

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PC (POLİKARBON) MALZEMESİ ÜZERİNE BİR
ÇALIŞMA

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EROL SİNAN ZORLU

TEMMUZ 2018

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PC (POLİKARBON) MALZEMESİ ÜZERİNE BİR
ÇALIŞMA

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erol Sinan ZORLU

DANIŞMAN

: Doç. Dr. Mehmet YETMEZ

ZONGULDAK
Temmuz 2018

KABUL:

Erol Sinan Zorlu tarafından hazırlanan "Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Geri Dönüştürülmüş Pc (Polikarbon) Malzemesi Üzerine Bir Çalışma" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir. 29./06/2018

Danışman: Doç. Dr. Mehmet YETMEZ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



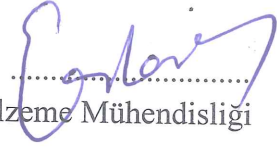
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Fatmagül KOLTUK

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Erkan KOÇ

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

29/06/2018



Doç.Dr.Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Erol Sinan ZORLU

ÖZET

Yüksek Lisans

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PC (POLİKARBON) MALZEMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Erol Sinan ZORLU

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet YETMEZ

Temmuz 2018, 42 sayfa

Plastik hammaddeler kolay şekil alabilen, hafif, dayanımı yüksek, mühendislik malzemeleri olduğundan nihai ürünlerde kullanımı sürekli artmaktadır. Özellikle geri dönüştürülebilir bir malzeme olması günümüzde yürürlükte olan ve gelecekte daha da önem kazanacak çevre politikaları nedeni ile gelecekte çok daha fazla öneme sahip olacaklardır.

Otomobil sektöründe plastik hammadde kullanımı diğer sektörler ile kıyaslandığında çok daha fazla öneme sahiptir. Son yıllarda değişen müşteri beklentileri nedeni ile araçlara eklenen ek donanımların yarattığı ek ağırlık ve bu ağırlığın sebep olduğu ek emisyonların günümüzde uygulanmakta olan sıkı egzoz emisyon kısıtlamaları ile tezat oluşturması otomobil sektöründe ciddi ağırlık azaltma çalışmalarına yol açmıştır. Plastik hammaddeler sahip oldukları teknik özellikler nedeni ile otomobil ve ağırlığın önemli olduğu diğer tüm alanlarda mühendislik uygulamalarını vaz geçilmezi olmuştur.

ÖZET (devam ediyor)

Yukarıda anlatılan özellikler nedeni ile artan plastik kullanımı beraberinde atık ürünlerin yönetilmesi sorununu ortaya çıkarmıştır. İmalat sürecinde kaçınılmayan, özellikle kalıp devreye alma aşaması ve üretim esnasındaki yaşanan sapmalar nedeniyle ıskartaya ayrılmış parçalar ile teknik ömrünün sonunda âtıl duruma gelmiş ürünlerin yol açtığı çevre sorunları yürürlükte olan çevre politikaları nedeni ile gittikçe önem arz etmektedir.

Plastik hammaddelerin petrol türevlerinden elde edilmesi ve günümüzde yerli sanayiler tarafından kullanılan plastiklerin büyük bir çoğunluğunun ithal edilmesi nedeni ile geri dönüşüm ekonomik açıdan da yüksek öneme sahiptir.

Bu tez çalışmasında otomobil sanayisinde oldukça sık kullanılan PC/ABS hammaddenin geri dönüştürülmesi incelendi. Bunun için üretim esnasında ıskarta olarak ayrılmış ürünler ayıklanarak önce kırma işlemi yapılarak granül çekme işlemine uygun hale getirildi. Kırılan malzemeler özel enjeksiyon tezgâhlarında çekilerek granül hale getirildi ve saf hammadde içine ağırlık olarak %5 ve %10 oranında karıştırılarak otomotivde kullanılan nihai yarı mamul üretimi yapıldı.

Elde edilen parçalar serbest-serbest titreşim testine tabii tutularak birincil ve ikincil modları çıkarılmış ve kırma malzemenin nihai ürünün mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kırma oranı arttıkça 1. Modda malzemenin daha kırılğan bir yapıya büründüğü, 2. Modda ise malzemenin yumuşama eğilimine girdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PC/ABS, Mekanik özellikler, Geri Dönüşüm, Polimer

Bilim Kodu: 625.01.04.Mekanik Titreşimler ve Gürültü

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

A STUDY ON RECYCLING OF PC/ABS MATERIAL USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Erol Sinan ZORLU

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet YETMEZ

July 2018, 42 pages

As plastic materials are light weight, easy to shape and high strength engineering materials, their usage in end products are constantly increasing. As a recyclable material and due to environmental policies being constantly more strict and important by every passing year, plastic material usage in the future will be much higher and wide spread.

The use of plastic material in the automotive industry has much more importance compared to other sectors. Increase in the car emissions due to implemented additional functionalities caused by customer demand forced car manufacturers to put tremendous effort on weight reduction studies caused by the constantly tightening EU emissions standards. Due to the technical properties of plastic material, they have become an indispensable material in automotive and other sectors where part weight is an issue.

ABSTRACT (continued)

Increasing usage of plastic materials, because of the technical specifications explained above, led to another problem, waste management. Unavoidable waste and scraps caused by the production process during the start-up phase, by the deviations during the serial production and the products after their service life arisen environmental issues which must be managed due to strict environmental policies.

Additionally these raw materials are produced from petroleum based monomers and most plastics used in industry are import goods which increases the importance of recycling by means of economical ways.

In this study, recycling of PC/ABS material which is being used widely in the automotive industry was examined. For this purpose, scrap parts made of same raw materials are separated, broken down and later granulated in special injection machines, mixed with virgin material with a weight ratio of 5% and 10% and used to produce sub component for a commercially available vehicle

The obtained parts were subjected to a free-free vibration test to analyse the effects of recycled material on the mechanical properties of the final product by obtaining primary and secondary modes of the part. According to the obtained results, it is observed that the material is becoming more fragile in the first mode and more elastic in the second mode according to the amount of recycled material.

Keywords: PC/ABS, Mechanical Properties, Recycling, Polymer.

Science Code: 625.01.04. Mechanical Vibrations and Noise.

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasına baőlamamda ve tez alıőmam esnasında benden desteğini esirgemeyen baőta eőim Necmiye Zorlu'ya, babam Dr. Mehmet Ali Zorlu'ya, annem Perihan Zorlu'ya ve çok değerli akademisyen ablam Öğr. Gör. Selcen Zorlu'ya, tez konusu seğmede, tez süresince gerek iyi niyeti gerek gösterdiği sabır ve çok değerli destekleri için Sayın Doç Dr. Mehmet Yetmez'e, teőekkürü bir borç bilirim.





İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 PLASTİK MALZEMELER	1
1.2 PLASTİKLERİN MOLEKÜLER DİZİLİMİ.....	2
1.3 OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN PLASTİKLER	7
1.3.1 Polipropilen.....	8
1.3.2 Polikarbonat	9
1.3.3 Akrilonitril Bütadien Stiren	10
1.3.4 Polietilen	11

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
1.3.5 Poliamit - Naylon.....	12
1.3.6 Termoplastik Poliüretan.....	13
1.3.7 Polioksimetilen	14
1.3.8 Polietilen Terafitalat.....	15
BÖLÜM 2 MALZEME VE METOD	16
2.1 POLİMER HARMANLAMA	16
2.1.1 Karışabilen Polimerler	16
2.1.2 Karışamayan Polimerler.....	18
2.1.3 Kısmi Karışabilen Polimerler	20
2.2 PC/ABS HAMMADDENİN ÖZELLİKLERİ.....	21
2.3 SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ	22
2.4 MODAL ANALİZ.....	28
2.5 DENEY DÜZENEGİ VE TEST METODU	29
BÖLÜM 3 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	30

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR.....	38
EK AÇIKLAMALAR.....	40
ÖZGEÇMİŞ	42





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Polistrilen polimer zinciri.....	3
Şekil 1.2 Yoğunlaşma tepkimesi ve sonunda elde edilen poliamid ve su.....	3
Şekil 1.3 Polimer zincirleri ve zincir yapısı	4
Şekil 1.4 Yarı-Kristal ve Amorf polimer zincir yapısı.....	5
Şekil 1.5 DSC Şeması	6
Şekil 1.6 Sıcaklığın elastiklik modülüne etkisi	6
Şekil 2.1 Polietilen ve Polipropilen kimyasal dizilimi.....	17
Şekil 2.2 Polietilen Teraftalat ve Polibutilen Tereftalat kimyasal yapıları	17
Şekil 2.3 Birleşik malzemenin Camısı Geçiş Sıcaklıkları.....	18
Şekil 2.4 Gibbs Serbest Enerji Diagramı	20
Şekil 2.5 Tek serbestlik derecesine sahip sistemin ayrılmış gösterimi	22
Şekil 2.6 Farklı sönümlenme oranlarına göre ilk konumu 1 olan tek serbestlik derecesine sahip sistemin zaman-konum grafiği örneği	26
Şekil 2.7 Serbest Azalan Sönümlenmeli Salınım Hareketi	27
Şekil 3.1 Ansys serbest-serbest titreşim analizi mod 7	30
Şekil 3.2 Ansys serbest-serbest titreşim analizi mod 8	30
Şekil 3.3 Mod 1 hammadde kırma oranı-doğal frekans grafiği	31
Şekil 3.4 Mod 1 hammadde oranı-yer değiştirme grafiği	31
Şekil 3.5 Mod 1 hammadde oranı-doğal sönümlenme katsayısı Grafiği	32
Şekil 3.6 Yay katsayısının kırma kullanım oranı ile değişimi	33
Şekil 3.7 Kritik sönümlenme oranının kırma kullanım oranı ile değişimi.....	33
Şekil 3.8 Sönümlenme oranının kırma kullanım oranı ile değişimi.....	34
Şekil 3.9 Mod 2 hammadde kırma oranı-doğal frekans grafiği	34
Şekil 3.10 Mod 2 hammadde oranı-yer değiştirme grafiği	35
Şekil 3.11 Mod 2 hammadde oranı-doğal sönümlenme katsayısı grafiği	35
Şekil 3.12 Mod 2 kırma malzeme oranı-yay katsayısı grafiği	36
Şekil 3.13 Mod 2 hammadde kırma oranı-kritik sönümlenme oranı grafiği.....	36
Şekil 3.14 Mod 2 hammadde kırma oranı-sönümlenme katsayısı grafiği.....	37



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Kristalin ve Amorf polimer genel özellikleri	7
Çizelge 3.1 Serbest Titreşim Testi Mod 1 Sonuçları	31
Çizelge 3.2 Serbest Titreşim Testi Mod 1 Hesaplanan Özellikleri	32
Çizelge 3.3 Serbest Titreşim Testi Mod 2 Sonuçları	34
Çizelge 3.4 Serbest Titreşim Testi Mod 2 Hesaplanan Özellikleri	36





EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
EK A CYCOLOY C1200HF Teknik Şartnamesi.....	56





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat
C-H	: Karbon, hidrojen bağı
%	: Yüzde
Δ	: Delta
ΔG	: Gibbs serbest enerji miktarı
F	: Kuvvet
m	: Kütle
x	: Konum
t	: Zaman
k	: Yay Katsayısı
c	: Sönümlenme katsayısı
e	: Euler sabiti
c_c	: Kritik sönümlenme katsayısı
w_n	: Doğal frekans
w_d	: Sönümlenmeli Doğal Frekans
δ_n	: Logaritmik azalma
ξ	: Kritik sönümlenme oranı

KISALTMALAR

T_m	: Erime Sıcaklığı
T_g	: Camı Geçiş Sıcaklığı
DSC	: Diferansiyel Kalorimetri Taraması
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
PP	: Polipropilen
PE	: Polietilen

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

PA	: Poliamid
TPU	: Termoplastik Poliüretan
POM	: Polioksimetilen
PET	: Polietilen Terafitalat
PVA	: Poli Vinil Alkol
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren



BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 PLASTİK MALZEMELER

Plastik terimi asıl olarak esnek ve kolayca şekillendirilebilir anlamına gelmektedir. Ancak son zamanlarda polimer olarak adlandırılan malzemelerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Anlam olarak polimer, birçok parçadan oluşan demektir ve polimer hammaddeler birbirine bağlı olan ve aynı atom diziliminin birbirini takip edecek şekilde bağlanması ile meydana gelen uzun molekül zincirlerinden oluşmaktadır. Tekrar eden her bir dizilime Yunanca'da parça, bölüm anlamına gelen "mer" denir. Bu parçaların dizilimine başına Yunanca'da "çoklu" anlamına gelen Poli eklenerek polimer denilmiştir. Doğada polimerler bolca bulunmaktadır, örnek olarak bitki hücrelerinin duvarlarını oluşturan malzeme olan selüloz doğada sıkça bulunan bir polimerdir.

Geçen bir buçuk yüzyılda insanlar, doğada bulunan selüloz gibi doğal maddeleri veya daha büyük oranda petrol ve türevlerinde yüksek miktarda mevcut olan karbon atomlarını kullanarak sentetik polimerleri nasıl üreteceğini keşfetmiştir. Sentetik polimerler çoğunlukla karbon ve hidrojen atomlarının dizilimi ile elde edilir, bu dizilime bazen oksijen, nitrojen, sülfür, klor, fosfor ve silikon da dâhil olabilir. Çok nadir olarak karbon atomu yerine silikon da kullanılabilir. Sentetik polimerlerin bir özelliği de doğada bulunan polimerlere kıyasla daha uzun boylu olmalarıdır. Bu zincirlerin uzunluğu ve atom dizilimleri polimerleri esnek, sağlam ve hafif yapmaktadırlar.

Polimerlerin bu özellikleri onları oldukça kullanışlı yapmaktadır. Özellikle son 50 yılda insan hayatının her yerinde kullanılmaya başlamış ve insanların yaşam şeklini değiştirmiştir.

İlk sentetik polimer 1869 yılında John Wesley Hyatt tarafından fildişi yerine kullanılacak bir malzeme olarak icat edilmiştir. Pamuk ipliğinden elde edilen selülozu işleyerek elde edilen bu ilk plastiğin çok farklı şekillerde imal edilebiliyor ve fildişi, kaplumbağa kabuğu, boynuz,

keten gibi doğal maddelerin yerine kullanılabilirdi. Bu icat insanlığın doğada bulunan hammaddelere olan bağımlılığını ortadan kaldırdığından, doğal kaynak bulmak amacı ile yok edilen canlıların kurtuluşu olarak ta görülmesine sebep olmuştu.

Elektriğin yaygın olarak kullanılmaya başlaması ile yalıtım amaçlı kullanılacak hammadde arayışları neticesinde Bakalit hammaddesinin geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bakalit hammaddesi kalıp ile şekillendirilebilir olması, yüksek ısı dayanımına ve uzun ömre sahip olması nedeni ile plastik malzemelerin çok farklı alanlarda kullanılabilmesine yol açmıştır. 2. Dünya Savaşı ile plastiklerin gelişimi hızlanmıştır. Özellikle savaş esnasında sınırlı doğal kaynaklar yerine kullanılacak hammadde arayışları cam yerine kullanılacak Pleksiglas ve gövde zırhları, halatlar, kasklar, paraşütler gibi ürünlerin üretiminde kullanılabilen naylon malzemesinin geliştirilmesinde etkili olmuştur.

Sentetik plastiklerin doğadaki eşdeğerlerinin aksine petrolde bulunan karbon bağlarını kullanmaları onları kütle üretime uygun dolayısı ile ucuz yapmaktadır. Kalıplanarak istenilen şekilde ve farklı amaçlarda kullanılabilen ürünlerin kısa çevrim süreleri ile üretilmesi ucuz ve işlevsel parçaların imal edilmesini sağlamıştır. Plastiklerin kolay kalıplanabilir olması, son yıllarda geliştirilen 3B yazıcılarda kullanılabilir ucuz hammaddeler olması tasarım açısından da karmaşık ve gelişmiş görsel etkilere sahip parçaların üretimini mümkün kılmıştır.

Geçtiğimiz yüzyılın başlarından itibaren sürekli artan miktarlarda kullanılan plastikler beraberinde başka bir sorun olan atık yönetimini doğurmuştur. Günümüzde plastik parçaların üretiminde sıklıkla kullanılan ekstrüzyon, enjeksiyon, şişirme gibi üretim yöntemlerinde kalıp verimli olarak çalışana kadar geçen süreçte nihai ürün haline gelememiş veya üretim sürecinde yaşanan sapmalar (kalıp hataları, sıcaklık sapmaları, yabancı malzeme karışması vs.) nedeni ile kalite ıskartası olarak ayrılmış parçalar ve teknik ömürlerinin sonunda atıl hale gelmiş olan parçalar hem ekonomik açıdan hem çevre açısından gittikçe artan oranlarda sahip yönetilmesi gereken bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Her ne kadar son zamanlarda biyolojik olarak çözünebilen veya bitkilerden elde edilmiş polimerler ile plastik hammadde geliştirme çalışmaları olsa da günümüzde kullanılan birçok plastik doğada çözülemez. Bugün karada ve denizde biriken plastikler aşınarak ince parçacıklar haline gelmekte, solunum ve sulama yolu ile ya da büyük parçalar halinde yutulmaları nedeniyle bitkilerin ve hayvanların vücuduna girerler. Bünyesinde plastik atıkları barındıran canlıların ve bitkilerin tüketilmesi ile de bu kimyasallar insan vücuduna nüfuz etmekte ve uzun vadede geri dönülemez sorunlara

yol açabilmektedirler. Bu nedenlerden dolayı plastik hammaddelerin geri dönüştürülmesi ekonomik, çevresel ve sağlık açısından sürekli artan bir önem arz etmektedir.

Plastik hammaddelerin geri dönüştürülmesi Avrupa Birliği ve ülkemizde yürürlükte olan ISO 14001 çevre direktifleri, enerji verimliliği, dışa bağımlılık açılarından bakıldığında da büyük önem arz etmektedir.

Tez çalışmasının konusu olan Cyclooy 1200HF malzeme SABIC firması tarafından üretilmekte olan ve Polikarbonat Akrilonitril Bütadien Stiren hammaddelerinin elde edilen ticari bir üründür ve farklı sektörlerde farklı amaçlar için yoğun olarak kullanılmaktadır. Polikarbonat şeffaf bir malzemedir. Işık geçirgenliği açısından cama en yakın plastik hammaddedir. Özellikle şeffaf olması ve yüksek darbe dayanımı nedeni ile far lensleri, optik diskler, sıhhi cihazlarda yoğun olarak kullanılmaktadırlar. Isıl dayanımları da göreceli olarak yüksektir, çoğu PC hammadde 100°C üzerindeki sıcaklıklara dayanabilmektedir. PC hammaddeler şeffaf olarak bulunabileceği gibi boya kullanılarak farklı renklerde de üretilebilir. ABS malzeme ise yüksek darbe direncine, mukavemete, sertliğe ve aşındırıcı kimyasallara karşı dirence sahip düşük maliyetli ışık geçirmez bir plastiktir. Bu nedenle klavye tuşlarından oyuncaklara birçok alanda kullanılmaktadır. Isı dayanımının düşük olması, yaklaşık 90~95°C, yüksek ısı uygulamalarında kullanımını engeller.

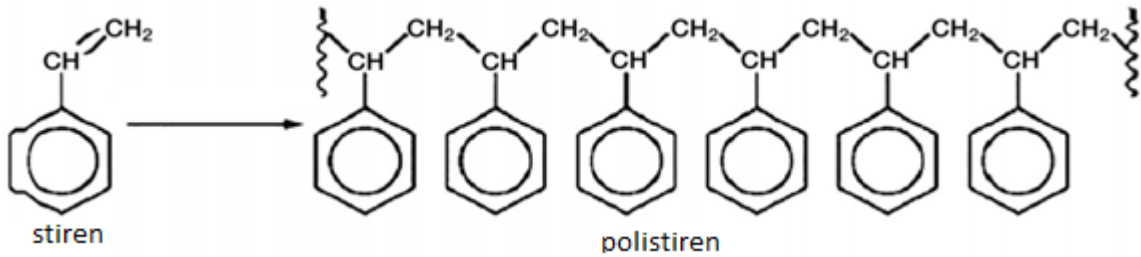
1.2 PLASTİKLERİN MOLEKÜLER DİZİLİMİ

Plastik malzemelerin sergilemiş olduğu karakteristik özellikler, sahip oldukları moleküler dizilimin bir sonucudur. Farklı plastik malzemelerin sergilemiş olduğu farklı özelliklerin temelinde, moleküler yapılarındaki farklılıklar yatmaktadır. Plastiklerin molekül ağırlıkları çok yüksektir. Çoğu zaman sahip oldukları özellikleri geliştirmek adına, örnek olarak zamanla oluşan bozulmayı engelleyen maddeler, dengeleyiciler, alev geciktiriciler gibi, çeşitli katkı maddeleri ile karıştırılırlar. Buna rağmen plastiklerin ana özellikleri, sahip oldukları polimer dizilimi tarafından belirlenir.

Polimerler, birbirine kısmen veya tamamen bağlanmış olan benzer yapı birimlerinde oluşmuş olan uzun moleküllerdir. Zincir olarak adlandırılırlar bu yapılar ağa benzeyen ve birbirini takip eden birimlerden oluşmaktadır. Polimerler, polimerizasyon olarak adlandırılan monomer

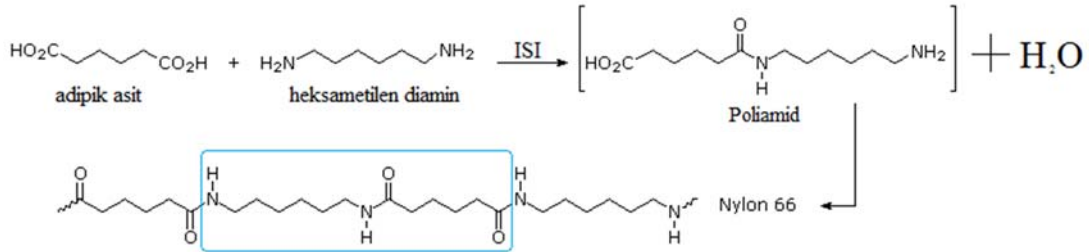
moleküllerinin bir kimyasal etkileşimle birbirlerine eklenmesiyle oluşur ve sonuçta daha küçük tekrarlanan tekli polimer zincirlerinden oluşan 3 boyutlu bir ağ meydana gelir.

Plastikler temelde iki farklı yöntemle üretilirler, ekleme ve yoğunlaştırma. Ekleme yönteminde aynı monomer yapının ısıveren bir tepkimeyle birbirlerine eklenmesi yöntemidir. Bu yöntemde reaksiyona giren monomerlerde atom veya molekül kaybı olmaz. Şekil 1.1’de bu şekilde üretilmiş olan polistiren polimerinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Polistiren polimer zinciri

Yoğunlaşmada ise monomerler, dışarıdan ısı verilerek farklı işlevsel gruplarla kademeli olarak etkileşime girerler. Bu süreçte yan ürün olarak su veya metanol gibi diğer küçük moleküller açığa çıkar.

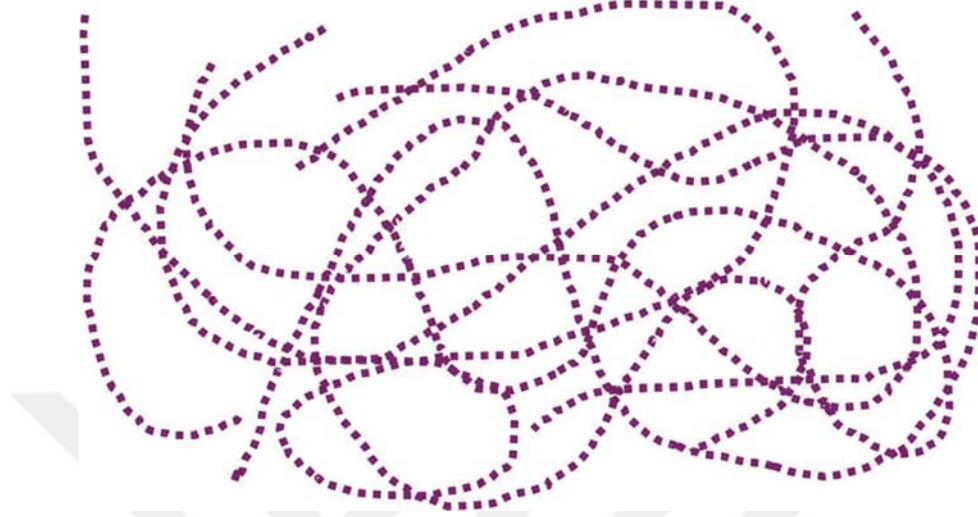


Şekil 1.2 Yoğunlaşma tepkimesi ve sonunda elde edilen poliamid ve su.

Bu iki imalat yöntemi karşılaştırıldığında, ekleme yöntemi ile elde edilen polimerler göreceli olarak daha güçlü karbon bağları oluşturduklarından kimyasal dayanımları daha yüksektir. Yoğuşma yöntemi ile elde edilen polimerler yüksek sıcaklıklar altında suya maruz kaldıklarında, kendisini oluşturan ilk kimyasal tepkimenin tersini andıran bir mekanizma nedeniyle, bozulmaya meyillidirler.

Yukarıda anlatılan kimyasal tepkimeler neticesinde yinelenen birimlerden oluşan çok sayıda ayrı polimer zinciri oluşur. Polimerik malzemelerin ana bir özelliği de zincirlerin birbirine

dolanmasıdır. Bağımsız zincirler birbirlerine kovalent bağ ile bağlanmazlar. Bunun yerine Van der Waals kuvvetleri, hidrojen bağlantısı, moleküller arası dipol etkileşimi gibi molekül içi kuvvetlere dayanan bir yapıları vardır.



Şekil 1.3 Polimer zincirleri ve zincir yapısı

Polimerik mazlemelerin bir başka özelliği de bu zincir yapıların düzeni ile meydana gelir. Genel olarak plastikler, molekül zincirlerinin dizilimine göre yarı kristal ve amorf olarak sınıflandırılabilir. Bu dizilim, malzeme seçimi, parça tasarımı, işlenmesi ve parçadan beklenen nihai işlevlerin yerine getirilmesi açısından yüksek bir öneme sahiptir.

Polimerik olmayan çoğu malzeme, yüksek sıcaklıklara çıkarılıp katılma sıcaklığına kadar soğutulduklarında kristaller oluşturur. Su bunun en bariz örneğidir. Su 0 °C sıcaklığa kadar soğutulduğunda, sıvıdan katı hale geçme aşamasında içinde kristaller oluşmaya başlar. Kristal yapı, muntazam, düzenli moleküler yapı malzemede ayırt edici bir geometrik desen oluşturur. Su gibi küçük moleküllere sahip yapılarda bu düzen kendiliğinden tekrarlanır ve moleküllerin büyüklüğüne göre nispeten geniş bir alana yayılır ve göreceli olarak çok kısa süre içinde düzene girerler.

Bununla birlikte, polimerlerin oldukça büyük molekül boyutları ve buna bağlı olarak yüksek olan akışkanlıkları nedeni ile plastiklerde kristalleşme oldukça sınırlı ve bazı durumlarda imkansızdır. İçinde kristalleşme oluşmuş polimerler bile bünyelerinde oldukça fazla oranda kristalleşmemiş yapı da barındırdıklarından bu tarz polimerlere yarı kristalleşmiş polimer denir. Kimyasal yapısı nedeni ile yapı içinde kristalleşme oluşmamış polimerlere ise amorf olarak adlandırılırlar (Şekil 1.4)

Yarı Kristal İç Yapı



Amorf İç Yapı

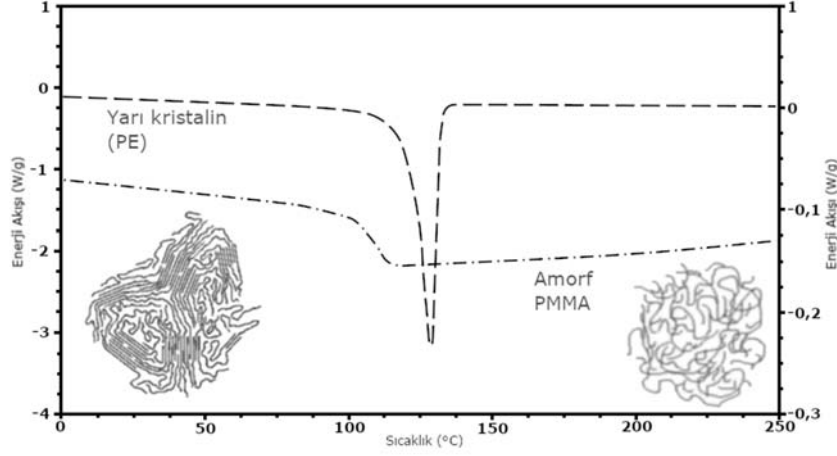


Şekil 1.4 Yarı-Kristal ve Amorf polimer zincir yapısı

Amorf polimerler düzenlenmemiş gevşek bir yapıya sahiptir. Yarı kristal malzemelerde ise belli bir desene sahip yapıların bağlı olduğu düzensiz amorf yapılar yer alır. Bazı ek maddeler ile iç yapıya kısmi etkiler yapılabilsede, polimerin yarı kristalin veya amorf olmasını belirleyen en büyük etken, polimer zincir uzunluğu ve işlevsel gruplar gibi sahip olduğu kimyasal yapı tarafından belirlenir.

Polimer malzemelerin iç yapısı nedeni ile karşımıza çıkan bir diğer önemli özellik de camsı geçiş sıcaklığıdır. Polimer malzemeler sahip oldukları kimyasal bileşenlere ve polimer zincirlerinin dizilimine dayalı olan bir camsı geçiş sıcaklığına sahiptirler. Bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda polimerin iç yapısındaki zincirler rahatça yerlerini değiştirebilir. Bu sayede polimer esnek bir yapıya sahip olur. Bu sıcaklığın altında ise polimerler cama benzer sert ve kırılğan bir yapıya sahip olurlar.

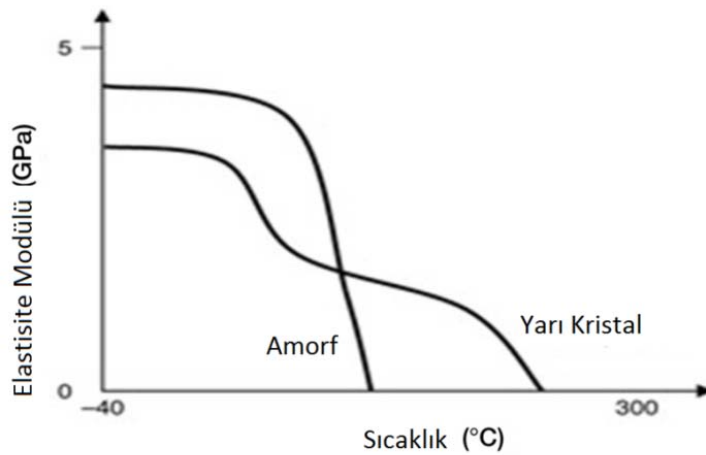
Kristalleşmeye bağlı olarak oluşan muntazam düzenli moleküler yapı, yeterli sıcaklığa ulaşıldığında erime ile sonuçlanır. Bu nedenle naylon, polietilen, poliasetal gibi yarı kristalli polimerlerde bir erime noktası ve sıvı hale geçiş durumu söz konusudur. Polistiren, polikarbonat ve polifenilsülfon gibi amorf yapıya sahip polimerler ise gerçekte erimez, ancak geniş camsı geçiş sıcaklığının (T_g) üzerinde ısıtıldıkça yumuşayacaklardır. Bu özellik diferansiyel tarama kalorimetresi (differential scanning calorimetry DSC) şemaları ile ifade edilmektedir.



Şekil 1.5 DSC Şeması

Yarı kristal ve amorf moleküler dizilim arasındaki fark malzemenin mekanik özellikleri üzerinde de etkiye sahiptir, özellikle sıcaklığa dayalı şartlarda. Genel olarak amorf plastikler geniş bir sıcaklık aralığında nispeten daha tutarlı bir esneklik modülü sergilerler. Ancak camı geçiş sıcaklığına yaklaştığında keskin bir düşüş sergiler. Buna karşılık yarı kristal polimerlerde camı geçiş sıcaklığının altında, ki genelde ortam sıcaklığının altındadır, elastisite modülü nispeten karalıdır, ancak camı geçiş sıcaklığı ile erime sıcaklığı arasında kalan sıcaklıklarda sabit bir azalma gösterir.

Viskoelastik özelliklerinden dolayı zaman ve sıcaklık, polimerik malzemeler üzerine aynı şekilde etki eder. Bu nedenle zamanla malzeme içinde meydana gelen değişimler, malzemenin sıcaklığa karşı kararlılığından çıkarılabilir.



Şekil 1.6 Sıcaklığın elastiklik modülüne etkisi

Ticari olarak üretilmekte olan neredeyse hiçbir polimerlerin iç yapısı sadece kristalin bir dizilişten meydana gelmez, bunun yerine amorf ve kristalin yapının iç içe olduğu birleşik bir

iç yapı görülür. Yarı Kristalin ve amorf polimerlerin genel mekanik özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Kristalin ve Amorf polimer genel özellikleri

Yarı Kristalin Malzeme Özellikleri
Keskin ve belirli bir erime noktası
Işık geçirmez, opak
Organik kimyasallara daha iyi dayanım
Daha yüksek çekme dayanımı ve esneklik modülü
Daha iyi yorulma ve sürünme dayanımı
Daha yüksek yoğunluk
Daha yüksek çekme oranları
Amorf
Daha geniş sıcaklık aralığında daha yumuşak
Şeffaf
Organik kimyasallara düşük dayanım
Çekmeye uygunluk

1.3 OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN PLASTİKLER

Günümüzde otomotiv sektöründe araç ağırlığını düşürme çalışmaları gittikçe önem kazanmaktadır. Özellikle artan müşteri beklentileri nedeni ile araçlara eklenen ek donanımların sebep olduğu ek ağırlık, 2000’den itibaren sürekli sıkılaştırılan egzoz emisyon gereklilikleri neticesinde yakıt tüketimini düşürme çalışmaları için bertaraf edilmesi gereken bir engel olmaktadır. Plastik malzemeler, hafif yapılı ve dayanıklı mühendislik malzemeleri olmaları nedeni ile otomobildeki ağırlık azaltma çalışmalarında büyük bir öneme sahiptir ve gittikçe artan oranda çelik hammaddenin yerini almaktadırlar. Günümüzde ortalama 1.500 kg ağırlığa sahip bir aracın yaklaşık %12-%15’i plastik parçalardan oluşmaktadır.

Plastiklerin otomotiv sektörü için başka bir önemi de yaya ve yolcu güvenliğidir. Günümüzde araçlarda kullanılan emniyet kemeri ve hava yastığı gibi kaza anında yaralanmaları engellemek üzere geliştirilmiş olan tüm güvenlik donanımları plastik hammaddelerden üretilmektedir. Bunun yanı sıra, ülkemizde ve dünyada kullanılması zorunlu olan ve

çocukların araçlarda güvenli seyahat etmesini sağlayan çocuk koltukları da plastik hammaddenin yoğunlukla kullanıldığı başka bir alandır.

Bir çarpışma anında yayaların ve yolcuların güvenliğini sağlamak için üzerine gelen darbe enerjisini soğutarak kırılması ve darbeyi canlı bedenine iletmemesi istenen tampon, çamurluk, direksiyon mili gibi geçtiğimiz yıllarda çelik hammaddelerden üretilmiş otomotiv parçalarında da plastik kullanımı artmaktadır. Günümüzde plastik bir tampon, benzer alternatif hammaddelerle üretilmiş benzer bir parçadan yaklaşık %50 daha hafifken 4 kata kadar daha fazla enerjiyi emebilmektedir[1].

1.3.1 Polipropilen

Polipropilen çizgisel bir hidrokarbon polimerdir. Kimyasal yapısı C_nH_{2n} formülü ile ifade edilebilir. Polipropilen, polietilen ve polibütan gibi doymuş bir polimerdir. Yarı rijit, yarı saydam, yüksek kimyasal dayanıma sahip, tok, yorulma dayanımı iyi, entegre menteşe özelliği olan, iyi ısı dayanımına sahip termoplastik bir malzemedir.

Oldukça fazla kullanım alanına sahip olan PP, hem plastik olarak hem de iplik olarak nihai ürünlerde kullanılmaktadır. Stres altında çatlama yapmaz ve yüksek sıcaklıklarda mükemmel elektrik ve kimyasal dayanım sunar. Polietilen ile benzerlik göstermesine rağmen ondan daha az yoğunluğa, daha yüksek yumuşama sıcaklığına, yüksek rijitliğe ve sertliğe sahiptir. Genelde içine çeşitli katkıları katılarak kullanım esnasında polimerin korunması ve nihai işlevlerinin iyileştirilmesi sağlanır.

Paketlemeden, araç tamponlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Düşük yoğunluğu nedeni ile ağırlık azaltılması uygulamalarında da tercih edilmektedir. Yüksek esnekliğe ve yorulma dayanımına sahip olması sayesinde kırılmadan defalarca bükülebilir ve bu nedenle şişe kapakları gibi esnek menteşe gerektiren uygulamalarda kullanılabilmesini sağlar. Oda sıcaklığında organik çözücülere karşı dayanımı yüksektir ancak yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye müsaittir. Kimyasal dayanımı yüksektir, seyreltilmiş baz ve asitler PP ile kolaylıkla reaksiyona girmezler. PP ayrıca polietilen gibi diğer polimerler ile kopolimerize edilebilir. PP malzemenin en önemli dezavantajı ise diğer plastiklerde kullanılabilen yapıştırıcılarla düzgün bağlantı kuramaz ve kaynak işlemine ihtiyaç duyabilir.

Polipropilen diğerk mühendislik plastikleri ile kıyaslandığında oldukça uygun maliyetli ve düşük özgül ağırlığa sahip, yaklaşık 0,94 gr/cm³, bir termoplastiktir. Bu nedenle otomotiv sektöründe büyük hacme sahip ancak hafif ve düşük maliyetli olması istenen tüm alanlarda kullanılmaktadır. Bunların başında araç tamponları, motor kapağı, ön-orta konsol, araç içi kaplamalar ve aracın dışında darbe önleme ve koruyucu amaçla kullanılan diğerk parçalar sayılabilir. PP içine cam elyafı gibi katkıları katılarak daha fazla mekanik dayanım gerektiren gövde, tampon içi destek parçaları gibi parçalarda da kullanılmaktadır.

1.3.2 Polikarbonat

Polikarbonatlar dayanıklı, katı, sert, dayanıklı, şeffaf mühendislik termoplastiğidir ve rijitliğini 140°C'den -20°C dereceye kadar koruyabilmektedir. Amorf bir polimer zincir yapısına sahip olan polikarbonat bu sayede yüksek mekanik özelliklere ve yüksek ölçüsel kararlılığa sahiptir. Her ne kadar çeşitli renklerde piyasada mevcut olsa da, doğal olarak şeffaf bir malzemedir ve ışığın içinden iletilmesi bakımından camla neredeyse aynıdır. Yavaş alev alan bir malzeme olarak sınıflandırılır. Malzeme özelliklerinde çok fazla değişim olmadan alev geciktirici maddeler ile karıştırılarak ısıya daha dayanıklı türevleri elde edilebilir. Başka bir özelliği ise oda sıcaklıklarında kırılmadan ve çatlamadan, alüminyum sac gibi, yüksek bükülebilirliğe sahip olmasıdır. Bu özelliği ile PC levhalar prototip yapımında, metal kullanılmayan şeffaf uygulamalarda tercih edilmektedirler.

Otomotiv sektöründe 50 yıla yakın süredir kullanılmakta olan PC malzemeler oldukça yüksek parlaklığa sahiptirler, yüzeyleri pürüzsüzdür. Bu nedenle görselliğin önemli olduğu estetik parçalarda, boyalı veya kaplamalı olarak oldukça fazla oranda kullanılırlar, özellikle otomobillerin görsel olarak en fazla göz önünde bulunan konsol radyo bölgesi kısmında ve pürüzsüz yüzey istenen alanlarda sıklıkla kullanılırlar. Yüksek darbe dayanımları ve ışık geçirgenlikleri nedeni ile far lenslerinde de kendilerine kullanım alanı bulmuşlardır.

Talaşlı imalat ile prototip üretimi için de PC hammadde kullanılabilir. Bu amaca yönelik olarak siyah, beyaz ve şeffaf olan silindirik veya plaka haldeki PC kütükler piyasada mevcuttur. Şeffaf parçalar da bu şekilde üretilebilmelerine rağmen PC hammaddenin sahip olduğu ışık geçirgenliğini geri kazanmak adına işleme sonrası parlatma gibi takım izlerini yok edecek uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. PC malzemenin termoplastik bir malzeme olması nedeni ile özel 3B yazıcılar ile prototip imalatında kullanılabilirler. Bu amaçla iplik şeklinde

Üretilmiş olan PC veya ABS ile karıştırılması ile elde edilen PC/ABS hammaddeler kullanılabilirlerdir.

PC malzemenin otomotiv sektöründe kullanımını sınırlayan en büyük etken görece yüksek fiyatı ve yaklaşık 1,20gr/cm³ olan yüksek özgül ağırlığıdır.

1.3.3 Akrilonitril Bütadien Stiren

ABS hammaddesi akrilonitril, bitadien ve stiren monomerlerinin birleştirilmesi ile elde edilmiş uygun maliyetli bir kopolimerdir. ABS malzeme, oda sıcaklıklarında dahi yüksek tokluğa, yüksek rijitliğe ve sertliğe sahiptir. ABS polimerlerin farklı darbe, ısıl, alev ve kaplanabilirlik özelliği sunan birçok farklı çeşidi mevcuttur. Birçok doğal ABS hammadde opaktır ancak şeffaf olarak da üretilirler. Erime sıcaklığının göreceli olarak düşük olması enjeksiyon prosesinde kullanılmasını kolaylaştırır ve 3 boyutlu yazıcılarda da kullanılabilmesine olanak tanır. ABS ile üretilen ürünlerin yüzey kalitesi yüksektir. Bu bakımdan PC malzeme yerine de tercih edilebilmektedir. Bazı plastiklerin aksine farklı renkler almaya oldukça uygundur. Kolay işlenebilir, yapıştırılabilir ve boyanabilir. Kimyasal daldırma ile kaplama işlemine uygundur. Bu nedenle kalite algısının yüksek olması gereken alanlarda kullanılmaktadırlar. Kırılmadan elastik sınırlarının ötesinde bklebilirler, ancak bu işlem sonrası beyazlama diye tabir edilen renk değişimleri meydana gelir, özellikle koyu renklerde çok belirgin bir kusur olan bu hata nedeni ile kalıplama esnasında parçanın kalıptan rahat ve kolay çıkmasına dikkat edilmelidir.

ABS hammaddeler farklı diğer malzemeler ile birleştirilerek mekanik özellikleri iyileştirilebilir. Özellikle düşük olan erime sıcaklığını arttırmak amacı ile PC hammadde ile karıştırılırlar. Borularda, kaplama ve kalıplanmış parçaların özelliklerini iyileştirmek adına PVC hammadde ile de karıştırılırlar. İlerine %40 oranında cam elyafı katılarak gçlendirilebilirler.

ABS hammaddeler otomobil üzerinde PC gibi parlaklık, düşük yüzey pürüzlülüğü istenen alanlarda ve kimyasal yöntemle metal kaplanacak parçalarda sıklıkla kullanılmaktadır. PC ile karışlaştırıldığında göreceli olarak düşük olan fiyatı ve özgül ağırlığı, yaklaşık 1,05 gr/cm³, nedeni ile ısı dayanımı ve yüksek mekanik dayanım gerektirmeyen çoğu alanda PC malzemenin yerine kullanılmaktadır.

1.3.4 Polietilen

Polietilen dünyada en çok üretilen plastiktir ve bu nedenle herkesin günlük yaşantısında onunla bir şekilde temas halinde olmasına neden olur. Geliştirilmesinden sonraki ilk yıllarda elektrik kablolarının yalıtılmasında kullanılarak yaygınlaşmıştır.

Polietilen hafif, çok amaçlı etilenin polimerize edilmesi ile üretilen sentetik reçinedir. Polpropilen ve polibütan gibi 2 karbon 4 hidrojen atomundan oluşan polimerlerin ait olduğu ve poliolefin adı verilen ailenin bir üyesidir.

Polietilen çok basit bir kimyasal yapıya sahiptir, her bir karbon atomuna bağlanmış 2 hidrojen atomunun oluşturduğu polimerlerin belirsiz uzunlukta birbirlerine bağlanması ile oluşur. Farklı polimerizasyon yöntemleri ile farklı polimer zincir dizilimleri elde edilerek değişik çeşitleri üretilebilir.

Düşük yoğunluklu PE (Low Density PE -LDPE): Çok özel akış özelliklerine sahip çok esnek bir malzemedir. Alışveriş poşetleri gibi ince malzemelerde kullanılmaktadır. Yüksek esnekliğe düşük gerilim direncine sahiptir, bu nedenle gerilim altında uzamaya meyillidir.

Çizgisel Düşük Yoğunluklu PE (Linear Low Density PE - LLDPE): LDPE ile benzer özelliklere sahiptir. Formül bileşenlerinin değiştirilmesi ile LLDPE özellikleri değiştirilebilir ve LDPE üretim prosesi ile kıyaslandığında daha az enerji gerektirir.

Yüksek Yoğunluklu PE (High Density PE - HDPE): Güçlü, yüksek yoğunluklu, orta derecede sert ve yüksek oranda kristal yapıya sahip bir plastiktir. Süt kutuları, çamaşır deterjan kutuları, çöp kutuları, kesme tahtalarının üretiminde kullanılır.

Çok Yüksek Moleküler Ağırlıklı PE (Ultra High Molecular Weight PE-UHMWPE): HDPE'ye benzer olmasına rağmen moleküler ağırlığı ondan bir kaç kat daha fazladır. İplikçik haline getirilerek çelikten kat kat fazla gerilim direncine sahip malzemeler üretilebilir. Bu nedenle yüksek performans isteyen çelik yelek gibi ürünlerde kullanılmaktadır.

PE malzemeler sac, çubuk ve daha farklı şekillerde piyasada bulunabilir. Bu sayede talaşlı imalat gibi yöntemlerle işlenmeye elverişlidir. Ancak 3B yazıcılarda kullanılabilen bir türü henüz yoktur.

Araçların üzerinde elektrik yalıtım malzemesi ve cam elyafı eklenerek gövde parçalarında kullanılmaktadır.

1.3.5 Poliamit - Naylon

Naylon ilk olarak 1935 yılında icat edildi, icat edilen bu ilk poliamid halen PA66 olarak piyasada bulunmaktadır. Poliamid'in geliştirme amacı 2. Dünya savaşı esnasında temin güçlüğü yaşanan ipek, kauçuk ve lateks gibi doğal malzemelerin yerini almak idi.

Naylon günümüzde giysiler, araba lastikler gibi kauçuk malzemelerde takviye, halat ve iplerde ve araç ve mekanik ekipmanlarda kullanılmak üzere kalıp ile imal edilen parçarda kullanılmaktadır. Son derece güçlü, aşınmalara, kimyasallara ve neme karşı dirençli, uzun ömürlü, elastik ve kolay yıkanabilir bir malzemedir. Poliamid farklı katkı maddeleri ile karıştırılarak farklı mekanik özellikler üretilebilirler.

Sahip oldukları mekanik özellikler nedeni ile düşük dayanımlı metallerin yerine tercih edilmektedir. Mukavemet, aşınma ve sıcaklık direnci, kimyasallara uyumluluğu nedeni ile hareketli parçalarda kullanılmaktadır. Bunun haricinde vites topuzu gibi parçalarda, yumuşak, esnek malzemenin altında yer alan destek malzemesi olarak ta kullanılmaktadır.

Naylon haddelenebilir ve bu nedenle enjeksiyon kalıplama hem de 3D baskı için uygun bir malzemedir. Yüksek erime sıcaklığına sahip olması nedeni ile yüksek ısı olan motor kaputunun içi gibi alanlarda dahi metallerin yerine kullanılabilmesi mümkündür. Bu malzemenin dezavantajı ise diğer plastiklerle kıyaslandığında çok düşük darbe dayanımına sahip olmasıdır. Kalıplanmış naylon parçalar genelde kuru durumda (%0.2'den düşük oranda su içermeleri) üretildikleri için kırılgan yapıdadırlar. Naylonun darbe dayanımı "şartlandırma" adı verilen bir işlem ile iyileştirilebilir. Şartlandırma işlemi ile 23°C sıcaklıkta %50 nem oranına sahip bir ortamda şartlandırılarak bir tür denge durumuna getirilir yani bu işlem esnasında poliamidin yüksek polaritesi nedeni ile polimer yapının içinde su molekülleri tutunabilir.

Bu özelliklerinde dolayı poliamid genelde düşük sürtünme istenen dişli, burç ve plastik yataklarda kullanılır. Poliamid en kaygan plastik değildir ancak sahip olduğu yüksek termal, mekanik, kimyasal özellikler nedeni ile yüksek performans isteyen göreceli olarak yüksek aşınma meydana gelen yerlerde kullanılması daha uygundur.

Naylon yüksek erime sıcaklığı gerektiren plastik uygulamaları için de mükemmel bir malzemedir. Çok farklı çeşitleri mevcuttur. Üretim esnasında bir çok farklı çeşidin elde edilebilmesi, bu farklı çeşitlerin mekanik özelliklerinin geniş bir aralıkta ayarlanabilmesi, farklı malzemeler ile bu farklı naylon çeşitlerinin birleştirilmesi ile çok geniş kullanım alanına sahip oldukça geniş bir ürün yelpazesi elde edilebilir.

ABS malzemenin kullanılmadığı yüksek ısı dayanımı gerektiren uygulamalar, 3B baskı modellerinde kullanılabilir. Düşük yüzey sürtünme katsayısı nedeni ile burç, dişli gibi aşınma dayanımı istenen alanlarda da poliamid malzeme sıklıkla kullanılmaktadır.

1.3.6 Termoplastik Poliüretan

Termoplastik poliüretan esnek polimer yapıya sahip bir termoplastiktir. Termoplastiklerin özelliği olan eritilerek tekrar işlenebilir yapıdadır. Bu sayede enjeksiyon, şişirme, sıkıştırma kalıpları ile parça üretiminde kullanılabilir. Aynı zamanda termal vakum yönteminde kullanılabilir ve daldırma kaplama yöntemi ile kaplanabilir. TPU ayrıca bir dizi işlemle farklı renkler alabilir. TPU diğer termoplastik esnek polimerlerle kıyaslandığında daha geniş bir fiziksel özellik kombinasyonuna sahip olduğundan çok farklı kullanımlara uyarlanabilen bir malzemedir.

TPU'nun bu özellikler kısmen yumuşak ve sert kesitlerden oluşan parçalı doğrusal bir blok kopolimer olmasından kaynaklanır. Sert kısımlar genelde iki tür kimyasal yapı içerir. Genelde aromatik isosilikatlara sahiptirler ancak renklendirme, gün ışığında şeffaflığını koruması gereken uygulamalarda alifatik sert yapı tercih edilir.

Yumuşak yapılar da yine poliester veya polieter tabanlı olabilir. Nemli ortamlarda polieter tabanlı yapılar kullanılırken yağ, hidro karbon dayanımı gereken uygulamalarda poliester kullanılır.

Bu sayede TPU yüksek esnekliğe sahip, sıkıştırmaya karşı direnci yüksek, darbelere, yıpranmalara, yırtılmalara, hava koşullarına hatta hidro karbonlara direnç gösteren benzersiz bir mühendislik malzemesi haline gelir. TPU, plastikleştiriciler kullanmadan, geniş bir sertlik derecesi ve esneklik aralığında çok yönlü bir kullanım sağlar. Fiziksel açıdan bakıldığında sert bir kauçuk gibi kullanılarak plastikler ve kauçuklar arasındaki boşluğu dolduran bir mühendislik malzemesi olduğu söylenebilir.

Otomotiv sektöründe TPU'nun bir çok farklı alanda kullanımı mevcuttur. Vites topuzu gibi dokununca yumuşaklık hissedilmesi istenen uygulamalarda ara dolgu maddesi ya da benzin depo ağzı gibi petrole dayanım ve esneklik istenen uygulamalarda, sızdırmazlık sağlayan esnek yapılarda karşımıza çıkmaktadır.

1.3.7 Polioksimetilen

Asetal olarak ta adlandırılan POM önemli bir mühendislik plastiğidir. Diğer plastikler ile kıyaslandığında en yüksek kristal iç yapıya sahip plastiklerden biridir. Tek tip polimerlerden oluşmuş ve homopolimer ve birden fazla polimerin birleşimi ile oluşmuş kopolimer şeklinde iki farklı çeşidi bulunmaktadır. Sürünme dayanımı poliamidden daha yüksektir, fenoller hariç çözümlere karşı dayanımı iyidir. Üretilen parçaların yüzey kalitesi yüksektir. Ancak asitlere ve alkalilere karşı düşük dayanımlı olması ve kolayca alev alması nedeni ile kullanım alanı kısıtlanmaktadır. Kalıp çekme oranının yüksek olması nedeniyle enjeksiyon yöntemi ile yüksek ölçüsel toleransa sahip parça imalatı zorlaşmaktadır.

POM ile üretilmiş parçalar stres, sıcaklık gibi dış etkiler altında yüksek ölçüsel dayanıklılığa, mukavemet ve sertliğe sahiptir. Kimyasallara karşı dayanıklıdır. Talaşlı imalat yöntemleri ile rahatça işlenebilmesi ile prototip imalatında kullanılabilir. POM parçaların yüzeyleri aşınmaya karşı dirençlidir ve yüksek rijitliğe sahiptir.

Homopolimer yapıya sahip POM malzemeler düşük ve yüksek viskoziteye sahip olabilirler. Yüksek viskoziteye sahip olanlar genelde ekstrüzyon ve kalıp yöntemi ile yüksek tokluk istenen parça imalatında kullanılır. Düşük vizkoziteye sahip olanlar ise enjeksiyon yöntemi ile imalata daha uygundur. Homopolimer POM yüksek çekme dayanımına, sertliğe yorulma dayanımına sahiptir, tekrar eden darbelere karşı orta tokluk gösterir. Organik aşındırıcılara karşı yüksek dirence sahiptir, yük altında ölçüsel olarak stabildir, düşük sürtünme katsayısı,

yüksek sürünme direnci ve diğer plastiklerle kıyaslandığında oldukça yüksek olan aşınma direnci nedeni ile dişli gibi parçaların imalatına uygundur.

Kopolimer yapıya sahip POM malzemeler ise yüksek gerilme ve bükülme mukavemetine, yorulma direncine, sertliğe sahiptir. Kendinden yağlama istenen yerlerde mükemmel sonuç verir. Nem alma özelliği çok düşüktür. Bu sayede nem değişiminin çok olduğu alanlarda kullanılması mümkündür. Elektriksel özellikleri yüksektir. Yüksek mekanik mukavemet ile birlikte uzun süreli dayanım istenen elektrik uygulamaları için ideal bir malzeme haline gelmektedir. Kimyasal ve çözücülere karşı mükemmel dayanımı vardır, güçlü alkalilere karşı da son derece iyi dayanım gösterir.

Otomotiv sektöründe POM, dişli, kamlar, burçlar, kulplar, yataklar, yakıt ve emniyet kemeri parçaları gibi farklı alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

1.3.8 Polietilen Terafitalat

Polietilen terafitalat dünyada, özellikle tekstil endüstrisinde poliester marka adı ile en yaygın kullanılan termoplastik polimerdir. Doğal olarak renksiz ve şeffaf bir yarı kristalin malzemedir, ağırlığına göre dayanıklılığı yüksektir ve neredeyse kırılmaz bir yapıya sahiptir. Özellikle yüksek dayanımı sayesinde kırılmaya karşı dayanıklı olan yapay iplik üretiminde kullanılmakta ve kendine tekstil ürünlerinde oldukça sık yer bulmaktadır. Suya karşı yüksek direnç göstermesi ve kırılmaz yapısı nedeni ile paketleme ve şişeleme hammaddesi olarak ta çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Yarı kristalin yapısı nedeni ile geri dönüştürülmeye uygunluğu ve ucuz bir malzeme olması kullanımını arttıran diğer önemli özellikleridir. Dayanımını daha da arttıran cam elyafı veya karbon nano tüpleri gibi katkılarla mühendislik plastiği olarak ta kullanılmaktadır.

Daha yüksek moleküler ağırlığı olan yüksek dayanımlı PET malzemeler ise diğer mühendislik plastikleriyle kullanılan tüm yaygın şekil verme yöntemleri ile kullanılmaya müsaittir. Bu malzeme ekstrüzyon yöntemi ile manyetik veri depolama filmleri imalatında ya da şişirme kalıpcılığı ile saklama kaplarının üretiminde kullanılır.

PET günümüzde en çok geri dönüştürülen plastiktir. Eğer saf halde toplanabilirse orjinal bileşimini koruyacak şekilde geri dönüşümü yapılabilir.

BÖLÜM 2

MALZEME VE METOD

2.1 POLİMER HARMANLAMA

Bir önceki bölümde anlatılmış olan farklı plastikler ve bu plastiklerin sahip oldukları özelliklerden bahsedilmişti. Bazı durumlarda farklı polimer zincirlerinin sahip olduğu özelliklerin tek bir plastik malzemede mevcut olması talep edilebilir. Bu gibi durumlarda laboratuvarlarda kimyasal formülasyon üzerine uzun teknik çalışmalar ve denemeler yapmak yerine mevcut olan iki plastik malzemenin doğru oranda birbirleri ile harmanlanması ile talep edilen teknik özelliklere sahip bir malzeme elde edilmesi mümkün olabilir. Ancak farklı iki polimerin birbiri ile harmanlanması istenilen özelliklerde yeni bir malzeme elde edilmesi her zaman başarı ile sonuçlanan bir süreç değildir.

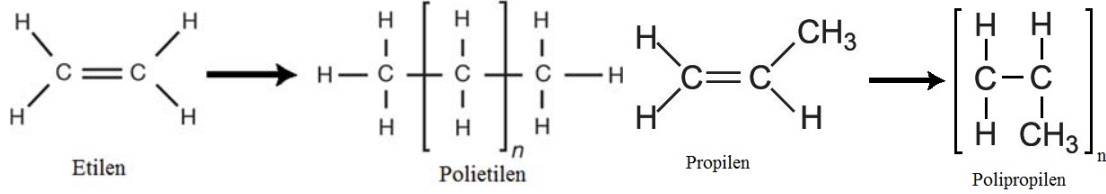
Harmanlanmış plastik maddelerde üç farklı iç yapı meydana gelebilir. Bunlar polimer yapılarının birbirleri ile kimyasal bağlar kurarak iki polimer zincirinin yeni bir kimyasal zincir oluşturacak şekilde birleşmesi, diğeri ise iki farklı malzemenin kimyasal yapılarını korunması ancak birbirleri içinde homojen olarak dağılması neticesinde katı bir çözelti oluşturması şeklinde tanımlanabilir. Üçüncü iç yapı ise yarı karışmış yarı çözelti şeklinde meydana gelmiş bir yapıdır.

2.1.1 Karışılabilir Polimerler

Endüstri tarafından talep edilen değişik mekanik özelliklere sahip plastik malzemeyi üretmek için farklı plastik polimerlerin harmanlanması hızlı ve yaygın bir yöntemdir [2]. Nihai ürünlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde birleştirilebilirlik önemli bir rol oynamaktadır ve genellikle molekül için etkileşimlerin varlığını gerektirir [3].

Ancak çoğu zaman birleştirilen polimerler arasında bu tarz bir etkileşimin oluşması mümkün olmaz. Örnek olarak polipropilen C_3H_6 ve polietilen C_2H_4 (Şekil 2.1) polimerlerinin

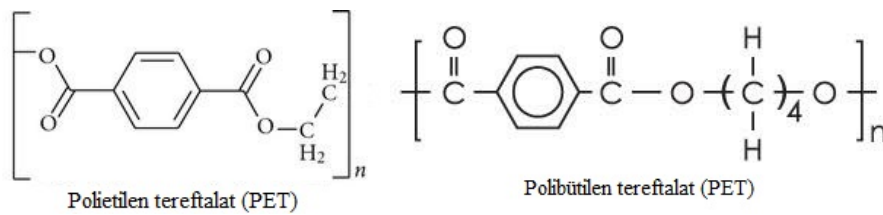
kimyasal yapıları incelendiğinde, birbirine benzer karbon hidrojen bağlarından meydana gelmesine rağmen iki plastik malzemenin birleştirilmesi mümkün değildir. Bunun temelinde entropi yatar. Entropi kısaca düzensizliği ifade etmektedir ve yüksek bir entropi daha düşük enerji seviyesi anlamına gelmektedir.



Şekil 2.1 Polietilen ve Polipropilen kimyasal dizilimi

Bu iki polimeri incelediğimizde polietilen yarı kristalin bir yapıya sahipken, polipropilen amorf bir kristal yapısına sahiptir. Polipropilenin amorf yapısı zaten düzensiz bir yapıdır ve yüksek entropiye sahiptir. Polietilenin sahip olduğu yarı kristalin yapı ise amorf yapıyla karşılaştırıldığında daha düzenli yani daha düşük entropili bir yapıdan meydana gelmiştir. Bu nedenle bu iki malzemenin birbirleri ile birleştirilmeleri mümkün olmamaktadır.

İki polimeri birleştirebilmek için ilk kural, birleştirilme ile elde edilecek kimyasal dizilimin, birleştirilen malzemelerin kimyasal dizilimlerinin sahip olduğu entropiden daha yüksek entropiye yani daha düzensiz ve daha düşük enerji seviyesine sahip bir dizilime sahip olmasıdır. Buna örnek olarak PET ve PBT örnek gösterilebilir. Bu iki malzeme aromatik halka yapısında (Şekil 2.2) olduklarından birbirleri ile birleşmeleri oldukça kolaydır.



Şekil 2.2 Polietilen Teraftalat ve Polibütülen Teraftalat kimyasal yapıları

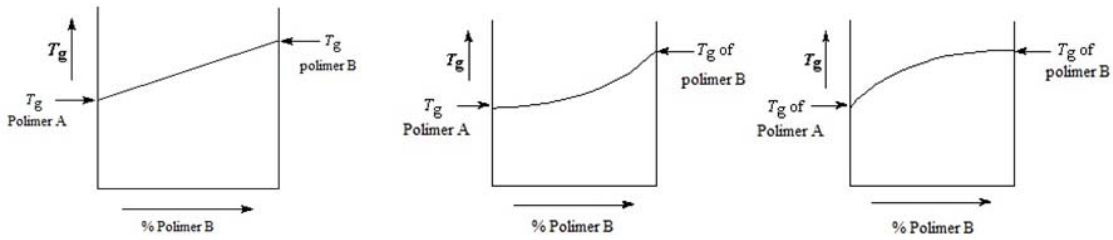
Şekil 2.2: Polietilen Teraftalat ve Polibütülen Teraftalat kimyasal yapıları

Ancak gerçek hayatta birçok polimer birleşebilir özellikte değildirler. Bu nedenle iki polimeri birleştirmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi ikincil bir ara polimer kullanılmasıdır. Kopolimer adı verilen bu polimerler ile normalde birbirleri arasında kimyasal bağ kurulması mümkün olmayan polimerler birbirlerine bağlanabilirler. Mesela polisitren polimeri diğer polimerler ile birleşmesi oldukça zor bir polimerdir. Ancak sitrenden elde

edilmiş bir kopolimer olan p-sitren (heksafluoro-2-hidroksiizopropil) kullanılır ise birleştirme daha kolay bir hale gelir. Bunun ana sebebi florin atomlarının yüksek negatif yüke sahip olmaları nedeni ile komşu alkol hidrojenlerinden elektron çekerek onları kısmi pozitif yüklü hale getirmesi ve bu sayede hidrojen atomlarının çevresindeki diğer negatif yüke sahip atomlar ile güçlü hidrojen bağları kurmasıdır.

Kopolimer kullanmanın ikinci bir yöntemi ise birleştirilmek istenen iki polimerin de birleşmelerinin daha zor olduğu başka bir kopolimer kullanılmasıdır. Bu durumda iki polimer, eklenen diğer kopolimer ile birleşmek yerine kendi aralarında bir bağ kurmak zorunda kalırlar.

Bu iki malzemenin karışımı neticesinde elde edilen yeni malzemenin camsı geçiş sıcaklığında da değişim meydana gelir. Genellikle bu değişim karışımı oluşturan polimerlerin oranlarına bağlı olarak doğrusal bir grafik sergilese de polimer zincirleri arasında oluşan bağın yapısına göre doğrusallıkta sapmalar görülebilir.



Şekil 2.3 Birleşik malzemenin Camsı Geçiş Sıcaklıkları

İki polimerin karıştırılması ile elde edilen yapının özellikleri de, içine katılan polimerlerin özellikleri ve miktarları ile bağlantılıdır. Birleşik malzeme karışımında hangi polimerin yoğunluğu fazla ise o malzemenin teknik özelliklerine doğru bir kayma olacaktır [4].

2.1.2 Karışmayan Polimerler

Kimyasal olarak birleşmeleri mümkün olmayan iki polimerin karıştırılması durumunda elde edilen malzemede birbiri içinde çözülmüş 2 farklı malzemenin yer aldığı bir çözelti meydana gelir.

Bu tarz birleşik malzemelerde farklı iç yapılar görülebilir. Eklenen polimerlerin miktarına göre, çözeltide hangi polimer daha az ise diğer polimer yapının içinde ayrılmış, yalıtılmış

kürecikler oluşturur. Az olan polimer miktarı kademeli olarak arttırılırsa bu küreciklerin hacimleri de artar. Miktar arttırılmaya devam ederse en nihayetinde bu kürecikler birleşerek daha büyük yapılar meydana getirir. Bu duruma eş kesintisiz yapı adı verilmektedir çünkü her iki polimer malzeme de yapı içinde büyük bloklar oluşturmuş durumdadır.

Üretim esnasında bu birleşik polimer yapı şişirme kalıp yönteminde olduğu gibi tek yönlü bir akış ve çok eksenli basınç uygulanması ile üretim sürecine tabii tutulmuş ise polimer içindeki bu bloklar uzayarak katmanlara dönüşür. Bu durumda polimer iç yapısına bakıldığında katmanlar halinde farklı polimerler zincirlerinden oluştuğu görülecektir. Örnek olarak PET ve PVA polimer karışımı gösterilebilir. Bu birleşik polimerin iç yapısı incelendiğinde farklı polimerlerin farklı katmanlar oluşturduğu görülebilir.

Eğer bu polimerler ekstrüzyon gibi tek yönlü basınç ile üretim yöntemine tabii tutulmuş ise küresel yapılar uzayarak diğer malzemenin içinde çubuksu yapılar oluşur.

Bu tarz birleşik polimerler incelendiğinde iki farklı camsı geçiş sıcaklığına sahip oldukları görülür. Bunun nedeni iki farklı polimerin birbirleri ile kimyasal olarak birleşmemesi ve ana yapının içinde birbirlerinden bağımsız olarak katılaşması ve farklı fazlar oluşturmasıdır.

Mekanik olarak incelediğimizde ise mekanik dayanımlarının birleşimde daha fazla bulunan polimere dayalı olarak değiştiği ve bu polimerin saf halde yer aldığı malzemedan daha düşük bir dayanıma sahip olduğunu söylenebilir. Ancak bu polimerleri güçlendirmek için bazı yöntemler mevcuttur.

Bu yöntemlerden ilki malzemeyi akış altında işlemektir. Bu sayede birleşik malzeme içindeki küresel fazlar uzayarak çubuksu yapılara dönüştürülmesidir. Bu çubuksu yapılar komposit malzemedeki fiberler gibi malzeme dayanımının artmasını sağlar.

Bir başka yöntem ise kullanılan polimerlerin oranlarını birbirine yaklaştırmak veya eşit hale getirmektir. Bu durumda polimerler birleşerek eş kesintisiz bir yapı oluşturur ve malzemeye uygulanan her türlü baskı her iki polimer üzerine eşit dağılarak dayanımı artırır.

Yine bileşik malzeme dayanımını arttıran bir başka yöntem ise bağdaştırıcı kopolimerlerin kullanılmasıdır. Bu bağdaştırıcı kopolimerler genelde birleşik malzemeyi oluşturan

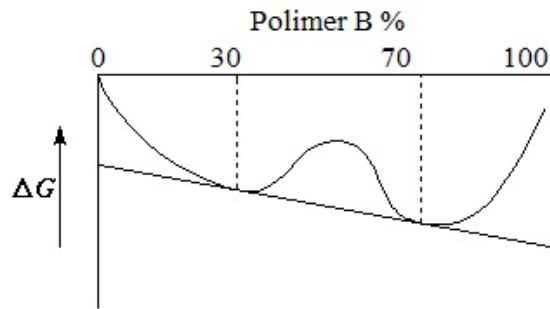
polimerlerden yapılırlar. Bu kopolimerler farklı fazlara sahip karışımda iki fazla da etkileşime girerek arada bir bağ oluşmasını sağlar. Bu sayede karışımın daha kararlı olması sağlanır [5]. Bu kararlılık artışının ana sebebi karışımın içinde yer alan farklı fazlara sahip parçacıkların boyutlarındaki küçülmedir [6].

Birleşik malzemenin dayanımını arttırmanın bir başka yöntemi ise bağdaştırıcı olarak graft kopolimerlerin kullanılmasıdır. Graft kopolimerler yan zincir bileşenlerinin dal şeklinde ana zincir bileşenlerine birleşmesi ile oluşmuş kopolimerdir [7]. Graft kopolimerlerin kullanılması ile malzeme üzerine etki eden yükler dağıtılarak malzemenin genel dayanımının artması sağlanır.

2.1.3 Kısmi Karışabilen Polimerler

Kısmi karışabilen polimerler yapı olarak incelendiğinde, karışımı oluşturan farklı polimerleri oluşturan kimyasal yapılardan bazılarının kimyasal bağlar oluşturarak birbirine bağlı polimer zincirleri oluşturduğu ancak diğer yapıların birbirleri içinde çözelti şeklinde karıştığı görülecektir.

Bazı polimerlerde ise belli karışım oranlarında farklı polimer zincirleri arasında kimyasal bağlar oluşarak birleşik bir zincir meydana gelirken, karışım oranları değiştirildiğinde kısmi karışım oluşabilir. Örnek olarak A ve B polimerleri harmanlandığında %70 A polimeri ve %30 B polimeri kullanıldığı zaman polimer zincirleri kimyasal bağlanabilirken bu oran %60 A polimeri ve %40 B polimeri olarak değiştirildiğinde %70 ve %30'un üzerinde kalan A ve B polimerleri birbiri içinde çözelti oluşturabilirler. Bu tarz yapıların serbest enerji bileşim eğrilerine baktığımızda en düşük enerji seviyesinin bu oranlarda elde edildiğini görürüz [8].



Şekil 2.4 Gibbs Serbest Enerji Diagramı

2.2 PC/ABS HAMMADDENİN ÖZELLİKLERİ

Polikarbonat malzeme yüksek elastiklik modülü, yüksek tokluk, yüksek darbe dayanımı ve yüksek erime viskozitesinden kaynaklı zor imalat şartları ile bilinen bir malzemedir. ABS ise kauçuk katkıli güçlendirilmiş bir termoplastiktir ve içerdigi kauçuk nedeni ile çentik dayanımı yüksektir. Ayrıca düşük maliyetlidir. Diğer tarafta ABS malzemenin alev ve kimyasal dayanımı zayıftır ayrıca termal kararlılığı da düşüktür [9].

Polikarbonat, 1958 yılında Makrolon ticari ismi altında üreilmeye başlanmış ve yaygın olarak kullanılmakta olan mühendislik termoplastığıdır. Çok farklı alanlarda kullanılmasına yol açan üç önemli özelliğı vardır; yüksek darbe dayanımı ve tokluk, yüksek ısı direnci ve optik şeffaflık. Buna rağmen yüksek camsı geçiş sıcaklığı nedeni ile işlenebilirliği ve kimyasal direnci çok iyi değildir. Her ne kadar çeşitli katkıları ile bu özellikleri iyileştirilebilse de çoğu zaman bu katkıları mühendislik uygulamaları için önemli bir özellik olan tokluk değerinin düşmesine sebep olur. ABS hammadresi ise 1940'lı yıllarda ticarileşmeye başlayan yaygın bir termoplastik polimerdir. İşlenebilirliği yüksek, kimyasal etkilere karşı dayanımlı ve PC ile karşılaştırıldığında göreceli olarak düşük maliyetli bir hammaddedir. Bununla birlikte ısı direnci çok zayıftır [10].

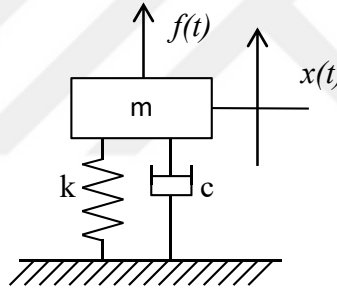
PC hammadresi içine ABS hammadresinin eklenmesi ile, üstün mekanik özelliklerini çok fazla etkilemeden, olumsuz özelliklerini azaltır ve ek olarak parlaklık ve düşük sıcaklık tokluğu gibi ek kullanışlı özelliklerin ortaya çıkmasını sağlar [11].

PC/ABS hammaddeleri incelendiğinde aslında dört farklı türden ve üç farklı fazdan oluşan bir iç yapı gözlemlenir. Buların morfolojisi, bileşenlerin moleküler özellikleri, ABS bileşimi, farklı polimerlerin ağırlık oranları, üretim koşulları, ısıl işlemler gibi farklı etkenlere bağlıdır, PC ve ABS polimerlerin incelendiğinde polarlıklarının birbirlerine yakın olduğu görülür ve birbirleri ile uyumlu olabilir. ABS içinde yer alan grafit kauçuk (bütadien) zincirleri çözülmez ancak stiren-akrilonitril zincirleri ile sıkıca bağlı olmaları harmanın iyi fiziksel özelliklere sahip olmasını sağlar [12].

2.3 SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Bir mekanik sistemin tüm dinamik özellikleri uzayda dağıtılmıştır. Bu mekanik özellikler sistemin atalet, lastik ve enerji sönümlenmesinden sırasıyla sorumlu olan kütle, sertlik ve sönümlemedir. Bu nedenle sistemin öne çıkan tüm özelliklerinin birbiri ile etkileşimini göz önüne alarak bir mekanik sistemin modellenmesi oldukça karmaşık ve hatta imkansız bir görev haline gelir. Bununla birlikte eğer sistemin temel özellikleri basit ayrık parçalara bölünmüş olarak düşünülür ve birbirleri ile uygun bir şekilde bağlantıları kurulabilirse, sistemin dinamik özellikleri tatmin edici bir hassasiyet ile hesaplanabilir [13].

Örnek olarak Şekil 2.5'te mekanik özellikleri gösterilmiş tek serbestlik derecesine sahip mümkün olan en basit sistemi ele alalım. Bu sistemin temel özellikleri olan rijitliği sabit kütle m ile, elastikliği en uygun, kütsüz sabit yay k ile ve sönümlemesini ise kütsüz, vizkoz, sabit sönümleme katsayısına sahip amortisör c ile gösterilmiştir [13].



Şekil 2.5 Tek serbestlik derecesine sahip sistemin ayrılmış gösterimi

Newton'un 2. Yasasına göre sisteme etki eden toplam kuvvet aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$\sum F = m\ddot{x} \quad (2.1)$$

Bu sistemde m kütleinin yer değiştirmesi neticesinde yayın oluşturduğu kuvvet:

$$F_{yay} = kx(t) \quad (2.2)$$

Formülü ile ifade edilir. Sistemin amortisör etkisinin uyguladığı kuvvet ise aşağıdaki formül ile bulunur:

$$F_{Amortisör} = c\dot{x}(t) \quad (2.3)$$

Bu değerler 2.1 formülünde yerlerine yazıldığında t anında sisteme etki eden toplam kuvvet aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir.

$$m \ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = f(t) \quad (2.4)$$

Bu formülde f(t) ve x(t) sırası ile zaman bağlı olarak kütle üzerine uygulanan tahrik kuvvetini ve bu kuvvete tepki olarak sistemin yaptığı yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Diferansiyel denklemler teorisine göre bu formülün çözümleri homojen denklemin çözümleri ile homojen olmayan denklemin kısmi integral çözümlerinin toplamı ile elde edilir. Serbest titreşen bir sistemde t anında sisteme dışarıdan bir kuvvet uygulanmadığından, herhangi bir t anında sisteme uygulanan toplam kuvvet sıfıra eşit olacaktır. Bu durumda formülün homojen denklemini aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$m \ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = 0 \quad (2.5)$$

Bu formülü çözmek için sistemin herhangi bir t anında sahip olduğu konum için genel çözümleri:

$$x(t) = X e^{st} \quad (2.6)$$

Bu çözüme dayanarak zamana göre birinci ve ikinci türevleri aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$\dot{x}(t) = sX e^{st} ; \ddot{x}(t) = s^2 X e^{st} \quad (2.7)$$

Bu değerleri 2.5 formülünde yerlerine yazarsak:

$$(m s^2 + cs + k)X e^{st} = 0 \quad (2.8)$$

Bu fomülde (x(t)=Xe^{st}=0) eşitliğinin gerçek olması durumunda sistem durağan demektir ve bu nedenle dikkate alınmaz. Sistemin çözümleri için aşağıdaki formül dikkate alınmalıdır:

$$m s^2 + cs + k = 0 \quad (2.9)$$

2.9 formülüne baktığımızda, 2. Dereceden tek bilinmeyenli bir formül olduğunu görürüz. Bu formülün çözümünü diskriminant yöntemi ile bulduğumuzda s_1 ve s_2 olarak 2 tane kökün olduğu görülür ve bu kökleri:

$$s_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}} \quad (2.10)$$

formülüyle ifade edebiliriz. Bu nedenle 2.4 formülü ile ifade edilmiş homojen eşitliğin çözümü:

$$x(t) = C_1 e^{s_1 t} + C_2 e^{s_2 t} \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. Bu formülde C_1 ve C_2 ; $t=0$ anında sisteme uygulanmış olan sınır şartlarına bağlı olarak elde edilmiş iki katsayıdır. Buradaki s_1 ve s_2 köklerini incelediğimizde bu sistem için aşağıdaki neticeler ortaya çıkar:

- Sistemin sönümlenme kuvveti, hareketi yöneten birincil kuvvettir ve her iki kök te pozitif sayılardır. Bu durumda sistem aşırı sönümlenmeye sahiptir
- Atalet ve elastik kuvvetler sistem üzerinde hakimiyet sahibidir ve her iki kök tek kompleks sayılardır. Bu durumda sistem düşük sönümlenmeye sahiptir.
- Birbirine eşit iki gerçekte kök olma durumu, 2.3.10 formülünde karakök içinde yer alan değer sıfıra eşit olması durumunda ise sistem kritik sönümlenmeye sahiptir.

Yukarıdaki analiz sonucundan titreşim yapan sistemin kritik sönümlenme parametresi olarak isimlendirilen ve c_c ile gösterilen çok önemli bir özelliği olduğu ortaya çıkar. Bu değer $(c/2m)^2 = k/m$ eşitliğinden elde edilir ve düşük sönümlenme ile yüksek sönümlenme arasındaki sınırı temsil eder:

$$\left(\frac{c_c}{2m}\right)^2 = \frac{k}{m} \Rightarrow \frac{c_c}{2m} = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow c_c = 2m \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.12)$$

Sönümlenmesiz doğal frekansın:

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.13)$$

olduğu dikkate alınırsa 2.12 formülü aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir:

$$c_c = 2mw_n \quad (2.14)$$

Sönümlenme oranını birimsiz ξ katsayısı olarak aşağıdaki formüle göre tanımlarsak:

$$\xi = \frac{c}{c_c} \quad (2.15)$$

2.10 formülü ile tanımlanmış olan karakteristik eşitliğin köklerini:

$$s_{1,2} = -w_n\xi \pm w_n\sqrt{\xi^2 - 1} \quad (2.16)$$

şeklinde yeniden yazabiliriz. Bu durumda:

- $\xi > 1$ aşırı sönümlenmeli sistem
- $\xi = 1$ kritik sönümlenmeli sistem
- $\xi < 1$ düşük sönümlenmeli sistem

2.4 formülün çözümü her üç durum için sırası ile aşağıdaki şekil yazılabilir:

a. Aşırı Sönümlenmeli Sistem

$$x(t) = e^{-\xi w_n t} \left(C_1 e^{w_n t \sqrt{\xi^2 - 1}} + C_2 e^{-w_n t \sqrt{\xi^2 - 1}} \right) \quad (2.17)$$

Veya sistemin başlangıç anındaki şartları dikkate alındığında:

$$x(t) = e^{-\xi w_n t} \left[x(0) \cosh \left(w_n t \sqrt{\xi^2 - 1} \right) + \frac{\dot{x}(0) + \xi w_n x(0)}{w_n \sqrt{\xi^2 - 1}} \sinh \left(w_n t \sqrt{\xi^2 - 1} \right) \right] \quad (2.18)$$

b. Kritik Sönümlenmeli Sistem

$$x(t) = e^{-\xi w_n t} (C_1 + C_2 t) \quad (2.19)$$

Veya başlangıç anındaki şartlar dikkate alındığında:

$$x(t) = e^{-\xi w_n t} (x(0)(1 + w_n t) + \dot{x}(0)t) \quad (2.20)$$

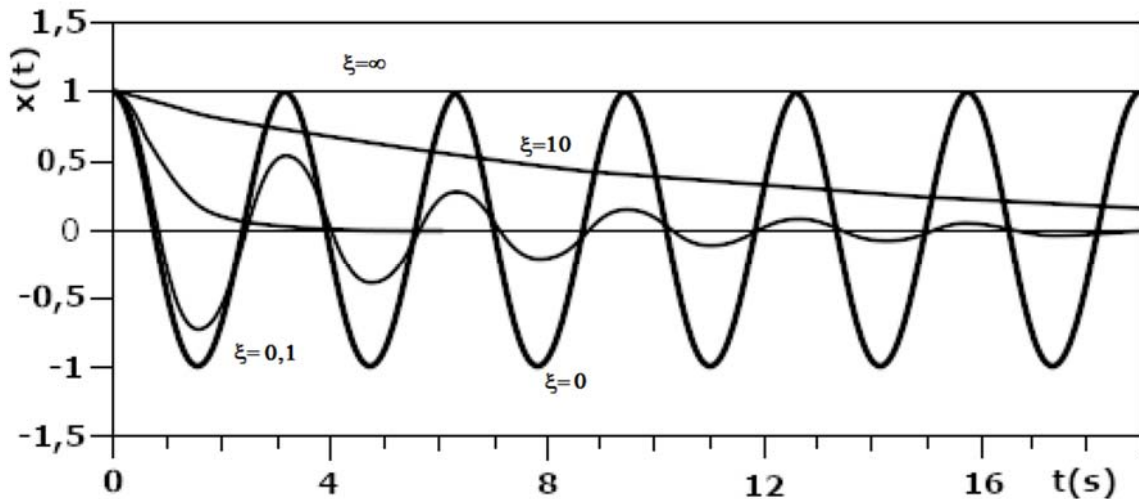
c. Düşük Sönümlenmeli Sistem

$$x(t) = e^{-\xi w_n t} (C_1 e^{i w_n t \sqrt{1-\xi^2}} + C_2 e^{-i w_n t \sqrt{1-\xi^2}}) \quad (2.21)$$

Veya:

$$x(t) = e^{-\xi w_n t} \left[x(0) \cos(w_n t \sqrt{1-\xi^2}) + \frac{\dot{x}(0) + \xi w_n x(0)}{w_n \sqrt{1-\xi^2}} \sin(w_n t \sqrt{1-\xi^2}) \right] \quad (2.22)$$

Şekil 2.6'da başlangıç anında konumu $x(0)=1$ ve başlangıç hızı $(\dot{x}(0)=0)$ olan tek serbestlik derecesine sahip bir sistemin her 3 durumda zamana göre konum grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Farklı sönümlenme oranlarına göre ilk konumu 1 olan tek serbestlik derecesine sahip sistemin zaman-konum grafiği örneği

Sönümlenme olmayan çözüm ($\zeta=0$), w_n (sönümlenmemiş doğal frekans olarak adlandırılır) frekansına sahip sabit genlikli bir harmonik harekete tekabül etse de, üssel olarak sifıra giden sönümlendirilmiş ($0<\zeta<1$) salınım hareketi gerçek duruma daha yakındır. Bu durumda salınım hareketinin frekansı:

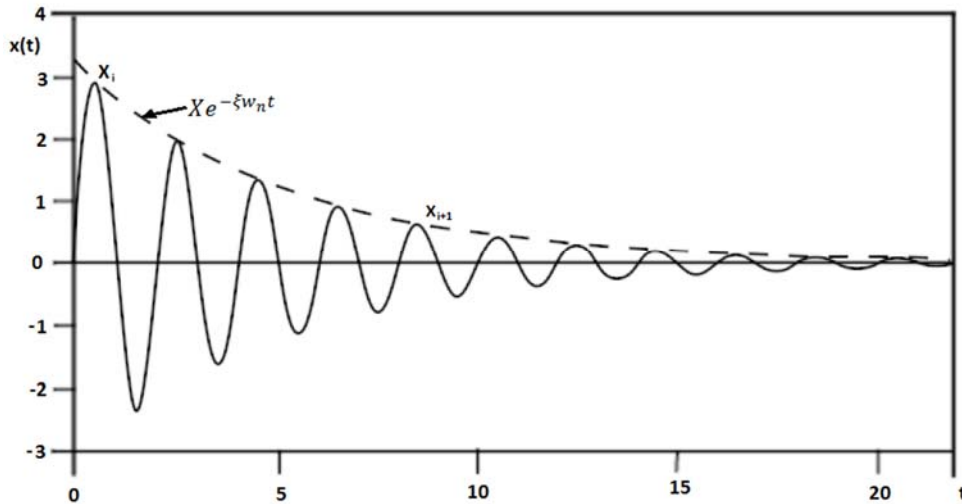
$$w_d = w_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (2.23)$$

formülü ile hesaplanabilir ve sönümlenmiş doğal frekans olarak adlandırılır.

Bu davranışın zamanla azalan karakteristiği verilen sistemin sönümlenme oranını değerlendirmek amacı ile kullanılabilir. Basit bir serbest titreşim testine hareketin maksimum genliği herhangi bir anında X_i olarak, titreşimin n adet tam salınımı sonrasındaki maksimum genliğini X_{i+n} olarak ölçebilirsek bu iki değerden logaritmik azalma olarak adlandırılan değeri aşağıdaki formül ile bulabiliriz:

$$\delta_n = \ln \frac{X_i}{X_{i+n}} = \frac{2n\pi\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (2.24)$$

Serbest azalan sönümlenmeli salınım hareketinin zamana göre genlik değişimi de Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7 Serbest Azalan Sönümlenmeli Salınım Hareketi

2.4 MODAL ANALİZ

Modal analiz bir sistemin doğal dinamik karakteristiklerini doğal frekans, sönümlenme etkileri ve mod şekilleri olarak belirlemek ve sistemin dinamik davranışları için bir model formülü oluşturma sürecidir. Formüle edilmiş matematik model o sistemin modal modeli olarak adlandırılır ve sistemin karakteristiklerine ait bilgiler de modal veri olarak bilinir.

Bir sistemin dinamiği frekans ve konum olarak iki bileşene ayrılabilir. Modal analiz, doğrusal zamanla değişmeyen dinamik bir sistemin titreşime verdiği tepkinin, doğal titreşim modları olarak adlandırılan basit harmonik hareketlerin doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilebilmesi prensibine dayanır. Doğal titreşim modları bir dinamik sisteme özgüdür ve kütle, sertlik, sönümlenme gibi fiziksel özelliklere ve mekansal dağılımlarına bağlı olarak belirlenir. Mod şekli doğal veya karmaşık olabilir. Her bir modun genel titreşime etki derecesi hem uyarım kaynağının özellikleri hem de sistemin mod şekilleri tarafından belirlenir.

Modal analiz hem teorik hem de deneysel teknikleri kapsar. Teorik modal analiz, kütle, rijitlik ve sönümlenme özelliklerini içeren dinamik bir sistemin fiziksel modelini kurmak amacı ile kullanılmaktadır. Bu özellikler kısmi diferansiyel denklemlerin formlarında verilebilir. Bir örnek, kütle dağılımı ve esneklik özelliklerinden oluşturulan tek tip bir titreşim telinin dalga denklemidir. Denklemin çözümü, dizinin doğal frekanslarını ve mod şekillerini ve zorlanmış titreşim tepkilerini bulmamızı sağlar. Bununla birlikte, daha gerçekçi bir fiziksel model genellikle, kütle, sertlik ve sönümlenme özellikleri, yani kütle, rijitlik ve sönümlenme matrisleri gibi, mekansal dağılımları açısından olacaktır [14].

Modal test ise doğrusal zamana bağlı titreşen bir sistemin modal modelini çıkarmak için kullanılan deneysel bir tekniktir. Bu tekniğin teorik temeli herhangi bir konumdaki tahrik ve titreşim miktarının bir işlevi olarak başka bir konumdaki tahrik arasındaki bağlantıyı kurmaya dayanır. Genelde karmaşık bir matematiksel işlev olan bu ilişki, Frekans Tepki Fonksiyonu (Frequency Response Function-FRF) olarak adlandırılır. Farklı konumlarda sisteme uygulanan tahriklere ve oluşan titreşimlere göre oluşan farklı FTF'lerin oluşmasına yol açar ve bu FTF'lerin kombinasyon matrisi ile sistemin temsil edilmesi mümkün olabilir.

Testin en basit uygulama şekli sistem belli bir konumda iken bilinen oranda bir tahrik uygulanması ve ek bir tahrik olayan sistemin titreşim tepkilerini bir veya daha fazla konumunda ölçülmesi ile yapılabilir.

2.5 DENEY DÜZENEĞİ VE TEST METODU

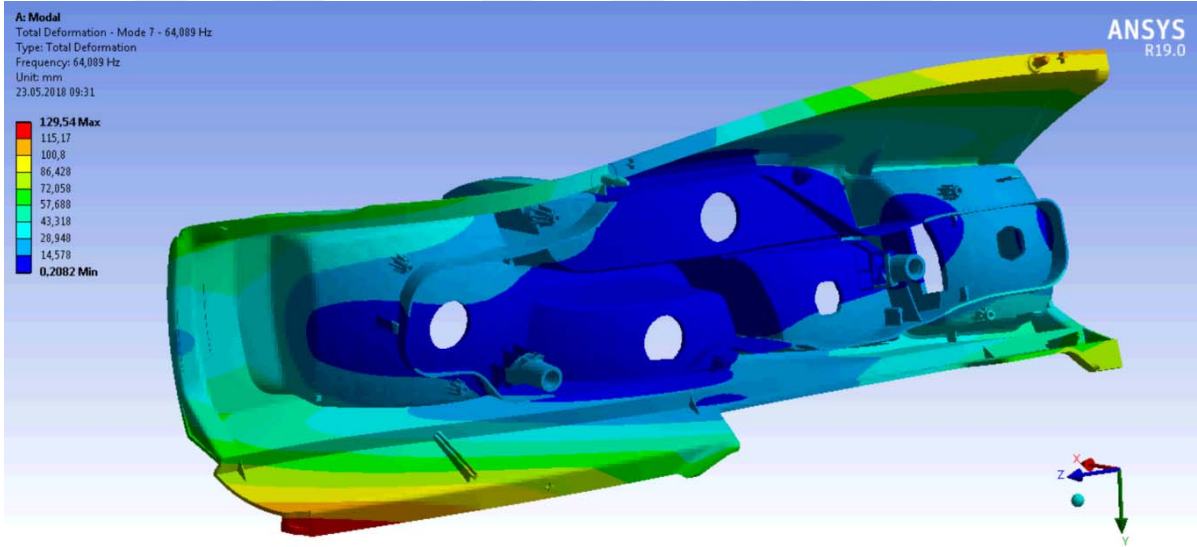
Ticari bir araçta kullanılmakta olan stop gövde parçalarından ıskarta olarak arılanlar birincil kırma işlemine tabii tutularak elde edilen hammadde özel bir ekstürüzyon makinesinden geçirilip ufak parçalar halinde kesilerek granül hale getirilirdi. Elde edilen bu hammadde %10 ve %20 oranında ana hammaddenin içine karıştırılarak test esnasında kullanılacak parçaların üretiminde kullanıldı.

Elde edilen numuneler iki uçlarından serbest bir şekilde salınabileceği şekilde sabitlenerek bir ucuna ivmeölçer monte edildi. Diğer ucundan ise bir çekiç yardımı ile tahrik uygulandı. Uygulanan tahrik sonucu parça üzerinde meydana gelen 3 eksenli hareket ivmeölçer yardımı ile okunarak zaman-yer değiştirme değerleri elde edildi. Bu değerler Laplace dönüştürme fonksiyonları ile frekans boyutuna taşınarak parçanın doğal frekansları elde edildi.

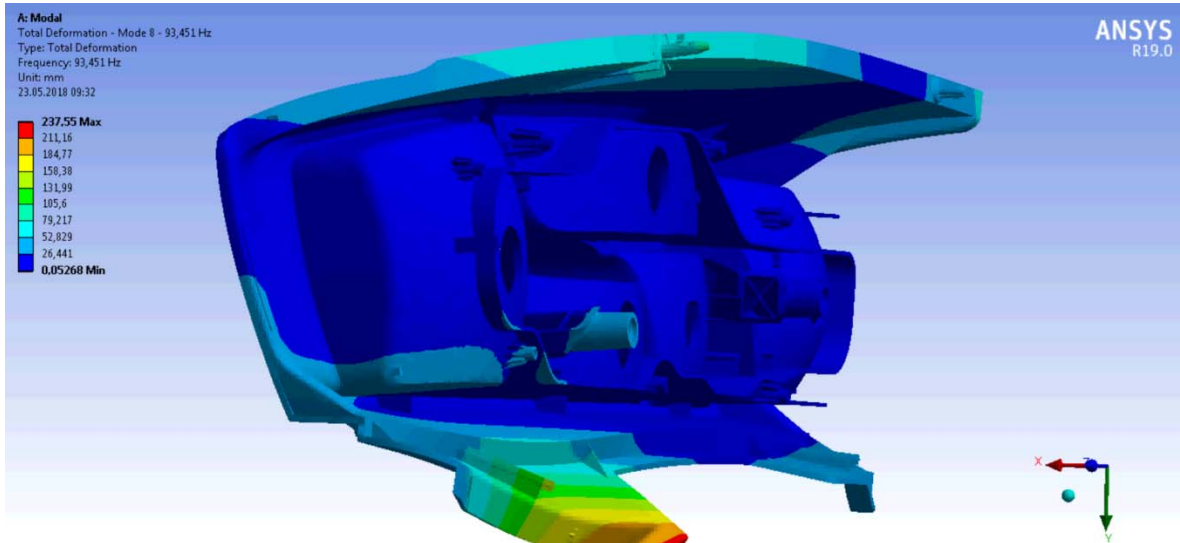
BÖLÜM 3

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Test esnasında kullanılacak parça ticari bir aracın stop gövde parçası olup hâlihazırda seri araçlarda kullanılmaktadır. Parça üzerine orjinal hammadde ile yapılan serbest-serbest titreşim analizi sonucunda birden fazla titreşim modu olduğu görülmüştür. Bunlardan en belirgin iki tanesi içine analiz sonucu ekran görüntüleri aşağıda verilmiştir



Şekil 3.1 Ansys serbest-serbest titreşim analizi mod 7



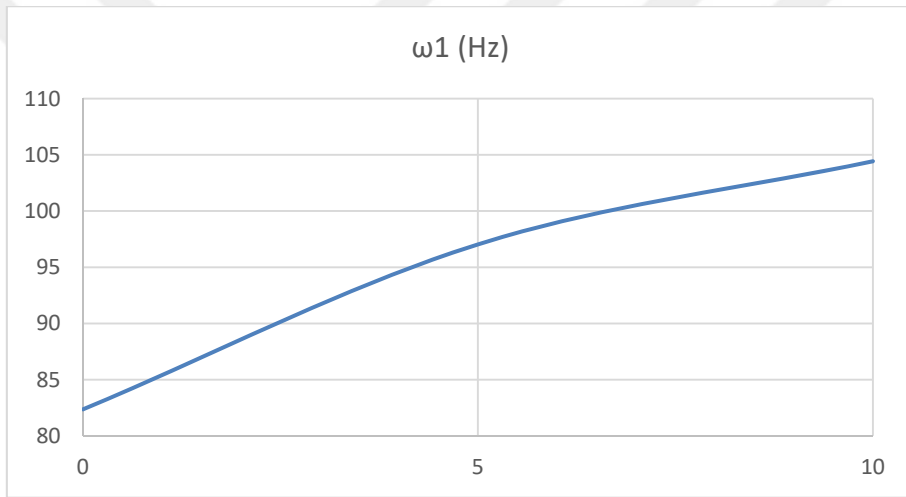
Şekil 3.2 Ansys serbest-serbest titreşim analizi mod 8

Yapılan test sonucunda 2 mod için frekans değerleri elde edildi. İlk mod için tespit edilen değerler Çizelge 3.1’de görülmektedir.

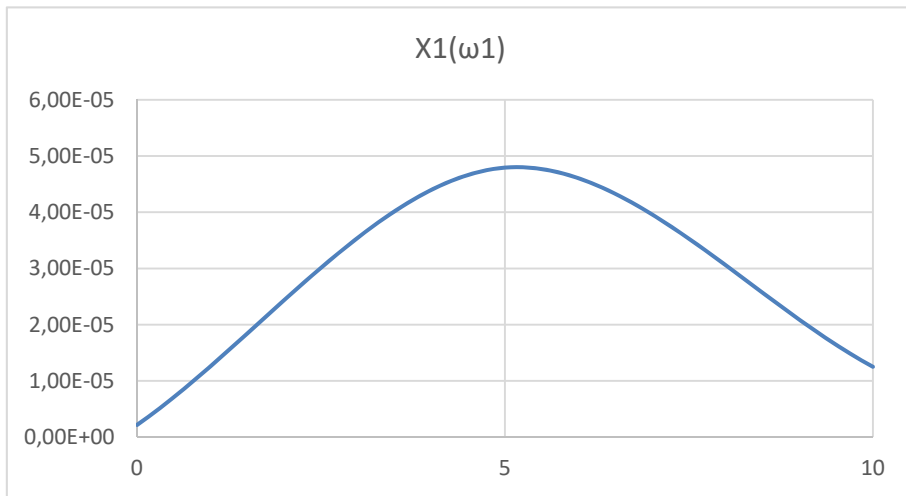
Çizelge 3.1 Serbest Titreşim Testi Mod 1 Sonuçları

Hammadde Kıırma Oranı (%)	Doğal Frekans ω_1 (Hz)	Yer Değıştirme $X_1(\omega_1)$	Sönümlleme Oranı ξ_1
0	82,354	2,15E-06	0,043
5	97,033	4,79E-05	0,027
10	104,431	1,25E-05	0,022

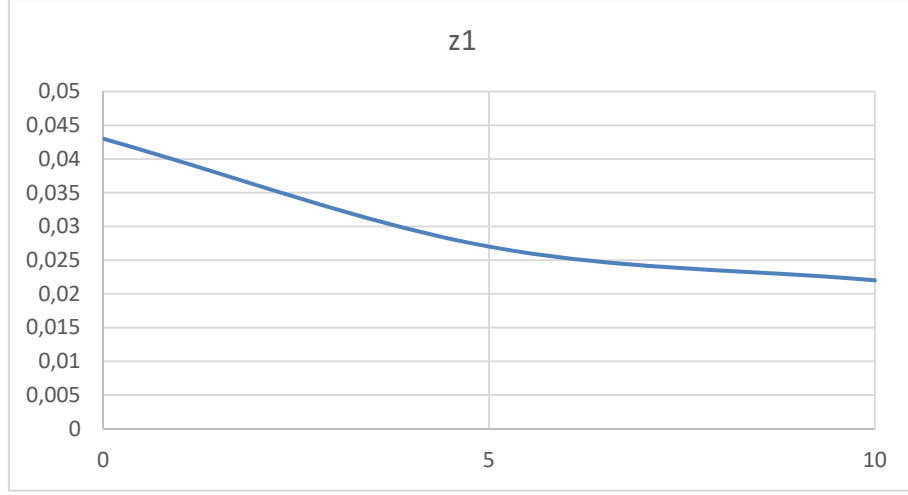
Bu değlerlerin grafikleri aşağıdaki şekilde çıkarılabilir.



Şekil 3.3 Mod 1 hammadde kırma oranı-doğal frenkans grafiğı



Şekil 3.4 Mod 1 hammadde oranı-yer değıştirme grafiğı



Şekil 3.5 Mod 1 hammadde oranı-doğal sönümlenme katsayısı Grafiği

Öncelikle sönümle oranının tüm hammadde karışım oranlarında 1'den büyük olması sistemin aşırı sönümleye sahip bir sistem olduğunu göstermektedir.

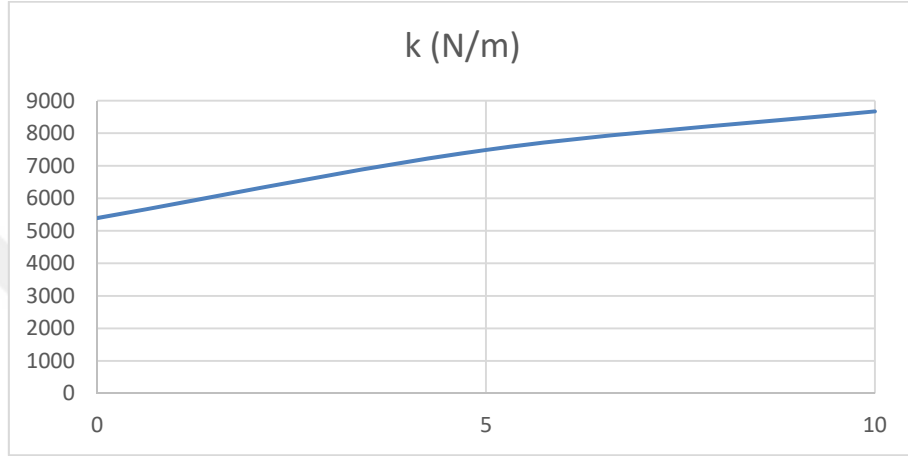
Frekans ve genlik değerlerini beraber incelediğimizde %5 katkı oranında malzemenin doğal frekansında %17,82'lik bir artış olmasına rağmen hareket genliği %2131,84'lük bir artış gözükmektedir. Frekansın artması, malzemenin uygulanan kuvvete verdiği tepkinin düşmesi yani daha katı bir yapıya başka bir ifade ile daha yüksek bir yay katsayısına sahip olduğunu ifade etmektedir. Kırama oranı %10 olduğunda ise frekans artışı katkısız malzemeye göre %26,81 artarken, hareket genliğindeki artış ise %82,40 seviyesinde gerçekleşmiştir. %5 kırama oranı kullanımı ile kıyaslandığında ise frekansın artmaya devam etmesi ile birlikte hareket genliğinin azaldığı gözükmektedir. Bu durumda malzemenin daha da katı bir yapıya büründüğü görülmektedir.

Daha doğru bir değerlendirme amacı ile parça ağırlığının 0,795kg olduğunu ve sapmaların ihmal edilecek oranda olduğunu düşünürsek, 2.13'de verilmiş doğal frekans, 2.14'te verilmiş kritik sönümlenme katsayısı, 2.15'te verilmiş sönümlenme katsayısı formüllerini kullanırsak aşağıdaki tabloda verilmiş değerleri elde edebiliriz.

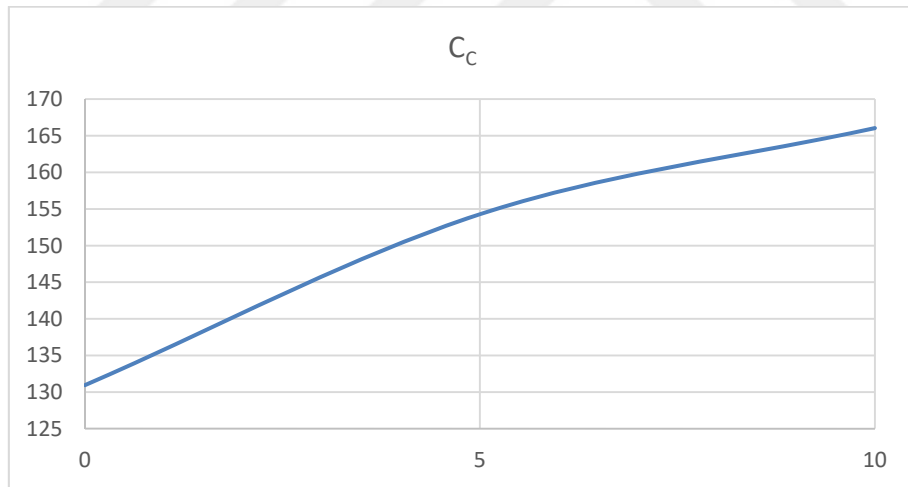
Çizelge 3.2 Serbest Titreşim Testi Mod 1 Hesaplanan Özellikleri

Hammadde Kırama Oranı (%)	Yay Katsayısı k (N/m)	Kritik Sönümlenme Katsayısı C_c	Sönümlenme Katsayısı C
0	5391,834	130,9429	5,6304
5	7485,245	154,2825	4,1656
10	8670,138	166,0453	3,6530

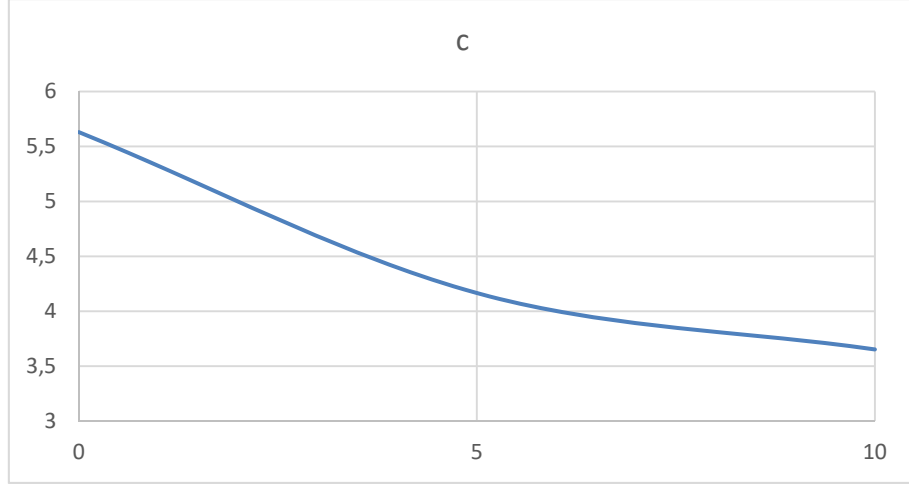
Bu değerlere baktığımızda sırası ile %5 katkı oranında malzemenin yay katsayısının %38,82, %10 katkı oranında ise yay katsayısının %60,80 oranında arttığını görmekteyiz. Bu da malzemenin daha sert bir yay etkisine sahip olduğunu göstermektedir. Sönümlenme oranlarına baktığımızda ise benzer şekilde sırası ile %26,01 ve %35,12 oranlarında düşüşler mevcuttur. Bu da malzemenin kırma oranına göre sönümlenmesinin azalarak daha kırılğan bir yapıya büründüğünü göstermektedir. Aşağıda hesaplanan değerlerin grafikleri verilmiştir.



Şekil 3.6 Yay katsayısının kırma kullanım oranı ile değişimi



Şekil 3.7 Kritik sönümlenme oranının kırma kullanım oranı ile değişimi



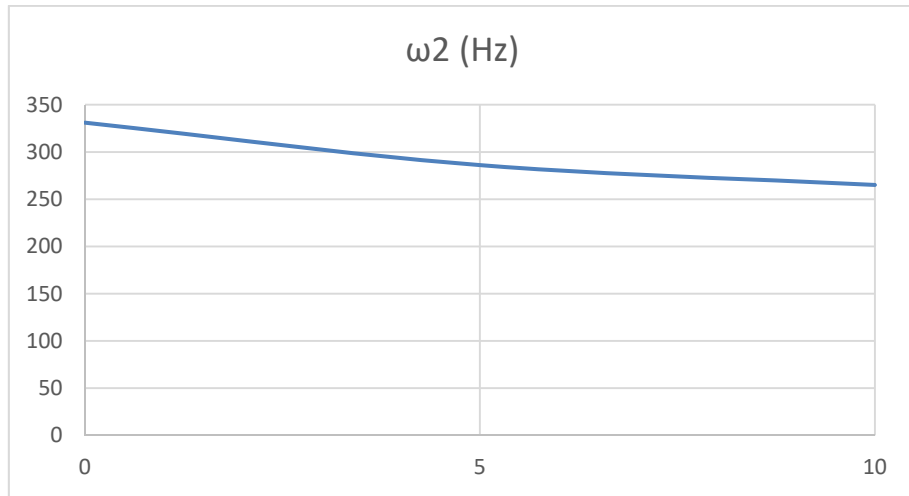
Şekil 3.8 Sönümlenme oranının kırma kullanım oranı ile değişimi

Parçanın 2. Titreşim modu için bulunan değerler ise Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

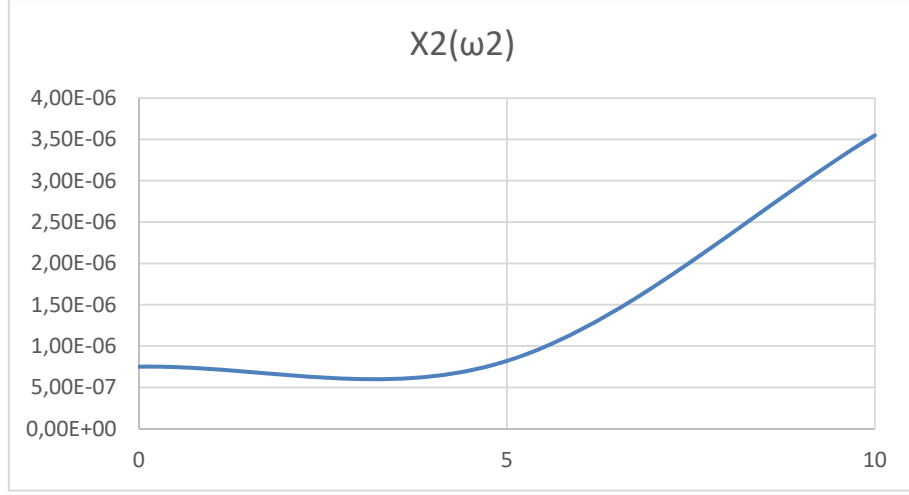
Çizelge 3.3 Serbest Titreşim Testi Mod 2 Sonuçları

Hammadde Kırma Oranı (%)	Doğal Frekans ω_1 (Hz)	Yer Değişirme $X_1(\omega_1)$	Sönümlenme Oranı ξ_1
0	331,052	7,50E-07	0,001
5	286,124	8,20E-07	0,009
10	265,088	3,55E-06	0,013

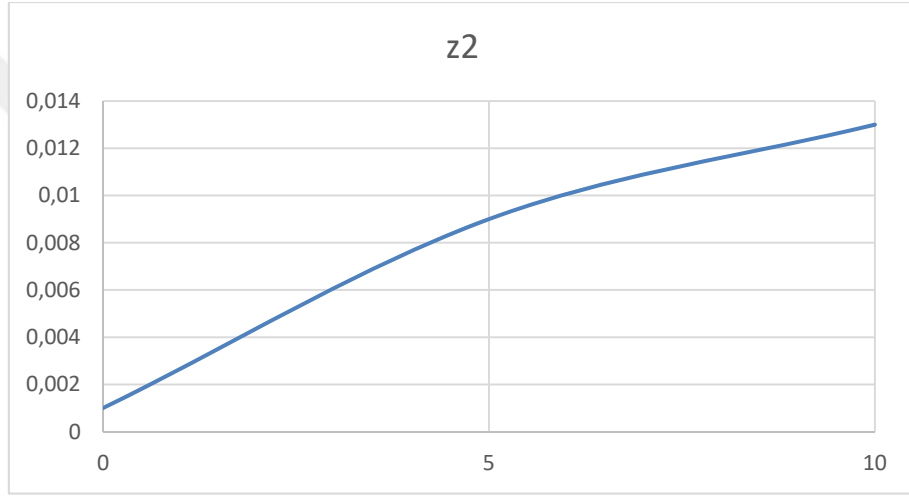
Çizelgede verilmiş değerlerin grafikleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Mod 2 hammadde kırma oranı-doğal frekans grafiği



Şekil 3.10 Mod 2 hammadde oranı-yer değiştirme grafiği



Şekil 3.11 Mod 2 hammadde oranı-doğal sönümlenme katsayısı grafiği

Bu modda hesaplanan frekans ve genlik değerlerine baktığımızda %5 katkı oranında malzemenin doğal frekansında %-13,57'lik bir düşüşle beraber genlikte de %9,33 oranında bir artış meydana geldiği gözükmemektedir. Buradan kırma kullanımı ile malzemenin daha düşük bir yumuşak bir yapıya büründüğü başka bir ifade ile daha düşük yay katsayısına sahip olduğunu çıkarabiliriz.

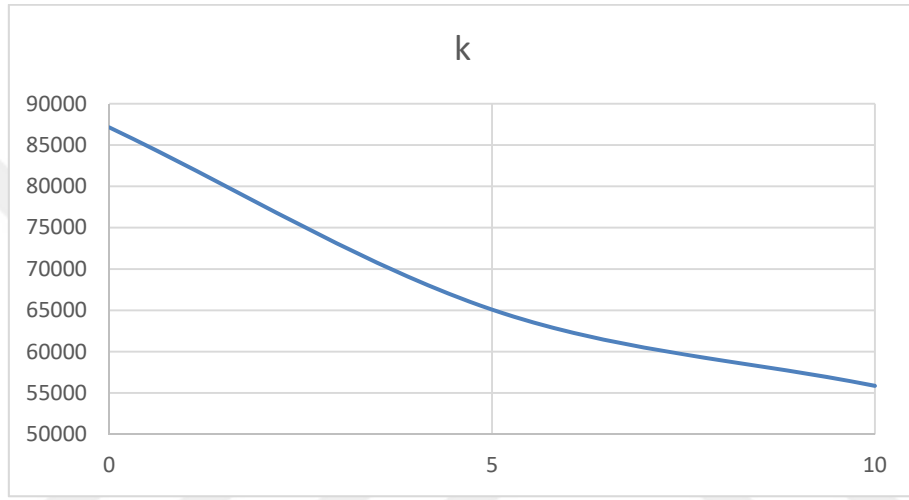
%10 kırma oranında ise frekanstaki %-19,93 oranında bir düşme ve hareket genişliğinde ise %373,33 oranında bir artış meydana gelmektedir. Bu durumda malzemendeki yay etkisinin daha da düştüğünü ifade edebiliriz.

Bir önceki modda anlatılmış olan hesaplamaları bu mod için de tekrar ettiğimizde malzemenin kritik özellikleri için aşağıdaki tabloyu hazırlayabiliriz.

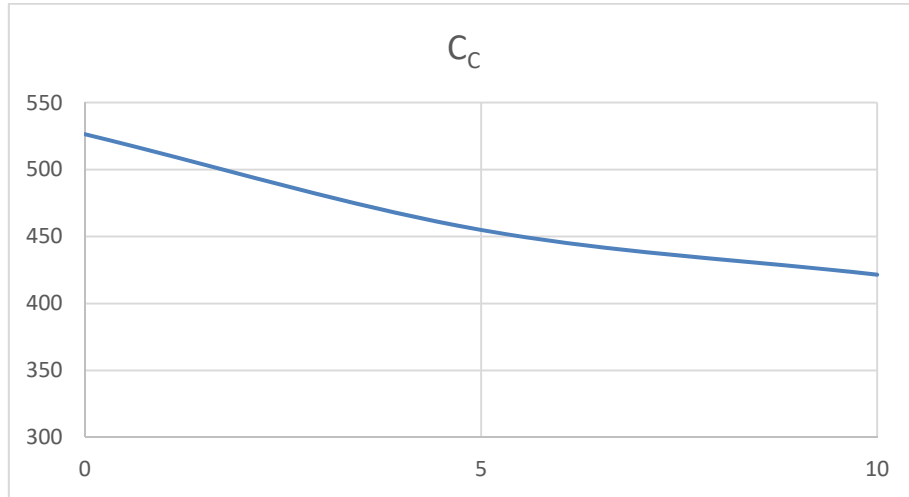
Çizelge 3.4 Serbest Titreşim Testi Mod 2 Hesaplanan Özellikleri

Hammadde Kırma Oranı (%)	Yay Katsayısı k (N/m)	Kritik Sönümlenme Katsayısı C_c	Sönümlenme Katsayısı C
0	87.128,36	526,372	0,526373
5	65.084,22	454,937	4,094434
10	55.865,96	421,490	5,479369

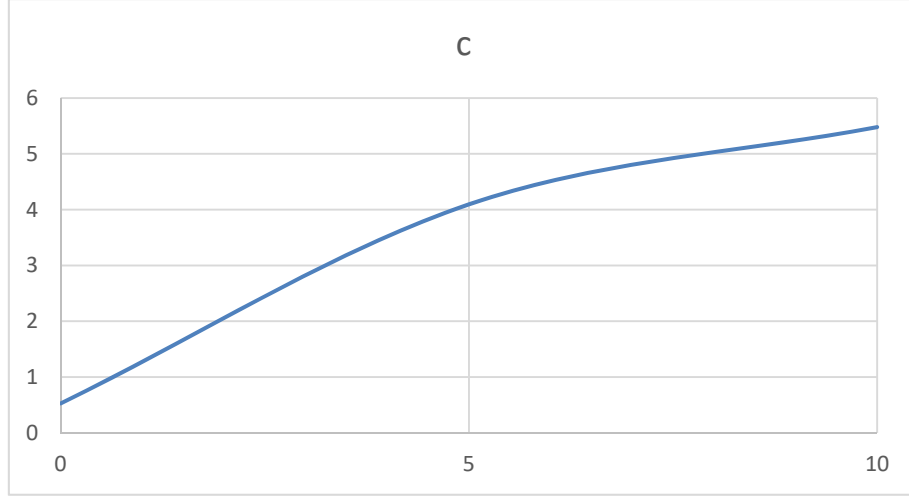
Hesaplanan değerlere ait grafikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.12 Mod 2 kırma malzeme oranı-yay katsayısı grafiği



Şekil 3.13 Mod 2 hammadde kırma oranı-kritik sönümlenme oranı grafiği



Şekil 3.14 Mod 2 hammadde kırma oranı-sönümleme katsayısı grafiği

Hesaplanan değerlere baktığımızda %5 kırma kullanımında yay katsayısında %-25,30 oranında bir düşüş olduğu görülmektedir. %10 kırma kullanımında ise bu düşüş %-35,88 oranında düşmeye devam etmiştir. Sönümleme katsayısında ise %5 kırma kullanımında %677,86, %10 kırma kullanımında ise %940,97 oranında bir artış meydana gelmektedir. Bu durumda malzemenin genel anlamda daha yumuşak bir yapıya büründüğünü söyleyebiliriz.

Bu testte sıcaklık ve zorlamalı yükleme şartları dikkate alınmamıştır. Ek olarak deney sadece gövde parçası üzerinde serbest bir halde yapılmıştır. Ancak bu parçanın kullanıldığı yerin ticari bir araç olduğu ve parçanın üzerine diğer bileşenlerin de monte edilerek araç sacı üzerinden 3 noktadan sabitlendiği dikkate alınmalıdır. Aracın ticari bir araç olması nedeni ile farklı yükleme ağırlıkları ile farklı yol koşullarında farklı devir ve hız ile kullanıldığı da göz önüne alınır ise kırma kullanımı ile parçanın nihai ürün üzerinde göstereceği performans ve ömür kriterlerinin incelenmesi için daha ayrıntılı testlerin yapılması da gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Plastics Europe**, Automotive The world moves with plastic, 2013
- [2] **He Y, Zhu B and Inoue Y** (2004) Hydrogen bond in polymer blends. *Progress in Polymer Science*, 29, 1021–1051
- [3] **eXPRESS Polymer Letters Vol.1: No.1** (2007) 44–50
- [4] **Miscible Polymer Blends**: <http://pslc.ws/macrog/blend.htm>
- [5] **Chen C and White J** (1993) Compatibilizing Agents in Polymer Blends: Interfacial Tension, Phase Morphology, and Mechanical Properties. *Polymer Science and Engineering*, 33(14), 923-930).
- [6] **Roe R.J.** (1993) Use of Block Copolymer as Polymer Blend Compatibilizer. U.S. Army Research Office.
- [7] **Feng Chun, Li Yongjun, Yang Dong, Hu Jianhua, Zhang Xiaohuan, Huang Xiaoyu** (2011) Well-defined graft copolymers: from controlled synthesis to multipurpose applications. *Chemical Society Reviews*.40(3): 1282–95.
- [8] **Coleman M M, Graf J F and Painter P** (1991) et al., *Specific Interactions and the Miscibility of Polymer Blends*, Technomic.
- [9] **L A Utracki** (2002) *Polymer Blends Handbook* Kluwer Academic Publisher, Amsterdam,
- [10] **Mikko Halonen** (2016) A Study About PC/ABS Blends, Aalto University, Mechanical Engineering, Spring.
- [11] **F Nordgren and M Nyquist** (2006) “FE-Modelling of PC/ ABS—Experimental Tests and Simulations,” Master’s Dissertation, Division of Solid Mechanics, Lund University, Lund.
- [12] **L A Utracki and B D Favis** (1989) Polymer Alloys and Blends, In: P. N. Cheremisinoff, Ed., *Handbook of Polymer Science and Technology*, Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 121-201.
- [13] **Nuno Manuel Mendes Maia and Julio Martins Montalvao e Silva** (1997) Theoretical and Experimental Modal Analysis, Research Studies Press LTD. Heartfordshire, England.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [14] **Jimin He and Zhi-Fang Fu** (2001) “Modal Analysis”, Butterworth Heinemann, Linacre House, Jordan Hill Oxford.



EK AÇIKLAMALAR

EK A: CYCOLOY C1200HF Teknik Şartnamesi



CYCOLOY™ RESIN C1200HF

REGION EUROPE

DESCRIPTION

PC+ABS, excellent flow/impact/high heat resistance. Low temperature ductility.

TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 20170913

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
MECHANICAL			
Taber Abrasion, CS-17, 1 kg	63	mg/1000cy	SABIC method
Tensile Stress, yield, 5 mm/min	55	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 5 mm/min	45	MPa	ISO 527
Tensile Stress, yield, 50 mm/min	55	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 50 mm/min	45	MPa	ISO 527
Tensile Strain, yield, 5 mm/min	5	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 5 mm/min	100	%	ISO 527
Tensile Strain, yield, 50 mm/min	4	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 50 mm/min	>50	%	ISO 527
Tensile Modulus, 1 mm/min	2400	MPa	ISO 527
Flexural Stress, yield, 2 mm/min	80	MPa	ISO 178
Flexural Modulus, 2 mm/min	2300	MPa	ISO 178
Hardness, H358/30	96	MPa	ISO 2039-1
Hardness, Rockwell R	115	-	ISO 2039-2
IMPACT			
Izod Impact, unnotched 80*10*3 +23°C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, unnotched 80*10*3 -30°C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, notched 80*10*3 +23°C	50	kJ/m ²	ISO 180/1A
Izod Impact, notched 80*10*3 -30°C	30	kJ/m ²	ISO 180/1A
Izod Impact, unnotched 80*10*4 +23°C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, unnotched 80*10*4 -30°C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, notched 80*10*4 +23°C	40	kJ/m ²	ISO 180/1A
Izod Impact, notched 80*10*4 -30°C	20	kJ/m ²	ISO 180/1A
Charpy 23°C, V-notch Edgew 80*10*3 sp=62mm	50	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy -30°C, V-notch Edgew 80*10*3 sp=62mm	30	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy 23°C, Unnotch Edgew 80*10*3 sp=62mm	NB	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy -30°C, Unnotch Edgew 80*10*3 sp=62mm	NB	kJ/m ²	ISO 179/1eU



ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Niğde ilinde dünyaya geldi. 1986 yılında Zonguldak Yayla İlk Öğretim Okulu'ndan mezun oldu. Orta ve Lise eğitimini Zonguldak TED Koleji'nde tamamlayarak 1993 senesinde mezun oldu. Aynı sene Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazandı. 1997 yılında bu okuldan mezun oldu. 1998 senesinden beri ağırlıklı olarak Otomotiv Sanayisi'nde İmalat ve AR-GE Bölümlerinde farklı pozisyonlarda çalıştı. Halen uluslararası bir otomotiv yan sanayisinde AR-GE Bölümü'nde sorumlu mühendis olacak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Yenikent Mah. 723. Sok. D1-A Blok No:16 Daire:8 Osmangazi/BURSA

Tel: (+90) 533 367 6126

E-posta: sinanzorlu@gmail.com