kırma işlemi valslerin ayarlanmasıyla başlar. Kırma makinesindeki valsler birbirinden en fazla 2 mm ayrılacak şekilde tasarlanmıştır. Daha fazla açılması dişlilerin temasının zayıflamasına sebep olacaktır. Kırma işlemi, makinenin üzerindeki huni aparatı sayesinde valslerin üst kısmına malzemenin gönderilmesiyle başlar. Malzemeler öncelikle hizar makinesinde (şerit testere) kırılarak valsli kırma makinesinin öğütebileceği boyuta getirilir. Boyutları küçültülen malzemeler işleme şekillerindeki farklılıklar, içerdikleri katkı maddelerindeki farklılıklar, kullanılma şartlarındaki farklılıklar nedeniyle farklı kırılma karakterleri gösterirler. Malzeme kırılmak üzere, valslerin öğütme aralığına gönderildiklerinde burada ya düzgün bir geometride kırılırlar ya da neredeyse hiç esneme payları olmadığı için çarpmanın da şiddetiyle parçalanarak kırılırlar. Veya yüzeyi kesitinden daha büyük parçacıklar ise öğütme aralığına diklemesine girerek valslerle temas bile etmeden alt taraftan çıkabilir. İşte bu nedenle kırma makinesinde kırılan malzemenin boyutları, valslerin aralıkları sabit olmasına rağmen her seferinde farklı farklı olur. Bu fark, elekler yoluyla malzemelerin gruplanmasıyla ortadan kalkar. Genellikle malzemenin daha iyi kırılması için kırık malzeme hafif bir eğimle yavaş dönen vals üzerine dökülmelidir. Bu makinede yapılan çalışmada kırma işlemi için ayarlanan vals aralığından yani öğütme aralığı 2000 µm, 1500 µm, 1000 µm, 500 µm ve 100 µm (mikron) olarak belirlenmiş ve uygulanmıştır. Valsler arası mesafe hidrolik sistemler ile otomatik olarak ayarlanabilmektedir.

Daha sonra makinenin altındaki kırılan malzemenin olduğu bölmeden alınan kırılmış malzeme, hammaddenin içerisine tekrar karıştırılmak üzere elekler aracılığıyla gruplandırılacaktır.



**Şekil 4.1.** Valsli Kırma Makinesi



**Şekil 4.2.** Kırma Valsleri

Bu makine kırma işlemini prensip olarak; valslerin birbirlerine zıt yönde ve farklı devirlerde dönmesi sonucunda gerçekleştirir. Burada asıl kırma olayı valslerin üzerindeki dişler, yani çıkıntılar sayesinde olur. Bu dişlerin vals üzerindeki geometrileri, dişlerin biçimleri kendi aralarında simetrik değildir. Yani valsın üzerine dizilmiş dişlerin geometrik şekilleri, bir taraftan 60°'lik açıyla diğer taraftan 30°'lik açıyla eğimlenecek şekilde tasarlanmıştır. Dişin 60°'lik eğime sahip kısmı kesme kenarı 30°'lik eğime sahip kısmı da sırtıdır. Burada kırma olayı esnasında, öğütme aralığına giren malzeme yavaş dönen valsın üzerindeki dişlerin sırtından kayarken hızlı dönen vals üzerindeki dişlerin kesici uçları tarafından kırılırlar. Bu olay sürekli bir çalışma olduğu için sonuçta malzeme öğütülmüş olur. Kırma makinesi tasarlanırken valsler çeşitli şekillerde yerleştirilebilirler. Bunlar dişe-diş, sırta-sırt, dişe-sırt veya sırta-diş olabilir. Her durumda da valslerin devir sayıları farklı olacağı için kırma işlemi gerçekleşir.

#### 4.4. Karışımların Hazırlanması

İlk olarak kırılmış hurda malzemeler alçak yoğunluklu polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilen olarak gruplara ayrılır. Çünkü hammadde çeşidine göre ayrı ayrı karışımların hazırlanması gerekir. Yapılan bu projede kırılan malzemeler, valslerin birbirinden farklı dört öğütme aralığı (2000-1500-1000-500  $\mu\text{m}$ ) için ayrı ayrı iki elekten geçirilmiştir.

Yapılan bu işlemi ise projenin eleme aşaması olarak adlandırabiliriz. Bu olayı biraz daha açmamız gerekirse; valslerin ayarlanan, birbirinden farklı her bir öğütme aralığı için valsli kırma makinesinden çıkan malzemeler ayrı ayrı iki tane elekten geçirilir. Örneğin, öğütme aralığı 2000  $\mu\text{m}$  olarak ayarlanan makinede öğütülen 1 kg malzeme sırayla büyükten küçüğe iki farklı elekten geçirilir. Bu işlem valslerin diğer öğütme aralıkları için de uygulanır. Her kırma sonunda eleklerden geçirilen aynı gramajdaki öğütülmüş mal miktarı, her elekten farklı gramajlarda geçer. Elememizin sebebi ise enjeksiyona en uygun olan tane büyüklüğü olan **650  $\mu\text{m}$**  ile **1000 $\mu\text{m}$**  arası kırılmış malzemeyi elde etmektir. Bu büyüklüğün optimum olmasının sebebi ise orijinal hammadde granüllerinin bu büyüklüklerde olmasındandır. Bunun içinde elek arası olarak adlandırılan ve delik çapı 650  $\mu\text{m}$  ile 1000  $\mu\text{m}$ 'lik iki adet elek kullanılarak ayırma işlemi gerçekleştirilecektir. Böylelikle elenen ürün boyutları 650 $\mu\text{m}$  ile 1000  $\mu\text{m}$  arasında olacaktır. Çizelge 4.4.'de yer alan değerler, makinede kırılan **1 kg** malzemenin bütün vals aralıkları için sırasıyla iki farklı elekten geçen miktarlarına aittir.

**Çizelge 4.4.** Kırılan Malzemelerin Eleklerden Geçen Miktarları

Vals Aralığı \ Elek aralığı	2000 $\mu\text{m}$	1500 $\mu\text{m}$	1000 $\mu\text{m}$	500 $\mu\text{m}$
$\delta < 1000 \mu\text{m}$	132 g	216 g	368 g	695 g
$\delta < 650 \mu\text{m}$	104 g	186 g	318 g	498 g

Çizelge 4.4.'den de görüleceği gibi vals aralığı 500  $\mu\text{m}$  olarak ayarlanırsa 1kg'lık malzemenin yaklaşık %50'si 650  $\mu\text{m}$  ile 1000  $\mu\text{m}$  arasında olacaktır.



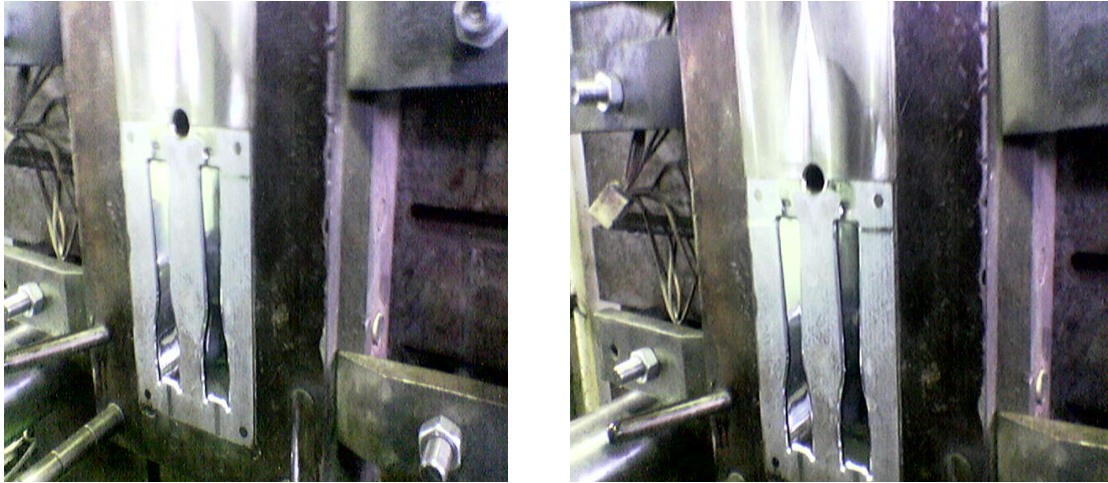
**Şekil 4.3.** Kırılmış Malzemelerin Elendiği Elekler

Kırılmış malzemeler 5'er kg'lık karışımlar hazırlanacak şekilde ürün cinslerine göre karışım yüzde oranları hesaplanarak saf malzemelerin içine karıştırılır. Toplamda 5 kg olan karışım küçük bir mikser ile karıştırılarak karışım enjeksiyona hazır hale getirilir.

#### **4.5. Test Çubuklarının Basılması**

Yapılacak deneye geçmeden önce, deneyin yapılacağı enjeksiyon makinesi ve kalıp belirlenmelidir. Projenin en başında belirtildiği gibi yapılan bu çalışmanın deneysel kısımları Debak A.Ş. 'de gerçekleştirilmiştir. Seçilen enjeksiyon makinesi yine bu işyerinde bulunan 1996 üretimi programlanabilir "Battenfeld 1300 / 630" tipi enjeksiyon makinesidir. Enjeksiyon işlemine başlamadan önce makine, kalıp değişikliği sebebiyle uygun ayarlara getirilmiş ve saf hammadde ile bir-iki baskı denemesi yapılarak ayarlara son şekli verilmiştir. Bu ayarlardan kısaca bahsetmek gerekirse,

<b>Maksimum enjeksiyon basıncı</b>	:	175 bar
<b>Kalıp sıcaklıkları</b>	:	Hareketli; 190°C, Sabit; 185°C
<b>Ocak sıcaklığı</b>	:	1.Ocak; 100°C, 2. Ocak; 92°C
<b>Sertleşme (pişme) süresi</b>	:	60 s
<b>Mal alma gecikmesi (ütüleme)</b>	:	5 s
<b>Meme geri çekilmesi</b>	:	5 s



**Şekil 4.4.** Test Çubuklarının Basıldığı Kalıp



**Şekil 4.5.** Test Çubuklarının Basıldığı Enjeksiyon Makinesi

Standartlara uygun olarak hazırlan test çubuğu kalıbı ile belirlenen karışım oranlarındaki 5'er kg'lık numuneler ile yüzde oranlarına göre sırasıyla enjeksiyon işlemi gerçekleştirilecektir. Her bir karışımdan 8'er adet çubuk basılacaktır. Malzeme değişimlerinde vidada kalan malzemenin temizlenmesi için basılan ilk üç çubuk çekme deneyine tabi tutulmayacaktır. Basılan çubukların kararlı hale gelmesi için 24'er saat beklenerek daha sonra çubuklar çekme işlemine tabi tutulacaktır. Ayrıca test çubuklarının basılması esnasında makinenin ayarlarında hiçbir değişiklik yapılmayacaktır.



Şekil 4.6. Basılan Test Çubukları

#### 4.6. Çekme Deneyleri

Çizelge 4.5. Çekme Deneyi Yapılacak Karışım Oranları

Karışım %	Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE)	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)	Polipropilen (PP)
Saf	√	√	√
%20	√	√	√
%40	√	√	√
%60	√	√	√
%80	√	√	√
%100	√	√	√

Basılan ve kararlı hale gelmesi için bekletilen çubuklar Erbakır firmasında bulunan 'STRONIC SM 750' marka çekme deneyi cihazında kırılacaktır. Her bir karışım için 3'er adet numune kırılarak ortalama sonuçlar elde edilecektir.

Tüm yapılacak çekme deneyleri; granül büyüklüğü  $650\mu\text{m} \div 1000 \mu\text{m}$  arasındaki geri dönüştürülmüş 5'er kg'lık karışımlar ile yapılacaktır. Çekme deneyi cihazının yapılan diğer ayarları ise,

**Ön Yük (N) :** 5

**Ölçme Boyu (mm) :** 50

**Çene Aralığı (mm) :** 115

**Ön Yük Hızı (mm/s) :** 0,166

**Test Hızı (mm/s) :** 1,66 şeklindedir.

Çekme deneyleri süresince çekme deney cihazının ayarlarında değişiklik yapılmadan malzemelerin çekme deneyleri yapılacaktır.

#### 4.6.1. Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE, LDPE) İle Yapılan Çekme Deneyleri

##### 4.6.1.1. Karışimsız AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

**Çizelge 4.6.** Karışimsız AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	564	580	57,70	62
<b>Deney 2:</b>	645	560	57,70	66
<b>Deney 3:</b>	487	600	57,70	59
<b>Deney Ortalamaları</b>	565	580	57,70	62



#### 4.6.1.2. %20 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.7. %20 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	495	520	57,70	54
<b>Deney 2:</b>	501	460	57,70	57
<b>Deney 3:</b>	486	500	57,70	53
<b>Deney Ortalamaları</b>	494	493	57,70	54,6

#### 4.6.1.3. %40 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.8. %40 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	493	480	57,70	52
<b>Deney 2:</b>	469	460	57,70	50
<b>Deney 3:</b>	472	500	57,70	51
<b>Deney Ortalamaları</b>	478	480	57,70	51

#### 4.6.1.4. %60 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

**Çizelge 4.9.** %60 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	468	460	57,70	50
<b>Deney 2:</b>	445	460	57,70	48
<b>Deney 3:</b>	456	473	57,70	49
<b>Deney Ortalamaları</b>	456	464	57,70	49

#### 4.6.1.5. %80 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

**Çizelge 4.10.** %80 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	441	448	57,70	47
<b>Deney 2:</b>	438	450	57,70	46
<b>Deney 3:</b>	416	442	57,70	44
<b>Deney Ortalamaları</b>	431	446	57,70	45,6

#### 4.6.1.6. %100 geri dönüşümlü AYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.11. %100 Geri Dönüşümlü AYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	Elastite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)	Kopma Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
<b>Deney 1:</b>	396	415	57,70	38
<b>Deney 2:</b>	406	423	57,70	40
<b>Deney 3:</b>	413	418	57,70	42
<b>Deney Ortalamaları</b>	405	418,6	57,70	40

#### 4.6.2. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE, HDPE) İle Yapılan Çekme Deneyleri

##### 4.6.2.1. Karışimsız YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.12. Karışimsız YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	Elastite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)	Kopma Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
<b>Deney 1:</b>	1835	436	57,70	86
<b>Deney 2:</b>	1662	446	57,70	79
<b>Deney 3:</b>	1690	438	57,70	82
<b>Deney Ortalamaları</b>	1729	440	57,70	82

#### 4.6.2.2. %20 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.13. %20 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	Elastite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)	Kopma Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
<b>Deney 1:</b>	1716	442	57,70	79
<b>Deney 2:</b>	1690	431	57,70	78
<b>Deney 3:</b>	1682	427	57,70	76
<b>Deney Ortalamaları</b>	1696	431	57,70	77,6

#### 4.6.2.3. %40 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.14. %40 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	Elastite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)	Kopma Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
<b>Deney 1:</b>	1637	420	57,70	72
<b>Deney 2:</b>	1627	418	57,70	70
<b>Deney 3:</b>	1615	405	57,70	70
<b>Deney Ortalamaları</b>	1626	414	57,70	71,3

#### 4.6.2.4. %60 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.15. %60 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	1493	400	57,70	62
<b>Deney 2:</b>	1515	360	57,70	66
<b>Deney 3:</b>	1426	392	57,70	59
<b>Deney Ortalamaları</b>	1478	384	57,70	62,3

#### 4.6.2.5. %80 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.16. %80 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	1400	362	57,70	60
<b>Deney 2:</b>	1384	342	57,70	58
<b>Deney 3:</b>	1376	348	57,70	54
<b>Deney Ortalamaları</b>	1386	350	57,70	57,3

#### 4.6.2.6. %100 geri dönüşümlü YYPE test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.17. %100 Geri Dönüşümlü YYPE Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	1284	330	57,70	50
<b>Deney 2:</b>	1292	342	57,70	49
<b>Deney 3:</b>	1305	341	57,70	51
<b>Deney Ortalamaları</b>	1293	337	57,70	50

#### 4.6.3. Polipropilen (PP) İle Yapılan Çekme Deneyleri

##### 4.6.3.1. Karışimsız PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.18. Karışimsız PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	1772	426	57,70	73
<b>Deney 2:</b>	1647	418	57,70	69
<b>Deney 3:</b>	1618	416	57,70	68
<b>Deney Ortalamaları</b>	1679	420	57,70	70

#### 4.6.3.2. %20 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.19. %20 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	1606	400	57,70	66
<b>Deney 2:</b>	1581	396	57,70	63
<b>Deney 3:</b>	1682	408	57,70	69
<b>Deney Ortalamaları</b>	1623	402	57,70	66

#### 4.6.3.3. %40 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.20. %40 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	1617	394	57,70	65
<b>Deney 2:</b>	1607	382	57,70	61
<b>Deney 3:</b>	1595	388	57,70	63,6
<b>Deney Ortalamaları</b>	1606	388	57,70	63,2

#### 4.6.3.4. %60 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.21. %60 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	1568	378	57,70	58,4
<b>Deney 2:</b>	1552	376	57,70	58
<b>Deney 3:</b>	1563	3374	57,70	57
<b>Deney Ortalamaları</b>	1561	376	57,70	57,8

#### 4.6.3.5. %80 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

Çizelge 4.22. %80 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	1390	377	57,70	55
<b>Deney 2:</b>	1374	357	57,70	52
<b>Deney 3:</b>	1366	363	57,70	51
<b>Deney Ortalamaları</b>	1376	365	57,70	53



#### 4.6.3.6. %100 geri dönüşümlü PP test çubuklarının çekme deneyi sonuçları

**Çizelge 4.23.** %100 Geri Dönüşümlü PP Test Çubuklarının Çekme Deneyi Sonuçları

	<b>Elastite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Deney 1:</b>	1264	351	57,70	42
<b>Deney 2:</b>	1272	363	57,70	47
<b>Deney 3:</b>	1285	362	57,70	49
<b>Deney Ortalamaları</b>	1273	358	57,70	46

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### SONUÇLAR

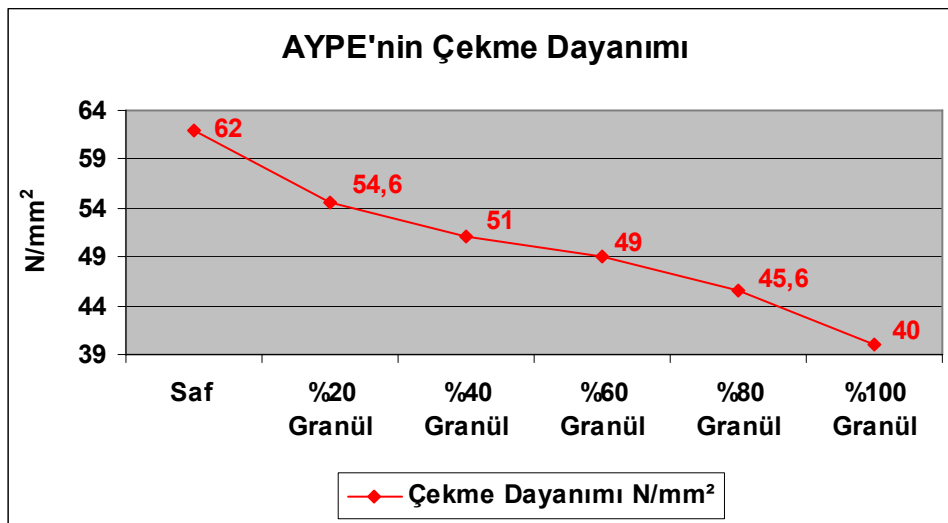
#### 5. SONUÇLAR

##### 5.1. Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

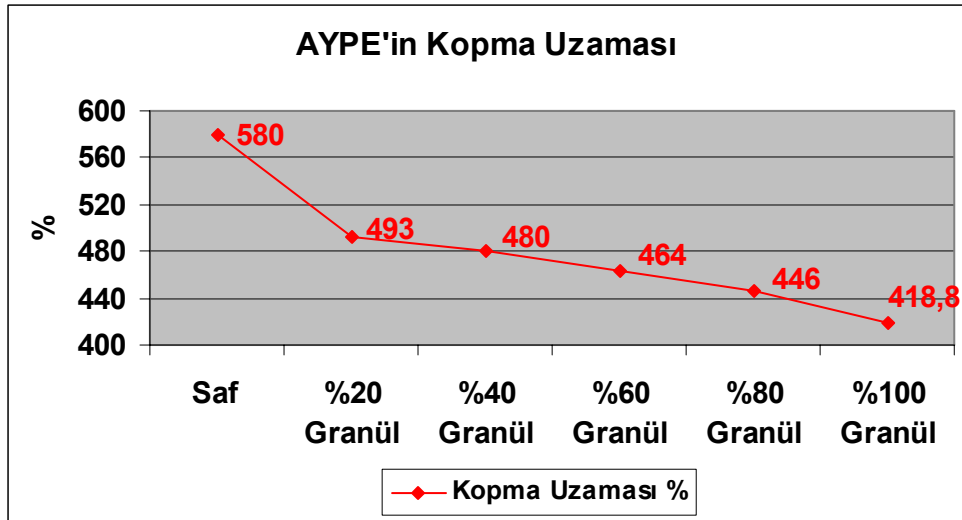
*Alçak yoğunluklu polietilen* için yapılan çekme deneylerinde çizelge 5.1.'de verilen çekme dayanımı değerleri ( $N/mm^2$ ) ve kopma uzaması değerleri (%) elde edilmiştir. Şekil 5.1.'de ve şekil 5.2.'de görüldüğü gibi çekme dayanımı değerleri ( $N/mm^2$ ) ve kopma uzaması değerleri (%) saf malzeme içerisine karıştırılan geri dönüştürülmüş malzeme yüzdesi arttıkça lineer olarak azalmaktadır.

**Çizelge 5.1.** Alçak Yoğunluklu Polietilenin Çekme Deneyi Sonuçları

<i>AYPE</i>	Kopma Uzaması %	Çekme Dayanımı $N/mm^2$
Saf	580	62
%20 Granül	493	54,6
%40 Granül	480	51
%60 Granül	464	49
%80 Granül	446	45,6
%100 Granül	418,8	40



**Şekil 5.1.** Alçak Yoğunluklu Polietilenin Çekme Dayanımındaki Değişim



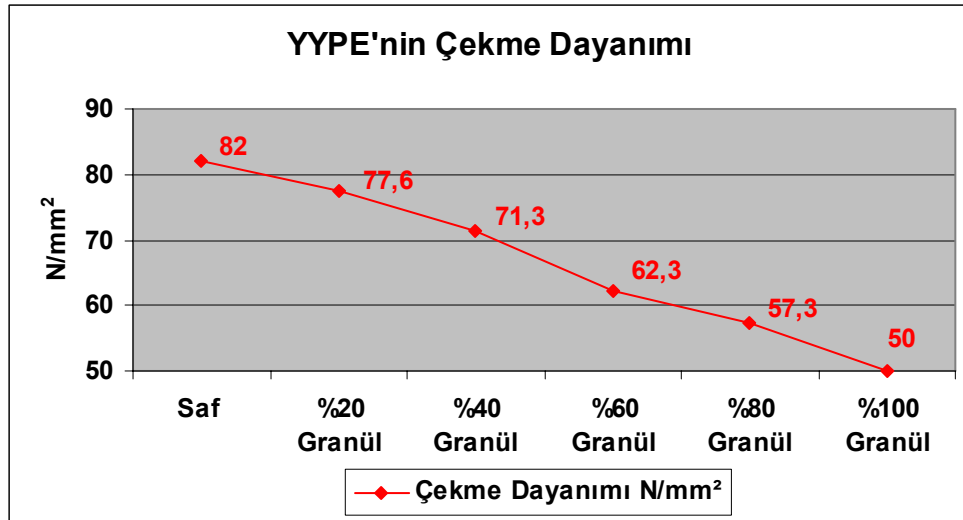
**Şekil 5.2.** Alçak Yoğunluklu Polietilenin Kopma Uzamasındaki Değişim

Saf alçak yoğunluklu polietilene göre tamamen geri dönüştürülmüş alçak yoğunluklu polietilenin çekme dayanımının %36, kopma uzamasının da %28 oranında düştüğü görülmüştür. Bu durum malzemenin mekanik özelliklerin zayıfladığını göstermektedir. Karışım oranları azaldıkça çekme dayanımındaki azalma %15 seviyelerine inmektedir.

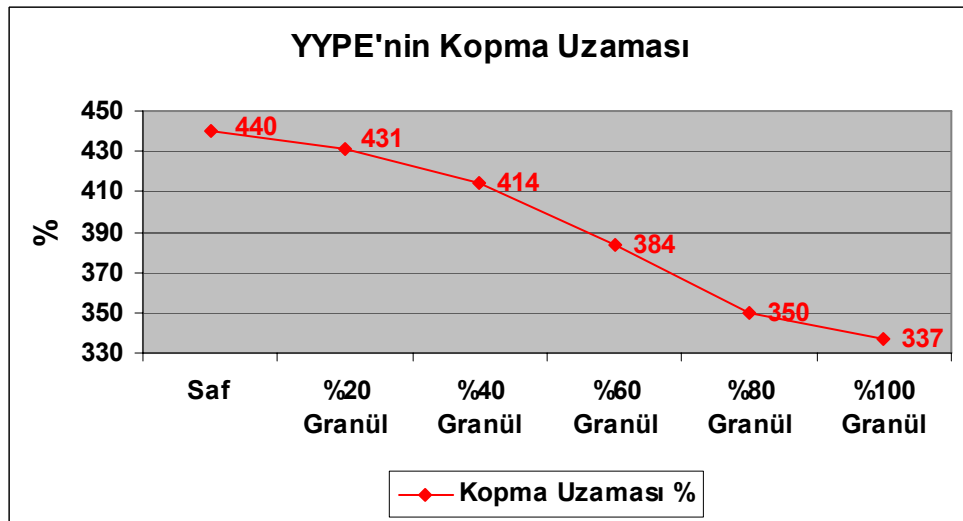
**Yüksek yoğunluklu polietilen** için yapılan çekme deneylerinde çizelge 5.2.'de verilen çekme dayanımı değerleri ( $N/mm^2$ ) ve kopma uzamaları değerleri (%) elde edilmiştir. Şekil 5.3.'de ve şekil 5.4.'de görüldüğü gibi çekme dayanımı değerleri ( $N/mm^2$ ) ve kopma uzamaları değerleri (%) saf malzeme içerisine karıştırılan geri dönüştürülmüş malzeme yüzdesi arttıkça alçak yoğunluklu polietilene benzer bir karakterde lineer olarak azalmaktadır.

**Çizelge 5.2.** Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Çekme Deneyi Sonuçları

YYPE	Kopma Uzaması %	Çekme Dayanımı $N/mm^2$
Saf	440	82
%20 Granül	431	77,6
%40 Granül	414	71,3
%60 Granül	384	62,3
%80 Granül	350	57,3
%100 Granül	337	50



Şekil 5.3. Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Çekme Dayanımındaki Değişim



Şekil 5.4. Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Kopma Uzamasındaki Değişim

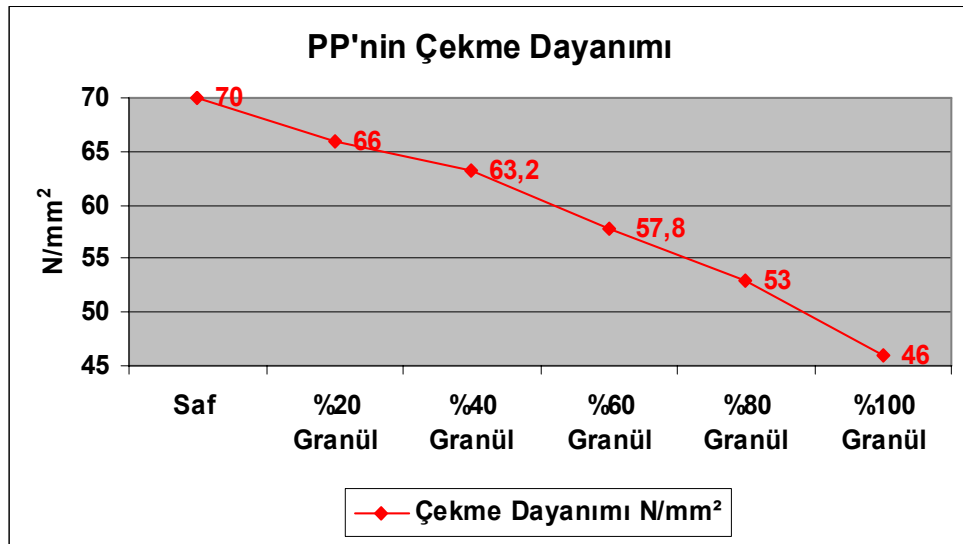
Saf yüksek yoğunluklu polietilene göre tamamen geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilenin çekme dayanımının %24, kopma uzamasının da %40 oranında düştüğü görülmüştür. Bu durum malzemenin mekanik özelliklerin zayıfladığını göstermektedir. Karışım oranları azaldıkça çekme dayanımındaki azalma %5 seviyelerine inmektedir.

**Polipropilen** için yapılan çekme deneylerinde çizelge 5.3.'de verilen çekme dayanımı değerleri (N/mm<sup>2</sup>) ve kopma uzamaları değerleri (%) elde edilmiştir. Şekil 5.5.'de ve şekil 5.6.'da görüldüğü gibi çekme dayanımı değerleri (N/mm<sup>2</sup>) ve kopma uzamaları değerleri (%) saf malzeme içerisine karıştırılan geri dönüştürülmüş malzeme

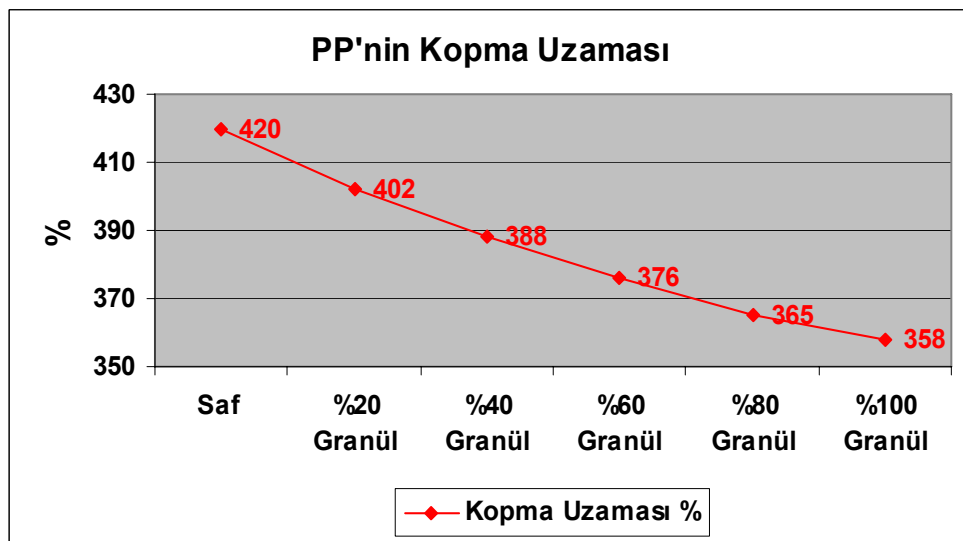
yüzdesi arttıkça alçak yoğunluklu polietilene ve yüksek yoğunluklu polietilene benzer bir karakterde lineer olarak azalmaktadır.

**Çizelge 5.3. Polipropilenin Çekme Deneyi Sonuçları**

<i>PP</i>	Kopma Uzaması %	Çekme Dayanımı N/mm <sup>2</sup>
Saf	420	70
%20 Granül	402	66
%40 Granül	388	63,2
%60 Granül	376	57,8
%80 Granül	365	53
%100 Granül	358	46

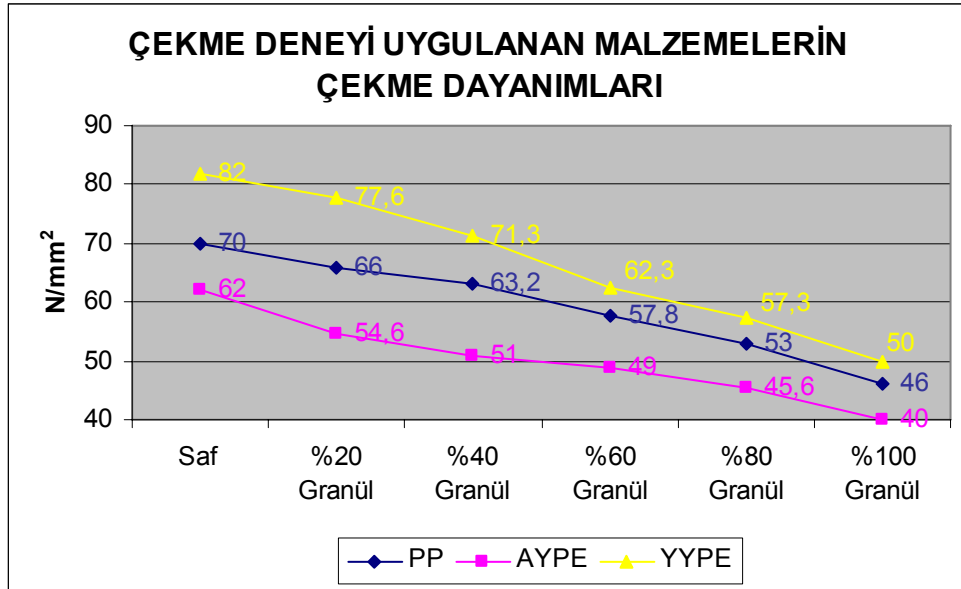


**Şekil 5.5. Polipropilenin Çekme Dayanımındaki Değişim**

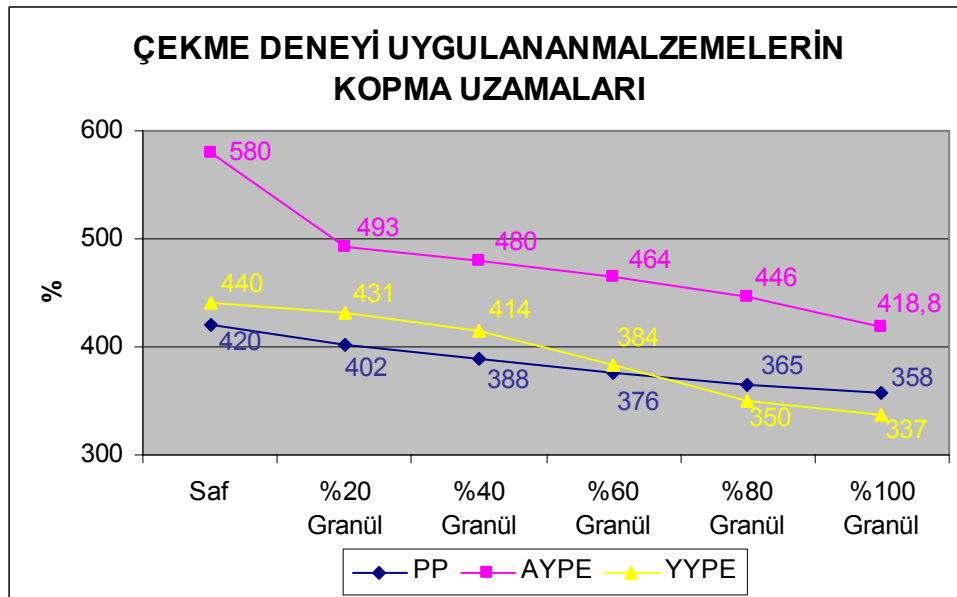


**Şekil 5.6. Polipropilenin Kopma Uzamasındaki Değişim**

Saf propilene göre tamamen geri dönüştürülmüş polipropilenin çekme dayanımının %15, kopma uzamasının da %35 oranında düştüğü görülmüştür. Bu durum malzemenin mekanik özelliklerin zayıfladığını göstermektedir. Karışım oranları azaldıkça çekme dayanımındaki azalma %3 seviyelerine inmektedir.



Şekil 5.7. Çekme Deneyi Uygulanan Malzemelerin Çekme Dayanımları



Şekil 5.8. Çekme Deneyi Uygulanan Malzemelerin Kopma Uzamaları

Şekil 5.7. ve şekil 5.8.'de görüldüğü gibi, deney sonuçları göstermiştir ki geri dönüştürülmüş alçak yoğunluklu polietilenin, yüksek yoğunluklu polietilenin ve polipropilenin kullanılabilirliği %100'dür. Geri dönüşüme en yatkın malzemenin polipropilen olduğu görülmektedir. Çünkü tamamen geri dönüştürülmüş polipropilenden basılmış çubuklarda bile çekme dayanımı saf malzemeye göre %15 azalmıştır. Polipropileni %24 ile yüksek yoğunluklu polietilen, %36 ile alçak yoğunluklu polietilen izlemektedir.

Diğer önemli bir olay ise tipik birer termoplast olan alçak yoğunluklu polietilenin, yüksek yoğunluklu polietilenin ve polipropilenin geri dönüşümlerinin baskı sırasında sorun çıkarmaması ve %100 mertebesine ulaşmasıdır.

Dünyada en yaygın olarak kullanılan ve termoplastikler sınıfından olan bu iki plastik türünün %100 oranlarında geri dönüştürülmüş granüllerinin kullanılabilmesi petrole bağımlı olan plastik endüstrisi için, çevre için ve ekonomi için çok önemlidir.

**Çizelge 5.4.** Termosetlerin (PF, Fenolformaldehit) Çekme Deneyi Sonuçları (Öztürk, 2002)

Fenolformaldehit	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Elastite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)
Saf	60,3	5633	0,241
%10 Geri Dönüşümlü	49,8	5291	0,315
%20 Geri Dönüşümlü	34,6	4821	0,295
%30 Geri Dönüşümlü	25,2	4644	0,272

Çizelge 5.4.'de görüldüğü gibi geri dönüştürülmüş malzemenin kullanılabilirliği termosetlerde ise çok kısıtlı olmaktadır. Kırılıp granül hale getirilen termosetler, enjeksiyon işlemi sırasında enjeksiyon makinesinde ancak %30'luk karışım oranlarına kadar baskıya verilebilirler. Bunun sebebi ise termoset malzemelerin bünyesinde bulunan çapraz bağların, yüksek sıcaklıkta ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluştuktan sonra tekrar eski hallerine dönemeyişleridir. Bu durumda, tekrar, enjekte edilmek üzere enjeksiyon makinesinin ocağına girdiklerinde sıcaklık ne olursa olsun erimezler yani

vizkoziteleri artmaz ve akıcılık kazanmazlar. Tüm bunlar kırılmış termosetlerin tekrar enjeksiyonunu zorlaştırır. %30'luk karışımlarda saf malzemeye göre mukavemet değerleri %50'nin üzerinde düşmektedir. %30'un üzerindeki karışım oranlarında ise bağlar kurulamamakta ve enjeksiyon işlemi gerçekleştirilememektedir (Öztürk, 2002).

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki termoplastik malzemelerin geri dönüşümleri termosetlere göre çok daha uygundur. Bakalit ile yapılan deneylerde en fazla %30 geri dönüştürülmüş malzeme kullanılabilmiş iken polietilende ve polipropilende bu oran %100 mertebesine ulaşmıştır. Bu durumun nedeni ise termoplastların makromolekülleri arasında van der wals bağlarının etkin olmasından kaynaklanmaktadır. Termosetlerde ise ağlaşma yani kovalent bağ söz konusu olduğundan ısı ile bozunma çok azdır (Öztürk, 2002).

Termoset malzemelerde geri dönüştürülmüş malzeme %30 oranında katıldığında mekanik özelliklerdeki değişim %60'ın üzerinde olmakta iken termoplastlarda geri dönüştürülmüş malzeme %100 oranında kullanıldığında mekanik özelliklerdeki değişiklik %40 mertebesinde kalmaktadır. Buda termoplastların geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı açısından termosetlere göre daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır.



## KAYNAKLAR

- Akkurt, S., Plastik Malzeme Bilgisi, *Birsen Yayınevi*, 62-64 s., İstanbul, 1991.
- Crompton, T. R., Practical Polymer Analysis, *Plenum Press*, 46-49 p., New York, 1993.
- Ezdeşir, A., Erbay, E., Taşkiran, İ., Yağcı, M. A., Cöbek, M., Bilgiç, T., Polimerler, ISBN 975-6816-02-3, *Pagyay*, 14-16 s., İstanbul, 1999.
- Ives, G. C., Mead, J. A., Riley, M. M., Handbook of Plastic Test Methods, *CRC Pres*, 475-476 p., Ohio, 1971.
- Kovan, V., Plastik Malzeme Türleri ve Bunların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Kullanılan Deney ve Yöntemler, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, 12-17 s., Denizli, 2002.
- Lever, A. E., Rhys, J. A., The Properties and Testing of Plastic Materials, (3rd Ed.), *Temple Press Books*, 154-163 p., Bristol, 1968.
- Öztürk, O., Rejenere Termoset Malzemelerin Geri Dönüşümü, Bitirme Projesi, *Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, 81-91 s., Denizli, 2002.
- Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., Akovalı, G., Plastikler ve Plastik Teknolojisi, ISBN 975-6816-02-08, *Pagyay*, 325-400 s., İstanbul, 2002.
- Swift, G., Recycling and Plastic Waste Managements, *Pine Pres*, 49 p., New York, 1995.
- TS 1398-1 EN ISO 527-1 Plastiklerin Çekme Özelliklerinin Tayini, (Genel Prensipler), *Türk Standartları Enstitüsü*, 1-11 s., Ankara, 1997.
- TS 1398-2 EN ISO 527-2 Plastiklerin Çekme Özelliklerinin Tayini, (Kalıplama ve Ekstrüzyon Plastikleri İçin Deney Şartları), *Türk Standartları Enstitüsü*, 1-5 s., Ankara, 1997.

- TS 1168 EN ISO 485 Plastiklerin Kısa Sembollerle Gösterilmesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, 1-8 s., Ankara, 1999.
- Ward, I. M., Mechanical Properties of Solid Polymer, (2nd Ed.) **Wiley Pres**, 126-130 p., New York, 1983.
- Yaşar, H., Plastikler Dünyası, Yayın No: 142/2, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, 6-33 s., Ankara, 2001.
- Yüksel, M., Malzeme Bilgisi, Yayın No: 2001/271-1, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, 499-540 s., Ankara, 2001.
- Yüksel, M., Çakmakçı, A. T., Plastik Türlerinin Deneysel Yollarla Belirlenmesi, *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi 3. Mühendislik Haftası Bildirileri*, 233-240 s., Isparta, 1985.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı : Orkun ÖZTÜRK  
Anne adı : Dilek  
Baba adı : Şevket  
Doğum yeri ve Tarihi : Erzurum 1980  
Lisans Eğitimi : Pamukkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü  
Mezuniyet tarihi : Eylül 2002  
Bildiği yabancı dil : İngilizce