

**T.C.**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**FARKLI ISIL KOŞULLARIN YÜKSEK YOĞUNLUKLU  
POLİETİLEN MALZEMELERİN MEKANİK PERFORMANS VE  
YAPISAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YUSUF CAN DEMİR**

**BOLU, TEMMUZ - 2019**

**T.C.**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**FARKLI ISIL KOŞULLARIN YÜKSEK YOĞUNLUKLU  
POLİETİLEN MALZEMELERİN MEKANİK PERFORMANS VE  
YAPISAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YUSUF CAN DEMİR**

**BOLU, TEMMUZ – 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Yusuf Can DEMİR tarafından hazırlanan “FARKLI ISIL KOŞULLARIN YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN MALZEMELERİN MEKANİK PERFORMANS VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ” adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 18/07/2019 tarihinde **Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

Danışman  
Prof. Dr. Murat PAKDİL  
Abant İzzet Baysal Üniversitesi


Üye  
Doç. Dr. Gürcan YILDIRIM  
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL  
Sakarya Üniversitesi

### İmza

.....  


.....  


.....  


Mezuniyet tarihi: ...../...../2019

Prof. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



**Aileme,**

## ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



**Yusuf Can DEMİR**

## ÖZET

**FARKLI ISIL KOŞULLARIN YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN  
MALZEMELERİN MEKANİK PERFORMANS VE YAPISAL  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YUSUF CAN DEMİR  
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MURAT PAKDİL)  
BOLU, TEMMUZ – 2019**

Günümüzde polietilenden elde edilen malzemeler önemli bir yer tutmaktadır. Birçok alanda kullanılan polietilen malzemeler özellikle içme suyu borularının yapımında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada polietilen boru üretiminde en çok kullanılan yüksek yoğunluklu polietilenin (YYPE) değişik sıcaklık şartlarında bekletilmesi sonucu oluşan mekanik dayanım incelenmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen borudan TS EN ISO 6259 – 1 ve ISO 6259–3 standartlarına göre elde edilen çekme numuneleri etüv fırınında 9’ar adet olmak üzere 150<sup>0</sup> C, 120<sup>0</sup> C ve 90<sup>0</sup> C’lerde 40’ar dakika bekletilmiştir. Her bir derecede bekletilen 9’ar adet numuneden 3’er adedi yavaş soğuması amacıyla 78<sup>0</sup> C’lik suda, 3’er adedi hızlı soğuması amacıyla 0<sup>0</sup> C’lik buzlu suda ve geri kalan 3’er adedi ise çok hızlı soğuması amacıyla -195<sup>0</sup> C’deki sıvı azot içerisinde 3’er dakika bekletilmiştir. Isıtmada ve soğutmada 3’er adet sıcaklık şartı sağlandığından 9 parametre elde edilmiştir. Her parametre için 3 adet numune olmak üzere toplam 27 adet numune kullanılmıştır. Daha sonra soğutulan numuneler 50mm/dk hızında çekme deneyine maruz bırakılmıştır. Her parametre için kullanılan 3 numunenin ortalaması alınmıştır. Deney sonucunda sıcaklık şartlarına göre değişen elastisite modülü, maximum gerilme ve yüzde uzama incelenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Yüksek yoğunluklu polietilen, elastisite modülü, maximum gerilme, yüzde uzama.

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF DIFFERENT HEAT-CONDITIONS ON MECHANICAL PERFORMANCE AND STRUCTURAL PROPERTIES OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE**

**MSC THESIS**

**YUSUF CAN DEMİR**

**ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. MURAT PAKDİL)**

**BOLU, JULY, 2019**

Nowadays, materials obtained from polyethylene have an important place. Polyethylene materials used in many areas have an especially significant place in the construction of drinking water pipes. In this study, the mechanical strength formed as a result of keeping the high-density polyethylene (HDPE), which is used most in polyethylene pipe production, under different temperature conditions was examined. 9 tensile samples obtained from the high-density polyethylene pipe according to the standards of TS EN ISO 6259 – 1 and ISO 6259 – 3 were kept in a drying oven at 150°C, 120°C, and 90°C for 40 minutes. Out of the 9 samples which were kept in each degree, 3 were kept in 78°C water for slow cooling; 3 were kept in 0°C icy water for fast cooling; and 3 were kept in -195°C liquid nitrogen for very fast cooling for 3 minutes each. 9 parameters were obtained since 3 temperature conditions were provided in heating and cooling. A total of 27 samples, thus 3 for each parameter, were used. After that, the cooled samples were subjected to tensile testing at the speed of 50 mm/min. The mean average of the 3 samples used for each parameter were taken. At the end of the experiment, the modulus of elasticity, maximum stress and percent elongation which vary according to the temperature conditions were examined.

**KEY WORDS:** High density polyethylene, elasticity module, maximum stress, percent strain.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ.....</b>	<b>xi</b>
<b>KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ.....</b>	<b>xii</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Plastikler Hakkında Genel Bilgiler.....	1
1.2 Plastik Malzemelerin Çeşitleri.....	3
1.2.1 Termoplastikler.....	4
1.2.2 Termoset Plastikler.....	8
1.2.3 Elastomerler.....	10
<b>2. POLİMERLER.....</b>	<b>12</b>
2.1 Polimerlerin Yapısı.....	12
2.1.1 Lineer Polimerler.....	16
2.1.2 Uzayağı Polimerleri.....	18
2.1.3 Polimerlerdeki Bağ Kuvvetleri.....	19
2.2 Polimerlerin Deformasyonu.....	20
2.3 Polimerlerin Sıcaklık Değişimine Karşı Tepkisi.....	20
2.4 Polimerlerin Mekanik Özellikleri.....	27
2.4.1 Moleküler Ağırlık.....	30
2.4.2 Karşılıklı Bağlanma.....	30
2.4.3 Zincir Direngenliği.....	31
2.4.4 Polimerlerin Kristalleşmesi.....	31
2.4.4.1 Kristalleşebilme.....	32
2.5 Polimerlerin Elektriksel Özellikleri.....	35
2.6 Polimerizasyon.....	35
2.6.1 Katılma (İlave) Polimerizasyonu.....	36
2.6.2 Yoğunlaşma (Kondenzasyon) Polimerizasyonu.....	37
<b>3. POLİETİLENLER.....</b>	<b>39</b>
3.1 Polietilen Hakkında Genel Bilgiler.....	39
3.2 Polietilenlerin Çeşitleri.....	41
3.2.1 Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE), (DYPE).....	43
3.2.2 Doğrusal (Lineer) Alçak Yoğunluklu Polietilen (LLDPE).....	44



3.2.3	Orta Yoğunluklu Polietilen (MDPE), (OYPE).....	44
3.2.4	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE), (YYPE).....	45
3.2.5	Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE).....	47
<b>4.</b>	<b>DENEYSEL MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>48</b>
4.1	YYPE Malzemesinin Edinilmesi.....	48
4.2	Deney Numunelerinin Kesilmesi ve Test Hızı.....	49
4.3	Numunelerin Fırında Bekletilmesi.....	52
4.4	Numunelerin Soğutulması.....	53
4.5	Numunelerin Çekmeye Maruz Bırakılması.....	55
4.6	Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İle İncelenmesi.....	58
<b>5.</b>	<b>DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>60</b>
5.1	150 <sup>0</sup> C’de Isıtılıp 78 <sup>0</sup> C, 0 <sup>0</sup> C Ve -195 <sup>0</sup> C’de Soğutulan Numuneler İçin Sonuçlar.....	60
5.2	120 <sup>0</sup> C’de Isıtılıp 78 <sup>0</sup> C, 0 <sup>0</sup> C Ve -195 <sup>0</sup> C’de Soğutulan Numuneler İçin Sonuçlar.....	64
5.3	90 <sup>0</sup> C’de Isıtılıp 78 <sup>0</sup> C, 0 <sup>0</sup> C Ve -195 <sup>0</sup> C’de Soğutulan Numuneler İçin Sonuçlar.....	69
5.4	150 <sup>0</sup> C, 120 <sup>0</sup> C Ve 90 <sup>0</sup> C’de Isıtılan Numunelerin Ortalamasının Ortalaması.....	73
<b>6.</b>	<b>BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>75</b>
<b>7.</b>	<b>SONUÇ.....</b>	<b>79</b>
<b>8.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>81</b>
<b>9.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>88</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Termoplastiklerin molekül yapısı(Güngör, 2001).....	5
Şekil 1.2. Termoset plastiklerin zincir yapısı (Güngör, 2001).....	8
Şekil 1.3. Elastomer zincir yapısı (Güngör, 2001).....	10
Şekil 2.1. Etilen ve çifte bağların açılmasıyla oluşan polimerizasyon (NDT Resource Center).....	12
Şekil 2.2. Polietilenin kimyasal olarak yapısı (Akkurt, 1991).....	13
Şekil 2.3. Etilen polimerinin oluşma aşamaları (Onaran, 2003).....	14
Şekil 2.4. m sayısına bağlı olarak ergime sıcaklığı (Onaran, 2003).....	14
Şekil 2.5. m sayısına bağlı olarak mukavemet değerinin değişimi (Onaran, 2003)..	15
Şekil 2.6. Polimerlerin izotaktik olarak dizilişi (Ulaş, 1991).....	16
Şekil 2.7. Polimerlerin ataktik olarak dizilişi (Ulaş, 1991).....	16
Şekil 2.8. Polimerlerin sindiyotaktik dizilişi (Ulaş, 1991).....	16
Şekil 2.9. Homopolimer ve kopolimerin sembolik gösterimi.....	18
Şekil 2.10. Uzayağı polimerlerinden 3 grubun dizilişi (Onaran, 2003).....	19
Şekil 2.11. Elastik uzama (a) Bağ uzaması (b) Bağ Düzelmeleri (Vlack, 1990).....	20
Şekil 2.12. Sıcaklığın mekanik faktöre etkileri (Onaran, 2003).....	21
Şekil 2.13. Amorf, yarı-kristal ve kristal maddelerde ısıl geçişler (Saçak, 2017).....	22
Şekil 2.14. Polimerlerin hacim sıcaklık ilişkisi (Çimenoglu ve Kayalı, 1991).....	23
Şekil 2.15. PMMA'nın farklı sıcaklık değerlerinde gerilmelerin etkisiyle birim şekil değişmeye etkileri (Çimenoglu ve Kayalı, 1991).....	24
Şekil 2.16. Polistren malzemesinin viskoelastik davranışın sıcaklıkla ilişkisi (Hayden vd. 1993).....	25
Şekil 2.17. Polimerin viskoelastik davranışının mekanik modelle gösterilmesi (Hayden vd. 1993).....	26
Şekil 2.18. Sıcaklığa bağlı olarak mekanik özelliklerin değişmesi (Onaran, 2003).....	28
Şekil 2.19. Oda sıcaklığında değişik gerilmeler altındaki mekanik değişim (Onaran,2003).....	28
Şekil 2.20. a)Bağ dönmesi b)Bağ doğrulması c) Zincir kayması (Onaran, 2003)....	29
Şekil 2.21. Kauçuğun molekül ağırlığının çekme dayanımına etkisi (Çimenoglu ve Kayalı, 1991).....	30
Şekil 2.22. Kristalleşmiş PE ve Amorf PE'nin çekme gerilmelerinin karşılaştırılması (Onaran, 2003).....	32
Şekil 2.23. Kristalleşme derecesine bağlı olarak polietilen tereftaletin (PET) mukavemete etkisi (Çimenoglu ve Kayalı, 1991).....	32
Şekil 2.24. Kristalin ve amorf yapıdaki polistrenin değişik sıcaklıklar altında elastisite modülünün değişmesi (Çimenoglu ve Kayalı, 1991).....	33
Şekil 2.25. a)Yönlendirilmemiş kristalitli polimer, b)Yönlendirilmiş kristalitli polimer (Onaran, 2003).....	34
Şekil 2.26. Çekme etkisindeki bazı malzemelerin karşılaştırılması (Onaran, 2003).....	34

Şekil 2.27. Polimerizasyon işleminde çift bağları açılan molekül (etilen) (Vlack, 1990).....	36
Şekil 2.28. İlave polimerizasyonundan bir örnek (Vlack, 1990).....	37
Şekil 2.29. Kondenzasyon polimerizasyonu ve açığa çıkan yan ürün (Vlack, 1990).....	38
Şekil 3.1. Etilen ve polietilenin şematik gösterimi (Canbaloğlu, 2010).....	39
Şekil 3.2. Düşük yoğunluklu polietilen yapısı (Yavuz, 2011).....	43
Şekil 3.3. LLDPE zincir yapısı (Öksüz Çelebi, 2008).....	44
Şekil 3.4. Yüksek yoğunluklu polietilenin zincir yapısı (Yavuz, 2011).....	45
Şekil 4.1. Gap Sulama Sistemleri fabrikası.....	48
Şekil 4.2. Harran Üniversitesi Merkezi Laboratuvar.....	48
Şekil 4.3. Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarı.....	49
Şekil 4.4. Tip-1 kalıp.....	49
Şekil 4.5. Borudan numune kesme işlemi.....	50
Şekil 4.6. Numune alınan boru.....	51
Şekil 4.7. Çekme numuneleri.....	51
Şekil 4.8. Fırın.....	52
Şekil 4.9. Fırında erime sıcaklığı üzerinde ( $150^0$ C) bekletilecek numunelerin hazırlanması.....	52
Şekil 4.10. Sıvı azot makinesi.....	53
Şekil 4.11. Sıvı azot.....	53
Şekil 4.12. Sıvı azot içerisinde bekletilmiş çekme numunesi.....	54
Şekil 4.13. Buzlu su.....	54
Şekil 4.14. Buzlu suya daldırılan derece ( $0^0$ C).....	54
Şekil 4.15. Su banyosu makinesi.....	55
Şekil 4.16. $78^0$ C'deki su banyosunun derece göstergesi.....	55
Şekil 4.17. Çekme testi makinesi.....	56
Şekil 4.18. Çekme deneyi sırasında oluşan kuvvet (F)-uzama ( $\Delta L$ ) eğrileri.....	57
Şekil 4.19. Çekilmiş haldeki numuneler.....	58
Şekil 4.20. Taramalı Elektron Mikroskobu.....	58
Şekil 4.21. SEM görüntüsü için numune alınan noktalar.....	59
Şekil 4.22. Metal ile kaplanan numuneler.....	59
Şekil 5.1. $150^0$ C-( $78^0$ C) grafiği.....	60
Şekil 5.2. $150^0$ C-( $78^0$ C) SEM görüntüsü.....	61
Şekil 5.3. $150^0$ C-( $0^0$ C) grafiği.....	62
Şekil 5.4. $150^0$ C-( $0^0$ C) SEM görüntüsü.....	62
Şekil 5.5. $150^0$ C-( $-195^0$ C) grafiği.....	63
Şekil 5.6. $150^0$ C-( $-195^0$ C) SEM görüntüsü.....	64
Şekil 5.7. $120^0$ C-( $78^0$ C) grafiği.....	65
Şekil 5.8. $120^0$ C-( $78^0$ C) SEM görüntüsü.....	65
Şekil 5.9. $120^0$ C-( $0^0$ C) grafiği.....	66
Şekil 5.10. $120^0$ C-( $0^0$ C) SEM görüntüsü.....	67
Şekil 5.11. $120^0$ C-( $-195^0$ C) grafiği.....	68
Şekil 5.12. $120^0$ C-( $-195^0$ C) SEM görüntüsü.....	68
Şekil 5.13. $90^0$ C-( $78^0$ C) grafiği.....	69
Şekil 5.14. $90^0$ C-( $78^0$ C) SEM görüntüsü.....	70
Şekil 5.15. $90^0$ C-( $0^0$ C) grafiği.....	71
Şekil 5.16. $90^0$ C-( $0^0$ C) SEM görüntüsü.....	71
Şekil 5.17. $90^0$ C-( $-195^0$ C) grafiği.....	72
Şekil 5.18. $90^0$ C-( $-195^0$ C) SEM görüntüsü.....	73

<b>Şekil 6.1.</b> Isıtılan numunelerin soğuma hızının artmasıyla birlikte elastisite modülünün düşmesinin gösterilmesi.....	75
<b>Şekil 6.2.</b> Soğuma hızına bağlı olarak elastisite modülünün düşmesi.....	76
<b>Şekil 6.3.</b> Numunelerin ısıtma ve soğutma hızına göre yüzde uzama miktarları.....	76
<b>Şekil 6.4.</b> 150, 120 ve 90 <sup>0</sup> C'lerde ısıtılmış numunelerin ortalama yüzde uzamaları.....	77



# ÇİZELGE LİSTESİ

## Sayfa

Çizelge 1.1. Termoplastiklerin bazı özellikleri (Onaran, 2003).....	5
Çizelge 2.1. Lineer Polimerler (Onaran, 2003).....	17
Çizelge 2.2. Bazı Polimerlerin camsı geçiş ve erime sıcaklığı (Saçak, 2017).....	27
Çizelge 3.1. PE'nin erime akış indeksine göre sınıflandırılması (Ezdeşir v.d, 1999).....	42
Çizelge 3.2. Polietilenlerin yoğunluklarına göre sınıflandırılması (Ezdeşir v.d, 1999).....	42
Çizelge 4.1. Tip 1 test parçasının şekil boyutları ( TS EN ISO 6259 – 1 , ISO 6259 – 3 standartlarına göre).....	50
Çizelge 4.2. Numune et kalınlığına göre numune tipi , hazırlama metodu ve test hızları (TS EN ISO 6259 – 1 , ISO 6259–3 e göre ).....	51
Çizelge 5.1. 150 <sup>0</sup> C'de ısıtılan 78 <sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler.....	60
Çizelge 5.2. 150 <sup>0</sup> C'de ısıtılan 0 <sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler.....	61
Çizelge 5.3. 150 <sup>0</sup> C'de ısıtılan -195 <sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler.....	63
Çizelge 5.4. 120 <sup>0</sup> C'de ısıtılan 78 <sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler.....	64
Çizelge 5.5. 120 <sup>0</sup> C'de ısıtılan 0 <sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler.....	66
Çizelge 5.6. 120 <sup>0</sup> C'de ısıtılan -195 <sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler.....	67
Çizelge 5.7. 90 <sup>0</sup> C'de ısıtılan 78 <sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler.....	69
Çizelge 5.8. 90 <sup>0</sup> C'de ısıtılan 0 <sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler.....	70
Çizelge 5.9. 90 <sup>0</sup> C'de ısıtılan -195 <sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler.....	72
Çizelge 5.10. 150 <sup>0</sup> C'de bekletilen numunelerin sonuç ortalamaları.....	73
Çizelge 5.11. 120 <sup>0</sup> C'de bekletilen numunelerin sonuç ortalamaları.....	74
Çizelge 5.12. 90 <sup>0</sup> C'de bekletilen numunelerin sonuç ortalamaları.....	74

## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

<b>YYPE</b>	:Yüksek yoğunluklu polietilen
<b>HDPE</b>	:High density polyethylene
<b>LLDPE</b>	:Lineer light density polyethylene
<b>LDPE</b>	:Light density polyethylene
<b>ÇDYPE</b>	:Çok düşük yoğunluklu polietilen
<b>UDYPE</b>	:Ultra düşük yoğunluklu polietilen
<b>DYPE</b>	:Düşük yoğunluklu polietilen
<b>OYPE</b>	:Orta yoğunluklu polietilen
<b>Atm</b>	:Atmosfer
<b>PVC</b>	:Polivinilklorid
<b>PE</b>	:Polietilen
<b>C</b>	:Karbon
<b>H</b>	:Hidrojen
<b>Cl</b>	:Klorür
<b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>	:Benzen
<b>CH<sub>2</sub></b>	:Metilen
<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	:Etilen
<b>HCl</b>	:Hidroklorik asit
<b>NH<sub>3</sub></b>	:Amonyak
<b>NH<sub>2</sub></b>	:Amin
<b>F</b>	:Florür
<b>Dk</b>	:Dakika
<b>Mol</b>	:Molarite
<b>°C</b>	:Celcius derece
<b>cal</b>	:Kalori
<b>kcal</b>	:Kilokalori
<b>Kal</b>	:Kalori
<b>H<sub>2</sub>O</b>	:Su
<b>ISO</b>	:International Organization for Standardization
<b>DIN</b>	:Deutsches Institut für Normung
<b>cm<sup>3</sup></b>	:Santimereküp

<b>cm</b>	:Santimetre
<b>m<sup>3</sup></b>	:Metreküp
<b>PA</b>	:Poliamid
<b>PS</b>	:Polistirool
<b>PC</b>	:Polikarbonat
<b>PP</b>	:Polipropilen
<b>OH</b>	:Hidroksit
<b>COOH</b>	:Karboksilik asit
<b>g</b>	:Gram
<b>CH<sub>3</sub></b>	:Metil
<b>PMMA</b>	:Polimetilmetakrilat
<b>PTFE</b>	:Politetrafloretilen
<b>PF</b>	:Krezol reçinesi
<b>UH</b>	:Üre
<b>MF</b>	:Melamin reçinesi
<b>UP</b>	:Polyester reçinesi
<b>PUR</b>	:Poliüretan reçinesi
<b>SI</b>	:Silikon reçinesi
<b>EP</b>	:Epoksi reçinesi
<b>TPEs</b>	:Termoplastik elastomerler
<b>PD</b>	:Polimerizasyon derecesi
<b>PB</b>	:Poliizobütülen
<b>ABS</b>	:Akrilonitril-bütadien-stiren
<b>Psi</b>	:Pounds per square inch
<b>T<sub>e</sub></b>	:Ergime sıcaklığı
<b>T<sub>g</sub></b>	:Camsı geçiş sıcaklığı
<b>E<sub>r</sub></b>	:Elastisite modülü
<b>Mpa</b>	:Megapascal
<b>T</b>	:Sıcaklık
<b>PET</b>	:Polietilen tereftaletin
<b>Mg</b>	:Miligram
<b>UV</b>	:Ultraviyole
<b>San</b>	:Santigrat
<b>UHMW-PE</b>	:Ultra high moleküler weight polyethylene

<b>MDPE</b>	:Medium density polyethtlene
<b>ICI</b>	:Imperial Chemical Industries
<b>ZN</b>	:Zieglar natta
<b>ASTM</b>	:American society for testing and materials
<b>MFR</b>	:Melt Flow Rate
<b>yy.</b>	:Yüzyıl
<b>vb.</b>	:Ve benzeri
<b>A</b>	:Angström
<b><math>\sigma</math></b>	:Sigma
<b><math>A_0</math></b>	:İlk kesit alanı
<b>N</b>	:Newton
<b><math>mm^2</math></b>	:Milimetrekare
<b>F</b>	:Force
<b><math>\epsilon</math></b>	:Epsilon (Birim uzama)
<b>%</b>	:Yüzde
<b><math>\sigma_{a.ü}</math></b>	:Üst akma sınırı
<b><math>\sigma_{a.a}</math></b>	:Alt akma sınırı
<b><math>\sigma_{\check{c}}</math></b>	:Çekme dayanımı
<b>MPa</b>	:Megapascal
<b>SEM</b>	:Scanner electron microscope



## TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince her konuda bana destek olan değerli Doç. Dr. Gürçan Yıldırım ve Doç. Dr. Murat Pakdil hocalarıma,

Deney numunesi elde etmemde bana yardımcı olan Tekniker Arif Süren ve Tekniker Yunus Emre Savaş arkadaşlarıma,

Testleri yapma sürecimde ihtiyacım olan malzemeleri ve test makinelerini temin etmemde bana yardımcı olan Harran Üniversitesi çalışanlarından marangozhane sorumlusu Mehmet Demir'e, Gıda Mühendisi Mehmet Küçükyıldırım'a, HRÜ Laboratuvar Koordinatörü Eyüp Yaşar'a ve Arş. Görevlisi Gökhan Demircan'a teşekkürlerimi sunarım.

Yusuf Can DEMİR

# 1. GİRİŞ

J. Hyatt'ın, 19. yüzyılda keşfettiği yarı sentetik bir polimer olan selüloidden sonra önemi fazlaca artan plastikler dünyada birçok noktada önemli kullanım alanlarını oluşturmuş durumdadır (Akkurt, 1991). Sanayinin birçok alanında kullanılan plastikler, metaller ve seramiklerle yarışır hale gelmiştir. Esneklik, kolay deforme olmayan, kolay şekil verilebilme, geri dönüşümü kolay olan, uzun ömürlü, hafiflik gibi özelliklere sahip olan plastikler sanayide, kablo imalatı, boru, şişe, ulaşım, sağlık, tekstil, mobilya, yedek parça, gibi sektörlerin birçoğunda kullanılabilir hale gelmiştir. Genel olarak petrol endüstrisine dayanan plastik malzemelerin her geçen gün yeni bir türü kullanıma açılmaktadır. Cam elyaf, karbon elyaf ve grafitlerin plastiklerle karıştırılması sonucu yeni özelliklerin ortaya çıkmasına neden olarak plastiklerin mekanik özelliklerinin metallere yaklaşmasını sağlamıştır. Bu gelişen özellikler sonucunda birçok plastik türü mühendislik uygulama alanlarında yer bulmuş ve gelecekte insan hayatına olumlu etkiler yapacağı umulmaktadır (Çetinel, 2000).

## 1.1 Plastikler Hakkında Genel Bilgiler

Polimerlerden değiştirilerek ya da katkı maddesi katılarak oluşturulan maddelere plastik denir. Karbonun oksijen, hidrojen, azot gibi organik ve inorganik elementlerle çeşitli oranlarda birleşmesiyle monomer olarak isimlendirilen moleküllerin uzun zincirli yapı oluşturmasıyla oluşurlar (Hurd, 2001). Polimerler kullanıldığı alana göre değişiklik göstererek plastik, kauçuk, fiber, kaplama ve yapıştırıcı gibi örnekleri vardır. Bunların içinden plastik, polimerin saf olarak katıldığı ya da katkı maddesi de katılarak üretilen kısmıdır. Plastiklerin isimleri yapılarında bulunan monomer yapısının ismi ile ilişkilidir (Ceylan, 2006). Plastik üretilirken polimer saf halde kullanılabildiği gibi saf halinin yanına birçok katkı maddesi katılarak da üretilebilir. Bunlar; ısıl stabilizörler, dolgu maddeleri, birleştirici ajanlar, antioksidanlar, kaydırıcılar, renklendirici, viskozite düşürücüler, dayanıklılığı artırıcılar gibi maddelerdir. Bu katkı maddelerinin oranı plastiğin istenen özelliğine göre değişebilmektedir (Pişkin, 1997).

20. yy.'ın ikinci yarısında çeşitliliği ve kalitesi artan plastiklerin ucuz olması, dayanıklı, kolay şekillendirilebilir olması, elektrik ve ısı yalıtkanlığı özelliği bulunması onları inşaat, uçak, tekstil, otomotiv, elektronik, ev eşyaları gibi sektörlerde kullanımlarını arttırmıştır (Koç, 2003). Görünüş olarak renksizdirler lakin renk vericilerle renklendirmek mümkündür. Yoğunlukları  $0.9-2.5 \text{ g/cm}^3$  arasında değişmektedir. Genelde su yüzeyinde yüzerler ve ağırlığın istenilmediği yerlerde rahatlıkla kullanılabilir. Kimyasal olarak moleküler yapıdadır ve moleküller arası bağları zayıftır. Kısmi olarak alev alabilme özellikleri vardır. Plastikler genel olarak yüksek sıcaklıkta kullanılamaz hale gelebilmektedir (Akkurt, 1991).

Plastiklerin alevlenme özelliği değişik şartlara bağlıdır. Mesela plastikleştirici içermeyen katı PVC aleve yaklaştırılıp daha sonra da alevden uzaklaştırıldığında kendiliğinden sönebilmekteyken plastikleştirici içermeyen köpük PVC aleve yaklaştırılıp uzaklaştırıldığında kendi kendine yanmaya devam edebilmektedir. Bu malzemelerin eğilme özelliği de sıcaklıkla alakalıdır. Özellikle su borularında sıcaklık yüksek iken yumuşama fazla olurken soğuktaysa katılaşır. Termoplastiklerde sertlik derecesi hem sıcaklığın artmasıyla hem de katılan plastifiyan miktarının artmasıyla azalırken, termosetlere katılan dolgu maddesinin sayesinde sertlik artar ve bu malzeme sıcaklık arttığında dahi sertliğini kaybetmez. Bunun yanında opak olarak renk verilmiş plastikler dış tarafı boyanmış olan plastiklerden daha serttir (Akkurt, 1991).

Metal ile plastikler arasında çok fazla fark bulunmaktadır (Shackelford, 2018). Metallerin dış kabuğu atomlarını tamamlamamıştır. Bu nedenle kimyasal etkilere karşı dayanıksızdır. Plastikte ise dış kabuk elektrona doymuş moleküllerden oluşmuştur ve soy gaz özelliği olduğundan dolayı kimyasal etkilere karşı dayanımı yüksektir. Plastik malzemelerin bağ cinsinin metallere göre değişiklik içermesinden dolayı mekanik ve fiziksel davranışlarının metallere göre farklı olmasını sağlamıştır (Şelale, 2006). Plastikler bazlara, tuz çözeltilerine, asitlere karşı metallere kıyasla daha dayanıklıdır. Bunların zayıf konsantre olanlarından etkilenmezken yoğun olanlara karşı etkileşime girebilirler. Plastikler kimyasal maddelerden etkilenirken etkilenme derecesi maddenin sıcaklığına, uygulanan gerilmeye, plastiğin polimerik yapısına ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Kimyasal ortamda bulunan plastik malzeme gerilme etkisiyle üzerinde gerilmenin yoğun olduğu yerlerde hassaslık

meydana gelir. Eğilme gibi yükler altında malzemede çatlak oluşumu olabilir. Bu çatlaklardan içeri sızan kimyasal maddeler plastiğin yapısının bozulmasını başlatabilir (Varol, 1994).

İklim koşulları da plastik malzemelerde bozulmaya sebep olur. Yağmur, dolu, hava kirliliği gibi etmenler plastik yapısında bozulmalara sebep olur. Hava ile etkileşim sonucu kimyasal bozulmalar oluşur. Plastik malzemeleri havada en çok etkileyen etmen ultraviyole ışıklardır. Bu ışınlar malzemenin gevrekleşmesine ve renginin solmasına sebep olur. Genellikle güneş etkisi altında kalan plastik malzemelerde bu görülür (Varol, 1994). Fakat yapılarına bazı takviye malzemeler konularak özellikleri geliştirilebilir. Örneğin ultraviyole ışığına ve havaya karşı koruma amaçlı olarak stabilizatör, antioksidan, akriliksin ve karbon siyahı gibi maddeler katılabilir (İpek, 1999).

Plastiklerin ısıl iletimi iyi değildir. Metallerin ısı iletim değerleri 200-10.000 cal/san.<sup>0</sup>C\*10<sup>4</sup> arasındayken plastiklerinki ise 2-8 cal/san.\*10<sup>4</sup> değerleri arasındadır. Isıl iletimi iyi olmayan bu malzemelerde gerilme nedeniyle artan sıcaklık malzemede birikmekte ve bu etki de malzemede yorulmaya sebebiyet vermektedir. Bunun önüne geçmek için iletkenliği arttırmak gerekmektedir. Bu yüzden de malzemeye alüminyum, bakır gibi metal tozları katılmaktadır. Termosetler genel olarak en çok 150 ile 230 <sup>0</sup>C arasındaki sıcaklıklara dayanabilmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda kömürleşmeye başlar. Plastik malzemeler ısıtılınca kendi hacminin 5-15 kat arasında genişleyebilir (Akkurt, 1991). Elektriksel iletkenlikleri iyi değildir. Çünkü elektriksel iletkenlikleri iyi olan malzemelerin yapısında serbest iyonların ve elektronların var olması gerekmektedir. Plastik malzemelerin yapısındaki zincirler sert ve bükülmezdir. Yönelme olayları elektronların serbestliğini engellediği için yalıtkandır. İyi bir izolasyon malzeme özelliğine sahiptir. Yüksek dielektrik katsayısına sahip plastikler düşük frekanslı yerlerde yalıtkan olarak kullanılabilir (Alkan, 2011).

## **1.2 Plastik Malzemelerin Çeşitleri**

Plastikler başta petrol olmak üzere kömür ve pamuk gibi maddelerden kimyasal süreçlerle elde edilebilen malzemelerdir. Monomerlerin yani tek yapı

moleküllerin birleşmesiyle çok yapılı moleküllerin yani polimerlerin oluşmasıyla meydana gelir (Tırpancı, 2017). Çeşitli türde plastik ürünleri mevcuttur. Bütün plastik türlerinin ortak nitelikleri olan hafif olması, istenilen renkte ya da şeffaf olabilmesi, nem almama özelliği bulunması, alçak sıcaklık derecelerinde eriyebilmesi, elektrik ve ısı yalıtkanlığı bulundurması, ince tabaka şeklinde işlenebilme özelliği bulundurması, döküm yöntemiyle şekillendirilmesi kolay olmaları gibi özellikleri sayılabilir. Plastik malzemeler çeşitlerine göre farklı özellikler gösterse de molekül yapısı olarak 3 çeşide ayrılır (Güngör, 2001).

### **1.2.1 Termoplastikler**

Termoplastik polimerler ısıtılabilir, soğutulabilir ve sertleştirilebilir. Daha sonraki işlem basamaklarında ise karakteristik özelliklerini koruyan ve yeniden aynı işlemleri tekrarlayabilen bir polimer türüdür (Narlıoğlu, 2018). Şekillendirme esnasında kimyasal reaksiyona maruz kalmazlar. Ayrıca uygun çözücülerde çözünebilir (Demirci, 2015). Ağ şeklinde bir yapı oluşturmada fakat birbirlerine bağlanmamaktadır. Genel olarak 100<sup>0</sup>C üzerinde erimeye başlar ve kolay şekil değiştirmeye elverişli hale gelir (Bilici, 2011). Sıcaklık üst derecelerdeyken şekillendirildikten sonra soğutulmaya bırakıldığında eski haline döner. Gerektiğinde kaynak edilebilme özellikleri mevcuttur (Kıralp vd. 2006). Termoplastikler, yumuşama noktalarının üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtılarak uygun bir sistemle, örneğin enjeksiyonla, bir kalıp içerisine doldurulup soğutularak istenilen şekillere sahip plastik malzemelere dönüştürülebilir (Kangallı, 2007).

Termoplastikleri oluşturan zincirler tam anlamıyla kristal bir yapı oluşturmaz. Hem amorf yapıyı hem de kristal yapıyı içlerinde barındıran bir yapı oluşturur. Yarı-kristalin içindeki amorf yapı elastikiyet sağlar iken, kristal yapı da mukavemeti ve bükülmezliği sağlar (Resim 1.1) (Nart, 2011).



**Şekil 1.1.** Termoplastiklerin molekül yapısı (Güngör, 2001).

**Çizelge 1.1.** Termoplastiklerin bazı özellikleri (Onaran, 2003)

Malzeme	Özgül ağırlık Mg/m <sup>3</sup>	Çekme Muk. MPa	Elastisite Mod. MPa	Kullanma Sıcaklık Sınırı, °C
Poliyeten (düşük özgül ağır.) (PE)	0,92-0,93	7-17	105-280	80
Poliyeten (yüksek özgül ağır.) (PE)	0,95-0,96	20-37	420-1260	100
Polivinilklorür (PVC)	1,50-1,58	40-60	2800-4200	110
Polipropilen (PP)	0,90-0,91	50-70	1120-1500	105
Polistren (PS)	1,08-1,10	35-68	2660-3150	85
ABS (Akronitril-Bütadien-Stiren)	1,05-1,07	42-50	-	75
Polimetilmetakrilat (PMMA)	1,11-1,20	50-90	2450-3150	125
Politetrafloretillen (Teflon)	2,1-2,3	17-28	420-560	120
Naylon .6.6	1,06-1,15	60-100	2000-3500	82
Sellülozikler	1,2-1,3	20-50	-	60

Yüksek yoğunluklu poliyeten (PE), kimyasal maddelere karşı dirençli, elektriksel yalıtkanlığı olan, yumuşak, işlenmesi kolay bir malzemedir. Oyuncak, boru, kablo ve kap yapımında kullanılır (Akkurt, 1991). Alçak yoğunluklu poliyeten (PE) yoğunluğu daha az, sıcaklığa karşı dayanıklı ve kimyasal maddelere karşı direnci yüksektir. Yüksek gerilim hatlarında, boru üretiminde, kimya alanında kullanılan kaplarda kullanım alanları bulunur (Güngör, 2001).

Polivinilklorid (PVC) üretilmesi için ilk önce etin tuz asidinde tutulur ve vinilklorür elde edilir. Bu monomer emülsiyon ve süspansiyon polimerizasyonu ile polimerize edilir. PVC malzemesi rahat üretildiğinden, hammaddesinin temininin kolay olmasından ve ucuz olmasından dolayı çok fazla kullanım alanı vardır. PVC, işlenmesi sırasında 160<sup>0</sup> C sıcaklığın üzerinde renklenme tehlikesi vardır. Bu durumun engellenmesi stabilizatör ilavesiyle mümkündür. Sert PVC'nin iyi

özellikleri arasında kimyasallara karşı dayanıklılığı, yanmaz olması, rijitliğinin fazla olması sayılabilir (Koç, 2003). Kötü özelliklerinden en dikkat çeken  $-5^{\circ}$  C altında kırılğan bir yapı oluşturur. Sert PVC'nin mekanik özellikleri yumuşatıcı ilavesiyle değiştirilebilmesi mümkündür. Sert ve az uzamadan, yumuşak ve fazla uzamaya kadar özellikler sağlanabilir. Katılan yumuşatıcı, ilavesinin miktarına göre ayarlanabilir (Topbaş, 1993).

Sert polivinilklorid (PVC), sert, renksiz, kimyasallara karşı dayanıklı, pürüzsüz yüzeyi olan, kaynak edilebilir niteliği mevcut bir malzemedir. Cihaz kutularının yapımında ve PVC boru üretiminde kullanılır. Yumuşak polivinilklorid (PVC) elastik özelliği olan, kimyasallara karşı dayanımı yüksek, korozyona dayanıklı, renksiz, kaynak edilebilir özelliğe sahip bir malzemedir. Sac kaplaması, suni deri, zemin kaplama işlerinde ve hortum yapımında kullanılır (Güngör, 2001). Yumuşak PVC'ler lastik yumuşaklığındadır ama soğuk ortamlarda kırılğandır. Bunu önleyici yumuşatıcılar ilave edildiğinde bu durum engellenebilir (Taylan, 2009).

Darbeye dayanıklı polistirol (PS), darbelere dayanıklı, cama benzeyen yapısıyla gevrek, kaynak edilebilen bir malzemedir. Ambalaj yapımında, far yapımında, büro eşyalarında, elektrik sanayisinde kullanılır (Kıralp vd. 2006).

Köpük halindeki polistirol (PS), gözenekli yapıya sahiptir, ısı iletimi ve yoğunluğu düşüktür. Strafor olarak kullanılır (Güngör, 2001).

Polikarbonat (PC) karbonik asitten türemiştir. Sünek ve serttir. Termoplastik işleme yöntemlerinin çoğu metoduyla şekil verdirilebilir. Erimiş hali yüksek viskozitelidir. Bu sebeple enjeksiyonla kalıplama yapılırken yüksek basınçlarla yapılır. Asitlere, birçok yağa, metil alkol hariç alkollere dayanıklıdır. İşleme sıcaklığı  $280-320^{\circ}$  C arasında olup boyutsal kararlılığını  $125^{\circ}$  C'ye kadar koruyabilmektedir. Kimyasallara karşı dirençsiz, ısı dayanımı yüksektir. Mutfak eşyalarında ve elektrik sanayisinde kullanılır (Çelikçi, 2013).

Ticari adı hostalen olan Polipropilenler (PP) propandan yani petrol ve doğalgazdan normal basınç polimerizasyonu yöntemiyle imal edilir. İzotaktisite,  $CH_3$  gruplarının polimer zincirindeki durumları katalizörün seçiminde etkileyici bir rol oynar. Düzenleme derecesi en yüksek olan izotaktik PP, en düşüğü ise ataktik PP'dir. Düzenleme derecesi fazla olan yani izotaktik düzenleme gösteren PP, kristallik

derecesi yükseldiği için mekanik özellikleri ve termal özellikleri iyileşir. Ataktik durumunda ise düzensiz zincir diziliminden dolayı kristallik derecesi azaldığından termal özellikler ve mekanik özellikler kötüleşir. Polipropilen, bütün yüksek polimerler içinde en düşük yoğunluğu ( $0,906 \text{ g/cm}^3$ ) olanıdır (Koç, 2003). PP, PE'ye oranla daha yüksek dayanıma ve yüzey sertliğine sahiptir. Bunun yanında gerilim çatlağı oluşturması daha az olasılıktadır ve termik özellikleri PE'ye göre daha iyidir. PP, yumuşama durumuna geçene kadar mekanik özelliklerinde pek değişme göstermez. Polipropilenler  $100^0 \text{ C}$ 'ye kadar sürekli sıcaklığa dayanım gösterir. Hatta üzerine kuvvet uygulanmadığı takdirde  $140^0 \text{ C}$ 'ye kadar dayanım gösterir. Su almaz, bu yüzden atık su borularının imalinde kullanılabilir. Parafin tarzı yapısından dolayı kimyasal maddelere karşı dayanımı yüksek olmakla birlikte sadece oksitleyici ortamlara uyum gösteremez.  $0^0 \text{ C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda kırılma özelliği ön plana çıkar. Cam fazın takviyesiyle çekme mukavemeti dayanımı iki katına, elastiklik modülü ise 5 katına kadar artırılabilir (Topbaş, 1993).

Poliamid (PA), su emme niteliği olan, darbeleri sönümleyici özelliği bulunan bir malzemedir. Dişli çark yapımında ve cihaz kutusu üretiminde kullanılır (Kıralp vd. 2006).

Akriglas (PMMA) sert, gevrek, kaynak edilebilen, şeffaf bir malzemedir. Süs eşyası yapımında, gözlük ve cam kaplamalarında kullanılır (Güngör, 2001).

Politetrafloretillen (PTFE), diğer ismiyle teflon özgül ağırlığı en çok olan polimer sayılır çünkü kristalleştirilmesi yüksektir. Sünük ve serttir. Isı direnci yüksek, kimyasallara karşı dayanıklıdır. Moleküler yapısı simetrik ve homojendir. Mukavemet özellikleri ve aşınma dayanımı yüksektir.  $-200^0\text{C}$  ve  $260^0\text{C}$  arasında kullanıma açıktır. Sürtünme katsayısı düşük olduğu için conta, yatak ve burç yapımına uygundur. Yüksek sıcaklık değerlerine de dayanıklı olduğundan ötürü mutfak eşyalarında da kullanıma uygundur (Onaran, 2003).

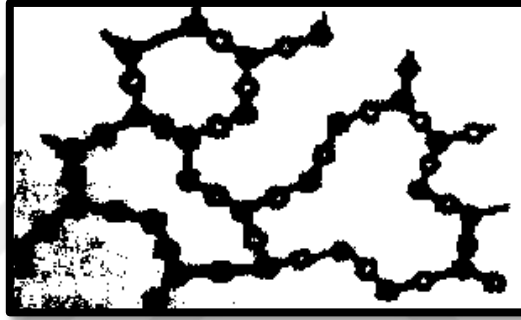
Naylon, poliyamidlere dahildir. Aşınmaya karşı dayanıklılığı, tokluğu, rijitliği ve mukavemeti yüksektir. Kristalleşmesi arttıkça yumuşama sıcaklığı ve mekanik özellikleri yükselir. Naylonlar kopolimerdir ve farklı cinsteki merlerin içerdikleri karbon atomuna göre isimlendirilir. Dişli üretiminde ve elektronik sanayisinde kullanılır (Onaran, 2003).



Ticari adı plexiglas olan polimetilmetakrilat (PMMA), etin ve mavi asidin blok polimerizasyonu ile üretilir. Optik özellikleri çok iyi olmakla birlikte, mekanik dayanımları, yaşlanmaya karşı dayanıklılığı üst derecededir. Ayrıca soğuğa karşı da dayanıklıdır ve ortam sıcaklığı olarak 100<sup>0</sup>C'ye kadar kullanılabilir. Saydam ve serttir. Dış etkilere karşı dayanıklıdır. (Topbaş, 1993).

### 1.2.2 Termoset Plastikler

Termoset plastiklerin molekül zinciri ağ şeklindedir ve çok sert bir yapıya sahiptir (Bilici, 2011).



Şekil 1.2. Termoset plastiklerin zincir yapısı (Güngör, 2001).

Termosetler, ısıtılmasıyla bir defa istenilen şekle sokulabilen polimerlerdir. Bunlar tekrar ısıtılmak suretiyle şekillendirilemez. Ayrıca termosetler çözünmez. Polikondansasyon reaksiyonu ile elde edilir ve çapraz bağlı bir yapıya sahiptir (Resim 1.2) (Demirci, 2015).

Termoset plastikler normalde yumuşak haldedir. Bu malzeme 150<sup>0</sup> C'de ısıtıldıktan sonra sertlik kazanır ve soğutulduğunda da sertlik özelliğini korur. Sıcaklığın etkisiyle kazanılan mekanik özellikler yitirilmez, muhafaza edilir. Genellikle içine konulan katkı maddeleri termosetlerin niteliğini belirlemektedir. Isıya karşı direnç arttırmak için taş, kuvars ve asbest tozları katılır. Elektrik izolasyonu için cam yünü katılır. Sünekliğin artması için tahta tozları katılırken çok fazla süneklik sağlamak için tekstil yünleri eklenir (Shackelford, 2018).

Termoplastlar ve termosetler arasındaki ayrımı yapabilmek için bu malzemeler küçük parçacıklar halinde veya toz halinde deney tüpünde ya da

herhangi bir kapta ısıtılması gerekir. Isıtılan termosetler yumuşamazlar, kararır parçalanırlar. Sertleşmemiş olan bazı termosetler geçici olarak yumuşayabilir fakat sıcaklık arttıkça reçine haline gelip katı hale geçerler. Termoplastlar ise ısıtılınca yumuşarlar, parçalanmadan önce de erirler. Kısmen kristalli yapılı olan PE ve PP eğer renklendirici içeriyorsa parçalanmadan önce cama benzer bir hal alır (Öztürk, 2005).

Termoplastik gibi termosetlerin de birçok çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan fenol ve krezol reçineleri (PF), asitlere karşı dayanımı yüksek, yüksek basınçla şekillendirilmeye uygun, açık sarı renkli bir malzemedir. Makine ve cihaz parçalarının üretiminde kullanılır.

Üre (UH) ve melamin (MF) reçineleri de açık sarı renklidir, sıcaklığa ve asitlere karşı dayanımı yüksektir, besin ambalajlanmasında kullanılamaz. Dolgu macunu olarak kullanım alanları mevcuttur (Güngör, 2001).

2 kıymetli alkol ile dikarbonikasinin polikondenzasyonu, polyester içinde çözülerek peroksit sertleştirici yardımıyla doymamış polyester ortaya çıkar (Topbaş,1993). Polyester reçinesi (UP) yapışkan nitelikte, sert ya da yumuşak olarak üretilebilir. İplik dokumada, besin ambalajlanmasında kullanılır (Kıralp vd. 2006).

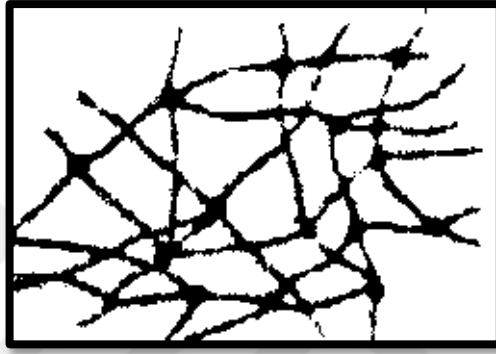
Poliüretan reçinesi (PUR), kimyasallara karşı dayanıklı, sert, şeffaf ve yumuşaktır. Köpük malzemesi olarak, araba tampon yapımında, kasnak kayış tertibatlarında kullanım alanları mevcuttur (Kıralp vd. 2006).

Silikon reçinesi (SI) beyaz renktedir, su almaz, sert ya da yumuşak olarak üretimi yapılabilir. Dolgu macunu olarak ve izole maddesi olarak kullanımı mevcuttur (Weissbach, 1998).

Epoksi reçinesi (EP), döküm usulüne uygun, sert, elektrik direnci yüksek, asit ve tuz çözeltilerine karşı dayanıklıdır. Bu yüzden deniz araçlarında, uçak parçalarında kullanılır (Güngör, 2001). Sertleşirken poliadisyon yoluyla yan ürün çıkartmadan sertleşme özellikleri mevcuttur. Üretimi zor olduğundan dolayı maliyeti de fazladır fakat mekaniksel ve elektriksel olarak çok iyi özelliklere sahiptir. Cam ve metallere iyi derecede yapışma kabiliyetleri bulunur. Sıcakta ve soğukta sertleşip yapışan maddelerin hammaddesini oluşturur (Weissbach, 1998).

### 1.2.3 Elastomerler

Molekül yapısı zincir şeklindeki ağlardan oluşmuştur ve birbirlerine düğümlenmiş haldedir (Resim 1.3). Çekme kuvvetiyle birlikte uzama miktarı çok fazla olan ve çekme kuvveti kaldırıldığında tekrar ilk uzunluğuna dönen, çapraz bağlanmış kauçuğumsu polimerlere, elastomer adı verilir. Elastomerler, yüksek elastikiyet özellikleri olduğundan dolayı bu ismi almışlardır. Bu özellik, molekül yapılarının düşük çapraz bağ yoğunluğuna sahip ağ yapısından kaynaklanmaktadır (Nart, 2011).



Şekil 1.3. Elastomer zincir yapısı (Güngör, 2001).

Oda sıcaklığında en az iki katına kadar defalarca esneyebilen ve tekrar eski haline dönebilen malzemelerdir (Askeland, 2018). Çekme yükü ile birlikte uzamaya başlayan elastomer zincirlerde, kalıcı deformasyon çapraz bağlar tarafından engellenir (Paça, 2011). Tamamen amorf yapıya sahip olan elastomerlerin zincirleri birbirlerinin üstünden, kendi içlerinden geçerek etrafta rastgele bükülmektedir. İki yana doğru çekildiğinde karmaşık yapıdan kurtulup doğrusal bir hal alır ve düzenli bir yapı oluşturmaya başlar. Bu hal aslında polimer zincirleri üzerindeki kuvvetin etkisidir fakat moleküller bu yüksek enerji seviyesinde kalmayı tercih etmezler. Bu yüzden uygulanan kuvvet kaldırıldığı anda üzerlerindeki enerjiyi bırakarak düzensiz hale geri dönerler (Holden, 2000).

Çok yüksek uzama yetenekleri vardır fakat şekil verilebilme ve kaynak yapılabilme yetenekleri azdır. Bunlar lastik niteliği taşımaktadır. Araba lastikleri, sızdırmazlık malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır (Güngör, 2001).

Uzun zamandan beri elastomerler sık çapraz bağ yapılarından dolayı termoset elastomer yani doğal kauçuk olarak bilinmişlerdir. Bu termoset

elastomerlerin termoplastik elastomerlere (TPEs) göre dezavantajlı durumu geri dönüşümü olmamasıdır. (TPEs)'lerin termoset elastomerlere göre birçok avantajı vardır. Renklendirilebilir ve yoğunluğu daha az olması sebebiyle maliyeti daha azdır. Termoset elastomerlere göre daha kısa çevrim zamanı olması gibi özellikleri mevcuttur. Termoplastik elastomerlerin en önemli niteliği elastik olmasıdır. Elastik olması nedeniyle sızdırmazlık elemanlarında başarıyla kullanılabilir (Cengiz, 2012).



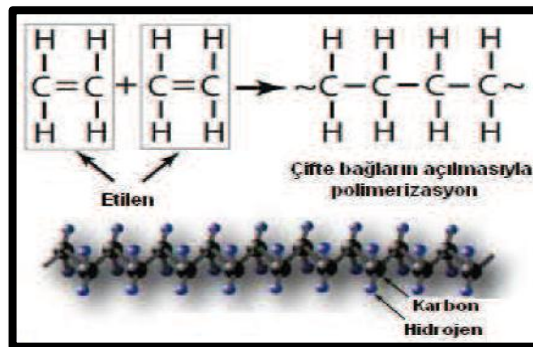
## 2. POLİMERLER

Polimer Yunanca'dan gelen bir isimdir. Poli çok, monu tek, meros parça anlamına gelmektedir. Bu şekilde birleştirildiğinde tek parçalı ve çok parçalı olarak anlaşılmaktadır. Monomer denilen ufak moleküllerin birbirine eklenmesiyle oluşan uzun zincirli moleküllere polimer denir (Taylan, 2009). Polimer, birçok monomer yapının polimerizasyon ile bir araya gelerek oluşturduğu güçlü ve birçok niteliği bulunan bir yapıdır (Saçak, 2010).

Polimer kelimesi plastik kelimesi ile genelde aynı manayı taşıyorlarmış gibi kullanılmaktadır. Fakat kavramları farklıdır. Polimer, monomerlerin polimerizasyonu ile oluşan saf maddeye verilen isimdir. Polimerler nadir olarak katkı maddesi katılmadan kullanılır. Plastik ise polimerlere çeşitli katkı maddelerinin katılmasıyla ortaya çıkar. Polimerlere katılan katkı maddelerinin birçok örneği vardır, bunlardan bazıları antistatik katkılar, pigmentler, dolgular, yağlayıcılar, takviyeler, bağlayıcı katkılar, kararlılaştırıcılar ve alev önleyicilerdir (Crawford, 1998).

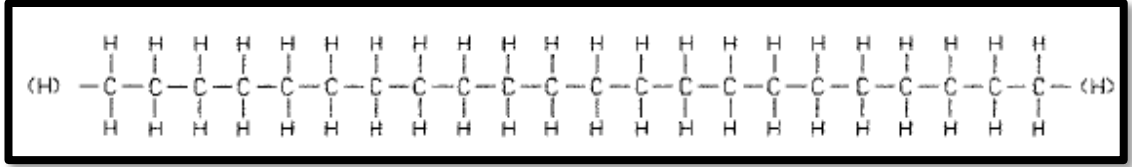
### 2.1 Polimerlerin Yapısı

Polimerler küçük moleküllerin polimerizasyonu ile oluşur (Basan, 2001). Polimerler içerisinde polietilenlerin üretimi başlangıçta 2 tane birbirine çifte bağlanmış olan karbon atomu ve bunlara bağlı 4 tane hidrojen atomundan oluşur (Resim 2.1). Bunların oluşturduğu bileşiğe etilen denilmektedir (Saçak, 2017).



**Şekil 2.1.** Etilen ve çifte bağların açılmasıyla oluşan polimerizasyon (NDT Resource Center).

Bir polietilen molekülü karbonların birbiriyle kovalent bağlı olduğu ve karbonlara da bir çift hidrojen atomunun bağlı olduğu yapıdır. Bu zincirli yapının sonu metil grubuyla biter. Bu zincir Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Basan, 2001).



**Şekil 2.2.** Polietilenin kimyasal olarak yapısı (Akkurt, 1991).

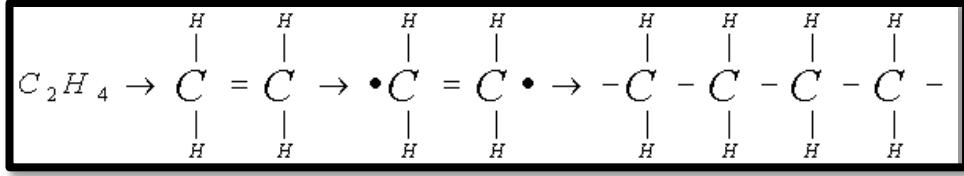
Monomerlerin birbirlerine yüzlerce, binlerce hatta daha fazlasının bağlandığı polimer molekülüne makromolekül denir. Bu sayıların küçük olduğu alt sınırdaki yer alan kısma oligomer, üst sınır bölgesinde yer alan polimerlere makromolekül denir. Polimer, oligomerlerden makromoleküllere kadar olan bölgenin genel adlandırma biçimidir (Baysal, 1981).

Karbon atomları birbirleri ile olan bağın makromolekül zincirinin omurgasını oluşturur. Diğer atomlar ise (hidrojen, oksijen...) bu omurgaya dizilir. Makromoleküller tek bir zincire dizilemez. Makromoleküller birbiri içine karışmış şekildedir. Birbirlerinden bağımsız olmalarına rağmen birbirleriyle ilişkili makromolekül yumağı, polimerik malzeme olarak isimlendirilir (Fried, 2003).

Polietilen, polimerizasyon derecesi  $n$  olan çok sayıda etilen monomerden oluşur. Bu polimerleşme  $C_{2n}H_{4n+2}$  formülünden oluşur (Shackelford, 2018). Polietilen farklı uzunluktaki zincirlerden oluşabilir. Polimerizasyon derecesi 100’den az olamaz ve 250.000’e kadar çıkabilir (Mirik, 2010). Bunların molekül ağırlıkları da 1.400 ile 3.500.000 g/mol’e kadar değişebilmektedir. Polimerizasyon dereceleri 8 ile 100 arasında değişen düşük molekül ağırlığına sahip polietilenlere oligomer denir (Saçak, 1998). Oligomerler plastik benzer özelliklere sahip değildir ve kolay şekil alabilir. Polimerizasyon derecesi 8’den küçük olan alkanlar oda sıcaklığındaki normal basınçlarda sıvı ya da gaz halinde bulunur. Polietilenler dallanmış olabilir ve az oranda doymamışlık vardır (Oğuz, 2011).

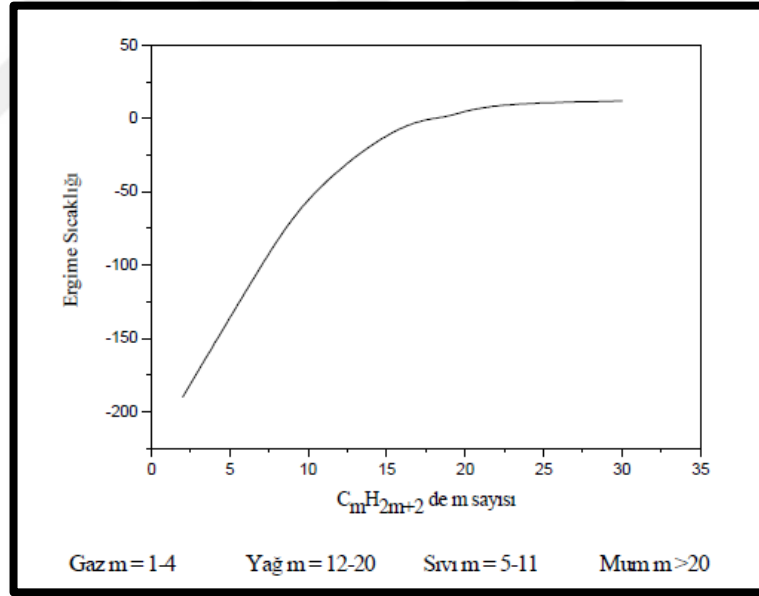
Polimerler doymamış hidrokarbonlardan oluşur. Bu doymamış hidrokarbonlar kendi arasında iki veya daha fazla sayıda kovalent bağ yapar. Bağlardan biri basınç,

sıcaklık ve katalizör etkisiyle koparıldıktan sonra iki tane reaksiyon bağı oluşturulur. Şekil 2.3'te verildiği gibi iki yan bağda elektron bulunur ve bağlanmaya hazır hale gelir (Akkurt, 1991).

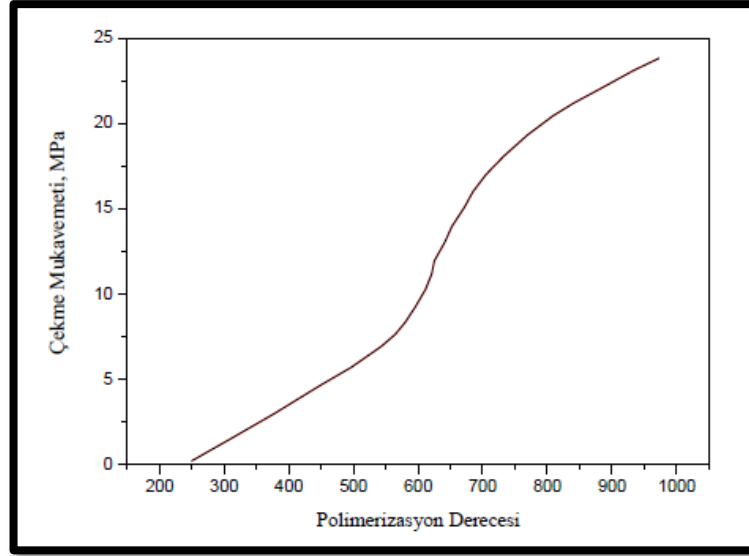


Şekil 2.3. Etilen polimerinin oluşma aşamaları (Onaran, 2003).

Hidrokarbonun formülize edilmiş biçimi  $C_nH_{2n+2}$ 'dir. Buradaki n sayısı arttıkça molekül büyür. Molekül zinciri artar, zincir arttıkça zayıf bağ miktarı da artar ve mukavemet değeri yükselir. Şekil 2.4'te m sayısına bağlı olarak ergime sıcaklığının değişikliği gösterilmiştir (Shackelford, 2018).



Şekil 2.4. m sayısına bağlı olarak ergime sıcaklığı (Onaran, 2003).

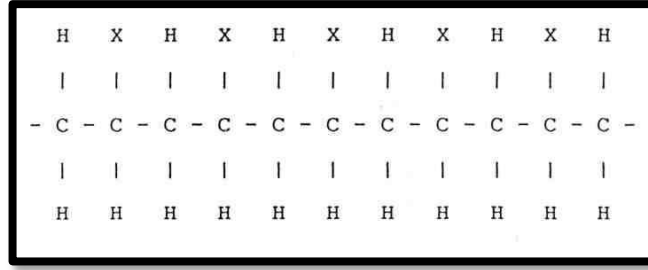


**Şekil 2.5.** m sayısına bağlı olarak mukavemet değerinin değişimi (Onaran, 2003).

Her polimerin zincirinin uzunluğu aynı değildir. Zincirde bulunan mer sayısı, polimerizasyon derecesini yani (PD)'yi gösterir. Yukarıdaki Şekil 2.5'te polimerin m sayısıyla ilişkili olarak mukavemet değerleri verilmiştir. Polimerin ağırlığı yapısındaki mer sayısına ve bir merdeki molekül ağırlığının çarpımıyla bulunabilir (Akkurt, 2018). Malzemelerde zincirlerin boyları değişik olduğundan dolayı polimerizasyon derecesi (PD) istatistiksel metodlar kullanılarak ortalama olarak bulunur (Saçak, 1998). Zincirin molekül ağırlığının toplam ağırlığa göre yüzdesel olarak oranı bulunur. Belli uzunluktaki zincirlerin PD'si ve ağırlık yüzdeleri değişikliği eğri şeklinde çizilir. Çizilen eğri çan şeklini alır ve alt tarafında kalan alan ortalama polimerizasyon derecesini verir (Saçak, 2004). Polimerlerin molekül büyüklüğü ölçülürken viskozite, osmoz basıncı, ışığı kırma özelliği kullanılır. Bir polimer molekülünün 3 tane etkin faktörü vardır. Bunlar, dallanma, çapraz bağ ve polimerizasyon derecesidir. Bu etkin faktörler üretim sırasında üretimin koşuluna göre değişken olduğundan molekül yapısı da üretim şartlarına göre şekil alır (Ertürk, 2007).

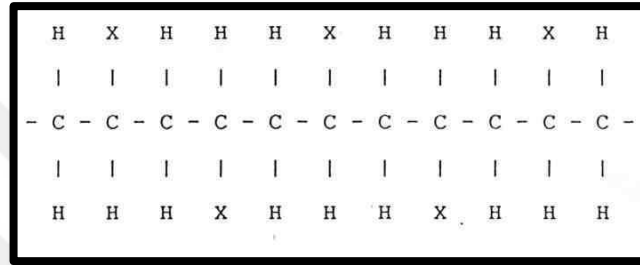
Polimerlerin zincir düzeninde değişik diziliş türleri vardır. Yan gruplar konum olarak değişik sıralanmıştır. Bu değişikliklerin 3 farklı konumları mevcuttur. Değişikliklerin isimleri, izotaktik, ataktik, sindiyotaktiktir. İzotaktik olarak isimlendirilen dizilişte aynı tür atomların zincirin aynı yönüne sıralanmasıyla oluşan yapıdır (Resim 2.6) (Shackelford, 2018).





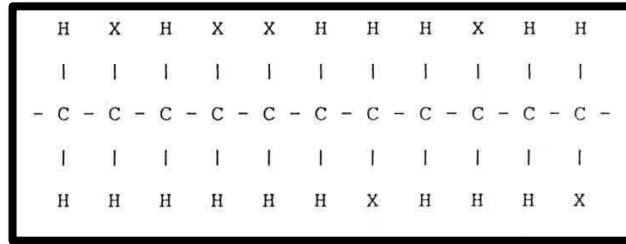
**Şekil 2.6.** Polimerlerin izotaktik olarak dizilişi (Ulaş, 1991).

Ataktik dizilişte ise atomlar zincirin her iki yanına rastgele dizilmesiyle oluşur (Resim 2.7) (Krevelen, 1990).



**Şekil 2.7.** Polimerlerin ataktik olarak dizilişi (Ulaş, 1991).

Sindiyotaktik dizilimde ise bileşimler aynıdır fakat merlerin dizilimi farklıdır (Resim 2.8) (Krevelen, 1990).



**Şekil 2.8.** Polimerlerin sindiyotaktik dizilişi (Ulaş, 1991).

### 2.1.1 Lineer Polimerler

Bu polimer tipi vinil ve bütadien olarak ikiye ayrılır. Bu polimer türünün oluşumundaki polimerler Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Vinil türü monomerde çift bağlı C atomu bulunmaktadır. Bu karbon atomlarına ikişer yan bağlı atomlar bulunmaktadır. Bunların ilk 3’ü H, diğeri ise başka türde bir atomdur. 4. atom yine

hidrojen olursa etilen, eğer Cl olursa vinilklorür olur. Eğer 4. yan atom CH<sub>3</sub> grubuysa propilen, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> (benzen halkası) ise stiren monomeri oluşur. Eğer vinil türdeki monomerde iki yan atomu hidrojen diğer yan atomları başka türden ise buna viniliden monomeri denilir. Bu son iki yan atom eğer Cl olursa buna viniliden klorür denir. Eğer dört yan atom F olursa buna da tetrafloretilen polimeri denir. Eğer birbirine çift bağlı karbonlardaki bağı polimerizasyon işlemiyle koparılırsa karbonlarda birer tane reaksiyon bağı oluşur ve diğer monomerler bunlara bağlanarak zincir şeklinde polimerlere dönüşür. Oluşan ürün açısından polimerizasyon işlemi de ikiye ayrılır. Ekleme polimerizasyonunda reaksiyon oluşturan tüm atom grupları ve elemanlar kullanılır, yan ürün ortaya çıkarmaz. Diğer bir tür olan yoğuşma türü polimerizasyonda yani diğer adıyla kondansasyon polimerizasyonunda polimerlerin oluşumunun yanında yan ürünler de meydana çıkar. Genellikle bu oluşan yan ürün sudur. Reaksiyona giren monomerin başına poli sözcüğü getirilerek polimerin sözcüğü elde edilir. Misal olarak izobütülenin başına poli sözcüğü eklendiğinde poliizobütülen (PB) adı ortaya çıkar (Onaran, 2003).

Çizelge 2.1. Lineer Polimerler (Onaran, 2003)

Vinil Grubu	R Kökü	Monomer	Polimer
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	—H	Etilen	Polietilen (PE)
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	—Cl	Vinilklorür	Polivinilklorür (PVC)
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	—CH <sub>3</sub>	Propilen	Polipropilen (PP)
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	—C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	Stiren	Polistiren (PS)
Vinilidener	R <sub>1</sub> —R <sub>2</sub>	Monomer	Polimer
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R}_1 \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{R}_2 \end{array}$	—Cl —Cl	Vinilidenklorür	Polivinilklorür kopolimeri
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R}_1 \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{R}_2 \end{array}$	—CH <sub>3</sub> —CH <sub>3</sub>	Izobütülen	Poliizobütülen (PB)
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R}_1 \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{R}_2 \end{array}$	—CH <sub>3</sub> COOH <sub>3</sub>	Metilmetakrilat	Polimetilmetakrilat (PMMA)
Bütadien Grubu	R Kökü	Monomer	Polimer
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R} \quad \text{R} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	—H	Bütülen	Polibütülen (sentetik kauçuk)
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R} \quad \text{R} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	—Cl	Kloropren	Polikloropren (neo pren, sentetik kauçuk)
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R} \quad \text{R} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	—CH <sub>3</sub>	İzopren	Poliizopren (Doğal kauçuk)

Lineer polimerlerde aynı cinste merler bulunuyorsa buna homopolimer en az iki tip monomerin oluşturduğu yapıya ise kopolimer denir (Resim 2.9) (Sunay, 2012).

Monomer: A	Homopolimer: A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A
Monomerler: A,B	Kopolimer: A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A

**Şekil 2.9.** Homopolimer ve kopolimerin sembolik gösterimi.

Homopolimerlerde zincir boyunca bağ açıları ve bağ uzunlukları aynıdır ve simetrik olarak dizilmişlerdir. Bu sayede komşu zincirlerle kristalli bir yapı oluşturma eğilimi artar. Kopolimer denen olayda ise farklı cinsten ve türden merlerin değişik oranlarda, değişik şekillerde dizilmesi vardır. Merler ardı ardına düzenli ya da rastgele veyahut aynı türden merler içeren zincire farklı türden zincir dal biçiminde bağlanmış olabilir. Kopolimerler düzensizdir, kolay şekil verilebilir ve toklukları fazladır. Örnek verilecek olursa ABS kopolimeri akrilonitril-bütadien-stiren merleri içerir, bu kopolimer tokluğu ve mukavemeti yüksektir, çarpmaya karşı dayanıklıdır (Onaran, 2003).

### 2.1.2 Uzayağı Polimerleri

Bu polimerlerde moleküller arasında kovalan bağlar mevcuttur. Bu kovalan bağlar moleküller arasında yüksek sıcaklık ve yüksek basınç etkisiyle ya da kimyasal reaksiyon sonucu oluşur. Uzayağı polimerlerinde genel olarak sıvı olarak bulunan monomer, sertleştirici bir madde ile karıştırılır ve polimerizasyon devam ederken aralarında çapraz bağ oluşumları olur. Polimerizasyon işlemi bitince amorf ve rijit bir yapı haline dönüşür. Bu oluşum tamamlandıktan sonra sıcaklık derecesi artsa bile yumuşama meydana gelmez. Çok aşırı sıcaklıklarda kovalan bağları kopar ve malzemenin zarar görmesine sebebiyet verir (Resim 2.10) (Onaran, 2003).

<b>Polimer</b>	<b>Merlerde atomların dizilişi</b>
Fenolformaldehid	$\begin{array}{c} \text{OH} \\   \\ \text{I} \\ -\text{C}_6\text{H}_2-\text{CH}_2- \\   \\ \text{I} \\ \text{CH}_2 \end{array}$
Poliyester	$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{O} \quad \text{CH}_2\text{OH} \\   \quad \quad   \quad   \\ \text{I} \quad \quad \text{II} \quad \text{I} \\ -\text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{O}-\text{C}- \\   \quad \quad \quad   \\ \text{I} \quad \quad \quad \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$
Epoksi	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \quad \text{OH} \\   \quad \quad \quad   \\ \text{I} \quad \quad \quad \text{I} \\ -\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2- \\   \quad \quad \quad   \\ \text{I} \quad \quad \quad \text{I} \\ \text{CH}_2 \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$

**Şekil 2.10.** Uzayağı polimerlerinden 3 grubun dizilişi (Onaran, 2003).

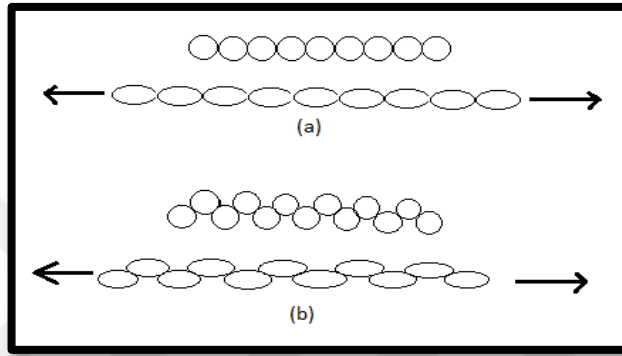
### 2.1.3 Polimerlerdeki Bağ Kuvvetleri

Polimerlerdeki monomer atomlarını bir arada tutan kuvvetlere kovalent bağlar yani birincil bağlar denir. İki atomu bir arada tutan kuvvettir (Saçak, 1998). Polimer ana zinciri üzerinde iki ya da daha fazla değerlikli atomlar bulunabilir. Bu sebeple hidrojenler ve halojenler ana zincir üzerinde yer alamaz. Bu atomlar ana zincirdeki atomlara kovalent bağ ile bağlanabilir. İki ya da daha fazla değerlikli her atom ana zincir üzerinde bulunamaz. Kararlı bir polimer zinciri oluşabilmesi için ana zincir üzerindeki atomların bağ kuvvetleri yeterli enerji düzeyinde olması gereklidir. Kovalent bağlar yüksek enerjiye (35-150 kcal/mol) sahip bağlardır. Bu bağlarla bağlanan atomlar arasındaki mesafe kısadır. C-C bağı çok kararlı, nötral bir bağıdır. Isıl ve UV kararlılığı yüksektir. Bağ enerjisi 83 kcal/mol, bağ uzunluğu 1.54 Å'dur. C-H bağı, C-C bağı kadar kararlı değildir. Bu sebeple ana zincirde bulunamaz. Isıyla, oksijenle ve ışıkla bozular. Bağ enerjisi 99 kcal/mol ve bağ uzunluğu 1.09 Å dur (Çelikkan, 2011).

Polimerik malzemelerdeki bağ kuvvetleri sadece molekül içerisindeki atomlar arasında değildir. Bunun yanında komşu moleküller arasında da vardır. Komşu moleküller arasındaki bağları hidrojen (kovalent) ve Van Der Waals bağları oluşturur. Bu bağlar moleküllerin birbirine göre hareket etmesini engeller ve direnç oluşturur. Polimerlerin fiziksel mukavemetini büyük ölçüde bu bağlar oluşturur (Temiz 2002).

## 2.2 Polimerlerin Deformasyonu

Metallerin genellikle elastik modülü  $10^7$  psi yani 68646,6 MPa üstünde bir değer alır. Kurşun gibi kolayca eriyebilen metaller bunlardan farklıdır. Plastiklerin ise elastiklik modülü  $10^6$  psi değerindedir yani 6864,66 MPa değerine denk gelmektedir. Ama plastikler bazı hallerde  $10^4$  psi değerine denk gelmektedir. Bunun nedeni Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Şekil 2.11 a'da bağ uzaması uygulanırken Şekil 2.11 b'de bağ düzelmesi gösterilmektedir (Vlack, 1990).

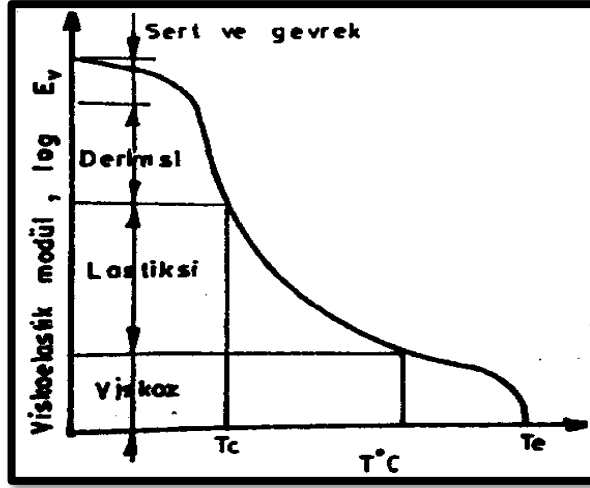


Şekil 2.11. Elastik uzama (a) Bağ uzaması (b) Bağ Düzelmeleri (Vlack, 1990).

Plastik deformasyonda plastikler bu biçimde şekil değiştirdikleri için plastiklere bu isim takılmıştır. Üretim sırasında istenen şekle sokulabilen plastikler bu nitelikleriyle kolaylık sağlar. Plastik şekil değiştirme, komşu moleküller arasındaki kayma ile olur. Çünkü bu moleküller arasında çekici kuvvetler zayıftır. Tüm lineer moleküller aynı yöne yerleştiği zaman bu kayma daha kolay olur. Yalnızca Van Der Waals bağı oluştuğunda moleküller aynı yöne yerleşmeseler bile bu durum aynı kalır. Deformasyon, molekül içindeki bağların kopması ile değil, zayıf yerlerdeki moleküller arasındaki kayma ile oluşur (Vlack, 1990).

## 2.3 Polimerlerin Sıcaklık Değişimine Karşı Tepkisi

Polimerlerin yüksek sıcaklık altında kimyasal bozulmaya karşı direncine ısısal kararlılık, yüksek sıcaklıklarda sertliklerini korumalarına ise ısısal direnç denir (Akkurt, 1991).

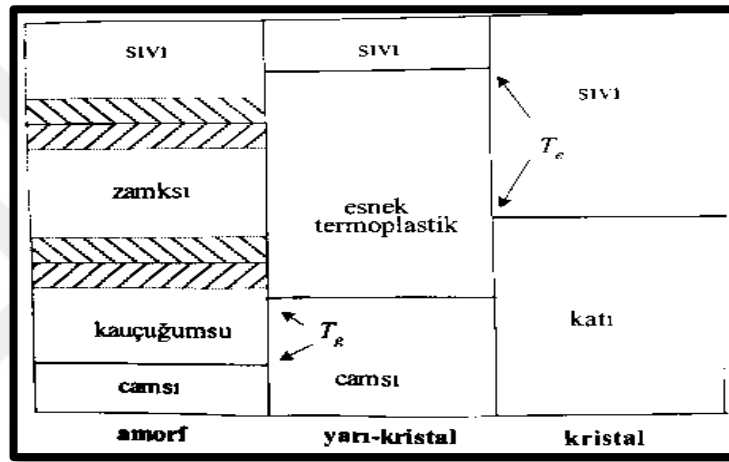


Şekil 2.12. Sıcaklığın mekanik faktöre etkileri (Onaran, 2003).

Amorf yapılı polimer  $T_g$  yani camsı geçiş sıcaklığı altında Şekil 2.12’de gösterildiği gibi sert ve gevrek özellik gösterir. Moleküller arasında plastik şekil değiştirme görülmez. Polimer zincirleri eğilip-bükülme türü hareketleri camsı geçiş sıcaklığı altında yapamaz. Bu sebeple, dış etkiler altında yapı içerisindeki biçimlerini değiştiremezler. Aşırı zorlanmalarda kovalent bağlar üzerinden kırılırlar.  $T_g$  yani camsı geçiş sıcaklığının biraz üzerindeyken malzeme az şekil değiştirir. Amorf bölgelerdeki zincirlerin kimyasal bağlar etrafında dönmesi için lazım olan enerji karşılanır. Polimer zincirleri eğilip-bükülme hareketlerini yapabilir.  $T_g$  sıcaklığı, zincir hareketlerinin başladığı sıcaklıktır. Gerilme etkisi bırakılınca ağır ağır eski haline dönmeye çalışır buna derimsi davranış denir. Derimsi bölge Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Sıcaklık derecesi biraz daha yukarı çekildiğinde lastiksi bölgeye gelir. Bu bölgede polimer yumuşaktır ve eğilip bırakıldığında hızla eski haline döner. Lastiksi bölge sınırına kadar bağlı hareketler tersinir özellik gösterir. Sıcaklık daha da yukarıya çıkarıldığında artık sıcaklık titreşimleri daha etkili olmaya başlar ve yan zayıf bağların sayısı oldukça azalır. Bu olay yüzünden yük altında zincirler birbirleri üzerinde kayarak hareket eder ve malzeme eski halini almaz. Buna viskoz şekil değiştirme denir. Isı faktörü polimerlerde kovalan bağları koparmaz, zayıf bağları koparır ve zincirler birbiri üzerinde kaymaya başlar. Aşırı ısı etkisi ise hidrojen ve atom gruplarını birbirinden koparabilir. Karbon atomu siyaha bürünebilir. Bu olaya da kavrulma denir (Onaran, 2003).

Amorf yapılı polimerler camsı geçiş sıcaklığı altında sert ve kırılmandır. Sıcaklık camsı geçiş sıcaklığı  $T_g$  üzerine çıktığında kauçuğumsu bir yapı elde edilir.

Sıcaklık daha da yukarılara çıktığında zamksı bir yapı elde edilerek erime sıcaklığına  $T_e$ 'ye erişilince sıvı halini alır. Yarı kristal polimerlerde sıcaklık camsı geçiş sıcaklığı üzerine çıktığında yarı kristal polimerlerde hem amorf hem de kristal bölgeler bir arada bulunduğundan dolayı biraz yumuşayarak esnek termoplastik olurlar. Yapı içerisindeki kristal bölgeler amorf bölgeleri bir arada tutmaya çalışarak polimer örtüsü fazla bozulmaz. Daha yüksek derecelerde ise kristal yapı da bozularak polimer sıvı davranışa geçer. Tam kristal polimerlerde ise amorf yapı bulunmadığından dolayı  $T_g$  camsı geçiş sıcaklığı bulunmaz ve yüksek derecelerde kristal yapı kırılarak direk olarak sıvı davranışa geçer (Resim 2.13) (Saçak, 2017).

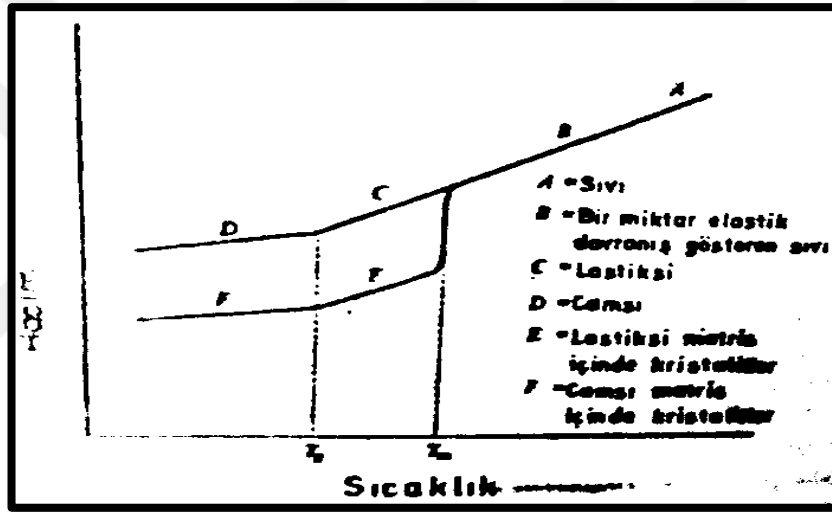


Şekil 2.13. Amorf, yarı-kristal ve kristal maddelerde ısıl geçişler (Saçak, 2017).

Polimerlerin sıcaklıkla olan ilişkisi özgül hacmin sıcaklık değiştikçe nasıl davrandığını gösteren grafik Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Eriyik halde bulunan polimer amorf haldedir. Eriyik halden katı haline geçen polimer, amorf ya da kristalin yapıda olabilir. Polimer içerisinde kristalit çekirdeği varsa  $T_e$ 'nin yani ergime sıcaklığı altına düştüğünde ani bir hacim kaybı yaşanır. Eğer erimiş durumda bulunan polimer ani olarak kristalize olmayacak şekilde soğutulursa yüksek sıcaklıktaki yapı düşük sıcaklıkta da elde edilir ve bu durumda Şekil 2.14'te görülen hacim değişimi ABCD eğrisi boyunca oluşur. Polimer camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) altına kadar soğutulduğunda ise viskozitede artma olmaktadır. Polimerler camsı geçiş sıcaklığı altında ve üstünde değişik nitelikler sergiler. Sıcaklık  $T_g$ 'nin altındayken gevrek ve elastiki, sıcaklık  $T_g$ 'nin üstünde ise lastik özelliğinde katı haline gelir. Camsı geçiş sıcaklığı derecesi de malzemeden malzemeye değişmektedir. Örneğin

polietilen  $T_g$ 'si  $-110^0$  C'deyken, polistrenin  $T_g$ 'si  $100^0$  C'dir (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).

Tam kristal malzemelerde özgül hacim  $T_e$ 'ye kadar belli bir hızda artar. Erime noktasına gelindiğinde kristal yapı bozulana kadar madde ısı alımını devam ettirir ve sıcaklık değişmez. Erime sırasında katı fazdan sıvı faza geçen malzemede Şekil 2.14'te ABFE eğrisinde görüldüğü gibi hacimde sıçrama biçiminde bir değişiklik meydana getirir. Amorf malzemelerde ise camsı geçiş sıcaklığına kadar Şekil 2.14'teki D doğrusu boyunca hacim belli bir hızla artar. Camsı geçiş sıcaklığından sonra özgül hacmin sıcaklıkla birlikte değişim hızı yükselir (Saçak, 2017).



Şekil 2.14. Polimerlerin hacim sıcaklık ilişkisi (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).

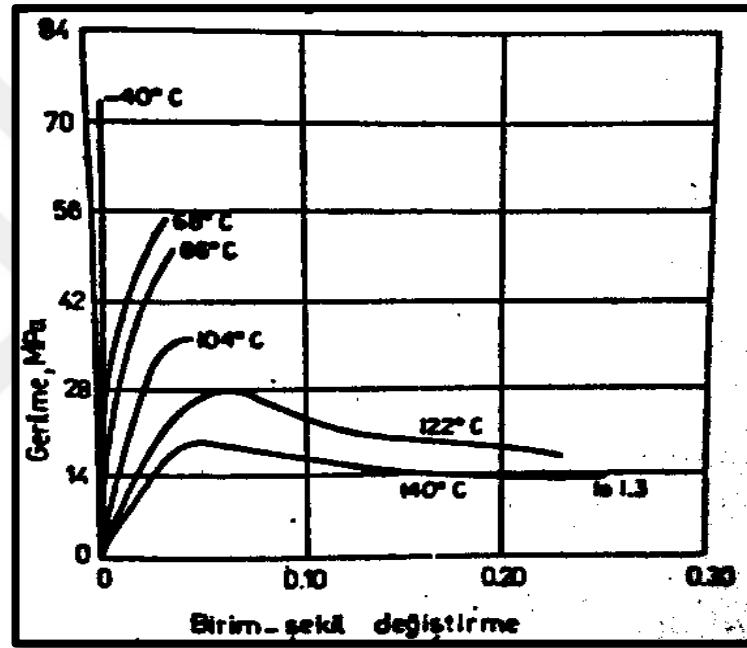
Ortamın çalışma sıcaklıkları malzemenin gerilme – uzama arasındaki ilişkiyi ve bunun sonucunda da malzemenin kendi karakteristiğini etkiler. Mekanik etkilerinden kopma mukavemeti, çekme ve akma sıcaklık arttıkça düşerken, büzülme ve kopma uzaması da sıcaklık arttıkça artış göstermektedir (Demirci, 2004).

Amorf yapıya sahip olan polimetil metakrilatin yani kısaltılmışı (PMMA), değişik sıcaklıkların etkisinde gerilme ve birim şekil değiştirme grafiği Şekil 2.15'te verilmiştir. PMMA'nın camsı geçiş sıcaklığı  $100^0$  C olup Şekil 2.15'te  $-40$ ,  $68$ ,  $86^0$  C sıcaklıklarında gerilme deneyleri yapılmış olup eğriler gevrek elastik özellik göstermiştir.  $104^0$  C'de ise akma noktası belirginleşmiştir ve bu derecenin üzerindeki sıcaklıklarda daha da belirginleşmektedir (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991). Sıcaklık



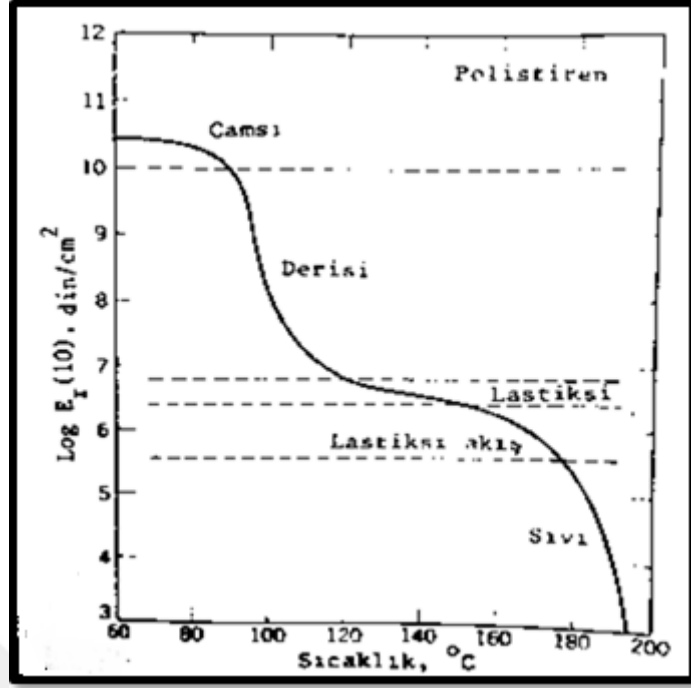
artışıyla malzemenin, elastik modülü azalmakta, kopma gerilimi azalmakta ve esnekliği artmaktadır.

Bu polimer, metaller gibi deformasyon sertleşmesi göstermemektedir (Mamedov, 1999). Gerilim-uzama grafiklerinde sıcaklığın artmasıyla birlikte malzemede deformasyon hızı aynı oranda azalmaktadır. Bunun sebebi olarak malzemenin giderek yumuşak ve esnek olması önemli bir durumdur. Yüksek sıcaklıkta viskoz durumda olan bir polimer alçak sıcaklıklarda gevrek bir hal alabilir (Erturan ve Deniz, 2009).



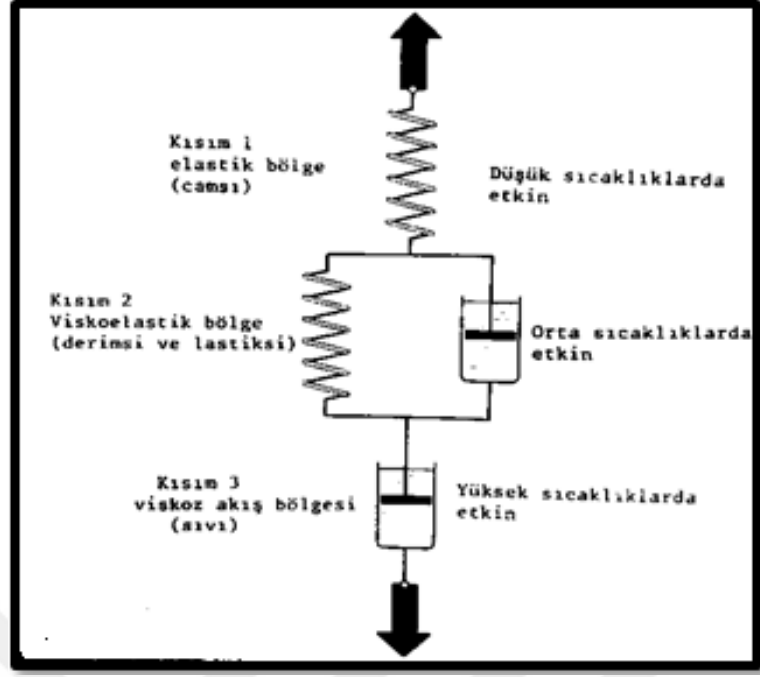
Şekil 2.15. PMMA'nın farklı sıcaklık değerlerinde gerilmenin etkisiyle birim şekil değişimindeki etkileri (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).

Polimerlerin  $0^{\circ}\text{C}$ 'nin altından  $200^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcaklıkla ilişkili olarak mekanik davranışına etkisi büyüktür. Burada polimerlerin yapısının etkisi büyük ölçüde etkilidir. Polimerlerin davranışlarını belirleyen faktörler özgül hacim ve elastisite modülüdür. Polistrenin elastisite modülü  $E_r$ 'nin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Ama bu verilen örnek tipik bir örnektir. Bu eğrinin sıcaklık bölgeleri, eğrinin kısımları değişik malzemelerde değişebilir (Hayden vd. 1993).



**Şekil 2.16.** Polistren malzemesinin viskoelastik davranışın sıcaklıkla ilişkisi (Hayden vd., 1993).

Şekil 2.17'de polimerlerin belirli bir sıcaklık bölgesinde gösterdiği tepkiler yay ve amortisör sistemleri ile temsilen gösterilmiştir. İki sistemden oluşan düzenekte yay ile amortisörün paralel bağlandığı, diğerinde ise seri bağlandığı düzenek Şekil 2.17'de hazırlanmıştır. Sistemde yayların elastik özelliği olduğu düşünülmektedir. Bunlar malzemelerin elastiklik etkisini göstermektedir. Amortisörler de viskoz uzama sağlayan yapı malzemelerini sembolik olarak temsil etmektedir. Isı faktörü viskoz uzamada kendini belli eder (Hayden vd., 1993).



**Şekil 2.17.** Polimerin viskoelastik davranışının mekanik modelle gösterilmesi (Hayden vd. 1993).

Polimerler camsı bölgede, örneğin bir polistirene  $80^{\circ}\text{C}$ 'de uygulanan kuvvet kaldırıldıktan sonra malzeme tekrar eski haline dönebilir. Buradaki şekil değiştirme molekül zincirleri arasındaki atom bağlarının uzamasıyla olur. Birbirlerine yapışmış olan zincirler birbirlerinin üzerinde kayamaz yalnızca kopma ile ayrılma gerçekleşebilir. Bu da Şekil 2.17'deki yayın 1. kısmına benzer. Yani kuvvet kaldırıldığında malzeme tekrar eski haline döner. Sıcaklık arttıkça elastisite modülü azalmaya başlar. Derimsi bölgeye gelindiğinde zincirlerin kısa bölümlerinde tersinir kayma olabilir. Kısa bölümlerin hareketinden sonra komşu bölgelere de hareket geçer. Bu bölge, Şekil 2.17'deki ikinci kısımdaki yay ile amortisörü temsil etmektedir. Burada elastik davranış ile viskoelastik davranış arasında bir geçiş olur. Sıcaklık camsı sıcaklığın üzerine çıktıkça molekül zincirleri birbirleri üzerinde tersinir şekilde kaymaya başlar. Elastomer malzeme sınıfında Şekil 2.16'daki lastiksi kademe önem arz etmektedir. Elastisite modülü  $E_r$  sıcaklık arttıkça artmaktadır. Lastiksi akış bölgelerinde polimere kuvvet uygulandığında Şekil 2.17'deki 3. kısımda bulunan amortisöre benzetilebilir. Viskozite, sıcaklık arttıkça azalır (Hayden vd. 1993).

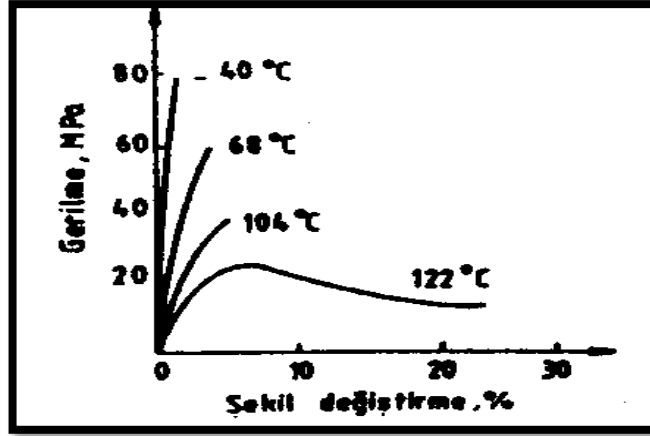
**Çizelge 2.2.** Bazı Polimerlerin camsı geçiş ve erime sıcaklığı (Saçak, 2017)

polimer	$T_g(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$
polietilen	95-140	-115
polipropilen		
ataktik	75	-20
izotaktik	167	-10
polistiren	240	100
poliakrilonitril	317	85
poli(vinil alkol)	260	85
poli(vinil klorür)	285	81
poli(viniliden klorür)	210	-18
poli(viniliden florür)	171	-19
poli(etilen oksit)	66	-67
poli(heksametilen adipamit)(naylon 6-6)	265	57
poli(heksametilen sebakamit)(naylon 6-10)	226	50
poli(11-aminoundekanoik asit)(naylon 11)	198	46
poli(etilen tereftalat)	265	69-80
poli(dimetil siloksan)	-29	-123
poli[bis(trifloretoksi)fosfazen]	242	-66

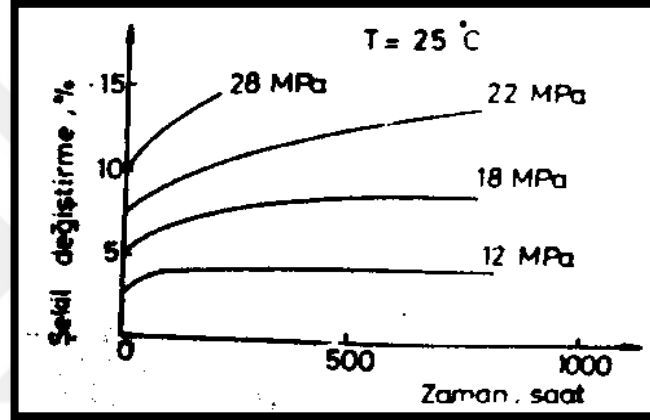
#### 2.4 Polimerlerin Mekanik Özellikleri

Termoplastikler sünek malzemedir. Bu malzemeler Şekil 2.18 ve Şekil 2.19’da gösterildiği gibi mekanik özellikleri sıcaklığa, gerilim hızına ve zamanına bağlıdır. Oda sıcaklığındaiken gerilmenin etkisinde kalan termoplastikler sünmeden ötürü şekil değiştirir. Termosetler ise gevrektiler ve plastik şekil değiştirmeye mahal vermeden kırılırlar. Sıcaklık arttıkça dayanıklılıkları düşer ama yumuşamazlar. Plastiklerin genel anlamda elastisite modülleri azdır. Metallerin 1/100’ü kadardır.

Yüksek gerilme hızı ve yüksek sıcaklık polimerlerin mekanik davranışını etkiler. Hızlı gerilme karşısında daha kuvvetli mukavemet gösteren ve daha az şekil değiştiren polimerler, yavaş gerilme hızında daha çok uzar ve kopma noktasındaki kuvvet daha azdır. Viskoz özelliğini yüksek sıcaklıkta gösteren bir polimer düşük sıcaklıkta gevrek ve rijitlik özelliği gösterebilir. Viskoelastik malzemelerde kesin bir elastisite modülü bulunmaz. Bu malzemelerde belli bir süre sonunda oluşan gerilme, şekil değiştirme oranına göre hesaplandığında viskoelastik modül ortaya çıkar (Onaran, 2003).

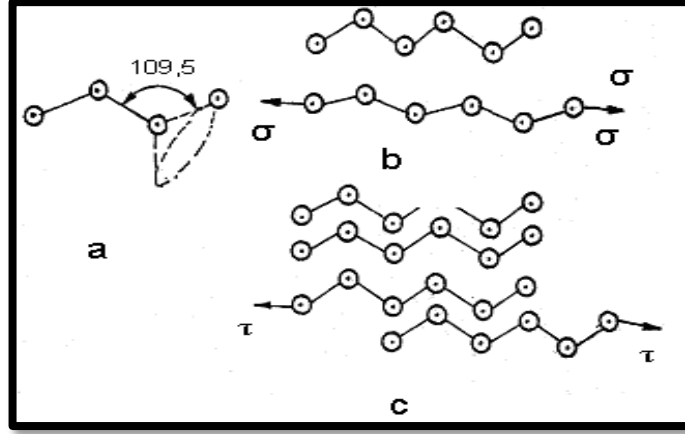


Şekil 2.18. Sıcaklığa bağlı olarak mekanik özelliklerin değişmesi (Onaran, 2003).



Şekil 2.19. Oda sıcaklığında değişik gerilmeler altındaki mekanik değişim (Onaran,2003).

Lineer polimerlerin atomları gerilme etkisi altında bağ eksenleri etrafında dönmeye başlar. Bağlar doğrulamaya başlar ve elastik şekil değiştirme meydana gelir. Gerilmenin etkisiyle zincirler birbirleri üzerinde kaymaya başlar. Zayıf bağlar ilk önce kopar, daha sonra tekrar zayıf bağların bir kısmı yeniden kendi arasında bağ oluşturur. Sabit gerilmeyle bu olay ağır ve devamlı olarak devam eder. Bu şekilde sabit olarak şekil değiştirmeye viskoz şekil değiştirme denir. Gerilme kaldırıldıktan sonra bağlar doğrular ve yeniden eski haline dönmeye çalışır. Elastik toparlanma olur. Süreye bağlı olarak şekil değiştiren ve elastik toparlanmanın bir arada olduğu şekil değiştirmeye viskoelastik şekil değiştirme denir. Buna maruz kalan malzemeye de viskoelastik malzeme denir. Bu malzeme grubuna örnek olarak lineer polimerler verilebilir (Resim 2.20) (Onaran, 2013).



**Şekil 2.20.** a)Bağ dönmesi b)Bağ doğrulması c) Zincir kayması (Onaran, 2003).

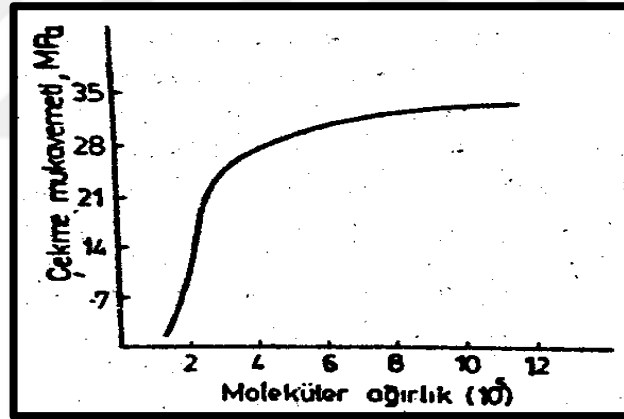
Eğer polimerlerde molekül zincirlerinin boyu çok uzun, yanıl atomların sayısı ve molekül gruplarının sayısı çok fazla ise zincirler birbirlerine dolaşır ve hareket kabiliyeti kısıtlanarak dayanıklılık artar. Ayrıca komşu moleküller arasında oluşan dallanma olayları şekil değiştirme kabiliyetini etkiler. Kauçuğun molekül zincirleri çok fazla uzun büküm halde ve dolanmış bir şekildedir. Gerilme uygulandığında bağ açıları döner bükülmüş yerler açılır. 10 kata kadar uzama gerçekleşebilir. Gerilme etkisi yitirildiğinde tekrar eski hale döner. Bu niteliklerinden dolayı bunlara elastomerler denir. Normalde yumuşak ve yapışkan halde bulunan kauçuğa 1/10 oranında kükürt vulkanize edildiğinde mukavemeti büyük oranda artar ve esnek bir malzeme elde edilmiş olur. Bu malzeme araba lastiklerinde kullanılır. Eğer kauçuğa 3/10 oranında kükürt vulkanize edilirse sert ve gevrek bir malzeme elde edilmiş olur. Bu malzeme akü kutularını imal etmede kullanılır. Çapraz bağ sayısı arttıkça şekil değiştirme kabiliyeti azaldığı gibi yumuşama sıcaklığı da daha yüksek derecelere çıkmaktadır. Bu türden bağlara kovalan türde bağlar da denir. Bunlar sürekli hale geldiğinde uzayağı türü yapı meydana gelir. Böyle olduğunda daha önceki yumuşama sıcaklığına ulaşan malzeme bu yapıda varlığını korur. Sadece çok aşırı sıcaklık derecelerinde bağlar kopar ve polimer zarar görerek kavrulur. Böyle termosetler sert ve gevrek yapıya sahiptir. Plastik şekil değiştirmeye elverişli değildir (Onaran, 2003).

Polimerlerin mukavemetini etkileyen bazı oluşumlar vardır, bunlar; moleküler ağırlık, kristalleşebilme, karşılıklı bağlanma ve zincir direngenliğidir.

### 2.4.1 Moleküler Ağırlık

Moleküler ağırlık değeri düştükçe zincir uçlarında yoğunluk artmaya başlar. Zincir uçları gerilme altında kayar ve bu nedenle dayanıma bir etki etmez. Zincir uçlarının yoğunluğu arttıkça mukavemeti azalır. Mukavemetin azalması camsı geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklığı arasındaki malzemenin yük taşıma kapasitesinin azalmasına sebebiyet verir. Sıcaklık erime sıcaklığı üzerindeyken ise sıvı viskozitesinin azalmasına neden olur (Çimenoglu ve Kayalı, 1991).

Polimerin endüstride kullanılmasında moleküler ağırlık büyük önem gösterir. Çünkü polimerlerin mekanik ve fiziksel nitelikleri moleküler ağırlığa göre değişir. Molekül ağırlığı 5000-10000 gr/mol'ün altında olan polimerlerin mekanik dayanımları azdır. Fakat bu değerin üzerine çıkıldıkça mekanik özellikler hızla artar ve belli bir değerin üzerinde artık moleküler ağırlık ne kadar artarsa artsın mekanik özellikler aynı kalır (Resim 2.21) (Akkurt, 2018).



Şekil 2.21. Kauçuğun molekül ağırlığının çekme dayanımına etkisi (Çimenoglu ve Kayalı, 1991).

### 2.4.2 Karşılıklı Bağlanma

Karşılıklı bağlanma, polimer zincirleri arasında güçlü kovalent bağların oluşması demektir. Karşılıklı bağlanma fiziksel özellikleri iyileştirir, dayanımı artırır. Buna iyi bir örnek olarak kauçuğun vulkanizasyonu gösterilebilir. Karşılıklı bağlanmaya ek olarak dallanma da zincirlerin kaymasını engeller ve mukavemeti arttırıcı niteliği vardır. Karşılıklı bağlanmaya misal olarak sert lastik,

termoset reçineleri poliestерleri, poliüretanlar, bakalitler gösterilebilir (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991)

### 2.4.3 Zincir Direngenliği

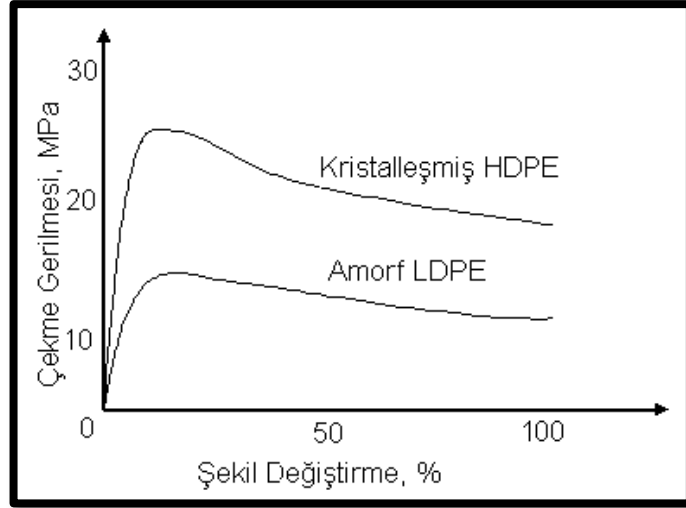
Eğer polimer, kristalizasyon ya da karşılıklı bağlanma ile ya da her ikisi ile de sertleşmemiş ise mukavemet, zincir dayanıklılığına bağlıdır. Bu tür polimerler yumuşak, bükülebilir ve zincirli polimerlere göre mukavemeti daha fazladır. Polimer zincirleri, büyük kenarlı atom topluluklarını zincire asma yoluyla eğilmeyi engellemek ya da direngen ana hatlı zincirler üretmek yoluyla sertleştirilebilir. İri kenarlı atom grupları sayesinde zincirlerin dayanıklılığını arttırmanın kötü bir yanı ise amorf yapıda olmaları ve açık yapılı olmalarıdır. Böylece bazı çözeltiler yüzünden bunların şişmesine ve çözülmesine sebebiyet verebilir. Korozif ortamda çalışmaları için kristallenme derecesi ve karşılıklı bağlanma sayısının artması gerekmektedir. Bu sayede hem çözeltiler içerisinde çözülmesi zorlaşır hem sertleşir hem de dayanıklılığı artar (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).

### 2.4.4 Polimerlerin Kristalleşmesi

Makromoleküllerde az da olsa bir dallanma mevcutsa zincirler sıkı bir şekilde belli bir hacme toplanabilir. Bu durumdaki zincirlerin bazı bölgeleri düzenli ve lineer, bazı bölgeleri ise dallanmış ve dağınık yapı gösterir. Moleküllerin birbiri üzerine katlandığı düzenli bölge kristal bölge olarak isimlendirilir (Corradini vd., 2006).

Polimerler genelde amorf haldedir. Uzun ve karmaşık olan zincir yapıları komşularıyla uyum içerisinde düzenli hale geçmeleri imkansıza yakındır. Lineer bir polimer, pişirilen bir çubuk makarna gibi zincirler birbirleriyle dolaşmış halde bulunmaktadır (bkz. Şekil 1.1). Yapısı basit olan ve simetrik haldeki polietilen, izotaktik propilen gibi malzemeler yerel düzen oluşturabilir. Amorf yapı içerisinde oluşan ufak kristal yapıdaki bölgelere kristalitler adı verilir. Kristalitlerin yoğunluğu amorfaya göre %5 – 10 arasında değişen oranda daha yoğundur. Mesela yüksek yoğunluklu polietilen ele alınırsa kristalleşme sebebiyle yoğunluğu  $0.96 \text{ g/cm}^3$  iken alçak yoğunluklu amorf polietilende yoğunluk  $0.92 \text{ g/cm}^3$  tür (Onaran, 2003).

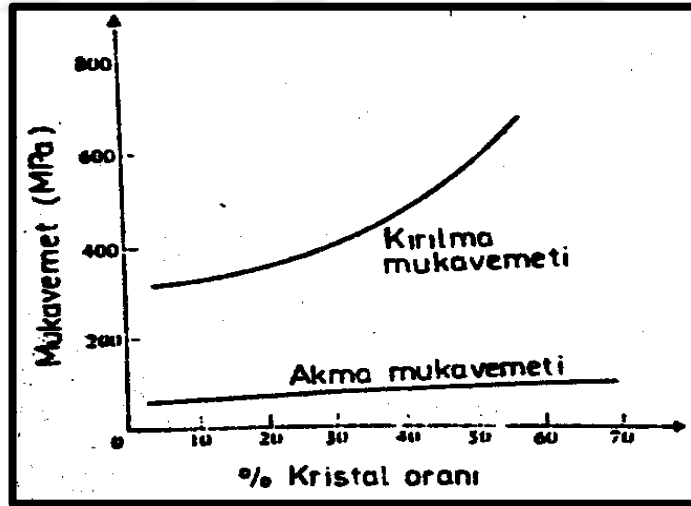




Şekil 2.22. Kristalleşmiş PE ve Amorf PE'nin çekme gerilmelerinin karşılaştırılması (Onaran, 2003).

#### 2.4.4.1 Kristalleşebilme

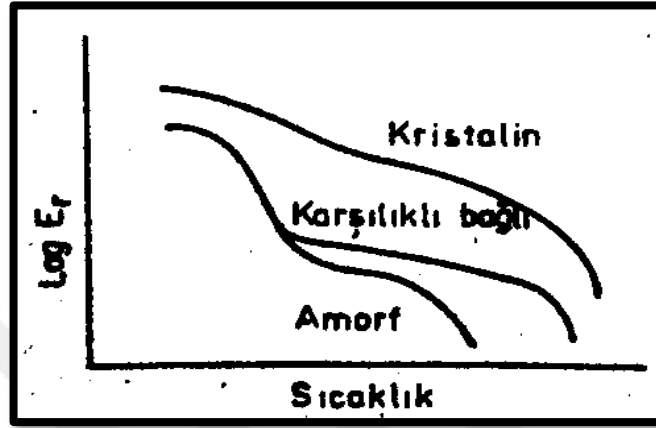
Az da olsa kristalleşebilmiş polimerler amorf yapıları olanlara göre dayanımı daha yüksektir (Resim 2.22).



Şekil 2.23. Kristalleşme derecesine bağlı olarak polietilen tereftalatın (PET) mukavemete etkisi (Çimenoglu ve Kayalı, 1991)

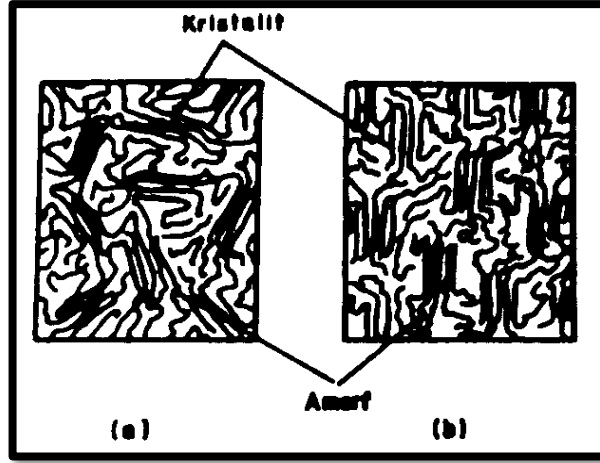
Kristal yapıda olan PE'lerin dayanımı zincirler arası bağların çokluğundan ve düzenli olmasından gelmektedir. Amorf yapıdakilerin zincirleri ise düzensiz ve az sayıda olması gerilme uygulandığında zincirlerin serbest kısmının uzamasına neden olur. Değişik sıcaklıklarla ilişkili olarak amorf yapıda ve kristalin yapıda olan

polimerlerin elastisite modülleri gösterilmiştir. Şekil 2.24'te görüldüğü gibi kristal yapılı olan polistren, amorf yapılı olan polistrenden daha yüksek bir elastisite modülüne sahiptir. Ayrıca kristalin yapıdaki polimerler, amorf yapıdakilere göre zincirleri birbirlerine daha sıkı bağlı olduğundan elastik deformasyona uğramazlar (Shackelford, 2018).



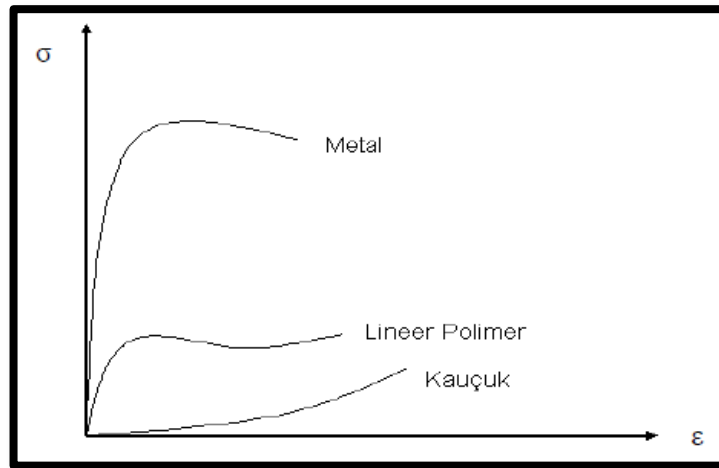
Şekil 2.24. Kristalin ve amorf yapıdaki polistrenin değişik sıcaklıklarda elastisite modülünün değişmesi (Çimenoglu ve Kayalı, 1991).

Bir polimerin kristal yapıda olup olmaması onun fiziksel özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Belli bir sıcaklıkta polimerin kristal faz miktarı artarsa sertliği, amorf faz miktarı artarsa yumuşaklığı artar. Polimerdeki kristalleşmeyi arttıran etmenlerden bir tanesi polimerin ana zincirindeki tekrarlanan moleküllerin basit ve küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir faktör ise moleküller arasındaki çekme kuvvetidir. Eğer molekül zincirlerinde dallanma yoksa kolay yönlenebilir. Bu sebeple zincir parçaları birbirlerine kolayca yaklaşabilir. Bu yaklaşımdan dolayı çekim kuvveti de artacağından dolayı kristalleşme meydana gelmektedir (Basan, 2001).



Şekil 2.25. a)Yönlendirilmemiş kristaliteli polimer, b)Yönlendirilmiş kristaliteli polimer (Onaran, 2003).

Kristalitler gerilmenin doğrultusuna göre paralel olur. Bu kristalitlerin boyu 50 – 100 Å arasındadır. Kristalitlere göre molekül zincirleri çok daha uzundur ve bazıları birkaç kristalit yapının içinden geçerek uzanır. Mekanik özellikler ve yumuşama sıcaklığı derecesi kristallik derecesine göre değişmektedir. Kristallik derecesi ne kadar artarsa mekanik dayanıklılık ve yumuşama sıcaklığı o kadar yükselmektedir. Kristal ve amorf yapıda bulunan polimerlerin mekanik davranışları Şekil 2.23'te ve Şekil 2.24'te gösterilmektedir (Onaran, 2003).



Şekil 2.26. Çekme etkisindeki bazı malzemelerin karşılaştırılması (Onaran, 2003).

Metallerde şekil değiştirme eğrisi üzerinde Şekil 2.26'da gösterildiği gibi gerilme anında grafik ilk önce dik çıkar daha sonra akma başladıktan sonra yatıklaşır. Lineer polimerlerdeyse durum biraz farklıdır. Gerilme anında molekül zincirleri

gerilmeye paralel hale gelerek doğrulur ve komşularıyla uyumlu hale gelerek kristalleşme gösterir. Bu sayede mukavemeti artarak daha fazla direnç gösterir. Özellikle bu olay kauçukta çok daha iyi şekilde kendini gösterir. Gerilmenin etkisinde kalan kauçuğun hacmi azalır ve bırakılınca tekrar eski haline döner (Onaran, 2003).

## **2.5 Polimerlerin Elektriksel Özellikleri**

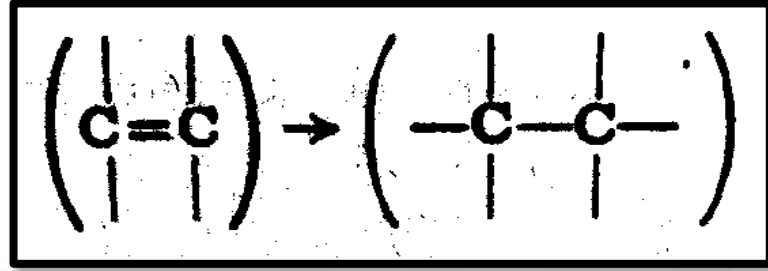
Yüksek molekül ağırlığına sahip polimerler genel olarak elektriği geçirmez ve yalıtkan olarak kullanılır. Bu nedenle elektrik elektronik alanında çokça kullanılır (Askeland, 1984). Polimerlerin iletkenlikleri ya da bu durumun tam tersi olan elektrik dirençleri, polimerin yapısında bulunan elektronların veya iyonların bulunmasına ve bunların yapı içerisinde hareketli olmasına bağlıdır. Polimerik malzemeden elektriğin geçebilmesi için birinci şart polimerin yapısında serbest iyonik veya metalik safsızlıkların mevcut olmasıdır. Elektrik iletimi bu serbest yükler sayesinde olur (Targer, 1978).

Elektrik direncini nem ve sıcaklık yakından etkiler. Sıcaklık ve nem elektrik direncini düşürür (Akkurt, 1991). Elektrik direnci katkı maddeleri ile düşürülebilir. Yalıtkan bir malzemenin bu yalıtkanlığını kaybettiği voltaj değerine dielektrik bozunma direnci denir. Polimer malzemede dielektrik bozunma direnci 106-107 volt/cm arasında değişir. Bazı polimerlerin yalıtkanlıkları üst seviyede olup bunlar yalıtkan özelliğinde kullanılabilir. Örnek olarak PVC, PS vb.. Polimer malzemelere uygulanan alternatif elektrik enerjisiyle alan frekansından ötürü elektrik enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür ve buna dielektrik kayıp denir (Keskingöz, 2010).

## **2.6 Polimerizasyon**

Polimerler birbirlerine kovalent bağlarla bağlanır. Monomer denilen moleküllerin birbirlerine bağlanmasına polimerizasyon denir (Resim 2.27). Bu polimerizasyon işleminde farklı yollardan faydanılır. Bunlardan birincisi katılma polimerizasyonu, ikincisi kondenzasyon polimerizasyonu olarak adlandırılır (Askeland, 1984).

Kondenzasyon polimerizasyonu yan ürün polimerizasyonu olarak da adlandırılabilir. Çünkü bu polimerizasyon mekanizmasında zincirlerin uzaması sırasında yan ürün olarak su vb. ürünler meydana çıkar. Moleküller birbirleri ile bağlantı yapabilmeleri için bağlantı yapacak olan her iki molekülde de en az iki tane serbest reaksiyon ucu olması gerekmektedir (Vlack, 1990).



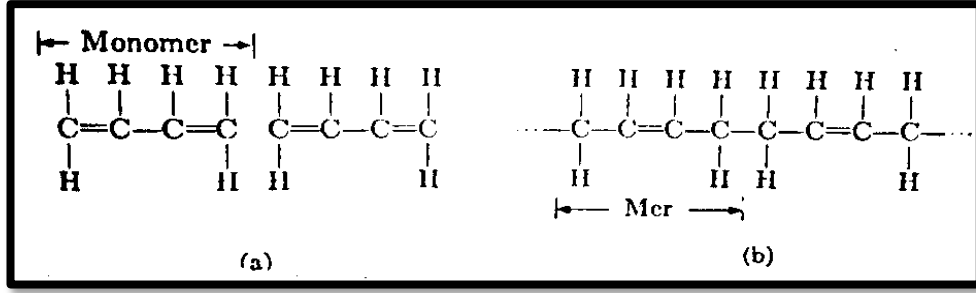
**Şekil 2.27.** Polimerizasyon işleminde çift bağları açılan molekül (etilen) (Vlack, 1990).

Polimerizasyon derecesi: Elektron çifti bağıyla makromolekül halinde birleşen monomer moleküllerinin miktarına polimerizasyon derecesi denir (Weissbach, 1998).

### 2.6.1 Katılma (İlave) Polimerizasyonu

Bu polimerizasyonda monomerler aktif bir merkeze ilave olarak zincir oluşturmasıyla meydana gelir. Zincirin uzaması ve son bulması birlikte ilerlediği için işlemin her aşamasında yüksek mol kütleli polimerler ve birleşme yapmamış monomerler bulunur (Arda, 2011). Burada, moleküller çift bağlarını kopartır ve iki tane tek bağ oluşur. Bu iki tek bağ birbiriyle reaksiyona girerek birleştiğinden dolayı yan ürün oluşturmaz (Akkurt, 1991).

Katılma polimerizasyonunda karbon bağları bozular. İki karbon atomu dörtgen valans pozisyonuna döner ve tek bir bağ olarak bağlanır. Çift bağın bozulması ile açığa çıkan diğer bağ başka bir atomla bağlanır. Bu polimerizasyonun başlaması için serbest radikallerde kimyasal maddelerin kullanılmasına veya ışın, ısı gibi fiziksel etkilerden yararlanarak polimerizasyonun başlatılmasına gerek vardır. Buna katılma reaksiyonu denir (Kurt, 2016).



**Şekil 2.28.** İlave polimerizasyonundan bir örnek (Vlack, 1990).

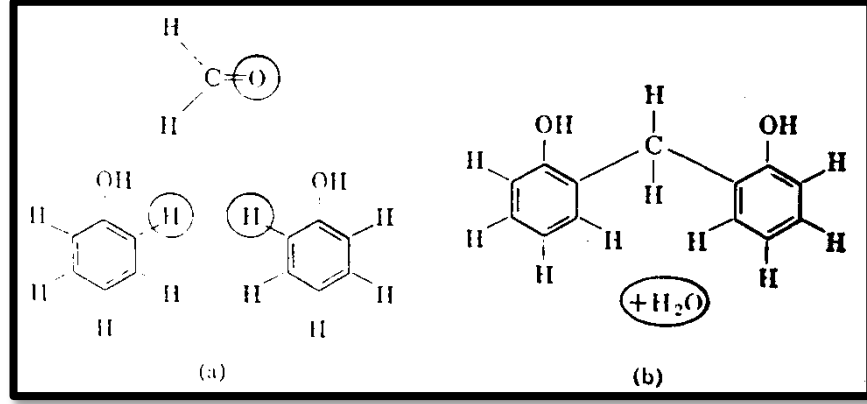
Polimerizasyonu başlatmak için çift bağın C=C koparılması gerekmektedir. Bunun koparılması için de enerjiye ihtiyaç vardır. Bu bağı koparmak için gereken enerji miktarı  $146000 \text{ Kal}/6,02 \cdot 10^{23}$  bağa eşittir. Bu enerji reaksiyon devam ederken iki C atomu C-C şeklinde bağlandığında ortaya çıkmaktadır. Eğer bağlanma sırasında bu enerji açığa çıkmasaydı bu enerjiyi üretmek imkansızca yakın olurdu (Vlack, 1990).

İlave polimerizasyonu, iyonik karakterdeki aktif merkezler üstünden olacak şekilde olabilir. Bu tür polimerizasyon, zincir uzamasını sağlayan aktif merkezin cinsine göre anyonik katılma ve katyonik katılma polimerizasyonu şeklinde ikiye ayrılır (Resim 2.28). Zincirin büyümesinde katyonik merkezler sorumlu ise buna katyonik polimerizasyon denir (Tsuruta, 2001). Bu merkeze misal olarak karbonyum verilebilir. Protonun monomere verilmesiyle bu aktif merkez oluşur. Anyonik polimerizasyonda ise zincir büyümesi anyonik merkezler üzerinden ilerler. Anyonik polimerizasyonunun başlama safhasında genel olarak n-bütillityum kullanılmaktadır. Karbonyon, anyonik merkeze örnek verilebilir (Akkurt, 2018).

### 2.6.2 Yoğunlaşma (Kondenzasyon) Polimerizasyonu

Moleküllerin tek polimer içinde toplanması demek olan katılma polimerizasyonuna karşı bu polimerizasyon türünde polimerizasyona katılmayan bir yan ürün bırakır (Vlack, 2011). Bu polimerizasyon çeşidinde her büyüklükteki molekül birbiri ile reaksiyona girebilir. Polimerin zincirleri ağır bir şekilde büyür ki en sonunda yüksek mol kütleli polimer ortaya çıkar. Kondenzasyon polimerizasyonunda fonksiyonel gruplar bulunur. Bu gruplar birbiri arasında birleşirken ufak bir grubun ayrılması meydana gelir. Kondenzasyon reaksiyonlarında

-OH, -COOH, -NH<sub>2</sub> türü gruplar bulunur ve bunlar birleşirken H<sub>2</sub>O, HCl, NH<sub>3</sub> gibi moleküller açığa çıkar (Resim 2.29) (Kurt, 2016).



**Şekil 2.29.** Kondenzasyon polimerizasyonu ve açığa çıkan yan ürün (Vlack, 1990).

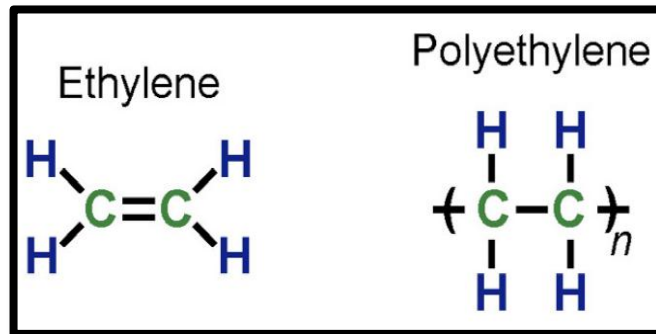
Poliüretanların elde edildiği üretan oluşumu ve naylon 6'nın elde edildiği kaprolaktam halka açılması gibi küçük molekül çıktısı olmadan doğrudan monomerlerin birleşmesiyle oluşan tepkimeler de bu grup içinde gösterilir (Kundakçı, 2011).

### 3. POLİETİLENLER

Polietilen ilk olarak 1884'te düşük yoğunluklu bir şekilde Kustavson tarafından sentez edilmiştir. Daha sonraları ise yüksek yoğunluklu, lineer ve orta yoğunluklu olarak yenileri katılmıştır (Erşen, 2011). Sanayide üretimi ise 1930 senesinde İngiliz Kimyasal Malzemeler Şirketi (Imperial Chemical Industries) polietileni tesadüfen meydana getirmiştir. Başlangıçta iki bin bar gibi yüksek basınçlar altında oluşturulabilirken bu malzemenin üretiminin daha kolay hale gelebilmesi için yaklaşık 20 sene geçmiştir. Mekanik ve elektriksel olarak nitelikleri keşfedilen malzeme birçok alanda kullanılmaya başlandı. 1950'li senelere gelindiğinde kimyacı olan K. Ziegler daha düşük basınç kullanarak polietilen malzeme elde etmeye başladı. Bu yıllarda Ziegler-Natta ismiyle bir katalizör yardımıyla etilenin daha düşük basınçlarda polimerleştirilmesi sağlanmış ve daha düzgün bir yapı elde edilmesiyle birlikte yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve düz zincirli alçak yoğunluk polietilen (LLDPE) elde edilmiştir (Demircan, 2009).

#### 3.1 Polietilen Hakkında Genel Bilgiler

İsmi monomer halde bulunan etilenden alır. Etilen kullanılarak polietilen üretilir. Sanayideki kısaltılmış ticari adı PE olarak geçmektedir. Etilen molekülü olan  $C_2H_4$ , çift bağ ile bağlanmış  $CH_2$ 'lerden oluşmaktadır. Yani etilenin polimerizasyonu ile meydana gelir ( $CH_2=CH_2$ ). Polietilenin temel kimyasal formülü  $(C_2H_4)_n$ 'dir (Resim 3.1) (Kılavuz, 2013).



Şekil 3.1. Etilen ve polietilenin şematik gösterimi (Canbaloğlu, 2010).



İlk başta gaz halinde bulunan etilen, üretim sürecinden geçirildikten sonra lapaya benzer yumuşak bir kıvamda polietilen hammaddesi elde edilir. Bu hammadde delikli bir levhadan basınçlı şekilde geçirilir ve çıkan maddeler bıçakla kesilerek beyaz ve şeffaf granüller ortaya çıkar (Kangallı, 2007).

Polietilen, ticari ismi lupolen ya da hostalen olan kok fırın gazından, doğalgazdan veya petrolden üretilen etin ve etandan elde edilir. Monomerler alçak ya da yüksek basınçla polimerize edilerek yüksek yoğunluklu polietilen (0,941-0,965 g/cm<sup>3</sup>) veya alçak yoğunluklu polietilen (0,914-0,925 g/cm<sup>3</sup>) elde edilebilir. Çok türde PE tipleri vardır. Bunlar arasındaki fark ergime sıcaklıkları arasındaki farklardır ve bu relatif molekül ağırlıklarına göre ters orantılı olacak şekildedir. Yani relatif molekül ağırlığı ne kadar fazlaysa ergime derecesi o kadar düşüktür. Elastikliği yüksek, düşük yoğunluklu ve alçak sıcaklıklarda da darbeye dayanımı gayet iyi malzemelerdir. İyi işlenebilir, kimyasal etkilere karşı dayanıklı, elektriksel özellikleri iyi, az su alması ve maliyetinin yüksek olmaması olumlu yönleri arasındadır. Ultraviyole (UV) ışınlarına dayanıksızlığı, çatlak korozyonuna karşı dayanıksız olması ve sünme, olumsuz özellikleri arasında gösterilebilir (Topbaş, 1993).

Polietilenin özellikleri dallanmaya, erime akış indisine, çapraz bağların oluşumuna, molekül ağırlığına bağlıdır. Polietilen zincirleri lineer şekilde dizilmiştir. Polietilen eğer zincirlerinin düzgünlüğü iyi ise kristal özellik, kötü ise amorf özellik gösterir. Düşük yoğunluklu PE'nin çok dallanma göstermesi onun sertliğini ve katılığını gösterir. Yüksek yoğunluklu PE az dallanma gösterirken yoğunluğu yüksektir. Katı ve serttir (Altunkaynak, 2002).

Polietilenlerin oluşumunda kristalli yapı yani düzgün zincirli yapı ve amorf yapı ön plandadır. Kristalli yapı polietilene gevreklik ve sertlik kazandırırken amorf yapı ise elastiklik nitelik vermektedir. Bir polietilenin tamamen kristal olması demek onun gevrek ve kullanışsız olmasına neden olacaktır. Çok fazla amorf yapıda olması da malzemeyi çok esnek yapacağından dolayı bu da işe yaramaz bir hale sokar. Polietilenlerin kristallik amorflik yüzdelerini ölçmek için kristallik derecesi ifadesi kullanılır (Düşünceli, 2007).

Kristal yapıda moleküller arası çekim kuvveti daha güçlüdür. Bu nedenle darbelere karşı daha iyi mukavimdir. 150<sup>0</sup>C'ye kadar kristal yapı devam eder. Alçak yoğunluklu polietilende kristal yapı %65 iken yüksek yoğunluklu polietilende %90'a varır. Polietilen oluşumundaki çapraz bağlar polietilene gevreklik ve kırılabilirlik kazandırır. Dallenma ve kristal yapıların çoğalması ise yoğunluğu etkileyen faktörlerdendir. Polietilenin 3 tane önemli özelliği vardır. Yoğunluk, erime akış indisi, molekül ağırlığı dağılımıdır. Yoğunluk arttığında lineerlik artar, yumuşama derecesi yükselir, sertlik ve kırılabilirlik artar. Erime akış indisisiyle de molekül ağırlığı ters orantılıdır. Yüksek erime akış indisisine sahip bir polietilenin molekül ağırlığı düşüktür. Yüksek molekül ağırlığına sahip bir polietilenin de erime akış indisi düşük seviyededir. Molekül ağırlığı fazla olan polietilen kimyasal maddelere karşı, çekmeye ve darbelere karşı dirençli, fakat işlenmeye elverişsizdir. MFR deneyleri yapılırken alçak yoğunluklu olan LDPE malzemesinden sırasıyla MDPE ve HDPE malzemesine doğru gidildikçe MFR deneylerinin sonuçları da yoğunlukla ters orantılı olarak azalır. Yoğunluk arttıkça malzemelerden gelen eriyik gramajı da azalır (Altunkaynak, 2002).

Polietilenler 80-130 <sup>0</sup>C aralığındayken bal mumu gibi davranırlar ve yoğunlukları sudan daha düşüktür. Kimyasallara karşı dayanıklı yapıları vardır ve elektriksel yalıtkanlığa sahiptir. Kütle halindeyken yarı saydam ya da opak görünüşe sahipken, film halindeyken ise saydamdır. Polietilen malzemelerinin güneş ışığındaki mavi ötesi ışınlarla az ya da çok bozulduğu görülmüştür. Güneş ışığının az bir miktarı dahi polietileni bozmaya yetmektedir. Bozulmayı önleyebilmek için polietilenin hamuruna %2-%3 oranında karbon isi katılmaktadır. Karbon isisiyle birlikte çok az miktarda antioksidan maddelerin de katılmasının faydalı olacağı görülmüştür. Bu maddelerin polietilen içerisine homojen olarak dağılması lazımdır. Güneş ışığına maruz kalan polietilen malzemelerde her zaman siyah pigmentli olanların tercih edilmesi gerekmektedir (Ertürk, 2007).

### **3.2 Polietilenlerin Çeşitleri**

Polietilenler üretilirken değişik teknolojilerde üretilir. Değişik teknolojiler kullanıldığı için elde edilen polietilenlerin erime sıcaklıkları, yoğunlukları, molekül yapıları farklı olmuştur. Bu sebeple polietilen malzemelerinin sınıflandırılması

ihtiyacı güdülmüştür (Zeren, 2013). Polietilenin sınıflandırılmasında ASTM D1248, DIN 16776, ISO 1872 gibi standartlar mevcuttur. Bu standartlar yanında polietilen malzemenin mekanik, erime akış hızı, optik ve elektriksel özellikleri de dikkate alınarak bunlar birer numara ile numaralandırılır. Bu numaralar standardın numarasıyla birlikte polietilen kutusuna yapıştırılır. Bu sayede alıcı kişi, PE üzerindeki numaralardan malzemenin özelliklerini anlayabilir (Ertürk, 2007).

**Çizelge 3.1.** PE'nin erime akış indeksine göre sınıflandırılması (Ezdeşir v.d, 1999)

Akış Hızı [gr/10dk]*	Molekül Ağırlığı (Zincirdeki etilen molekül sayısı)	ASTM D1248 Tipi
> 25	Düşük molekül ağırlıklı	1
> 10 – 25		2
> 1,0 – 10		3
> 0,4 -1,0		4
En fazla 0,4	Yüksek molekül ağırlıklı	5
* Erime akış hızı ASTM 1238 (190 °C, 2,16 kg)		

**Çizelge 3.2.** Polietilenlerin yoğunluklarına göre sınıflandırılması (Ezdeşir v.d, 1999)

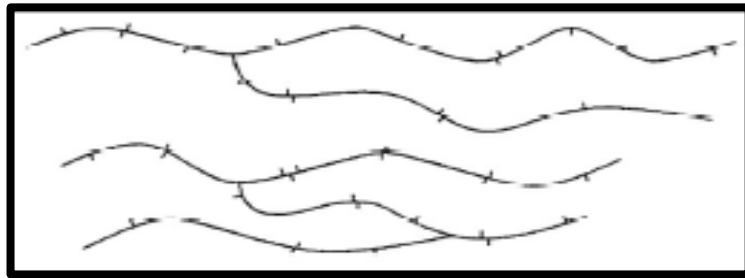
Yoğunluk [gr/cm <sup>3</sup> ]	Kullanılan İsim	Sembolü	PE sınıflandırılan dünya standartları		
			ASTM D 1248 <sup>(1)</sup>	ISO DIS 1872 <sup>(2)</sup>	DIN 16776 <sup>(2)</sup>
0,91-0,925	Düşük Yoğunluklu Polietilen	LDPE	I	14, 18, 23	15, 20, 25
0,926-0,940	Orta Yoğunluklu Polietilen	MDPE	II	27, 33, 40	30, 35, 40
0,941-0,959	Yüksek Yoğunluklu Polietilen	HDPE	III	45, 50, 57	45, 50, 55
0,96 ve üstü	Çok Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen	UHMW-PE	IV	62	60,65

Yoğunluk ASTM D792, BS2782 göre ölçülmüştür. PE homopolimer için verilmiştir, PE homopolimer ve kopolimer için verilmiştir.

### 3.2.1 Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE), (DYPE)

1930'larda İngiltere'de ICI laboratuvarında çok fazla basınç uygulanmasıyla az miktarda oksijen kullanılmasıyla etilenin polimerleştirilmesi başarılmıştır. Bu üretilen ilk polietilen alçak yoğunluklu polietilendir (Akkurt, 1991).

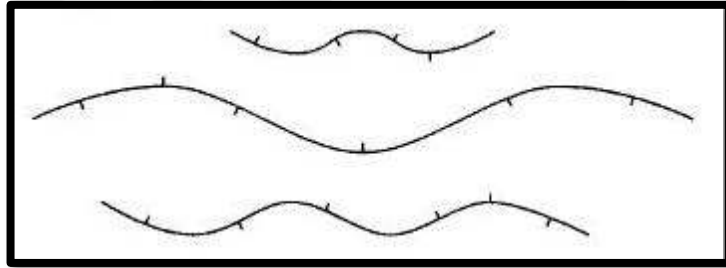
Bu tür polietilenler termoplastik reçine sınıfından olup etilenin polimerleştirilmesi ile elde edilir. Polimerleştirme işlemi yüksek sıcaklık ve basınç altında katalizör yardımıyla yapılmaktadır. Yoğunluğu  $0.910-0.925 \text{ gr/cm}^3$  arasındadır. Düşük yoğunluklu polietilen üretimi için iki metod kullanılır. Tübüler ve otoklav yöntemlerinden tübüler olanı daha çok tercih edilmektedir. Çünkü daha çok etilen dönüştürme oranına sahiptir (Kangallı, 2007). Bir otoklavda ya da boru tipi tübular reaktörde, etilen monomerlerinin  $1200-3000 \text{ atm}$  basınç ve  $130-350^\circ \text{ C}$ 'de organik peroksitlerin katkısıyla polimerizasyon ile üretilir. (Medar, 2013). Bu malzeme uzun dallara ve uzun zincire sahip olmasından dolayı kolay işlenebilir (Kangallı, 2007). LDPE zincirleri yaklaşık 500 monomerden oluşur (Resim 3.2) (Kılavuz, 2013). Geniş sıcaklık derece aralığında kullanılabilme özelliği vardır. Tokluk ve esneklik özellikleri iyi olmakla birlikte düşük sıcaklıkta darbeye karşı da dayanıklıdır. Sıcaklığa karşı dayanımı düşüktür. Oda sıcaklığında kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır fakat sıcaklığın yükselmesiyle bu özelliği azalır (Demircan, 2009). Etilen petrokimya sanayisinin vazgeçilmez malzemelerinden biridir. Özellikle ambalaj sanayisinde kullanılan plastiğin hammaddesi olan alçak yoğunluklu polietilen (LDPE) film, kablo, plastik kap yapımında kullanılır (Düşünceli, 2007). 2. Dünya Savaşı yıllarında ticari olarak yapımı hızlandırılmış ve birçok alanda kullanılmıştır (Ezdeşir vd., 1999).



Şekil 3.2. Düşük yoğunluklu polietilen yapısı (Yavuz, 2011).

### 3.2.2 Doğrusal (Linear) Alçak Yoğunluklu Polietilen (LLDPE)

1950'li senelerde Ziegler-Natta (ZN) ismi verilen katalizör sayesinde daha düşük basınç altında etilen polimerleştirilebilmekte ve yüksek yoğunluk polietilen elde edilmekteydi. Artık bu seneden sonra hem (HDPE) hem de düşük yoğunluklu düz zincirli polietilen (LLDPE) elde edilmekteydi (Kangallı, 2007). Düşük basınç altında Ziegler Natta katalizörünün yardımı ile üretilen ve az sayıda dallandırılabilen molekül ağırlığı ve dallanma miktarı düşük olan kristalinitesi düşük olan bir malzemedir. Alçak yoğunluklu polietilenlere göre daha serttir (Demirci, 2009). Etilenin C4-C8 alfa olefinlerle ZN cinsteki katalizörlerle düşük basınçta oluşturulmuş LDPE'lerle aynı yoğunluktadır (Öksüz Çelebi, 2008). LLDPE'nin yoğunluğu LDPE ile aynı olmasına rağmen LLDPE'nin sahip olduğu zincirin düz olmasından ötürü LDPE'ye göre mekanik özellikleri daha iyidir (Resim 3.3). Çünkü PE malzemeler molekül ağırlığından ve zincir yapısından ötürü mekanik özellikleri büyük oranda etkilenir (Ertürk, 2007). Isıl direnci ve mukavemeti daha yüksek, aynı zamanda işlemesi daha uğraştırıcıdır. Çöp torbalarında, ev eşyalarında, sera örtülerinde, oyuncak yapımında kullanım sahaları bulmaktadır (Öksüz Çelebi, 2008).



Şekil 3.3. LLDPE zincir yapısı (Öksüz Çelebi, 2008).

### 3.2.3 Orta Yoğunluklu Polietilen (MDPE), (OYPE)

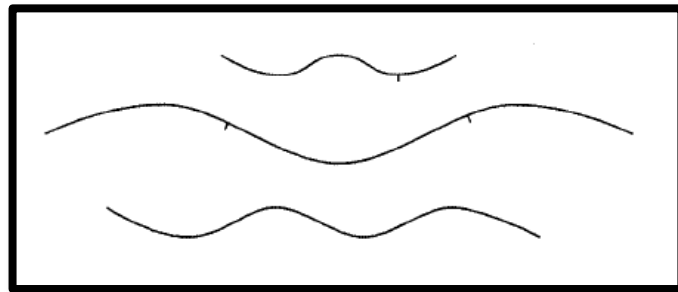
Yoğunluğu adında da anlaşılabilceği orta yoğunluktur. MDPE, krom ya da tek bölge katalizörlerle desteklenmiş Ziegler-Natta kullanılarak  $\alpha$ -olefin ile etilenin kopolimerizasyonu ile üretilmiştir. Serbest radikal polimerizasyonu ile üretilemez. LLDPE'ye benzeyen lineer bir yapısı vardır. Fakat MDPE'nin içerisindeki komonomer miktarı daha azdır (Oğuz, 2011). Yoğunluğu  $0,926-0,940 \text{ gr/cm}^3$  aralığındadır. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve işlemesi kolaydır. Esnek, kırılmaz, yüksek mukavemetli ve yüksek iletkenlikte kullanılmaktadır.

mukavemet gücü HDPE'ler kadar yüksektir (Öksüz Çelebi, 2008). Genel olarak boru sanayisinde kullanılmaktadır. Orta yoğunluklu polietilen borular (MDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen borular (HDPE) birbiriyle yarışır hale gelmiştir. MDPE malzemesi yapısında HDPE malzemesinden daha fazla yüzey zinciri gösterir. Ünimodal MDPE'den üretilen borular bu nedenle daha toktur. Fakat aynı zamanda daha düşük rijitliğe ve daha düşük eksenel ve çevresel gerilme dayanımına sahiptir (Kılavuz, 2013).

### 3.2.4 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE), (YYPE)

HDPE'ler, MDPE ve LLDPE'ye göre daha üstün akma ve gerilme özelliklerine sahiptir. Yüksek yoğunluklu polietilenler Ziegler Natta ya da krom takviyeli katalizörler ile etilenin polimerizasyonu ile üretilir. HDPE zincirleri yaklaşık 10,000 monomerden oluşur (Resim 3.4) (Kılavuz, 2013). Alçak konsantrasyonlarda kısa zincir dallanması ile işlenebilirliği, dayanıklılığı arttırmak için yüzde 1 oranından daha az miktarda  $\alpha$ -olefin komonomeri kullanılabilir. Yüksek kristalinite özelliğine sahiptir. Yoğunluğu  $0,94-0,97 \text{ g/cm}^3$  arasında değişebilmektedir. YYPE'ler, içme suyu borularının üretiminde ve doğalgaz borularının üretiminde geniş çapta kullanılır (Oğuz, 2011).

Bu polietilen türü düşük basınç ve düşük sıcaklıkta üretilebilmesinin sebebi yeni keşfedilen katalizörler sayesinde. Doğrusal yapılı ve zincirlerinin dalları kısadır. Bundan dolayı da daha kristalimsidir. Süspansiyon çözelti ya da gaz fazı yöntemleriyle üretilebilmektedir (Kangallı, 2007).



Şekil 3.4. Yüksek yoğunluklu polietilenin zincir yapısı (Yavuz, 2011).

HDPE'nin molekül kütlesi yaklaşık olarak 150.000-400.000 gr/mol dolaylarındadır. Suya ve kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı iyi olmasına karşın ışığa ve açık hava koşullarına AYPE kadar dayanıklı değildir. Darbe ve çekme dayanımları yüksektir. Normalde çekme dayanımı 22.0650-34.3233 MPa civarındadır. Sıcaklık dayanımı 100°C'nin üzerindedir (Mirik, 2010).

YYPE -80 ve 80 °C arası sıcaklıklarda kullanılmaya uygundur. Yapısında amorf ve kristal faz olmak üzere 2 çeşit faz bulunmaktadır. Amorf faz oda sıcaklığında kauçuk gibi davranarak kristal fazın belli miktarda hareket etmesine müsaade eder. Bu deformasyon şekli plastik olarak adlandırılır. Kuvvet kaldırıldıktan sonra toparlanabilir olan bu davranış zincirde kopmaya mahal vermez. Yarı kristal polimerlerin yüksek tokluğa ulaşmasını sağlar (Shepherd vd., 2006).

HDPE yavaş soğutulduğunda kristalleşme oranı hızlı soğumasına göre daha fazladır. Bu yüzden HDPE'ler ısıtıldıktan sonra soğutma sürecinin malzeme üzerinde etkisi büyüktür (Düşünceli ve Çolak, 2007). Yarı-kristal polimerlerin özellikleri, sadece kimyasal özelliklere bağlı değildir. Maruz bırakıldığı ısıl işlemlere göre morfolojik ve kristalleşme yapısına göre değişebilmektedir (Zhang, 1996).

YYPE'nin fiziksel özellikleri yoğunluğa, moleküler ağırlığa ve moleküler ağırlık dağılımına bağlıdır. Yoğunluğun artmasıyla birlikte rijitlik, çekme mukavemeti, yumuşama sıcaklığı ve kimyasal direnç artar. Bunun yanında düşük sıcaklıktaki darbe mukavemeti, uzama, geçirgenlik ve çatlak direnci yoğunluğun artması ile azalır. Moleküler ağırlık artırılarak akma ve kopma mukavemeti, uzama, gerilme çatlak direnci, tokluk, sünme direnci, kimyasal dayanım iyileştirilebilir. Moleküler dağılımda ise dar aralıkta YYPE'lerin tokluğu, gerilme çatlak direnci ve yumuşama sıcaklığı artar. Moleküler dağılımın geniş olması durumunda ise düşük erime viskozitesi, yüksek enjeksiyon ve sünme direnci kazanılır (Bartczak, 2005).

Yarı-kristal polimerlerin mekanik özellikleri kristaller arasındaki moleküler bağa bağlıdır. Mekanik özellikler üzerinde zincir düzenlemeleri ve bağ molekülleri iki temel etkindir. Eğer moleküller arası bağlar kovalent bağ değilse kristaller zayıf Van der Waals veya hidrojen bağlarıyla bir arada kalır. Zayıf Van der Waals bağları kolay bir biçimde kaymalara ve ayrılmalara izin verir (Seguela 2005).

### 3.2.5 Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE)

İsminden de anlaşılacağı üzere yüksek molekül ağırlığına sahiptir. Molekül ağırlığı 3.000.000 gr/mol-7.000.000 gr/mol arasında değişmektedir (Demirci, 2003). Yoğunluğu yaklaşık 0.935 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Ziegler-Natta katalizörleri ile üretilirler. Diğer polietilen türlerine kıyasla çok daha yüksek çarpma ve aşınma direncine sahiptir. Yüksek molekül ağırlığından dolayı erimez ve akmazlar. Bu sebeple üretim süreci zordur. Özel ekstrüzyon tekniğiyle şekil verilebilir ve basınç ile kalıplanabilir (Oğuz, 2011). Bazı özellikleri yönüyle, örneğin; elektriksel, kimyasal, fiziksel özellik bakımından HDPE'lere benzemektedir. Fakat yüksek molekül ağırlığından dolayı işlenmesi zordur. Bu nedenle enjeksiyon kalıplamada ve ekstrüzyon ekipmanında kullanılması zordur. Sertliğini arttırmak amacıyla grafit, elyaf, talk, toz metaller, cam elyafı katılabilir. Silikon yağı ve molibdendisülfid takviyesiyle de sürtünme direnci azaltılabilir (Öksüz Çelebi, 2008). Damperli kamyon kasalarının yüzey kaplamalarında, tekstil makinelerinde, gemi ve limanlarda tampon olarak kullanılabilir (Canbaloglu, 2010).



## 4. DENEYSEL MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1 YYPE Malzemesinin Edinilmesi

Deneyde kullanılan numuneler içme suyu borularında kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen borulardır. Numuneler, Gap Sulama Sistemleri fabrikasından temin edilmiştir (Resim 4.1).



Şekil 4.1. Gap Sulama Sistemleri fabrikası.

Deneyler Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterildiği gibi laboratuvar ortamında yapılmıştır.



Şekil 4.2. Harran Üniversitesi Merkezi Laboratuvar.



**Şekil 4.3.** Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarı.

90 mm çapındaki (YYPE) boru, kalıp yardımıyla kesilerek 150 mm boyunda çekme numuneleri elde edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda 40 dk. bekletilen çekme numuneleri farklı sıcaklıktaki sıvılarda 3 dk. soğutulmuş ve sonrasında çekme deneyine maruz bırakılmıştır. Her deney parametresi için 3 numune kullanılmış ve çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır.

#### **4.2 Deney Numunelerinin Kesilmesi ve Test Hızı**

TS EN ISO 6259 – 1, ISO 6259 – 3 standartlarına göre test numuneleri elde edilmiştir. Boru çapı 63mm'den daha fazla olan borularda ISO 6259 standardına göre çekme numunesi alınması için Şekil 4.4.'te olduğu gibi Tip-1 denilen kalıp kullanılması gerekmektedir.



**Şekil 4.4.** Tip-1 kalıp.



**Şekil 4.5.** Borudan numune kesme işlemi.

Bu işlemde Şekil 4.5'te görüldüğü gibi test numunesi hazırlama cihazı kullanılır. Çizelge 4.2'de verilen et kalınlıklarına göre de cihaza Tip-1 ya da Tip-2 kalıpları takılır. Şeritler üzerinden test sonuçlarını etkileyebilecek herhangi bir hasar oluşmamasına dikkat edilerek test parçaları çıkarılır. Boru numunelerinde test parçası çıkarılırken kalıpla kesme boru içinden dışına doğru olacak şekilde kesme işlemi gerçekleştirilir.

**Çizelge 4.1.** Tip 1 test parçasının şekil boyutları ( TS EN ISO 6259 – 1 , ISO 6259–3 standartlarına göre )

Sembol	Tanımlama	Boyutlar mm
A	Toplam uzunluk (min.)	150
B	Uç genişliği	20±1
C	Dar bölge uzunluğu, paralel kenarlı kısım	60±1
D	Dar bölge genişliği, paralel kenarlı kısım	10±0,2
E	Radyus	60±1
F	Ölçme uzunluğu	50±1
G	Çeneler arasındaki başlangıç mesafesi	115±5
H	Kalınlık	Boru et kalınlığı

**Çizelge 4.2.** Numune et kalınlığına göre numune tipi , hazırlama metodu ve test hızları (TS EN ISO 6259 – 1 , ISO 6259–3 e göre )

Numune kalınlığı $e_{min}$ (mm)	Test parçası tipi	Numune çıkarma metodu	Test hızı mm/dak
$e_n \leq 5$	Tip-2	Kalıpta kesme	100
$5 < e_n \leq 12$	Tip-1	Kalıpta kesme	50
$12 < e_n \leq 25$	Tip-1	Kalıpta Kesme yada Makine ile işleme	25
	Tip-3	Makine ile işleme	10
$e_n > 25$	Tip-3	Makine ile işleme	10

*Elestiklik modülü tayininde test hızı; ölçme uzunluğundaki değişim dakika başına %1 olacak şekilde seçilmelidir. Buna göre Test hızı  $L_0=50$  mm için 0,5 mm/dakika,  $L_0=25$  mm için 0,25 mm/dakika olmaktadır.*

Test hızı Çizelge 4.2’de verilen bilgiler doğrultusunda alınır. Et kalınlığı yaklaşık 5,5-6 mm olan boru için test hızı Çizelge 4.2’deki ikinci sıradaki 50mm/dk seçilir. Tip 1’e göre kesilmiş çekme numuneleri Şekil 4.6. ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.6.** Numune alınan boru.



**Şekil 4.7.** Çekme numuneleri.

### 4.3 Numunelerin Fırında Bekletilmesi

Çekme numuneleri Şekil 4.8.'de gösterilen fırında 40 dk. boyunca  $90^{\circ}\text{C}$ ,  $120^{\circ}\text{C}$  ve  $150^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilmiştir. Her bir derecede bekletilmesi için 9 adet numune kullanılmıştır. Yani toplamda 27 adet numune kullanılmıştır. Bekletilen numuneler daha sonra 3'erli gruplar halinde farklı sıcaklıklarda soğutulmuştur.



Şekil 4.8. Fırın.

Yüksek yoğunluklu polietilenin erime sıcaklığı yaklaşık  $131^{\circ}\text{C}$  olduğundan  $150^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılacak numuneler Şekil 4.9'da görüldüğü gibi alüminyum folyo ile sarılarak hazırlanmıştır.



Şekil 4.9. Fırında erime sıcaklığı üzerinde ( $150^{\circ}\text{C}$ ) bekletilecek numunelerin hazırlanması.

#### 4.4 Numunelerin Soğutulması

Fırında 9'ar gruplar halinde 40 dk. bekletilen numuneler 3'erli gruplar halinde çıkarılarak değişik derecelerdeki sıvıların içerisinde 3 dk. boyunca bekletilerek soğutulmuştur. Farklı hızlarda soğutulan (YYPE) numuneler daha sonra çekmeye maruz bırakılarak farklı soğuma hızlarının mukavemete olan etkisi incelenmiştir. 90<sup>0</sup> C'de bekletilen 9 numunenin 3 tanesi -195<sup>0</sup> C'de, 3 tanesi 0<sup>0</sup> C'de, 3 tanesi 78<sup>0</sup> C'de soğutulmuştur. 120<sup>0</sup> C ve 150<sup>0</sup> C'de bekletilen 9'ar adet numune için de aynı parametreler izlenmiştir. Yani 3 değişik sıcaklıkta bekletilen numuneler 3 değişik sıcaklıkta soğutularak 9 parametre elde edilmiştir. -195<sup>0</sup> C'de sıvı azot elde edimi için Şekil 4.10.'da gösterilen havadan azot elde edici makine kullanılmıştır.



**Şekil 4.10.** Sıvı azot makinesi.

90<sup>0</sup> C, 120<sup>0</sup> C ve 150<sup>0</sup> C bekleyen her 9 numunenin 3'er tanesi Şekil 4.11'deki sıvı azot içerisinde 3 dk. bekletilerek hızlı soğuması sağlanmıştır.

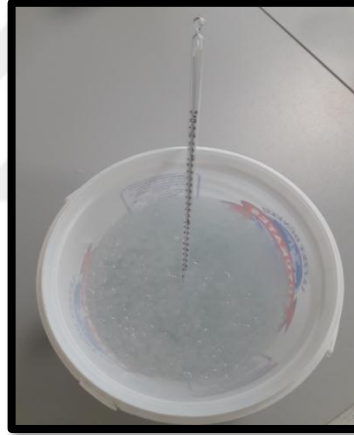


**Şekil 4.11.** Sıvı azot.

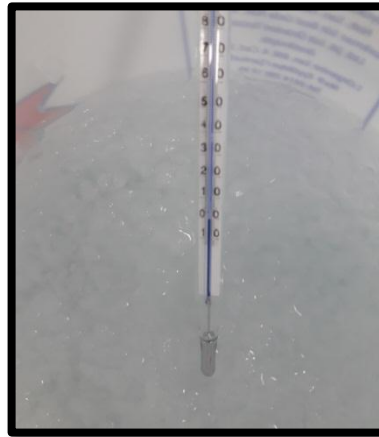


**Şekil 4.12.** Sıvı azot içerisinde bekletilmiş çekme numunesi.

Aynı şekilde 3 ayrı sıcaklık içerisinde 40 dk. bekleyen 9'ar numunenin 3'er tanesi Şekil 4.13'te gösterilen  $0^0\text{C}$ 'deki (Resim 4.14) buzlu suyun içerisine atılmıştır. (Buzlu su derece vasıtasıyla ölçülmüştür.) Buzlu suyun içerisinde 3 dk. bekletilmiştir.



**Şekil 4.13.** Buzlu su.



**Şekil 4.14.** Buzlu suya daldırılan derece ( $0^0\text{C}$ ).

Son parametre olarak 3 farklı sıcaklıkta bekletilen 9'ar numunenin yavaş soğuması için Şekil 4.15'te gösterilen 78<sup>0</sup> C'lik su banyosu hazırlanarak içerisinde 3 dk. bekletilmiştir.



Şekil 4.15. Su banyosu makinesi.



Şekil 4.16. 78<sup>0</sup> C'deki su banyosunun derece göstergesi.

#### 4.5 Numunelerin Çekmeye Maruz Bırakılması

Çekme deneyi, polietilen numunelerin tek eksenli ve sabit bir hızda çekme zorlanmasında numunenin kopmasına kadarki gerilme- yüzde uzama davranışının incelenmesinden oluşmaktadır (Sözen, 2010). Fırında 90<sup>0</sup> C, 120<sup>0</sup> C ve 150<sup>0</sup> C'ye maruz bırakılan numuneler, çeşitli soğutucu sıvılar vasıtasıyla 78<sup>0</sup> C, 0<sup>0</sup> C ve -195<sup>0</sup> C'de soğutulurak 9 parametre elde edilmiştir. Her parametre için 3'er numune kullanılmıştır. Bu nedenle 27 adet numune çekme deneyine sokulmuştur. Her parametre için kullanılan 3'er adet numunenin çekme testi sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Deney hızı Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi 50mm/dk olarak seçilmiştir.





**Şekil 4.17.** Çekme testi makinesi.

Çekme deneyi sırasında çekme gerilmesi, yüzde uzama ve elastiklik modülü tespit edilmiştir.

$$\sigma = F/A_0 \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de  $\sigma$  (N/mm<sup>2</sup>) çekme gerilmesini, F (N) normal kuvveti,  $A_0$  (mm<sup>2</sup>) malzemenin ilk kesit yüzey alanını gösterir. Çekme gerilmesi birim alana etkiyen yük anlamına gelir.

Denklem 4.2’de yüzde uzamanın denklemi gösterilmiştir. Malzemeye kuvvet uygulandığı zaman oluşan boy değişiminin kuvvet uygulanmadan önceki ilk boya yüzde oranıdır (Savaşkan, 2018).

$$\% \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (4.2)$$

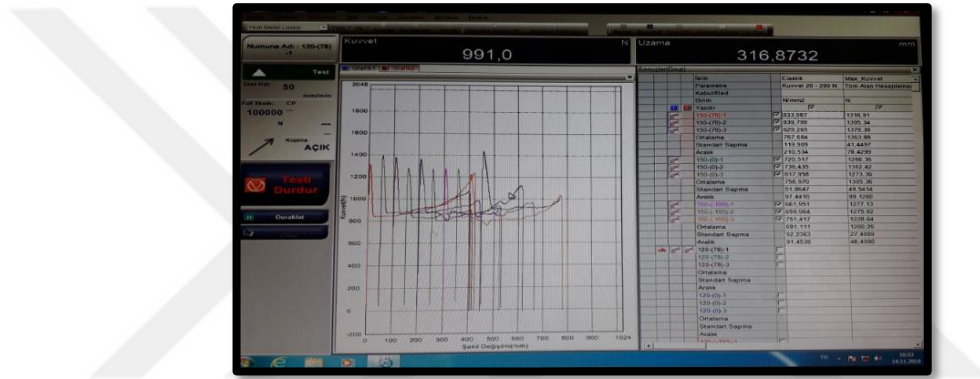
Malzemenin kesit alanı ( $A_0$ ) ve çekme cihazının iki çenesi arasında kalan ilk boyu ( $L_0$ ) elektronik kumpas yardımıyla ölçülerek programa girilmiştir.

Denklem 4.3’te verilen denklemde  $E$ ’ye elastisite veya elastiklik modülü denir. Birim uzama ile gerilme arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır. Malzemenin elastiklik modülü ne kadar

fazlaysa o malzemenin rijitliği yani elastik şekil değiştirmeye direnci o kadar fazla olur (Savaşkan, 2018).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4.3)$$

Çekme deneyi sırasında kuvvet (F)-uzama ( $\Delta L$ ) eğrisi elde edilir (Resim 4.18). Fakat bu grafikte birlikte numunenin boyutlarının da belirtilmesi gerekir. Bu sebeple bu grafik yerine daha evrensel olan gerilme-yüzde uzama grafiği kullanılmıştır (Savaşkan, 2018).



Şekil 4.18. Çekme deneyi sırasında oluşan kuvvet (F)-uzama ( $\Delta L$ ) eğrileri.

Akma dayanımı, çekme kuvvetinin yaklaşık sabit kaldığı zamanlarda şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve grafiğin düzensizlik gösterdiği kısma karşılık gelir. Akmanın başladığı gerilme değerine üst akma sınırı ( $\sigma_{a.ü}$ ) denir. Akmanın devam ettiği ortalama gerilme değerine de alt akma sınırı ( $\sigma_{a.a}$ ) denir. Çekme dayanımı ise  $\sigma_{\check{c}}$  ile gösterilmektedir. Malzemenin çekilme esnasında dayanabileceği en yüksek gerilmeyi gösterir.

$$\sigma_{\check{c}} = F_{\text{maks}} / A_0 \quad (4.4)$$

27 adet numune Shimadzu markalı test cihazında çekilerek elastisite modülleri, gerilme ve yüzde uzamaları sonuçlar kısmında gösterilmiştir (Resim 4.17).



**Şekil 4.19.** Çekilmiş haldeki numuneler.

#### **4.6 Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İle İncelenmesi**

Sem görüntüleri laboratuvar ortamında yapılmıştır. 9 farklı parametre sayısı olduğundan her parametre için bir adet numune alınarak taramalı elektron mikroskobuna yerleştirilmiştir (Resim 4.20).



**Şekil 4.20.** Taramalı Elektron Mikroskobu.

Numuneler Şekil 4.21’de gösterildiği gibi deformasyona uğramayan yerlerden kesilerek mikroskoba yerleştirilmiştir.



**Şekil 4.21.** SEM görüntüsü için numune alınan noktalar.

Mikroskoba yerleştirilmeden önce statiklenmeyi önlemek için metal ile kaplandı (Resim 4.22).



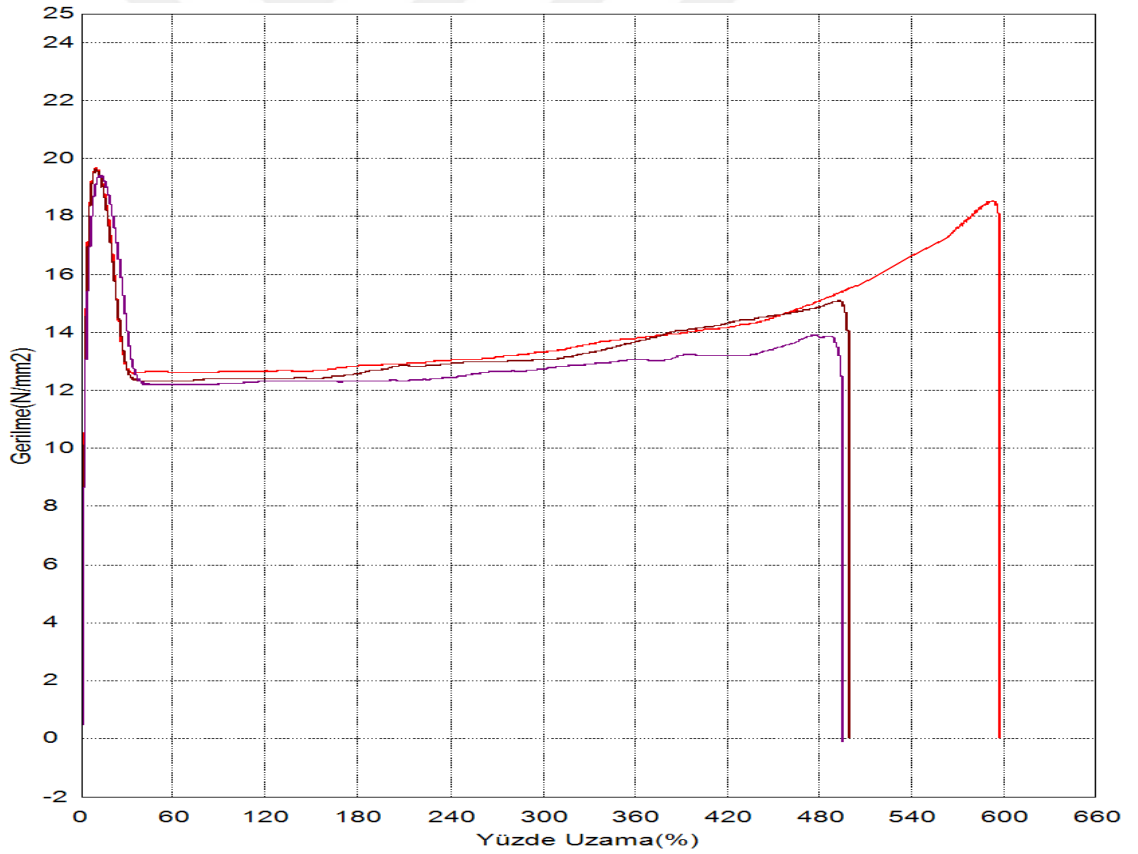
**Şekil 4.22.** Metal ile kaplanan numuneler.

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR

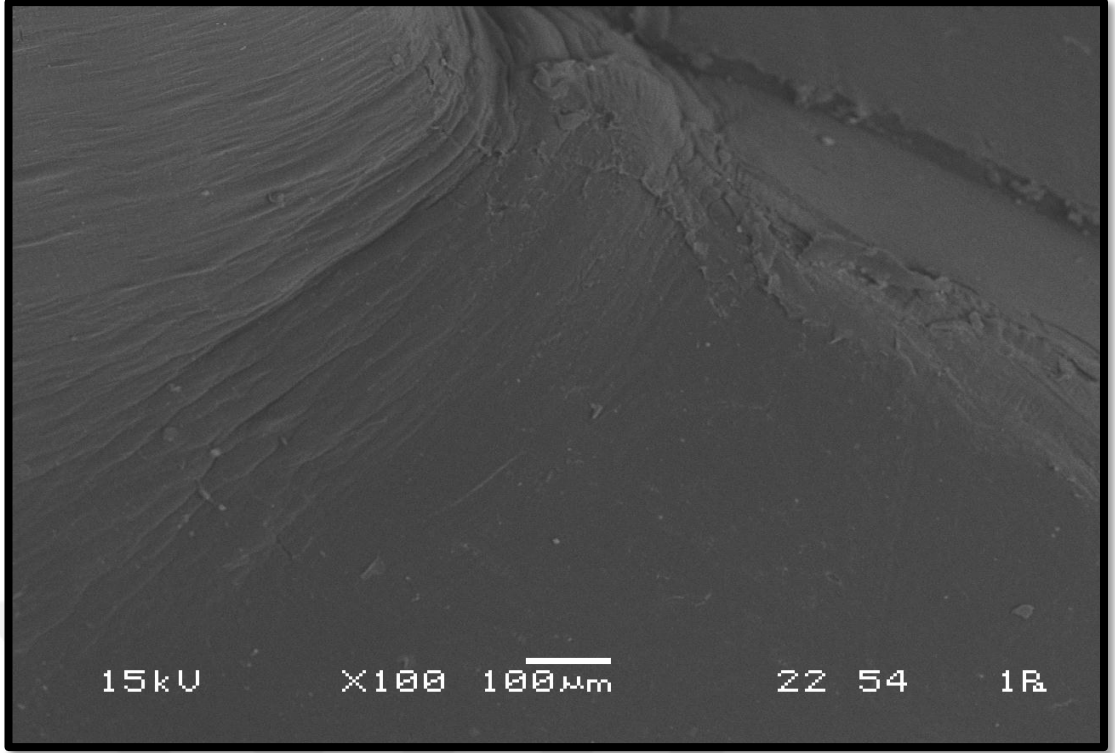
### 5.1 150<sup>0</sup> C'de Isıtılıp 78<sup>0</sup>C, 0<sup>0</sup>C Ve -195<sup>0</sup>C'de Soğutulan Numuneler İçin Sonuçlar

Çizelge 5.1. 150<sup>0</sup> C'de ısıtılan 78<sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler

Parametreler İsim	Elastik Kuvvet 20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Max Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması N	Max Gerilme Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Max Uzama Yüzde Uzama %
Ortalama	767,684	1363,88	19,5762	531,511
Standart sapma	119,909	41,4497	0,13869	58,1333



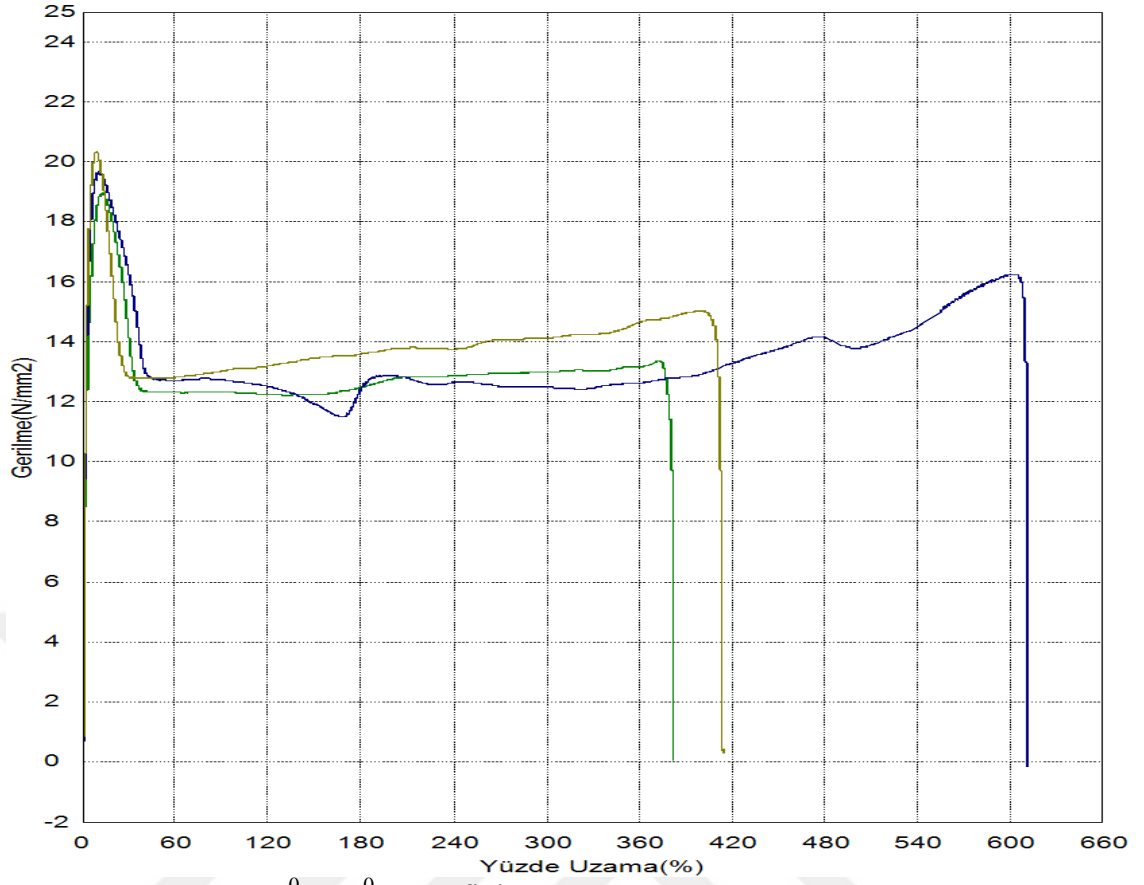
Şekil 5.1. 150<sup>0</sup> C-(78<sup>0</sup> C) grafiği.



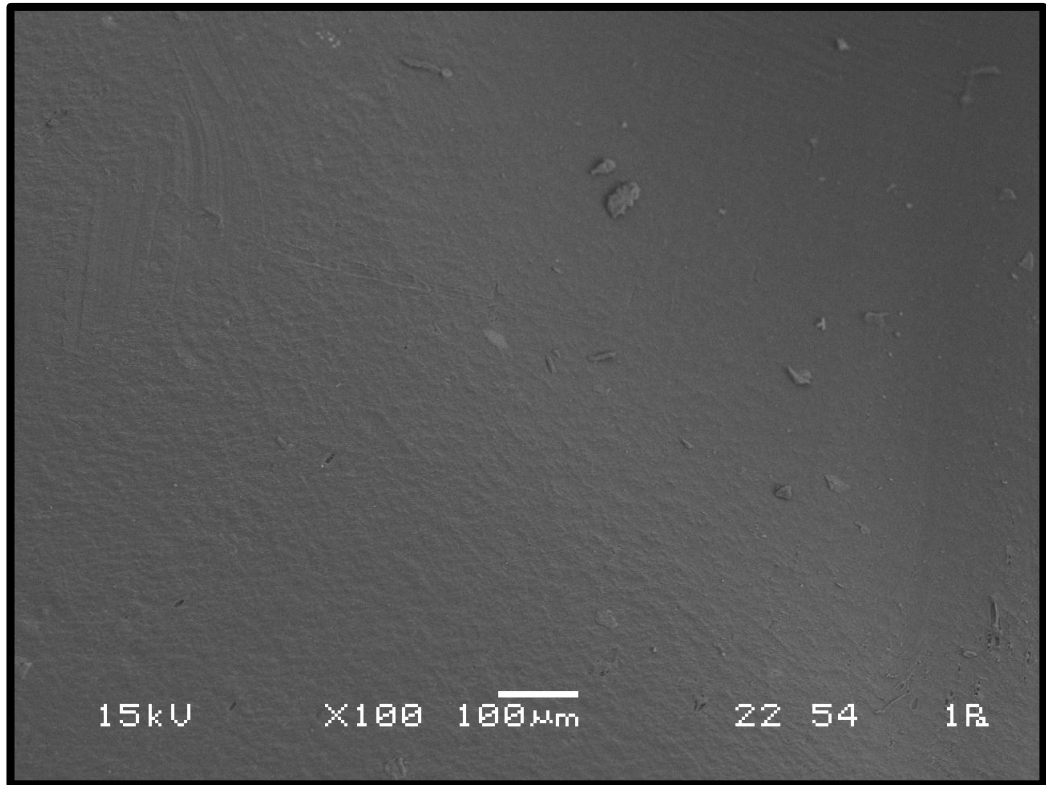
Şekil 5.2. 150<sup>0</sup> C-(78<sup>0</sup> C) SEM görüntüsü.

Çizelge 5.2. 150<sup>0</sup> C’de ısıtılan 0<sup>0</sup> C’de soğutulan numuneler

Parametreler	Elastik Kuvvet 20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Max Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması N	Max Gerilme Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Max Uzama Yüzde Uzama %
İsim				
Ortalama	758,970	1305,36	19,6464	469,864
Standart sapma	51,8647	49,5414	0,69405	123,472



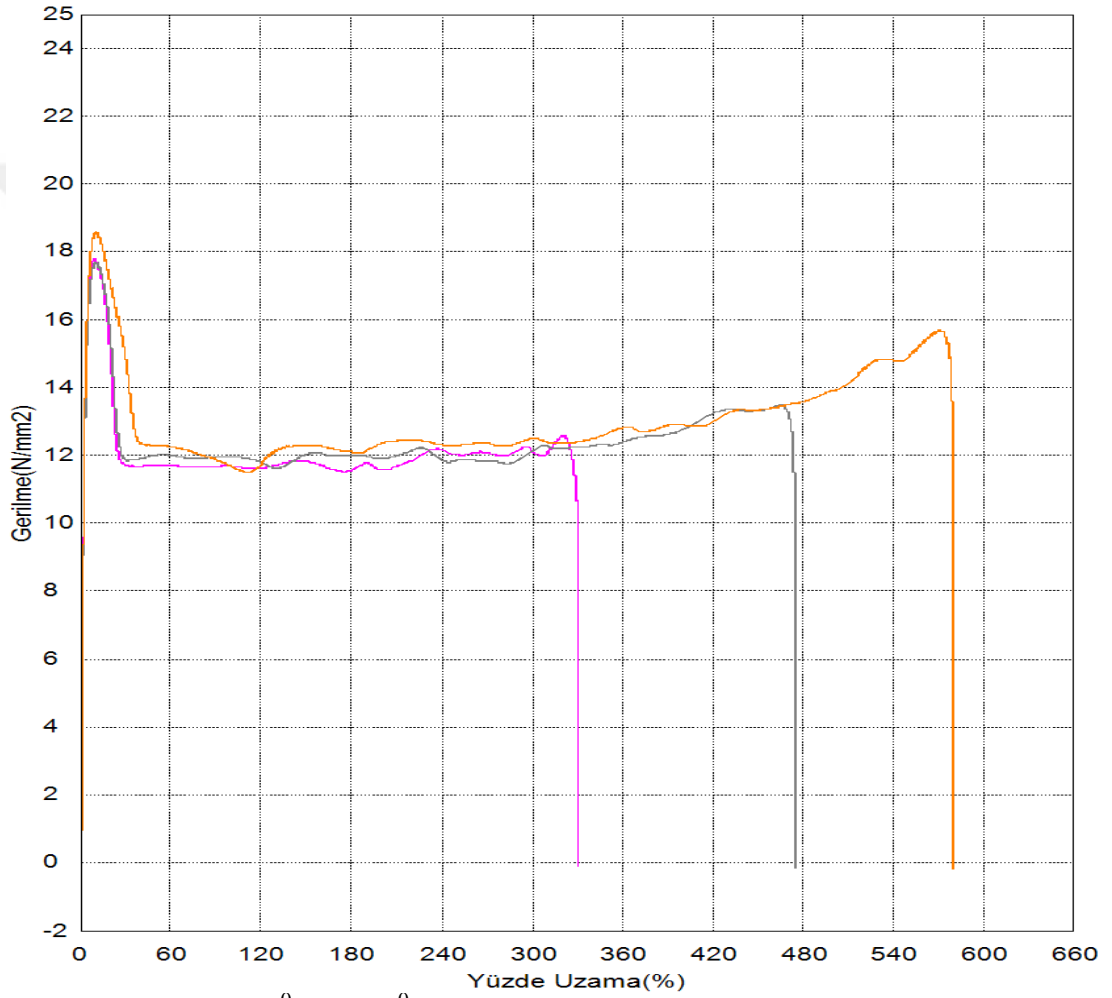
Şekil 5.3. 150<sup>0</sup> C-(0<sup>0</sup> C) grafiği.



Şekil 5.4. 150<sup>0</sup> C-(0<sup>0</sup> C) SEM görüntüsü.

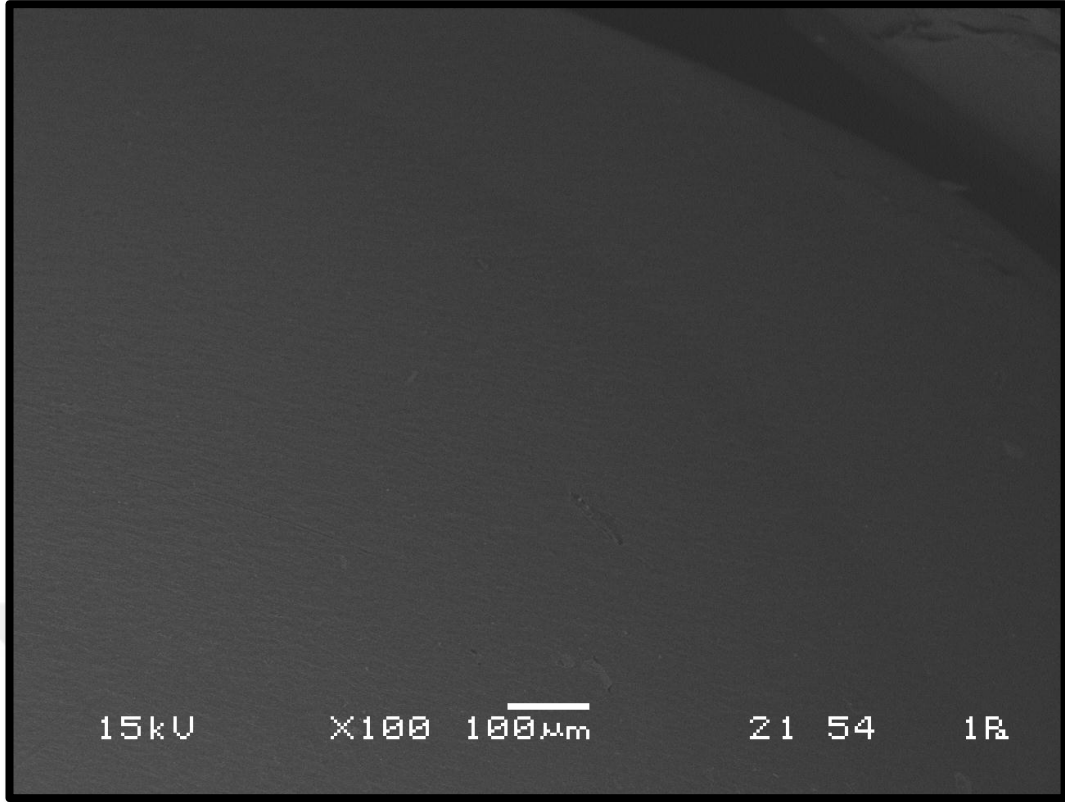
**Çizelge 5.3.** 150<sup>0</sup> C’de ısıtılan -195<sup>0</sup> C’de soğutulan numuneler

Parametreler	Elastik Kuvvet 20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Max Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması N	Max Gerilme Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Max Uzama Yüzde Uzama %
İsim				
Ortalama	691,111	1260,26	18,0199	462,160
Standart sapma	52,2363	27,4069	0,48251	124,994



**Şekil 5.5.** 150<sup>0</sup> C-(-195<sup>0</sup> C) grafiği.



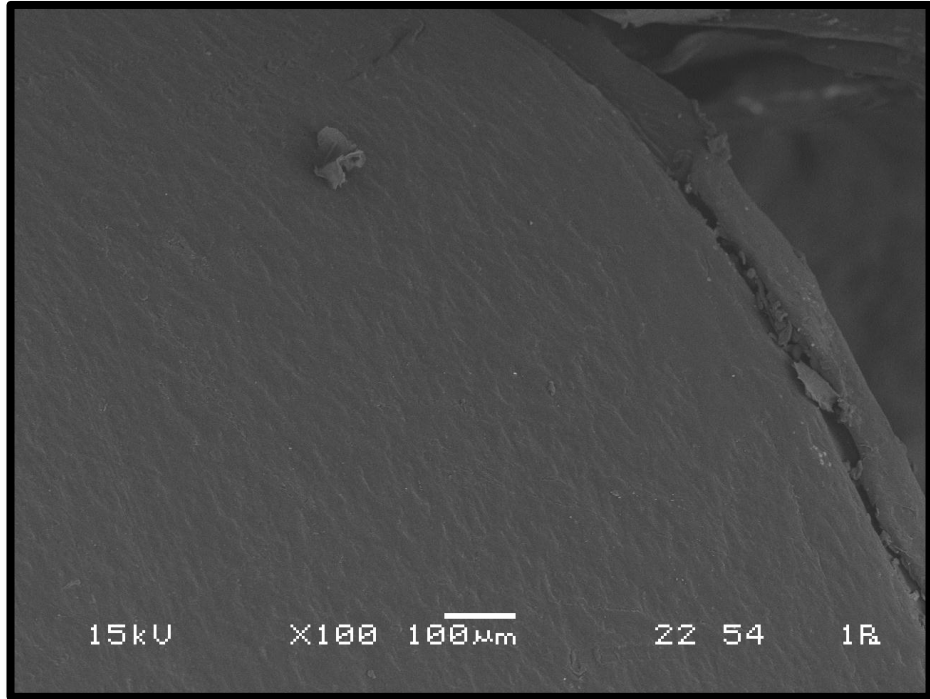
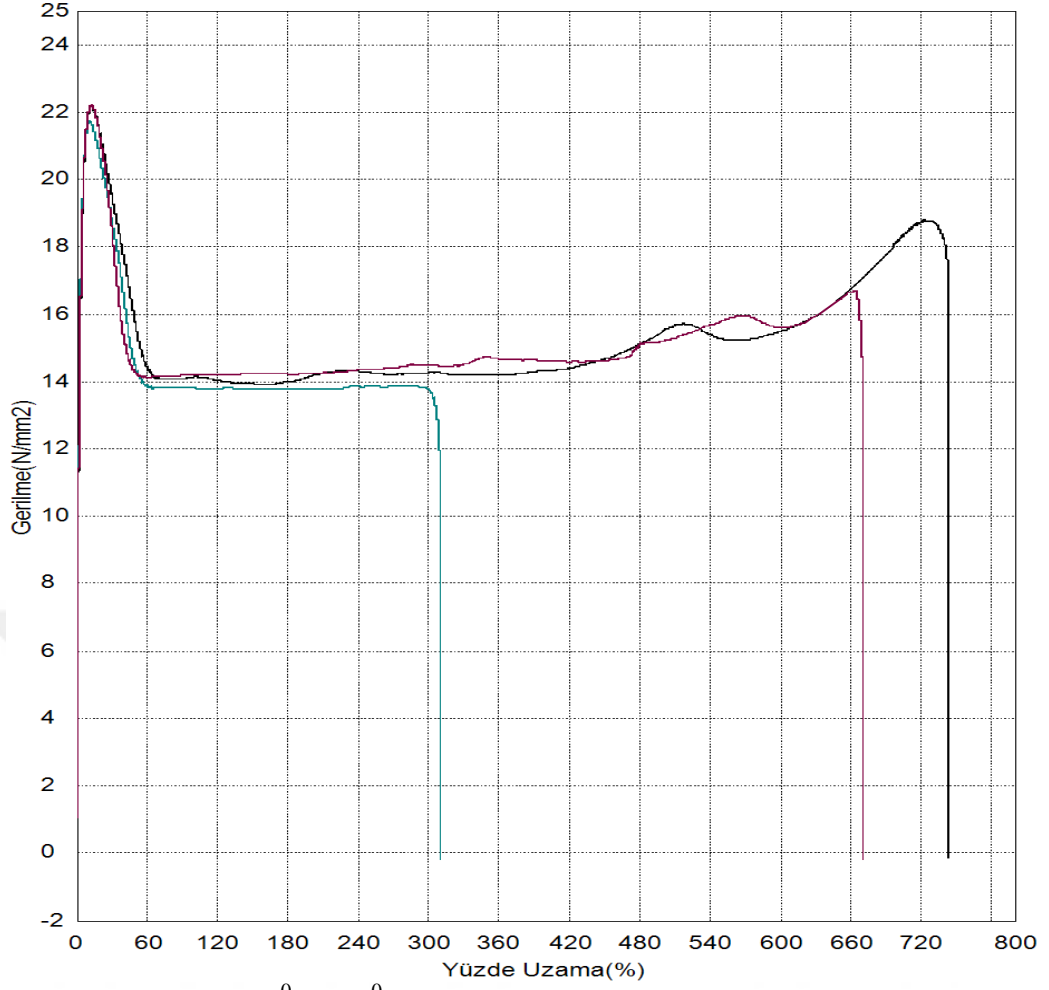


Şekil 5.6. 150<sup>0</sup> C-(-195<sup>0</sup> C) SEM görüntüsü.

## 5.2 120<sup>0</sup> C'de Isıtılıp 78<sup>0</sup> C, 0<sup>0</sup> C Ve -195<sup>0</sup> C'de Soğutulan Numuneler İçin Sonuçlar

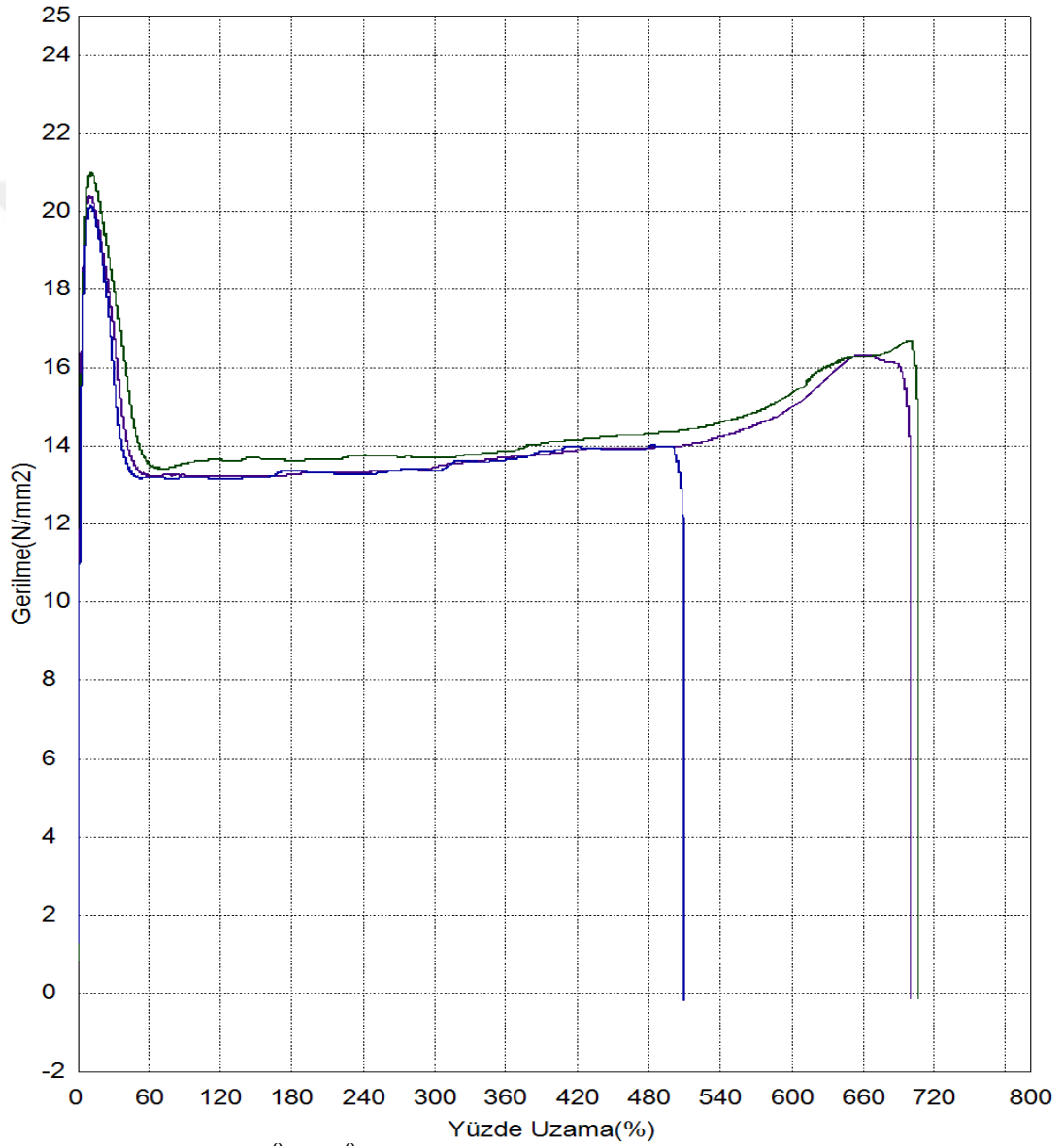
Çizelge 5.4. 120<sup>0</sup> C'de ısıtılan 78<sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler

Parametreler	Elastik Kuvvet	Max Kuvvet	Max Gerilme	Max Uzama
İsim	20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Tüm Alan Hesaplaması N	Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Yüzde Uzama %
Ortalama	747,438	1434,97	22,0464	574,724
Standart sapma	19,3376	6,01628	0,27095	231,650

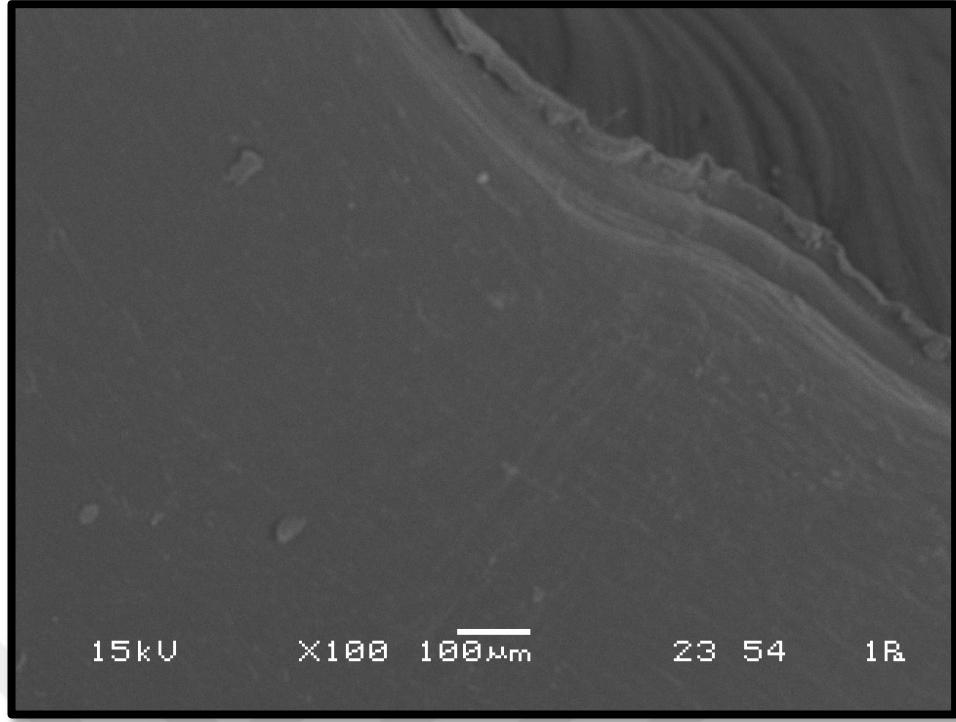


**Çizelge 5.5.** 120<sup>0</sup> C’de ısıtılan 0<sup>0</sup> C’de soğutulan numuneler

Parametreler	Elastik Kuvvet 20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Max Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması N	Max Gerilme Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Max Uzama Yüzde Uzama %
İsim				
Ortalama	678,812	1444,95	20,5154	639,296
Standart sapma	26,8194	122,313	0,43874	111,769



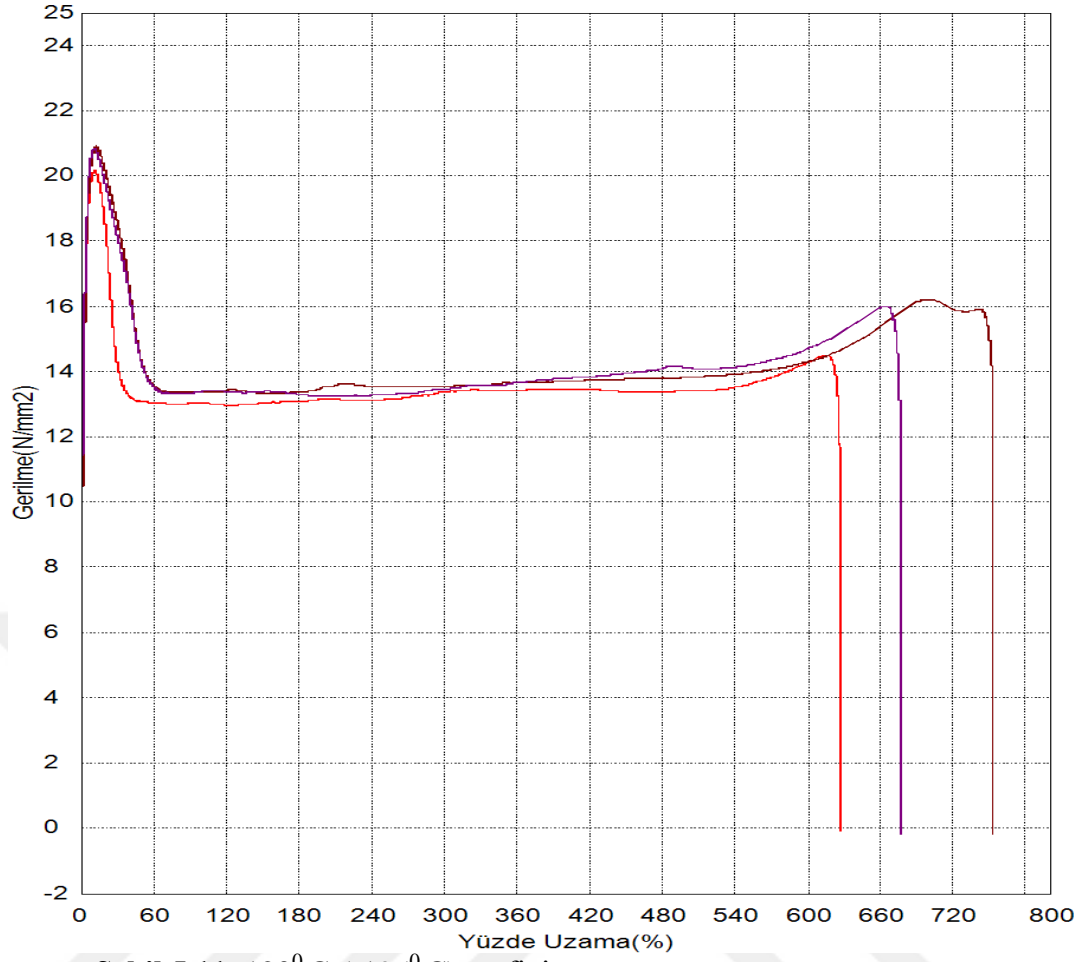
**Şekil 5.9.** 120<sup>0</sup> C-(0<sup>0</sup> C) grafiği.



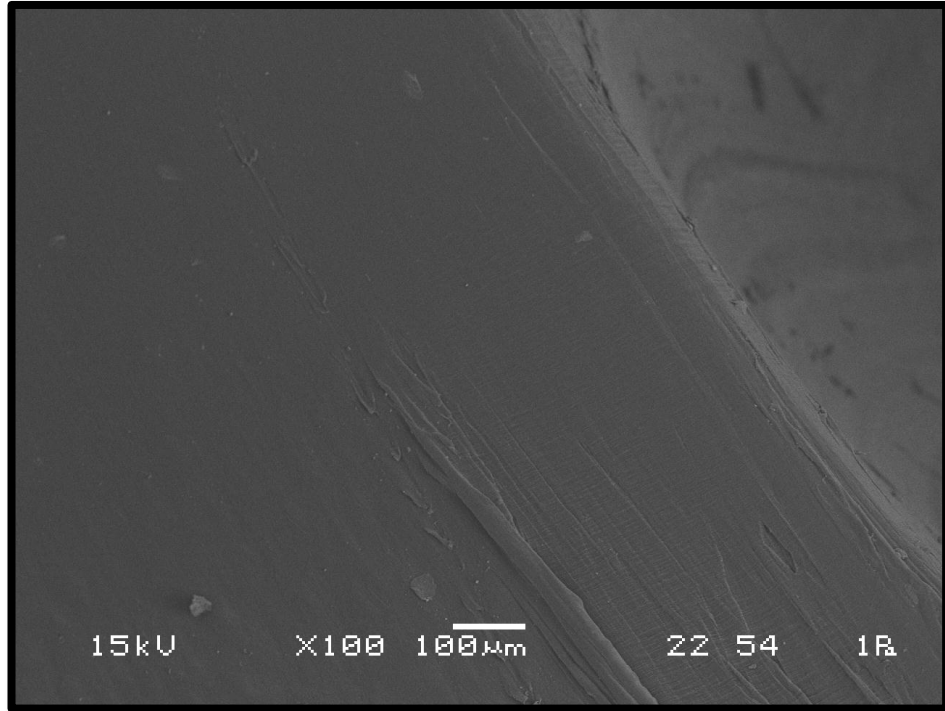
**Şekil 5.10.** 120<sup>0</sup> C-(0<sup>0</sup> C) SEM görüntüsü.

**Çizelge 5.6.** 120<sup>0</sup> C’de ısıtılan -195<sup>0</sup> C’de soğutulan numuneler

Parametreler	Elastik Kuvvet	Max Kuvvet	Max Gerilme	Max Uzama
İsim	20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Tüm Alan Hesaplaması N	Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Yüzde Uzama %
Ortalama	676,815	1439,53	20,6361	685,753
Standart sapma	39,2328	63,5832	0,40675	63,5799



Şekil 5.11. 120<sup>0</sup> C-(-195<sup>0</sup> C) grafiği.

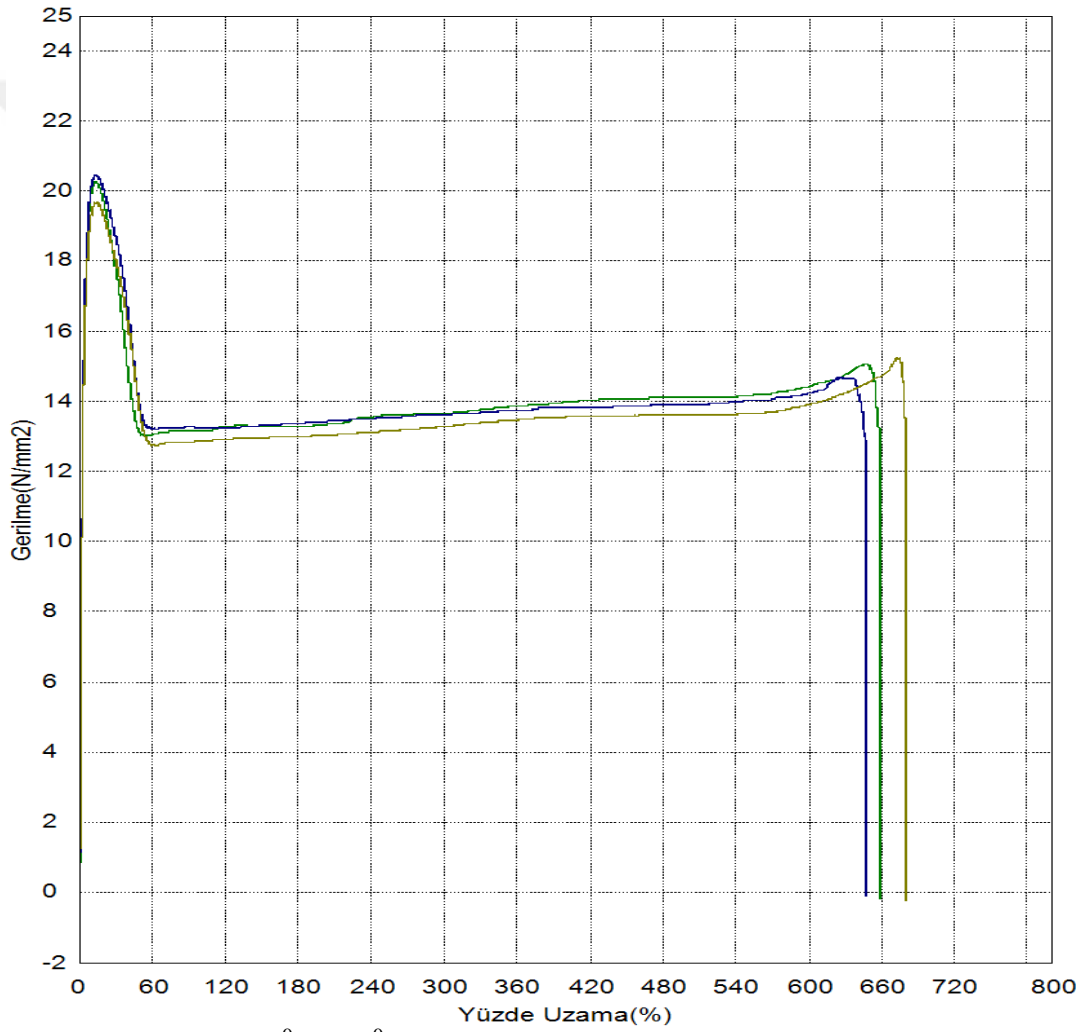


Şekil 5.12. 120<sup>0</sup> C-(-195<sup>0</sup> C) SEM görüntüsü.

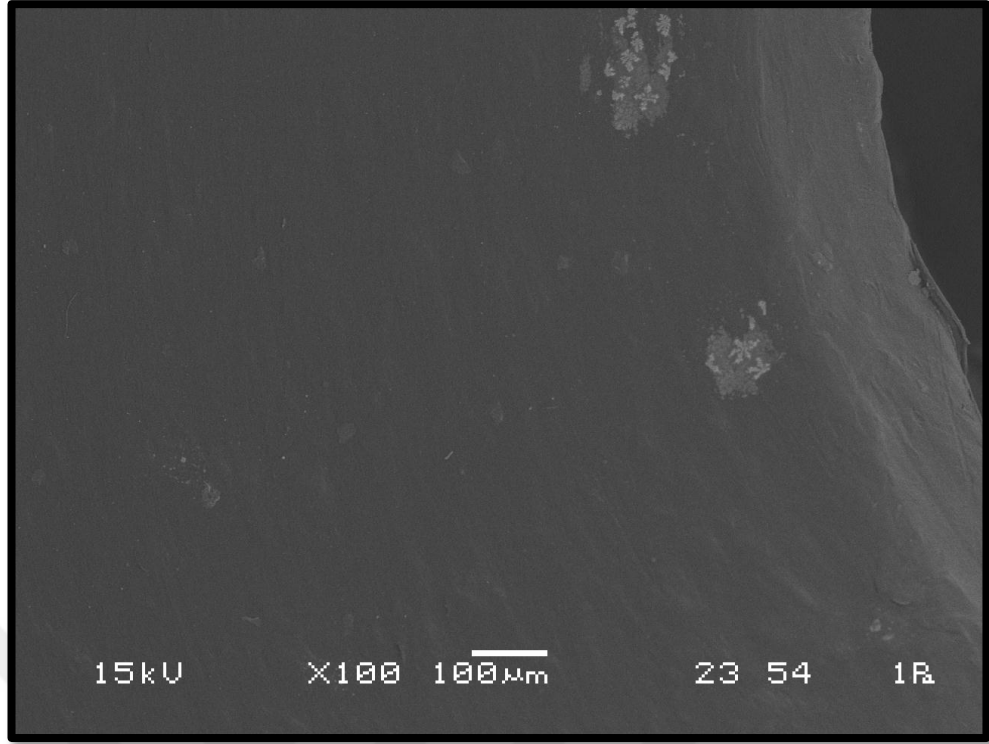
### 5.3 90<sup>0</sup> C'de Isıtılıp 78<sup>0</sup>C, 0<sup>0</sup>C Ve -195<sup>0</sup>C'de Soğutulan Numuneler İçin Sonuçlar

Çizelge 5.7. 90<sup>0</sup> C'de ısıtılan 78<sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler

Parametreler	Elastik Kuvvet 20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Max Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması N	Max Gerilme Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Max Uzama Yüzde Uzama %
İsim				
Ortalama	653,986	1358,76	20,1223	662,347
Standart sapma	17,7534	52,6382	0,40494	16,6528



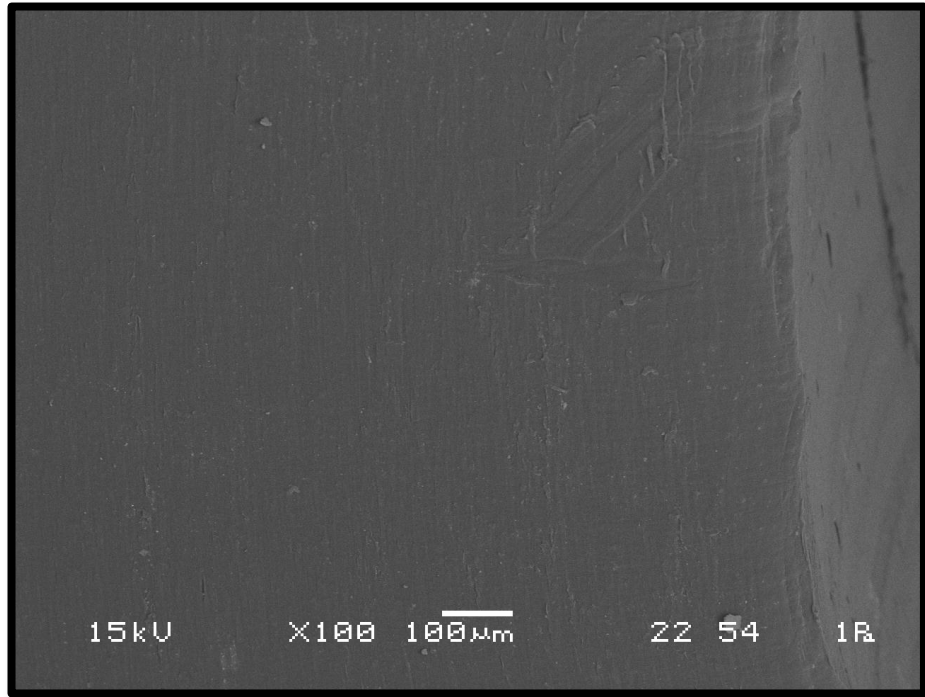
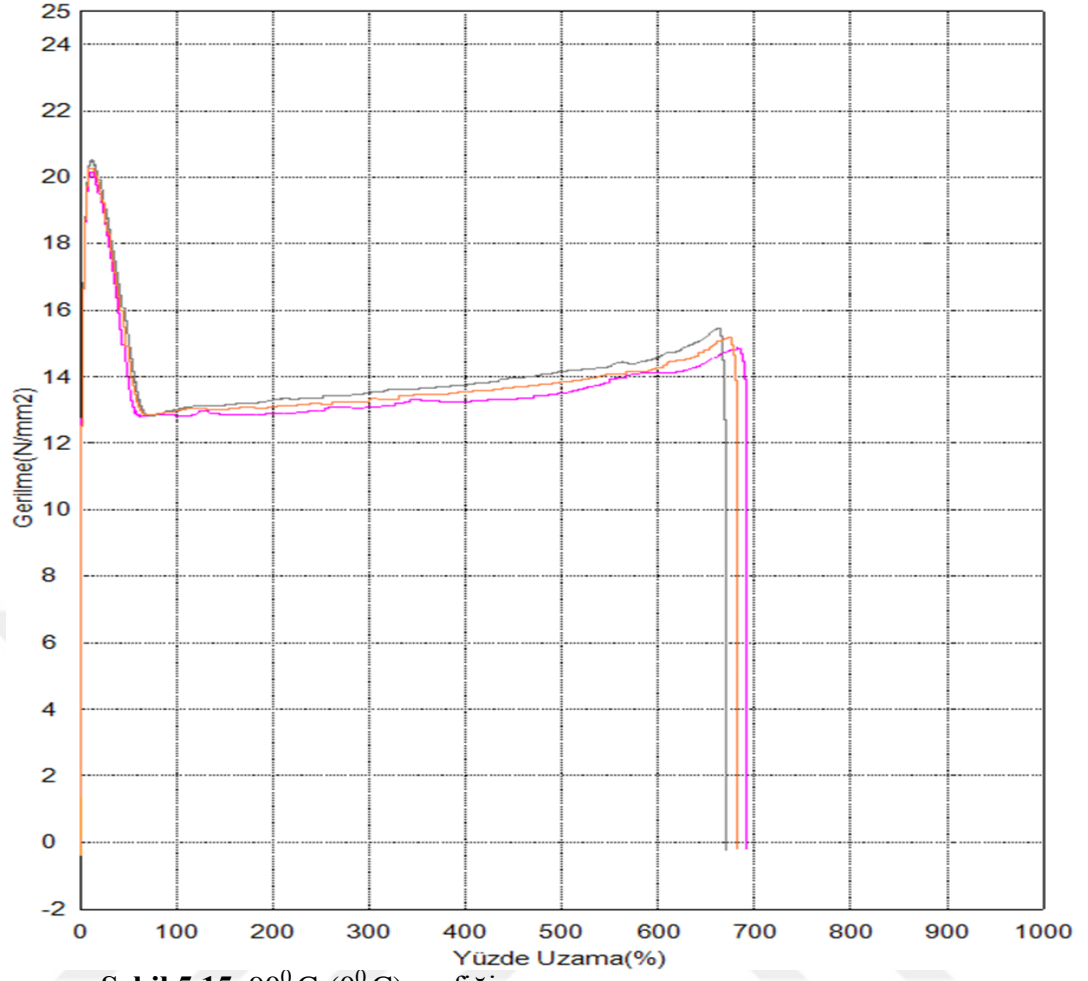
Şekil 5.13. 90<sup>0</sup> C-(78<sup>0</sup> C) grafiği.



Şekil 5.14. 90<sup>0</sup> C-(78<sup>0</sup> C) SEM görüntüsü.

Çizelge 5.8. 90<sup>0</sup> C’de ısıtılan 0<sup>0</sup> C’de soğutulan numuneler

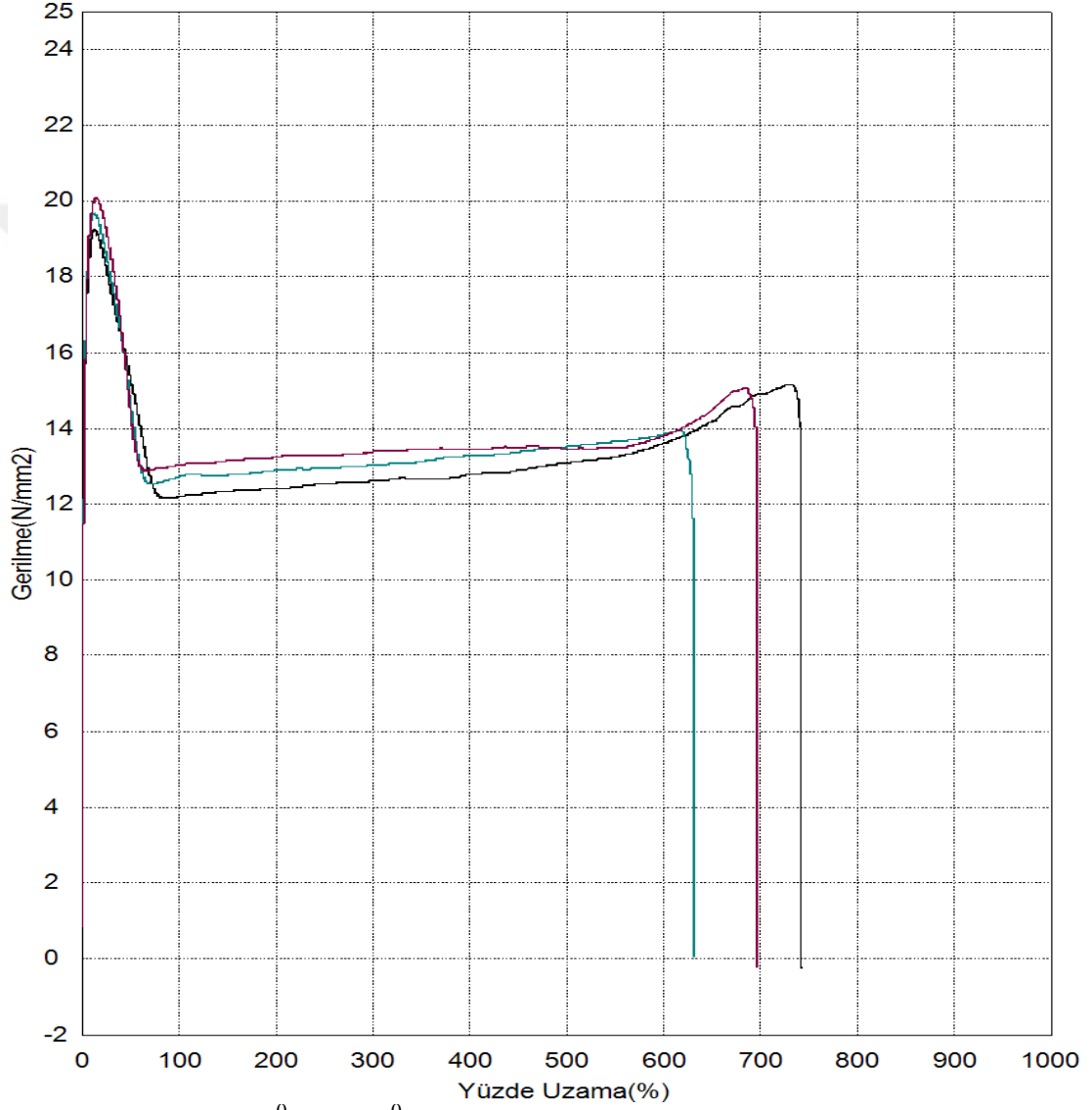
Parametreler	Elastik Kuvvet	Max Kuvvet	Max Gerilme	Max Uzama
İsim	20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Tüm Alan Hesaplaması N	Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Yüzde Uzama %
Ortalama	630,538	1342,51	20,3084	684,244
Standart sapma	47,1889	0,2165	0,1910	10,6453



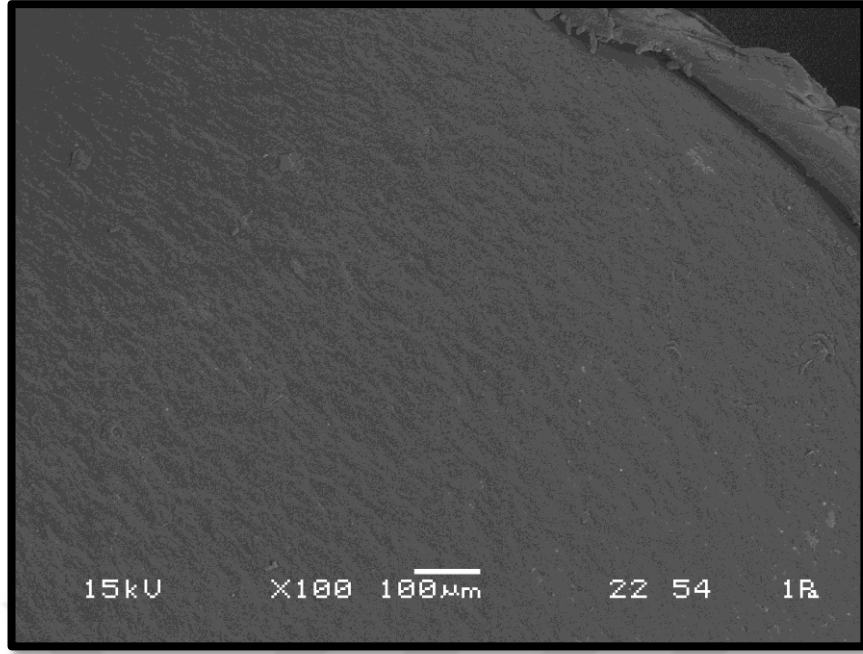


**Çizelge 5.9.** 90<sup>0</sup> C'de ısıtılan -195<sup>0</sup> C'de soğutulan numuneler

Parametreler	Elastik Kuvvet 20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Max Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması N	Max Gerilme Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Max Uzama Yüzde Uzama %
İsim				
Ortalama	624,568	1335,97	19,6638	691,094
Standart sapma	17,4950	38,0788	0,42186	56,3119



**Şekil 5.17.** 90<sup>0</sup> C-(-195<sup>0</sup> C) grafiği.



Şekil 5.18. 90<sup>0</sup> C-(-195<sup>0</sup> C) SEM görüntüsü.

#### 5.4 150<sup>0</sup> C, 120<sup>0</sup> C Ve 90<sup>0</sup> C'de Isıtılan Numunelerin Ortalamasının Ortalaması

Bu bölümde değişik sıcaklıklarda bekleyen numunelerin ortalamalarının ortalaması alınmıştır. Çizelge 5.10'da 150<sup>0</sup> C'de bekleyen tüm numunelerin ortalaması alınmıştır. Benzer şekilde Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12'de de sırasıyla 120<sup>0</sup> C ve 90<sup>0</sup> C'de bekleyen tüm numunelerin ortalaması alınmıştır.

Çizelge 5.10. 150<sup>0</sup> C'de bekletilen numunelerin sonuç ortalamaları

Parametreler İsim	Elastik Kuvvet 20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Max Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması N	Max Gerilme Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Max Uzama Yüzde Uzama %
150 <sup>0</sup> C-(78 <sup>0</sup> C) ortalaması	767,684	1363,88	19,5762	531,511
150 <sup>0</sup> C-(0 <sup>0</sup> C) ortalaması	758,970	1305,36	19,6464	469,864
150 <sup>0</sup> C-(-195 <sup>0</sup> C) ortalaması	691,111	1260,26	18,0199	462,160
Ortalama	739,255	1309,833	19,0808	487,845
Standart sapma	41,9210	51,9546	0,9195	38,0115
Aralık	76,5730	103,6200	1,6265	69,351

**Çizelge 5.11.** 120<sup>0</sup> C’de bekletilen numunelerin sonuç ortalamaları

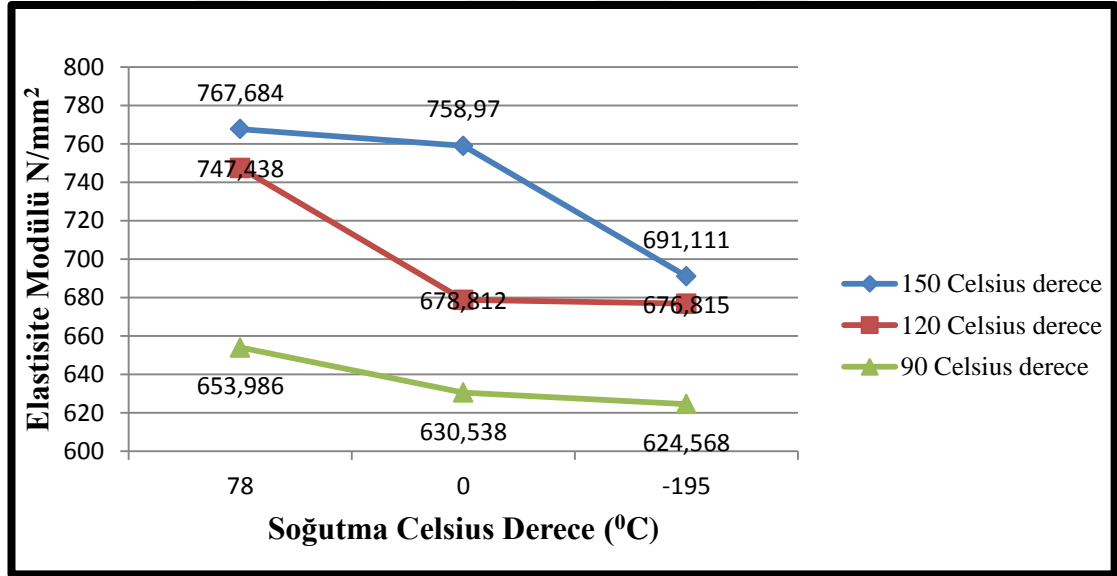
Parametreler İsim	Elastik Kuvvet 20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Max Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması N	Max Gerilme Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Max Uzama Yüzde Uzama %
120 <sup>0</sup> C-(78 <sup>0</sup> C) ortalaması	747,438	1434,97	22,0464	574,724
120 <sup>0</sup> C-(0 <sup>0</sup> C) ortalaması	678,812	1444,95	20,5154	639,296
120 <sup>0</sup> C-(-195 <sup>0</sup> C) ortalaması	676,815	1439,53	20,6361	685,753
Ortalama	701,0217	1439,8167	21,0660	633,2577
Standart sapma	40,2101	4,9962	0,8512	55,7603
Aralık	70,6230	9,9800	1,5310	111,029

**Çizelge 5.12.** 90<sup>0</sup> C’de bekletilen numunelerin sonuç ortalamaları

Parametreler İsim	Elastik Kuvvet 20 - 200 N N/mm <sup>2</sup>	Max Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması N	Max Gerilme Tüm Alan Hesaplaması N/mm <sup>2</sup>	Max Uzama Yüzde Uzama %
90 <sup>0</sup> C-(78 <sup>0</sup> C) ortalaması	653,986	1358,76	20,1223	662,347
90 <sup>0</sup> C-(0 <sup>0</sup> C) ortalaması	630,538	1342,51	20,3084	684,244
90 <sup>0</sup> C-(-195 <sup>0</sup> C) ortalaması	624,568	1335,97	19,6638	691,094
Ortalama	636,3640	1345,7467	20,0315	679,2283
Standart sapma	15,5503	11,7347	0,3318	15,0155
Aralık	29,4180	22,7900	0,6446	28,7470

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

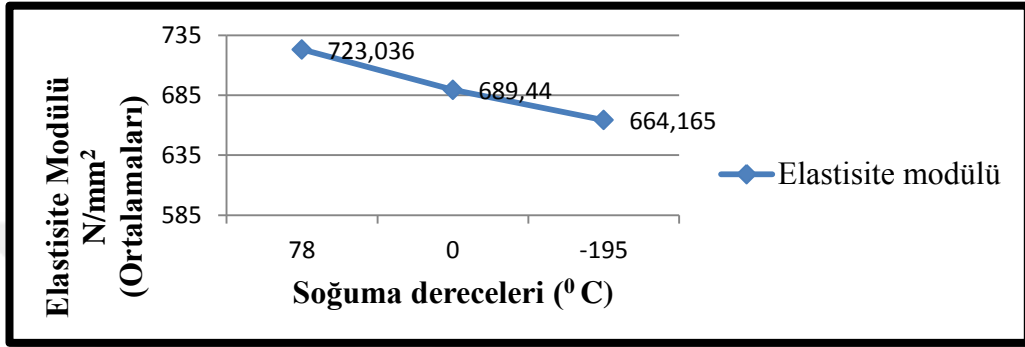
Elde edilen sonuçlarda Şekil 6.1’de etüv fırınında  $150^{\circ}\text{C}$ ’de ısıtılan numuneler yavaş soğumadan hızlı soğumaya doğru gittiğinde, yani soğutma sıcaklığı  $78^{\circ}\text{C}$ ’den  $-195^{\circ}\text{C}$ ’ye doğru gittikçe elastisite modülünün azaldığı görülmüştür. Bu durum aynı zamanda  $120^{\circ}\text{C}$ ’de ve  $90^{\circ}\text{C}$ ’de ısıtılan numuneler için de geçerlidir. Elastisite modülü ne kadar büyükse malzeme o kadar rijit ve elastik birim şekil değiştirmesi o kadar azdır. Hızlı soğuma ile birlikte malzemenin elastisite modülü azaldığından malzemenin rijitliğinin azaldığı elastikliğinin arttığı sonucuna varılmaktadır. Soğuma hızının artması malzemedeki amorf yapının arttığını, kristal yapının azaldığını göstermektedir. Çünkü malzemede ne kadar çok amorf yapı var ise o malzemede elastiklik özelliği de o kadar artar.



Şekil 6.1. Isıtılan numunelerin soğuma hızının artmasıyla birlikte elastisite modülünün düşmesinin gösterilmesi.

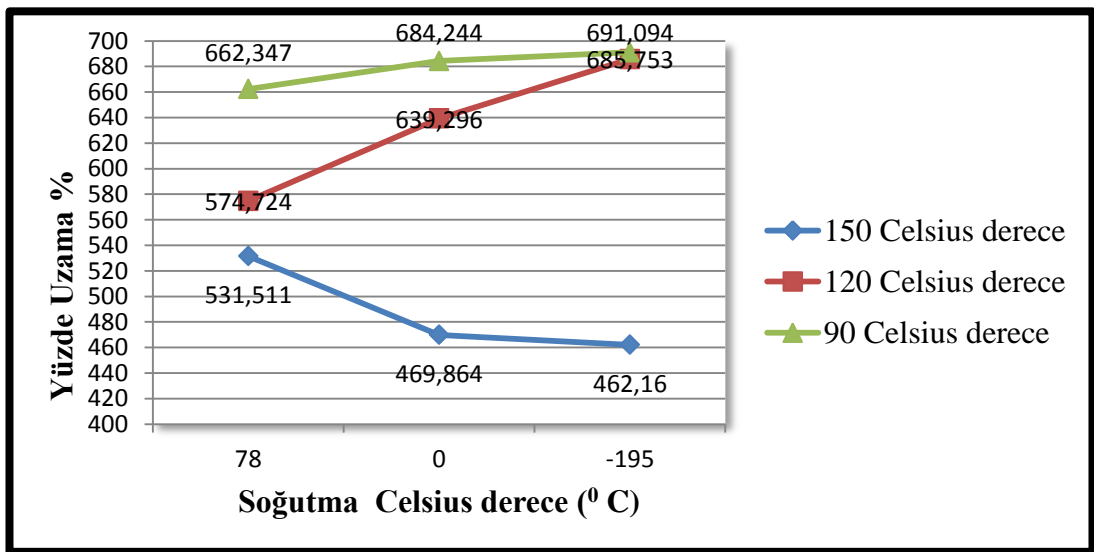
Benzer durum soğutma derecelerinin ortalamalarında da vardır. Şöyle ki;  $78^{\circ}\text{C}$ ’de soğutulan numunelerin elastisite modülü ortalaması  $0^{\circ}\text{C}$ ’de soğutulan numunelerin elastisite modülü ortalamasından daha fazladır.  $0^{\circ}\text{C}$ ’de soğutulan çekme numunelerinin ortalaması da  $-195^{\circ}\text{C}$ ’de soğutulan numunelerin elastisite modülünün ortalamasından daha fazladır. Şekil 6.2’de gösterildiği gibi soğuma hızı

arttıkça elastisite modülü genel olarak azalmaktadır. Malzemenin ısınmasıyla birlikte bozulan kristal bölgeler amorf yapıya dönüşmektedir. Soğumayla birlikte amorf yapı kristal yapıya dönüşmeye başlar. Hızlı soğumada amorf bölgeler kristal yapıya dönüşmeden soğuduğu için amorf bölgeler kristal yapıya dönüşmeden soğumakta ve elastik özellik artmaktadır. Bunun sonucunda da soğuma hızı arttıkça elastisite modülü düşmektedir.



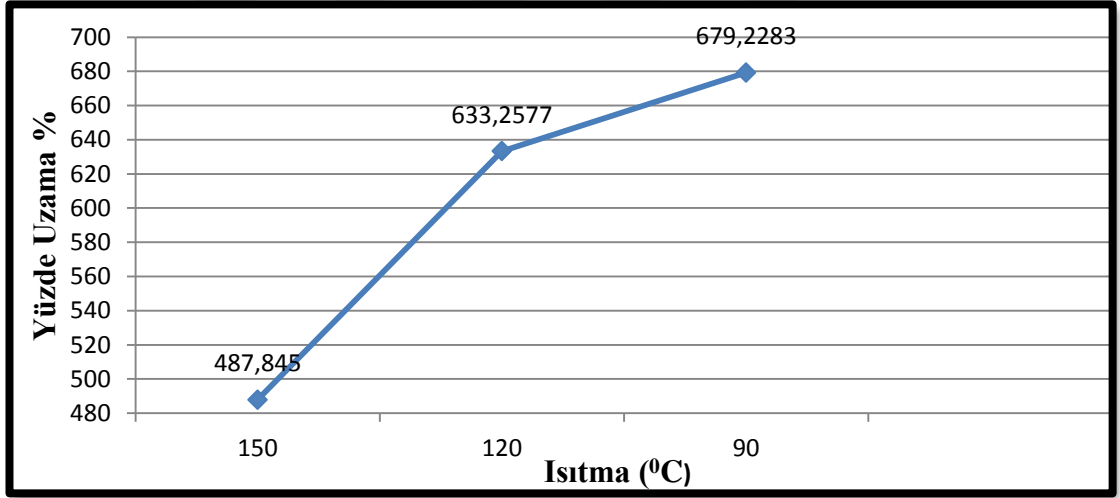
Şekil 6.2. Soğuma hızına bağlı olarak elastisite modülünün düşmesi.

Şekil 6.3'te erime sıcaklığı üzerinde ( $150^{\circ}\text{C}$ 'de) bekletilen numunelerin yüzde uzaması soğuma hızının artmasıyla azalmıştır. Erime sıcaklığının altında ise ( $120^{\circ}\text{C}$  ve  $90^{\circ}\text{C}$ ) bekletilen numunelerde bu durumun tam tersi gözlenmiştir.  $120^{\circ}\text{C}$  ve  $90^{\circ}\text{C}$ 'lerde bekletilen numunelerde soğuma hızının artmasıyla yüzde uzama da artış göstermiştir. Bu durum erime sıcaklığı altında malzemenin yapısının sağlam kaldığını gösterebilir.



Şekil 6.3. Numunelerin ısıtma ve soğutma hızına göre yüzde uzama miktarları.

150<sup>0</sup> C’de ısıtılan 9 numunenin yüzde uzama ortalaması diğer ısıtılan 9’ar numunenin yüzde uzamasına oranla Şekil 6.4’te görüldüğü gibi daha azdır. Yani sıcaklık etkisinin düşmesiyle birlikte yüzde uzama ortalama olarak artmıştır. Yüksek sıcaklık malzemenin uzamasını engellemiştir. 9’ar numunenin yüzde uzama ortalamaları (Yüzde uzama 90<sup>0</sup> C > 120<sup>0</sup> C > 150<sup>0</sup> C) şeklindedir. Bu durum Şekil 6.1’deki grafikte 150<sup>0</sup> C’deki ısıtılan numunelerin elastisite modülünün 120<sup>0</sup> C’de ısıtılan numunelere göre daha fazla olması ve 120<sup>0</sup> C’de ısıtılan numunelerin de 90<sup>0</sup> C’de ısıtılan numunelere göre elastisite modülünün fazla olması Şekil 6.4’teki durumu açıklayabilir. Çünkü ısıtma sıcaklığı ne kadar fazlaysa numune üzerindeki elastisite modülü o kadar fazla çıkmıştır. Yani rijitlik ısıtma sıcaklığıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu da 150<sup>0</sup> C’de rijitliğin en üst seviyede, 120<sup>0</sup> C’de daha az, 90<sup>0</sup> C’de daha da az olduğunu göstermektedir. Yüzde uzama buna bağlı olarak en az 150<sup>0</sup> C’de olmaktadır. Netice olarak elastisite modülü ile yüzde uzama ters orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 6.4. 150, 120 ve 90<sup>0</sup> C’lerde ısıtılmış numunelerin ortalama yüzde uzamaları.

Maximum gerilme erime sıcaklığı üzerinde kendisini göstermiştir. Etüv fırınında erime sıcaklığı (150<sup>0</sup> C) üzerinde bekletilen numunelerin maximum gerilme ortalaması 120<sup>0</sup> C ve 90<sup>0</sup> C’lerde bekletilen numunelerin maximum gerilme ortalamalarından daha düşük çıkmıştır. Özellikle 150<sup>0</sup> C’de ısıtılıp -195<sup>0</sup> C’de soğutulan numunenin max gerilmesi daha düşüktür. Soğuma hızının artması da genel olarak maximum gerilmeyi düşürücü bir etki yapmıştır.

Akma dayanımı üst sınırı ( $\sigma_{a.ü}$ ) ve akma dayanımı alt sınırı ( $\sigma_{a.a}$ ) arasındaki fark erime sıcaklığı ( $150^0$  C) üzerinde ısıtılan numunelerde diğerlerine göre daha azdır. Akma dayanımı alt sınır ve üst sınır arasındaki en az fark  $150^0$  C’de ısıtılan -  $195^0$  C’de soğutulan numunelerde görülmüştür. Bunun yanında  $150^0$  C-(- $195^0$  C) deneyinde gerilme-yüzde uzama grafiği diğerlerine göre daha belirsizdir. Şöyle ki; kuvvet neredeyse sabitken uzamanın devam ettiği yani grafiğin yatay doğrultuda gittiği bölgede kuvvet belirsiz bir şekilde artarak ve azalarak dalgalanmalar yapmaktadır.

SEM görüntülerinde çoğu numunenin pürüzlü bir yapısı olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda yani  $150^0$  C ve  $120^0$  C’de bekleyen numunelerin hızlı şekilde soğutulmasıyla pürüzlü yapı genel olarak kaybolarak pürüzsüz bir yapı oluşmaktadır. Fakat bu durum  $90^0$  C’de bekleyen numuneler için geçerli değildir. Bunun sebebi ise yüksek sıcaklıklarda polietilenin fiziksel yapısının sıvıya yakın bir hale gelmesiyle açıklanabilir. Sıvıya yakın hale gelen numunenin yüzeyi pürüzsüz bir hale geleceği için - $195^0$  C’de birden donmasıyla birlikte katı hale geçen polietilenin yüzeyi pürüzsüz bir hale gelmiştir. Fakat yüksek sıcaklıklarda ısıtılan numuneler yavaş soğutulduğunda birden donmadıkları için katı haldeyken pürüzlü bir yapı oluşmuştur.

## 7. SONUÇ

HDPE malzemeler yavaş soğutulduğunda kristalleşme oranı hızlı soğumasına göre farklılıklar içerebilmektedir. Bu yüzden HDPE'ler ısıtıldıktan sonra soğutma sürecinin malzeme üzerindeki mekanik etkisi büyüktür. Çalışmada bu hipotez üzerine araştırmalar ve incelemeler yapılmıştır.

Bu çalışmada HDPE borudan alınan 27 adet çekme numunesinin etüv fırınında ısıtılıp değişik soğuma hızlarına maruz bırakılarak numunelerin mekanik etkisi üzerinde ne gibi değişiklikler yapıldığı incelenmiştir. Etüv fırınında 3 değişik sıcaklıkta ısıtılan numuneler çıkarıldıktan sonra 3 değişik soğuma hızında soğutulmuştur. Bu da 9 parametrenin elde edildiğini göstermektedir. Numunelerin elastisite modülü, maximum gerilme ve yüzde uzamaları 9 parametre içerisinde nasıl değiştiği ve birbiriyle ilişkileri incelenmiştir.

150<sup>0</sup> C, 120<sup>0</sup> C ve 90<sup>0</sup> C'de ısıtılan numunelerin yapısındaki kristal yapıların bir kısmı bozulmuş hale gelmektedir. Bozulan kristal yapı soğuma hızına dayalı olarak özellikle hızlı soğutulduğunda kristal yapısını ilk halindeki gibi oluşturamamaktadır. Bu nedenle malzeme soğutulduktan sonra amorf yapı eskiye nazaran daha fazla yer kaplamaktadır. Amorf yapı da elastik özellik gösterdiğinden dolayı elastisite modülünü düşürücü bir etki yapmaktadır. Sonuç olarak soğuma hızının artmasıyla birlikte bozulan kristal yapı kendisini toparlayacak zamanı bulamadan soğumaktadır. Bu yüzden amorf yapının malzeme içerisindeki miktarı artmaktadır. Elastisite modülü bu nedenle soğuma hızının artmasıyla birlikte düşmektedir.

Yüzde uzama değerlerinde erime sıcaklığı üstünde ve altında farklı durumlar oluşmuştur. Erime sıcaklığı üzerinde (150<sup>0</sup> C'de) ısıtılan numuneler soğuma hızının artmasıyla birlikte yüzde uzama miktarı azalmıştır. Fakat erime sıcaklığı altında (120<sup>0</sup> C ve 90<sup>0</sup> C'de) ısıtılan numuneler soğuma hızının artmasıyla birlikte yüzde uzama miktarı da artış göstermiştir. Erime sıcaklığı yüzde uzamada malzeme üzerinde değişik etkilere yol açmıştır. Eriyen malzeme ne kadar hızlı şekilde soğutulmuşsa uzama miktarı o kadar düşmüştür. Yani eriyen malzeme yapısı



uzamaya elverişli değildir. Bu durum genel olarak da kanıtlanmıştır. Malzeme ne kadar çok yüksek sıcaklıkta ısıtılmışsa yüzde uzama değeri ters orantılı olarak az çıkmıştır. Bu durumda ne kadar yüksek sıcaklıklara çıkılırsa malzeme yapısındaki dayanıklı kristal yapıların bozulması o oranda artar sonucu çıkarılabilir.



## 8. KAYNAKLAR

Akkurt S (1991) Plastik Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Alkan Ü (2011) Polimer Kompozitlerin Mekanik Ve Elektrik Özelliklerinin Kararlı Hale Getirici Ve Yıpratıcı Faktörlerin Etkisi Altında İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

Altunkaynak A (2002) PE ve PP Boru Birleştirmelerinin Isı Transfer Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Arda B (2011) Çeşitli Plastiklerin Bozunma Kinetiklerinin Termogravimetrik Analiz Yöntemi İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Askeland DR (1984) Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri (Erdoğan M. Çev.), Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Bartczak Z (2005) “Effect of Chain Entanglements on Plastic Deformation Behavior of Linear Polyethylene”, Macromolecules, 38: 7702-7713.

Basan S (2001) Polimer Kimyası, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, Sivas.

Baysal B (1981) Polimer Kimyası, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Bilici MK (2011) Polietilenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Özellikleri, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Canbaloğlu CD (2010) Çok Yüksek Yoğunluklu Polietilenin (UHMWPE) Talaşlı İşlem Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması Ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Cengiz İ (2012) Polietilen ve Polipropilen Esaslı Ürünlerin, Plastik Enjeksiyon İşlem Parametreleri ve Termodinamik Yöntemlerle Isı Yayılımının İncelenmesi, Yüksek Lisans, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.

- Ceylan MS (2006) Linyit-Düşük Yoğunluklu Polietilen (DYPE) Karışımlarının Pirolizle Değerli Kimyasallara Dönüştürülmesi ve Sonuçlara Deney Koşullarının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Corradini P, Auriemma F ve Rosa DC (2006) “Crystals and Crystallinity in polymeric Materials”, Acc. Chem. Res., 39: 314-323.
- Crawford, RJ (1998) Plastics Engineering, Third Edition, St Edmundsbury Press Ltd., Chennai.
- Çelikçi H (2013) Karbon Elyaf Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Isıl Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.
- Çelikkın O (2011) Yüksek Yoğunluk Polietilenin Viskoelastik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çetinel H (2000) “Polietilen ve Polipropilenin Mekanik Etkilerinin İncelenmesi”, 7DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2: 80.
- Çimenoğlu H ve Kayalı EB (1991) Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Demircan SF (2009) Fındık Kabuğu Dolgulu Polietilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirci H (2004) Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, 1. Baskı, Alfa Kitabevi, İstanbul.
- Demirci MT (2015) SiO<sub>2</sub> Nanopartikül Katkısının Yüzey Çatlaklı Ve Çatlaksız Bazalt Elyaf Takviyeli Kompozit Boruların Yorulma Davranışlarına Etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Düşünceli N (2007) Polimerik Malzemelerin Viskoelastik Viskoplastik Davranışlarının Belirlenmesi Ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Düşünceli N ve Çolak ÖÜ (2007) “İmalat Yöntemlerinin Yüksek Yoğunluklu Polietilen’in (YYPE) Tek Eksenli Çekme Davranışı Üzerindeki Etkisi”, Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 7-9 Kasım 2007, İstanbul.

- Erşen T (2011) Odun-Polietilen Karışımlarından Dumansız Yakıt Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Erturan S ve Deniz S (2009) Polimer Mühendisliği Esasları Ders Notları, YTU Yayınları: KM.DN-09.0809, 2. Baskı, İstanbul.
- Ertürk AT (2007) PE Malzemelerde CaCO<sub>3</sub> Katkısının Termal ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Ezdeşir A, Erbay E, Taşkiran, İ, Yağcı MA, Cöbek M ve Bilgiç T (1999) Polimerler I, Pagev Yayınları, İstanbul.
- Fried RJ (2003), Polymer Science & Technology, Second Edition, Pearson Education, London.
- Güngör Y (2001) Malzeme Bilgisi, Beta Yayınevi, İstanbul.
- Hayden HW, Moffat WG ve Wulff J, (1993) Malzemelerin Yapı ve Özellikleri (K. Onaran, B. Erman, Çev.), İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Holden G (2000) Understanding Thermoplastic Elastomers, Hanser Publishers, Munich.
- Hurd DJ (2001) "Best Practices In Pet Collection", Best Practices and Industry Standards in PET Plastic Recycling, (6): 12-19.
- İpek R (1999) Pratik Malzeme Bilgisi, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, 81, Sivas.
- Kangallı E (2007) Polietilen Atıklardan Elde Edilmiş Piroliz Sıvısının Polimerizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Keskingöz S (2010) Polietilen Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Dolgu Maddelerinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılavuz İ (2013) Kalsiyum Karbonat Dolgu Malzemesinin Kaynaklı Ve Kaynaksız PE100 Polietilen Boruların Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Kıralp S, Özkoç G, Erdoğan S, Çamurlu P, Doğan M ve Baydemir T (2006) Modern Çağın Malzemesi Plastikler, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.

Krevelen DWV (1990) Properties Of Polymers, Elviseier, Third Edition, Amsterdam.

Koç A (2003) Plastik Atıkların Oksidasif ve İnert Ortamda Isıl Ve Katalitik Bozunma İle Karboksilli Asitlere Dönüşümü, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kundakçı S (2011) Jelatin, Akrilamid, Poli(Etilen Glikol) Ve Poli(Vinil Alkol) Esaslı Yeni Polimerik Taşıyıcı Ve Soğurucuların Biyopotansiyel Kullanım Kapasitelerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.

Kurt M (2016) Isıl Ve Uv Yaşlandırmanın ABS/Kırmızı Çamur Ve HDPE/Kırmızı Çamur Polimer Kompozitlerinin Mekanik, Isısal Ve Mikroyapı Özelliklerinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Mamedov SV, Alekberov VA ve Özcanlı Y, (1999) “The Comparison of Relaxation events with Spectroscopic Properties of polymer Composites with Fibrillar Dopings on the Basis of Low:Density Polyethylene and Polypropylene”, Macromolecular Symposia, 146: 55-69.

Medar MM (2013) Geri Dönüştürülmüş Elyaf Katkılı ve Katkısız Polipropilen-Polietilen Malzemelerin Mekanik ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Mirik M (2010) Karbon Nanotüp Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) Nanokompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Narlıoğlu N (2018) Kimyasal Olarak Modifiye Edilmiş Lignoselüloziklerden Termoplastik Kompozit Üretimi, Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Nart Ç (2011) Plastik Boru Üretimi İçin Spirall Kanallı Radyal Ekstrüzyon Kalıbının Sistemik Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

NDT Resource Center, Polymer Structure, <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/polymer.htm>, 25 Kasım, 2018.

Oğuz N (2011) Hurda Polietilen Karakterizasyonu ve Geri Dönüşümün Ürün Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Onaran K (2003) Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, 9, İstanbul.

Öksüz Çelebi MS (2008) Polietilenin Silan Bağlanma Yöntemi İle Karşıt Bağlanma Yönteminin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öztürk O (2005) Geri Dönüştürülmüş Polietilenin Ve Polipropilenin Tekrar Kullanılabilirliğinin Çekme Deneyleri İle İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Paça Ş (2011) Termoplastik Polyester Elastomerlerin Sentezi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Pişkin E (1997) Polimer Teknolojisine Giriş, İnkılap Kitabevi, İstanbul.

Saçak M (1998) Polimer Kimyasına Giriş, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, Ankara.

Saçak M (2004) Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi, Ankara.

Saçak M (2010) Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi, 5. Baskı, Ankara.

Saçak M (2017) Polimer Teknolojisi, Gazi Kitabevi, 4. Baskı, Ankara.

Savaşkan T (2018) Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi, Papatya Yayıncılık, 9. Baskı, İstanbul.

Seguela R (2005) “Critical Review of the Molecular Topology of Semicrystalline Polymers: The Origin and Assessment of Intercrystalline Tie Molecules and Chain Entanglements”, Journal of Polymer Science PartB: Polymer Physics, 43:1729-1748.

Shackelford JF (2018) Mühendisler İçin Malzeme Bilimine Giriş (M. Baydoğan, B. Özkal, N. Solak, K. Kazmanlı, Çev.), Literatür Yayınevi, 8, İstanbul.

Shepherd JE, McDowell DL ve Jacob KI (2006) “Modeling Morphology Evolution and Mechanical Behavior During Thermo-Mechanical Processing of Semicrystalline Polymers”, Journal of Mechanics and Physics Solids, 54:467-489.

- Sözen L (2010) Mineral Dolgu Maddeleri İle Yüksek Yoğunluklu Polietilen Boruların Hidrostatik İç Basınç Performans Özelliklerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Sunay MS (2012) Polimer-Polimer Ve Polimer-Metaloksit Kompozit Sistemlerde Film Oluşum Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şelale S (2006) Polietilen Malzemenin Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Tager A (1978) Physical Chemistry of Polymers, Mir Publishers, Moscow.
- Taylan NB (2009) Poli(Vinil Klorür)/Poliindol Kompozitlerinin Sentezi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Temiz V (2002), Plastik Malzemelerle Konstrüksiyon, Ders Notları, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.
- Tırpancı A (2017) Polietilen Tereftalat Ve Polikarbonat Kaplarında Saklanan Suların Zebra Balığı Embriyosu Gelişi Ve Proliferatif Hücre Çekirdek Antijeni Ekspresyonu Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topbaş MA (1993) Endüstri Malzemeleri, 1. Cilt, Prestij Basın Yayın ve Hizmetleri, İstanbul.
- Tsuruta T (2001) Polimer Kimyası (M. Mustafaev, Y. Osada, Z. Mustafaeva, M. Karahan, Çev.), Seç Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Ulas, İ (1991) Design Of Tools For The Die Drawing Of Polymers, Doktora Tezi, The University of Leeds, Leeds.
- Yavuz AO (2011) Yüksek Yoğunluklu Polietilenden Üretilmiş Boruların, DIN 16961-2:2010-03 Standardına Göre Halka Rijitliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Weissbach W (1998) Malzeme Bilgisi ve Muayenesi (S. Anık, ES. Anık, M. Vural, Çev.), Birsan Yayınevi, 6, İstanbul.

Varol N (1994) Plastik Malzemelerde Aşınma, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Vlack LHV (1990) Malzeme Bilimine Giriş (Safaoğlu RA. Çev.), Birsen Yayınevi, İstanbul.

Zeren F (2013) Değişik Oranlarda Nano Ve Mikro Boyutlardaki  $\text{CaCO}_3$ 'ün Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zhang C (1996) Nonlinear Mechanical Response of High Density Polyethylene in Gravity Flow Pipes, Ph.D. Thesis, The University of Western Ontario, Ontario.





## 9. ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Yusuf Can DEMİR

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Fatih / 02.01.1991

**Lisans Üniversite** : Abant İzzet Baysal Üniversitesi Makine  
Mühendisliği  
Anadolu Üniversitesi Kamu Yönetimi

**Y. Lisans Üniversite** : Harran Üniversitesi Kamu Yönetimi

**Elektronik posta** : Yusuf.91@hotmail.com

**İletişim Adresi** :Harran Üniversitesi Yapı İşleri Ve Teknik  
Daire Başkanlığı Osmanbey Kampüsü /  
Şanlıurfa