

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POM VE ABS MALZEMELERİ İÇİN PLASTİK
ENJEKSİYONDA GERİ DÖNÜŞÜMÜN MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İBRAHİM HAMARAT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2016

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POM VE ABS MALZEMELERİ İÇİN
PLASTİK ENJEKSİYONDA GERİ
DÖNÜŞÜMÜN MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İBRAHİM HAMARAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI

PROF. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE

2016

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**THE EFFECT OF RECYCLING ABS
(ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE)
AND POM (POLY OXY METHYLENE)
MATERIALS ON THE MECHANICAL
PROPERTIES**

İBRAHİM HAMARAT

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE

2016



GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/01/2016 tarih ve 2016/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/04/2016 tarihinde tez savunma sınavı yapılan İbrahim HAMARAT'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :Prof. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE

:Prof. Dr. Faruk YILMAZ

ÜYE

: Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../20..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tezde, ABS (Akrilonitril Bütadin Stiren) ve POM (Poli Oksi Metilen) malzemelerinin, plastik enjeksiyon makinasında geri dönüşümlerinin, malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi araştırıldı. POM malzemesine 8 kez, ABS malzemesine ise 12 kez geri dönüşüm yapıldı. POM malzemesinden, saf malzemenin yanı sıra 2., 4., 6., ve 8. geri dönüşümlerden test numuneleri alındı. Ayrıca bu geri dönüşümler saf malzemeyle farklı oranlarda ve kendi aralarında karıştırılarak tekrar test edildi. ABS malzemesinden ise 3., 6., 9., ve 12. geri dönüşümlerden test numuneleri alınmış, ayrıca saf malzemeyle ve kendi aralarında farklı oranlarda karıştırılarak mekanik testleri yapıldı. Mekanik özelliklerdeki değişim, SEM’de görülen matris fazı içindeki ayrışmalar ve bozulmalar araştırıldı.

Testler sonucunda, POM malzemesinin, eriyik akış miktarı geri dönüşüm sayısı ile doğru orantılı arttı. Bununla birlikte malzemenin kırılabilirliği azaldı ve darbe dayanımında da artma görüldü. Kopma uzaması miktarı geri dönüşüm sayısı ile doğru orantılı arttı. Çekme gerilmesi ise, 2. ve 4. geri dönüşümlerde saf malzemeye yakın değerler elde edilse de, 6. Geri dönüşümden sonra düşme tespit edildi.

ABS malzemesinde, eriyik akış miktarı geri dönüşüm sayısı arttıkça arttı. Darbe testi sonuçlarında, 2. geri dönüşümde saf malzemeye göre ciddi bir düşüş gözlemlendi ve sonrasında ise azalmaya devam etti. Kopma uzaması ise, 6. geri dönüşüm dışında yaklaşık %25 azaldı. Çekme dayanımı, saf malzemedan sonra ciddi düşüş gösterdi ve sonrasında yakın değerler ölçüldü.

Üçlü karışımlarda, ikili karışımlara göre daha yüksek mekanik değerler ölçüldü.

Anahtar kelimeler: POM, ABS, Geri Dönüşüm, Plastik, Enjeksiyon, Mekanik Test.

SUMMARY

In this thesis, the effect of recycling ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) and POM (Poly Oxy Methylene) materials on the mechanical properties was investigated in plastic injection machine. POM and ABS materials were recycled 8 times and 12 times, respectively. The test samples from the 2nd, 4th, 6th, and 8th recycled samples as well as virgin material were taken for POM material. In addition, these samples were tested in different proportions mixed with the virgin material again. The test samples from the 3rd, 6th, 9th, and 12th recycled samples were taken for ABS material. In addition, the mechanical tests were conducted with these samples mixing at different ratios. The change on mechanical properties were investigated in terms of with the decomposition and degradation within the matrix phase on SEM.

As a result of the tests conducted, the melt flow rate increased proportionally to the number of recycle in POM material. However, increase in brittleness and decrease in the impact strength of the material have been observed. The amount of fractural elongation increased proportionally with the seemcrest of recycling number. Concerning the tensile strength, the results obtained for the recycling of the 2nd and 4th recycles were near to the values of the virgin material and decrease was obscured after the 6th recycling.

The melt flow rate also increased with increase of recycling number for ABS material. As for the impact test results obtained, there has been a significant decrease in recycling compared to the recycling in the 2nd. Moreover the decrease continued. The fractural elongation except for the 6th recycling material decreased to approximately 25%. The tensile strength of the recycled materials significantly decreased after the virgin material.

Higher mechanic values were measured for the ternary blends compared to the binary blends.

Key Words: POM, ABS, Recycling, Plastic, Injection, Mechanical Test.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi çalışmamda, ilgi duyduğum bir konuda çalışma yapmamı sağlayan danışmanım sayın Prof. Dr. Babür ÖZÇELİK'e,

Yönlendirmeleriyle daha iyi bir çalışma yapmama yardımcı olan sayın Prof. Dr. Faruk YILMAZ ve sayın Doç. Dr. İlyas KANDEMİR'e,

Bana verdiği desteklerden dolayı sayın Dr. Emel KURAM'a,

Yardımlarından dolayı sayın İhsan Gökhan SERİN'e,

Deneysel çalışmaları beraber yaptığım GTU teknikerleri sayın Hamit AYVAZ ve sayın Önder GEDİK'e,

Manevi desteklerini eksik etmeyen eşim ve oğullarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve İçeriği	3
2. PLASTİKLERİN ÜRETİM VE GERİ DÖNÜŞÜM TEKNİKLERİ	5
2.1. Plastik Üretim Yöntemleri	5
2.2. Türkiye’de ve Dünya’da Plastik	8
2.3. Plastik Malzemelerin Geri Dönüşümü ve Önemi	10
2.3.1. Plastik Geri Dönüşümünün Ana Sebepleri	11
2.3.2. Plastik Atık Malzemelerin Kaynağı	12
2.4. Geri Dönüşüm Teknikleri	13
2.4.1. Birincil Geri Dönüşüm Tekniği	13
2.4.2. İkincil Geri Dönüşüm Tekniği	13
2.4.3. Üçüncül Geri Dönüşüm Tekniği	14
2.4.4. Dördüncül Geri Dönüşüm Tekniği	14
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	15
3.1. POM Malzeme İçin Literatür Taraması	15
3.2. ABS Malzeme İçin Literatür Taraması	16
4. DENEY	21
4.1. Deneyde Kullanılan Deney Araç-Gereçler ve Malzemeler	21
4.1.1. Plastik Enjeksiyon Makinesi	21
4.1.2. Mekanik Kırma Makinesi	23
4.1.3. Hassas Tartı	23

4.1.4. Darbe Test Cihazı	24
4.1.5. Eriyik Akış Test Cihazı	24
4.1.6. Çekme Test Cihazı	25
4.1.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	25
4.2. Deneylerde Kullanılan Plastik Malzemeler	26
4.2.1. POM Malzemesi	26
4.2.1.1. POM Malzemesinin Kimyasal Yapısı	27
4.2.1.2. POM Malzemesinin Kullanım Alanları	27
4.2.1.3. POM Malzemesinin Mekanik ve Isıl Özellikleri	28
4.2.2. ABS Malzemesi	28
4.2.2.1. ABS Malzemesinin Kimyasal Yapısı	29
4.2.2.2. ABS Malzemesinin Kullanım Alanları	29
4.2.2.3. ABS Malzemesinin Mekanik ve Isıl Özellikleri	30
4.2.3. Numuneler ve Deney Planı	30
4.2.3.1. POM Malzemesi İçin Deney Planı	31
4.2.3.2. ABS Malzemesi İçin Deney Planı	32
4.2.4. Numunelerin Enjeksiyonda Üretim Şartları	33
4.2.5. Test Şartları	35
4.2.6. Test Sonuçlarını Elde Etme	35
5. DENEY TEST SONUÇLARI	37
5.1. POM Malzemesi Test Sonuçları	37
5.1.1. POM Malzemesi Eriyik Akış Testi Sonuçları	37
5.1.2. POM Malzemesi Darbe Testi Sonuçları	37
5.1.3. POM Çekme Testi Sonuçları	38
5.2. ABS Malzemesi Test Sonuçları	39
5.2.1. ABS Malzemesi Eriyik Akış Testi Sonuçları	39
5.2.2. ABS Malzemesi Darbe Testi Sonuçları	41
5.2.3. ABS Malzemesi Çekme Testi Sonuçları	42
6. SONUÇLARI DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER	43
6.1. POM Malzemesi Test Sonuçları Değerlendirmeleri	43
6.1.1. POM Malzemesi Eriyik Akış Testi Değerlendirmeleri	43
6.1.2. POM Malzemesi Darbe Testi Değerlendirmeleri	45
6.1.3. POM Malzemesi Çekme Testi Değerlendirmeleri	47

6.1.4. POM Malzemesi SEM Analizi Değerlendirmeleri	51
6.2. ABS Malzemesi Test Sonuçları Değerlendirmeleri	52
6.2.1. ABS Malzemesi Eriyik Akış Testi Değerlendirmeleri	52
6.2.2. ABS Malzemesi Darbe Testi Değerlendirmeleri	54
6.2.3. ABS Malzemesi Çekme Testi Değerlendirmeleri	57
6.2.4. ABS Malzemesi SEM Analizi Değerlendirmeleri	61
6.3. Öneriler	62
 KAYNAKLAR	 63
ÖZGEÇMİŞ	66
EKLER	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u> Açıklamalar</u>
<u>Kisaltmalar</u>	
Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Cu	: Bakır
cm ³	: Santimetre küp
g	: Gram
H	: Hidrojen
HP	: Beygir gücü
Hz	: Hertz
J	: Jul
kg	: Kilogram
kJ	: Kilojul
kN	: Kilonewton
m ²	: Metrekare
mm	: Milimetre
mm/dak	: Milimetre / dakika
m/s	: Metre / saniye
MPa	: Mega Pascal
O	: Oksijen
PA	: Polyamid
Pb	: Kurşun
PBT	: Polibütilen Tereftarat
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
s	: Saniye
SAN	: Stiren Akrilonitril Kopolimer
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
%	: Yüzde

°C	: Santigrad derece
UV	: Ultraviyole
Zn	: Çinko
ABS	: Akrilonitril Bütadin Stiren
dev	: Devir
dak	: Dakika
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
GD	: Geri dönüşüm
ISO	: Uluslararası Standart Teşkilatı
POM	: Polioksimetilen
S	: Saf malzeme



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Enjeksiyon yöntemi.	6
2.2: Şişirme yöntemi.	6
2.3: Sıkıştırma yöntemi.	7
2.4: Vakum termo yöntemi.	7
2.5: Plastik kullanımın zamanla değişimi.	8
2.6: 2003 yılında plastik Avrupa’da plastik tüketimi.	9
2.7: Plastik kullanılan sektörler.	10
4.1: Enjeksiyon makinası.	21
4.2: Kalıp şartlandırıcı.	22
4.3: Kalıp soğutucu.	22
4.4: Numune kalıbı.	23
4.5: Mekanik kırma makinası.	23
4.6: Hassas Tartı.	24
4.7: Darbe test cihazı.	24
4.8: Eriyik akış test cihazı.	25
4.9: Çekme test cihazı.	25
4.10. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) .	26
4.11: Ticona Hostaform C 9021.	26
4.12: POM malzemesinin kimyasal yapısı.	27
4.13: Samsung Starex SD-150GP.	29
4.14: ABS malzemesinin kimyasal Yapısı.	29
4.15: ISO 527’e göre hazırlanan çekme numunesinin şekil ve boyutları.	30
4.16: ISO 178’e göre hazırlanan test numunesi.	31
4.17: POM malzemesinden alınan numuneler.	34
4.18: Gruplanmış test, deney ve geri dönüşüm numuneleri .	34
4.19: Karışımlarda kullanılan geri dönüşüm numuneleri.	35
6.1: POM malzemesi geri dönüşüm sayısına göre eriyik akış grafiği.	43
6.2: POM malzemesi saf malzeme ve geri dönüşüm karışımlarının eriyik akış miktarları.	44

6.3: POM malzemesi GD4 ve GD6 ile saf malzeme karışımının eriyik akış miktarları.	44
6.4: POM malzemesi geri dönüşüm sayısına göre darbe dayanımı grafiği.	45
6.5: POM geri dönüşüm ve saf malzeme oranına göre darbe dayanımı grafiği.	46
6.6: POM saf malzemeye eklenen GD4 ve GD6 oranına göre darbe dayanımı grafiği.	46
6.7: POM çekme dayanımı-birim uzama grafiği.	47
6.8: POM geri dönüşüm sayısına bağlı kırılma uzaması grafiği.	48
6.9: Saf POM malzemesi ile geri dönüşüm karışımının kopma uzaması grafiği.	48
6.10: POM geri dönüşüm sayısına bağlı çekme gerilme grafiği.	49
6.11: Saf POM ile geri dönüşüm karışımlarının çekme gerilmesi grafiği.	50
6.12: POM Malzemesi ile GD4-GD6 karışımlarının çekme dayanımı grafiği.	50
6.13: POM Malzemesi SEM görüntüleri.	51
6.14: Saf POM ile GD2+GD8 karışımının SEM görüntüleri.	52
6.15: ABS malzemesi geri dönüşüm sayısına göre eriyik akış grafiği.	53
6.16: Saf ABS ile geri dönüşümlerin karışımlarının eriyik akış grafiği.	54
6.17: ABS GD3/GD12 oranına göre eriyik akış grafiği.	54
6.18: ABS geri dönüşüm sayısına göre darbe dayanımı grafiği.	55
6.19: Saf ABS ve geri dönüşüm karışım miktarına göre darbe dayanımı grafiği.	56
6.20: GD3/GD12 oranına göre darbe dayanımı grafiği.	56
6.21: ABS malzemesi birim uzamaya bağlı çekme dayanımı grafiği.	57
6.22: ABS geri dönüşüm sayısına bağlı kopma uzaması grafiği.	57
6.23: Saf ABS malzemesi ile geri dönüşüm karışımının kopma uzaması grafiği.	58
6.24: GD3/GD12 oranına göre kopma uzaması grafiği.	59
6.25: ABS malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı çekme dayanımı grafiği.	59
6.26: Saf ABS ile geri dönüşümlerin karışımlarının çekme dayanımı grafiği.	60
6.27: GD3/GD12 oranına göre çekme dayanımı grafiği.	60
6.28: ABS malzemesinin SEM görüntüsü.	61
6.32: Saf ABS malzemesi ve GD3- GD12 karışımlarının SEM görüntüleri.	62

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
4.1: POM malzemesi mekanik ve ısı özellikler.	27
4.2: ABS malzemesi mekanik ve ısı özellikler.	29
4.3: POM malzemesi için deney planı.	30
4.4: ABS malzemesi için deney planı.	31
4.5: POM malzemesi enjeksiyon üretim şartları.	32
4.6: ABS malzemesi enjeksiyon üretim şartları.	32
4.7: POM malzemesi test şartları.	34
4.8: ABS malzemesi test şartları.	34
5.1: POM malzemesi eriyik akış testi sonuçları.	37
5.2: POM malzemesi darbe testi sonuçları.	38
5.3: POM malzemesi çekme testi sonuçları.	39
5.4: ABS malzemesi eriyik akış testi sonuçları.	40
5.5: ABS malzemesi darbe testi sonuçları.	41
5.6: ABS çekme testi sonuçları.	42

1.GİRİŞ

Karbonun hidrojen, azot, oksijen ve diğer inorganik ve organik elementlerle oluşturduğu monomer denen küçük ve basit moleküllü gruptaki çift bağın koparılması, polimer denen zincirli yapıya dönüştürülmesiyle plastikler oluşur. Bazı katalizörler eklenerek, uygun bir sıcaklık ve basınçla bir reaktörde monomerlerin reaksiyona sokulmasıyla polimerler elde edilir. Bu işlemler sonucu toz, reçine ve granül halinde gelen polimerler elde edilir [Öztürk, 2005].

Sahip olduğu birçok fiziksel ve kimyasal özellik sayesinde yaşamımızın her alanında yoğun olarak kullandığımız malzemelerdir. Özellikle teknolojinin ilerlemesi plastiklerin önemini çok fazla arttırmış ve birçok sektörde gerek duyulan malzemeler olarak yerini almıştır [Ersöz, 2010].

Ekonomik olmaları, uygulama kolaylıkları ve özelliklerinin her geçen gün iyileştirilmesiyle plastiklerin kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Ev aletleri, otomotiv, mutfak eşyaları, inşaat malzemeleri ve her türlü ambalaj imalatlarında kullanılmaktadır. Ek olarak tekstil, temizlik, tarım, konfeksiyon, sağlık alanında kullanılan araç ve gereçlerde, kısacası günlük yaşamımızın her alanında plastikler kullanılmaktadır [Tan vd., 2007].

Dünyada üretilen plastik miktarı, günümüzde çelik üretiminden fazladır. Plastik üretiminde her geçen yıl artış yaşanmaktadır. Bu malzemelerin doğada çözünme süresi yaklaşık 100 yıl olduğu göz önünde bulundurulursa, plastiklerin çevre açısından büyük tehlike oluşturduğu görülebilir [Saçak, 2010].

Plastikler, pek çok dezavantajına rağmen, şekil alma, elastikiyet, nakliyyede kolaylık ve ekonomiklik gibi nedenlerden dolayı çok tercih edilir malzemelerdir. Çevre kirliliği düşünüldüğünde ise en büyük problemlerden biri olmuşlardır [Page, 1992].

Sentetik polimerler doğaya bırakıldıklarında, toprak plastikleri uzun süre parçalayamadığından çevresel kirliliğe ve toksik madde birikimine sebep olmaktadır [Beyatlı, 1996].

Kullanım alanları çok olmasına rağmen, plastikler belli bir kullanım ömrü sonrasında atık olmaktadır. Plastiklere çevresel etkileri bakımından yaklaşıldığında; ultraviyole ışınlarına karşı dirençli olmaları, bozunma sıcaklıklarının

yüksek olması ve doğadaki biyolojik aktivitelere karşı dirençli olmaları sebebiyle doğada uzun süre bozunmadan kalabildikleri bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı doğaya verdikleri düşünülerek plastiklerin geri kazanımı zorunlu hale gelmektedir. Geri kazanıldığında, plastikler katı atık depolama alanlarının ömrü uzamakta, katı atık taşıma ve depolama alanı işletme giderleri azalmakta, doğal kaynaklar muhafaza edilmekte, doğayı kirlletme miktarı en aza indirilmekte ve enerji kaynaklarının muhafazası büyük ölçüde sağlanmış olmaktadır [Öztürk, 2005].

Türkiye’de ağırlıkça %5–9, hacimce ise %15–20 oranında katı atık olarak plastik bulunmakta olup, kullanıma yılda yaklaşık olarak 500 bin ton plastik ambalaj sunulmaktadır. Almanya’da bu miktar 90’lı yıllarda %30 iken hacimce bu değer %50 değerindeydi. Katı atık plastik miktarı, İngiltere’de %8 ile %11 arasında olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri’nde katı atıkların %62’si depolanmakta olup, 1960 yılında atıklar içinde plastik miktarı %0,5 iken 1996 yılında %12,3’e ulaşmıştır [Öztürk, 2005].

Plastik malzemelerin geri kazanımında birincil, ikincil, üçüncül ve dördüncül olmak üzere toplam dört geri dönüşüm tekniği uygulanmaktadır. Bunlardan birincil geri dönüşüm, atık plastikler saf malzemelerle karıştırılarak saf polimerden elde edilen ürüne yakın özellikte ürün elde edilmektedir. İkincil geri dönüşümde ise, saf plastiklerden elde edilen ürüne yakın olmayan ikincil kalitede ürün elde etmeye yönelik atık plastik geri dönüşüm tekniğidir. Üçüncül geri dönüşümde plastik atıklar kendi polimerinin üretimi için monomer üretmek üzere kullanılmakta veya hammadde ve katkı maddesi olarak kullanılmak üzere çeşitli kimyasallara dönüştürülürler. Dördüncül geri dönüşüm ise, plastiklerin yakılması işlemi olup, atıklar yakılarak enerji elde edilmesi yöntemidir [Tan vd., 2007].

Mekanik özelliklerdeki değişiklikler göz önünde tutulduğunda, geri dönüşümün saf malzemelerin yerini tutabileceğine şüpheyile bakılmıştır [Al-Mulla and Gupta, 2008]. Mekanik değişimler, düşük ekonomik değerlerine rağmen geri dönüşümün güvensizliği algısını oluşturmaktadır [Vilaplana and Karlsson, 2008].

Ekonomik sebeplerin yanı sıra ISO 14001’e göre üretici işletmelerin çevre ile olan etkilenme zararının en aza indirilmesi hedeflemiştir. Bu yüzden plastik geri dönüşüm önemini her geçen gün artmaktadır [Fei et al., 2009].

1.1. Tezin Amacı ve İçeriği

Mühendislik termoplastikleri, yüksek mekanik özelliklerin, kimyasal ve boyutsal kararlılığın, çekme ve darbe dayanımlarının gerekli olduğu parçalarda kullanılırlar. Bu sebeple maliyetlerinin yüksek olduğu mühendislik termoplastiklerinin geri dönüşümü ve geri dönüşümünden sonra ilk değerlere yakın mekanik dayanımlarının olması önem kazanmıştır.

ABS (Akrilonitril Bütadin Stiren), yüksek işlenebilirlik, yüksek darbe dayanımı, mükemmel boyanabilirlik ve parlatılabilme özellikleriyle, çok geniş çalışma sıcaklığı aralığı, iyi derecede çekme dayanımı, rijitlik ve kimyasal kararlılığıyla günlük hayatımızda ve sanayide en yaygın kullanılan mühendislik malzemelerinden biridir. ABS özellikle fiyat-performans dengesi olarak en çok tercih edilen plastiklerin başında gelir [Zenkiewicz et al., 2006].

POM (Poli Oksi Metilen), yüksek fiziksel özelliklere sahiptir. Elastikiyet, sertlik, boyutsal kararlılık ve üstün dayanıklılık bunlardan bazılarıdır. Düşük sürtünme katsayısıyla ideal yatak malzemesidir. Özellikle makine aksamı olarak kullanımda daha iyi sonuçlar verdiği tecrübelerle belirlenmiştir. Küçük dişlilerde dişlerin mukavemeti açısından tercih edilmiştir. POM, otomotiv, mekanik ve elektro mekanik parçalar gibi çok geniş kullanım alanı olan bir mühendislik termoplastiğidir [Web 1, 2014].

Bu çalışmada, Samsung marka Starex SD-0150GP serisi genel amaçlı ABS ve Ticona marka C9021 GV1/30 serisi %26 cam elyaf takviyeli POM malzemeleri kullanıldı. ABS ve POM malzemelerinden alınan test numunelerinin, çekme, darbe ve eriyik akış testleri yapıldı ve mekanik özellikleri incelendi.

ABS'nin on iki kez geri dönüşümü yapıldı. Saf malzemenin 3, 6, 9, 12 kez geri dönüşümlerinden yeteri sayıda test numunesi alındı. Bunun yanı sıra farklı yüzdelerde saf malzemeyle 3, 6, 9, 12 kez geri dönüşümlerinin ve farklı geri dönüşüm sayılarının karışımından test numuneleri alındı.

POM malzemesinin saf ile 2, 4, 6, 8 kez geri dönüşümlerinden yeterli sayıda test numuneleri alındı. Saf malzemeyle bu geri dönüşümler ve farklı geri dönüşümler karıştırılarak test numuneleri alındı.

Bu çalışmada, POM ve ABS malzemelerinin geri dönüşüm sayılarına bağlı mekanik değerleri ölçülmüş, saf malzemeye göre kıyaslama yapıldı. Ayrıca, geri

dönüşüm numuneleri saf malzeme ve kendi aralarında karışımlar yapılarak, mekanik özelliklerinin değişimleri gözlemlendi ve geri dönüşümlerin saf malzeme yerine kullanılıp kullanılamayacağı araştırıldı.



2. PLASTİK ÜRETİM ve GERİ DÖNÜŞÜM TEKNİKLERİ

Kelime olarak plastik bir malzeme türünü belirtir, fakat sıfat olarak kalıcı şekil değiştirebilen cisim anlamına gelir. Mesela bakalit bir plastiktir, fakat plastik malzeme değildir, zira kırılmandır, plastik şekil değiştirmeye uğramadan kırılır. Endüstride plastik denmesinin sebebi üretimlerinin belirli bir aşamasında akıcı veya plastik kıvam almaları ve basınçla bir kalıba enjekte edilerek şekil verilmesidir [Onaran, 2000].

Petrol, gaz ve kömürden elde edilen plastiğin genelde temel kaynağı petrol rafinerisinden artan maddeler olup, tüm Dünya’da üretilen toplam petrolün sadece yaklaşık % 4’ü plastik üretimi için kullanılır [Ay, 1992].

Plastiklerin malzemelerin ekonomik olmaları, işleme kolaylıkları ve mekanik özelliklerinin sürekli geliştirilmesi nedeniyle kullanım alanları ve miktarları giderek artmaktadır. Otomotiv, ev aletleri, mutfak eşyaları, inşaat, ambalaj ve daha bir çok sektörde kullanılmaktadırlar. Bununla beraber konfeksiyon, temizlik, tarım, kozmetik ve medikal alanda kullanılan araç ve gereçlerde ve bunun gibi günlük yaşantımızın her yerinde plastikler kullanılmaktadırlar [Tan vd., 2007].

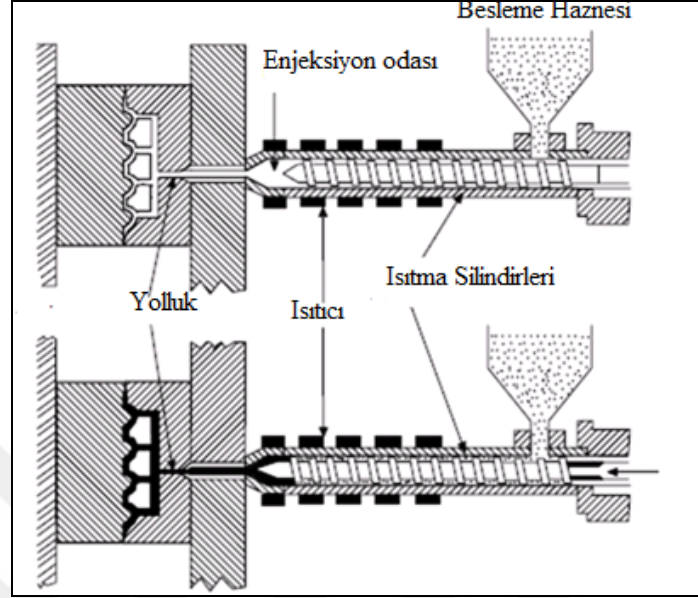
2.1. Plastik Üretim Yöntemleri

Karbonun hidrojen, azot, oksijen ve diğer inorganik ve organik elementlerle oluşturduğu monomer denen küçük ve basit moleküllü gruptaki çift bağın koparılarak, polimer denen zincirli yapıya dönüştürülmesiyle plastikler oluşur. Bazı katalizörler eklenerek, uygun bir sıcaklık ve basınçla bir reaktörde monomerlerin reaksiyona sokulmasıyla polimerler elde edilir. Bu işlemler sonucu toz, reçine ve granül halinde gelen polimerler elde edilir [Öztürk, 2005].

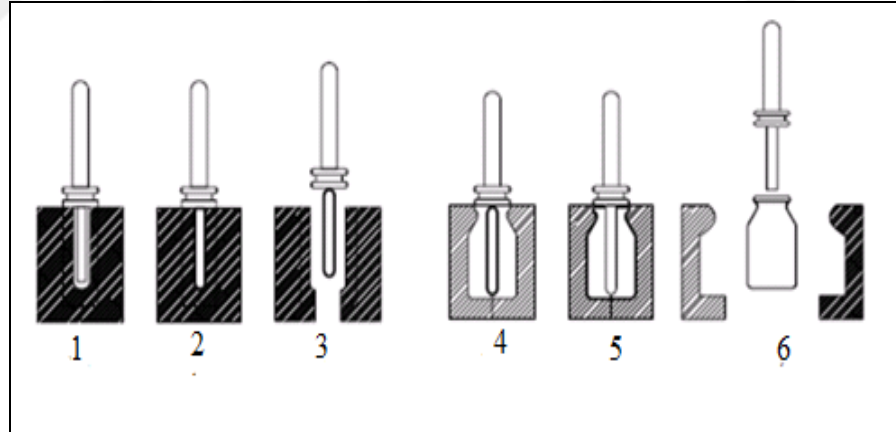
Polimerlerin plastiğe dönüşümü üç aşamada olur. Bunlar;

- Yumuşatmak için ısıtılması,
- Eritilmiş olan malzemenin kalıplara dökülmesi,
- Soğutulması ve şekil verilmiş plastik ürünün elde edilmesidir [Öztürk, 2005].

Plastik ürünler, enjeksiyon (Şekil 2.1), ekstrüzyon, şişirme (Şekil 2.2), sıkıştırma (Şekil 2.3) ve vakum termo şekil verme (Şekil 2.4) teknikleri ile elde edilirler [Chanda and Roy, 2009].

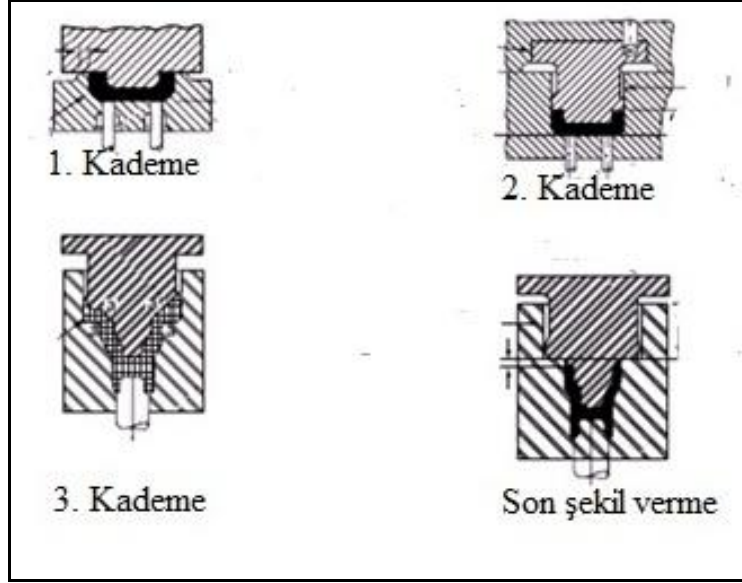


Şekil 2.1: Enjeksiyon yöntemi.



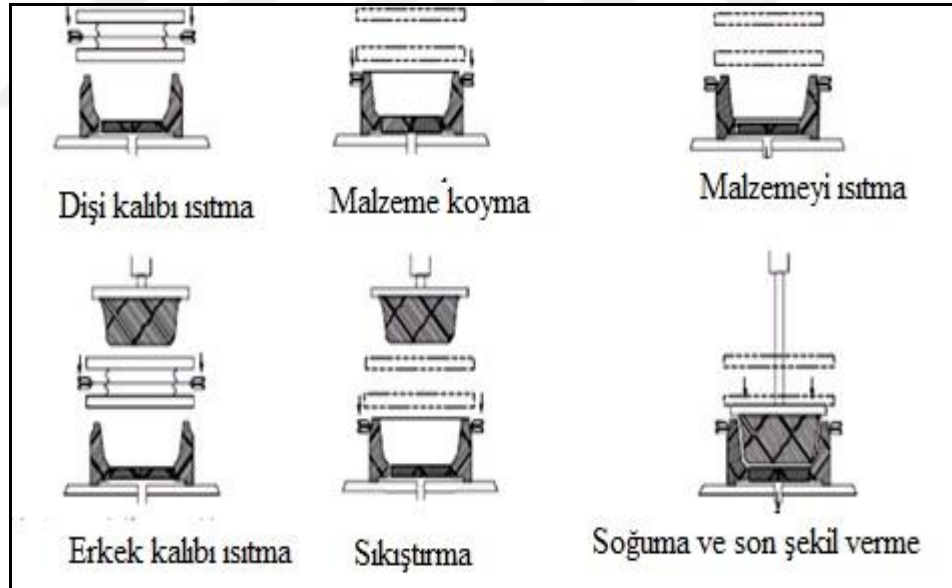
Şekil 2.2: Şişirme yöntemi.

Şekil 2.2’de ilk üç aşamada şişirme yapılacak parça enjeksiyon makinasında kalıplanır. Son üç aşamasında ise plastiğin içine basınçlı sıcak hava vererek form verilir ve kalıbın soğukluğuyla son şeklini alır.



Şekil 2.3: Sıkıştırma yöntemi.

Sıkıştırma yönteminde, plastik, bir veya birden fazla kalıpta kademeli olarak sıkıştırılarak son şeklini alır.

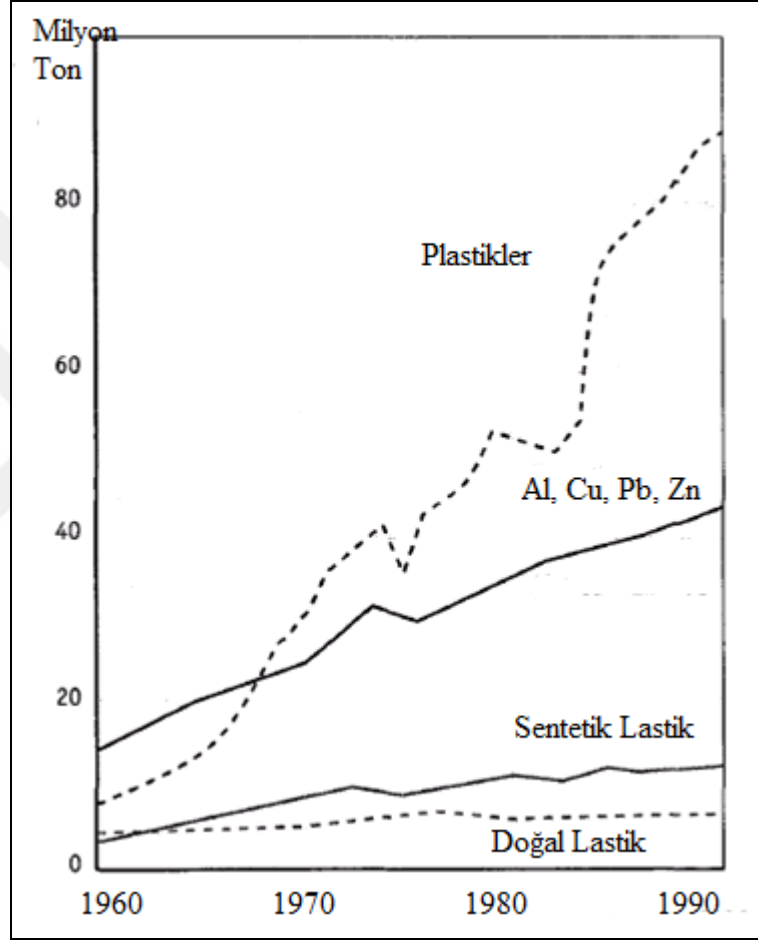


Şekil 2.4: Vakum termo yöntemi.

Vakum termo şekil vermede genelde kase tabak gibi plastikler kalıplanır. Vakumlu kalıplar arasına sürülen düz form plastiğe ısı verilecek kalıp çeperlerine yapışmasıyla plastiğe son şekli verilir.

2.2. Türkiye’de ve Dünya’da Plastik

İlk defa 1860’ta Aleksander Parkes tarafından bulunan plastik, günümüzde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 2.5’te verilmiş olan 1960-1990 yıllarında Dünya’da plastik kullanımının zamana göre değişiminden plastik kullanımının çok hızlı arttığı anlaşılmaktadır [Öztürk, 2005].

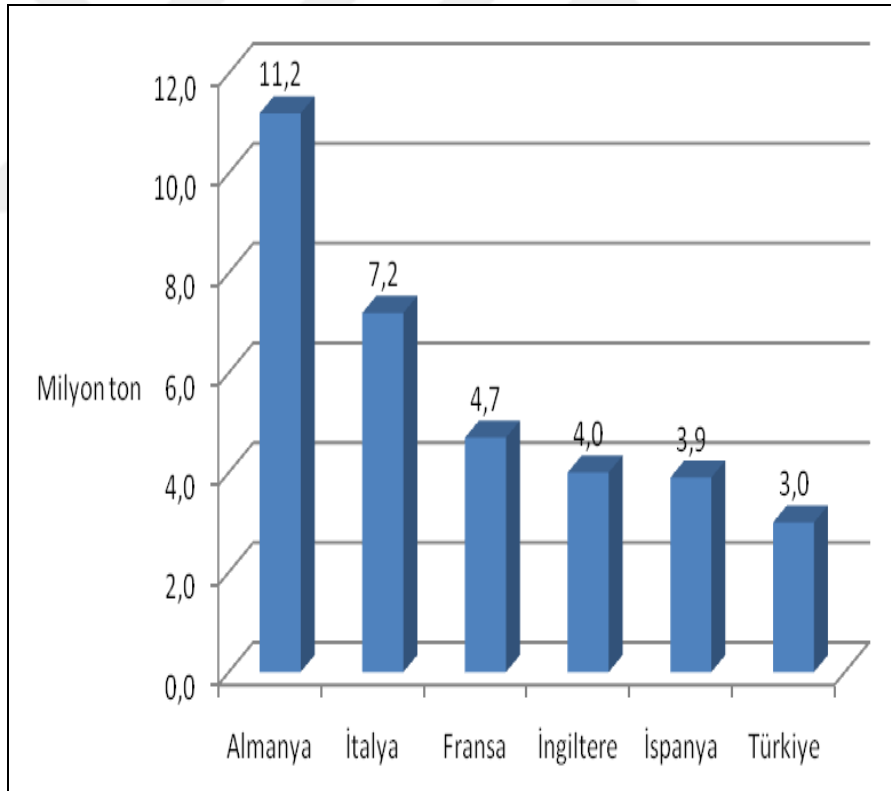


Şekil 2.5: Plastik kullanımının zamanla değişimi.

Plastiklerin malzemelerin ekonomik olmaları, işleme kolaylıkları ve özelliklerinin sürekli geliştirilmesi nedeniyle kullanım alanları giderek artmaktadır. Otomotiv, ev aletleri, mutfak eşyaları, inşaat, ambalaj ve daha bir çok sektörde kullanılmaktadır. Bununla beraber temizlik, tarım, kozmetik, tekstil, konfeksiyon ve medikal alanında kullanılan araç ve gereçlerde ve bunun gibi günlük yaşantımızın her yerinde plastikler kullanılır [Tan vd., 2007].

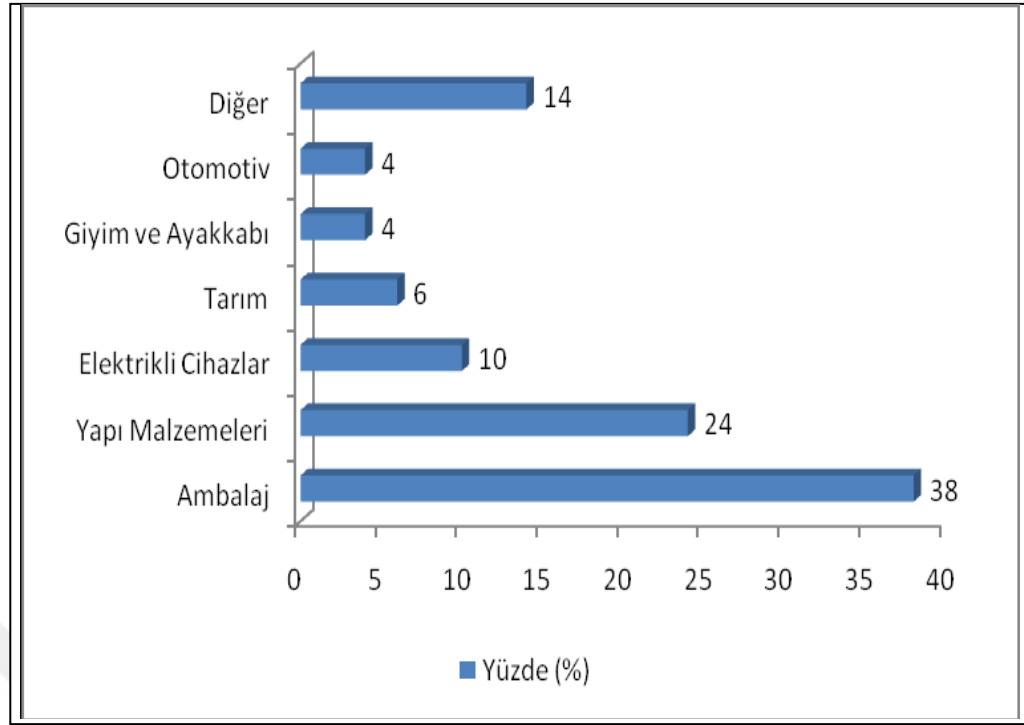
1998 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde kişi başına plastik tüketimi 98 kg, Avrupa'da 69 kg, Çin'de 11 kg, Türkiye'de ise 30 kg ölçülmüştür. 1998'de Dünya'daki plastik tüketimi 115 milyon ton olarak gerçekleşmiş ve Avrupa'da 28 milyon ton, Türkiye'de ise 2 milyon ton olmuştur [Tan vd., 2007].

Türkiye'deki plastik sanayisinin Dünya plastik sanayisi içindeki payı 2003'te % 1,6 seviyesinde olup, Türkiye'nin plastik işleme kapasitesinin 2003 yılında Avrupa'da 6. sırada yer aldığı görülmektedir (Şekil 2.6) [Web 2, 2008]. Bununla birlikte Türkiye, sentetik elyaf üretiminde Avrupa'da ikinci, kapı pencere profili üretiminde ise üçüncü sırada yer almaktadır. 2003 yılında 2002'ye göre %10 büyüyen sektör, 2004 yılının ilk altı ayında da önceki yılın aynı dönemine göre %12'lik bir büyüme göstermiştir [Web 4, 2010]. Dünya'da olduğu gibi ülkemizde de plastik tüketimini yönlendiren en büyük sektörlerin başında, ambalaj ve inşaat malzemeleri yer almaktadır [Mulder, 1998].



Şekil 2.6: 2003 yılında Avrupa'da plastik tüketimi.

Plastiklerin kullanıldıkları sektörler Şekil 2.7'de görülmektedir [Tan vd., 2007].



Şekil 2.7: Plastik kullanılan sektörler.

2.3. Plastik Malzemelerin Geri Dönüşümü ve Önemi

Plastikler, pek çok dezavantajına rağmen, şekil alma, elastikiyet, nakliyyede kolaylık ve ekonomiklik gibi nedenlerden dolayı çok tercih edilir malzemelerdir. Çevre kirliliği düşünüldüğünde ise en büyük problemlerden biri olmuşlardır [Page, 1992].

Sentetik polimerler doğaya bırakıldıklarında, toprak plastikleri uzun süre parçalayamadığından çevresel kirliliğe ve toksik madde birikimine sebep olmaktadır [Beyatlı, 1996].

Çevredeki atık maddelerin; biyolojik ve kimyasal etkilerle bozunması istenmektedir. Bu maddeler kullanılıp atıldığında çevreye zararının olmaması istenmektedir. Çevresel etkileşimleri açısından plastiklere bakıldığında, bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, ultraviyole ışınlarına dirençli olmaları ve doğada biyolojik aktivitelere karşı dayanıklı olmaları sebebiyle uzun süre bozunmadan kalabilmektedirler. Bu sebeplerden dolayı doğayı kirlletmekte ve geri dönüşümü toplumsal zorunluluk haline getirmektedir. Artan sivil toplum örgütlerinin baskıları ve yeni kanunlar, bu gibi çevreye zarar verebilecek maddelerin geri kazanımını

istemekte ve kaynakların etkin kullanımı teşvik etmektedir. Bu sebeplerden dolayı bu konudaki araştırmalar son yıllarda hızla artmıştır [DPT, 2001].

2.3.1. Plastik Geri Dönüşümünün Ana Sebepleri

Ömürlerinin bitmesiyle birlikte atık haline gelen plastik malzemelerin geri dönüşümü çok büyük önem teşkil etmektedir. Öztürk, yaptığı çalışmada plastikleri geri dönüşümünün nedenlerini şu şekilde sıralamıştır;

- Dünya’da birçok ülkede katı atık depolama alanlarında uygulanan vergilendirme ve katı atıkların bertaraf maliyetlerinin artması nedeniyle plastiklerin geri dönüşümünün gereksinimi artmıştır. Stok alanlarında büyük yer işgal ettikleri için bu alanlarının ömrünü kısaltmaktadırlar.
- Plastik üretiminde saf malzemelerin yanı sıra geri dönüştürülen malzemelerin de kullanılmaya zorlanması geri dönüşüm gerekliliğini arttırmıştır. Geri dönüştürülen plastiklerin maliyeti saf malzemelerin maliyetlerinden daha yüksek olmakla birlikte birçok ülkede kullanılmış ambalaj malzemelerinden yeni ürünler üreten geri dönüşüm sanayi oluşturulmuştur.
- Geri dönüştürülmüş plastikler malzemelerden yapılmış ürünlere pazar talebinin teşvik edilmesi ile plastiklerin geri dönüştürülmesi artmıştır.
- Petrol ürünlerinin fiyatlarının artması plastik atık malzemelerin geri dönüşümlerini arttırmıştır.
- Plastik sanayisinde, kullanılmış plastiklerden yeni plastik ürünlerinin elde edilmesi atık plastiğe talebi arttırmıştır [Öztürk, 2005].

Doğada atık olan plastiklerin yeniden değerlendirilmesinin bir boyutu da ekonomidir. Kimyasal maddelerin yoğun olarak üretilmesi ve bu maddelerden imal edilen plastiklerin yeniden değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması sağlanmalıdır [Web 3, 2008].

Plastik geri dönüşümü çevresel açıdan olduğu kadar ekonomik açıdan da büyük önem taşımaktadır. Plastiklerin geri dönüştürüp tekrar kullanılmasıyla;

- Plastik hammadde kaynakları muhafaza edilmektedir.

Doğada kirlilik önlenerek, geri dönüştürülmüş plastiklerden birçok yeni malzeme üretilebilmektedir.

- Üretimde meydana gelen enerji tüketimi azalmakta, atık plastik malzemelerden de enerji üretimi yapılabildiğinden enerji tasarrufu sağlanmaktadır.
- Katı atık stok alanlarının ömürleri uzatılmaktadır.
- Geri dönüşümle birlikte yeni istihdam olanakları oluşturulmaktadır.
- İsviçre gibi gelişmiş ülkelerde evsel atıklardan geri kazanılan plastiklerin yakılmasıyla bölgenin ihtiyacı olan yaklaşık %60'ı karşılanmaktadır.
- Otomotiv sektöründe araçların tamponları dahil, motorların bazı parçaları, bağlantı elemanları, yakıt tankları ve araçların yaklaşık %30 parçalarının plastikten yapılarak araçların yakıt tüketimi yaklaşık %5 azaltılmaktadır [Öztürk, 2005].

2.3.2. Plastik Atık Malzemelerin Kaynağı

Plastikler atıklar, kaynaklarına göre işlem atıkları ve kullanım sonrası atıklar olmak üzere iki sınıfta ayrılırlar. Plastik imalathanelerinde üretim yapılırken üretilen malzemelerin çapaklarının alınması veya üretim hatasından kaynaklanan atıklar işlem atıkları olarak adlandırılır. İşlem atıkları toplam üretimin yaklaşık %10'unu teşkil edip, genelde saf malzemeyle aynı özelliklerde değerlendirilir [Tan vd., 2007].

Kullanım sonrası plastik atıklarla ilgili birçok sınıflanma yapılmış olup bu tip atıkların oluştukları sektörlere göre incelenmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Evsel atıklar,
- Tarım atıkları,
- Depolar, toptancılar ve dağıtıcı atıkları,
- Diğer sanayi atıkları,
- Karoserler, ev eşyaları ve çeşitli metal atıkların toplanarak preslendiği ve demirli veya demirsiz metal atıkların elde edildiği parçalama tesisleri [Güler ve Çobanoğlu, 1997].

2.4. Geri Dönüşüm Teknikleri

Kullanım sonrası ve işleme sonucu oluşan plastik atıkların değerlendirilmesinde dört temel teknik uygulanır. [Tan vd., 2007].

2.4.1. Birincil Geri Dönüşüm Tekniği

Birincil geri dönüşüm yönteminde temel amaç atık plastik malzemelerinden, saf polimerlerden elde edilen ürünlere yakın değerlerde ürünler elde etmektir. Bu teknikte kırıcılarda boyutları küçültülen atık plastik malzemeler saf plastik malzemelerle karıştırılarak tekrar işlenmektedir. Bu teknikte özellikle işlem atıklarının yeniden kullanılması ve kullanım sonrası atıklardan temiz olarak elde edilen kirlenmemiş plastikler kullanılmaktadır. Böyle atık malzemelerin geri dönüştürülmesi ekonomik olduğu kadar da kolay olmakla birlikte, şayet plastikler herhangi bir madde ile ya da dış etkilerle kirlenmişse bunlara uygulanacak işlemler daha zor ve maliyetli olmaktadır. Bu tekniğin atık plastik malzemelere uygulanabilmesi için ana unsur, saf polimerden elde edilen ürüne yakın değerlerde ürün elde etmektir [Tan vd., 2007].

2.4.2. İkincil Geri Dönüşüm Tekniği

Saf polimerden elde edilen ürüne yakın değerlerde olmayan ikincil kalitede mamul üretimine yönelik atık plastik geri dönüşüm tekniğidir [Andrady, 2003]. Bu teknikte, kullanım sonrası kirlenmiş plastik malzemeler eritilerek plastik ekstrüzyon makinasından geçirilip temizleme, kurutma gibi işlemlerden sonra kırıcıyla küçük parçalara ayrılarak tekrar işlenir. Bu işlemler genelde üretim sırasında polimerin içine fazla katkı maddesi eklenmesi ve kullanım sonrasında kirlenmeden dolayı mekanik değerlerinde düşüş olan plastik malzemelere uygulanmaktadır. Bu teknikle geri dönüştürülen plastik malzemeler genelde ikinci sınıf veya kalite gerektirmeyen mamullerin üretiminde kullanılmaktadır [Tan vd., 2007].

Birincil ve ikincil geri dönüşüm teknikleri mekanik geri kazanım olarak da adlandırılmaktadır. Bu teknikle geri kazanılan plastik malzemeler ürünle aynı ya da farklı özellikler gösterebilmektedir [Goodship, 2007].

2.4.3. Üçüncül Geri Dönüşüm Tekniği

Bir diğer adıyla kimyasal geri dönüşüm tekniğidir.

Kimyasal geri kazanım veya hammadde geri kazanımı olarak da bilinen üçüncül geri dönüşüm tekniğinde plastik malzemelerden yeni polimerlerinin üretimi için gereken yağ bileşenleri ve hidrokarbon tekrar elde edilmektedir [Goodship, 2007].

Üçüncül geri kazanım tekniği plastik malzemelerin, yeni petrokimyasal malzeme ve plastiklerin üretiminde hammadde şeklinde kullanılarak genellikle sıvı ve gazlar olmak üzere daha küçük moleküllere dönüştürülmesi işlemidir [Al-Salem et al., 2009]. Kimyasal geri kazanım tekniği olarak da adlandırılan üçüncül geri dönüşümde ana amaç atık plastiklerden, plastiğin üretildiği polimerin monomerinin, saf polimerinin veya başka amaçlar için kullanılmak üzere çeşitli kimyasal maddelerin üretilmesidir [Tan vd., 2007].

2.4.4. Dördüncül Geri Dönüşüm Tekniği

Dördüncül geri dönüşüm, plastik atık malzemelerden ısı elde edilmesi için yapılan bir yakma işlemidir. Plastik atık malzemeler yakılarak enerjisi elde edilir [Goodship, 2007]. Bu teknik son yıllarda çıkan çevre kanunları ve diğer yaptırımlar sebebiyle en son düşünülmesi gereken tekniktir. Bununla birlikte atık malzemelerin yakılması sonucu meydana gelebilecek toksik özellikteki gazlar sebebiyle insan sağlığı açısından da sıkıntılı bir tekniktir [Tan vd., 2007].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. POM Malzeme İçin Literatür Araştırması

Archodoulaki ve arkadaşları POM malzemesinin, yaşlandırma ve geri dönüşümü sonrası malzeme akış miktarlarının değişimini incelemişlerdir. Farklı özelliklerde olan Delrin 900P, Delrin 927P ve Delrin 127P homopolimer ve Ultraform W2320 003, Ultraform W2320 U03, Hostaform 27021 ve Hostaform 27021 LS kopolimer POM malzemelerin termo-mekanik ve termo-oksidatif yüklemenin yanı sıra ultraviyole ışınına maruz kalarak bozulma süreci değerlendirilmiştir. Saf malzemeleri, birinci ve yedinci geri dönüşüm sonrası malzemeleri, sadece ısı ve ısıyla birlikte ultraviyole ışınına maruz bırakarak, plastik enjeksiyon makinasında, homopolimer POM malzemelerde enjeksiyon sıcaklığı 190 °C, kopolimer POM malzemelerde ise enjeksiyon sıcaklığı 215 °C, kalıp sıcaklığı tüm malzemelerde 90 °C’de, tutarak, ISO 527-2 tip 1A standardında kalıplanmışlardır. Malzemeler her seferinde 4 saat 80 °C’de kurutularak kalıplanmıştır. Sonuç olarak ısı ve ultraviyoleye maruz kalan malzemelerin eriyik akış miktarlarının artmasına sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Geri dönüşüm sayısı arttıkça kopma uzamasının bütün malzemeler için azaldığını ve bu davranışı molekül bağı sayısının değişmesiyle açıklanabileceği değerlendirmişlerdir [Archodoulaki et al., 2007].

Tscharnutter ve Muliana viskoelastik POM malzemenin düzensiz tepkisini araştırmışlardır. Farklı ısı ve mekanik gerilmelerdeki sürünme ve gevşeme davranışlarını incelemişlerdir. Yüksek ısı ve gerilmenin viskoelastik POM malzeme için sürünme ve gevşemeyi arttırdığını tespit etmişlerdir [Tscharnutter and Muliana, 2013].

Bledzki ve arkadaşları doğal ve selüloz lifli POM malzemelerin tokluk ve ısıl sapma değerlerini incelemişlerdir. Hostaform C 27021 POM malzemesi 166 °C eriyik sıcaklığı, 160-180 °C enjeksiyon sıcaklığı ve 80 °C kalıp sıcaklığında, çekme testleri için EN ISO 527 standardına göre, darbe testi için EN ISO 1790 standardına göre kalıplanmıştır. Çekme testleri 2 mm/dak hızında EN ISO 178 standardında, darbe testleri EN ISO 6603-2’ye göre 3.65 kg ağırlık ve 4.4 m/s hızla yapılmıştır.

Dinamik mekanik analizleri ise, 30x10x4 mm ölçüsündeki numuneleri, 50-150 °C arasındaki sıcaklık değerleri ve 1, 3, 10 Hz frekans değerlerinde yapmışlardır. %30 oranında lif eklenen POM'un elastikiyet modülü ve çekme dayanımının iki katına, darbe dayanımının altı katına kadar çıktığını tespit etmişlerdir [Bledzki et al., 2012].

3.2. ABS Malzeme İçin Literatür Araştırması

Bai ve arkadaşları ABS malzemesini farklı ısı ve devirler kullanarak dört kez geri dönüşüm işleminden geçirmiş ve eriyik akış miktarlarını kıyaslamışlardır. Geri dönüşüm sayısı arttıkça eriyik akış miktarının arttığını gözlemlemişlerdir [Bai et al., 2007]. Salari ve Hanjbar ABS malzemesinin yedinci geri dönüşümde saf malzemeye göre eriyik akış miktarının %37.5 arttığını gözlemlemişlerdir [Salari and Hanjbar, 2008]. Zenkiewicz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ABS malzemesinin 10. geri dönüşümden sonra eriyik akış miktarının %27 arttığını tespit etmişlerdir [Zenkiewicz et al., 2009].

Perez ve arkadaşları. ABS malzemesini 10 kez geri dönüşüm işleminden geçirmiş ve eriyik akış miktarlarının geri dönüşüm sayısı arttıkça arttığını görmüşlerdir. Çekme dayanımında ise saf malzemeye yakın değerler ölçmüşlerdir. Bunun sebebinin ABS malzemesindeki güçlü SAN (stiren akrilonitril kopolimer) bağları olduğunu düşünmüşlerdir [Perez et al., 2010].

Liang ve Gupta atık ABS ile %85 saf ve %15 atık ABS karışımının çekme dayanımı değerlerini kıyaslamış ve yakın değerler ölçmüşlerdir [Liang and Gupta, 2001].

Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada elektrik ve elektroniksel atık ABS ye epoksi bazlı geri dönüşüm uzatıcı katkı maddesi ekleyerek saf ABS'nin mekanik değerleriyle kıyaslamışlardır. Epoksi bazlı katkı maddesi olarak Jonciyl-ADR-43705 %0.3, %0.5, %0.7, %0.9 olarak eklenerek testler yapılmıştır. Darbe dayanımı saf malzemede 11.6 kJ/mm² , atık ABS'de 2.1 kJ/mm² ölçülmüş ve %0.7 katkı maddesiyle bu değer 6.3kJ/mm² ye çıkmıştır. Çekme dayanımı ise saf ABS'de 38.7 MPa iken, atık malzemede 20 MPa ölçülmüş ve %0.9 katkı maddesiyle 43.7 MPa ölçülmüştür. Bu çalışmada, atık ABS'yi uygun katkı maddeleri karıştırarak saf ABS yerine kullanılabilir hale getirilebileceği gözlemlenmiştir [Wang et al., 2015].

Peydro ve arkadaşları ABS malzemesini 260 °C ve 220 °C de kalıplamış ve geri dönüşüm sayısı ve enjeksiyon ısısının mekanik değerlere etkisini araştırmışlardır. Beş kere geri dönüşüm yapılmış ve mekanik testler uygulamışlardır. Testler sonucunda 220 °C de kalıplanan malzemelerin mekanik değerlerinin daha iyi olduğu tespit edilmişler ancak kalıplama süresinin uzadığını belirlemişlerdir. Kopma uzaması ilk geri dönüşümde %10 kadar düşüş göstermiş ve sonrasında yakın değerler ölçülmüştür. Çekme dayanımı, 260 °C de kalıplanan parçalarda geri dönüşüm sayısı arttıkça artmıştır. 220 °C ile kalıplanan parçalarda ise lineer olmayan artma ve azalmalar görülmüştür. Darbe dayanımı geri dönüşüm sayısı arttıkça düşmüştür [Peydro et al., 2014].

Mantaux ve arkadaşları ABS malzemesine ekstrüzyon ve kimyasal olarak bir kez geri dönüşüm uygulamışlar ve testler yapmışlardır. 6 ve 12 aylık yaşlandırma da uygulanan ABS'nin çekme dayanımı saf malzeme ile yakın değerlerde ölçülmüştür. Darbe dayanımı ise sadece yaşlandırmalarda %50 düşüş göstermiştir [Mantaux et al., 2004].

Fei ve arkadaşları deneylerinde hareketli metal parçayı frenleyen ABS malzemesi kalıplamışlardır. Çekme dayanımı ve kopma uzamasının önemli olduğu bu parçayı saf ABS ve geri dönüşüm karışımlarıyla kıyaslamışlardır. Malzemelerin 80 °C de 2 saat kurutularak yapılan deneylerde kalıp sıcaklığı 60 °C ve enjeksiyon sıcaklığı 230-250 °C tutulmuştur. Deneylerde %80 saf ABS ve %20 geri dönüşüm malzemesi kullanılmıştır. Her deneyden beşer adet test numunesi alınmıştır. 60 geri dönüşüm uygulanmış ve ilk 10 ve sonrasında 20., 30., 40., 50., 60. deneylerden alınan numunelerle testler yapılmıştır. Testler sonucunda; çekme dayanımı ilk 10 geri dönüşümde zikzaklı olarak artmış ve toplamda %3'e yakın artış göstermiştir. Kırılma uzaması ilk 10 geri dönüşümde zikzaklı olarak düşmüş ve sonrasında yakın değerler ölçülmüştür. Eriyik akış değeri ilk 10 geri dönüşümde zikzaklı olarak artmış ve sonrasında 60. geri dönüşüme kadar artış devam etmiştir. Bunun sebebinin molekül ağırlığının, geri dönüşüm sayısı arttıkça azalmasından kaynaklandığını tahmin etmişlerdir [Fei et al., 2013].

Boldizar ve Möller tekrar işleme ve hızlandırılmış yaşlanma sırasında ABS malzemesinin bozulmasını incelemişlerdir. Geri dönüşümleri ekstrüzyon ile yapmışlar ve 90 °C'de 72 saat yaşlandırma uygulamışlardır. Ekstrüzyon sayısı, yaşlandırma sayısı ve her ikisinin malzeme akış miktarına etkilerini araştırmışlardır.

Malzemeler yaşlandırıldıktan sonra, frezeleme ve delme işlemine tabi tutulmuş ve sonrasında tekrar ekstrüzyon edilmiştir. Ekstrüzyon ısısı 200-230 °C arası tutulmuş ve 100 dev/dak da ekstrüzyon işleminden geçirmişlerdir. 20x0.8 mm kalıp kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, sadece yaşlandırma ve sadece geri dönüşümün malzeme akış miktarın da önemli fark görülmediği, ancak her ikisinin de uygulandığında dördüncü geri dönüşümden sonra malzeme akış miktarında ciddi artış olduğunu tespit etmişlerdir. Yaşlandırma süresince kopma uzamasının azaldığını başlangıçta %30'a yakın iken 235. saatte %5'lere kadar düştüğünü tespit etmişlerdir [Boldizar and Möller, 2003].

Arostegui ve arkadaşları ABS malzemesinin, bozulmada çözünme bazlı geri dönüşümünün etkilerini ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. ABS saf malzeme ve dört kez geri dönüşüm yapılmış malzemeler kıyaslanmıştır. ABS'yi kesip solvent ile çözüp, 80 °C'de 3 saat kuruttuktan sonra, 190-230 °C enjeksiyon sıcaklığında ve 25 °C kalıp sıcaklığı ve 530 bar basınç ile kalıplamışlardır. Geri dönüşüm sonrası yapılan mekanik testlerde, elastikiyet modülünün çevrim sayına bağımlı olmadığını ve yaklaşık değerler çıktığını, akma ve darbe dayanımının ise ilk geri dönüşümde düşüş gösterdiği, sonraki geri dönüşümlerde ise yakın değerler çıktığını tespit etmişlerdir [Arostegui et al, 2006].

Scaffaro ve arkadaşları saf ve atık ABS'nin fiziksel özellikleri ve saf-atık karışımındaki atık miktarının etkilerini incelemişlerdir. 3 kez geri dönüşüm yapılmış ve %30-50-70 oranlarında atık ABS kullanılarak yapılan karışımların saf ABS ve %100 atık ABS ile fiziksel özellikleri kıyaslanmıştır. 190-235 °C arası ve 200 dev/dak'da ve 35 °C kalıp sıcaklığında yapılan enjeksiyon işleminden sonra çekme ve darbe testleri yapılmıştır. Çekme dayanımları kıyaslandığında; ilk geri dönüşümde, saf ABS ile %30 atık ABS karışımı arasında ciddi düşüş gözlenmiş, %50, %70 ve %100 atık ABS içeriği olan karışımların ise %30 atık ABS karışımına yakın değerler gösterdiği tespit edilmiştir. İkinci ve üçüncü geri dönüşümde ise saf ABS ve diğer karışımların çekme dayanımları yakın değerlerde çıkmış ancak atık ABS miktarıyla doğru orantılı düşmüştür. Kopma uzaması; birinci geri dönüşümde ciddi düşüş göstermiş, sonraki geri dönüşümlerde ise düşüş miktarı azalmıştır. İkinci ve üçüncü geri dönüşümlerde atık ABS miktarı kırılma uzamasına çok etki etmemiştir. Elastikiyet modülleri kıyaslandığında ise; her geri dönüşümde aynı miktarlarda düşmüştür. Atık ABS miktarı elastikiyet modülüne etki etmemiştir.

Sadece %70 atık ABS içeren bileşik ve %100 atık ABS'nin 1. ve 2. geri dönüşümlerinde ciddi fark gözlemlenmiştir. Darbe dayanımı geri dönüşüm sayısıyla ters orantılı olarak azalmıştır [Scaffaro et al., 2012].

Kuram ve arkadaşları PBT/PC/ABS karışımının Taguchi yöntemi ile enjeksiyon şartları optimizasyonu ve geri dönüşümün mekanik ve reolojik özelliklere etkilerini araştırmışlardır. Beş kez uygulanan geri dönüşüm sonrası çekme dayanımının saf malzemeye göre azaldığını, darbe dayanımı ve eriyik akış miktarının arttığını gözlemlemişlerdir [Kuram vd., 2014].

Kuram ve arkadaşları PA6/ABS ve PA6/PA66/ABS karışımlarının geri dönüşüm sayısının mekanik, kimyasal, termal ve reolojik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada PA6/ABS karışımının beş geri dönüşüm sonrasında çekme dayanımı %6.49, elastikiyet modülü %21, darbe dayanımı %9.41 azalmış, buna karşılık eriyik akış değeri %23.59 artmıştır. PA6/PA66/ABS karışımının beş geri dönüşümü sonrasında çekme dayanımı %18, darbe dayanımı %87.27 azalmış, eriyik akış miktarı ise 7.7 g/10dk dan 31.56 g/10dk değerine çıkmıştır [Kuram vd., 2014].

Kuram ve arkadaşları PC/ABS ve PA6/PC/ABS karışımlarının geri dönüşüm sayısının termal, kimyasal, morfolojik, reolojik ve mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Beş kez yapılan geri dönüşüm sonrası PC/ABS karışımının elastikiyet ve çekme dayanımına etkisinin olmadığı ancak eriyik akış değeri ve darbe dayanımının azaldığını gözlemlemişlerdir. PA6/PC/ABS karışımının beş kez geri dönüşüm sonrasında çekme dayanımı ve elastikiyet modülü azalmış, eriyik akış, darbe dayanımı artmıştır [Kuram vd., 2015].

Kuram ve arkadaşları PBT/PC/ABS karışımının ve %10 cam elyaf katkısıyla yapılan karışımın geri dönüşüm sayısının mekanik, termal, kimyasal, reolojik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Cam elyaf katkısı olmadan yapılan PBT/PC/ABS karışımının saf malzemesinin çekme dayanımı en yüksek 42.61 MPa, beşinci geri dönüşüm sonrası ise en düşük 40.55 MPa ölçülmüştür. %10 cam elyaf katkılı karışımın beşinci geri dönüşüm sonrası mekanik değerleri cam elyafsız karışımın saf değerlerinden daha yüksek ölçülmüştür. Bunun sebebinin cam elyafın yapışma ve güçlendirme özellikleri olduğunu belirtmişlerdir. Saf cam elyafli karışımın çekme dayanımı cam elyafsız saf karışımın çekme dayanımından %24,85 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Cam elyafli karışımın darbe dayanımı cam elyafsız karışımın darbe

dayanımına göre %55.20 daha fazla ölçülmüştür. Eriyik akış değeri cam elyafli karışımında %33.33, cam elyafsız karışımında %3.21 artmıştır [Kuram vd., 2014].



4. DENEY

4.1. Deneyde Kullanılan Araç-Gereçler ve Malzemeler

4.1.1. Plastik Enjeksiyon Makinası

Deney numunelerinin üretiminde Şekil 4.1'deki YIZUMI marka, 125 gr maksimum basma kapasiteli, 900 kN kapama kuvveti olan, 5 HP gücünde soğutma sistemi olan ve maksimum 95 °C'ye ayarlanabilen kalıp şartlandırıcısı olan plastik enjeksiyon makinası kullanıldı. Plastik enjeksiyon makinasının şartlandırıcısının resmi Şekil 4.2'de verildi. Kalıp soğutucunun resmi Şekil 4.3'te verildir. Plastik enjeksiyon makinasında kullanılan kalıbın resmi Şekil 4.4'te verildi.



Şekil 4.1:Enjeksiyon makinası.



Şekil 4.2: Kalıp şartlandırıcısı.



Şekil 4.3: Kalıp soğutucu.



Şekil 4.4: Numune kalıbı.

4.1.2. Mekanik Kırma Makinası



Şekil 4.5: Mekanik kırma makinası.

Şekil 4.5’te geri plastik malzemelerin dönüşümü için kullanılan kırma makinası gösterildi.

4.1.3. Hassas Tartı

Şekil 4.6’da karışımları yaparken kullanılan hassas tartı gösterildi.



Şekil 4.6: Hassas tartı.

4.1.4. Darbe Test Cihazı

Darbe testlerinde kullanılan INSTRON marka, Ceast 9050 model darbe test cihazı Şekil 4.7’de gösterildi.



Şekil 4.7: Darbe test cihazı.

4.1.5. Eriyik Akış Test Cihazı

Şekil 4.8’de maksimum ısıtma sıcaklığı 300 °C olan, Devotrans marka cihaz, eriyik akış ölçümleri için kullanıldı.



Şekil 4.8: Eriyik akış test cihazı.

4.1.6. Çekme Test Cihazı

Şekil 4.9’da gösterilen INSTRON 5569 marka cihaz, çekme testleri için kullanıldı.



Şekil 4.9: Çekme test cihazı.

4.1.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Şekil 4.10’da görülen Philips marka taramalı elektron mikroskobu analizlerde kullanıldı.



Şekil 4.10: Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

4.2. Deneylerde Kullanılan Plastik Malzemeler

4.2.1. POM Malzemesi

Şekil 4.11’de gösterilen Ticona firmasının Hostaform C 9021 GV1/30 serisi %26 cam elyaf takviyeli POM malzemesi deneylerde kullanıldı.



Şekil 4.11: Ticona Hostaform C 9021.

Yüksek elastikiyet, sürünme ve yanma direnci ve düşük aşınma gerektiren uygulamalar için POM (Polioksümetilen) uygun bir polimerdir.

POM aynı zamanda asetal veya poliasetal olarak bilinen özellikle de düşük sürtünme katsayısı, mükemmel aşınma direnci, yüksek elastikiyet modülüne ve birçok solvent ve otomotiv yakıtına karşı direnç gösteren, kristalleşmiş, yüksek performanslı bir mühendislik polimeridir. Temel mekanik özellikleri, yüksek mukavemet ve iyi darbe mukavemeti ile birlikte sertliktir. POM düşük nem emilimi,

mükemmel bir boyutsal kararlılık özellikleriyle dar toleranslar gerektiren parçalar için uygundur.

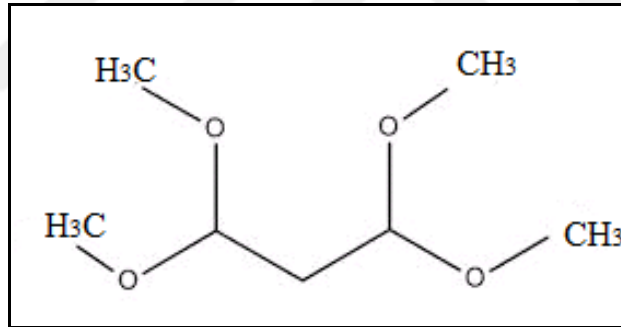
POM homopolimer veya kopolimer olarak bulunmaktadır. Homopolimer mekanik özelliklerini daha kısa süre koruyabilir ve daha yüksek sıcaklıkta erir. Kopolimer, yüksek sıcaklıklarda yüksek alkali direnci ve neme uzun süreli maruz kalma durumunda dahi mekanik özelliklerini koruyabilir.

POM ürünler çok yönlü olmasının sonucu olarak endüstride çok geniş kullanım alanına sahiptirler. POM, enjeksiyon, ekstrüzyon, sıkıştırma, savurma veya şişirme tipi kalıplama ile işlenebilir.

POM malzemesinin özellikleri, cam elyaf, mineraller, iletken dolgu maddeleri, yağlama maddeleri, pigmentler ve diğer katkı maddeleri ile artırılabilir.

4.2.1.1. POM Malzemesinin Kimyasal Yapısı

POM malzemesinin kimyasal yapısı Şekil 4.12’de verildi.



Şekil 4.12: POM malzemesinin kimyasal yapısı.

4.2.1.2. POM Malzemesinin Kullanım Alanları

Poliasetaller yüksek dayanıklı, sağlam ve sert, çok çeşitli çözücü, kimyasal ve yakıtlara karşı mükemmel dirençli malzemelerdir. Sahip olduğu yüzey sertliği ve düşük sürtünme katsayısı sayesinde sürtünme dirençleri yüksektir ve bu özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Poliasetaller çok iyi yalıtım özelliğine sahip olup dielektrik katsayıları sıcaklık ve frekanstan bağımsızdır. Bu nedenle, çok sayıda elektrik ve elektronik uygulamalarında kullanılmaktadır. Poliasetallere %40’a

kadar cam veya diğ er elyaflar katılarak ve elastomerlerle karışımıları hazırlanarak mekanik özellikleri istenilen yönde değiştirilerek geniş bir ürün çeşitliliği elde edilebilir.

Otomotiv sektöründe kapı kildi ve mandalı, yakıt tankı haznesi, emniyet kemeri tokası, tampon desteği, yakıt pompası modülü, iç kapı tutamağı gibi birçok yerde, fermuar üretiminde, elektrik ve elektronik sektöründe birçok dişli ve mekanizmalarda, jaluzi/perde parçaları, kozmetik sektörü ve daha birçok alanda kullanılmaktadır.

4.2.1.3. POM Malzemesinin Mekanik ve Isıl  zellikleri

POM malzemesinin üretici tarafından verilen mekanik ve ısıl  zellikleri Tablo 4.1’de verildi.

Tablo 4.1: POM malzemesi mekanik ve ısıl özellikler.

�zg�l ağırlığı	1.6 g/cm ³
Eriyik akış miktarı	6.4 g/10 dak (ISO 1133)
Kopma uzaması	2.5 %
Darbe dayanımı	30 kJ/m ² (ISO 179)
Erime sıcaklığı	160 �C
Çekme dayanımı	135 MPa

4.2.2. ABS Malzemesi

şekil 4.13’te gösterilen, Samsung markasının Starex SD-150GP serisi genel amaçlı ABS malzemesi deneylerde kullanıldı.

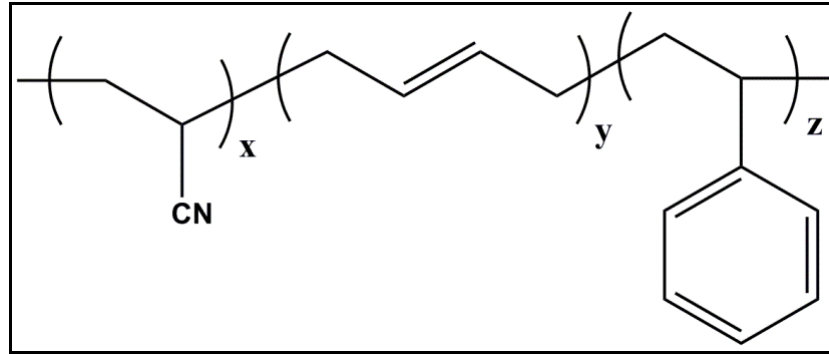


Şekil 4.13: Samsung Starex SD-150GP.

ABS işlenebilirliği en yüksek polimerlerden biridir ve yüksek elastikiyet modülü, çekme mukavemeti, sertlik, ısıl direnç, geniş çalışma sıcaklığı gibi özelliklerinin yanı sıra mükemmel boyanabilirlik ve parlaklık istenen ürünlerde tercih edilir.

4.2.2.1. ABS Malzemesinin Kimyasal Yapısı

ABS malzemesinin kimyasal yapısı Şekil 4.14’te verildi.



Şekil 4.14: ABS malzemesinin kimyasal yapısı.

4.2.2.2. ABS Malzemesinin Kullanım Alanları

Yüksek darbe dayanımı, kimyasal direnci ve ölçüsel dayanıklılığıyla ABS, elektrikli ve elektronik aletler ve ev gereçlerinde, otomotiv parçalarında, oyuncaklarda ve daha birçok alanda kullanılan mühendislik malzemesidir. Genel amaçlı ABS, yüksek ısıya maruz kaldığında özelliklerini koruyamaz. Bunun için ısıl

dirençli ABS malzemeöellerer geliştirilmiştir. Bu sayede otomotiv içsel parçaları, çekme kolları, anahtar panelleri gibi kullanım alanları da oluşmuştur.

4.2.2.3. ABS Malzemesinin Mekanik ve Isıl Özellikleri

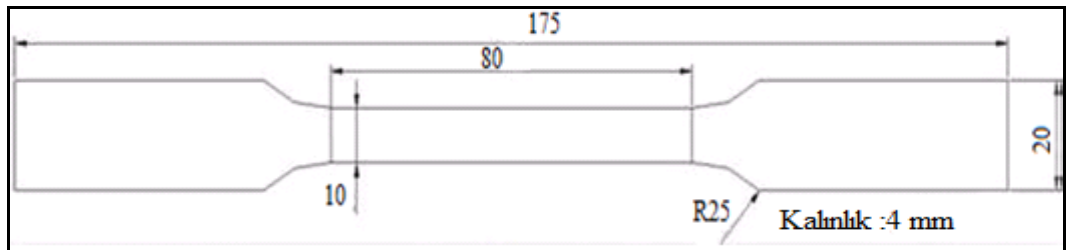
ABS malzemesinin üretici tarafından verilen mekanik ve ısı özellikleri Tablo 4.2’de verildi.

Tablo 4.2: ABS malzemesi mekanik ve ısı özellikler.

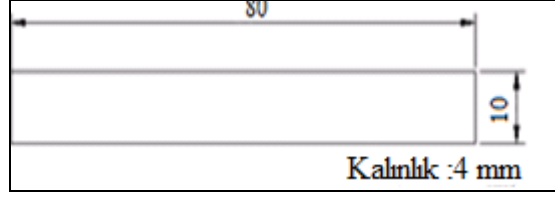
Özgöl ağırlığı	1.604 g/cm ³
Eriyik akış miktarı	2.2 g/10 dak
Kopma uzaması	14 %
Darbe dayanımı	25 kJ/m ²
Erime sıcaklığı	97 °C
Çekme dayanımı	40 MPa

4.2.3. Numuneler ve Deney Planı

Deneylerde, ABS ve POM malzemeleri için, farklı şartlarda deneyler yapıldı. Bu deneylerden yeterli miktarlarda, çekme, darbe ve eriyik akış testleri için numuneler alındı. Çekme numuneleri ölçüleri Şekil 4.15’te, darbe numuneleri Şekil 4.16’da verildi.



Şekil 4.15: ISO 527’ye göre hazırlanan çekme numunesinin şekil ve boyutları.



Şekil 4.16: ISO 178'e göre hazırlanan test numunesi.

4.2.3.1. POM Malzemesi İçin Deney Planı

Tablo 4.3: POM malzemesi için deney planı.

DENEY İSMİ	KARIŞIM İÇERİĞİ
S	Saf malzeme
GD2	2. Geri dönüşüm
GD4	4. Geri dönüşüm
GD6	6. Geri dönüşüm
GD8	8. Geri dönüşüm
50S+50GD2	%50 Saf + %50 2. Geri dönüşüm
50S+50GD4	%50 Saf + %50 4. Geri dönüşüm
50S+50GD8	%50 Saf + %50 8. Geri dönüşüm
75S+25GD2	%75 Saf+ %25 2. Geri dönüşüm
75S+25GD4	%75 Saf + %25 4. Geri dönüşüm
75S+25GD8	%75 Saf+ %25 8. Geri dönüşüm
50S+25GD2+25GD8	%50 Saf + %25 2. Geri dönüşüm + %25 8. Geri dönüşüm
50S+25GD4+25GD6	%50 Saf + %25 4. Geri dönüşüm + %25 6. Geri dönüşüm
70S+15GD2+15GD8	%70 Saf + %15 2. Geri dönüşüm + %15 8. Geri dönüşüm
70S+15GD4+15GD6	%70 Saf + %15 4. Geri dönüşüm + %15 6. Geri dönüşüm
50GD4+50GD6	%50 4. Geri dönüşüm + %50 6. Geri dönüşüm
25GD4+75GD6	%25 4. Geri dönüşüm + %75 6. Geri dönüşüm

4.2.3.2. ABS Malzemesi İçin Deney Planı

ABS malzemesi için deney isimleri ve açıklamaları Tablo 4.4'te verildi.

Tablo 4.4: ABS malzemesi için deney planı.

DENEY İSMİ	KARIŞIM İÇERİĞİ
S	Saf malzeme
GD3	3. Geri dönüşüm
GD6	6. Geri dönüşüm
GD9	9. Geri dönüşüm
GD12	12. Geri dönüşüm
50S+50GD3	%50 Saf + %50 3. Geri dönüşüm
50S+50GD6	%50 Saf + %50 6. Geri dönüşüm
50S+50GD9	%50 Saf + %50 9. Geri dönüşüm
50S+50GD12	%50 Saf + %50 12. Geri dönüşüm
75S+25GD3	%75 Saf + %25 3. Geri dönüşüm
75S+25GD6	%75 Saf + %25 6. Geri dönüşüm
75S+25GD9	%75 Saf + %25 9. Geri dönüşüm
75S+25GD12	%75 Saf + %25 12. Geri dönüşüm
25S+75GD3	%25 Saf + %75 3. Geri dönüşüm
25S+75GD6	%25 Saf + %75 6. Geri dönüşüm
25S+75GD9	%25 Saf + %75 9. Geri dönüşüm
25S+75GD12	%25 Saf + %75 12. Geri dönüşüm
50S+25GD3+25GD12	%50 Saf + %25 3. Geri dönüşüm + %25 12. Geri dönüşüm
50S+25GD6+25GD9	%50 Saf + %25 6. Geri dönüşüm + %25 9. Geri dönüşüm
25S+25GD3+50GD12	%25 Saf + %25 3. Geri dönüşüm + %50 12. Geri dönüşüm
50GD3+50GD12	%50 3. Geri dönüşüm + %50 12. Geri dönüşüm
25GD3+75GD12	%25 3. Geri dönüşüm + %75 12. Geri dönüşüm

4.2.4. Numunelerin Enjeksiyonda Üretim Şartları

Deneylerde, üretici firmaların önerdiği şartlar aralığında, parçaların çapaksız ve boşluksuz çıkacakları şekilde optimize edilerek şartlar belirlendi. POM malzemesi için enjeksiyon şartları Tablo 4.5’te verildi. ABS malzemesi için enjeksiyon şartları Tablo 4.6’da verildi.

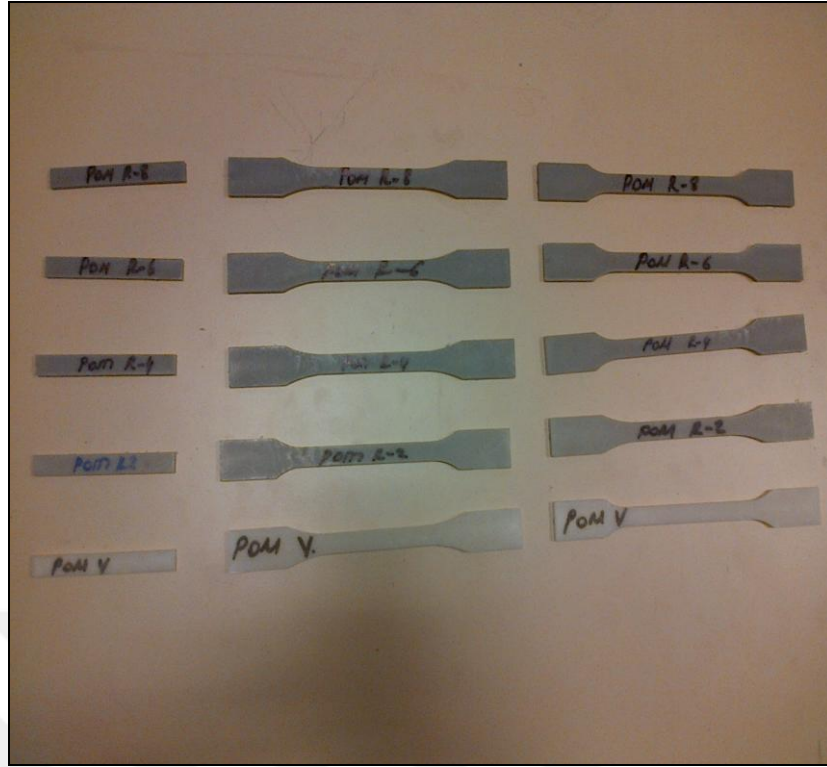
Tablo 4.5: POM malzemesinin enjeksiyon üretim şartları.

Kurutma Sıcaklığı	110 °C
Kurutma Süresi	3 Saat
Isıtıcıların Sıcaklıkları	230 – 240 – 245 - 250 °C
Kalıp Sıcaklığı	80 °C
Enjeksiyon Süresi	6.6 saniye
Soğuma Süresi	7.4 saniye

Tablo 4.6: ABS malzemesinin enjeksiyon üretim şartları.

Kurutma Sıcaklığı	80 °C
Kurutma Süresi	3 Saat
Isıtıcıların Sıcaklıkları	190 – 200 – 220 - 230 °C
Kalıp Sıcaklığı	60 °C
Enjeksiyon Süresi	7.6 saniye
Soğuma Süresi	8.4 saniye

Deneylerden 10’ar adet çekme ve eriyik akış numunesi ve 20’şer adet darbe numunesi alındı. Her birinin üstüne geri dönüşüm veya karışım isimleri yazıldı. Şekil 4.17’de POM malzemesinden alınan numunelerden bazıları gösterildi.



Şekil 4.17: POM malzemesinden alınan numuneler.

Karışımları yapmak için, geri dönüşüm numuneleri, kırma makinesinde kırılarak, hassas tartıda tartılıp, üzerlerine deney ismi ve ağırlıkları yazıldı. Daha sonra Şekil 4.18'deki gibi, her deneyin test numuneleri, kalıptan çıkan numune ve geri dönüşüm numuneleri, deney isimlerine göre gruplandı.



Şekil 4.18: Gruplanmış test, deney ve geri dönüşüm numuneleri

Şekil 4.19'da gösterilen geri dönüşüm numuneleri, karışımlar için kullanıldı.



Şekil 4.19: Karışımlarda kullanılan geri dönüşüm numuneleri.

4.2.5. Test Şartları

POM numunelerinin test şartları Tablo 4.7’de verildi. ABS malzemesinin test şartları Tablo 4.8’de verildi.

Tablo 4.7: POM malzemesi test şartları.

Test	
Darbe Testi	5,5 J (çekiç)
Çekme Testi	3 mm/dak (çekme hızı)
Eriyik Akış Testi	190 °C, 2.16 kg (sıcaklık ve ağırlık)

Tablo 4.8: ABS malzemesi test şartları.

Test	
Darbe Testi	5,5 J (çekiç)
Çekme Testi	5 mm/dak (çekme hızı)
Eriyik Akış Testi	200 °C, 5 kg (sıcaklık ve ağırlık)

4.2.6. Test Sonuçlarını Elde Etme

Eriyik akış ölçümlerinde, her deneyden 3 test yapıldı. Eriyik akış test cihazının haznesinin yetersiz olacağı göz önünde bulundurularak POM ve ABS malzemesi için

3 dakikalık eriyik akış değerleri alındı. Oranlanarak 10 dakikalık birim değer elde edildi. Bu test sonuçları Ek A ve Ek F’de verildi.

Darbe testlerinde, deney numunelerinden 10 tanesinden elde edilen J değeri, numune kesitine bölünerek kJ/m^2 değeri elde edildi. Her deneyin ortalaması alındı. Darbe testi sonuçları Ek B, Ek C, Ek G ve Ek H’de verildi.

Her çekme deneyi için beş test yapıldı. Kopma uzaması ortalamaları alınarak yüzde (%) uzama değerleri hesaplandı. Çekme testi sonuçları Ek D, Ek E, Ek I ve Ek J’de verildi.



5. DENEYLERİN TEST SONUÇLARI

5.1. POM Malzemesi Test Sonuçları

5.1.1. POM Malzemesi Eriyik Akış Testi Sonuçları

Tablo 5.1: POM malzemesi eriyik akış testi sonuçları.

Deney	Eriyik Akış Miktarı (g/10 dak)
S	5,55
GD2	5,94
GD4	8,82
GD6	10,69
GD8	10,96
50S+50GD2	8,57
50S+50GD4	8,72
50S+50GD8	9,35
75S+25GD2	7,96
75S+25GD4	7,80
75S+25GD8	7,98
50S+25GD2+25GD8	8,97
50S+25GD4+25GD6	8,57
70S+15GD2+15GD8	8,44
70S+15GD4+15GD6	7,78
50GD4+50GD6	10,16
25GD4+75GD6	10,25

POM malzemesinin eriyik akış testi sonuçları Tablo 5.1’de verildi.

5.1.2. POM Malzemesi Darbe Testi Sonuçları

POM malzemesinin darbe testi sonuçları Tablo 5.2’de verildi.

Tablo 5.2: POM malzemesi darbe testi sonuçları.

Deney	Darbe Dayanımı (kJ/m ²)
S	26,25
GD2	28,75
GD4	36,50
GD6	39,50
GD8	41,25
50S+50GD2	29,25
50S+50GD4	30,25
50S+50GD8	31,50
75S+25GD2	28,25
75S+25GD4	31,00
75S+25GD8	29,25
50S+25GD2+25GD8	28,25
50S+25GD4+25GD6	31,75
70S+15GD2+15GD8	28,00
70S+15GD4+15GD6	30,50
50GD4+50GD6	38,75
25GD4+75GD6	39,25

5.1.3. POM Çekme Testi Sonuçları

POM malzemesinin çekme deneyi sonuçları Tablo 5.3'te verildi.

Tablo 5.3: POM malzemesi çekme testi sonuçları.

Deney	Kopma Uzaması (%)	Çekme Dayanımı (MPa)
S	3,10	95,44
GD2	3,89	104,57
GD4	4,71	100,97
GD6	5,51	97,66
GD8	6,33	92,77
50S+50GD2	4,81	113,7
50S+50GD4	5,11	112,99
50S+50GD8	4,53	108,01
75S+25GD2	4,54	112,86
75S+25GD4	4,90	115,46
75S+25GD8	4,14	110,91
50S+25GD2+25GD8	4,39	110,18
50S+25GD4+25GD6	4,45	112,71
70S+15GD2+15GD8	4,31	115,24
70S+15GD4+15GD6	4,04	117,25
50GD4+50GD6	6,45	96,69
25GD4+75GD6	6,48	95,55

5.2. ABS Malzemesi Test Sonuçları

5.2.1. ABS Malzemesi Eriyik Akış Testi Sonuçları

ABS malzemesinin eriyik akış test sonuçları Tablo 5.4’te verildi.

Tablo 5.4: ABS malzemesi eriyik akış testi sonuçları.

Deney	Eriyik Akış Miktarı (g/10dak)
S	1,47
GD3	1,57
GD6	1,64
GD9	1,84
GD12	1,86
50S+50GD3	1,68
50S+50GD6	1,64
50S+50GD9	1,83
50S+50GD12	1,80
75S+25GD3	1,65
75S+25GD6	1,65
75S+25GD9	1,68
75S+25GD12	1,75
25S+75GD3	1,68
25S+75GD6	1,69
25S+75R9	1,68
25S+75GD12	1,69
50S+25GD3+25GD12	1,71
50S+25GD6+25GD9	1,64
25S+25GD3+50GD12	1,69
25GD3+75GD12	1,81
50GD3+50GD12	1,75

5.2.2. ABS Malzemesi Darbe Testi Sonuçları

Tablo 5.5: ABS malzemesi darbe testi sonuçları.

Deney	Darbe Dayanımı (kJ/m ²)
S	72,00
GD3	38,50
GD6	34,75
GD9	33,50
GD12	32,50
50S+50GD3	42,75
50S+50GD6	42,75
50S+50GD9	36,75
50S+50GD12	36,75
75S+25GD3	40,25
75S+25GD6	44,00
75S+25GD9	34,75
75S+25GD12	41,75
25S+75GD3	45,00
25S+75GD6	37,25
25S+75GD9	36,25
25S+75GD12	39,75
50S+25GD3+25GD12	42,25
50S+25GD6+25GD9	39,00
25S+25GD3+50GD12	32,25
25GD3+75GD12	33,25
50GD3+50GD12	38,00

ABS malzemesinin darbe test sonuçları Tablo 5.5'te verildi.

5.2.3. ABS Malzemesi Çekme Testi Sonuçları

ABS malzemesinin çekme test sonuçları Tablo 5.6'da verildi.

Tablo 5.6: ABS çekme testi sonuçları.

Deney	Kopma Uzunluğu (%)	Çekme Dayanımı (MPa)
S	21,18	41,76
GD3	16,35	38,13
GD6	21,79	38,82
GD9	17,93	39,02
GD12	12,88	38,23
50S+50GD3	10,40	38,11
50S+50GD6	21,49	39,29
50S+50GD9	26,48	39,35
50S+50GD12	22,19	39,57
75S+25GD3	17,83	40,11
75S+25GD6	13,18	39,96
75S+25GD9	20,23	39,35
75S+25GD12	26,40	39,29
25S+75GD3	19,81	39,77
25S+75R6	24,68	39,82
25S+75GD9	26,23	39,37
25S+75GD12	15,70	38,99
50S+25GD3+25GD12	27,58	39,06
50S+25GD6+25GD9	25,74	39,34
25S+25GD3+50GD12	18,11	39,47
25GD3+75GD12	18,68	38,98
50GD3+50GD12	17,30	38,22

6. SONUÇLARI DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER

6.1. POM Malzemesi Test Sonuçları Değerlendirmeleri

6.1.1. POM Malzemesi Eriyik Akış Testi Değerlendirmeleri

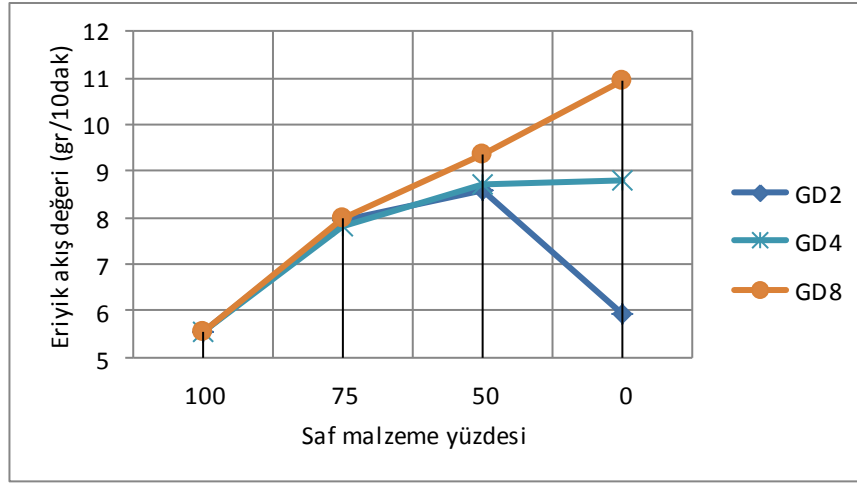
Şekil 6.1 POM malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı eriyik akış miktarının değişim grafiğini göstermektedir.



Şekil 6.1: POM malzemesi geri dönüşüm sayısına göre eriyik akış grafiği.

Archodoulaki ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, geri dönüşüm sayısı arttıkça, eriyik akış miktarının arttığını tespit etmişlerdir. Bunun gerekçesinin geri dönüşümler sonrasında moleküller arası bağların zayıflamasından kaynaklandığını tahmin etmişlerdir [Archodoulaki et al, 2007]. Bu çalışmada da özellikle ikinci geri dönüşümden sonra eriyik akış miktarında ciddi artış ölçüldü.

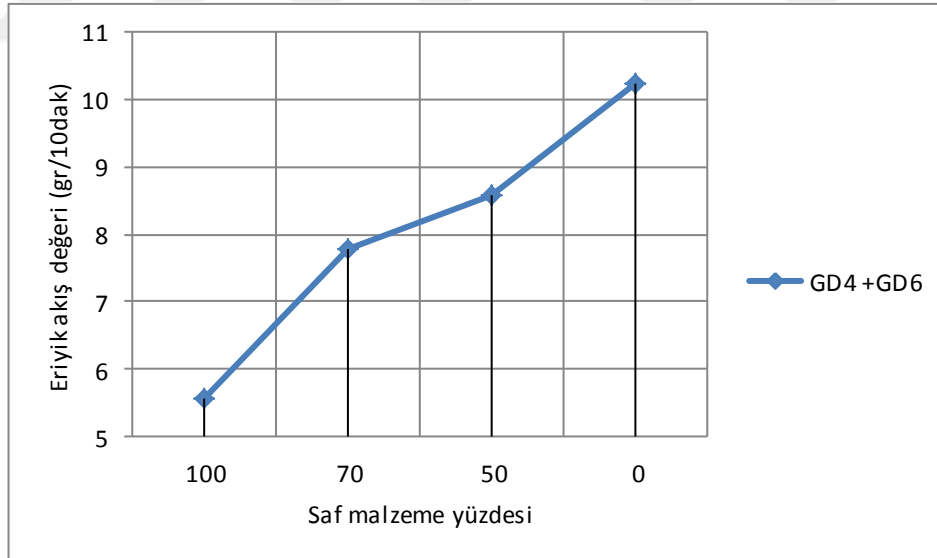
Şekil 6.2 POM malzemesinin farklı geri dönüşüm sayılarındaki malzemelerle saf malzemenin karışım yüzdesine göre eriyik akış miktarını göstermektedir.



Şekil 6.2: POM malzemesi saf malzeme ve geri dönüşüm karışımlarının eriyik akış miktarları.

Şekil 6.2’de görüldüğü gibi saf malzeme yüzdesi arttıkça eriyik akış miktarında azalma tespit edildi.

Şekil 6.3 %50 GD4 ve %50 GD6 karışımının farklı yüzdelerdeki saf malzeme ile karışımından elde edilen eriyik akış miktarları göstermektedir.



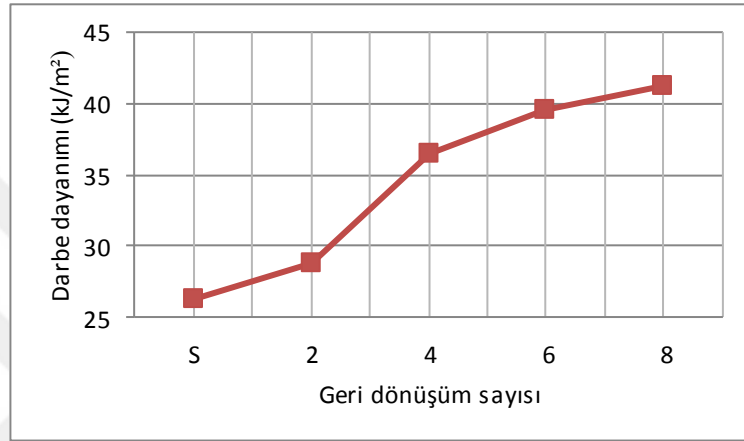
Şekil 6.3: POM malzemesi GD4 ve GD6 ile saf malzeme karışımının eriyik akış miktarları.

Şekil 6.3’te, GD4 - GD6 karışımlarına eklenen saf malzeme miktarı arttıkça eriyik akış miktarında azalma olduğu görüldü. Saf malzemenin moleküller arası

bağlarının sağlam olması, saf malzemenin oranı arttıkça karışımın eriyik akış miktarını düşürdü.

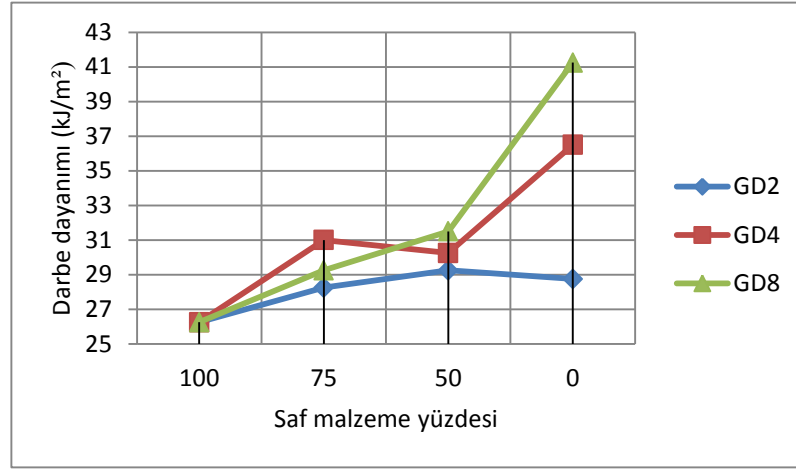
6.1.2. POM Malzemesi Darbe Testi Değerlendirmeleri

Şekil 6.4'te POM malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı darbe dayanımı değişim grafiği gösterildi.



Şekil 6.4: POM malzemesi geri dönüşüm sayısına göre darbe dayanımı grafiği.

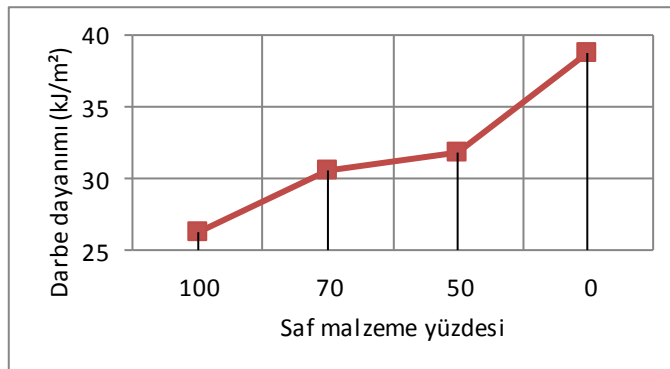
Şekil 6.4'te görüldüğü gibi POM malzemesinde, geri dönüşüm sayısı arttıkça darbe dayanımında artma görüldü. İkinci geri dönüşümde %10 civarında artma görülmesine karşın, dördüncü geri dönüşümde yaklaşık %40 artış gözlemlendi. Altıncı ve sekizinci geri dönüşümlerde darbe dayanımı artsa da oran %10 civarında kaldı.



Şekil 6.5: POM geri dönüşüm ve saf malzeme oranına göre darbe dayanımı grafiği.

Şekil 6.5'te görüldüğü gibi saf malzeme miktarı arttıkça darbe dayanımında azalma tespit edildi. Sadece GD2'nin saf malzeme ile yapılan karışımlarında, saf malzemeye yakın darbe dayanımları ölçüldü. Bunun sebebinin ikinci geri dönüşümde moleküller arası bağların az miktarda gevşemiş olduğu düşünüldü. Kuram ve arkadaşları yaptıkları çalışmada cam elyaf eklenen PP/PE karışımının darbe dayanımı geri dönüşüm ile önce artmış sonra ise yakın değerler ölçülmüştür. Bunun sebebinin cam elyafın yapışma ve dayanım kazandırma özelliğinden olduğunu belirtmişlerdir [Kuram vd., 2014]. %75 ve %50 saf malzemeye yapılan karışımlarda saf malzemeye yakın değerler ölçüldü.

Şekil 6.6'da saf POM malzemesine eklenen eşit oranda GD4 ve GD6 ile yapılan karışımların çekme gerilmesi grafiği verildi.

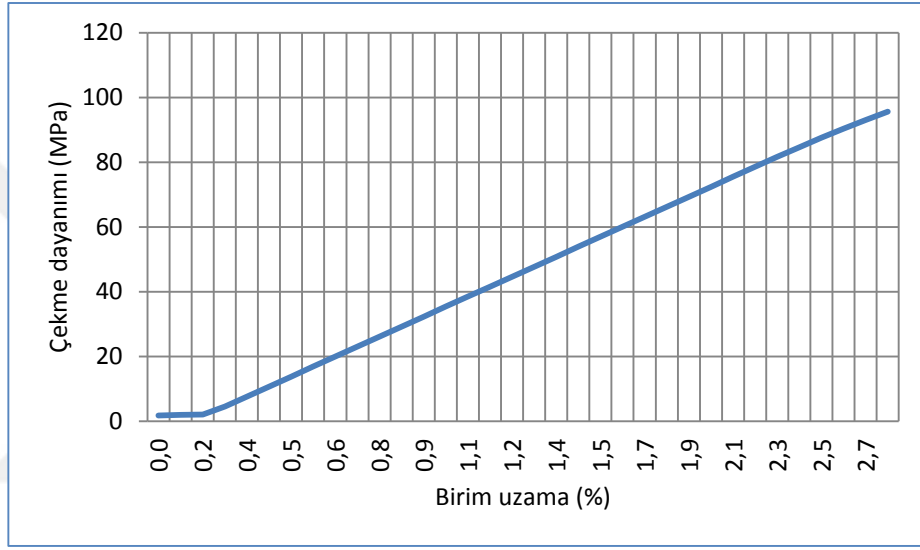


Şekil 6.6: POM saf malzemeye eklenen GD4 ve GD6 oranına göre darbe dayanımı grafiği.

Şekil 6.6’da görüldüğü gibi, saf malzeme arttıkça darbe dayanımı azalmıştır. %70S+%15GD4+%15GD6 ve %50+%25GD4+%25GD6 karışımlarının darbe dayanımları saf malzemenin darbe dayanımına yakın değerler ölçüldü.

6.1.3. POM Malzemesi Çekme Testi Değerlendirmeleri

Malzemenin saf örneğinin çekme dayanımı-birim uzama(%) grafiği Şekil 6.7’de verildi.



Şekil 6.7: POM çekme dayanımı-birim uzama grafiği.

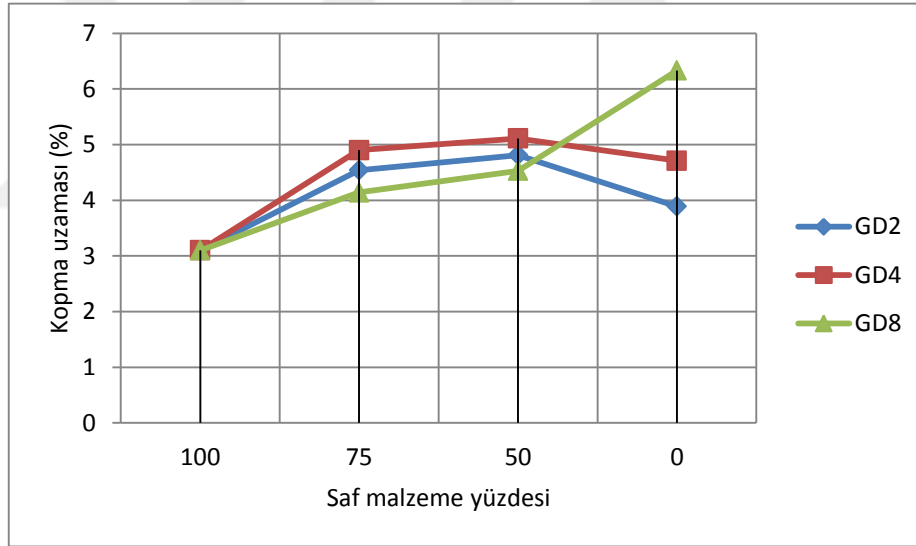
Şekil 6.8’de POM malzemesinin geri dönüşüm sayısı ile kopma uzaması değişimi gösterildi.

Şekil 6.8’de çok açık bir şekilde geri dönüşüm sayısı ile doğru orantılı olarak artış ölçüldü. Archodoulaki ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, geri dönüşüm sayısı arttıkça kopma uzamasının azaldığını tespit etmişlerdir [Archodoulaki et al, 2007]. Bu çalışmada aksi bir durum tespit edildi. Bunun, çalışmadaki POM malzemesindeki cam elyaf farkından kaynaklandığı düşünüldü. Kuram vd. yaptıkları çalışmada cam elyaf yapışma ve dayanım katma özelliğiyle, mekanik özellikleri arttırdığını belirtmişlerdir [Kuram vd., 2014].



Şekil 6.8: POM geri dönüşüm sayısına bağlı kopma uzaması grafiği.

Şekil 6.9’da saf malzemeyle, geri dönüşümlerin karışım miktarına göre kopma uzaması grafiği gösterildi.

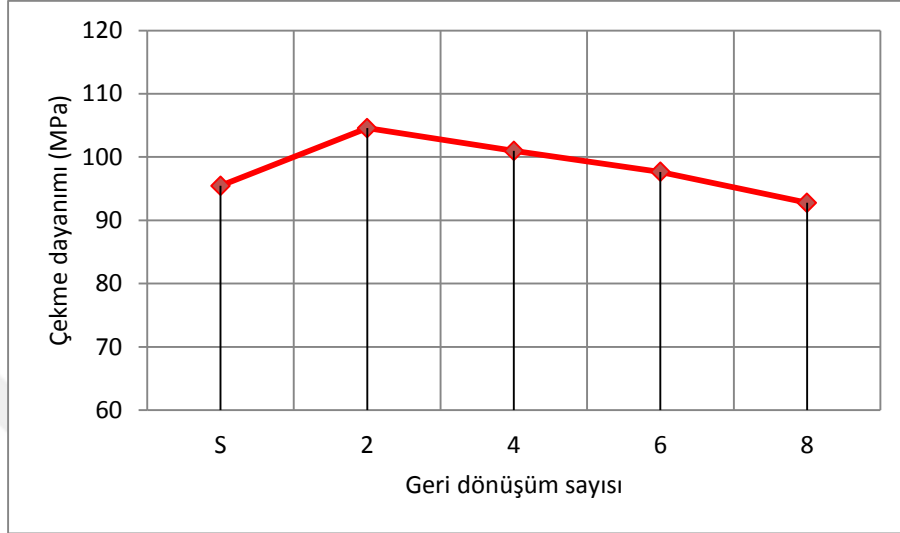


Şekil 6.9: Saf POM malzemesi ile geri dönüşüm karışımının kopma uzaması grafiği.

Şekil 6.9’da görüldüğü gibi saf miktarı arttıkça kopma uzaması miktarında azalma gözlemlendi. Kopma uzaması, geri dönüşüm miktarlarıyla doğru orantılı arttı. Sadece %100 GD2 ve %100 GD4’te karışımlardan daha az kopma uzaması tespit edildi. Bu farklar yaklaşık %10 civarında oldu. En yüksek kopma uzaması %100 GD8 de ölçüldü. GD8’in saf malzeme ile yapılan karışımlarında kopma uzamasında

azalma elde edildi. %50 saf malzeme ve %50 GD8 ile yapılan karışımda kopma uzaması %40, %75 saf ve %25 GD8 ile yapılan karışımda ise %53 azalma görüldü.

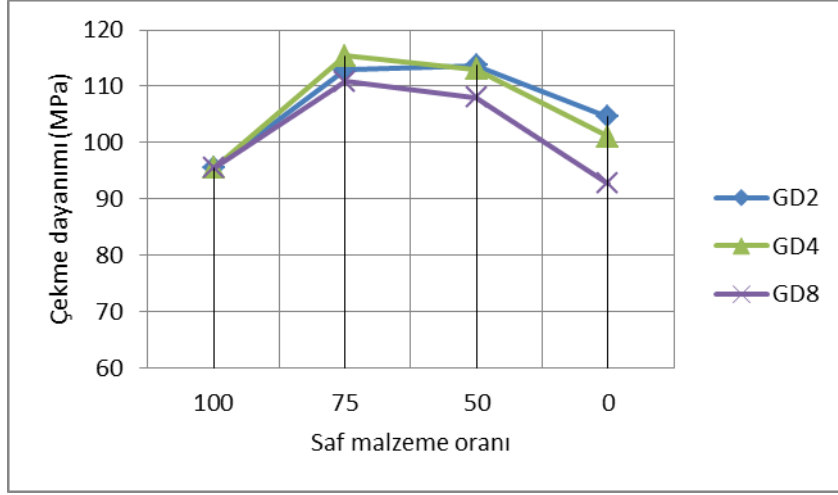
Şekil 6.10'da POM malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı çekme dayanımı grafiği gösterildi.



Şekil 6.10: POM geri dönüşüm sayısına bağlı çekme dayanımı grafiği.

Şekil 6.10'da görüldüğü gibi ikinci geri dönüşümde %10 kadar artış görünse de saf malzemeye yakın değerler ölçüldü. Bunun cam elyafın etkisi olduğu düşünüldü. Bledzki ve arkadaşları yaptıkları çalışmada POM malzemesine eklenen %26 lif katkısının çekme dayanımını iki katına kadar arttırdığını gözlemlemişlerdir [Bledzki vd., 2012].

Şekil 6.11'de saf POM malzemesi ile geri dönüşüm karışımlarının çekme dayanımı grafiği gösterildi.

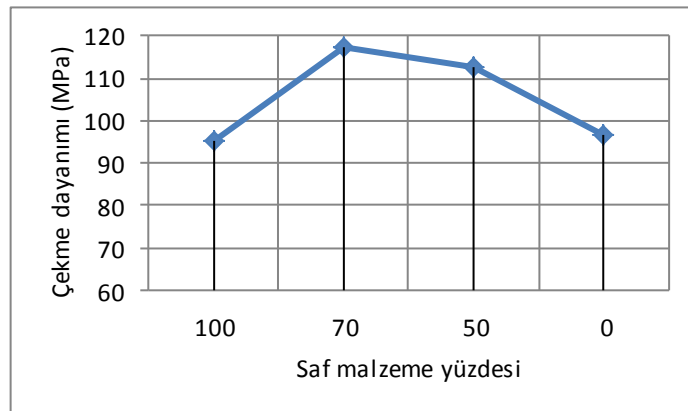


Şekil 6.11: Saf POM ile geri dönüşüm karışımlarının çekme dayanımı grafiği.

Şekil 6.11’de görüldüğü gibi tüm geri dönüşümlerin %75 ve %50 saf POM ile yapılan karışımlarında saf POM malzemesinden daha yüksek çekme dayanımları ölçüldü. Bunun %26 miktarda malzemede bulunan cam elyafın etkisi olduğu düşünüldü.

Cam elyaf plastiklere boyutsal stabilize, yüksek kimyasal ve ısıl dayanım sağlamaktadır [Web 5, 2016], [Web 6, 2016]. Sonuçlardaki %10 civarında artma ve azalmalar, saf malzemeyle yakın değerler olarak görülerek, POM malzemesindeki cam elyaf katkısının çekme dayanımı değerinin düşmemesini sağladığı düşünüldü.

Şekil 6.12’de saf POM malzemesine eklenen eşit miktarlarda GD4 ve GD6 ile yapılan karışımların (%100S, %70S + %15GD4 + %15GD6, %50S + %25GD4 + %25GD6, %50GD4 + %50GD6) çekme dayanımı grafiği verildi.

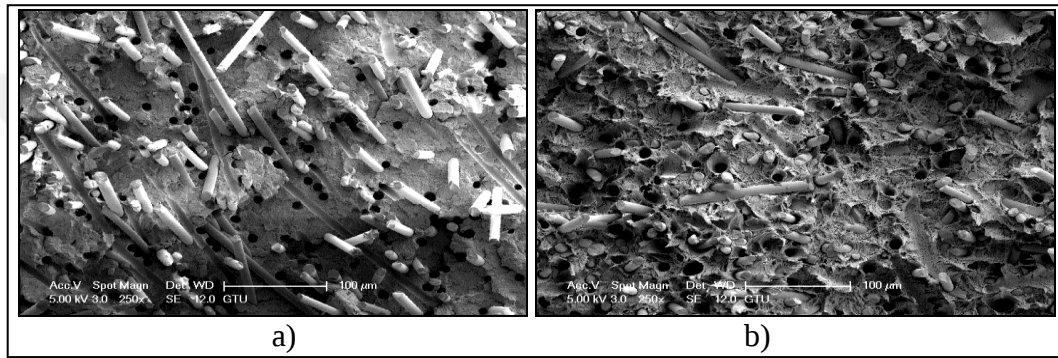


Şekil 6.12: POM malzemesi ile GD4-GD6 karışımlarının çekme dayanımı grafiği.

Şekil 6.12’de görüldüğü gibi saf ABS malzemesine eklenen GD4 ve GD6 karışımında, hem saf malzemedan hem de %50 GD4 + %50 GD6 karışımından daha yüksek çekme dayanımı ölçüldü. En yüksek değeri ise %70 saf malzeme ile yapılan karışımında görüldü.

6.1.4. POM Malzemesi SEM Analizi Değerlendirmeleri

Şekil 6.13’te POM malzemesinin saf ve sekizinci geri dönüşüm sonrası 250/1 ölçekli SEM görüntüleri verildi.

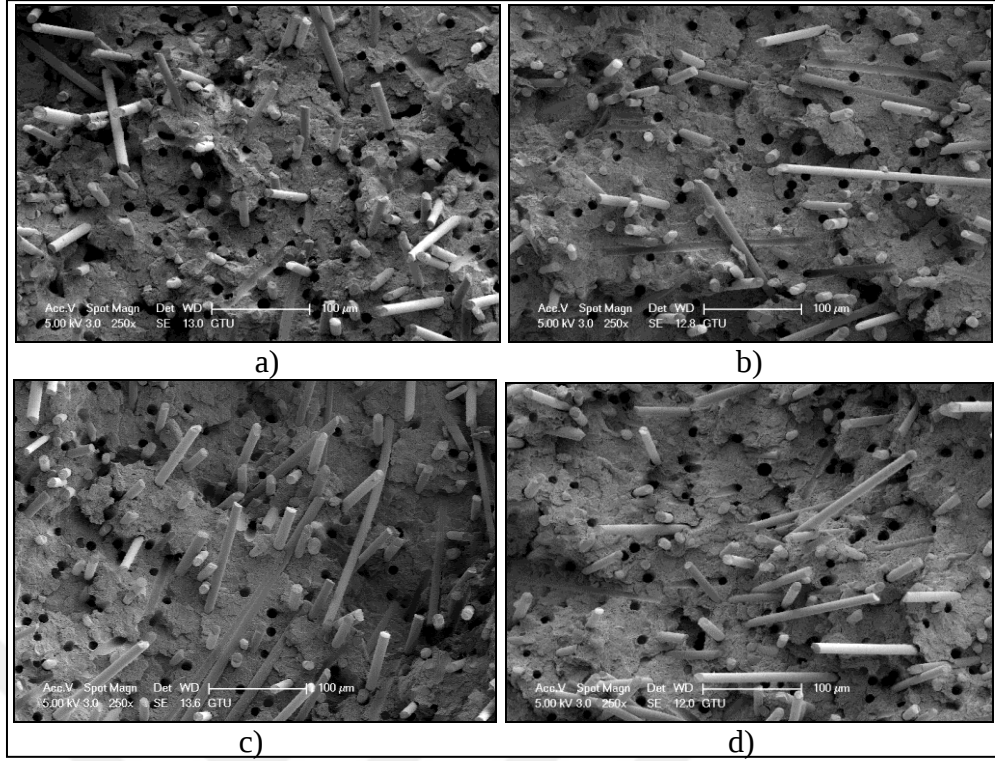


Şekil 6.13: POM malzemesi SEM görüntüleri. a) S; b) GD8.

Yukarıdaki şekiller karşılaştırıldığında GD8 için matris yüzeyinin saf yüzeye göre daha kaba olduğu görüldü. Ayrıca GD8’de fibrilleşme oluştu. Bu oluşum özellikle cam elyaf/matris ara yüzeyinde fazla olduğu görüldü.

Şekil 6.14’te saf POM malzemesine eklenen GD8 ile yapılan ve saf malzeme ye eklenen GD2 ve GD8 ile yapılan karışımların 250/1 ölçekli SEM görüntüleri verildi.

Şekil 6.14’te görüldüğü gibi saf malzemenin geri dönüştürülmüş malzemeye eklenmesi cam elyaf ile matris arasındaki boşluğu azalttı. Üçlü karışımlarda da saf malzemenin geri dönüştürülmüş malzemeye eklenmesi cam elyaf ile matris arasındaki boşluğu azalttığı görüldü.



Şekil 6.14: Saf POM ile GD8 karışımlarının SEM görüntüleri. a) 75S+25GD8; b) 50S+50GD8; c) 70S+15GD2+15GD8; d) 50S+25GD2+25GD8.

6.2. ABS Malzemesi Test Sonuçları Değerlendirmeleri

6.2.1. ABS Malzemesi Eriyik Akış Testi Değerlendirmeleri

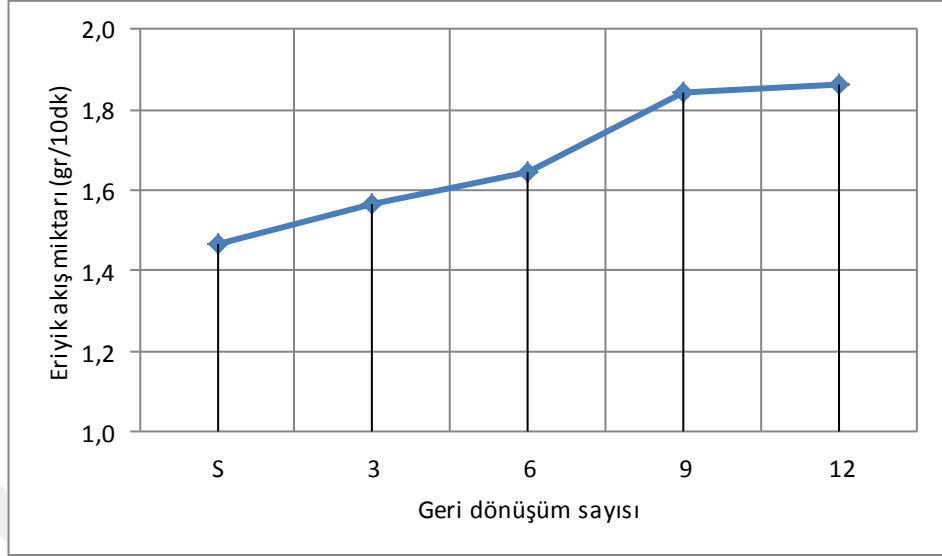
Şekil 6.15 ABS malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı eriyik akış miktarının değişim grafiğini göstermektedir.

Şekil 6.15'te görüldüğü gibi geri dönüşüm sayısı arttıkça eriyik akış miktarında artma ölçüldü. Bu durumun, geri dönüşüm sayısı arttıkça molekül bağlarının zayıflamasından kaynaklandığı tahmin edildi. Boldizar ve Möller, yaptıkları çalışmada, ABS malzemesinin geri dönüşüm sayısı arttıkça eriyik akış miktarının arttığını tespit etmişlerdir [Boldizar and Möller, 2003].

Fei ve arkadaşları yaptığı çalışmada ABS'nin geri dönüşüm sayısı arttıkça eriyik akış miktarının arttığını tespit etmişlerdir [Fei et al., 2013].

Salari ve Hanjbar ABS malzemesinin yedinci geri dönüşümde saf malzemeye göre eriyik akış miktarının %37.5 arttığını tespit etmişlerdir [Salari and Hanjbar., 2008]. Bu çalışmada ise, altıncı geri dönüşümde %11 ve dokuzuncu geri dönüşümde

%25 artış ölçüldü. Farklı ABS malzemelerin kullanılmasından dolayı artış değerlerinde farklılık olduğu düşünüldü.

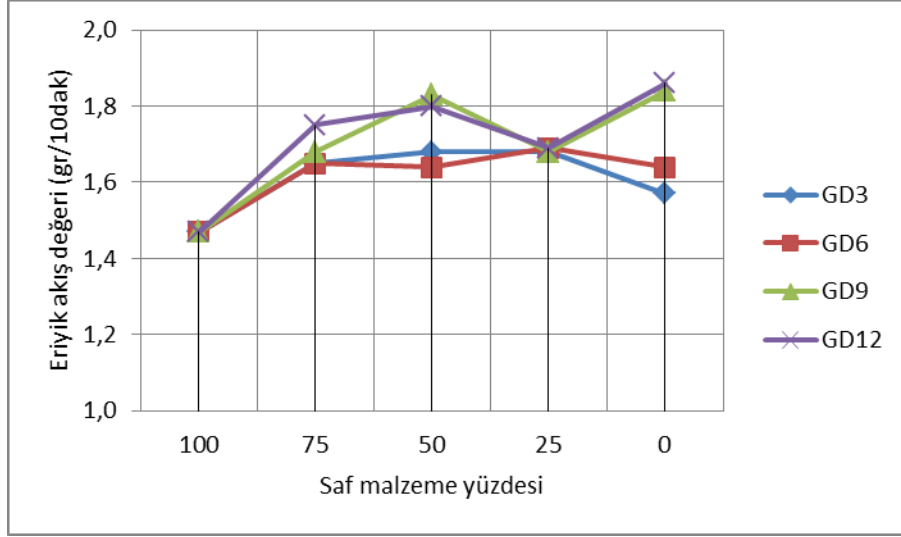


Şekil 6.15: ABS malzemesi geri dönüşüm sayısına göre eriyik akış grafiği.

Perez ve arkadaşları ABS malzemesinde, geri dönüşüm sayısı arttıkça eriyik akış miktarının arttığını tespit etmişler [Perez et al, 2010].

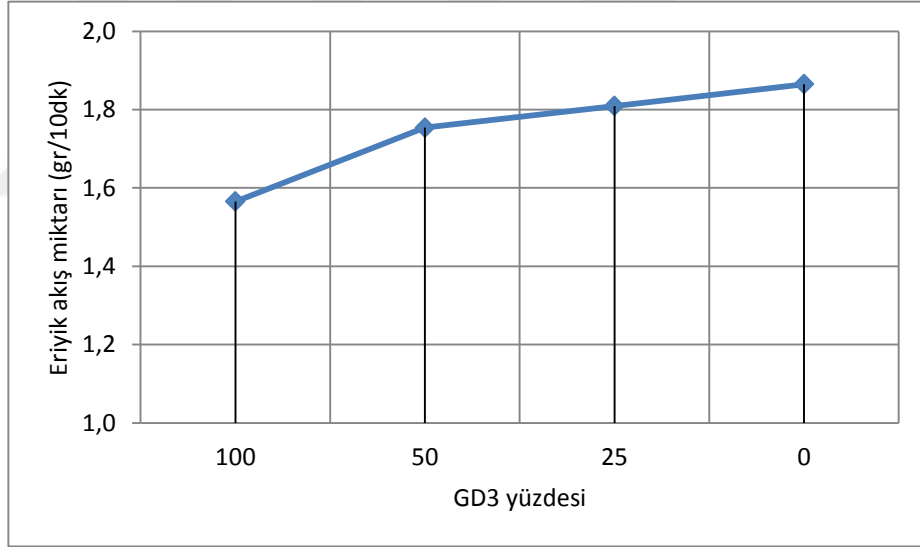
Zenkewicz ve arkadaşları ABS malzemesinin onuncu geri dönüşümünde eriyik akış miktarının %27 arttığını ölçmüşlerdir [Zenkewicz et al, 2009]. Bu çalışmada ise, dokuzuncu geri dönüşümde %25 artış ölçüldü.

Şekil 6.16’da görüldüğü gibi saf malzemeyle yapılan farklı karışımlarda eriyik akış miktarlarında düzenli bir artış veya azalma gözlemlenmedi. Saf malzemenin eriyik akış miktarı 1,50 g/10dk dan az iken, karışımların hepsi 1.60-1,90 g/10dk ölçüldü. Şekil 6.13 düşünüldüğünde grafiğin inişli çıkışlı olmasının sebebi, %25 saf malzemeli karışımlarda homojenliğin sağlanamamasından olduğu düşünüldü.



Şekil 6.16: Saf ABS ile geri dönüşümlerin karışımlarının eriyik akış grafiği.

Şekil 6.17’de GD3 ve GD12 oranına göre eriyik akış miktarı gösterildi.

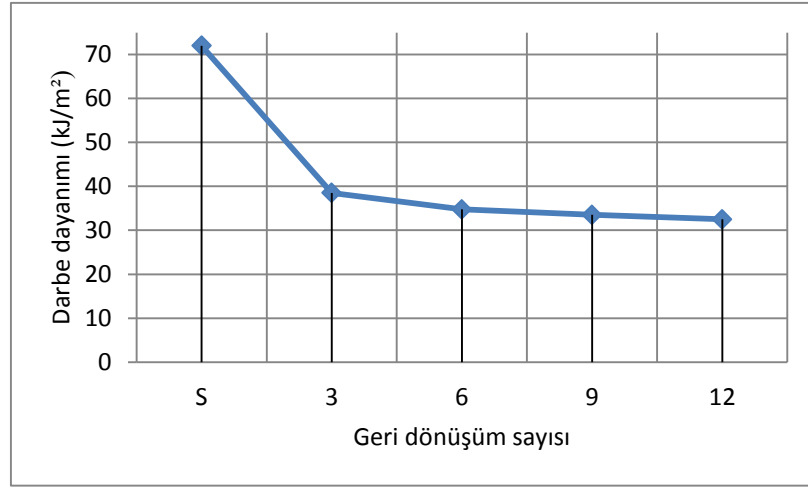


Şekil 6.17: ABS GD3/GD12 oranına göre eriyik akış grafiği.

Şekil 6.17’de görüldüğü gibi GD3 miktarı arttıkça eriyik akış miktarı düştü.

6.2.2. ABS Malzemesi Darbe Testi Değerlendirmeleri

Şekil 6.18 ABS malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı darbe dayanımı miktarının değişim grafiğini göstermektedir.



Şekil 6.18: ABS geri dönüşüm sayısına göre darbe dayanımı grafiği.

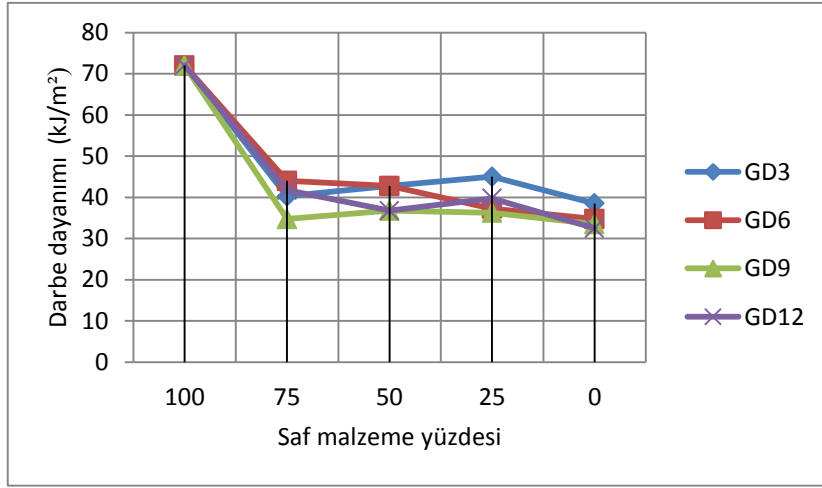
Şekil 6.18’de görüldüğü gibi ABS malzemesinde, geri dönüşüm sayısı arttıkça darbe dayanımında azalma görüldü. GD3’te %50 civarında azalma görülmesine karşın daha sonra birbirine yakın ancak azalan değerler ölçüldü. Arostegui ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ABS malzemesinin ilk geri dönüşümünde darbe miktarının düşüş, sonraki geri dönüşümlerde ise birbirine yakın değerler ölçmüşlerdir [Arostegui vd., 2006].

Scaffaro ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ABS malzemesinin geri dönüşüm sayısı arttıkça darbe dayanımının azaldığını tespit etmişlerdir [Scaffaro vd., 2012].

Kuram ve arkadaşları yaptığı çalışmada ABS/PC karışımının geri dönüşüm sayısı arttıkça darbe dayanımının azaldığını gözlemlemişlerdir [Kuram vd., 2015].

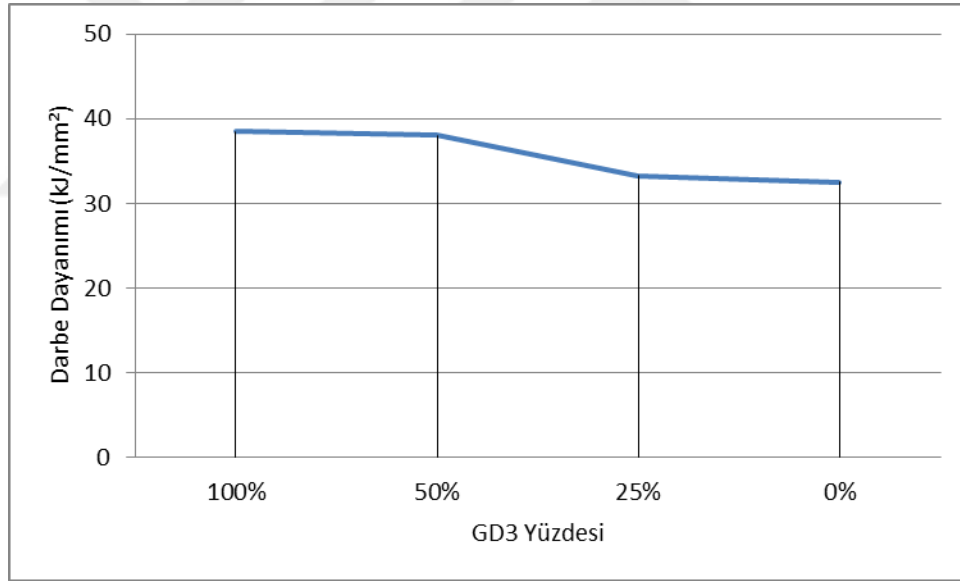
Şekil 6.19’da saf ABS malzemesiyle farklı geri dönüşüm malzemelerle yapılan karışımların darbe dayanımı miktarının değişim grafiğini göstermektedir.

Şekil 6.19’da görüldüğü gibi %25 saf malzeme ile %75 GD3 karışımı, GD3 için en iyi darbe dayanımının ölçüldüğü karışım oldu. %75 saf malzeme ile %25 GD6 karışımı, GD6 için en iyi darbe dayanımının ölçüldüğü karışım oldu. %25 ve %50 saf malzemeyle %75 ve %50 GD9 karışımları, GD9 için en iyi darbe dayanımının ölçüldüğü karışım oldu. %25 saf malzeme ile %75 GD12 karışımı, GD12 için en iyi darbe dayanımının ölçüldüğü karışım oldu. Geri dönüşümlerin tamamı saf ABS ile yaptıkları karışımlarda darbe dayanımlarında %5 ile %20 arası artışlar ölçüldü.



Şekil 6.19: Saf ABS ve geri dönüşüm karışım miktarına göre darbe dayanımı grafiği.

Şekil 6.20’de GD3+GD12 karışımının GD3 oranına göre darbe dayanımı grafiği gösterildi.

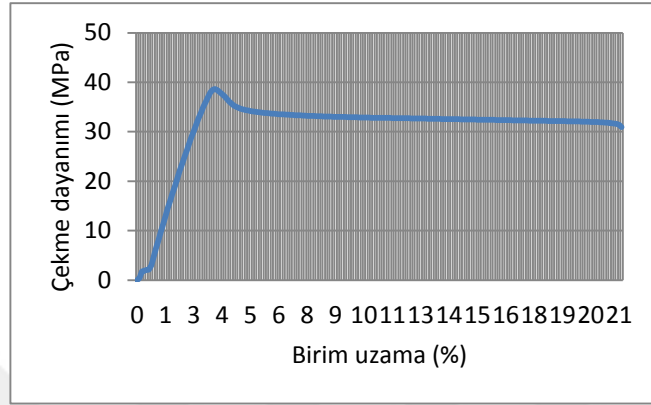


Şekil 6.20: GD3/GD12 oranına göre darbe dayanımı grafiği.

Şekil 6.20’de görüldüğü gibi GD3’te ölçülen darbe dayanımı GD12’de %20 daha düştü. %50 GD3 + %50 GD12 karışımında %100 GD12’ye göre %19 artış görüldü.

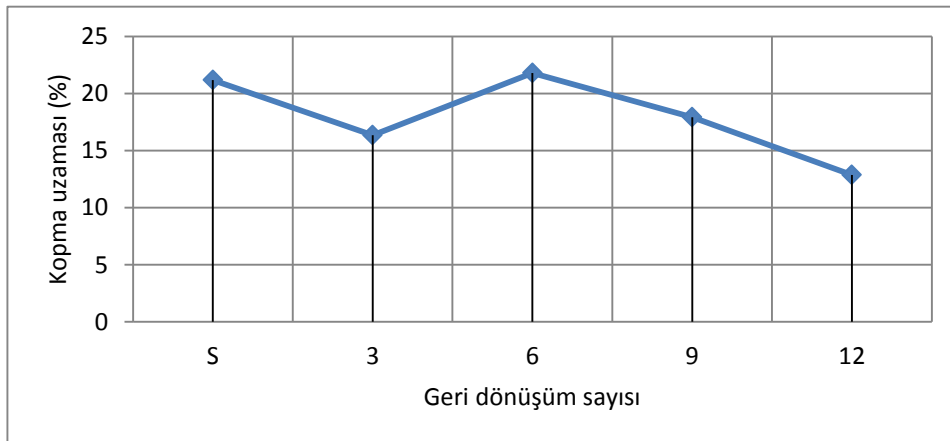
6.2.3. ABS Malzemesi Çekme Testi Değerlendirmeleri

Şekil 6.21’de ABS malzemesinin birim uzamasına bağlı çekme dayanımı grafiği verildi.



Şekil 6.21: ABS malzemesinin birim uzamaya bağlı çekme dayanımı grafiği.

Şekil 6.22’de ABS malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı kopma uzaması grafiği verildi.



Şekil 6.22: ABS malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı kopma uzaması grafiği.

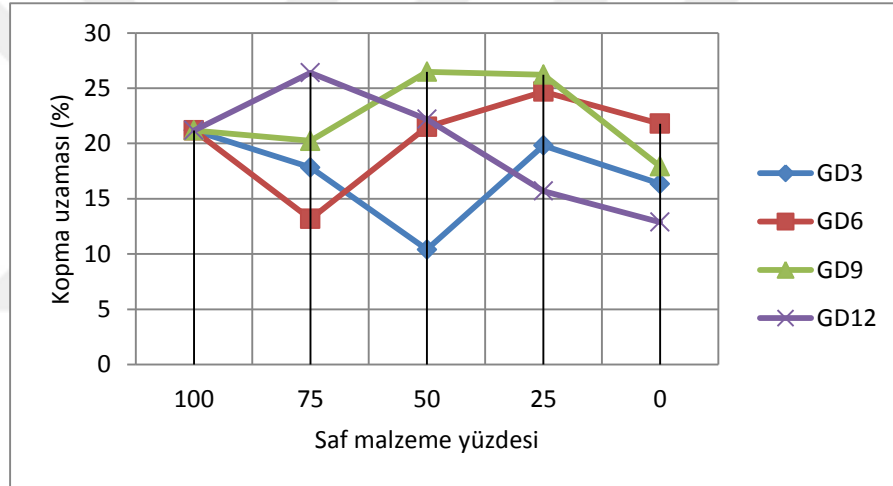
Şekil 6.22’de görüldüğü gibi, geri dönüşüm sayısı arttıkça kopma uzamasında azalma gözlemlendi. İstisnai olarak, GD6 da saf malzemeye yakın kopma uzaması ölçüldü. Scaffaro vd. yaptıkları çalışmada, ABS malzemesinin ilk geri dönüşümünde kopma uzamasında %30 azalma, sonraki geri dönüşümlerde ise birbirine yakın

değerler ölçmüşlerdir [Scaffaro vd., 2012]. Ancak yaptıkları çalışmada üç geri dönüşüm olduğu için, bu çalışmadaki saf malzeme ve GD3'ün kırılma uzamaları paralellik gösterse de GD6, GD9 ve GD12 kıyaslanamadı.

Fei ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ABS malzemesinin geri dönüşümünün kopma uzamasına etkisinin ilk on geri dönüşümde lineer olmadığı ve zikzaklı düşüş gösterdiğini tespit etmişlerdir [Fei et al., 2013].

Peydro ve arkadaşları yaptıkları çalışmada POM malzemesinin kopma uzamasını ilk geri dönüşümde %10 düşüğünü, sonrasında ise yakın değerler olduğunu ölçmüşlerdir [Peydro et al., 2014].

Şekil 6.23'te saf ABS malzemesi ile geri dönüşüm karışımının kopma uzaması grafiği verildi.

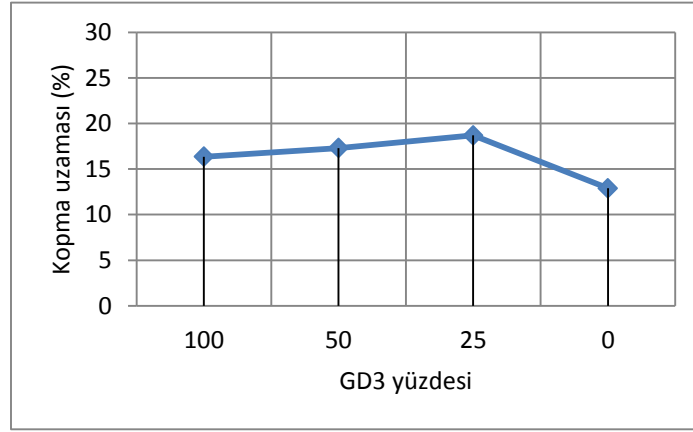


Şekil 6.23: Saf ABS malzemesi ile geri dönüşüm karışımının kopma uzaması grafiği.

Şekil 6.23'te görüldüğü gibi saf ABS malzemesine eklenen %25 GD3 ve %25 GD6 karışımlarında saf malzemenin kopma uzamasından daha düşük kopma uzaması ölçüldü, %25S + %75GD3 ve %25S + %75 GD6 karışımlarında ise saf malzemenin kopma uzamasına yakın değerler ölçüldü.

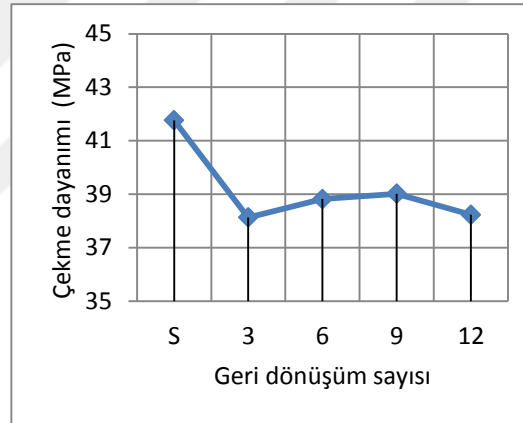
Şekil 6.24'de GD3+GD12 karışımının GD3 oranına göre kopma uzaması grafiği gösterildi.

Şekil 6.24'te görüldüğü gibi enyüksek kopma uzaması %25 GD3 + %75 GD12 oranında görüldü. Karışımın kopma uzaması hem GD3'ten hem de GD12'den daha fazla ölçüldü.



Şekil 6.24: GD3/GD12 oranına göre kopma uzaması grafiği.

Şekil 6.25'te ABS malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı çekme dayanımı grafiği gösterildi.



Şekil 6.25: ABS malzemesinin geri dönüşüm sayısına bağlı çekme dayanımı grafiği.

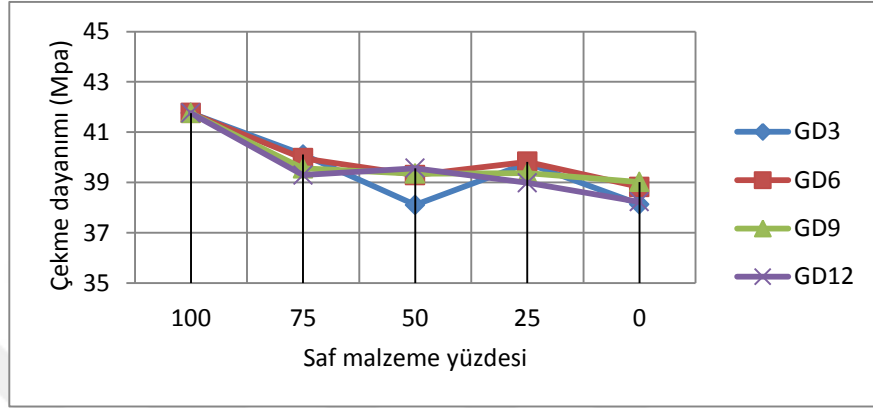
Şekil 6.25'te görüldüğü gibi, GD3'ün çekme dayanımı saf malzemeye göre %10'a yakın düşme ölçüldü. GD6 ve GD9'da GD3 e göre artış görülse de tüm geri dönüşümler 38 – 39 MPa arasında ölçüldü.

Arostegui vd. yaptıkları çalışmada çekme dayanımı ilk geri dönüşümde düşmüş sonrasında ise birbirine yakın değerler ölçmüşlerdir [Arostegui vd., 2006].

Mantaux vd. yaptıkları çalışmada tek geri dönüşümde çekme dayanımı saf malzemeye göre %2 azalma göstermiştir [Mantaux vd., 2004].

Kuram vd. yaptıkları çalışmada PA6/ABS karışımında beş geri dönüşümde çekme dayanımı %6,49, PA6/PA66/ABS karışımında ise %18 azalmıştır [Kuram vd., 2014].

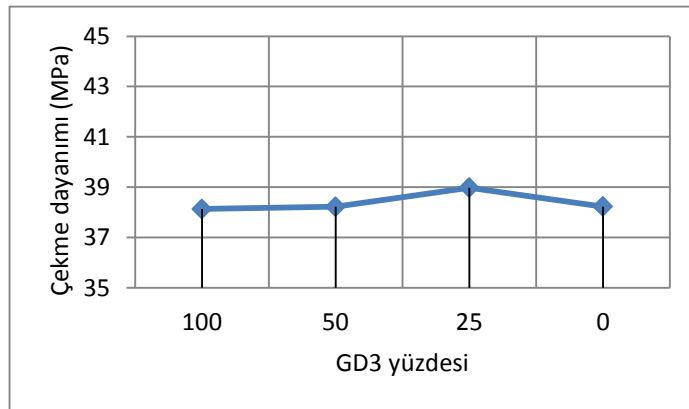
Şekil 6.26'da saf ABS ile yapılan geri dönüşüm karışımlarının çekme dayanımı grafiği verildi.



Şekil 6.26: Saf ABS ile geri dönüşümlerin karışımlarının çekme dayanımı grafiği.

Şekil 6.26'da görüldüğü gibi GD3, GD6 ve GD9'un en yüksek çekme dayanımı %75 saf ABS ile yapılan karışımlarında ölçüldü. GD12'nin en yüksek çekme gerilmesi ise %50 saf ABS ile yapılan karışımında ölçüldü. %50 S + %50 GD3 dışında eklenen saf ABS karışımların çekme dayanımını arttırdı.

Şekil 6.27'de GD3/GD12 oranına göre çekme dayanımı grafiği verildi.

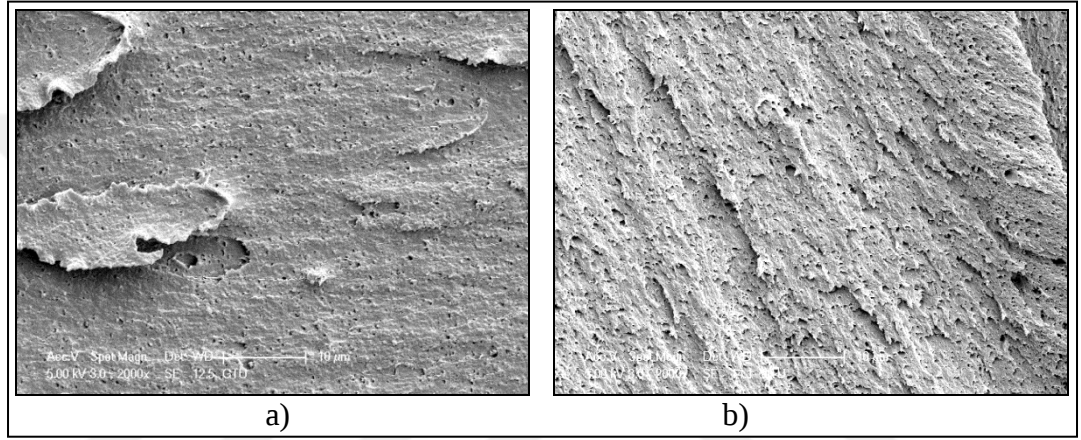


Şekil 6.27: GD3/GD12 oranına göre çekme dayanımı grafiği.

Şekil 6.27 incelendiğinde %25 GD3 + %75 GD12 karışımında hem GD3'ten hem de GD12'den %3 daha fazla çekme dayanımı ölçüldü. Bu değer saf ABS'den %7 daha az olduğu için kabul edilebilir sayıldı.

6.2.4. ABS Malzemesi SEM Analizi Değerlendirmeleri

Şekil 6.28'de ABS malzemesinin saf ve on iki kez geri dönüşümünden sonraki 2000/1 ölçekli SEM görüntüsü verildi.

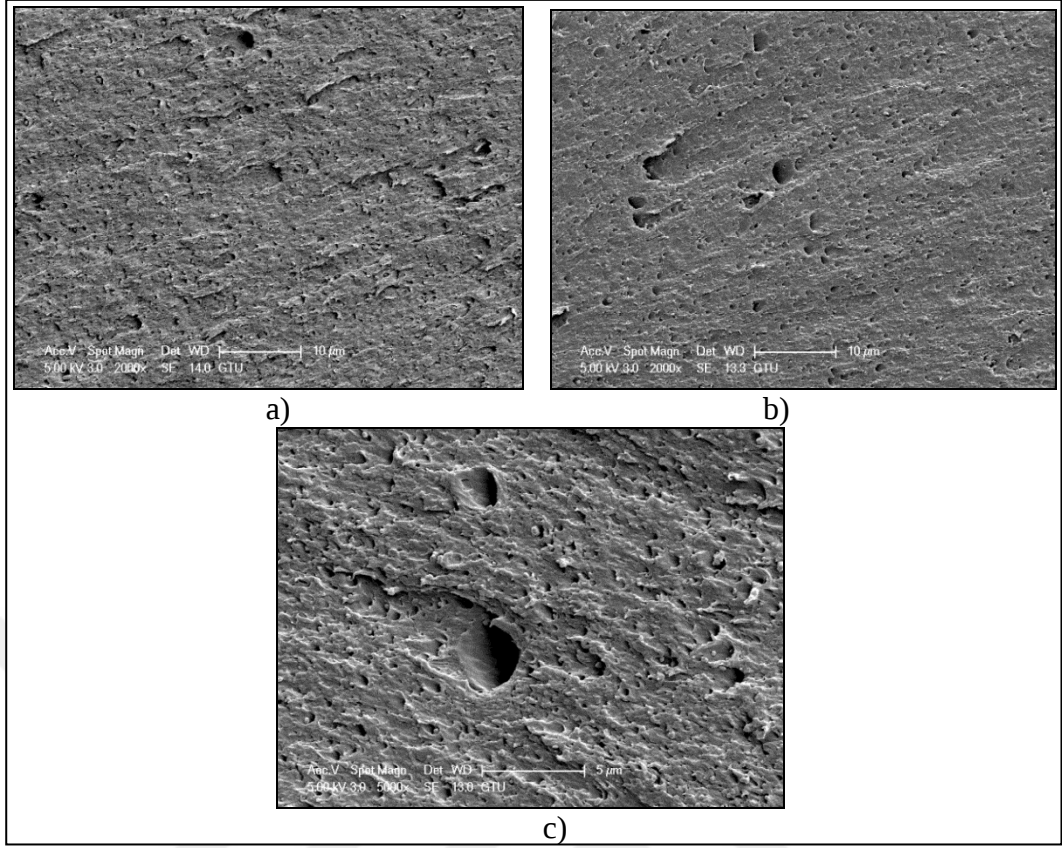


Şekil 6.28: ABS malzemesinin SEM görüntüsü. a) ABS Saf; b) ABS GD12.

Şekil.6.28'de görüldüğü gibi GD12'de martis yüzeyinde deliklenmeler arttı.

Şekil 6.29'da saf ABS malzemesinin GD3 ve GD12 ile yapılan karışımların 2000/1 ölçekli SEM görüntüsü verildi.

Şekil 6.29'da görüldüğü gibi saf ABS eklenen karışımlarının matris yüzeyinde deliklenmelerde azalma olduğu görüldü.



Şekil 6.29: Saf ABS malzemesi ve GD3 ve GD12 karışımlarının SEM görüntüleri.
a) 50S+25GD3+25GD12; b) 25S+25GD3+50GD12; c) 25GD3+75GD12.

6.3. Öneriler

Bu tezde POM malzemesi için %26 cam elyafı karışım kullanılmış ve geri dönüşümlerin ikili ve üçlü karışımlarının mekanik testleri yapıldı. Sonraki çalışmalarda bu ikili ve üçlü karışımlarda cam elyafın etkisi araştırılabilir. Aynı karışımlar cam elyafı ve cam elyafsız deneyler yapılabilir. Yorulma ve yoğunluk testleriyle saf malzemenin yerine kullanılabilirliği tam anlaşılabilir.

ABS malzemesinin geri dönüşüm ve saf malzemelerinin ikili ve üçlü karışımlarının mekanik testleri yapıldı. Cam elyaf eklenerek bu karışımlardaki mekanik değerlerin ölçülmesi yapılabilir. Ayrıca benzer deneyler elektronik eşya üretiminde çok kullanılan ABS/PC karışımı için de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Al- Mulla A., Gupta R. K, (2006), "Recycling mixed plastics from end-of-life electronics, Proceeding SPE", Global Plastics Environmental Conference, 180-184, Atlanta, USA, 28 February-2 March 2006.
- Al-Salem S. M., Lettieri P., Baeyens J., (2009), "Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW): A review", Waste Management, 29, 2625-2643.
- Andrady A. L., (2003), "Plastics and The Environment", 1st Edition, John Wiley & Sons.
- Ay İ., (1992), "Plastik Malzemelerin İşlenme Teknikleri, Plastiklerin Geri Dönüşümü (Recycling)", Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi.
- Archoloudaki V. M., Lüftl S.Koch T., Archoloudaki V.-M., (2007), "Property changes in polyoxymethylene (POM) resulting from processing, ageing and recycling", Polymer Degradation and Stability, 92, 2181-2189.
- Arostegui A., Sarrionandia M., Aurrekoetxea J., Urrutibeascoa I., (2006), "Effect of dissolution-based recycling on the degradation and the mechanical properties of acrylonitrile-butanene-styrene copolymer", Polymer Degradation and Stability, 91, 2768-2774.
- Bai X., Isaac D. H., Smith K., (2007), "Reprocessing acrylonitrile-butadiene-styrene plastics: Structure-property relationships", Polymer Engineering and Science, 47, (2), 120-130.
- Beledzki A. K., Mamun A. A., Feldman M., (2012), "Polyoxymethylene composites with natural and cellulose fibres, Toughness and heat deflection temperature", Composites Science and Technology, 77, 1870-1874
- Beyatlı Y., (1996), "Mikrobiyal Termoplastik Üretimi", KÜKEM Dergisi, 19, (2), 23-32.
- Boldizar A., Mölle K., (2003), "Degradation of ABS during repeated processing and accelated ageing", Polymer Degradation and Stability, 81, 359-366.
- Chanda M. ve Roy S. K., (2009), 1st Edition, "Plastics Fabrication and Recycling. Taylor & Francis Group", LLC, Boca Raton.
- DPT, (2001), "Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Plastik Ürünleri Sanayi", Devlet Planlama Teşkilatı.
- Ersöz G., (2010), "Çanakkale Şehri İçin Bir Plastik Geri Dönüşüm Tesisinin Tasarımı", Doktora tezi, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi.

Fei N. C., Mehat N. M., Kamaruddin S., Ariff Z. M., (2013), “A Degradation Study of Virgin and Recycled ABS Blends Subjected to Multiple Processing”, International Jurnal of Research in Mechanical Engineering, 1, 93-102.

Goodship V., (2007), “Introduction to Plastics Recycling”, 2nd Edition, Smithers Rapra Technology Limited.

Güler Ç. ve Çobanoğlu Z., (1997), “Plastikler. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dergisi”, 46, (1), 9.

Kuram E., Timur G., Özçelik B., Yılmaz F., (2014), “Influences of Injection Conditions on Strength Properties of Recycled and Virgin PBT/PC/ABS”, Materials and Manufacturing Processes, 29, (10), 1260-1268.

Kuram E., Saraç L., Özçelik B., Yılmaz F., (2014), “Mechanical, Chemical, Thermal, and Rheological Properties of Recycled PA6/ABS Binary and PA6/PA66/ABS Ternary Blends”, Jurnal of Applied Polimer Science, 131, 18.

Kuram E., Özçelik B., Yılmaz F., (2015), “The effects of recycling process on thermal, chemical, rheological, and mechanical properties of PC/ABS binary and PA6/PC/ABS ternary blends”, Jurnal of Elastomers and Plastics, 1-18.

Kuram E., Özçelik B., Yılmaz F., Timur G., Şahin Z. M., (2014), “The Effect of Recycling Number on the Mechanical, Chemical, Thermal, and Rheological Properties of PBT/PC/ABS Ternary Blends: With and Without Glass-Fiber”, Polymer Composites, 35, 10, 2074-2084.

Liang R., Gupta R. K., (2001), “The effect of residual impurities on the rheological and mechanical properties of engineering polymers separated from mixed plastics”, SPE ANTEC Technical Papers, 3, 2753-2757.

Lüftl S., Archoloudaki V. M., Archoloudaki V.-M., (2006), “Thermal-oxydative induced Degredation behaviour of polyoxymethylene (POM) copolymer deected by TGA/MS”, Polimer and Degredation and Stability, 91, 464-471.

Mulder K.F., (1998), “Sustainable Consumption and Production of Plastics”, Elsevier Science Inc., 58, 105-124.

Mantoux O., Chibalon L., Aurrekoetxea J., Puerto A., Arostegi A., Urretibiascoa I., (2004), “Recycled Studuy of end of Line Products Made of ABS Resin”, Jurnal of Material and Science Technology, 24, 1.

Onaran K., (2000), “Plastikler ve Geri”, 1. Baskı Bilim Teknik Yayınevi.

Öztürk M., (2005), Plastikler ve Geri Kazanımı, 1. Baskı, Y.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Yayınları

Page W.J., (1992), “Production of Polyhydroxyalkanoates Azotobacter vinelandii UWD in Beet Molasses Culture”, FEMS Microbiology Reviews, 103, 149-158.

Perez J. M., Vilas J. L., Manuel J., Arnaiz S., Mijangos F., Bilbao E., (2010), "Effect of Reprocessing and Accelerated Weathering on ABS Properties", Journal of Polymers and the Environment, 18, (1), 71-78.

Peydro M. A., Juarez D., Sanchez S., Ferrando R., (2014), "Study of the Mechanical Properties of Recycled ABS and Recovery Throught Mixing with Sebs", Fascicle of Management and Technological Engineering, , 1, 83-86..

Saçak M., (2005), "Polimer Teknolojisi Kitabı", 1. Baskı, Gazi Kitabevi.

Scaffaro R., Botta L., Di Benedetto G., (2012), "Physical properties of virgin-recycled ABS blends: Effect os post-consumer content and reprocessing cycles", European Polumer Journal, 48, 637-648.

Salari, D. and Ranjbar H., (2008), "Study on the Recycling of ABS Resins: Simulation of Reprocessing and Thermo-oxidation", Iranian Polymer Journal, 17, 599-610.

Tan E., Tarakçılar A. R. ve Yurtseven R., (2007), "Plastik Geri Kazanımları ve Plastik Atıklardan Plastik Üretim Teknolojileri", 1. Baskı, Metal Dünyası Dergisi.

Tscharnuter D., Muliana A., (2013), "Nonlinear Response of Viscoelastic polyoxymthylene (POM) at elevated temperature", Polimer, 54, 1208-1217.

Vilaplana F., Karlsson S., (2008), "Quality concepts for the improved use of recycled polymeric materials", Macromolecular Materials and Engineering 293, 274-297.

Wang J., Li L., Song J., He M., Song J., Xia K., "Recycling of acrylonitrile butadiene styrene(ABS) copolymers from waste electrical and electronic equipment (WEEE), through using an epoxy-based chain extender", Polymer Degradation and Stability, 112, 167-174.

Web 1, (2014), <http://www.nursanmakina.net/urun/pom-527.html>, (Erişim Tarihi: 24/11/2014).

Web 2, (2008), http://www.plastavrasya.com/plastik_bakis.html (Erişim Tarihi: 12/10/2008).

Web 3, (2008), <http://www.bilgiustam.com/plastik-nedir-plastikler-hakkinda-hersey/> (Erişim Tarihi: 12/01/2009).

Web 4, (2010), http://www.tspmakina.com/Egitim/file/Turkiyede_Plastik.pdf (Erişim Tarihi: 06/03/2009).

Zenkiewicz M., Rytlewski P., Moraczewski K., Stepczynska M., Karasiewicz T., Malinowski R., Ostorowicki W., (2009), "Some Effect of Multiple Injection Moulding on Selected Properties of ABS", Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 37, (2), 361-368.

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim HAMARAT 1981 yılında Aydın'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Didim'de tamamladıktan sonra 1996 yılında Söke Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümü'nde lise eğitime başladı. 1997 yılında Aydın Mimar Sinan Teknik Lisesi Makina Bölümü'ne geçerek lise eğitimini 1999 yılında burada tamamladı. 2000 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü'nde öğrenim görmeye başladı. 2004 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitime başladı. Halen Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime devam etmektedir. CNC takım tezgahları konusunda çalışma yapan bir firmada Ankara bölge sorumlusu olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır. İngilizce ve Rusça bilmektedir.

EKLER

EK A: POM Malzemesi Eriyik Akış Testi Sonuçları

Tablo A1.1’de POM malzemesinin eriyik akış test sonuçları verildi.

Tablo A1.1: POM eriyik akış testi sonuçları.

DENEY	TEST 1 (gr/10dak)	TEST 2 (gr/10dak)	TEST 3 (gr/10dak)
S	5,89	5,26	5,49
GD2	6,03	5,83	5,96
GD4	9,32	8,76	8,39
GD6	10,26	11,89	9,92
GD8	10,59	12,15	10,12
50S+50GD2	7,86	9,82	8,03
50S+50GD4	7,96	10,49	7,73
50S+50GD8	8,19	11,22	8,62
75S+25GD2	7,06	9,89	6,93
75S+25GD4	6,96	9,42	7,03
75S+25GD8	7,16	9,69	7,09
50S+25GD2+25GD8	8,66	10,39	7,89
50V+25GD4+25GD6	7,49	10,19	8,03
70S+15GD2+15GD8	7,79	9,89	7,63
70S+15GD4+15GD6	6,69	9,79	6,83
50GD4+50GD6	9,56	11,26	9,69
25GD4+75GD6	9,76	11,46	9,52

EK B: POM Malzemesi Darbe Testi Sonuçları 1-5 Arası

Tablo B1.1’de POM malzemesinin 1., 2., 3., 4. ve 5. darbe testi sonuçları verildi.

Tablo B1.1: POM darbe testi sonuçları (1-5).

DENEY	TEST 1 (kJ/m ²)	TEST 2 (kJ/m ²)	TEST 3 (kJ/m ²)	TEST 4 (kJ/m ²)	TEST 5 (kJ/m ²)
S	26,89	25,40	19,92	27,14	25,90
GD2	31,13	23,41	28,88	24,90	33,37
GD4	35,86	43,08	32,87	38,10	25,90
GD6	42,08	34,61	35,61	35,61	42,08
GD8	38,84	43,82	44,57	37,60	40,84
50S+50GD2	28,88	25,15	32,37	27,89	28,64
50S+50GD4	27,14	27,39	28,14	31,37	29,88
50S+50GD8	31,87	27,89	28,14	30,88	35,86
75S+25GD2	26,39	22,16	29,88	31,62	22,16
75S+25GD4	31,13	24,65	31,37	30,88	32,37
75S+25GD8	26,89	31,62	26,39	31,62	25,90
50S+25GD2+25GD8	26,15	23,66	25,15	30,63	27,89
50S+25GD4+25GD6	35,11	33,86	30,13	34,36	27,14
70S+15GD2+15GD8	26,89	27,64	29,63	25,90	17,43
70S+15GD4+15GD6	27,89	30,38	37,10	28,64	28,14
50GD4+50GD6	38,60	31,62	36,60	42,08	29,88
25GD4+75GD6	34,11	32,12	43,33	28,14	27,14

EK C: POM Malzemesi Darbe Testi Sonuçları 6-10 Arası

Tablo C1.1’de POM malzemesinin 6., 7., 8., 9. ve 10. darbe testi sonuçları verildi.

Tablo C1.1: POM darbe testi sonuçları (6-10).

DENEY	TEST 6 (kJ/m ²)	TEST 7 (kJ/m ²)	TEST 8 (kJ/m ²)	TEST 9 (kJ/m ²)	TEST 10 (kJ/m ²)
S	25,90	25,65	25,65	27,64	30,63
GD2	26,15	28,14	31,13	31,13	29,13
GD4	37,10	44,07	43,33	34,36	29,13
GD6	38,84	45,07	42,33	39,34	38,60
GD8	39,84	36,35	40,34	46,56	42,83
50S+50GD2	31,13	29,88	30,13	23,90	35,36
50S+50GD4	28,39	31,62	33,86	32,12	31,87
50S+50GD8	29,63	31,62	31,13	38,10	29,13
75S+25GD2	26,89	29,63	30,63	27,14	34,61
75S+25GD4	29,13	33,62	29,88	35,11	30,88
75S+25GD8	25,65	29,13	30,13	34,36	29,88
50S+25GD2+25GD8	31,62	21,66	28,88	29,63	22,91
50S+25GD4+25GD6	33,62	33,37	17,18	34,11	31,13
70S+15GD2+15GD8	24,65	27,89	32,37	32,87	32,12
70S+15GD4+15GD6	17,93	36,60	36,60	27,89	33,12
50GD4+50GD6	36,35	22,41	33,12	45,82	29,63
25GD4+75GD6	35,36	36,85	38,84	30,88	37,85

EK D: POM Malzemesi Kopma Uzaması Testi Sonuçları

Tablo D1.1’de POM malzemesinin kopma uzaması testi sonuçları verildi.

Tablo D1.1: POM kopma uzaması testi sonuçları.

DENEY	TEST 1 (Uzama %)	TEST 2 (Uzama %)	TEST 3 (Uzama %)	TEST 4 (Uzama %)	TETS 5 (Uzama %)
S	2,77	3,86	2,80	2,77	3,86
GD2	4,25	3,98	3,55	4,25	3,98
GD4	5,07	3,58	4,97	5,07	3,58
GD6	5,17	5,96	5,35	5,17	5,96
GD8	6,48	6,30	6,66	6,48	6,30
50S+50GD2	4,81	4,75	4,73	4,81	4,75
50S+50GD4	4,96	3,93	4,06	4,96	3,93
50S+50GD8	4,25	4,50	4,43	4,25	4,50
75S+25GD2	4,52	4,46	4,62	4,52	4,46
75S+25GD4	4,92	4,81	5,18	4,92	4,81
75S+25GD8	3,66	3,80	4,00	3,66	3,80
50S+25GD2+25GD8	4,62	4,41	4,28	4,62	4,41
50S+25GD4+25GD6	4,43	4,42	4,72	4,43	4,42
70S+15GD2+15GD8	4,37	4,55	4,36	4,37	4,55
70S+15GD4+15GD6	2,77	4,55	4,43	2,77	4,55
50GD4+50GD6	6,56	6,56	6,68	6,56	6,56
25GD4+75GD6	6,40	6,50	6,68	6,40	6,50

EK E: POM Malzemesi Çekme Testi Sonuçları

Tablo E1.1’de POM malzemesinin çekme testi sonuçları verildi.

Tablo E1.1: POM çekme testi sonuçları.

DENEY	TEST 1 (Çekme Gerilmesi MPa)	TEST 2 (Çekme Gerilmesi MPa)	TEST 3 (Çekme Gerilmesi MPa)	TEST 4 (Çekme Gerilmesi MPa)	TETS 5 (Çekme Gerilmesi MPa)
S	95,56	111,75	82,91	106,39	80,61
GD2	107,66	107,58	97,80	105,08	104,73
GD4	105,26	88,85	102,76	102,36	105,63
GD6	97,66	99,05	97,58	99,39	-
GD8	92,85	93,19	92,76	93,27	91,80
50S+50GD2	105,68	111,87	112,00	110,21	100,32
50S+50GD4	107,03	104,31	114,37	110,39	118,48
50S+50GD8	121,88	105,93	115,67	117,25	116,56
75S+25GD2	110,50	109,89	113,33	115,07	115,51
75S+25GD4	114,65	115,10	111,84	108,64	114,74
75S+25GD8	114,14	114,13	115,00	113,86	111,39
50S+25GD2+25GD8	117,98	117,66	119,26	121,57	109,77
50S+25GD4+25GD6	113,34	113,01	112,72	112,15	112,34
70S+15GD2+15GD8	95,39	95,50	95,01	95,70	96,16
70S+15GD4+15GD6	97,31	97,55	97,12	96,49	95,02
50GD4+50GD6	112,97	117,41	115,36	114,47	115,98
25GD4+75GD6	112,26	110,87	108,73	110,63	108,43

EK F: ABS Malzemesi Eriyik Akış Testi Sonuçları

Tablo F1.1’de ABS malzemesinin eriyik akış testi sonuçları verildi.

Tablo F1.1: ABS eriyik akış testi sonuçları.

DENEY	TEST 1 (gr/10dak)	TEST 2 (gr/10dak)	TEST 3 (gr/10dak)
S	1,57	1,20	1,63
GD3	1,63	1,57	1,50
GD6	1,67	1,57	1,70
GD9	1,80	1,90	1,83
GD12	1,80	1,93	1,86
50S+50GD3	1,70	1,57	1,76
50S+50GD6	1,63	1,57	1,73
50S+50GD9	1,83	1,73	1,93
50S+50GD12	1,83	1,63	1,93
75S+25GD3	1,67	1,57	1,73
75S+25GD6	1,63	1,73	1,60
75S+25GD9	1,70	1,73	1,60
75S+25GD12	1,83	1,70	1,73
25S+75GD3	1,70	1,76	1,60
25S+75GD6	1,63	1,73	1,70
25S+75GD9	1,63	1,70	1,70
25S+75GD12	1,67	1,63	1,76
50S+25GD3+25GD12	1,70	1,76	1,67
50S+25GD6+25GD9	1,67	1,60	1,67
25S+25GD3+50GD12	1,73	1,63	1,70
25R3+75GD12	1,93	1,73	1,80
50R3+50GD12	1,80	1,67	1,80

EK G: ABS Malzemesi Darbe Testi Sonuçları 1-5 Arası

Tablo G1.1’de ABS malzemesinin 1., 2., 3., 4. ve 5.darbe testi sonuçları verildi.

Tablo G1.1: ABS darbe testi sonuçları (1-5).

DENEY	TEST 1 (kJ/m ²)	TEST 2 (kJ/m ²)	TEST 3 (kJ/m ²)	TEST 4 (kJ/m ²)	TEST 5 (kJ/m ²)
S	82,75	46,25	63,25	97,25	50,50
GD3	32,00	46,75	36,00	42,25	40,25
GD6	31,50	42,75	35,75	32,00	41,00
GD9	28,50	27,75	30,25	34,00	36,00
GD12	33,50	37,50	26,75	30,75	23,75
50S+50GD3	34,75	39,25	42,75	43,75	35,75
50S+50GD6	42,50	43,00	38,75	32,25	50,75
50S+50GD9	34,75	41,25	29,50	41,50	52,75
50S+50GD12	41,25	30,75	36,00	32,75	47,75
75S+25GD3	53,75	33,75	39,75	37,25	40,50
75S+25GD6	41,00	43,00	43,00	57,25	45,75
75S+25GD9	40,50	29,75	31,75	46,25	36,25
75S+25GD12	49,50	34,00	37,75	47,75	44,75
25S+75GD3	33,25	47,50	40,75	50,75	43,50
25S+75GD6	42,00	36,25	41,75	38,75	33,00
25S+75GD9	46,25	26,75	36,50	39,00	38,25
25S+75GD12	43,75	45,75	38,75	46,75	22,25
50S+25GD3+25GD12	49,25	37,00	40,25	47,25	35,25
50S+25GD6+25GD9	39,25	37,25	42,00	43,50	27,50
25S+25GD3+50GD12	37,25	32,25	19,25	38,25	26,00
25R3+75GD12	28,75	20,50	31,25	27,75	29,00
50R3+50GD12	42,00	26,25	45,75	40,50	24,25

EK H: ABS Malzemesi Darbe Testi Sonuçları 6-10 Arası

Tablo H1.1’de ABS malzemesinin 6., 7., 8., 9. ve 10. darbe testi sonuçları verildi.

Tablo H1.1: ABS darbe testi sonuçları (6-10).

DENEY	TEST 6 (kJ/m ²)	TEST 7 (kJ/m ²)	TEST 8 (kJ/m ²)	TEST 9 (kJ/m ²)	TEST 10 (kJ/m ²)
S	80,00	78,50	69,50	77,75	47,75
GD3	44,50	37,75	39,25	34,75	30,25
GD6	39,75	33,50	33,75	33,75	27,25
GD9	31,00	46,00	27,75	34,75	39,50
GD12	32,25	43,25	30,75	38,25	30,25
50S+50GD3	45,00	45,00	50,75	39,50	49,75
50S+50GD6	33,25	33,50	56,25	50,50	47,50
50S+50GD9	29,00	34,75	35,50	32,25	42,00
50S+50GD12	28,25	37,25	37,75	42,00	36,25
75S+25GD3	47,00	34,75	44,50	47,25	36,25
75S+25GD6	45,50	43,00	47,75	41,50	36,75
75S+25GD9	31,25	38,00	30,00	33,50	31,50
75S+25GD12	29,25	29,25	44,25	43,50	32,00
25S+75GD3	39,25	38,75	56,75	64,25	41,50
25S+75GD6	24,50	42,00	36,00	26,25	38,25
25S+75GD9	49,00	43,25	29,75	29,25	24,00
25S+75GD12	42,50	45,75	39,50	31,25	34,00
50S+25GD3+25GD12	35,25	41,00	45,75	45,50	45,75
50S+25GD6+25GD9	47,00	35,50	36,50	36,75	41,50
25S+25GD3+50GD12	31,75	27,75	38,00	33,25	33,50
25R3+75GD12	32,25	27,50	33,50	40,25	43,00
50R3+50GD12	90,50	38,75	36,50	34,50	36,00

EK I: ABS Malzemesi Kopma Uzaması Testi Sonuçları

Tablo I1.1’de ABS malzemesinin kopma uzaması testi sonuçları verildi.

Tablo I1.1: ABS kopma uzaması sonuçları.

DENEY	TEST 1 (Uzama %)	TEST 2 (Uzama %)	TEST 3 (Uzama %)	TEST 4 (Uzama %)	TEST 5 (Uzama %)
S	11,21	35,19	29,85	9,38	20,26
GD3	18,19	21,73	10,10	15,84	17,16
GD6	21,01	18,85	35,21	23,54	10,36
GD9	13,51	18,96	18,83	14,48	24,16
GD12	20,16	13,09	9,68	12,66	8,83
50S+50GD3	11,46	10,84	12,65	6,33	10,18
50S+50GD6	20,18	20,03	19,56	28,31	19,38
50S+50GD9	25,94	34,56	12,50	33,13	26,25
50S+50GD12	22,81	25,19	26,88	16,88	19,23
75S+25GD3	19,64	16,13	6,88	19,96	26,54
75S+25GD6	9,16	12,28	12,60	18,13	13,70
75S+25GD9	21,35	9,98	11,10	26,61	16,23
75S+25GD12	16,98	22,60	37,46	22,71	32,29
25S+75GD3	12,46	21,25	20,30	22,06	23,03
25S+75GD6	26,98	28,96	15,84	18,03	33,63
25S+75GD9	33,34	33,94	10,28	27,38	26,20
25S+75GD12	13,08	13,96	17,96	15,81	17,71
50S+25GD3+25GD12	20,31	34,48	35,06	28,85	19,16
50S+25GD6+25GD9	42,68	21,61	16,33	23,75	24,38
25S+25GD3+50GD12	22,60	10,70	14,86	20,84	21,56
25R3+75GD12	15,10	6,61	27,68	26,43	17,55
50R3+50GD12	11,24	13,31	31,73	16,04	14,23

EK J: ABS Malzemesi Çekme Testi Sonuçları

Tablo J1.1’de ABS malzemesinin çekme testi sonuçları verildi.

Tablo J1.1: ABS çekme testi sonuçları.

DENEY	TEST 1 (Çekme Gerilmesi MPa)	TEST 2 (Çekme Gerilmesi MPa)	TEST 3 (Çekme Gerilmesi MPa)	TEST 4 (Çekme Gerilmesi MPa)	TEST 5 (Çekme Gerilmesi MPa)
S	41,59	42,15	41,39	41,64	42,02
GD3	38,13	37,98	38,40	38,22	37,91
GD6	39,31	39,28	39,02	38,67	37,83
GD9	38,51	39,36	39,11	38,97	39,14
GD12	38,06	38,74	37,77	37,80	38,80
50S+50GD3	37,84	34,24	39,45	39,53	39,49
50S+50GD6	39,53	39,57	38,73	39,08	39,52
50S+50GD9	39,80	39,05	38,97	39,59	39,33
50S+50GD12	38,88	39,61	39,53	40,03	39,79
75S+25GD3	40,45	40,55	39,90	40,11	39,53
75S+25GD6	40,19	40,18	39,94	39,95	39,56
75S+25GD9	38,22	39,14	39,37	40,13	39,79
75S+25GD12	38,39	38,60	40,26	39,66	39,53
25S+75GD3	39,26	39,91	39,74	39,92	39,95
25S+75GD6	39,45	40,16	39,24	40,23	40,04
25S+75GD9	39,38	39,47	38,47	39,60	39,47
25S+75GD12	39,19	39,14	39,63	38,64	38,36
50S+25GD3+25GD12	38,72	39,17	39,49	38,77	39,15
50S+25GD6+25GD9	39,35	39,36	38,77	39,04	40,16
25S+25GD3+50GD12	39,59	39,41	39,52	39,46	39,39
25R3+75GD12	38,87	39,26	38,02	39,25	39,48
50R3+50GD12	38,09	37,08	38,86	38,86	38,21