

**OTOMOTİV GÖVDE İMALATINDA KULLANILAN  
POLİMER MALZEMELERİN ENERJİ SÖNÜMLEME  
YETENEKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mustafa Çağdaş ERİK**

**Danışman**

**Dr.Öğr.Üyesi İbrahim YAVUZ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2019**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OTOMOTİV GÖVDE İMALATINDA KULLANILAN**  
**POLİMER MALZEMELERİN ENERJİ SÖNÜMLEME**  
**YETENEKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mustafa Çağdaş ERİK**

**Danışman**  
**Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**Eylül 2019**

## TEZ ONAY SAYFASI

Mustafa Çağdaş ERİK tarafından hazırlanan “Otomotiv Gövde İmalatında Kullanılan Polimer Malzemelerin Enerji Sönümleme Yeteneklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 19/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

**İmza**

<b>Başkan</b>	: Doc. Dr. M. Serhat BAŞPINAR Afyon Kocatepe Ün.v.Teknoloji Fak.	.....
<b>Üye</b>	: Dr.Öğr. Üyesi Fatih ÇOLAK Uşak Ün.v. Teknik Bilimler MYO	.....
<b>Üye</b>	: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ Afyon Kocatepe Ün.v. Teknoloji Fak.	.....

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

## **Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**19/09/2019**

**Mustafa Çağdaş ERİK**

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV GÖVDE İMALATINDA KULLANILAN POLİMER MALZEMELERİN  
ENERJİ SÖNÜMLEME YETENEKLERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa Çağdaş ERİK  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı  
**Danışman:** Dr.Öğr.Üyesi İbrahim YAVUZ

Bu araştırmada, dört farklı araca ait olan gövde imalatında kullanılan polimerler malzemelerin darbe kuvvetine karşı enerji sönmleme kabiliyetleri incelenmiştir. Kullanılan malzemeler PP ve EPDM' dir. Bu malzemeler değişik kalınlıklarda ve hızlarda ASTM D3763-02 standardına göre değerlendirilmiştir. Deney yüksek hızlı darbe test cihazı ile gerçekleştirilmiş olup test cihazı basınçlı havanın ani boşaltılması esasına göre çalışmaktadır. Test farklı hızlarda ve malzeme kalınlıklarında gerçekleştirilmiş olup, elde edilen bilgiler absorbe edilen enerji-uzama, gerilme-yer değiştirme ve hız-zaman grafiklerinde gösterilmiştir. Grafiklerdeki değerler üzerinden sonuçlar tartışılmıştır.

**2019, xi+ 62 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Polimer Malzeme, Darbe Testi, Enerji Absorbesi

**ABSTRACT**  
M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE ENERGY DAMPING PROPERTIES OF POLYMER  
MATERIALS USED IN AUTOMOTIVE BODY MANUFACTURING

Student Mustafa Cagdas ERIK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Asst.Prof. İbrahim YAVUZ

In this research, the energy absorption capabilities of the polymers used in the body manufacturing of four different vehicles against impact force were investigated. The materials used are PP and EPDM. These materials were evaluated according to ASTM D3763-02 standard at different thicknesses and speeds. The test was carried out with a high-speed impact tester and the tester operates on the basis of sudden discharge of compressed air. The test was carried out at different speeds and material thicknesses and the information obtained was shown in the absorbed energy-elongation, stress-displacement and velocity-time graphs. The results are discussed over the values in this graph.

**2019, xi + 62 pages**

**Keywords:** Polymer Material, Impact Test, Energy Absorption

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay tezdanişmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını grdğim hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolay aileme teşekkür ederim.

Mustafa ağdaş ERİK  
AFYONKARAHİSAR, 2019

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1 Polimerler .....	5
2.2 Polimerlerin Yapısı.....	6
2.3 Polimerlerin Sınıflandırılması .....	7
2.4 Mühendislik Plastikleri.....	10
2.4.1 Termoplastikler .....	10
2.4.2 Termosetler (Termosettingler).....	14
2.4.3 Elastomerler .....	15
2.5 Plastiklerin İmalatı.....	15
2.5.1 Transfer (iletmeli) Kalıplama .....	15
2.5.2 Enjeksiyon .....	16
2.5.3 Enjeksiyon ile Şişirme .....	19
2.5.4 Basınçlı Kalıplama.....	19
2.5.5 Döner Kalıplama.....	21
2.5.6 Ekstrüzyon .....	22
2.5.7 Basınçta Isı İle Birleştirme (Vakum İle Şekillendirme) .....	23
2.6 Plastiklerin Mekanik Özellikleri.....	24
2.6.1 Çekme Dayanımı .....	24
2.6.2 Çeki Gerilmesi .....	25
2.6.3 Yer değiştirme (Uzama) .....	25
2.6.4 Elastisite Modülü .....	27
2.7 Darbe Testleri .....	27
2.7.1 Darbe Direnci.....	28
2.7.2 Yüksek Hızlı Gerilme Testi .....	28



2.7.3 Aletli Darbe Testi .....	28
2.7.4 Yüksek Hızlı Darbe Testleri .....	28
2.7.5 Kombine Darbe Testi (ACIT).....	29
3. MATERYAL ve METOT .....	30
3.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri .....	30
3.1.1 Darbe Test Cihazı .....	30
3.1.2 Shoremetre (Shore D).....	32
3.1.3 Çekme Deney Cihazı .....	32
3.2. Numunelerin Hazırlanması .....	33
4.BULGULAR .....	35
4.1 Kuvvet-Yer değiştirme Grafiklerinin İncelenmesi .....	35
4.1.1 F Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Kuvvet-Yer değiştirme Grafiği.....	35
4.1.2 H Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Kuvvet- Yer değiştirme Grafiği .....	36
4.1.3 R Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Kuvvet-Yer değiştirme Grafiği .....	37
4.1.4 T Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Kuvvet-Yer değiştirme Grafiği.....	37
4.1.5 Taşıtlara Ait Kuvvet-Yer değiştirme Grafiklerinin İncelenmesi .....	38
4.1.5.1 3 m/s hızda yapılan deneylerin kuvvet-yer değiştirme grafiklerinin incelenmesi .....	38
4.1.5.2 5 m/s hızda yapılan deneylerin kuvvet-yer değiştirme grafiğinin incelenmesi .....	39
4.1.5.3 10 m/s hızda yapılan deneylerin kuvvet-yer değiştirme grafiğinin incelenmesi .....	39
4.2 Hız-Zaman Grafiklerinin İncelenmesi .....	40
4.2.1 F Marka Taşıtının Ön Tamponuna Ait Hız-Zaman Grafiği.....	40
4.2.2 H Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Hız-Zaman Grafiği .....	41
4.2.3 R Marka Taşıtın Ön Tamponun Hız-Zaman Grafiği .....	42
4.2.4 T Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Hız-Zaman Grafiği .....	42
4.2.5 Taşıtlara ait Hız-Zaman Grafiklerinin İncelenmesi .....	43
4.2.5.1 3 m/s hızda yapılan deneylerin hız-zaman grafiklerinin incelenmesi .	43
4.2.5.2 5 m/s hızda yapılan deneylerin hız-zaman grafiklerinin incelenmesi .	43
4.2.5.3 10 m/s hızda yapılan deneylerin hız-zaman grafiklerinin incelenmesi	44
4.3 Absorbe Edilen Enerji-Yer değiştirme Grafiklerinin İncelenmesi .....	45
4.3.1 F Marka Taşıta Ait Absorbe Edilen Enerji- Yer değiştirme Grafiği .....	45
4.3.2 H Marka Taşıta Ait Absorbe Edilen Enerji-Yer değiştirme Grafiği.....	46
4.3.3 R Marka Taşıta Ait Absorbe Edilen Enerji-Yer değiştirme Grafiği.....	47
4.3.4 T Marka Taşıta Ait Absorbe Edilen Enerji-Yer değiştirme Grafiği .....	48

4.3.5 Taşıtlara Ait Absorbe Edilen Enerji-Yerdeğiştirme Grafiklerinin İncelenmesi .....	49
4.3.5.1 3 m/s hızda yapılan deneylerin absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiklerinin incelenmesi .....	49
4.5.1.2 5 m/s hızda yapılan deneylerin absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiğinin incelenmesi .....	50
4.5.1.3 10 m/s' yapılan deneylerin absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiğinin incelenmesi .....	51
4.6 Taşıtlara Ait Çekme Deneyi Sonuçları .....	51
4.6.1 H marka Taşıta Ait Çekme Deneyi Sonuçları .....	52
4.6.2 F Marka Taşıta Ait Çekme Deneyi Sonuçları.....	52
4.6.3 R Marka Taşıta Ait Çekme Deneyi Sonuçları .....	53
4.6.4 T Marka Taşıta Ait Çekme Deneyi Sonuçları .....	53
4.6.5 Dört Marka Taşıtin Çekme Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	54
4.7 Deney Numunelerinin Sertlik Testinin Sonuçlarının İncelenmesi .....	55
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	56
6. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	62

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$\sigma$	Çeki Gerilmesi
$\epsilon$	Yer Değişirme
$\Delta L$	Boyda meydana gelen uzunluk farkı
A	Alan
F	Kuvvet
J	Joule
$L_0$	Malzemenin ilk boyu
L	Malzemenin son boyu
T	Sıcaklık
$T_g$	Malzemenin erime sıcaklığı

### Kısaltmalar

---

ABS	Akrilonitril-Bütadien-Sitren
ASA	Akrilonitril stiren akrilat
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyal Topluluğu
EN	Avrupa Birliği Standartları
EPDM	Etilen propilen
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
PA	Poliamid
PBT	Polibütadien tereftalat
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PET	Polietilen tereftalat
PMMA	Polimetil metakrilat
POM	Poliasetal
PP	Polipropilen
PS	Polistren
PU	Poliüretan
PTFE	Politetraflora etilen
PVC	Polivinil klorür
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Polimerlerin iç yapısı .....	7
Şekil 2.2 Polimerlerin iç yapısı a) amorf, b)saçaklı-misel, c) katlanmış zincir .....	7
Şekil 2.3 Graft polimer .....	9
Şekil 2.4 a) Doğrusal, b) Dallı, c) Çapraz zincirli polimer .....	9
Şekil 2.5 Genel plastik malzemelerin dağılımı .....	10
Şekil 2.6 İletmeli kalıplama metodunda işlem sırası.....	17
Şekil 2.7 Enjeksiyon kalıplamada kullanılan bazı makinalar.....	19
Şekil 2.8 Otomobil hız göstergesi enjeksiyon kalıbı.....	19
Şekil 2.9 Enjeksiyon şişirme ile otomobil radyatör su haznesi yapımı.....	21
Şekil 2.10 Basınçlı kalıplamada kullanılan kalıp türleri .....	23
Şekil 2.11 Döner kalıplama üstten görünüş.....	25
Şekil 2.12 Ekstrüzyon üretim yapan makinenin temsili görünüşü.....	26
Şekil 2.13 Ekstrüzyon üretim yapan makinenin temsili görünüşü.....	26
Şekil 2.14 Vakum ile şekillendirme .....	27
Şekil 2.15 Plastiklerin gerilme-yer değiştirme grafiği .....	28
Şekil 2.16 Plastiklerin gerilme-yer değiştirme grafiği .....	29
Şekil 2.17 Plastiklerin detaylı gerilme-yer değiştirme grafiği .....	31
Şekil 4.1 F marka taşıta ait ön tamponu kuvvet-yer değiştirme grafiği .....	39
Şekil 4.2 H taşıtının ön tamponuna ait kuvvet-yer değiştirme grafiği .....	40
Şekil 4.3 R marka taşıtın kuvvet-yer değiştirme grafiği .....	42
Şekil 4.4 T taşıtına ait ön tamponu kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	43
Şekil 4.5 Teste tabi tutulan taşıtların 3 m/s hızdaki kuvvet – yer değiştirme grafiği.....	43
Şekil 4.6 Teste tabi tutulan taşıtların 3 m/s hızdaki kuvvet – yer değiştirme grafiği.....	43
Şekil 4.7 Teste tabi tutulan taşıtların 5 m/s hızda kuvvet – yer değiştirme grafiği.....	44
Şekil 4.8 Teste tabi tutulan taşıtların 10 m/s hızda kuvvet – yer değiştirme grafiği.....	45
Şekil 4.9 F marka araca ait ön tamponu hız-zaman grafiği.....	46
Şekil 4.10 H aracının ön tamponu hız-zaman grafiği.....	46
Şekil 4.11 R marka taşıta ait hız-zaman grafiği .....	48
Şekil 4.12 T marka taşıtın ön tamponuna vurulan darbenin hız-zaman grafiği .....	48
Şekil 4.13 Teste tabi tutulan taşıtların 3 m/s hızdaki hız-zaman grafiği .....	49
Şekil 4.14 Teste tabi tutulan taşıtların 3 m/s hızdaki hız-zaman grafiği .....	49
Şekil 4.15 Teste tabi tutulan taşıtların 5 m/s hızdaki hız-zaman grafiği .....	50

<b>Şekil 4.16</b> Teste tabi tutulan taşıtların 10 m/s hızdaki hız-zaman grafiği .....	50
<b>Şekil 4.17</b> Teste tabi tutulan taşıtların 10 m/s hızdaki hız-zaman grafiği .....	50
<b>Şekil 4.18</b> Farklı hızlardaki F taşıtına ait ön tamponunun absorbe ettiği enerji-yer değiştirme grafiği .....	51
<b>Şekil 4.19</b> Farklı hızlardaki F taşıtına ait ön tamponunun absorbe ettiği enerji-yer değiştirme grafiği .....	51
<b>Şekil 4.20</b> H taşıtının ön tamponu absorbe ettiği enerji-uzama grafiği.....	52
<b>Şekil 4.21</b> H taşıtının ön tamponu absorbe ettiği enerji-uzama grafiği.....	53
<b>Şekil 4.22</b> R aracı ön tamponu absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği .....	53
<b>Şekil 4.23</b> T taşıtının ön tamponuna ait absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği ...	54
<b>Şekil 4.24</b> Test edilen taşıtların 3 m/s hızdaki absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği .....	55
<b>Şekil 4.25</b> Test edilen taşıtların 5m/s hızdaki absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği .....	56
<b>Şekil 4.26</b> Test edilen taşıtların 10 m/s hızdaki absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği .....	57
<b>Şekil 4.27</b> H marka taşıtın çekme-uzama grafiği .....	58
<b>Şekil 4.28</b> F marka taşıtın çekme-uzama grafiği.....	58
<b>Şekil 4.29</b> F marka taşıtın çekme-uzama grafiği.....	58
<b>Şekil 4.30</b> R marka aracın çekme-uzama grafiği .....	59
<b>Şekil 4.31</b> T marka taşıtının çekme-uzama grafiği .....	59
<b>Şekil 4.32</b> Dört marka taşıta ait gerilme-şekil değiştirme grafiğinin karşılaştırılması...	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Termoplastik malzemelerin teknik özellikleri .....	14
<b>Çizelge 2.2</b> Elastomerlerin teknik özellikleri .....	15
<b>Çizelge 3.1</b> Malzemelerin kalınlık gösterimi .....	33
<b>Çizelge 3.2</b> Deneyde kullanılan ön tampon malzemelerinin özellikleri .....	34
<b>Çizelge 3.3</b> Malzemelerin Shore D'ye göre sertlikleri .....	55

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1</b> Instron-Dynatup 9250 HV darbe dayanım test cihazı.....	30
<b>Resim 3.2</b> Shoremetre .....	32
<b>Resim 3.3</b> Çekme deney cihazı .....	33
<b>Resim 4.1</b> F taşıtına ait ön tampon malzemesinin darbe hasarları a) 3m/s, b) 5 m/s, c) 10 m/s .....	46
<b>Resim 4.2</b> H taşıtının ön tampon numunelerinde hıza bağlı oluşan darbe hasarları: a) 3m/s, b) 5m/s, c) 10m/s .....	47
<b>Resim 4.3</b> R taşıtının ön tampon numunelerinde 3 m/s hızda oluşan darbe hasarı.....	48
<b>Resim 4.4</b> T taşıtının ön tampon numunelerinde hıza bağlı oluşan darbe hasarı a) 3 m/s, b) 5 m/s.....	49

## 1. GİRİŞ

İnsanlar doğada varoluşlarından itibaren geçen süre içerisinde hayatta kalabilmek için doğanın kaynaklarını gelişmişliklerine göre tüketmişlerdir. Bu tüketme alışkanlığı 1792 yılında Eli Whintney'in icat ettiği çırçır makinası ile yeni bir boyuta taşındı. Çırçır Makinası Sanayi Devrimi'nin başlamasına neden oldu. Böylece teknoloji hızlı bir şekilde ilerlemeye başladı. Sanayi devriminin yarattığı bu ilerleme insanlarda farklı istek ve ihtiyaçların oluşmasına neden oldu. Böylece üreticiler insanların istek ve ihtiyaçlarını karşılama yarışına giriştiler. Bu yarış sebebiyle birçok yeni malzeme keşfedildi. Bu malzemelerden birisi de plastik idi (İnt.Kyn.1).

İlk plastik 1862 yılında Büyük Uluslararası Fuar'da tanıtılan Alexander Parkes tarafından icat edilen "Parkesin" idi. Parkesin, nitroselüloz, alkol ve kâfurun karıştırılması ile elde edildi. Sonraki yıllarda ise plastik malzemeler gelişimini sürdürmeye devam etti (İnt.Kyn.1).

Plastik malzemelerin günümüzde sıklıkla tercih edilmesi nedenleri;

- Hafiflik
- Mukavemetinin yeterli oluşu
- Isı ve elektrik yalıtkanlığının iyi oluşu
- İşlenmesinin kolay olması
- İmal maliyetlerinin düşük olması
- Aşınmaya karşı dirençli olması

Kaliteli bir yüzey ve görünüşe sahip olmak olarak söylenebilir (Akkurt 2012).

Plastik malzemelerin endüstride sıklıkla kullanılanları "Mühendislik Plastikleri" adı altında değerlendirilir. Mühendislik plastikleri her geçen gün teknolojinin istek ve taleplerine karşı çeşitlenmekte ve geliştirilmektedir. Fakat otomotiv sektöründe mühendislik plastiklerinin kullanımı 100 yıl kadar önce olsa da yüksek üretim maliyetleri nedeniyle uzun bir süre boyunca yaygınlaşamamıştır. Günümüzde ise polimer teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak ucuzlayan üretim yöntemleri



sayesinde özellikle termoplastikler otomotiv sektöründe epeyce yüksek bir kullanım oranına sahip olmuşlardır.

Otomotiv ve diğer birçok alanda kullanılan plastikler herhangi bir şekilde, durumda ya da cismin dışarıdan bir müdahalesi sonucu darbeye maruz kalabilirler. Örneğin herhangi bir taşıt karayolunda giderken yola aniden çıkan yaya, hayvan vb. engele çarpması sonucu tamponda hasar oluşabilir.

Malzemenin üzerine gelen darbenin şiddetini ölçen birden fazla darbe test yöntemi ve cihazı vardır. Bu çalışmada hava basıncı ile çalışan darbe test cihazı kullanılmıştır. Darbeler hızlı ve yavaş olmak üzere 2'ye ayrılırlar. Fakat birçok kaynağın belirttiği üzere yavaş darbe ile hızlı darbe tanımlarının net bir ayrımının olmadığını göstermektedir. Yine de bir tanımlama yapılacak ise; malzemelerin rijitlik, kütle ve fiziksel özelliklerine bağlı kalmak şartıyla sabit hedef malzemeye çarpan diğer malzemenin hızı 1-10 m/s arasında ise yavaş darbe, 10 m/s ve üzeri bir hıza sahipse hızlı darbe denmektedir (Sayer 2009).

Bu çalışmada dört farklı araca ait polimer malzemelerin düşük hızda darbe testleri yapılarak elde edilen sonuçların kıyaslaması yapılmıştır. Testlerde enerji sönümlenme kabiliyetleri incelenmiş ve test sonuçları kıyaslanmıştır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Lee ve arkadaşları (1999) yaptıkları çalışmada darbe testleri genel olarak yüksek hız ve düşük hız olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenirler. Yüksek hızlı darbe testlerinde yapının tümü darbeye tepki gösterecek yeterli zamanı bulamayacağından zarar görmektedir. Düşük hızlı darbe testlerinde ise temas süresi yeteri kadar uzun olduğu için yapının tamamı darbeye tepki gösterebilmektedir. Böylece darbe enerjisini elastik olarak absorbe etmesine olanak sağlamaktadır.

Li ve arkadaşları (2004) yaptıkları çalışmada otomobil gövdesinde daha hafif bir materyal olan GMT 'yi kullanmışlar. GMT, takviyeli termoplastik bir levha olup presleme yöntemi ile darbe mukavemeti ve sertliği artırılmış bir malzemedir (İnt.Kyn.2). GMT' nin çeliğe karşı üstünlüğünü eski bir metod olan Split Hopkins Metodu'nu kullanarak sönümlenme kabiliyetlerini incelemişler. Bunun sonucunda çelik malzemelerin yerini alabileceğini söylemişler ve bu iddalarını Split Hopkins Metodunu bilgisayar similasyonunda diğer malzemeden yapılmış numuneleri karşılaştırarak kanıtlamışlardır.

Golzar ve Poorzeinolabedin (2009) yaptıkları çalışmada Samand Sarir marka otomobilin çelik gövde kaplamasının kompozit bir kumaştan yapıp sertlik, darbe enerjisi absorbesi ve kuvvet gibi faktörleri düşük hızlardaki davranışlarını araştırmışlardır. Bunun için kompozit materyalden üretilen 90° ve 45° deki elyaf oryantasyonlarındaki dokunmuş kumaşın çekme, büzülme ve charpy darbe testleri yapmışlardır. Bunun sonucunda seçimi yapılan kompozitin çeliğe göre darbe dayanımı 2,9 kat daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Kumaş çeşitli kalınlıkta ve elyaf oryantasyonlarında gövde kaplaması olarak kullanımındaki değişimleri sonlu elemanlar yöntemi ile Abacüs adlı simüle programında test edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 45° ile 90° elyaf oryantasyonlarında çarpışma sonucu darbe kabiliyetlerinin çelikten daha iyi olduğu, ağırlık olarak çelikten %42 daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır.

Adams ve arkadaşları (1990) yaptıkları araştırmada beş farklı polimerin yüzey gerilim dayanımını 1 m/s'den 5 m/s'ye kadar olan değişik vurucu hızlarda 3 nokta eğme

testlerini yapmışlardır. Bunun sonucunda 1 m/s' den büyük hızlarda yük sinyalinin dinamik etkiler karşısında kullanılamaz hale geldiğini tespit etmişlerdir. 3 m/s ve üzeri hızlar için dinamik etkileri, malzemeye teması ve çatlak yayılmasının ise dinamik bir modelleme sayesinde hızla azaldığını tespit etmişlerdir.

Agrawal ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada fiberle güçlendirilmiş polimer matrisli kompozit bit malzemede darbe kuvvetinin yapmış olduğu etkiyi daha geniş bir alandaki davranışını incelemişlerdir. Bu çalışmada malzemenin darbe testleri, çarpma tertibatının ağırlığı çarpma hızı ve çarpmanın gerçekleştiği ortamlar gibi birçok husus incelenmiştir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda düşük hız etkisi, teorik olarak test cihazlarında 1-10 m/s arasındaki hızlarda oluşturduğu etkiler olarak tanımlanmaktadır. Temas süresi, polimer malzemenin yapısının düşük hızlarda oluşan yüke karşı cevap verme süresidir. Hasar ise matris çatlamaına bağlı olarak malzemede kırılma ve penetrasyon meydana gelmektedir. Penetrasyon ise delaminasyonu oluşumuna sebep olmaktadır. Bu sebeple sertleştirilmiş reçine ya da termoplastik malzemeler iç yapı matrislerin hasara uğradığı yapılan testler sonucu tespit etmişler ve polimer-matris kompozitlerin, düşük hızlı etkiler altında enine yüklerin sebep olduğu iç hasarlara karşı oldukça duyarlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kompozit malzemeler yüzeylerinde hasar oluştuğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, malzemenin üst yüzeyinde görsel inceleme yapmışlar, darbe sonucu herhangi bir hasar tespit edememişlerdir. Ancak malzemenin alt yüzeyinde görsel olarak zor fark edilebilen çarpmaya bağlı hasar gözlemlenebildiğini belirtmişlerdir.

Hebert ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada E-cam takviyeli vinil ester ve poliüretan panellerin ağırlığın düşmesi ile darbe yüküne bağlı hasardaki davranışlarını incelemişlerdir. Düşme ağırlığı etki performansı, numuneler tarafından emilen enerji, nüfuz etme derinliği ve iç hasarın referans ölçü olarak alınmıştır. Cam formuna sahip poliüretan panellerinin, benzer vinil ester reçine panellerinden daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır.

Sugano ve arkadaşları (1993) araştırmalarında bina gibi yapılara çarpan uçakların malzeme dayanımları ile birlikte darbelere karşı nasıl bir davranış içinde olduklarını

araştırmışlardır. Eski metodların uçak kazalarındaki birçok soruyu yanıtsız bıraktıkları için gerçek ölçekte bir uçak darbe testi gerçekleştirmişlerdir. Toplu kütle modeli ile yapılan analiz de test sonuçlarıyla iyi bir uyum sağladığı göstermişlerdir.

Zhao (1997) Otomotiv endüstrisinde geliştirilen polimer esaslı köpüklerin çarpışma testlerinde orta ve yüksek hızlarda deformasyon miktarlarının test etmiştir. Bu araştırmada, bir Ayrık Hopkinson Basınç Çubuğu (SHPB) kullanarak polimer esaslı köpükler test edilmiştir. Test cihazının deney sonuçlarının doğruluğunu arttırmak için viskoelastik çubuklar kullanmıştır. Yapılan deney sonucu ölçülen tüm gerilme verilerinin aralığına arttırmak için genelleştirilmiş iki ölçülü bir yöntem kullanılmış olup, test numunesinde meydana gelen zorlanma ve stres alanlarının homojenliği olduğu varsayımı yapmış ve yapmış olduğu bu varsayımı yüksek hızlı bir fotografik sistem kullanılarak incelemiştir.

Fındık ve Tarım (2003) Polimer kompozitlerin balistik darbe verimliliği üzerine yaptıkları araştırmada bazı polimer bazlı kompozit malzemelerin darbe verimliliği deneysel olarak incelenmiştir. Elle yerleştirme işlemi kullanarak bir miktar termoset reçine kompozit numunesi üretilmiştir. Daha sonra, balistik testler, mekanik ve C-tarama yöntemleri kullanılarak polimer bazlı kompozitlerin darbe verimliliği deneysel olarak incelenmiştir. Araştırma sonucunda ince kompozitlerin kalın kompozitlere göre daha fazla elastik olduğu, eğilme ve gerilme mukavemetlerinin kompozit katmanlarının sayısı arttıkça arttığını yaptıkları testler sonucu tespit etmişlerdir. Mermi hızının kompozit tabaka sayısı ile ters orantılı azalma eğiliminde olduğunu gözlemişlerdir.

## **2.1 Polimerler**

Literatürde polimer ve manomer ifadeleri birbirlerinin yerlerine sıkça kullanılmaktadır (Saçak 1998). Polimer, sayıca çok molekülün birbirleriyle kurduğu kovalent bağlar nedeniyle oluşturdukları makro moleküllere verilen addır. Manomer ise birçok molekülün uygun koşullar altında polimerizasyon tepkimesine girmesi sonucunda birbirleri ile yaptıkları kimyasal bağlar neticesinde oluşturdukları yapıya denmektedir.

Polimerler birbirleri ile kimyasal bağlar ile birbirlerine bağlandıklarında uzun, irili, ufaklı zincirler oluştururlar.

Polimerler bileşikler ile aynı sınıflandırılmaya dâhil edilemezler. Çünkü polimer yapılarda çok sayıda molekül irili, ufaklı dizildiğinden ortalama bir molekül ağırlığına sahiptirler. Fakat bileşiklerde ise moleküllerin büyüklüğü birbirlerine ya hemen hemen yakın ya da eşit büyüklüğü sahiptirler. Bu sebeple molekül ağırlıklar hep sabittir, değişmez (Akkurt 2012).

Polimerler kendi bünyelerindeki taşıdıkları özelliklere göre kendi aralarında bağlar oluştururlar. O yüzden plastiklerin yaygın kullanımına sebep olan bu özellikleri bilmemiz gerekir. Polimerlerin özellikleri ise şunlardır (Akkurt 2012):

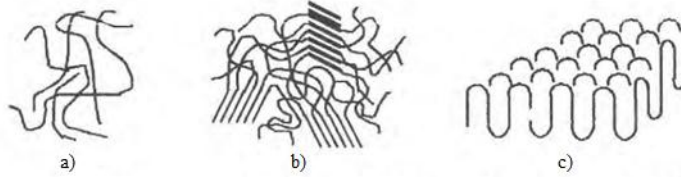
- Hafiflik
- Mukavemetinin yeterli oluşu
- Isı ve elektrik yalıtkanlığının iyi oluşu
- İşlenmesinin kolay olması
- İmal maliyetlerinin düşük olması
- Aşınmaya karşı dirençli olması
- Kaliteli bir yüzey ve görünüşe sahip olmak
- Isıtıldıklarında kolayca eriyebilmeleri ve döküm vb. üretim yöntemlerinin kullanılabilmesi

## **2.2 Polimerlerin Yapısı**

Polimerler yapı olarak karışık bir düzene sahiptirler. Bu yapı birçok polimerin katı haldeki kristal yapının üzerine sıvı haldeki amorf yapının eklenmesi ile oluşur. Bir polimerde kristalinite; moleküllerin kolayca kristal yapıya girebildiği ve kendi aralarında oluşturdukları bağların çekim kuvvetine bağlıdır. Herhangi bir maddenin sıvı halinde bir molekülün yer değiştirmesi molekül yapısının ağırlık noktasını değiştirmektedir. Fakat polimerlerde ise bu durum geçerli değildir. Çünkü polimer zincirinin herhangi bir yerinde molekülün hareket etmesi sonucunda zincirin ağırlık

noktası değişmez ve yılan gibi kıvrılır. Zincirin bir başı farklı yöne doğru giderken öteki tarafı başka yöne doğru gidebilir. Başka yöne doğru hareket etmesinin sebebi de moleküllerin kendi eksenleri etrafında serbestçe dönebilmesidir. Polimerin yapısında birbirine zincir halde bağlanan ve uzayıp giden C atomları bulunur. Bu C atomlarına H atomları bağlanmıştır. Katı haldeki polimer belli bir süre ısıtıldıktan sonra zincir şeklinde dizilmiş olan moleküller hareket etmeye başlar. Bu nokta polimer için ergime noktasıdır. Bir polimerin tamamı amorf bir yapıdan oluşuyorsa ve bu yapının molekülleri hareket etmeye başladıysa camsı geçiş sıcaklığına gelmiştir. Eğer tamamı kristalin yapıdaysa ergime noktası, yapı yarı kristalin yarı amorf ise o zaman hem ergime noktası hem de camsı geçiş sıcaklığı aynı anda görünür (İnt. Kyn. 6).

Polimer malzeme ya da molekül camsı ısı geçiş sıcaklığı altında katı fazda kalmaktadır. Katı faz da ise çok sert bir yapıya sahip olurlar. Bu sıcaklığın üzerine doğru çıktıkça malzeme uzamaya başlar. Bu uzamaya lastikleşme denir. Bu sıcaklığın üzerine de çıkıldığında polimer ne erir ne de buharlaşır (Baysal 1981).



Şekil 1.1 Polimerlerin iç yapısı a) amorf, b)saçaklı-misel, c) katlanmış zincir.

### 2.3 Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerleri daha detaylı inceleyebilmek için şu şekilde sıralanır (Baysal 1981):

- Molekül Ağırlıklarına göre
- Organik ya da İnorganik olmasına göre
- Isıl karakteristiklerine göre
- Polimeri oluşturan molekülün zincir yapısına göre
- Polimer Molekülünün zincirinin fiziksel ve kimyasal yapısına göre
- Üretim Yöntemlerine göre

- Doğal veya sentetik oluşuna göre sınıflandırılırlar.

1. Molekül ağırlıklarına göre:

Yüksek Polimer: Molekül ağırlıkları 20000 ve üzeri olan polimerlerdir.

Düşük Polimerler: Molekül ağırlıkları 10000-20000 arası olan polimerlerdir.

2. Organik ya da İnorganik oluşuna göre:

Organik Polimerler: Yapılarında C ve H atomu barındıran polimerlerdir. C atomu polimerin ana zincirinde bulunur.

İnorganik Polimerler: Polimerin Ana zincirinde C atomu yerine P, S gibi atomları bulunur.

3. Isıl karakteristiklerine göre:

Termoplastik Malzemeler: Katı halden ısı verilerek yumuşarlar. Fakat bu işlemin sık tekrar etmesi durumunda yıpranırlar. Yapı olarak birbirinden bağımsız moleküllerden oluşurlar. Oda sıcaklığında katı, Sıcaklığın artması ile önce yumuşarlar sonra da sıvı hale gelirler. Katı halde molekül yapıları amorf+kristalindir (Akkurt 2012).

Termoset Malzemeler: Katı hale geldikten sonra tekrar yumuşamazlar ve kullanılamazlar. Yapıları belli noktalardan birbirine bağlanmış ağ yapıdadırlar. Isıtıldıklarında direkt sıvı faza geçerler ve yapıları sadece amorfudur. O da katı halde iken (Akkurt 2012).

4. Polimeri oluşturan zincirin yapısına göre:

Hopolimer: Yapısındaki zincir sadece bir adet manomerdan oluşan polimerdir.

Örn: **A-A-A-A-A-A-A-A-A-A**

Kopolimer: Yapısındaki zincir iki ayrı manomerdan oluşan polimerdir.

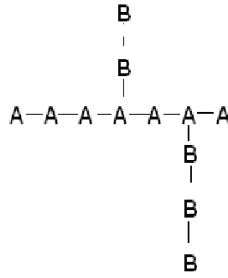
Kendi içinde dörde ayrılır.

Rastgele Kopolimer: **A-A-A-B-B-A-B-B-B-A-A**

Alternatif Kopolimer: **A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A**

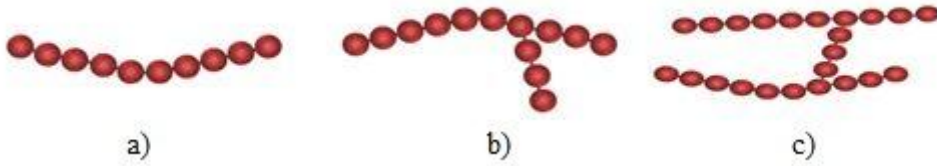
Blok Kopolimer: **A-A-A-B-B-B-A-A-B-B-A**

Graft kopolimer:

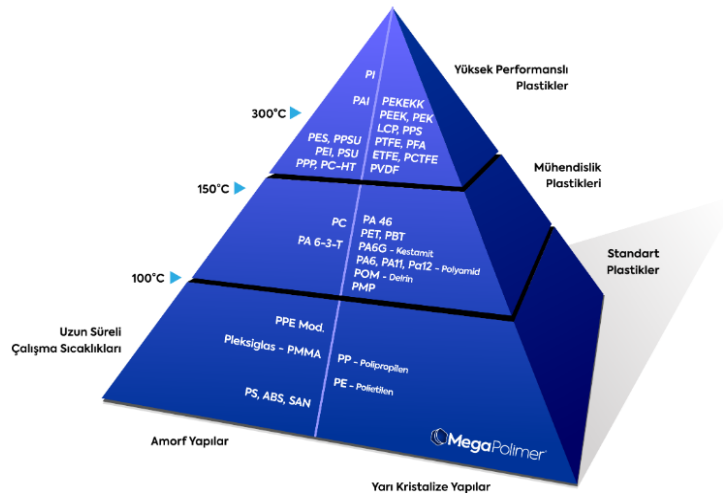


Şekil 2.3 Graft polimer

5. Polimer Molekülünün zincirinin fiziksel ve kimyasal yapısına göre:



Şekil 2.4 a) Doğrusal, b) Dallı, c) Çapraz zincirli polimer



Şekil 2.5 Genel plastik malzemelerin dağılımı.



## 2.4 Mühendislik Plastikleri

Mühendislik Plastikleri Şekil 2.5'te de görüldüğü üzere genel anlamda polimerlerin ısı karakteristiklerine göre incelenen kısmında yer alırlar. Mühendislik plastiklerden istenen özellikler yüksek mukavemet, iyi derece sıcaklığa karşı direnç, sertlik ve kimyasal maddelere direnç gibi özellikleri taşırlar Termoset, Termoplastik piyasada en yaygın kullanılan Mühendislik Plastiklerindendir (Turgut 2012).

### 2.4.1 Termoplastikler

Plastik kelime anlamını tam olarak karşılayan gruptur. Polimerler içinde günlük hayatta en sık kullanılan plastiklerdir. Molekül yapıları dallanmış ya da doğrusal zincirler halinde olabilir. Isı etkisi ile yumuşar ve erirler. Isıtma işlemi tekrarı arttıkça malzemede yıpranma ortaya çıkar (Akkurt 2012). Kolayca yeniden şekil verilebilirler. Oda şartlarında katı, sıcaklık artınca yumuşak, sonunda sıvı hal (viskoz) haline geçerler ve uygun çözücüler içinde kolayca çözünürler (Saçak 1998, Akkurt 2012).

Yapı olarak termoplastikler amorf ve kristalin olmak üzere iki 'ye ayrılırlar. Amorf bir polimerde molekül zincirlerin birbirleri ile olan ilişkileri şekilde gösterildiği üzere rastgeledir ve belirli bir düzenleri yoktur. Gündelik kullanımda yaygın olarak kullanılan plastikler katı halde iken molekül yapıları genellikle amorf ile kristalin bölgelerini birlikte kapsar. Yani yarı kristalindirler. Bu tanım Kristalin termoplastikler tanımının içinde yer alır (Saçak 1998).

Polietilen (PE) asit ve kimyasal maddelere karşı dayanıklı, nem emilimi yok denecek kadar az, kolay işlenebilen ve kayganlık gibi birçok özellikleri olan bir termoplastiktir. Mutfak eşyası, kablo kaplaması, ambalaj filmi, çanta, poşet, plastik boru vb. alanlarda daha sık kullanılırlar (İnt.Kyn.3).

Polipropilen (PP) PE'nin mukavemet, sertlik, güç ve ısı koşullarında istenilen değerleri karşılayamadığında kullanılan termoplastiktir. Plastikler içinde en düşük yoğunluğa sahip plastiktir ( $d=0,905 \text{ kg/m}^3$ ). Özgül mukavemet değerleri iyi olduğu için elyafların

biçimlendirilmesinde kullanılır. Ambalaj, etiketleme, halat yapımı, kırtasiye otomotiv parçaları, hoparlör vb. yerlerde kullanım sahası vardır (İnt.Kyn.3).

Polistren (PS) petrolün kimyasal yollarla elde edilen stiren monomerinden elde edilen sentetik aromatik polimerdir. Sert ya da köpük formda olabilir. Genel amaçlı, şeffaf, kırılğan ve serttir. Birim kütle/fiyat olarak en uygun plastiktir. Hava ve nem tutma özelliği zayıftır. Ergime noktası düşük olup, renklendiricilerle renklendirilebilirler. Sağlıkta petri kabı, kan alma tüpleri, numune tepsileri, tek kullanımlık enjektör. Elektronikte görüntü ve tasarımın ön planda olduğu yerlerde, Çatı kaplamalarında, ısı yalıtım malzemelerinde yaygın bir şekilde kullanılır (İnt.Kyn.5).

Akrilonitril-Bütadien-Sitren (ABS) yüksek mukavemet değerlerinin istendiği makine parçalarında kullanılan, işlemesi en kolay termoplastik türüdür. ABS bir kopolimer olup 3 adet polimerden oluşmaktadır. Bunlar Akrilonitril, Bütadien ve Sitren'dir. Akrilonitril malzemeye sağlamlık özelliğini katarken, Sitren parlaklık ve Bütadien ise malzemeye kauçuğun özelliğini katar. Kullanıldığı sıcaklık aralığı: -25°C ile 60°C 'dir. Kullanım alanlarda genellikle otomobil parçaları, kasklar, boru ve oyuncaklarda vb. yerlerde kullanılırlar (İnt.Kyn.6).

Poliamid (PA) peptit bağları ile birbirlerine bağlanmış monomerlerin oluşturduğu yarı kristalin bir plastiktir. (İnt.Kyn.6) Poliamidin polimer oluşumundaki temel malzemesi tekse PA6 (Naylon), temel malzemesi 2 tane ise PA 66 denmektedir. Mekanik dayanımı, sertlik, darbe ve aşınma direnç değeri yüksek olan bir plastiktir. Kimyasal dayanımı ile nem tutma kabiliyeti kötüdür. Çalışma sıcaklığı -40°C ile 85°C arasındadır. Poliamidin içyapısının boyut kararlılığı kötüdür.

Poliamid yaygın olarak otomotivde yağ karteri, hava emme manifoldu, çapraz şanzıman kırışleri, çarpmaya karşı hassas motor kapakları, zincir gergileri, kalorifer hava kanalları, otomobil tampon ızgarası, kapı tutamakları, jant kapakları, ayna elektrikte kontaktörler, darbeli matkap, çamaşır makinesi kontrol modülleri gibi yerlerde kullanılır (İnt.Kyn.6).

Poliasetal ( POM) yüksek sertlik, düşük sürtünme ve yapısında sağlam boyut kararlılığı istenen hassas çalışma yerlerinde kullanılır. Otomotivde kapı kilit ve mandalları, yakıt tankı, emniyet kemeri tokası, tampon desteği, yakıt pompası modülü, iç kapı tutamağı gibi yerlerde kullanılır (İnt.Kyn.7).

Polikarbonat (PC) çok sağlam, optik özellikleri çok iyi, kırılmaz ve çizilmez özelliklere sahip bir termoplastiktir. Malzeme çok sağlam ve dayanıklı olmanın dışında bir o kadar da hafiftir. Ağırlığın sorun olduğu yerlerde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemenin ısı direnci iyi olduğu için yüksek sıcaklıklara çıkabilir. Bu sebeple hijyeniktir. Kullanılan yerler genellikle otomotivde farlar, sensör soketleri, şeffaf mutfak eşyası, trafik ışıkları gibi optik özellik gerektiren yerlerde kullanılırlar (İnt.Kyn.7).

Polietilen Tereftalat (PET) polister grubuna dahil olan polikondezyon yöntemi ile üretilen bir termoplastiktir. İçecek şişeleri, kavanoz, yiyecek kapları, tek kullanımlık servis aparatları vb. yerlerde kullanım alanları vardır (İnt.Kyn.3).

Poli-Bütillen Tereftalat (PBT) mekanik özellikleri yeterli, solvent esaslı bileşiklere karşı dayanıklı, üretimi yapılırken malzeme büzülmesi az olan termoplastiktir. Polimer yapısı kristalindir. 150°C'ye kadar dayanır. Fakat bazı türleri cam elyafı ile güçlendirilerek ısı dayanımı 200°C'ye kadar çıkarılabilmektedir. Yanmazlık özelliği için geç tutuşma gibi özellikler imalat yapılırken malzemeye katılabilir. Malzemenin iç yapısının boyut kararlılığı iyi derecededir. Nem tutma özelliği kötüdür. Yüksek sıcaklığa bağlı deforme ve yıpranmalara karşı oldukça dirençlidir. Otomotivde Farlar, silecekler, ESP modülü, dişli yuvası, direksiyon açısı sensörü, diğer elektrik bağlantıları, fiber optik kablolar başlıca kullanım yerleridir (İnt.Kyn.5).

Polimetil Metakrilat (PMMA) yüksek ışık geçirgenliği, uzun ömürlü, havayı geçirmeme, mor ötesi ışınlar ve havaya karşı gösterdiği direnç, aşırı sert oluşu, istenilen renkten üretilmesi, herhangi bir plastik imal yöntemi ile üretilmesi ve %100 geri dönüşümlü olan çok yönlü ve çok kullanışlı bir termoplastiktir. Bu malzeme

otomotivde iç ve dış aydınlatma, gösterge muhafazaları, rüzgârlık ve ayna yuvaları ve yapıda patyo tavanlar, seralar gibi kendine kullanım alanları mevcuttur (İnt.Kyn.5).

Akrilonitril Stiren Akrlat (ASA) stiren ile akrilonitrilin kopolimerizasyon yöntemi sonunda dışardan bu polimer karışıma ilave edilen akrilik elastomer ile elde edilen termoplastik malzemedir. Yüksek tokluk, yüksek sertlik, kimyasal dirence ve termal sabitliğe dayanıklı ve en önemlisi hava koşulları nedeniyle malzemede oluşan sararmaya ve yıpranmaya karşı dayanıklı ve parlak bir malzemedir. Otomobillerde boyanın ve diğer plastik aksamın güneş ışınlarından zarar görmesini engellemek amacı ile kullanılır.

Bir takım dezavantajlara sahiptir. Bunlar:

- ASA diğer termoplastiklerle birlikte aynı kalıp taeridiğinde oluşan malzemenin mukavemetini düşürür.
- Yandığında dumanı toksiktir.
- Asitlere, ketonlara, solvent bileşiklerin etkilerine karşı dirençli değildir (İnt.Kyn.4).

Polivinil Klorür (PVC) sert, atmosferde en uygun, dış ortama karşı dirençli, kolay işlenen, mekanik özellikleri zayıf, ucuz bir termoplastiktir. Yapıda pencereler, kapılar Otomotivde fitil, silecek, paspas, kablolar, gövde altı kaplaması, iç aksesuar kullanılır (Akkurt 2012).

Poliüretan (PU, PUR) : Aşındırmaya ve darbeye dayanıklı termoplastik malzemedir. Çok yönlü ve geri dönüşümlüdür. Poliüretan köpük olarak yatak ve mobilyalarda sünger, yastık ve diğer yumuşak kısımlarında; Otomotivde direksiyonlarda, tamponlarda, koltuk, iç döşemelerinde yumuşak kısım olarak kullanılır.

Çizelge 2.1’de imalat sanayisinde kullanılan termoplastik malzemelerin teknik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.1** Termoplastik malzemelerin teknik özellikleri.

Malzeme Adı	Piyasa Adı	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (izod,J/m)	Max. Çalışma Sıc. (°C)	Elastisite Modülü (MPa)
PE	Lupulen Hostallen Vstolen	-	25	-	60	900
PP	Novelen	905	33	23	110	1360
PS	Hostyren Vestyren	-	42	23	102	3200
ABS	Toyolac 100	1040	51	20	81	2600
POM	Delrin Hostaform Ultraform	1410	64	6,5	104	2850
PC	Xantar	1190	60	20	80	2700
PET	PET CF	1230	80	40	74	9000
PMT	Sipchem	1310	58,3	26,6	50	2200
PMMA	Plexiglas Acrylglas	1150	38	6,3	90	1700
ASA	ASA Li	1070	47	17	75	2300
PVC	Petvinil	590	25	-	60	2000
PU	Walltite Eco	29	24	-	70	-
PA	Nylon Ultramid	1040	345	Kırılmadı	181	310

#### 2.4.2 Termosetler (Termosettingler)

Termosettingler yoğun çapraz bağ (ağ yapı) içeren 3 boyutlu sert polimerlerdir. Katı hale getirildikten sonra tekrar yumuşatılamazlar ve dolayısıyla başka şekle giremezler (Akkurt 2012).

Termosetler şekillendirilmeden önce viskoz sıvı haldedirler. Bu viskoz sıvı hale reçine denmektedir. Termosetlere bundan ötürü termoset reçine de denmektedir. Reçinenin termoset plastiğe dönüşebilmesi için Ön polimerlerle birlikte çeşitli dolgu malzemelerinin karıştırılıp kalıplama işleminin yapılması gerekir. Ön polimer ise kısmen polimerize edilmiş akma özelliğini koruyan sistemlerdir (Saçak 1998).

Politetrafloraetilen (PTFE, Teflon) birçok özelliği bünyesinde bulunduran termoset bir plastiktir. Havanın kötü şartlarına karşı dirençli, yapışmaz, yüksek sıcaklıklara (250°C'ye) kadar çalışma, yalıtkanlık özelliği iyi olan, sürtünme katsayısı düşük bir malzemedir. Sızdırmazlığın önemli olduğu yerler (contalar, O-ringler vb.), greslerde, rulmanlarda, pompalarda kullanılır (İnt.Kyn.3).

### 2.4.3 Elastomerler

Elastomerler (Kauçuklar), esnek ve elastik malzemelerdir. Çekme ile yüksek oranda uzama gösterirler. Çekme kuvveti kalktığı anda hızla eski haline dönerler. Bu yetenekleri molekül yapılarındaki az miktarda bulunan çapraz bağdan kaynaklanır. Bu çapraz bağlar oluştuktan sonra ısıtıldıklarında erimeleri söz konusu değildir (Saçak 1998). Çizelge 2.2 'de elastomerlerin teknik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Elastomerlerin teknik özellikleri.

Elastomer Malzeme	Sembol	Ticari Adı	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Kullanım Sıc. (°C)
Tabii Kauçuk	NR	-	22	600	-60...60
Fluoroelastomer	RI	Viton	-	-	-30...400
Polycloopen Kauçuk	CR	Chloropen Neopren Buna C	11	400	-30...90
Akrilnitril- Butadien Kauçuk	NBR	Perbunan N	6	450	-20...130
Silikon- Kauçuk	SI	Silastic	1	250	-80...180
Etilen Propilen	EPDM	Kumho KBN	-	-	150
Bütül Kauçuk	IIR	Butyl Polstar	5	23	-30...20

### 2.5 Plastiklerin İmalatı

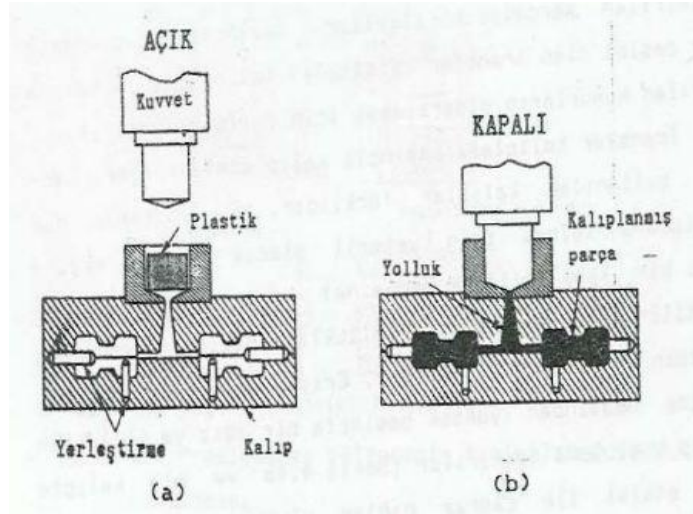
Plastik parça üretim teknikleri metallerin üretiminden ya da sırf bu parçalar için geliştirilmiş özel teknikler kullanılarak üretilmektedir. Plastik parçalar ham mamulden imal edilebildiği gibi hurda malzemelerin karıştırılması ile de yarı mamulden de üretilmektedir. Termoplastik ve diğer plastikler üretimlerinden önce renk, sertleştirici, kıvam arttırıcı gibi özellikleri de ekleyerek imalatlarına başlanırlar (Palin 1971).

#### 2.5.1 Transfer (iletmeli) Kalıplama

Termoset malzemelerin imalinde kullanılır. Mantık olarak basınçlı kalıplama yöntemine benzese de kalıpların kapalı olması, değişik tertibatlar sahip olması ve kalıp tasarımı

farklı olması nedeniyle transfer kalıplama yöntemini basınçlı kalıplama yönteminden ayırır. Çalışma şekli şu şekildedir. Bir kap içine malzeme oluşturacak katalizör ile reçine konur. Bu malzemeler 140°C ile 200°C arası bir sıcaklıkta eritilerek birbiri içerisine karışması sağlanır. Sonra sıvı halde bulan bu ergiyik iletim yolu bulunan kapalı kalıbın içine doğru 40-90 MPa gibi bir basınçla basılır. Ve tamamen dolması sağlanır. Ergiyik katılaşıncaya kadar kalıpta bekler ve sonra kalıptan çıkarılır. Şekil 2.5 'de ise malzemeye uygulanan işlem gösterilmektedir.

Bu yöntemle kalıplanmış malzeme üzerinde artık madde miktarı azalır. Cidar kalınlığı az olan ve detaylı şekilli parçalar imal edilebilir. Kalıbın içerisinde bulunan ergiyik kalıpta bulunan bir ısıtma tertibatı sayesinde kalıbın içerisinde temas ettiği her noktada sıcaklığın sabit tutulması sağlanır. Termoset malzemelerin kalıpta katılma süresi kısadır. Boşluk Sayısı fazla olan parçaların üretilmesi için idealdir. Kullanıldığı yerler: Distribütör kapakları, fiş soketleri, kozmetik şişe kapaklarını üretmek için kullanılır (Yaşar 2001).



Şekil 2.5 İletmeli kalıplama metodunda işlem sırası.

### 2.5.2 Enjeksiyon

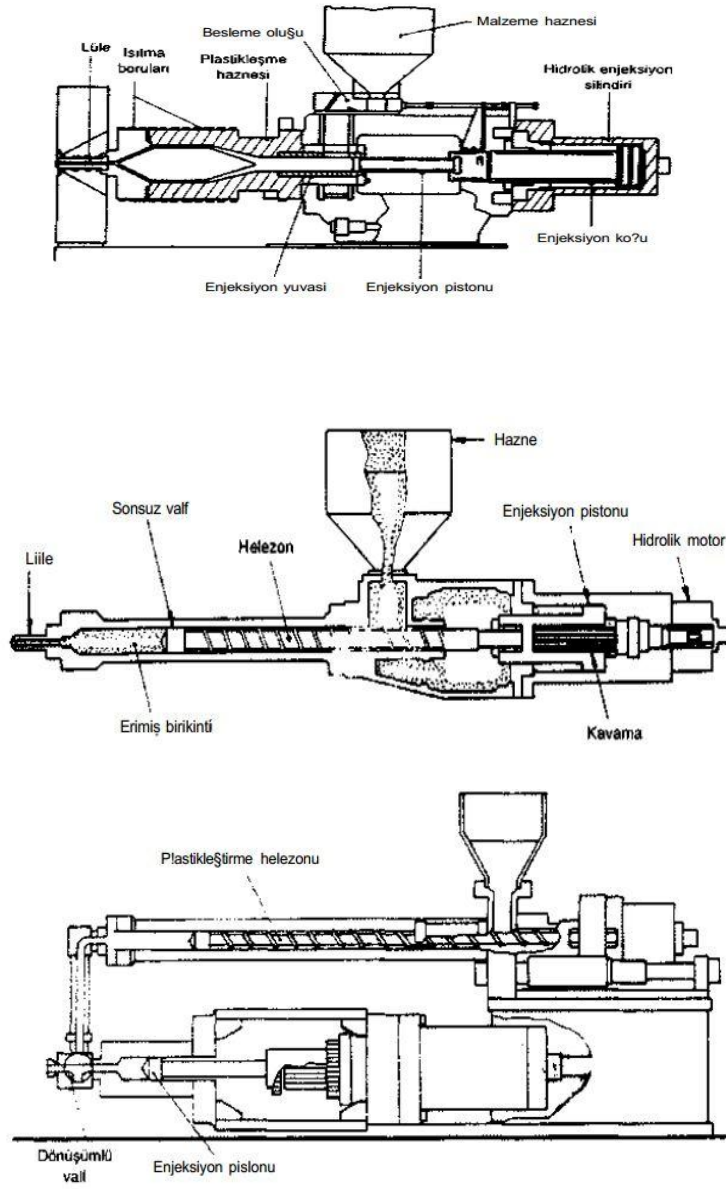
Termoplastların karmaşık şekil ve yüksek boyut kararlılığında bir kalıba enjekte etmek suretiyle parça imalat etme yöntemidir. Seri üretim için uygun bir yöntemdir. 15 gr'dan 23 kg 'ya kadar değişik ebatta parça imal edilebilir. Bu yöntem ile parça üretimi şu

şekilde gerçekleşmektedir. Granül halindeki termoplastlar diğer katkı maddeleri ile bir huni içinde karıştırılırlar. Bu esnada malzeme beslemesinin yapılacağı helezon ile kalıplar orta sıcaklıkta (50-70°C) ısıtılırlar. Bu arada helezon dediğimiz burgu hem ileri -geri hareket etmekte hem de dönme hareketini sağlayarak ergiyik malzemeyi kalıba basıp kalıbın kapalı bir şekilde kalmasını ve kalıba basılan ergiyiğin dışarı kaçmasına engel olmaktadır. Ergiyik malzeme basılacak miktarı kontrol ve tartım yapan bilgisayar tarafından ayarlandıktan sonra helezona verilir. Önceden ısıtılan helezonda malzeme erimeye başlar. Dönme ve ileri hareketle yavaş bir şekilde kalıbın içine basılır. Basma işlemi malzeme kalıbı doldurduktan sonra biter fakat kalıba uygulanan basınç malzeme katılaşıncaya kadar devam eder. Malzeme katılaştıktan sonra helezon geri çekilir, kalıp açılır ve malzeme kalıptan alınır. Burada malzemenin katılma süresi ve kalıba uygulanan basınç tamamen malzemenin özelliğine bağlıdır. Kalıplama esnasında malzeme kaliteli olması için sıcaklığı sürekli olarak kontrol edilmektedir (Anapa 2003).

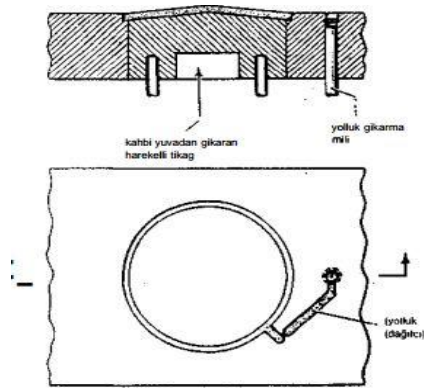
Bu yöntem genelde termoplastlı parça üretiminde kullanılsa da termoset ve elastomerler de malzeme olarak kullanılırlar. Şekil 2.7 'de otomobil hız göstergesi enjeksiyon kalıbı görülmektedir. Şekil 2.6 'da ise plastik enjeksiyon kalıp makinalarından birkaçı görülmektedir

Termoset malzeme makinede kullanılacak olursa birkaç ufak değişikliğin yapılması gerekmektedir. Termoset malzemeler kalıba döküldüklerinde hızlı bir şekilde katılırlar. Bunu engellemek için karışımın yapıldığı huni belli bir sıcaklıkta ısıtılır ve ayrıyeten helezon içi de biraz daha fazla ısıtılır. Arkasından helezon yapısı ise daha farklı bir tasarıma sahiptir. Helezonun içinden geçen termoset tam kalıp ağzına geldiğinde yanmaması için ise helezonun uç kısmı bir su ceketini vasıtasıyla soğutulmalıdır. Plastik malzeme olarak: ABS, PA, PC, Asetal, PE, gibi malzemeler kullanılır (Composites Turkey 2014, Anapa 2003).





Şekil 2.6 Enjeksiyon kalıplamada kullanılan bazı makinalar.

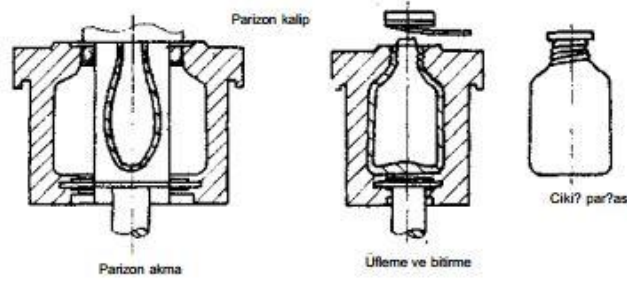


Şekil 2.7 Otomobil hız göstergesi enjeksiyon kalıbı.

### 2.5.3 Enjeksiyon ile Şişirme

Termoplastik malzemedен kap-kaçak, leğen, şişe vb. ürünleri üretmek için kullanılan bir yöntemdir. Şekil 2.8’ de otomobil radyatör su haznesi şişe üretimi gösterilmektedir. Yöntem şu şekilde gerçekleşmektedir:

Şişe ve ya herhangi bir kap için yapılan kalıbın içerisine altı kapalı bir tüp sallanır. Ergiyik halde bulunan malzeme bu tüp içerisinden kalıbın alt kısmına değmeyecek şekilde akıtılır. Daha sonra basınçlı hava ya da buhar basıncı ile şişirilerek kalıbın yüzeyine yapışması sağlanır. Böylece içi boş ve istenilen kalınlıkta parça imal edilmiş olunur (Yaşar 2001).



Şekil 2.8 Enjeksiyon şişirme ile otomobil radyatör su haznesi yapımı.

### 2.5.4 Basınçlı Kalıplama

Bu yöntem erkek ve dişi kalıpların belirli bir basınç ve sabit sıcaklık altında ısıtma ve soğutma işlemleri yapılarak polimerden düzgün bir şekil oluşturmaya yarayan bir yöntemdir. Bu yöntemde parça üretmek için kullanılan makinada farklı tiplerde sıkma aparatları mevcuttur. Makinanın kalıpları plastik malzemenin yapışmasını önleyecek şekilde iyi işlenmeli ve sert krom ile kaplanmalıdır. Şekillendirilecek parça makina tasarım kurallarına uygun olmalıdır. Örnek olarak keskin köşeler yerine yuvarlatılmış köşeler, kalıba 1-2° derecelik koniklik verilmesi, parça dayanımını arttıracak feder ya da kaburga eklenmesi gibi. Malzeme kalıba dökülmeden önce büzülme miktarı hesaplanmalı ve ona göre ergiyik malzeme ilave edilmelidir. Ayrıyeten de ergiyik malzemenin soğurken ortaya çıkan buhar ve dumanın malzemenin yapısında kabarcık

oluşturmaması için de kalıba gazların atılacağı tahliye delikleri yapılmalıdır (Yaşar 2001).

Basıncılı kalıplama metodunda kullanılan 3 farklı kalıp tipi Şekil 2.9 'da gösterilmiştir. Bunlar;

1-Boşaltmalı

2-Pozitif

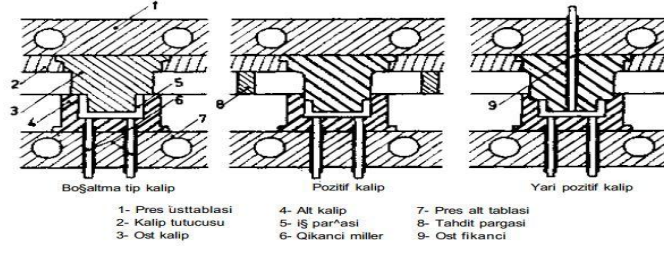
3-Yarı pozitif kalıplardır.

Boşaltmalı kalıplar ince et kalınlığına sahip sade parçaların imalinde kullanılmaktadır. Bu tür kalıpla üretim esnasında artık madde miktarı çok fazla olmaktadır. Bunu engellemek için ise her üretimi yapılan parçadan sonra kalıp güzel bir şekilde temizlenmelidir (Yaşar 2001, Anapa 2015).

Pozitif kalıplar karmaşık, derinliği fazla ve yüksek konsantrasyonlu parçalar imal edilebilmektedir. Bu kalıp türünün diğerlerinden farkı erkek ve dişi kalıpların birbiri içerisine geçmeli oluşudur. Bu da fazla malzemeyi sıyırıp almayı sağlandığından artık madde oluşumu engellemiş olur.

Yarı pozitif kalıplar pozitif kalıpla boşaltmalı kalıbın arasındaki bir kalıp çeşididir. Genellikle büyük ölçekli parçaların üretiminde kullanılır.

Plastik ergiyik malzemenin kalıplanması şu şekilde olur. Şekil verilecek parça kalıba ya direk olarak ya da önceden disk vb bir şekil verilmiş bir biçimde konur. Arkasından malzemenin özelliklerine, katılma süresine ve kalıplanma sıcaklığına bağlı olarak parçaya 150-400 kgf/cm<sup>2</sup> değerleri arasında basınç uygulanır. Malzeme kalıpta 135-200°C'de 1-5 dk. arasında katılması için bekletilir. Son olarak parça kalıbın konik oluşundan dolayı kolayca kalıptan çıkarılır (Yaşar 2001, Kayhan 2015, Anapa 2003).



Şekil 2.9 Basınçlı kalıplamada kullanılan kalıp türleri.

### 2.5.5 Döner Kalıplama

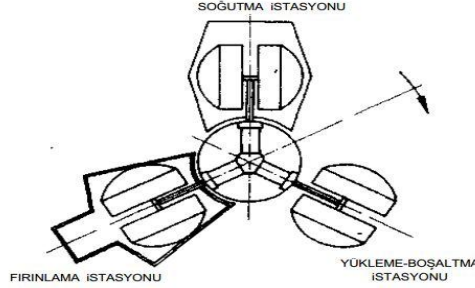
İmalatı yapılacak olan parçanın eksiz, sağlam, içi boş ve tasarlanan büyüklüklerde yapılmasını sağlamak için kullanılan bir yöntemdir. Şekil 2.10 'da döner kalıplama makinasının üstten görünüşü görülmektedir. Temel olarak bu yöntem şu şekilde çalışmaktadır. Eritilecek malzeme granül halinde bir kapa alınır. Eğer içine katkıları konulacaksa konur ve kap kendi ekseninde döndürülmesine başlanır. Bir taraftan da kap ısıtılmaktadır. Döndürülmenin etkisi ile malzeme homojen bir şekilde kalıbın şeklini alır. Son olarak da parçanın kalıptan çıkarılabilmesi için kalıp soğutulur ve parça çıkarılır. Bu makinalarda en az 3 kalıp bulunur. İlk kalıp malzemenin yüklendiği, ikincisi ısıtıldığı ve üçüncüsünün ise soğutma ve boşaltma işlemlerini yapıldığı yerdir.

İstenen yüzey özelliklerine sahip parçanın üretilebilmesi için maliyeti ve işlemesi kolay olan alüminyum kalıplar kullanılmaktadır. Bu yöntemle orta ve büyük ölçekli parçalar imal edilebilmektedir. Malzeme olarak da sıcaklığa dayanıklı plastiklerin yanında çapraz ve dallanmalı yapı oluşturan PE ve türevleri ile termoset malzemeler kullanılmaktadır üretilir (Yaşar 2001).

Döner kalıplama yönteminin kullanılmasındaki ayrıcalıklar ise şunlardır:

- Sınırsız kombinasyonda malzeme üretilmesi
- Üretilen parçanın darbeye dayanıklı olabilmesi için birkaç katlı olması gerekmektedir.
- Çift katlı parçalar üretilebilir.
- Artık malzeme oluşumu azdır.

Otomotivde gösterge paneli, tekne depoları, kamp araçları vb parçalar üretilir (Yaşar 2001, Kayhan 2015).



Şekil 2.10 Döner kalıplama üstten görünüş.

### 2.5.6 Ekstrüzyon

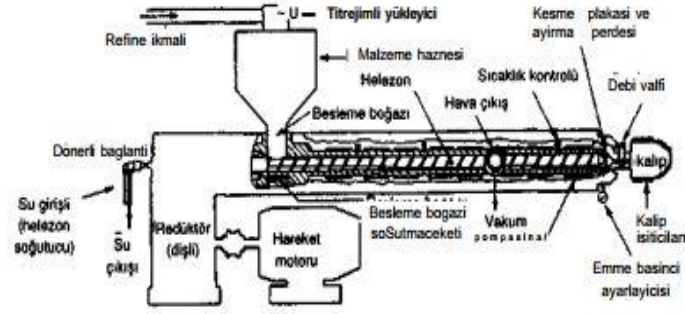
Üretilcek parçanın malzemesi akışkan hala getirilip belli bir basınç uygulanarak şekil verilmiş bir kalıptan geçirilerek çubuk, boru, profil, lama vb. şekillerin parçaya verilme işlemidir (Yaşar 2001, Palin 1971).

Bu yöntem PVC, PP, PS, PA, termoset polyester ve sülfan gibi plastik malzemelerden parça üretilecek ise kullanılır. Ekstrüzyon yöntemi Şekil 2.11'deki makina ile yapılır. Ekstrüzyon makinasının parçaları şu şekildedir (Yaşar 2001).

- 1-Granül halindeki malzeme ile diğer katkıların konulduğu huni
- 2-Malzemenin erimesini sağlayacak ısıtma aparatı
- 3-Ergiyik haldeki malzemeyi kalıptan dışarıya atacak helezon (burgu)
- 4-Malzemenin istenen şekilde olmasını sağlayacak kalıp
- 5-Erimiş malzemeyi helezon vasıtası ile kalıba yollarken aşırı sıcaklıktan bozulmasını engelleyecek su ceketini (Anapa 2003).

Ekstrüzyon çalışma prensibinde önce granül haldeki plastik malzeme katılacaksa diğer katkılarla birlikte huniye konur. Daha sonra huni içerisindeki bu malzeme elektrik bir ısıtıcı ile yumuşayana kadar ısıtılır. Yumuşamış olan bu malzeme helezona gönderilir. Helezonda malzemeyi dönerek kalıbın ucuna doğru sıkıştırır ve dışarıya doğru istenilen

parça olarak çıkmasını sağlar. Parça bu halde iken bir miktar yumuşaktır. Katılaşması için kalıptan sonra hava jeti ya da buhar verilerek parçanın kurutulması sağlanır (Yaşar 2001, Palin 1971, Compozites Turkey 2014, Anapa 2003).



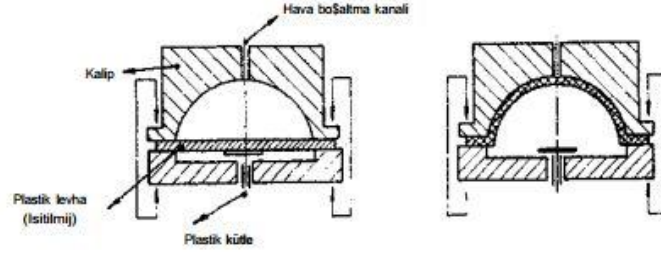
Şekil 2.2 Ekstrüzyon üretim yapan makinenin temsili görünüşü (Yaşar 2001).

### 2.5.7 Basınçta Isı İle Birleştirme (Vakum İle Şekillendirme)

Bu yöntem belli termosetlerin ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar getirilerek bir kalıba hava basıncı ya da vakumu yardımıyla şekil aldırılmasıdır. Bu yöntemde kalıplar alüminyumdan yapılmaktadır. Bu kalıplar sıcaklığın parça üzerindeki olumsuz etkisini önlemek için içinden soğuk su dolandırılır. Kullanılan başlıca plastikler ise şunlardır: PMMA, PS, PVC, ABS, CA ve PS' dir (Yaşar 2001).

Yöntem daha çok levha halindeki plastiklere uygulanmaktadır. Kalıplama yapılacağı zaman kullanılacak plastiğin ergime sıcaklığı, ısıl direnci, mukavemeti, darbe, neme ve aşınmaya karşı dayanımı gibi mekanik özelliklerinin yanında iç yapısının özellikleri de önem arz etmektedir (Saçak 2006).

Genel itibari ile yukarıda saydığımız bu özelliklerin büyük bir çoğunluğunu karşılayan plastik ise PS' dir. Basınçta ısı ile birleştirme yönteminde Şekil 2.12 'de ki gibi yiyecek içecek kapları, buzdolabı iç zarfları, otomobil tampon parçaları vb. parçalar üretilmektedir (Yaşar 2001, Saçak 2006).



Şekil 2.12 Vakum ile şekillendirme.

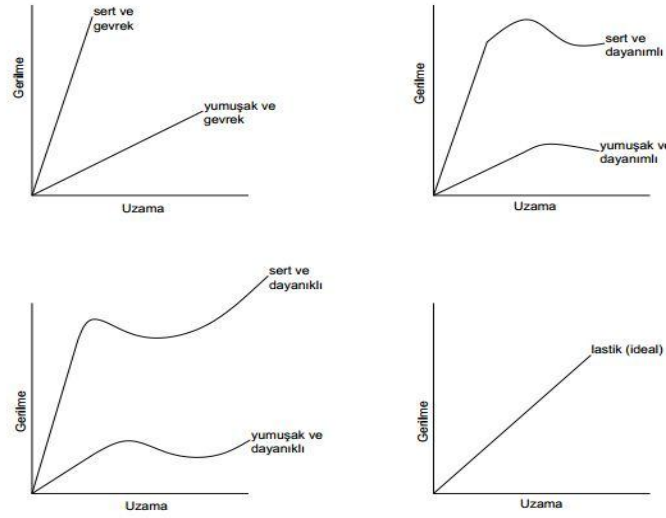
## 2.6 Plastiklerin Mekanik Özellikleri

Plastiklerin birçok türü bulunmaktadır. Buna bağlı olarak mekanik özellikleri geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. Bazı plastiklerin dayanımı, aşınma karakteristiği ve sertlik gibi özellikleri metallere yaklaşırken ya da geçerken, çoğu durumda metallerin özelliklerinin altındadır (Yaşar 2001).

Plastikler çevre şartlarına ve ısıya karşı oldukça duyarlı bir yapıya sahiptirler. Bunun yanında çeşitliliklerinin fazla oluşu çekme, basma, darbe direnci gibi parametreleri test edilmek istendiğinde büyük güçlükler yaratır. Buna ek olarak testlerdeki zaman faktöründe testin daha da karmaşık bir hal içine girmesine sebep olur (Arıcıoğlu vd. 2000).

### 2.6.1 Çekme Dayanımı

Polimer malzemelerin çekme dayanımları  $350 \text{ kg/cm}^2$ - $710 \text{ kg/cm}^2$  değerleri arasında bulunmaktadır. Bunun yanında malzemeye çekme gerilmesi uygulandığında boyunda meydana gelen uzamada dikkat edilmesi gereken başka bir husustur. Örneğin PE çekme kuvvetine maruz kaldığında kendi boyunun 5 katına kadar uzayabilmektedir. Doğal lastikte ise bu durum 3-4 kat arasında değişir (Akkurt 2012).



**Şekil 2.13** Plastiklerin gerilme-yer değiştirme grafiği.

Plastikler için en önemli grafik Şekil 2.13 'teki belli bir yük altında iken uzama miktarını gösterendir. Bu grafik diğer plastik malzemelerin karşılaştırılması hususunda çok değerlidir. Eğer bu plastikler konstruksiyonda kullanılacaksa grafiğe zaman ve sıcaklık faktörleri de eklenmelidir.

### 2.6.2 Çeki Gerilmesi

Bir konstruksiyona sahip çubuğun belli bir A kesit alanında, F kuvveti ile çekilirse çubukta çeki gerilmesi oluşur. Formülü ise:

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

$\sigma$ = Çeki Gerilmesi (N/mm<sup>2</sup>)

A= Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)

F= Çeki Kuvveti (N)

### 2.6.3 Yer değiştirme (Uzama)

Bir konstruksiyonda A kesit alanına sahip bir çubuk F kuvveti ile çekilirken boyunda bir uzama meydana gelir. Bu uzamaya yer değiştirme (uzama) denir. Formülü:



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

$\varepsilon$  = Yer değiştirme

L= Çubuğun son boyu (mm)

L<sub>0</sub>= Çubuğun ilk boyu (mm)

$\Delta L = L - L_0$ : Boyda meydana gelen toplam değişiklik (mm)

şekil 2.14 'te belirtilen grafikte gevrek, sünek, kırılğan ifadelerini detaylı bir şekilde tanımlamak gerekir.

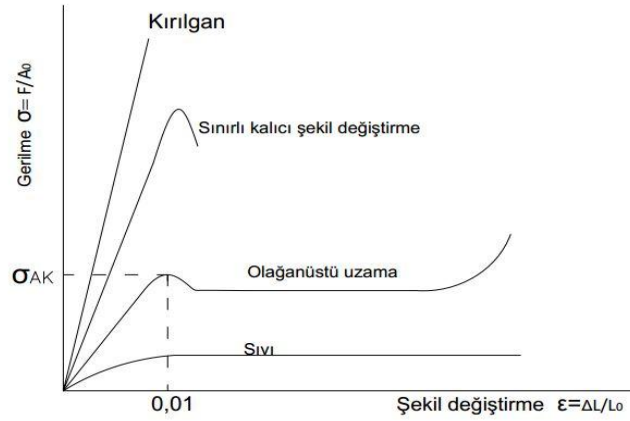
Plastik malzemelerin gerilme- yer değiştirme grafiklerinde sıcaklık faktörünün büyük bir etkisi olduğunu ifade etmiştik. Bu sıcaklık değeri camsı geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>) olarak ifade edilmektedir. Camsı geçiş sıcaklığı malzemeye verilen ısının malzeme yapısındaki zincirleri harekete geçirme sıcaklığıdır. Bu sıcaklık malzemeye elastikiyet özelliği kazandırmakta ve polimer malzemeyi kauçuk kıvamına getirmektedir. Camsı geçiş sıcaklık değerleri ile ilgili olarak aşağıdaki listedeki durumlar ortaya çıkmaktadır (İnt.Kyn.7).

T  $\ll$  T<sub>g</sub> ise malzeme kırılğan,

T  $\approx$  0,8T<sub>g</sub> ise malzeme sınırlı yer değiştirir ve sünektir.

T  $\approx$  T<sub>g</sub> ise malzeme aşırı yer değiştirir ve sünektir.

T  $\gg$  T<sub>g</sub> ise malzeme sıvı haldedir. Konstrüksiyonda kullanılamaz



Şekil 2.14 Plastiklerin detaylı gerilme-yer değiştirme grafiği (Akkurt 2012, Rende 1996).

### 2.6.4 Elastisite Modülü

Şekil 2.14'teki grafikte  $\sigma$  ile  $\varepsilon$ 'nin tanjantı grafiğin eğimini vermektedir. Bu eğime de Elastisite Modülü ya da Young Modülü de denir. Şu şekilde gösterilir:

$$E = \tan \theta = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

Bu denklem şu şekilde yazıldığında ise:

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (2.4)$$

Bu denkleme Hook Kanunu denir. Birim uzama ( $\varepsilon$ ) boyutsuzdur. ( $\sigma$ ) değerinin ise da birimi  $\text{kg/cm}^2$ 'dir. Böylece elastisite (E) modülünün birimi de  $\text{kg/cm}^2$  (kPa) olur (Pakdemirli vd. 1973).

### 2.7 Darbe Testleri

Eğilme, çekme ve burulma kuvvetleri altında ani yük ve hıza maruz kalan malzemenin davranışlarını belirlemek için darbe testleri yapılmaktadır (İnt.Kyn.16). Plastik malzemeler darbe yükü altında davranışlarını sınıflandırmak için sarkaç, düşürmeli ve yüksek hızlı darbe test cihazları kullanılmaktadır (İnt.Kyn.15).

### **2.7.1 Darbe Direnci**

Darbe direnci iki cismin birbirlerine karşılıklı olarak uyguladıkları şok ya da darbe kuvvetlerine karşı gösterdikleri dirençtir. Bu direnç polimerin dayanımını vermektedir. Darbe direnci bir polimerin ani ve şok yüklere maruz kaldığında plastik şekil değiştirme yapmama özelliğine bağlı bir parametredir. Buna mukabil darbenin ön hızına eşit olması şartı ile gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alan darbe direncinin değerini vermektedir. Bu değer test parçasının kırılması için yapılan işe eşittir. Bu sebeple birden fazla sayıda darbe test tekniği bulunmaktadır.

### **2.7.2 Yüksek Hızlı Gerilme Testi**

Yüksek hızlı gerilme testi sarkaç tipi gerilme testinden görülen olumsuzluklar üzerine geliştirilmiştir. Bu testler 3 km/h (20 in/dk) gibi yüksek hızlarda ağırlık düşürme testlerinden daha iyi sonuç vermektedir. Gerilme-Yer değiştirme grafiğinin altındaki alan darbe direncinin oluşturduğu işin değerini vermektedir. Grafiğin altında kalan alan ne kadar büyük ise hız da bir o kadar büyüktür. Çekme dayanımı hız arttıkça artar fakat yer değiştirme (uzama) ise hızla ters orantılı olarak azalır (Arıcıoğlu vd. 2000).

### **2.7.3 Aletli Darbe Testi**

Geleneksel darbe test cihazlarında sadece darbe direnci ölçülür. Bu darbe direncinin ne zaman başladığı ne zaman bittiği, tokluk, malzemedeki oluşan çatlakların evrelerini ve malzemenin darbe anındaki davranışını göstermez. Bunun için ağırlık düşürme ve Charpy test düzeneklerine; darbenin olduğu kısımlarına ise de strainageler, test numunesine fiber optik cihazlar bağlanır. Oluşturulan test düzeneği Osiloskoplara da irtibatlandırılır. Bu sayede test süresince yük-zaman grafik çıktısı ve diğer birçok veri gelişen teknoloji sayesinde elde edilir (Arıcıoğlu vd. 2000).

### **2.7.4 Yüksek Hızlı Darbe Testleri**

Plastik sektöründeki gelişmelere ve kullanım alanlarına paralel olarak yüksek hızlı darbe testlerine ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle otomotiv sanayisinin isteklerine

geleneksel yöntemler cevap verememektedirler. Polimerik malzemeler için önemli olan yük-uzama eğrileri ile toplam enerji absorpsiyonu gibi bilgiler 0,01 m/s ile 237,5 m/s arasındaki hızlarda elde edilebilmektedir. Otomotiv sektöründe kullanılacak bir testin hız standardı 45 km/h olmak zorundadır (Shah 2007).

### **2.7.5 Kombine Darbe Testi (ACIT)**

ACIT açılımı Air Cannon Impact Test'tir. Yani hava topu darbe testidir. Bu test ASTM D 3763-02, ISO 6603-2 standartları kullanılarak yapılır. Test şu şekilde yapılır: Test edilecek parça hava topunun karşısına konur. Hava topu hava ile dolu bir tanktan ani hava boşaltılması mantığına göre çalışmaktadır. Test düzeneğinde hava topu malzemesi olarak küresel bilyalar namlunun içine konmaktadır. Bilyalar rijit malzemedir ya da herhangi bir polimerden yapılmış olabilirler. Test düzeneğinin hızı hava basıncının ayarlanması ile değiştirilebilmektedir (Shah 2007, Arıcioglu vd. 2000).

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Bu çalışmada PP ve EPDM katkılı 4 farklı aracın ön tamponundan 100x100 mm ölçülerinde dikdörtgen şekilli numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin boyutları ASTM 3763-02’de bahsedildiği üzere hazırlanmıştır. Fakat WSCPA’ nın da yapmış olduğu yüksek hızlı darbe testleri ile birlikte diğer yapılan çalışmalarda da standart bir numune ölçüsüne rastlamak mümkün değildir. Darbe deneylerinde Instron-Dynatup 9250 HV darbe test cihazı kullanılarak darbe dayanımları test edilmiştir. Ayrıca malzemelerin sertlikleri ve çekme mukavemetleri de test edilmiştir. Bu testte malzemelerin anlık olarak kuvvet-zaman, gerilme-yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir.

##### 3.1.1 Darbe Test Cihazı



**Resim 3.1** Instron-Dynatup 9250 HV darbe dayanım test cihazı.

Deneyde Instron-Dynatup 9250 HV tipi darbe cihazı kullanılmıştır. Cihaz Resim 3.1’ de gösterilmiştir. Cihazın temel olarak; serbest yüksekte ağırlık düşürme prensibine göre

çalışan anlık 1000 ve üzeri değer okuyabilen, sistem kontrollü olan ve test sırasında aldığı verileri anlamlı tablo ve grafiklere dönüştüren bir cihazdır. Deney cihazının çalışma sistemi şu şekildedir:

Deney cihazı darbe esnasında oluşan sinyalleri impulsa dönüştüren bir şartlandırıcısı, şartlandırıcıdan elde ettiği impulsları toplayan bir veri toplama kartına ve bu topladığı verileri anlamlı tablolara, grafiklere ve hesaplamalara dönüştüren yazılıma sahiptir. Bu yazılımda malzemenin üzerine oluşturulacak darbenin hızı, enerjisi ve yüksekliği gibi parametreler istenildiği şekilde ayarlanabilmektedir (Sayer 2009).

Cihaz darbe için ekstradan bir uygulayacağı bir kuvvet istendiğinde bunu üzerindeki yaylar vasıtası ile gerçekleştirebilmektedir. Yaylar darbe cihazına ekstradan 2,6 ile 826 Joule arasında bir enerji verebilmektedir. Ayrıca sisteme ek ağırlıklarda ilave edilerek toplamda 1603 Joule'lük bir enerji elde edilebilmektedir (Sayer 2009).

Cihazda yay desteği olmadan ağırlığın düşebileceği maksimum yükseklik 1,25 m'dir. Yay devreye girer ise simüle ettiği yükseklik 20,4 m'ye kadar çıkmaktadır. Sistemin yay enerjisini kullanmadan çıkabileceği maksimum hız 5 m/s'dir. Yay enerjisi kullanıldığında ise bu hız 20 m/s hıza kadar çıkabilmektedir. Bu hıza çıktığında cihazda meydana gelen titreme malzemeye uygulanan darbe şiddetinin az da olsa etkilenmesine sebep olmaktadır.

Cihazın altında bulunan çevresel kabin denenecek malzemenin belirli ortam şartlarında yapılmasına olanak sağlar. Çevresel kabin  $-51^{\circ}\text{C}$  ile  $177^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklıklarda herhangi bir ortam oluşturabilmektedir. Eksi değerli sıcaklıklar sıvı nitrojen ile oluşturulmaktadır. Darbeyi oluşturan ana parça olan vurucu uç ağırlık kutusunun altında bulunur ve numuneye maksimum 15,569 kN' luk bir kuvvet uygulayabilmektedir. Bu uç darbe esnasında oluşan sinyalleri impuls şartlandırıcısına oradan veri toplama kartı ve en sonunda özel yazılıma sahip bilgisayara yollar. Hız da fotoelektronik bir diyot vasıtası ile ölçülür. Deney cihazında oluşturulan darbenin tekrar etmesini önlemek ve cihazın maksimum hıza ve Joule ulaşan değerlerden dolayı zarar görmesini engelleyecek bir fren sistemi de mevcuttur (Sayer 2009).

### 3.1.2 Shoremetre (Shore D)

Shoremetre Resim 3.2 'de gösterildiği üzere kauçuk, sert plastik, termoplastik, lastik vb. viskos malzemelerin sertliğini ölçmede kullanılan bir deney cihazıdır. Shore sertlik standardı ASTM D 2240'tır. Shore sertlik standardı kendi içerisinde 5 farklı gruba ayrılır. Bunlar:

Shore A: Yumuşak kauçuklar, elastomerler ve doğal kauçuklar

Shore D: Sert elastomerler, plastikler ve katı termoplastikler

Shore 0: Yumuşak elastomerler ve tekstil malzemeleri

Shore 00: Sünger,köpük, ve gözenekli kauçuk malzemeler

Shore C: Orta sertlikteki elastomerler (İnt.Kyn.12).



**Resim 3.2** Shoremetre.

### 3.1.3 Çekme Deney Cihazı

Deneyde SHMADZU AGS-J 10 kN tipi çekme deneyi cihazı kullanılmıştır. Çekme deneyi, malzemelerin çekme mukavemetleri ile kopma uzama değerlerini elde etmek için yapılmaktadır. Resim 3.3' te görüldüğü üzere cihazda 1 adet hareketli bir çene ve diğeri sabit çene olmak üzere iki çene, kuvveti ve hızı ölçen load cell ve load cellden gelen verileri işleyip grafikleri oluşturan bir bilgisayar bulunmaktadır. Sistem şu şekilde çalışmaktadır:



**Resim 3.3** Çekme deney cihazı.

İlk önce deney numunesi iki çenenin arasına tam ortalayacak şekilde yerleştirilir. Daha sonra çenelerde bulunan ve birbiri ile ters yönde sıkma yapan somunlarla malzeme zarar görmeyecek şekilde sıkılır. İşlem tamamlandıktan sonra bilgisayardan çekme hızı mm/dk olacak şekilde ayarlanır. Cihaz malzeme bağlandıktan sonra program ile sıfır noktasına kalibre edilir. Program çalıştırılır. Çene malzemeyi çektikçe bilgisayar ekranında grafiğe anlık olarak değerler işlenir.

### 3.2. Numunelerin Hazırlanması

Deneyde kullanılan malzemeler ile kalınlıklarını gösteren Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1** Malzemelerin kalınlık gösterimi.

Deney Numunesi	F Aracı	H Aracı	R Aracı	T Aracı
Kalınlık (mm)	3	3	4	4

Darbe testlerinde kullanılacak olan malzemeler 100x100 mm ölçülerinde olacak şekilde kıl testere ile kesildi. Her araç tipinden 3’er adet farklı hızlarda deneyler yapılmıştır. Çekme ve sertlik için ise ayrı ayrı testlere tabi tutuldu. Araçların tampon malzemesi PP+EPDM olduğu tamponların üzerindeki açıklayıcı kısaltmalardan tespit edilmiş olup Çizelge 3.2’ de ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır. Deney numunelerinin sertlikleri



Shore A'ya göre tespit edildikten sonra Shore sertlik dönüştürme tablosu aracılığı ile Shore D'ye çevrilmiştir.

**Çizelge 3.2** Deneyde kullanılan ön tampon malzemelerinin özellikleri.

<b>Malzeme</b>	<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Elastisite Modülü (MPa)</b>	<b>Kopma Mukavemeti (MPa)</b>	<b>Sertlik Shore A</b>
<b>EPDM</b>	1,4	300	-	5	70
<b>PP</b>	0,9	6	1325	34	-

## 4.BULGULAR

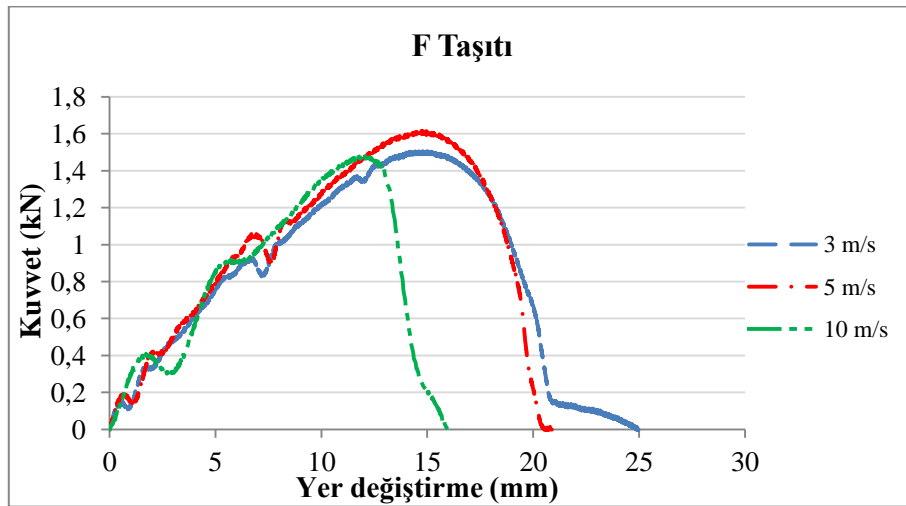
Dört farklı araca ait olan polimer malzemelerin darbe testleri 3 m/s, 5 m/s ve 10 m/s hızlarda yapılmıştır. Bu hızlardaki kuvvet-yer değiştirme, hız- zaman ve absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafikleri incelenmiştir. Deneylerin tamamı 25°C sıcaklıkta yapılmıştır.

### 4.1 Kuvvet-Yer değiştirme Grafiklerinin İncelenmesi

Malzemenin kuvvete karşı oluşturduğu direnç malzemenin rijitliği hakkında bilgi verir. Düşük kuvvetler de darbe enerjisi düşük ve grafiklerdeki eğrilerin altındaki alanlar dardır. Darbe enerjisi artmaya başladıkça buna bağlı olarak kuvvet ile yer değiştirme miktarları da artmaktadır. Kuvvet-Yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan malzemeye uygulanan darbe enerjisinin sönüm miktarına eşittir.

#### 4.1.1 F Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Kuvvet-Yer değiştirme Grafiği

Şekil 4.1 'teki grafikte üç ayrı durum oluşmuştur. İlkinde sınırlı bir şekilde hasar oluşmuş, ikincisinde kısmi hasar ve üçüncüsünde ise tam hasar meydana gelmiştir.



Şekil 4.1 F marka taşıta ait ön tamponu kuvvet-yer değiştirme grafiği.

Geri sekmede numune üzerine artan bir şekilde kuvvet uygulanmaktadır. Sonra kuvvet birden sıfıra yaklaşmış ve arkasından açılı bir seyir ile sıfır noktasına ulaşmıştır. Belli

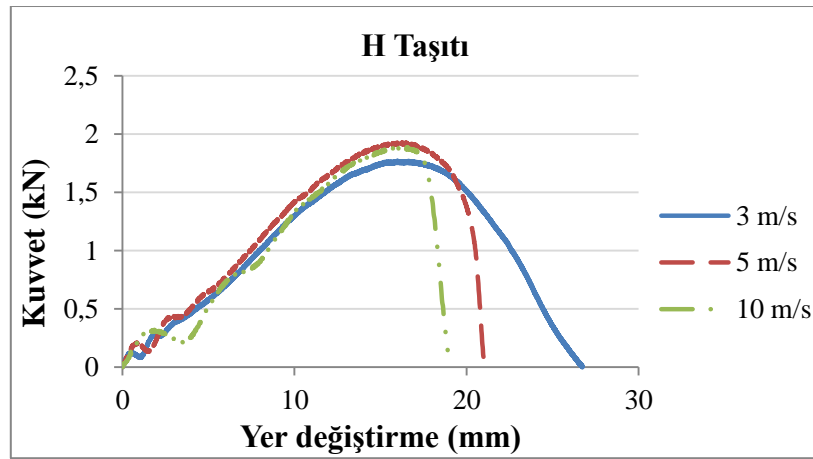
bir noktadan sonra vurucu uç malzemeye gömülmüş ve arkasından belli bir miktar daha uzayıp delici ucun geri sektiği görülmüştür.

Saplanmada ise malzeme gene kuvvet ile doğru orantılı olarak uzadığı fakat ondan sonra malzemeye saplanmış halde sıfır noktasına inmesine neden olduğu düşünülmektedir.

10 m/s' lik hızlarda ise malzeme kademeli zorlandığı fakat diğer hızlardaki gibi bir eğri izlemeden düşük bir kuvvet ile delindiği gözlemlenmiştir. Bu esnada malzeme şekil değişikliğinin gerçekleşmediği ve ani olarak kırıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.1.2 H Marka Taşıtaın Ön Tamponuna Ait Kuvvet- Yer değiştirme Grafiği

H marka taşıta ait numunelerin deneylerinden elde edilen grafikler incelendiğinde düşük hızlarda daha iyi enerji absorbe edilebildiği sonucuna ulaşılabilir. Darbe hızları arttırıldığında ise numunelerde delinme hasarının olduğu gözlemlendi. Bunun sonucu olarak test edilen numuneler yeteri kadar darbe enerjisi absorbe edemedikleri tespit edildi.

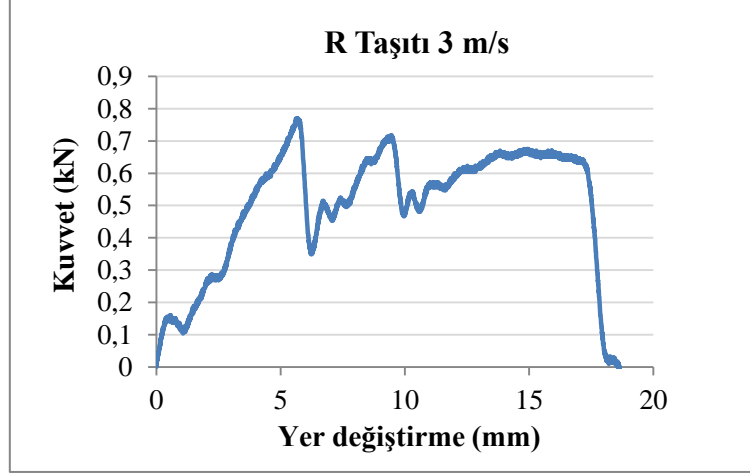


şekil 4.2 H taşıtaın ön tamponuna ait kuvvet-yer değiştirme grafiği.

şekil 4.2 'de ki grafikte ise numune 3 m/s hızla üzerine uygulanan kuvveti tam anlamı ile sönümlenmiştir. 5 m/s hızla denendiğinde ise numune son anda delinmiştir. 10 m/s' hızda ise malzemede vurucu uç malzemeye düzgün kesitli delik açmıştır.

#### 4.1.3 R Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Kuvvet-Yer değiştirme Grafiği

Şekil 4.3'te malzemeye 9,33 J'lük bir enerji uygulanmıştır. Bunun sonucunda malzemeye uygulanan darbe enerjisinin oluşturduğu kuvvet ise 0,77 kN olmuştur.

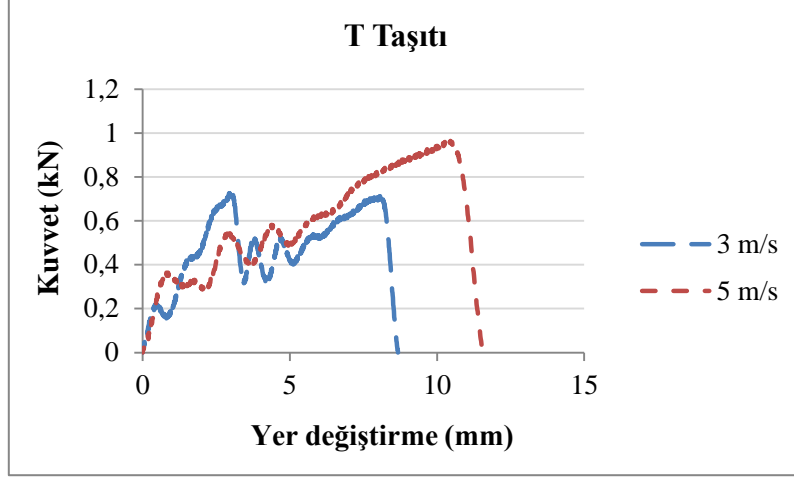


Şekil 4.3 R marka taşıtın kuvvet-yer değiştirme grafiği.

Oluşan kuvvetin meydana getirmiş olduğu yer değiştirme miktarı ise 5,61 mm olarak ölçülmüştür. R aracının tampon test numunesi araç üstü parçadan alındığı için tam düz değildir. Bu sebeple sonuçlarda farklılığın meydana gelmesi doğaldır.

#### 4.1.4 T Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Kuvvet-Yer değiştirme Grafiği

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere tampon malzemesine 3 m/s ile 5 m/s olmak üzere 2 farklı hızda sırayla 4,1 ile 6,7 J enerji ile vurucu ucun çarpması sağlanmıştır. Numunelere uygulana bu enerjiler sıra ile 0,73 ile 0,94 kN kuvvet oluşturmuşlardır. Oluşan bu kuvvetler sırasıyla 8,67 ile 11,57 mm yer değiştirmesine neden olduğu görülmüştür.

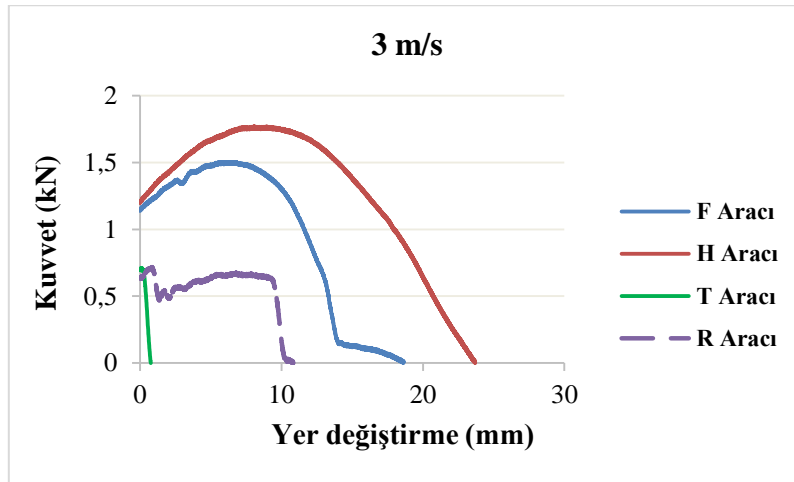


Şekil 4.4 T taşına ait ön tamponu kuvvet-yer değiştirme grafiği.

#### 4.1.5 Taşıtlara Ait Kuvvet-Yer değiştirme Grafiklerinin İncelenmesi

##### 4.1.5.1 3 m/s hızda yapılan deneylerin kuvvet-yer değiştirme grafiklerinin incelenmesi

Şekil 4.5'deki ölçümler vurucu uç malzemeye dokunduğu andaki kuvvetler baz alınmıştır. Darbe enerjisinin oluşturduğu kuvveti sönümleyerek uzayan deney numuneleri sırayla H taşıtı, F taşıtı, R taşıtı ve T taşıtıdır.

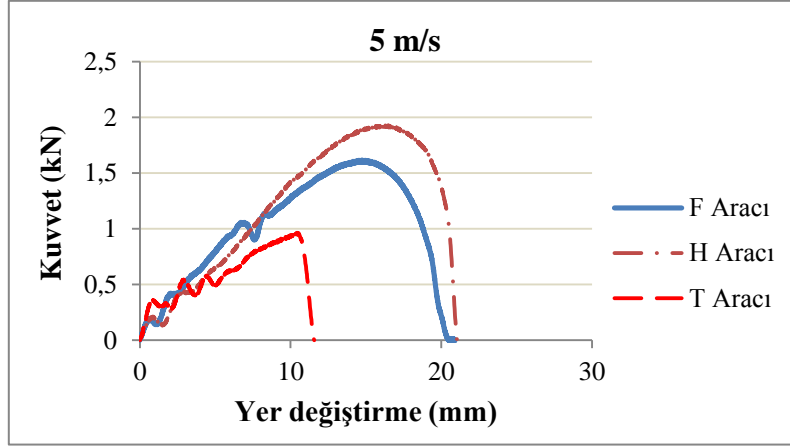


Şekil 4.5 Teste tabi tutulan taşıtların 3 m/s hızdaki kuvvet – yer değiştirme grafiği.

Yer değiştirme miktarları ise sırayla 26,73 mm, 20,47 mm, 18,56 mm ve 8,67 mm'dir. Sadece H taşıtı 3 m/s hızdaki kuvveti tam olarak sönümlemiştir.

#### 4.5.2.2 5 m/s hızda yapılan deneylerin kuvvet-yer değiştirme grafiğinin incelenmesi

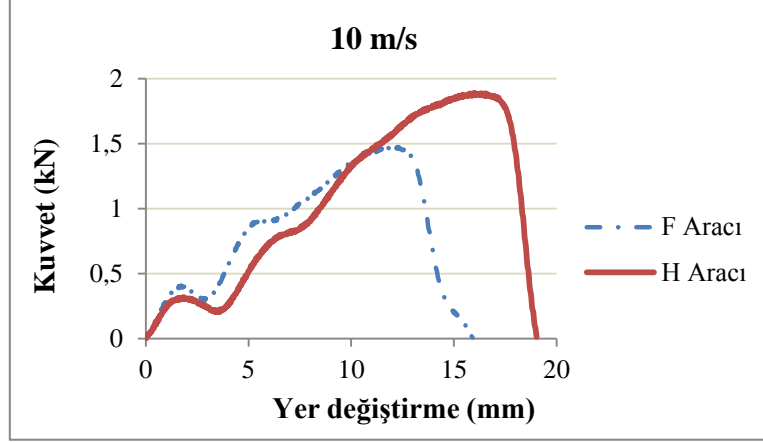
şekil 4.6'daki ölçümler testin ilk başlama noktasından alınmıştır. Kuvvet-yer değiştirme grafiği incelendiğinde grafiğin altında kalan alan sönümlenen enerjiyi vereceğinden en iyi malzeme H taşına ait olan malzeme olarak değerlendirilebilir. En düşük grafik altındaki alana sahip olan araç ise T taşıdır.



Şekil 4.6 Teste tabi tutulan taşıtların 5 m/s hızda kuvvet – yer değiştirme grafiği.

#### 4.5.2.3 10 m/s hızda yapılan deneylerin kuvvet-yer değiştirme grafiğinin incelenmesi

Şekil 4.7 'deki T ve R marka taşıtların tamponları gevrek kırılıp, parçalandığı için testleri yapılamadı. Sönümleme kabiliyeti bakımından sıralaması H taşıtı ve arkasından F taşıtı gelmektedir. Enerji miktarları sırayla, 20,12 ve 13,1 J' dür. Yer değiştirme miktararı ise sırayla 16 mm ve 11,7 mm'dir.



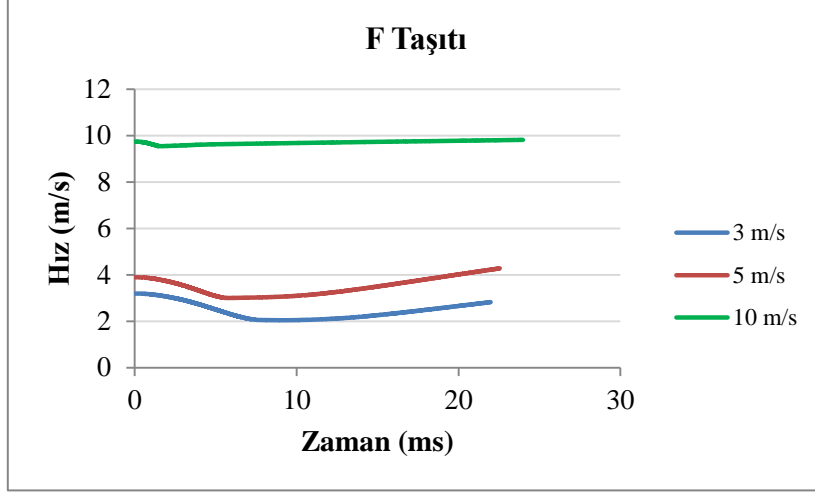
Şekil 4.7 Teste tabi tutulan taşıtların 10 m/s hızda kuvvet – yer değiştirme grafiği.

## 4.2 Hız-Zaman Grafiklerinin İncelenmesi

Tampon malzemelerinin vurucu ucun sahip olduğu hızın sönümleme esnasındaki davranış karakteristikleri hız-zaman grafiklerinde incelenmektedir. Test edilen tampon numunelerinin malzeme içeriğinde bulunan elastomer miktarı arttıkça sönümleme kapasitesinin arttığı düşünülmektedir. Bu konuda Agrawal ve arkadaşlarının da yaptıkları çalışmada fiberle güçlendirilmiş polimer matriksli kompozit bir malzemede yaptıkları darbe testleri ile benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Ön tamponun malzeme içeriğindeki plastik ile elastomer zamanla ve çevre şartlarına bağlı olarak deformasyona uğrayabilmektedir.

### 4.2.1 F Marka Taşıtların Ön Tamponuna Ait Hız-Zaman Grafiği

F taşıtlarına ait hız-zaman grafiği Şekil 4.8 'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde tüm testlerde deney cihazında meydana gelen sürtünmeden kaynaklı bir miktar hızda kayıp meydana gelmiş olduğu görülmektedir. Düşük hızlardaki deneylerde hız zamana bağlı olarak azalmakta ve daha sonra malzeme delindikten sonra darbenin geldiği yüzeyin etki-tepki olmasından kaynaklı, hızlarda tekrar bir artış meydana gelmektedir.

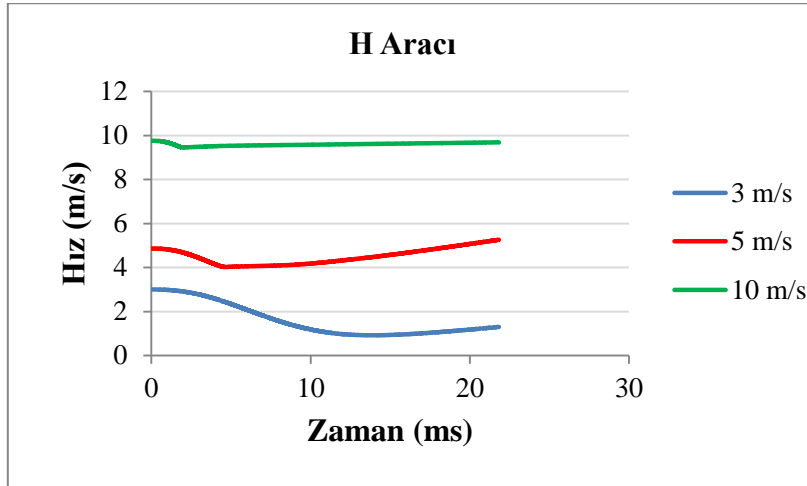


Şekil 4.8 F marka araca ait ön tamponu hız-zaman grafiği.

Fakat yüksek hızlı testler neticesinde darbe enerjisinin yüksek olmasından dolayı darbe direkt olarak etkilediği için herhangi bir dirençle karşılaşmadan numune hasara uğramıştır. Böylece vurucun ucun hızında herhangi bir değişim gözlenememiştir.

#### 4.2.2 H Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Hız-Zaman Grafiği

Şekil 4.9' da H taşıtının ön tamponu orta ve düşük hızlarda daha iyi bir koruma sağlamakta olduğu görülmüştür.



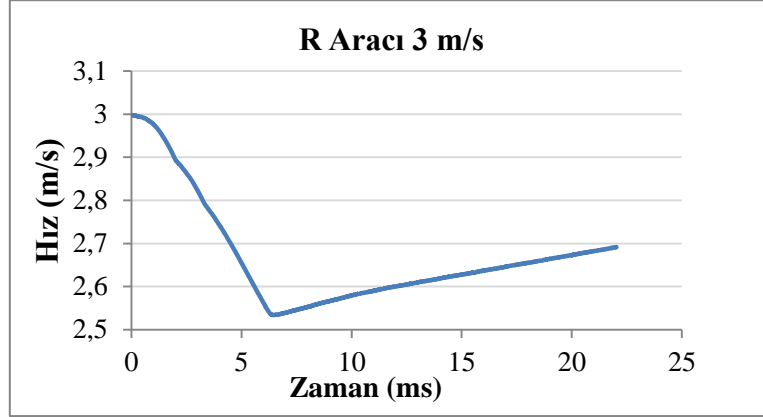
Şekil 4.9 H aracının ön tamponu hız-zaman grafiği.

Fakat yüksek hızlarda tampon darbeyi sönmüleyemediği gibi tampon malzemesi de yer değiştirme yapamamakta ve hasara uğradığı görülmüştür.



#### 4.2.3 R Marka Taşıtın Ön Tamponun Hız-Zaman Grafiği

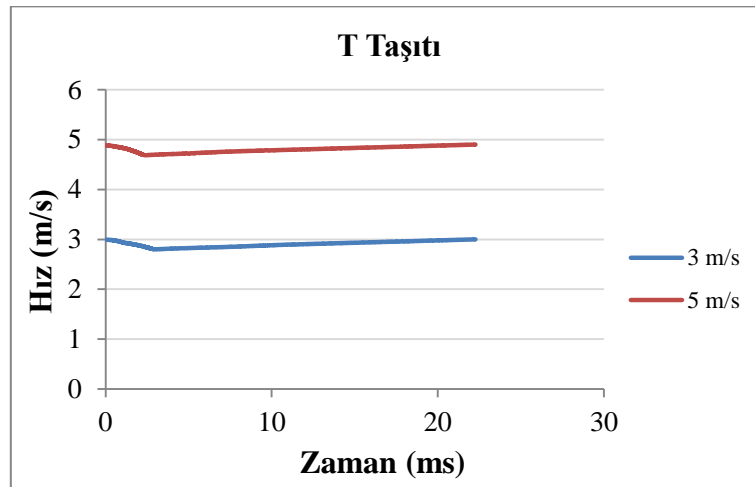
Şekil 4.10'de 9,33 J enerji karşısında malzeme; vurucu uç hızını 3 m/s 'den yaklaşık olarak 2,7 m/s hıza düşürebilmiştir. Fakat hız az miktarda düşmüşse de malzemenin parçalanması engellenememiştir.



Şekil 4.10 R marka taşıta ait hız-zaman grafiği.

#### 4.2.4 T Marka Taşıtın Ön Tamponuna Ait Hız-Zaman Grafiği

T markalı taşıtın ön tamponunun maruz kaldığı vurucu uç enerjisi Şekil 4.11 'den sırayla 4,1 ile 6,7 J olarak tespit edilmiştir. Vurucu uç enerjisi hızında çok az bir miktar azalış olduğu görülmektedir. Bu da malzemenin delindiğinin bir göstergesidir.

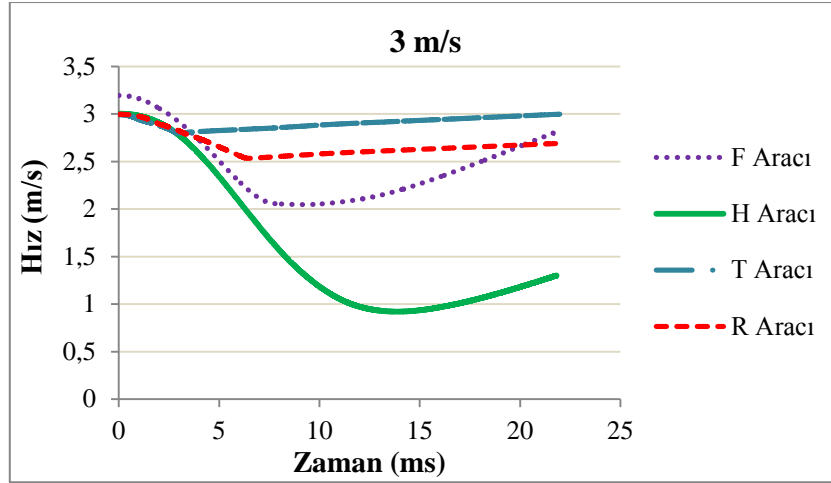


Şekil 4.11 T marka taşıtın ön tamponuna vurulan darbenin hız-zaman grafiği.

## 4.2.5 Taşıtlara ait Hız-Zaman Grafiklerinin İncelenmesi

### 4.2.5.1 3 m/s hızda yapılan deneylerin hız-zaman grafiklerinin incelenmesi

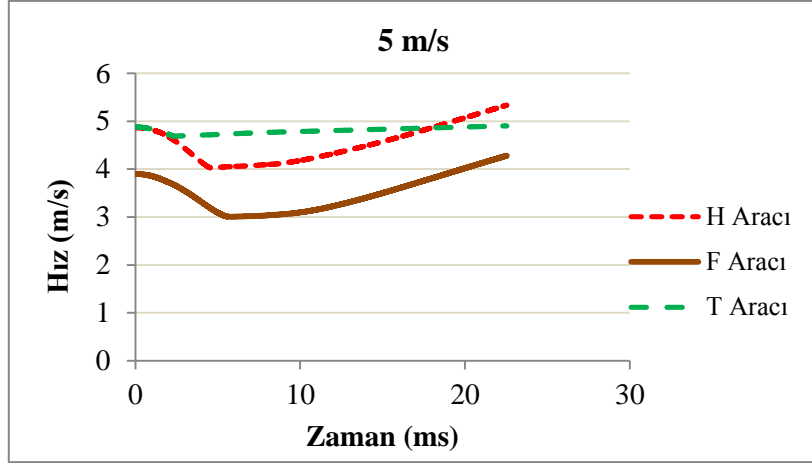
Şekil 4.12’de görülen grafikte ilk sırayı H taşıtına ait olup 3 m/s’lik hızı 1 m/s hıza kadar düşürmüştür. İkinci sırada ise F taşıtı gelmektedir. F taşıtında ise 1 m/s’lik bir hız düşümünün gerçekleştiği görülmektedir. T ve R taşıtlarına ait olan numunelerde ise birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiş olup, yaklaşık olarak 0,5 m/s ‘lik hız düşümünün olduğu görülmüştür.



Şekil 4.12 Teste tabi tutulan taşıtların 3 m/s hızdaki hız-zaman grafiği.

### 4.2.5.2 5 m/s hızda yapılan deneylerin hız-zaman grafiklerinin incelenmesi

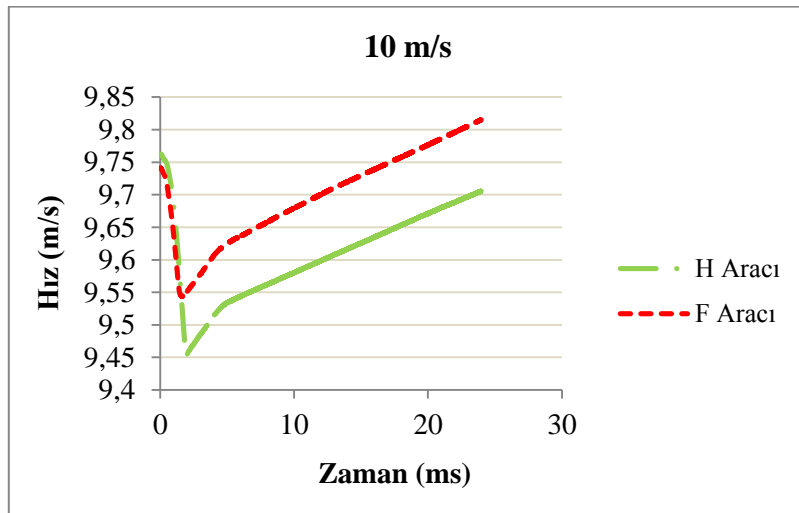
Şekil 4.13’deki grafikte H taşıtı ile F taşıtına ait olan numuneler de sonuçlar birbirlerine yakın olup hızlarında 1 m/s’ lik hız düşümünün olduğu görülmüştür. T taşıtına ait numunede ise hız düşümü neredeyse hiç olmadığı görülmüştür. R taşıtına ait numunede ise 3 m/s hızda parçalandığı gözlemlendiği için test yapılmasına gerek olmadığına karar verilmiştir.



Şekil 4.13 Teste tabi tutulan taşıtların 5 m/s hızdaki hız-zaman grafiği.

#### 4.2.5.3 10 m/s hızda yapılan deneylerin hız-zaman grafiklerinin incelenmesi

Şekil 4.14 'teki grafikte H taşıtı ile F taşıtına ait olan numuneler 10 m/s hızda denenmiş ve sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Bu iki taşıtın hız düşümü 0,3 m/s olmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere hız 10 m/s olduğunda test edilen araçların hiçbiri belirgin bir hız düşümü sağlayamamıştır. R ve T taşıtlarına ait numuneler daha düşük hızlarda parçalandıklarından dolayı testleri yapılamamıştır.



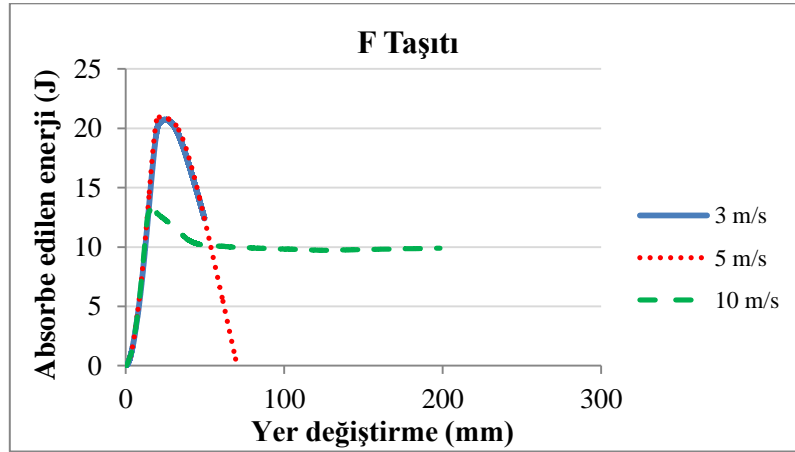
Şekil 4.14 Teste tabi tutulan taşıtların 10 m/s hızdaki hız-zaman grafiği.

### 4.3 Absorbe Edilen Enerji-Yer değiştirme Grafiklerinin İncelenmesi

Test numunelerinde sönümlenen enerji miktarı absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiklerine bakılarak anlaşılmaktadır. Test numuneleri sönümledikleri enerji miktarına göre yer değiştirmelerini arttırmaktadırlar. Fakat bu yer değiştirme bir süre sonra malzeme uzayabileceği maksimum sınırı geçtikten sonra kopacaktır. Bu aşamada grafikte yer değiştirme miktarı ile absorbe edilen enerji değeri sabit kalacaktır. Yer değiştirme miktarı malzemenin gevrek ya da sünek oluşuna göre de değişmektedir.

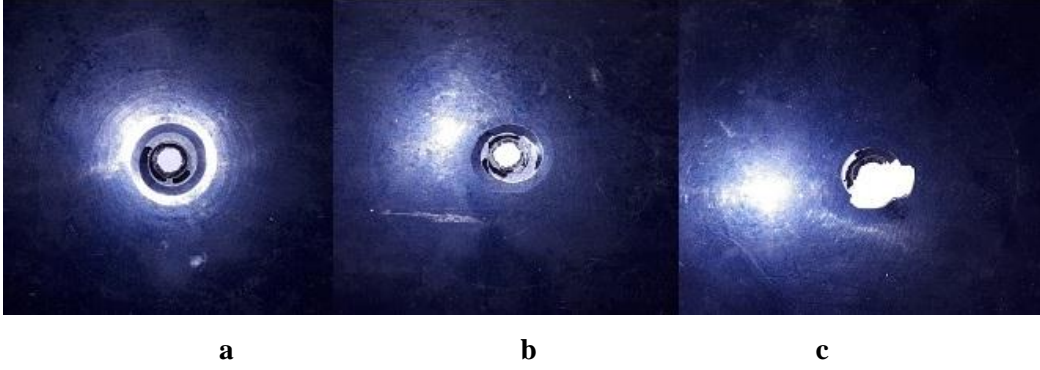
#### 4.3.1 F Marka Taşıtta Ait Absorbe Edilen Enerji- Yer değiştirme Grafiği

şekil 4.15’de görüldüğü üzere üç ayrı numune sırayla 20,9 Joule ,20,7 Joule ve 13 Joule’ lük darbe enerjisine maruz kalmıştır.



şekil 4.15 Farklı hızlardaki F taşıtına ait ön tamponunun absorbe ettiği enerji-yer değiştirme grafiği.

Grafikten anlaşılacağı üzere 3 m/s ve 5 m/s hızlarda yapılan deneyler neticesinde 20 mm - 24 mm kadar şekil değiştirdiği görülmüştür. Fakat bu kadar fazla yer değiştirme yapmasına rağmen absorbe ettiği enerji miktarı düşük kaldığı görülmüştür. 10 m/s hızın oluşturduğu şekil değişimi 16 mm olmaktadır. Resim 4.1’ de 3 ayrı numunenin darbe sonucu oluşan hasarlarını görülmektedir.

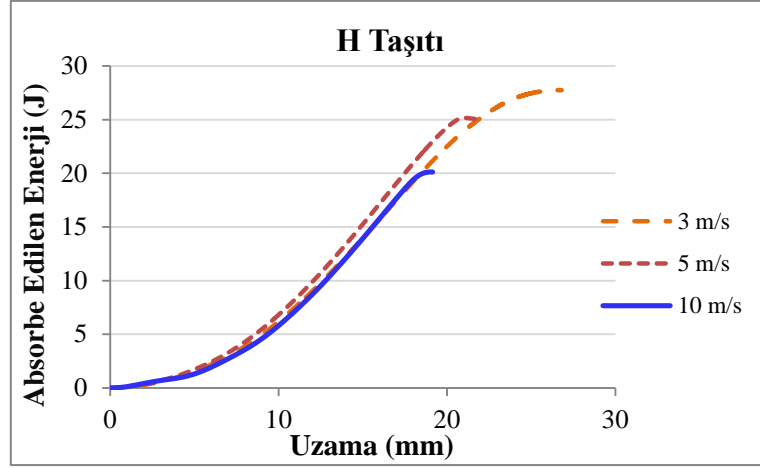


**Resim 4.1** F taşına ait ön tampon malzemesinin darbe hasarları a) 3m/s, b) 5 m/s, c) 10 m/s.

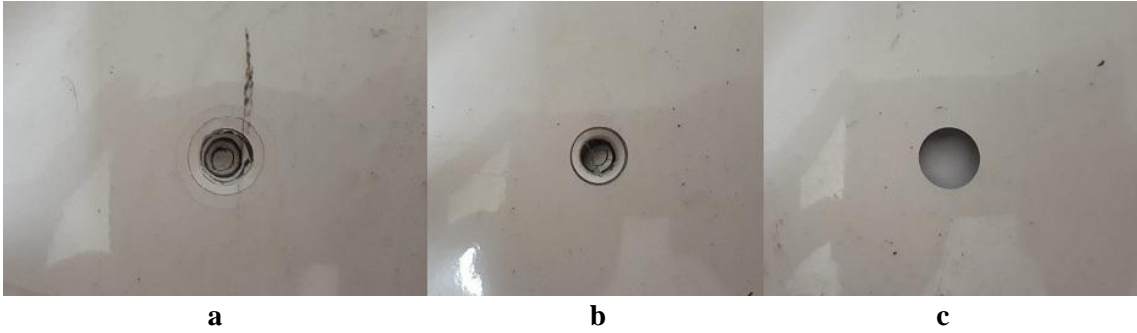
Resim 4.1 a ve Resim 4.1 b’de ki numuneler sünek bir şekilde delinmiştir. Fakat son numune gevrek kırılma şeklinde hasara uğramıştır. Hız arttıkça darbenin uygulayacağı enerji artmakta buna bağlı olarak da malzemenin darbeye karşı oluşturduğu direnç artan darbe enerjisine dayanamamaktadır. Bu kırılmaya sebep olan vurucu uç çok hızlı gelmekte ve malzeme tam esneyemeden gevrek şekilde kırılmasına neden olmaktadır.

#### **4.3.2 H Marka Taşıta Ait Absorbe Edilen Enerji-Yer değiştirme Grafiği**

Şekil 4.16’ te 3 ayrı numuneye sırayla 27 J, 25 J ve 20 J’ lük enerjiler uygulanmıştır. Bunun sonucunda ise sırayla 26 mm, 21 mm ve 19 mm uzadığı tespit edilmiştir. İlk numune 3 m/s hızla vurucu uç darbe uyguladığında bütün enerjiyi sönmlemiş, 2. Numune 5 m/s hızda enerjiyi son ana kadar sönmlemiş fakat delinmiş ve son olarak da 3. Numune 10 m/s hızla düzgün bir şekilde delinmiştir. Resim 4.6 ise malzemelerde oluşan hasar görülmektedir.



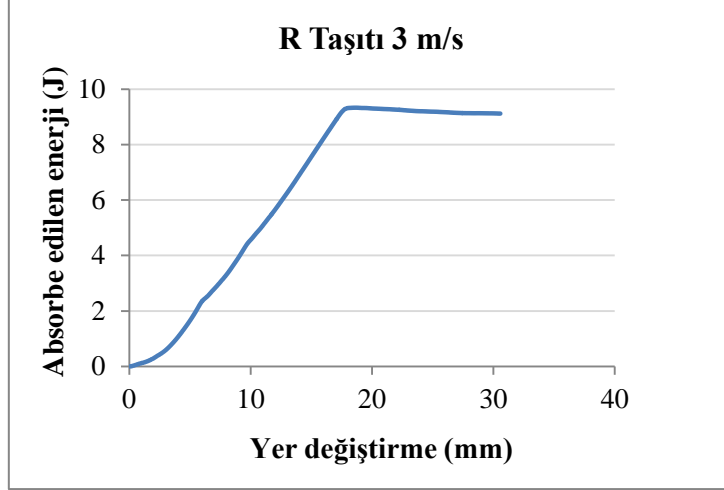
Şekil 4.16 H taşıttın ön tamponu absorbe ettiği enerji-uzama grafiği.



Resim 4.2 H taşıttın ön tampon numunelerinde hıza bağlı oluşan darbe hasarları: a) 3m/s, b) 5m/s, c) 10m/s.

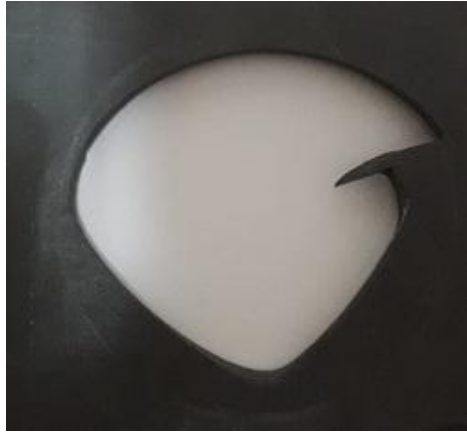
#### 4.3.3 R Marka Taşıta Ait Absorbe Edilen Enerji-Yer değiştirme Grafiği

Şekil 4.17' deki R marka taşıttın ön tamponuna 9,33 J' lük darbe enerjisi uygulanmıştır. Aracın tamponu her türlü dış ortamdaki olumsuz hava koşuluna ve UV ışınına maruz kalmış olmasının muhtemel olduğu anlaşılmıştır.



**Şekil 4.17** R aracı ön tamponu absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği.

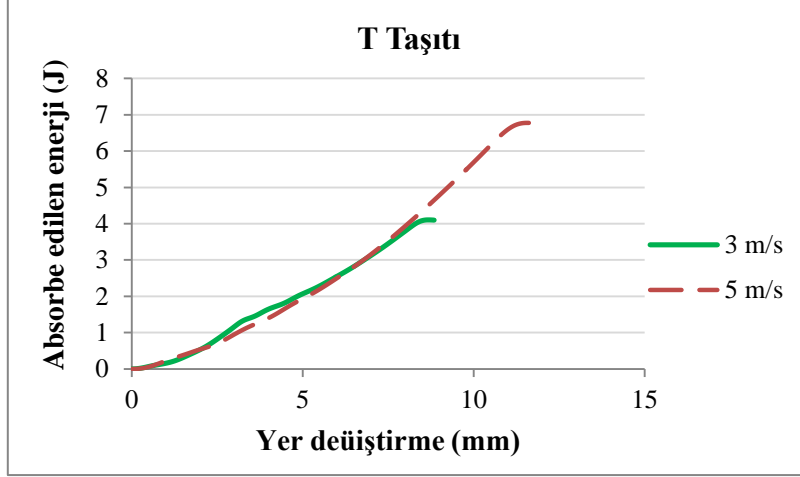
R taşına ait tampon malzemesinin içerisindeki elastomerin esnekliğini kaybetmiş olması, malzemeye dūřuk hızda delinmesine ve parçalanmasına sebep olmuştur. Ortaya çıkan sonuç nedeniyle diğer hızlarda (5 ve 10 m/s) test yapılmasının sonuçları değiştirmeyeceği anlaşılmıştır.



**Resim 4.2** R taşıının ön tampon numunelerinde 3 m/s hızda oluşan darbe hasarı.

#### 4.3.4 T Marka Taşıtta Ait Absorbe Edilen Enerji-Yer değiştirme Grafiği

Şekil 4.18’de görüldüğü üzere T aracının tamponuna 4,1 ile 6,7 J ‘lk darbe enerjileri uygulanmıştır. Tampon numunesi 8,7 ile 11,7 mm yer değiştirmiştir. Fakat Resim 4.18’de görüldüğü üzere yer değiştirme miktarları hasar oluşumunu engellemeye yeterli olmamıştır.



**Şekil 4.18** T taşıttının ön tamponuna ait absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği.



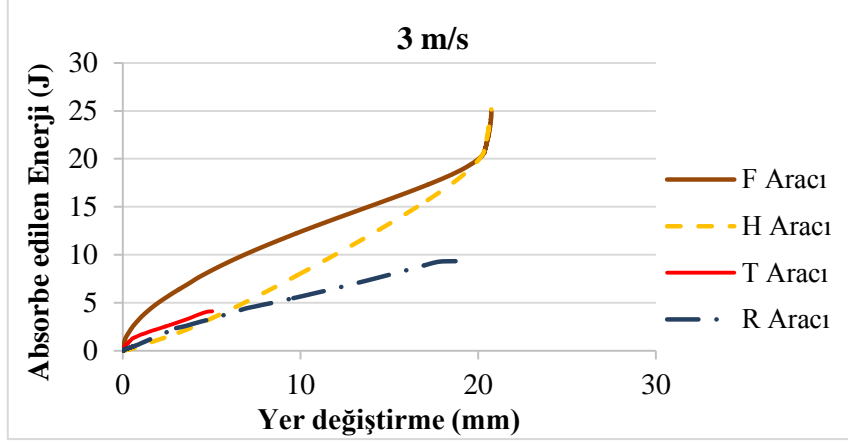
**Resim 4.4** T taşıttının ön tampon numunelerinde hıza bağlı oluşan darbe hasarı a) 3 m/s, b) 5 m/s.

#### 4.3.5 Taşıtlara Ait Absorbe Edilen Enerji-Yerdeğiştirme Grafiklerinin İncelenmesi

##### 4.3.5.1 3 m/s hızda yapılan deneylerin absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiklerinin incelenmesi

Şekil 4.19 'de görüldüğü üzere enerjiyi en iyi emen araç H aracıdır. H aracının emdiği enerji miktarı ise 27,75 J' dür. Bu grafikten H aracının oldukça sünek bir malzeme olduğu görülmektedir.





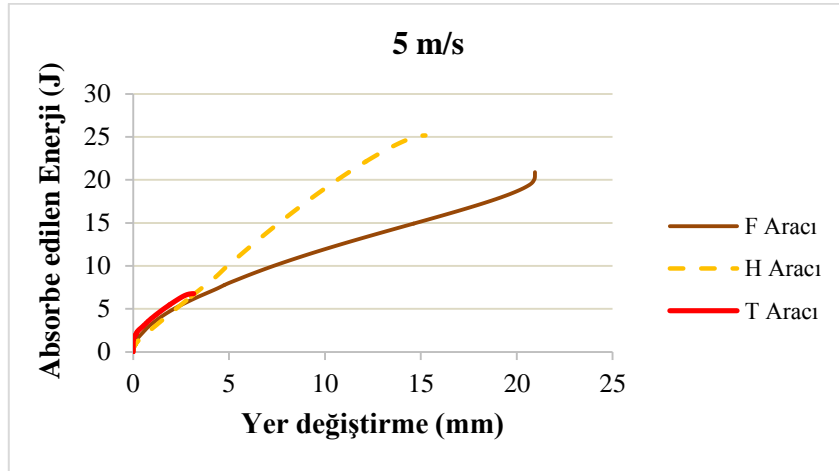
Şekil 4.19 Test edilen taşıtların 3 m/s hızdaki absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği.

Malzeme üzerinde yapılan çalışmalar arttıkça tampon malzemelerindeki enerji sönmleme kabiliyetlerinin geliştiği söylenebilir.

#### 4.5.1.2 5 m/s hızda yapılan deneylerin absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiğinin incelenmesi

Şekil 4.20’de R marka araca ait test değerleri yoktur. Çünkü düşük hızlı darbede parçalanmış olması nedeniyle diğer hızlarda test yapılamamıştır.

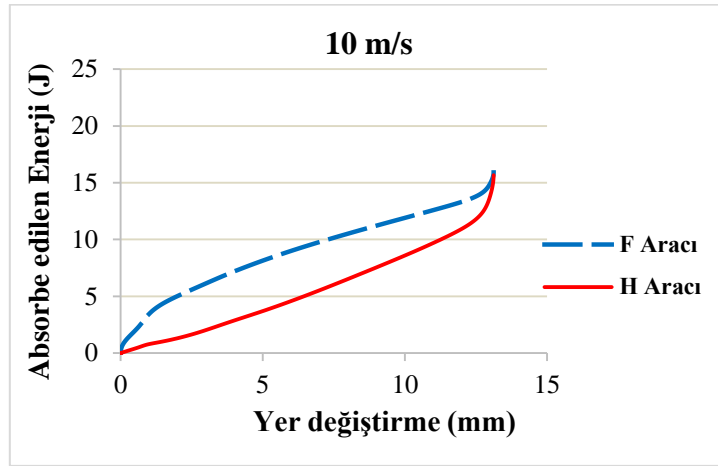
En fazla enerji absorbe eden taşıt H taşıtlına ait olup 25 J, ikinci sırada ise F taşıtı olup 20,7 J ve üçüncü sırada ise T taşıtı olup 6,7 J olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.20 Test edilen taşıtların 5m/s hızdaki absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği.

#### 4.5.1.3 10 m/s' yapılan deneylerin absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiğinin incelenmesi

şekil 4.21'de T marka aracın tamponu gevrek kırılıp, paręalandığı nedeniyle testi yapılamamıştır. Sönümleme kabiliyeti bakımından tampon malzemesi sıralaması H aracı sonrasında da F aracı gelmektedir. Uygulanan darbe enerji miktarları, 20,12 ve 13,1 J'dür. Yer değiştirme miktarları ise 16 mm ve 11,7 mm'dir.



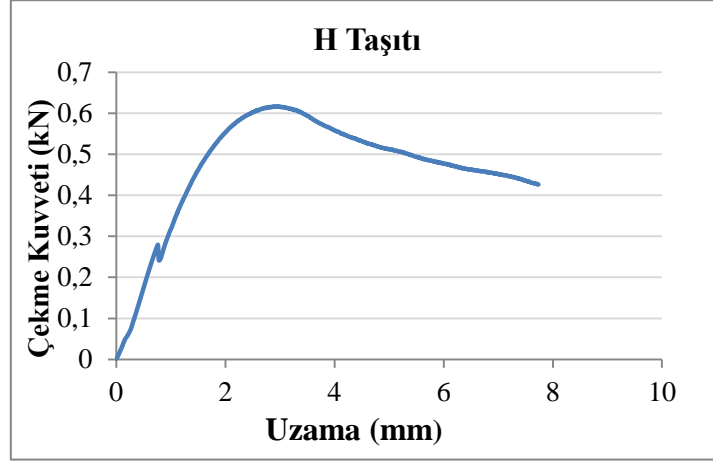
şekil 4.21 Test edilen taşıtların 10 m/s hızdaki absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği.

#### 4.6 Taşıtlara Ait Çekme Deneyi Sonuçları

Test numunelerinin darbe dayanım testleri yapılırken bazı malzemelerde erken kırılma, paręalanma vb. durumlar olmuştur. Bu durumun sebebinin anlayabilmek ve malzemenin ne kadar olumsuz koşullar altında kaldığını öğrenmek için çekme testi yapıldı. Çekme testi EN 10008/TS 138 EK-B standardına göre malzemeler hazırlandı. Çekme hızı 2 mm/dk olarak ayarlandı.4 araç için ayrı çekme deneyleri yapılıp, hepsi tek bir grafikte karşılaştırıldı.

#### 4.6.1 H marka Taşıta Ait Çekme Deneyi Sonuçları

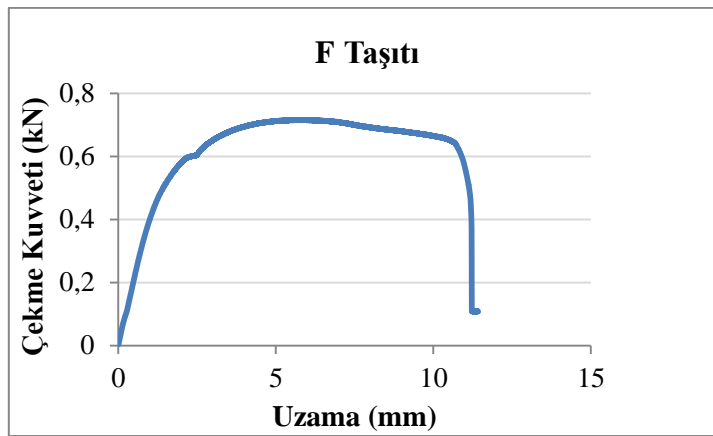
Şekil 4.22’de H marka taşıttın çekme-uzama grafiğine baktığımızda ön tampon malzemesinin sünek bir malzeme olduğunu görülmektedir. Malzemeye maksimum 0,62 kN’ luk bir kuvvet uygulanmıştır. Maksimum uzaması ise 7,4 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.22 H marka taşıttın çekme-uzama grafiği.

#### 4.6.2 F Marka Taşıta Ait Çekme Deneyi Sonuçları

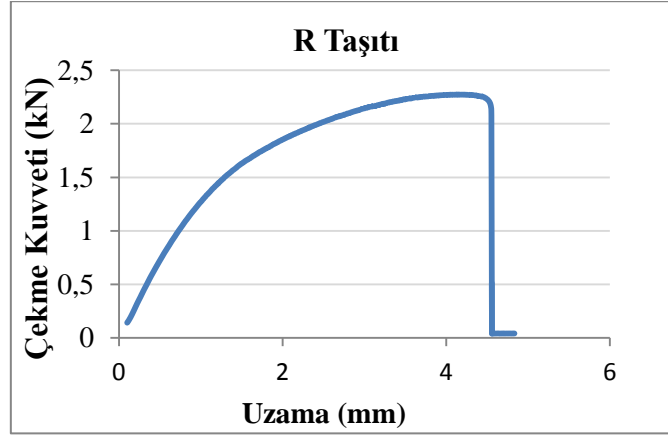
Şekil 4.23’te F marka taşıttın çekme-uzama grafiğine bakılırsa maksimum çekme kuvveti 0,72 kN ve maksimum uzama miktarı 11,42 mm olduğu görülmektedir. F marka aracın ön tampon malzemesi ideal bir malzemedir.



Şekil 4.21 F marka taşıttın çekme-uzama grafiği.

#### 4.6.3 R Marka Taşıta Ait Çekme Deneyi Sonuçları

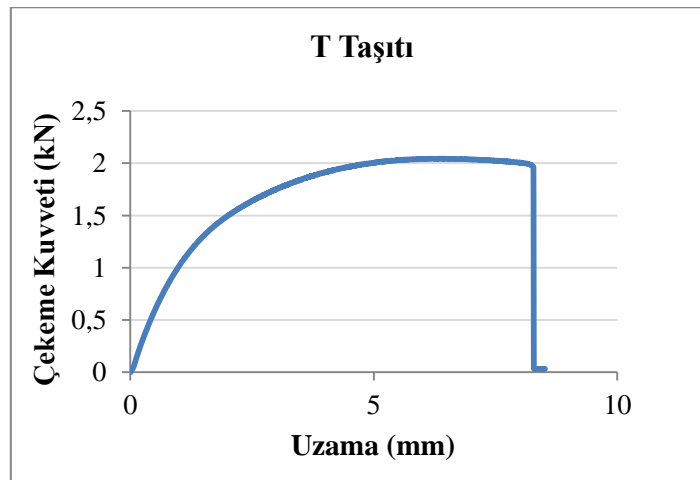
Şekil 4.24'te R marka taşıtın çekme-uzama grafiğine bakılırsa maksimum çekme kuvveti 2,73 kN ve maksimum uzama miktarı 4,83 mm olarak ölçülmüştür. R marka aracın tampon malzemesinin olumsuz dış etkilere fazlaca maruz kaldığı ve içyapısında olası kalıcı deformasyonlara uğradığı tahmin edilmektedir.



Şekil 4.24 R marka aracın çekme-uzama grafiği.

#### 4.6.4 T Marka Taşıta Ait Çekme Deneyi Sonuçları

Şekil 4.25'de T marka taşıtın çekme-uzama grafiğine bakılırsa maksimum çekme kuvveti 2,04 kN ve maksimum uzama miktarı 8,52 mm olarak ölçülmüştür.

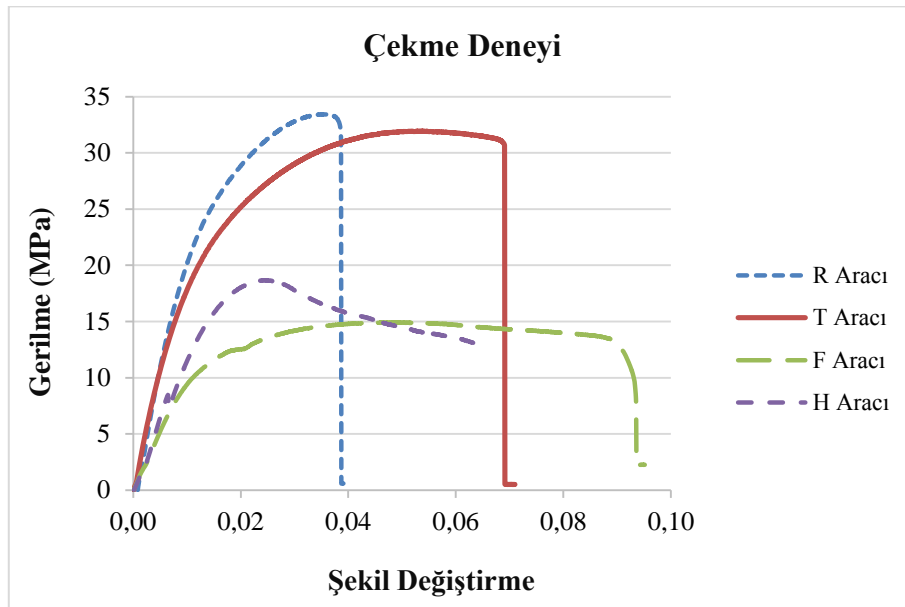


Şekil 4.25 T marka taşıtının çekme-uzama grafiği.

T marka taşıtın tampon malzemesinin durumunun nispeten iyi fakat ekonomik ömrünü doldurmaya yakın olduğu düşünülmektedir

#### 4.6.5 Dört Marka Taşıtın Çekme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şekil 4.26'da taşıtların malzemelerinin içeriği ve miktarları hakkında önemli bilgiler vermektedir. En yüksek çekme kuvveti R taşıta aittir (2,27 kN). Arkasından T taşıtı (2,04 kN), F taşıtı (0,712 kN) ve son olarak da H taşıtı (0,455 kN) gelmektedir. R ve T taşıtlarına ait olan maksimum gerilmeler yüksek olmasına rağmen absorbe ettiği enerji miktarı diğer taşıtların absorbe ettiği enerji ile karşılaştırıldığında çok kötüdür. R ve T marka taşıtların uzamaları ise de malzemenin gevrek oluşundan dolayı diğer iki taşıta göre küçüktür. H taşıtı en düşük çekme kuvvetine sahiptir. Dikkat edilecek olursa H taşıtının grafiğinin halen devam etmekte olduğudur. Yani malzeme kopmamıştır ve bu sebeple tampon malzemesinin içindeki elastomer katkı miktarının fazla olduğu söylenebilir.



Şekil 4.26 Dört marka taşıta ait gerilme-şekil değişirme grafiğinin karşılaştırılması.

#### 4.7 Deney Numunelerinin Sertlik Testinin Sonuçlarının İncelenmesi

Test numunesi olarak kullanılan tampon malzemelerinin viskos özelliklerinden dolayı sertlik değerleri Shore sertlik metodu ile ölçülmüştür. Eldeki imkânlar neticesinde sertlik Shore A tipinde ölçülmüş, daha sonra dönüşüm tabloları vasıtası ile Shore D'ye çevrilmiştir. Çizelge 3.3' te malzemelerin Shore D sertlik cinsinden değerleri verilmiştir.

**Çizelge 3.3** Malzemelerin Shore D'ye göre sertlikleri.

Sıra No	Malzemeler	Kalınlık (mm)	Dış Yüzey	İç Yüzey
1	F Taşıtı	3	58	48,4
2	H Taşıtı	3	58	53,2
3	R Taşıtı	4	58	50,8
4	T Taşıtı	4	58	55,6

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada otomobillerin ön tamponlarının darbe enerjilerinin sönümlene kabiliyetleri incelenmiştir. Bunun için 3 farklı hız ve 4 farklı otomobil üreticisinin ürettiği araçların ön tampon malzemeleri kullanılmıştır. Test 25°C sabit sıcaklıkta tutulan bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ön tampon malzemelerinin çekme deneyleri yapılmış ve bu sayede malzemedeki oluşan hasar ve durum değişiklikleri incelenmiştir. Bu yapılan testlerden sonra şu sonuçlar ortaya çıkmıştır.

- 3 m/s hızda yapılan testler sonucunda kuvvet ve sönümlene kabiliyeti olarak en iyi ön tampon malzemesinin H aracına ait olduğu anlaşılmıştır.
- Çekme deneylerinde R ve T marka araçların tampon malzemelerinin yapısal değişikliğe uğradığı ve buna bağlı olarak yaşlandığı görülmüştür.
- Dört farklı aracın ön tamponları 10 m/s 'deki hızla gelen darbeyi durduramamış ve delinmişlerdir. Bu hız, test edilen ön tampon malzemeleri için sınır değerdir.
- Araçların tampon malzemelerinin çevre ve diğer olumsuz şartların etkisinden korunmasının önemli olduğu yapılan testler neticesinde görülmüştür. Bütün olumsuz etkilerden az etkilenen tampon malzemelerinin test sonuçları daha güvenilir olmaktadır.
- Tampon malzemelerinin içerisindeki PP ve elastomer katkı oranlarının çekme gerilmeleri ile darbe sönümlene kabiliyetleri üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir.
- Yapılan testlerde H ve F araçlarının ön tampon malzemelerinin darbe sönümlene kabiliyetlerinin diğer iki araçtan daha iyi olduğu görülmüş olup, ön tampon malzemelerine uygulanan çekme kuvvetleri diğer iki aracın ön tampon malzemelerinin çekme kuvvetinden düşük olduğu gözlemlenmiştir.
- H aracının ön tampon malzemesi çekme deneyinde kopmamıştır. Bu sebeple malzemenin sünek olduğu anlaşılmıştır.
- R aracının tampon malzemesinde var olan kavislerden dolayı sonuçlar değişiklik göstermektedir. Bu sebeple ön tamponların tasarımlarında kavis, bombe gibi geometrik şekillerin kullanımı malzemenin darbe enerjisini sönümlene kabiliyetini arttırdığı tespit edilmiştir.
- Testte kullanılan ön tampon malzemelerinin tamamının dış yüzey sertlikleri birbirlerine çok yakındır. Fakat iç yüzey sertlik değerleri birbirlerinden farklı olmakla

birlikte iç yüzeylerin yumuşak olması darbe enerjisi sönümlemek için olduğu düşünülmektedir.

- Dört farklı aracın tampon malzemeleri PP ile EPDM karışımından meydana gelmiştir. Farklı kompozit ve karışımların tampon malzemesi olarak kullanılmasında fayda vardır.
- Tamponların et kalınlığının artmasının enerji sönümlemeye önemli bir katkısının olmadığı görülmüştür. Tamponların daha ince üretilmesi araçlardaki ağırlığı azaltacağından egzoz gazı emisyonlarına olumlu katkısı vardır.



## 6. KAYNAKLAR

- Adams, Bender, Crouch and Williams (1990). Impact fracture toughness tests on polymers. *Polymer Engineering and Science*, **30**: 241-248.
- Agrawal, Singh and Sarkar (2014). Impact damage on fibre-reinforced polymer matrix composite. *Journal of Composite Materials*, **48**: 317-332.
- Akkurt M. (2012). Makine Elemanları Cilt-1. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anapa H. (2003). Plastiklerin Gaz Enjeksiyon Metodu İle Üretiminde İşlem Parametrelerinin Tasarım ve İmalata Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arıcıoğlu, Mert ve Soydan (2000), Polimer malzemelerin mekanik analiz yöntemleri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **4**: 51-58.
- Baysal B. (1981). Polimer kimyası. Ortadoğu Üniversitesi Yayınevi, Ankara
- Fındık and Tarım (2003). Ballistic impact efficiency of polymer composites. *Composite Structures*, **61**: 87-192.
- Golzar and Poorzeinolabedin (2010) Proptotype fabrication of a composite automobile body based on integrated structure. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **49**: 1037-1045.
- Hebert, Rousseau and Shulka (2008). Shock loading and drop weight impact response of glass reinforced polymer composites. *Composites Structures*, **84**: 199-208.
- Hibbeler R.C. (2004) Mühendislik Mekaniği Dinamik, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Kayhan E. (2015). Otomotiv Sektörüne Ait Polimer İşleme Teknolojisinde Ortaya Çıkan Meslek Hastalıkları Ve İş Güvenliği. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Khanh and De Charentenay (1985) Mechanics and mechanismis of impact fracture in semi-ductile polymers. *Polymer Engineering and Science*, **25**: 841-850.
- Kompozit Sanayicileri Derneği (2014). Mühendislik plastikleri. *Composites Turkey*, **7**:26-28.

- Lee S.M, Cheon J.S., LM Y.T. (1999). Experimental and numerical study of the impact behavior of SMC plates. *Composite Structures*, **47**: 551-561
- Li, Lin, Jiang and Chen (2004) Experimental study of glass-fiber mat thermoplastic material impact properties and lightweight automobile body analysis. *Material & Design*, **25**: 579-585.
- Öğmen G. (2008). Kitosan ve İkili Polimer Karışımlarının Hazırlanması Ve Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pakdemirli E., Çağlayan T. ve Özdemir A. (1973). Grafostatik ve mukavemet. Alkan Kitabevi, Ankara.
- Palin. G.R. (1971). Plastiklerin İmalatı. Teknolojide Plastikler. Makine Mühendisleri Odası Yayınları No: 64, Ankara. 55-68.
- Qixian, L., Bungey, J.H. (1996). Using Compression Wave Ultrasonic Transducers to Measure The Velocity of Surface Waves and Hence Determine Dynamic Modulus of Elasticity for Concrete, *Construction and Building*, Vol.10 No.4
- Rende H. (1996). Makine Elemanları Cilt-1. Seç Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Saçak M. (1998). Polimer Kimyasına Giriş, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, Ankara.
- Saçak M. (2006). Polimer Teknolojisi. Gazi Kitapevi, Ankara.
- Sayer M. (2009). Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışının İncelenmesi. Doktora Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Shah V. (2007). Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis Consultek, 3. Edition, California, USA.
- Sugano, Tsubota, Kasai, Koshika, Orui, Riesmann, Bickel and Parks (1993). Full-scale aircraft impact test for evaluation of impact force. *Nucleat Engineering and Design*, **140**: 373-385.
- Turgut D. (2012). Farklı Tür Sıvı Ortamlarda Tutulan Kestamid Malzemelerde Darbe Dayanımının Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Wetze, Hauptert, Friedrich, Zhang and Rong (2002). Impact and wear resistance of polymer nanocomposites at low filler content. *Polymer Engineering and Science*, **42**: 1919-1927.

Yaşar H. (2001). Plastikler dünyası. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.

Zhao (1997). Testing of polymeric foams at high and medium strain rates. *Polymer Testing*, **16**: 507-516.

## İnternet Kaynakları

- 1) <http://bilalkavrak.com.tr/plastigin-tarihi>, 25.04.2019
- 2) [http://www.baranboya.com/takviyeli\\_termoplastik\\_levha\\_pres\\_kaliplama\\_gmt](http://www.baranboya.com/takviyeli_termoplastik_levha_pres_kaliplama_gmt), 26.04.2019
- 3) <http://www.megapolimer.com>, 25.04.2019
- 4) [https://plastics.ulprospector.com/generics/8/acrylonitrile-styrene-acrylate\\_asa](https://plastics.ulprospector.com/generics/8/acrylonitrile-styrene-acrylate_asa), 25.04.2019
- 5) <https://www.pagev.org>, 24.04.2019
- 6) <http://www.wikizero.biz/>, 29.04.2019
- 7) <http://www.ncbplastik.com/>, 25.04.2019
- 8) <http://fforklifft.blogspot.com/2016/12/polimerlerde-cams-gecis-scaklg-tgve.html> , 24.04.2019
- 9) <https://www.smithmetal.com/pdf/plastics/cast-nylon.pdf> , 28.08.2019
- 10) <http://www.fpcusa.com/products/PP/pdf/5143H.pdf>, 28.08.2019
- 11) <https://www.smithmetal.com/pdf/plastics/polyethylene.pdf>, 28.08.2019
- 12) <https://www.designerdata.nl/plastics/thermo+plastics/PP>, 28.08.2019
- 13) <https://www.designerdata.nl/plastics/thermo+plastics/POM+%28hom.%29>, 28.08.2019
- 14) <https://www.zwickroell.com/tr-tr/shore-irhd-sertlik-test-cihaz%C4%B1/shore-analog-digital>  
14.09.2019
- 15) <https://www.zwickroell.com/tr-tr/plastik/termoplastik-ve-k%C3%BCB1plama-bile%C5%9Fikleri/plastiklerde-darbe-testi>, 27.09.2019
- 16) <https://www.instron.com.tr/our-company/library/glossary/i/impact-test>, 27.09.2019

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Çağdaş ERİK  
Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ - 23.04.1992  
Yabancı Dili : İngilizce (orta), Almanca (orta)  
İletişim (Telefon/e-posta) :0 537 978 78 18/ mustafacagdas18@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Nevzat Karalp Anadolu Lisesi, (2006-2010)  
Lisans : Pamukkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği  
Bölümü, (2010-2014)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı,  
(2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :Alindair Evaporatif Soğutma (2017)  
Gamateks Tekstil San. Tic. A.Ş. (2017-2018)  
Gökhan Tekstil San. Tic. A.Ş. (2018,...)