

**POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN  
NANOPARTİKÜL TAKVİYESİ İLE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2018  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Özge KAYABAŞ**

**POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN NANOPARTİKÜL TAKVİYESİ  
İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Özge KAYABAŞ**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2019**

Özge KAYABAŞ tarafından hazırlanan “POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN NANOPARTİKÜL TAKVİYESİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN  
Tez Danışmanı, İmalat Müh. A.B.D.



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 11/01/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ (DÜ)



Üye : Doç. Dr. Hasan KARABULUT (KBÜ)



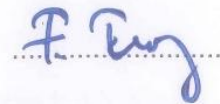
Üye : Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ)



...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





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

Özge KAYABAŞ

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN NANOPARTİKÜL TAKVİYESİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Özge KAYABAŞ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN**

**Ocak 2019, 54 sayfa**

Polimer matrisli kompozit üretiminde ticari uygulamalarda yaygın olarak termoset reçineler kullanılmaktadır. Ancak bu ürünlerin geri dönüşümünün olmaması ve şekillendirme kabiliyetlerinin düşük olması dezavantaj yaratmaktadır. Bu sebeple de son yıllarda termoplastik matrisli kompozitler üzerine ticari uygulamalar başlamıştır. Dolayısıyla, akademik birçok çalışma da konu üzerine yapılmaktadır. Bu çalışmalarda ise takviye elemanı olarak nano partiküller ön plana çıkmaktadır. Karbon nanotüp ve grafen ise son yıllarda popüler hale gelen önemli nano malzemelerdir. Polimer içerisine takviye edildiklerinde mekanik ve elektriksel özellikler üzerinde ciddi artışlara neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasında polietilen matrisli grafen (GNP), karbon nanotüp (CNT) takviyeli nano kompozitler basınçlı kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Polietilen matris içerisine %1 GNP, %1 CNT ve %0,5 CNT-%0,5 GNP takviye edilerek bu

karbon nano partiküllerin ayrı ayrı ve bir arada olarak mekanik özelliklere olan etkisi karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda üretilen numunelere çekme testi, sertlik testi ve aşınma testi uygulanmıştır. Fiziksel özellikleri incelemek amacıyla ise yoğunluk testi gerçekleştirilmiştir. Kırık yüzey ve aşınma yüzeyleri ise SEM analizi ile incelenmiştir.

Sonuç olarak, grafinin polietilen malzeme içerisinde daha homojen dağıldığı ve bu sebeple de CNT içeren numunelere göre mekanik özellikler üzerinde daha olumlu etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler** :Polimer matrisli kompozitler, termoplastik matrisli kompozit, basınçlı kalıplama, polimid.

**Bilim Kodu** :915.1.094

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

# **INVESTIGATION OF THE DEVELOPMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER MATRIX COMPOSITES WITH NANOPARTICULAR SUPPORT**

**Özge KAYABAŞ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Asst. Prof. Mehmet Akif ERDEN**

**December 2019, 54 pages**

Thermoset resins are widely used in the production of polymer matrix composites in commercial applications. But it occurs disadvantages as because of both there is no recycling of these products and low forming capabilities. That's why commercial applications have started on thermoplastic matrix composites in recent years. Therefore, many academic studies are also focus on this subject. Especially nano particles stand out in these kind of studies. Carbon nanotube and graphene are important nano materials that have also become popular in recent years. When reinforced into polymer, they cause serious increases in mechanical and electrical properties.

In this thesis study, nano composites produced by pressurized forming method as polyethylene matrix graphene (GNP), strengthened with carbon nanotube (CNT).

By adding %1GNP, %1CNT and %0,5CNT- %0,5GNP into polyethylene matrix, the effect of these carbon nano particles on the mechanical properties compared both separately and together. Tensile test, hardness test and wear test applied to the samples produced in this context. In order to examine the physical properties, there also performed density test. Fracture surfaces and wear surfaces were examined by SEM analysis.

As a result, it has been observed that graphene is more homogeneously distributed in polyethylene material and has a more positive effect on mechanical properties according to samples containing CNT.

**Key Word** :Polymer matrix composites, thermoplastic matrix composites, pressure molding, polyimide.

**Science Code** :915.1.094



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi-alaka ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN' e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yardımlarımdan dolayı Arő. Gör. Yasin AKGÜL' e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, çalıőmalarım boyunca gösterdikleri anlayış ve hoşgörü ile maddi-manevi destek olan kıymetli aileme tüm kalbimle teőekkürler ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 .....	3
KOMPOZİTLER .....	3
2.1. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER .....	4
2.2. SERAMİK MATRİSLİ KOMPOZİTLER .....	6
2.3. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER .....	7
2.3.1. Termoset Matrisler .....	12
2.3.2. Termoplastik Matrisler .....	12
2.4. TERMOPLASTİK POLİMERLERDE KULLANILAN PLASTİKLER .....	15
2.4.1. Polietilen (PE).....	17
2.4.2. Polipropilene (PP).....	17
2.4.3. Poliamid (PA) .....	18
2.4.4. Polietilenteraftelat (PET).....	18
2.4.5. Poliketon (PEEK) .....	19

**Sayfa**

2.4.6. Poliamid-İmid (PAI).....	19
2.5. PLASTİK KOMPOZİTLERE KATILAN KARBON BAZLI MADDELER	22
2.5.1. Karbon Fiber.....	22
2.5.2. Fulleren.....	23
2.5.3. Grafen.....	24
2.5.4. Karbon Nanotüp.....	25
BÖLÜM 3.....	26
POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	26
3.1. PLASTİK ENJEKSİYON.....	27
3.2. EKSTRÜZYON.....	28
3.3. BASINÇLI KALIPLAMA.....	29
BÖLÜM 4.....	32
MALZEMELER VE DENEYSEL METOT.....	32
4.1. MALZEMELER.....	32
4.2. ÜRETİM ÇALIŞMASI.....	32
4.3. KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ.....	34
4.3.1. Yoğunluk Ölçümü.....	34
4.3.2. Çekme Testi.....	35
4.3.3. Aşınma Testi.....	36
4.3.4. Sertlik Testi.....	37
4.3.5. SEM Analizi.....	38
BÖLÜM 5.....	40
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	40
5.1. MEKANİK TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	40
5.1.1. Yoğunluk Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	40
5.1.2. Çekme Sonuçları ve Değerlendirmesi.....	40
5.1.3. Sertlik Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	44

5.1.4. Aşınma Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi .....	44
5.2. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	49
5.2.1. Genel Sonuçlar.....	49
5.2.2. Öneriler .....	50
KAYNAKÇA.....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	54



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Kompozit malzemeler .....	3
Şekil 2.2. Takviye elemanlarına göre sınıflandırılan MMK' lar .....	6
Şekil 2.3. Fiber ve matris çeşitleri .....	7
Şekil 2.4. Polimer yapıların ısı karşısındaki davranışları .....	8
Şekil 2.5. Kristal maddelerin özgül hacmindeki olan değişiklik .....	10
Şekil 2.6. Amorf maddelerin özgül hacmindeki olan değişiklik .....	11
Şekil 2.7. Yarı-kristal maddelerin özgül hacmindeki olan değişiklik .....	12
Şekil 2.8. Camsı geçiş sıcaklığı .....	13
Şekil 2.9. Termoplastik ve termoset matrisli kompozitlerin molekül dizilişi .....	13
Şekil 2.10. Termoplastiklerin bağ yapıları .....	14
Şekil 2.11. Mühendislik plastikleri .....	15
Şekil 2.12. Mühendislik plastiklerinin çekme modül değerleri .....	20
Şekil 2.13. Mühendislik plastiklerinin çekme mukavemet değerleri .....	20
Şekil 2.14. Mühendislik plastiklerinin çentikli izod darbe deneyi değerleri .....	21
Şekil 2.15. Mühendislik plastiklerinin kopmada uzama değerleri .....	21
Şekil 2.16. Fulleren örnekleri .....	23
Şekil 2.17. Grafene uygulanarak oluşturulan çeşitli yapılar. Grafen (a), fulleren (b), CNT (c), grafit (d) .....	24
Şekil 2.18. Tek duvarlı CNT örneği .....	25
Şekil 3.1. Polimer matrisli kompozitlerin üretim kademeleri .....	26
Şekil 3.2. Polimer matrisli kompozitlerin dünyadaki kullanım dağılımı .....	27
Şekil 3.3. Plastik enjeksiyon örneği .....	28
Şekil 3.4. Tek vidalı ekstrüzyon örneği .....	28
Şekil 3.5. Basınçlı kalıplama örneği .....	29
<b>Şekil 4.1.</b> Çalışmada gerçekleşen üretim basamakları .....	32
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan a) hassas terazi, b) turbula cihazı görüntüleri .....	33
Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan basınçlı kalıplama cihazı .....	33
Şekil 4.4. Çalışmada hazırlanan numune ölçüleri .....	35
Şekil 4.5. Çalışmada hazırlanan numuneler .....	35
Şekil 4.6. RADWAG AS 220 marka analitik terazide yoğunluk ölçümü .....	36

## **Sayfa**

Şekil 4.7. Tezde kullanılan çekme cihazı.....	37
Şekil 4.8. Çekme sonucu elde edilen malzemeler.....	37
Şekil 4.9. UTS Tribometer T10 aşınma test cihazı.....	37
Şekil 4.10.QNESS Q250M sertlik ölçme cihazı.....	38
Şekil 4.11.Deneysel çalışmada kullanılan kaplama cihazı.....	38
Şekil 4.12.Deneysel çalışmada kullanılan SEM cihazı.....	39
<b>Şekil 5.1. Kompozitlerin çekme sonuçları.....</b>	<b>41</b>
<b>Şekil 5.2. Saf polietilenin çekme sonuçları.....</b>	<b>41</b>
<b>Şekil 5.3.Çekme testi sonrası kırık yüzey incelemesi. a) PE/GNP, b) PE/CNT+GNP, c) PE/CNT.....</b>	<b>42</b>
<b>Şekil 5.4. Çekme, akma ve uzama sonuçlarının grafik ile gösterimi.....</b>	<b>43</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Matris malzemeler, takviye elemanları ve yapısal şekilleri .....	4
Çizelge 2.2. Termoplastik reçineler ve işlem sıcaklıkları .....	16
Çizelge 2.3. Termoplastiklerin bazılarının mekanik ve termal özellikleri .....	16
Çizelge 2.4. LDPE ve HDPE' nin bazı özellikleri .....	17
Çizelge 3.1. Üretim yöntemlerinden bazılarının karakteristik bilgileri .....	30
Çizelge 3.2. Üretim yöntemlerinden bazılarının örnek kullanım alanları .....	31
Çizelge 4.1. Yoğunluk hesabında kullanılan formül .....	35
Çizelge 4.2. Aşınma testi sonuçlarında kullanılan formüller .....	37
Çizelge 5.1. PE/CNT, PE/GNP ve PE/CNT+GNP yoğunluk sonuçları .....	40
Çizelge 5.2. PE, PE/CNT, PE/GNP ve PE/CNT+GNP malzemelerinin akma (YS), çekme (UTS), % uzama değerleri .....	42
Çizelge 5.3. Sertlik testi sonuçları .....	44
Çizelge 5.4. Deneyde kullanılan malzemelerin aşınma deneyi sonuçları .....	45

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

dak : dakika

mm : milimetre

$\mu\text{m}$  : mikrometre

MPa : megapaskal

sn : saniye

T : sıcaklık

kg : kilogram

mg : miligram

T<sub>g</sub> : camsı geçiş sıcaklığı

T<sub>e</sub> : polimerler erime sıcaklığı



## **KISALTMALAR**

MMK : Metal Matrisli Kompozit

SEM : Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)

Al : Alüminyum

SMK : Seramik Matrisli Kompozit

LDPE : Düşük Yoğunluklu Polietilen

HDPE : Yüksek Yoğunluklu Polietilen

PAI : Poliamid-İmid

CNT : Karbon Nanotüp

PES : Polietersulfon

PEI : Polieterimid

PEEK : Polietereterketon

PPS : Polifenilen Sulfid

PTFE : Politetra Fluorethylene

ABS : Akrilonitril Bütadiyen Stiren

PE : Polietilen

PP : Polipropilen

LCP : Sıvı Kristal Polimerler

PBT : PolibütillenTereftalat

PVC : Asetal, Polivinil klorür

PA : Poliamid

PET : Polietilenteraftelat

VD : Ve Diğerleri

CU : Bakır

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Polimer malzemeler, özellikle son 30 yıldır çok önemli gelişmeler gösterdiği için endüstrimizin hemen hemen her alanında ve günlük yaşantımızda tercih edilen malzemeler haline gelmişlerdir [1]. Ancak mekanik özelliklerine bakıldığında oldukça düşüktürler. Mekanik özelliklerin iyileştirilebilmesi için kompozit haline getirilmeye başlanmıştır [2].

Kompozit malzemelerde kullanılan plastik matrisler, termoplastik ve termoset olarak ikiye ayrılırlar [3]. Günümüze bakıldığında termoset polimerlerin kullanımı daha çok yaygındır. Ancak termoplastik polimerler geri dönüşüme uygun olmaları ve kolay şekillendirilebilme kabiliyetleri dolayısıyla daha avantajlıdır. Ayrıca polimer matrisli kompozitlerin içine cam elyaf, odun talaşı, karbon bazlı takviyeler yapılarak mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir.

Son yıllarda nano karbon malzemeler popüler hale gelmiştir. Karbon ve grafen kullanılan çalışmalar da mevcuttur. Nitekim Şenel vd. [4], çalışmalarında alüminyum matrisine %0,5' e kadar grafen katkısı yaptıklarında, kompozitin maksimum çekme dayanımınının 155 MPa' dan 315 MPa' a arttığını, Vickers sertlik değerinin ise 76 HV' den 85 HV' ye arttığını tespit etmişlerdir. Aşınma konusunda ise grafenin yüksek yağlayıcılık özelliğinden kaynaklı aşınma dayanımında özellikle bir artış gözlemlendiği, sürtünme katsayısında ise azaldığını tespit etmişlerdir.

Topçu vd. [5], yaptıkları çalışmada mekanik alaşım yöntemi ile Titanyum tozuna takviye ettikleri karbon nanotüplerin aşınma direnci üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalarda, aşınma direnci doğrudan hacimce artan karbon nanotüp oranları ile aşınmaların değiştiği ve aşınma direncinin arttığını gözlemlemişlerdir.

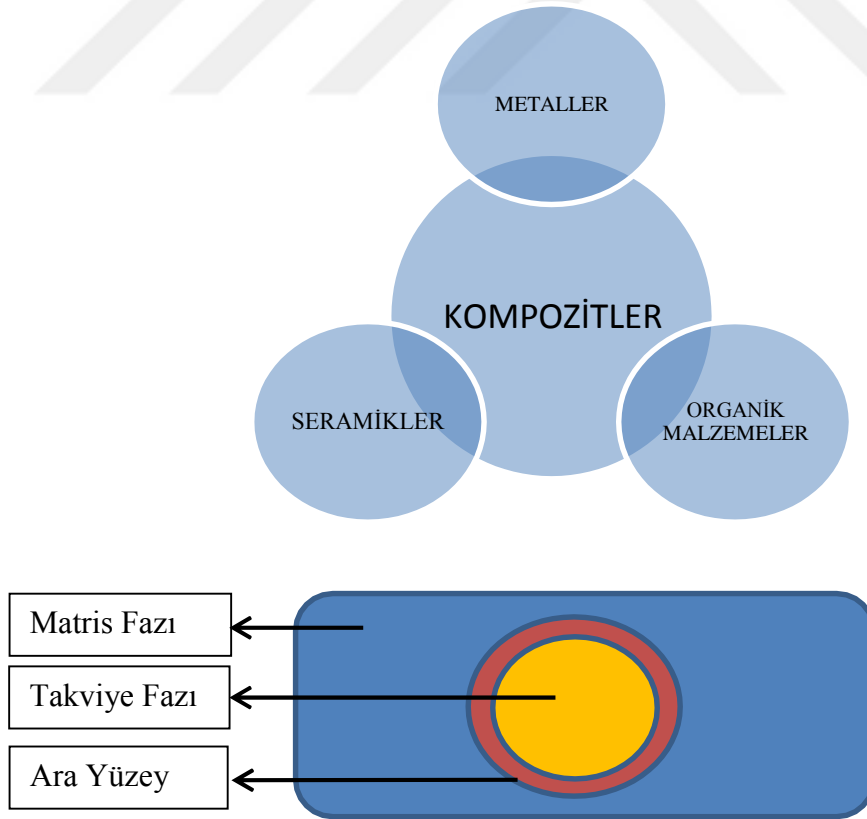
Bu tez çalışmasında nano karbon malzemelerin polietilen malzemelerin mekanik özelliklerine olan etkisi hem karşılaştırılmış hem de sinerjik etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda aşınma, sertlik ve çekme testleri yapılmıştır. Ayrıca karakterizasyon amaçlı yoğunluk ölçümü ve SEM cihazı ile morfoloji incelemesi yapılmıştır.



## BÖLÜM 2

### KOMPOZİTLER

Geçmişe bakıldığında binlerce yıl öncesine dayanan kompozit malzemeler, ev yapımında kullanılmıştır. Saman takviyeli kerpiç yapılarak bloklar halinde yararlanılmıştır. Kompozitler, iki ya da daha fazla farklı malzemelerin makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilen yeni malzemelerdir [6]. Şekil 2.1’ de kompozit malzemelerin yapısı ve çeşitlilikleri verilmiştir [6]. Kompozitlerin diğer malzemelere göre üstünlükleri arasında yüksek mukavemet, elektriksel özellikler, kolay şekillenebilme, hafiflik, kimyasal etkenlere ve korozyona karşı direnç gibi özellikler mevcuttur [7].



Şekil 2.1. Kompozit malzemeler [6].

Kompozitlerin temel özellikleri;

- Malzemeler birbiri içerisinde çözünmezler.
- Bileşenler birbirleri ile atom alışverişi yapmazlar.
- Kompozitler matris ve takviye elemanlarından oluşur [8].

Genellikle kompozit malzemeler metal, seramik ve polimer matrisli kompozitler olmak üzere üçe ayrılır [2,3]. Kompoziti oluşturan ana malzeme, takviye malzeme ve ara yüzeyin belirli görevleri vardır. Örneğin, ana malzemenin görevlerinin arasında uygulanan kuvveti, tahribata uğramadan ara yüzey ile takviye fazına iletmek ve dağıtmaktır [2]. Ana malzemenin mekanik özelliklerinin yönü çok büyüktür. Takviye fazının görevlerine bakıldığında ise, üretim sırasında ana fazın tane büyüklüğünü kontrol etmek vardır. Ara faz ise elastikiyet modülünü etkileyen en önemli bölgedir [2].

Bu kompozitlerin takviye elemanları ve yapısal şekilleriyle ilgili özellikler Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Matris malzemeler, takviye elemanları ve yapısal şekilleri.

<b>MATRİS MALZEMELERİ</b>	<b>TAKVİYE ELEMANLARI</b>	<b>KOMPOZİTİN YAPISAL ŞEKLİ</b>
<b>Metaller</b>	Granül	Kaplamalar
<b>Seramikler</b>	Whiskers	Film- Folya
<b>Polimerler</b>	Lifler/Partiküller	Tabakalar

## **2.1. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER**

Kullanım sıcaklığının daha çok üzerinde bir sıcaklığa duyulan ihtiyaç ve daha yüksek mukavemet gibi özelliklere sahip malzemelere duyulan ihtiyaç nedeniyle 1960 yıllarında metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler geliştirilmeye başlanmıştır

[9]. MMK' ların en çok üretimde kullanılan malzeme denildiğinde en başta Al ve Al alaşımları gelmektedir. Al, ucuz olması, kolay işlenebilirliği, doğada fazla bulunması, hafifliği, korozyon direnci gibi özelliklere sahiptir [10].

MMK' ların metallerle kıyaslandığında üstün olan özellikleri;

- Malzemeler birbiri içerisinde çözünmezler.
- Daha iyi yorulma direnci,
- Düşük termal genleşme,
- Daha iyi aşınma direnci [11].

Bu kompozitler genel olarak havacılık, savunma ve otomotiv sanayisinde kullanılmaktadır.

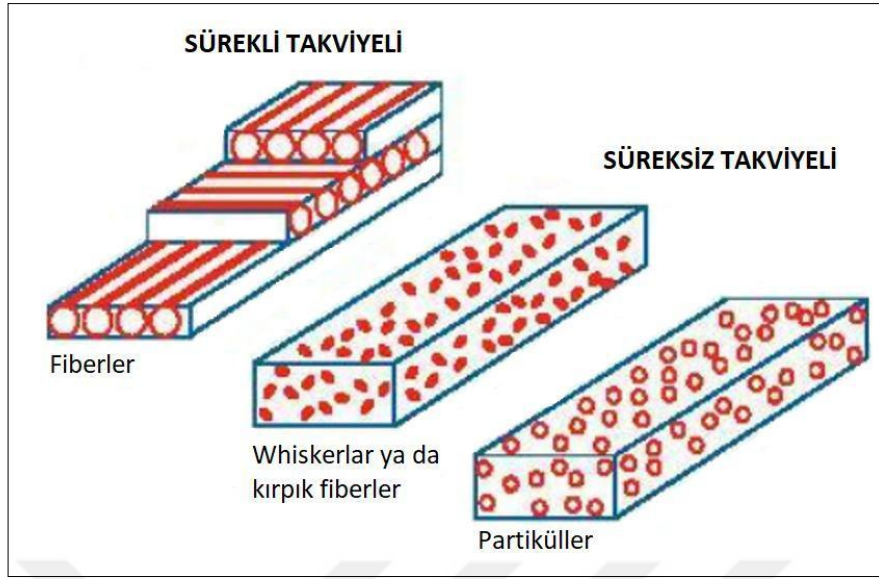
MMK üretiminde dikkat edilmesi gereken en önemli faktörler;

- Takviye malzemenin şekli,
- Takviyenin, matris içinde homojen dağılması,
- Kullanımındaki sıcaklık aralığı,
- Matris ile takviye malzemeleri arasındaki olası tepkimeler,
- Nihai üründen beklenen boyutsal özellikler,
- Takviye ve matris malzemelerinin ek işlem gereksinimleri [9].

MMK malzemeleri takviye elemanlarına göre 3 grupta sınıflandırılmaktadır.

1. Sürekli fiber takviyeli,
2. Partikül takviyeli,
3. Süreksiz fiber takviyeli.

Sınıflandırılan MMK' ların şematik gösterilişi Şekil 2.2' de verilmiştir [12].



Şekil 2.2. Takviye elemanlarına göre sınıflandırılan MMK' lar [12].

## 2.2. SERAMİK MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Malzemelerin genel özelliklerine bakıldığında seramik malzemeler hafif, yüksek sıcaklık dayanımı, sert ve kırılgan yapıya sahiptirler. Seramik malzemelerin güçlendirilmesinin, takviye ihtiyacının duyulmasının sebebi metal ve plastiklerden farklıdır. SMK' ların üstünlükleri [13];

- Erozyon ve aşınma direnci,
- Düşük yoğunluk,
- Termal genleşme katsayısının ve iletkenliğin düşük olması,
- Yüksek sıcaklık mukavemetine sahip olmasıdır.

Yapılarının gevrek olması sebebiyle darbelere karşı oldukça dayanıksızlardır. Bu yüzden özellikle son 20 yıldır dayanıklı SMK üretimi üzerine yoğunlaşmıştır. Böylelikle kullanım alanları gelişmeye başlamıştır [13].

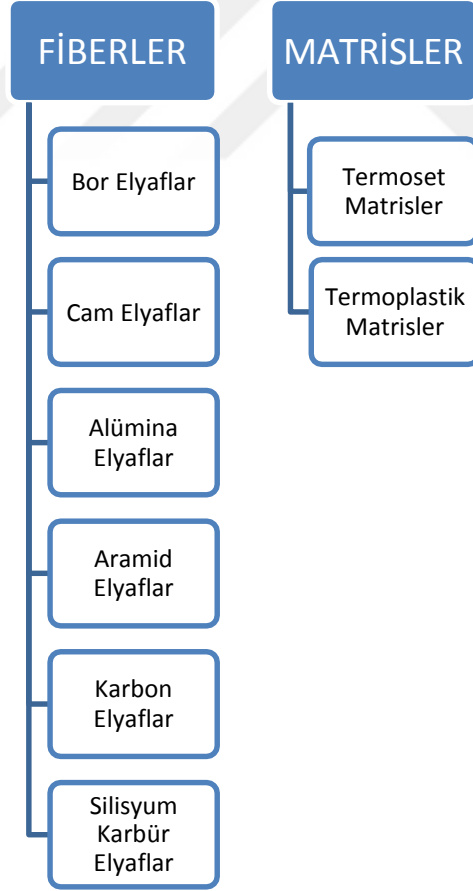
SMK' ları sürekli fiber takviyeli ve süreksiz takviyeli olarak iki grup şeklinde gruplandırabiliriz. Sürekli fiber takviyeli SMK' ların tokluk değeri daha yüksek olduğu için daha çok tercih edilir.

Sık kullanılan SMK' lar gruplandırılır ise [14];

1. Nitrürler,
2. Cam seramikler,
3. Oksitler,
4. Karbürler.

### 2.3. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER

1940' lı yıllarda havacılık sektöründe çelik ve alüminyum alaşımlarının yerine daha hafif ancak mukavemet ve sertlik değeri yüksek, daha yüksek kırılma tokluğu ve aşınma dayanımına sahip olan polimer matrisli kompozitler geliştirilmeye başlanmıştır [3]. Matris ve fiberlerin çeşitleri Şekil 2.3' de gösterilmiştir.



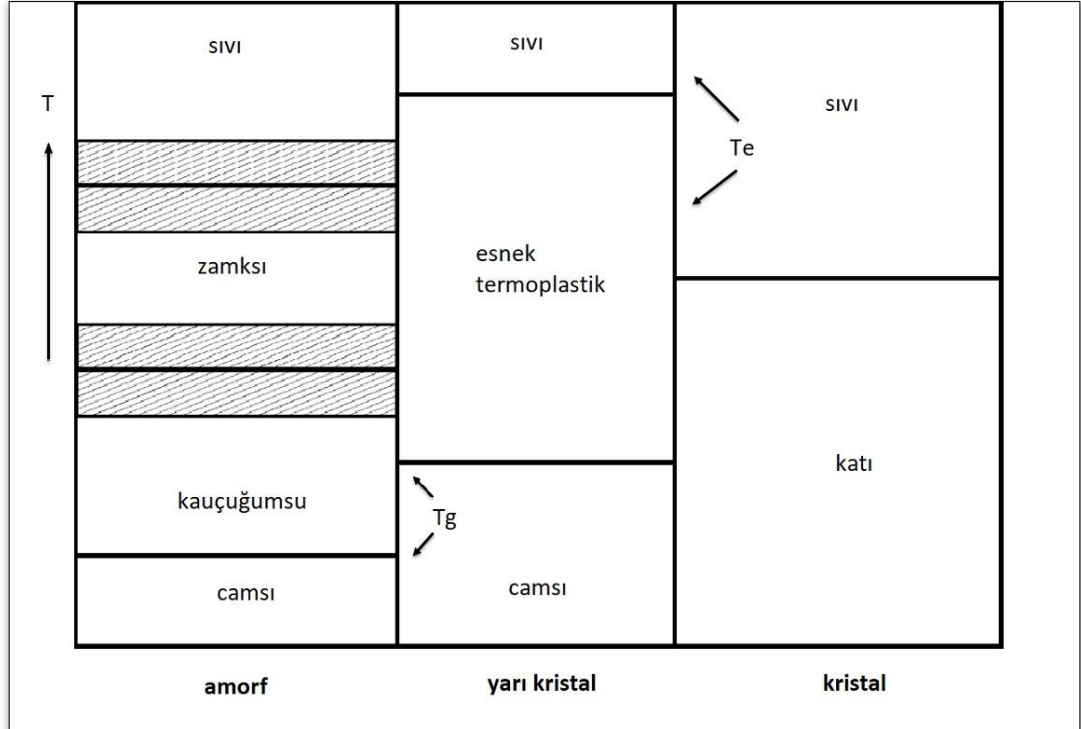
Şekil 2.3. Fiber ve matris çeşitleri [3].



Kompozit malzemelerin davranışlarının anlaşılabilmesi için, kompozit malzemedeki fiberlerin ve matris malzemelerin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Fiberler (elyaflar), kompozit malzemelerinin en çok önemli mukavemet elamanıdır ve matris malzemenin içerisinde yer alır. Matrisler, fiberleri kapladıkları için ısı, nem gibi çevresel etkenlere maruz kalırlar. Bu yüzden kompozit malzemelerinin özelliklerini daha çok matrisler belirleyici etkendir [3].

Kompozit malzemelerde kullanılan plastik matrislerin ısıya karşı davranışları birbirinden farklıdır ve bu farklılıklar Şekil 2.4' de gösterilmiştir. Yapılardaki amorf veya kristal kısımların varlığı, polimerlerin ısı karşısındaki varlığına doğrudan bağlıdır [15].

Amorf polimerler, sıcaklığın düşük olması durumunda cam gibi sert ve kırılğan özellik göstermektedir. Ancak bu yapı ısıtıldığında, camsı geçiş sıcaklığı adı verdiğimiz sıcaklıkta yumuşar ve kauçuk özellik gösterir. Bu polimerin camsı geçiş sıcaklığı üzerinde ısıtılması devam ettirildiğinde ise zamk görüntüsünü alır ve daha sonra yüksek sıcaklıkta sıvı halini alır [15].

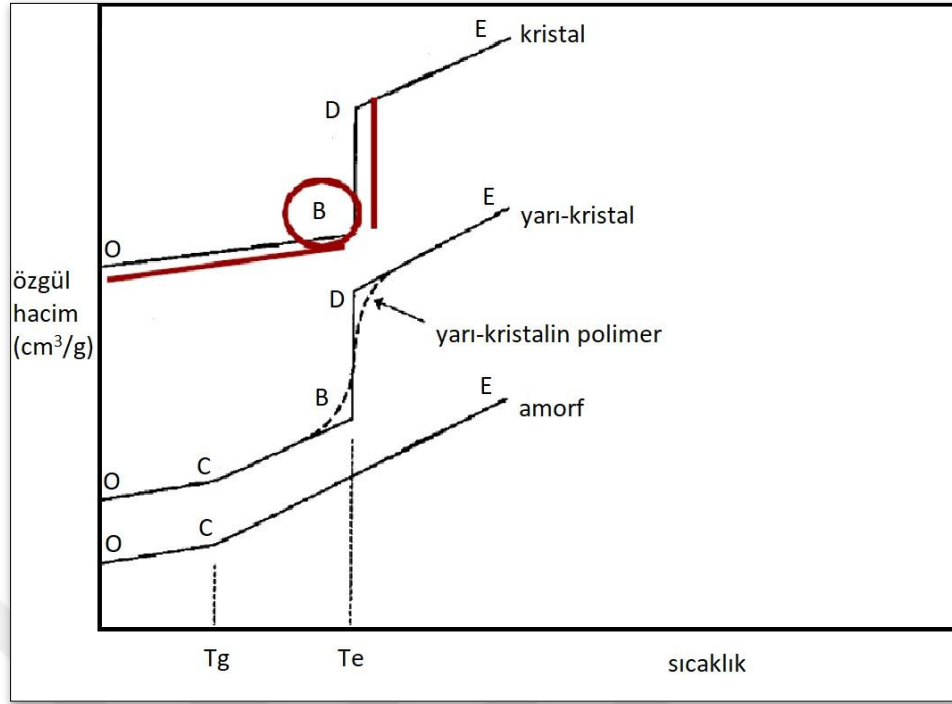


Şekil 2.4. Polimer yapılarının ısı karşısındaki davranışları [15].

Kristal bölgeler ise amorf yapılar için çapraz bağlayıcı görevi yapar. Böylece polimer örgüsünü bir arada tutar. Bu yüzden yarı-kristalin polimer erime sıcaklığına ( $T_e$ ) kadar esnek termoplastik özelliklerini korurlar ve erime sıcaklığında ise kristal yapıları yıkılarak erirler. Yarı-kristal bölgede kristal ve amorf yapılar birlikte bulunurlar. Bu yapı,  $T_g$  altında kırılırlar ve bu özelliklerini  $T_g$ ' ye kadar korurlar.  $T_g$  geçildiğinde yumuşaklık kazanır ve esnek termoplastik özelliğini kazanır [15].

Kristal polimerler yapı gereği serttirler. Amorf yapı bulunmadığı için camsı geçiş özelliği göstermezler. Erime sıcaklıklarına ulaştığında ise kristal yapı yıkılır ve polimer erir [15]. Bu ısıl geçişler gerçekleşirken, polimerlerin özgül ısınma ısısı ( $J/kg \cdot K$ ) ve özgül hacim ( $cm^3/g$ ) özelliklerinde değişimler olur. Şekil 2.5' de görüldüğü gibi kristal maddelerin özgül hacimleri erime noktasına kadar (OB) doğrultusunda artar.

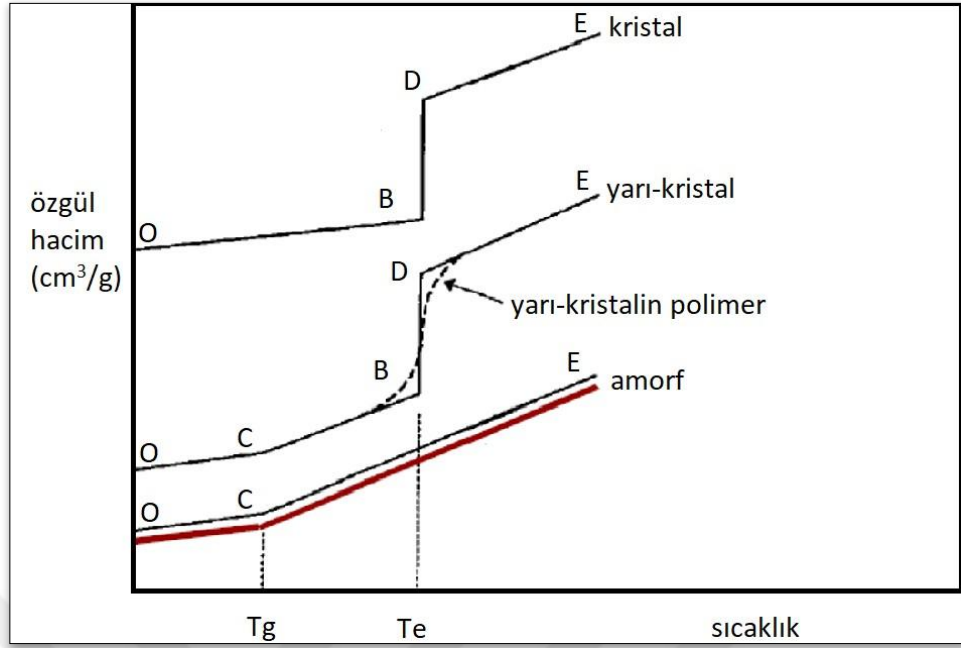
Erime noktasına (B noktasına) geldiğinde ise kristal yapı bozunur ve madde erir. Kristal yapının tamamen bozunmasını gerçekleştirecek ısı oluşana kadar sistemin sıcaklığında değişiklik olmaz. Bu erime sırasında gerçekleşen katı-faz değişimi sebebiyle hacimde artış gözükür (BD doğrusu). Bu tür ısıl geçişlere ise birincil ısıl geçişler denir [15].



Şekil 2.5. Kristal maddelerin özgül hacmindeki olan değişiklik [15].

Şekil 2.6' da amorf maddelere bakıldığında,  $T_g$ ' nin altında ısıtıldığında özgül hacim belirli bir hız ile artar (OC doğrusu).

$T_g$  geçildiğinde ise özgül hacimin yükselişi artar (CE doğrusu) ve sıcaklık-özgül hacim doğrusunda kırılma gözlenir. Bu geçiş gerçekleştiğinde ise madde hal değiştirmez ve sabit basınç altında ısınma ısısının büyüklüğü değişmiştir. Bu tür ısı geçişlere ikincil ısı geçiş denir [15].

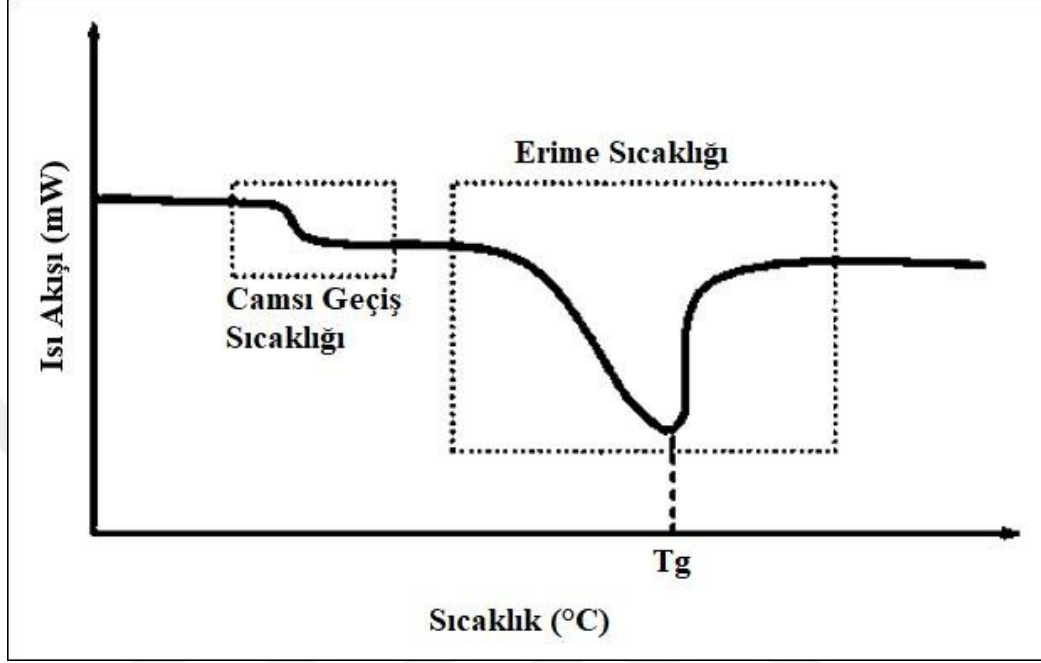


Şekil 2.6. Amorf maddelerin özgül hacmindeki olan değişiklik [15].

Şekil 2.7' deki yarı kristal maddeye bakıldığında ise amorf ve kristal maddelerin grafiklerinin birleşimine benzediği görülmektedir. T<sub>g</sub>' ye ulaşıldığında (C noktası), polimer örgüsünde amorf bölgelerin katkısı ile özgül hacmin sıcaklık ile birlikte artış gösterir (CB doğrusu) ve bir kırılma gözlenir. Erime noktasına ulaşıldığı zaman ise (B noktası) polimerlerin kristal bölgeleri erir [15].

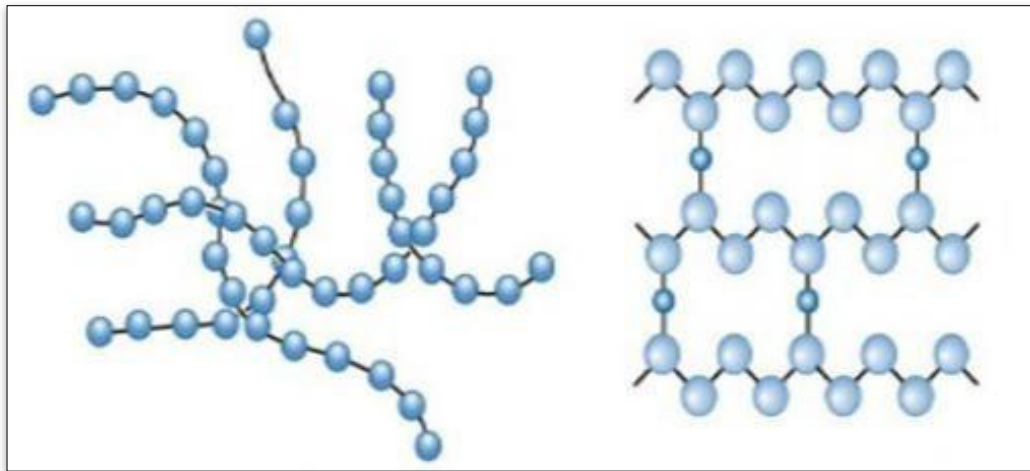


getirilebilir. Isıtıldıklarında, polimerlerdeki camsı geçiş sıcaklığına ( $T_g$ ) bağlı olarak yumuşak malzeme haline gelirler [17]. Örneği Şekil 2.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Camsı geçiş sıcaklığı [17].

Isıtma soğutma işlemleri sonucunda malzemenin kimyasında herhangi bir değişiklik meydana gelmez ancak fiziksel özellikleri değişir [3].



Şekil 2.9. Termoplastik ve termoset matrisli kompozitlerin molekül dizilişi [3].

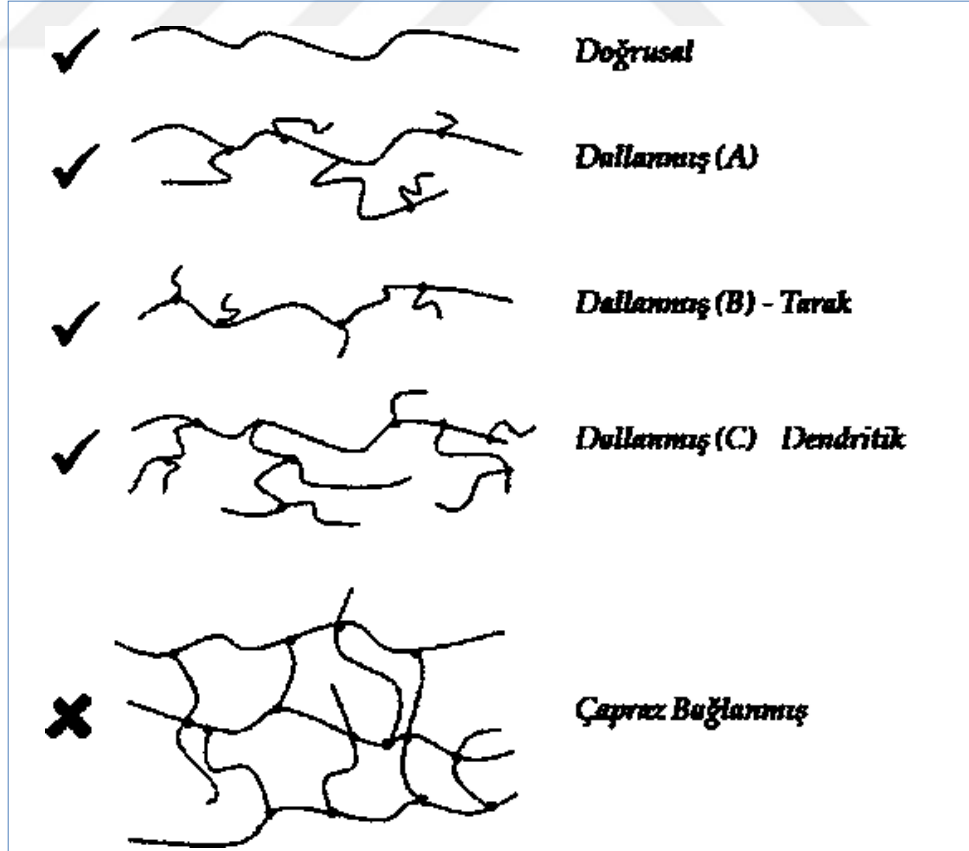
Termoplastik kompozitlerin avantajları;

- Termosetlere göre daha dayanıklı ve dirençlidir.
- Soğutma ihtiyaçları yoktur.
- Parçaları ısı tarafından birleştirilir.
- Parçalar kalıba tekrar konulabilir ve geri dönüşüm yapılabilir [18].

Termoplastik kompozitlerin dezavantajları;

- Termosetlere göre daha fazla sıcaklıkta üretilirler,
- Termoplastikler rijitlerdir [18].

Termoplastik polimerlerde zincir yapıları dallanmış veya doğrusal yapıda bulunurlar. Zincir yapıları arasında çapraz bağ asla görülmez. Bu bağ yapılarına örnek Şekil 2.10' da verilmiştir [17].



Şekil 2.10. Termoplastiklerin bağ yapıları [17].

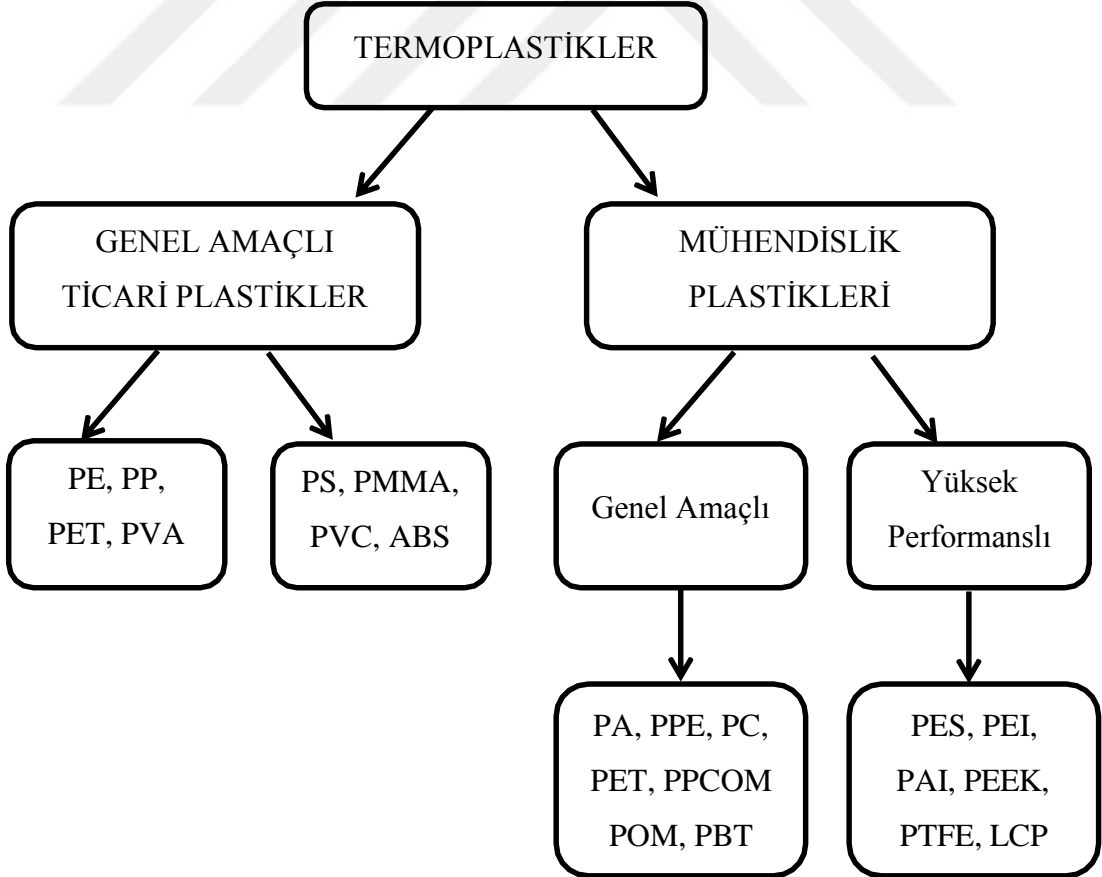
## 2.4. TERMOPLASTİK POLİMERLERDE KULLANILAN PLASTİKLER

Başlangıç aşamasında yapı olarak amorf yapısı olan reçinelerden Polietersulfon (PES) ve Polieterimid (PEI) matris olarak kullanılmıştır. Sonraki dönemlerde ise çözücülere karşı dayanıma ihtiyaç duyulduğu için Polietereterketon (PEEK) ve Polifenilen Sulfid (PPS) gibi plastik malzemeler geliştirilmiştir. Sınırlı oranlarda ise Poliamidimid (PAI) ve Poliimid gibi plastiklerde kullanılırlar [14].

Termoplastik grubunda en çok kullanılan plastiklerden bazıları şunlardır:

Politetra Fluorethylene (PTFE), Akrilonitril Bütadiyen Stiren (ABS), Polietilen (PE), Akrilik, Polipropilene (PP), Sıvı Kristal Polimerler (LCP), PolibütilenTereftalat (PBT), Asetal, Polivinil klorür (PVC), Poliamid (PA), Polietilenteraftelat (PET).

Şekil 2.11’ de mühendislik plastiklerinin sınıflandırılması şematik olarak gösterilmektedir [19].



Şekil 2.11. Mühendislik plastikleri [19].



Her polimer malzemelerin kendine özgü erime sıcaklıkları, çekme mukavemetleri, maksimum işlem sıcaklıkları vb. özellikleri vardır [13]. Buna örnek olarak Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de belirli özellikleri verilmiştir [16].

Çizelge 2.2. Termoplastik reçineler ve işlem sıcaklıkları [16].

<b>MALZEME</b>	<b>ERİME SICAKLIK ARALIĞI (°C)</b>	<b>MAKSİMUM İŞLEM SICAKLIĞI (°C)</b>
PAI	-	230
PES	-	180
PPS	290 – 340	240
PEI	-	170
PEEK	350 – 390	250
PP	160 – 190	105

Çizelge 2.3. Termoplastiklerin bazılarının mekanik ve termal özellikleri [16].

<b>MALZEME ADI</b>	<b>ÖZ KÜTLE (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>ÇEKME MUK. (MPa)</b>	<b>ELASTİK MOD. (MPa)</b>	<b>SICAKLIK SINIRI (°C)</b>
PE	0,95 – 0,96	20 – 37	420- 1260	100
PVC	1,50 – 1,58	40 – 60	2800 – 4200	110
PP	0,90 – 0,91	50 – 70	1120 – 1500	105
PS	1,08 – 1,1	35 – 68	2660 – 3150	85
ABS	1,05 – 1,07	42 – 50	-	75
PMMA	1,11 – 1,20	50 – 90	2450 – 3150	125
PA	1,06 – 1,15	60 – 100	2000- 3500	82

### 2.4.1. Polietilen (PE)

Yukarıda polimerlere nazaran ticari polimerlerin başında gelmektedir. Petrolden üretilen termoplastik polimerdir. Başlıca özellikleri arasında ucuz olması, tok ve düşük sürtünme katsayısı, yumuşak yüzey, hafif, düşük dayanım, iyi kimyasal dayanım yer almaktadır. Tipik uygulamaları arasında ise buz kapları, bardaklar, oyuncaklar, kaplama film malzemeleri vardır [20]. Üfleme kalıpcılığı, enjeksiyon ve ekstrüzyon ile biçimlendirilir.

Genel olarak Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE) ve Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) olmak üzere ikiye ayrılır ve çeşitli özellikleri Çizelge 2.4' de gösterilmiştir. LDPE, HDPE' ye göre daha çok dallanma gösterir. Yoğun dallanma gösteren polimerlerin kristal yapı oluşturmaları çok zordur. Bu yüzden LDPE daha düşük kristalleşmeye sahiptir. Dallanmaların oluşturduğu diğer bir değişiklik ise yoğunluğu azaltmaktır [21].

Çizelge 2. 4. LDPE ve HDPE' nin bazı özellikleri [21].

ÖZELLİKLER	LDPE	HDPE
Kristal Yapı	%40- %60	%70 - %90
Yoğunluk	0,91	
Camsılaşıma Sıcaklığı	-120 °C	
Kristallerin Erime Sıcaklığı	110 °C	135 °C
Molekül Ağırlığı	20- 100 kg/mol	50- 250 kg/mol

### 2.4.2. Polipropilene (PP)

Başlıca özellikleri arasında mükemmel elektriksel özellikler ve yorulma dayanımı, kimyasal olarak kararlı, yüzeyi sert, ısı çarpılmaya karşı direnç, oldukça ucuz olmaları vardır.

Tipik uygulamaları arasında ise paketlenme filmi, bavul, TV kasası, sterilize edilebilir şişeler vardır [20]. Üfleme kalıpcılığı, enjeksiyon, profil ve levha ekstrüzyonu, film kaplama gibi biçimlendirme yöntemleri kullanılır.

PP' nin kristal oranı %40- %70 arasında değişebilir. Çoğunlukla esnek ve tok bir malzeme yapısı vardır. Kristallerinin erime noktası 160 °C civarındadır [21].

### **2.4.3. Poliamid (PA)**

Poliamidin araştırmaları 1930'lu yıllarda başlanmış ve 1940'lı yıllarda üretim yapılmaya başlanmıştır. Başlıca özellikleri arasında iyi aşınma direnci ve tokluk, iyi mekanik dayanım vardır. Nemi emerler, çok iyi derecede kayma ve aşınma özellikleri vardır [17]. Enjeksiyonlu kalıplamada ve ekstrüzyonda kullanılır. Mekanik olarak %100 geri dönüşebilir bir malzemedir.

Tipik uygulamaları arasında ise elyaf, dişli çarklar, kablo ve teller için kaplama, kamlar, yataklar vardır [20]. Genellikle tamamen yalıtıkandırlar fakat yüksek voltaj ve frekansta çoğunlukla statik elektrik üretirler ve bu yüzden tehlikeli kıvılcımların oluşmasına sebep olabilir. Bu yüzden kullanımlarında düşük frekans uygulamaları ile kısıtlıdır [21].

### **2.4.4. Polietilenteraftelat (PET)**

PE ve PP' den sonra üçüncü olarak gelen PET, dünyadaki plastik üretiminin %18' ini oluşturmaktadır. İlk kez 1940' lı yıllarda piyasaya sürülmüştür. Başlıca özellikleri arasında mükemmel yırtılma ve yorulma dayanımı, yüksek yüzey parlaklığı, kimyasal mukavemet, düşük nem emme, yağ, asit, çözücü ve greslere karşı dirençli olmak vardır.

Tipik uygulamaları arasında ise giysi, içecek kapları, manyetik kayıt bantları örnek olarak verilebilir [20].

#### **2.4.5. Poliketon (PEEK)**

Yüksek performans plastikleri olarak kullanılırlar. İlk kez 1980' li yıllarda üretime başlanmıştır. Hammadde ya da mekanik olarak geri dönüştürülebilir. Mükemmel mukavemet, ısıya ve kimyasallara karşı dayanımını olduğu için genellikle uçak ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır.

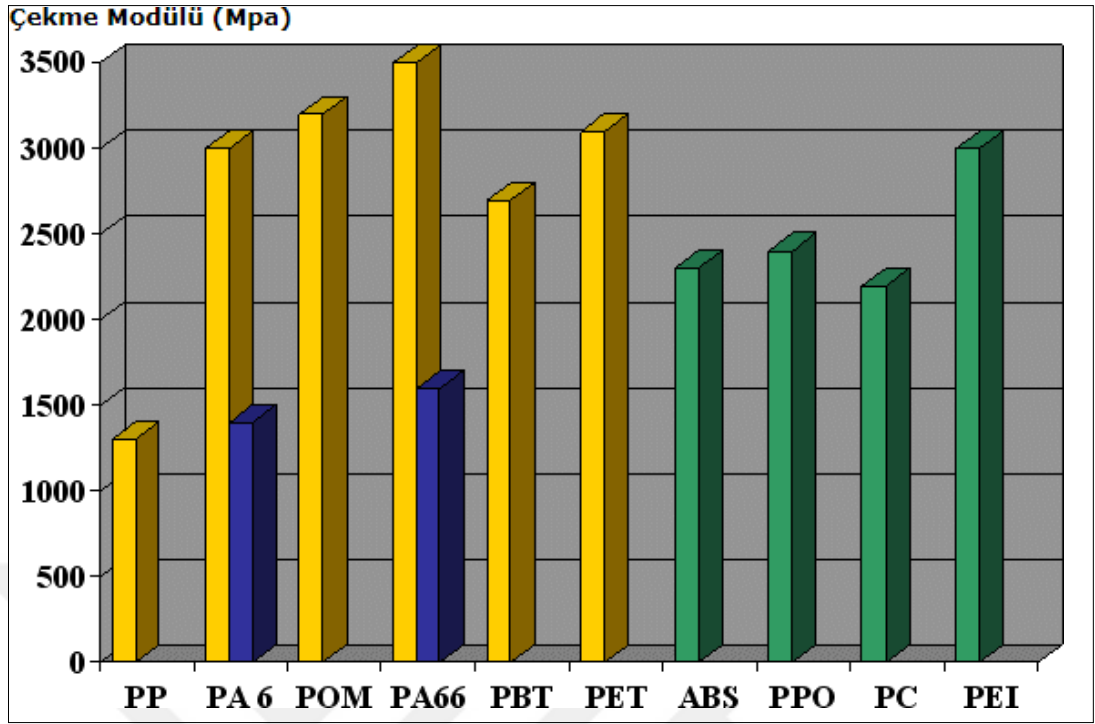
Dolgulu ve dolgunsuz yüzeyler pellet, toz ya da ultra ince tozlar ile beslenir. Ultra ince tozlar, çoğunlukla basınçla kalıplama ya da kaplama işlemlerinde kullanılır. Tozlar, ekstrüzyon ile birleştirme işlemlerinde kullanılır. Pelletler ise enjeksiyonla kalıplama, ekstrüzyon ve tel kaplama işlemlerinde kullanılır [19].

PEEK' in kristallerinin erime noktası 340 °C, Camlaşma sıcaklığı ise 140 °C' dir. Çözünmediği organik çözücüler oldukça azdır. Yüksek buharlaşma noktasına sahip bazı polar organik çözücülerin içerisinde çözünebilirler. Erime noktasının yüksek olması parça üretimin yapılmasını zorlaştırır ancak bazı katkı maddeleri ile bu soruna karşı kullanılabilir. Katkı maddeleri eklendiğinde poliketonların viskoziteleri azalarak daha rahat bir üretim yapılabilir [19].

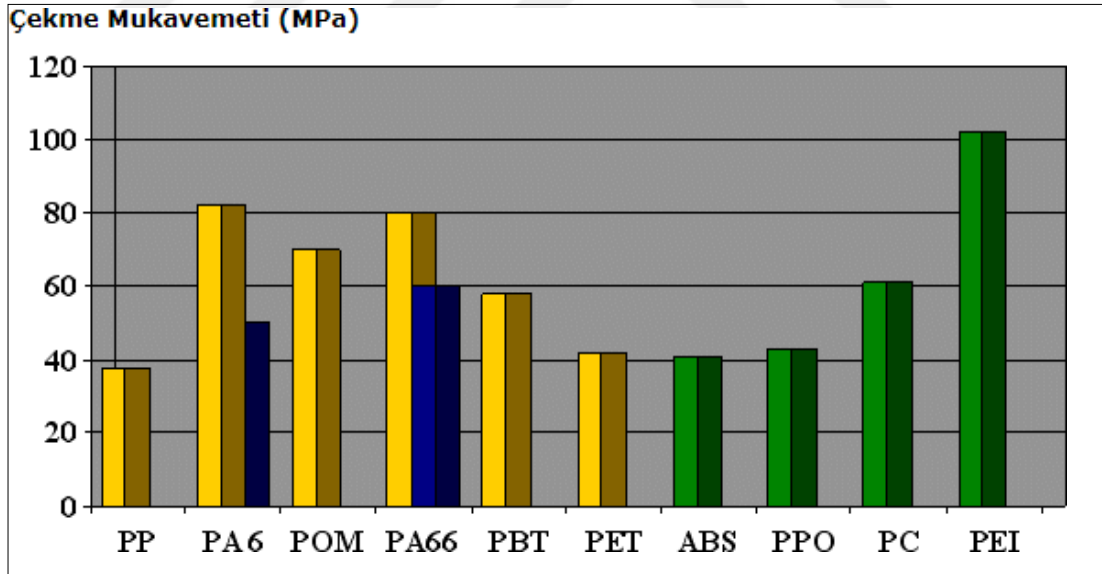
#### **2.4.6. Poliamid-İmid (PAI)**

Başlıca özellikleri arasında sürtünme ve aşınma direncinin iyi olması, çok yönlü olması, yüksek sıcaklıklara karşı direnci yüksektir, sürtünme özelliğinin iyi olması ve iyi özgül rijitlik ve dayanım vardır [3]. Uygulama alanlarında ise contalar, dişliler, kompresör vanaları, rulmanla, cam parçaları ve hidrolik bileşenler olarak örnek verilebilir [21].

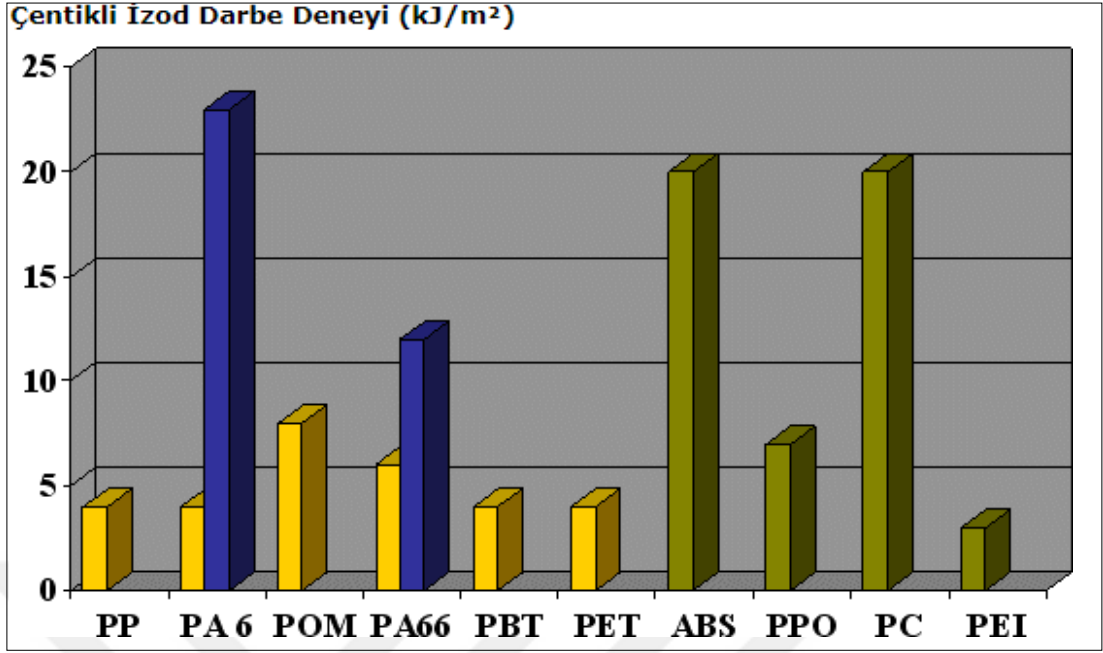
Çeşitli mühendislik plastiklerinin çekme modül değerleri, çekme mukavemeti, izod darbe deneyi gibi özellikleri Şekil 2.12, Şekil 2.13, Şekil 2.14 ve Şekil 2.15' de verilmiştir [22].



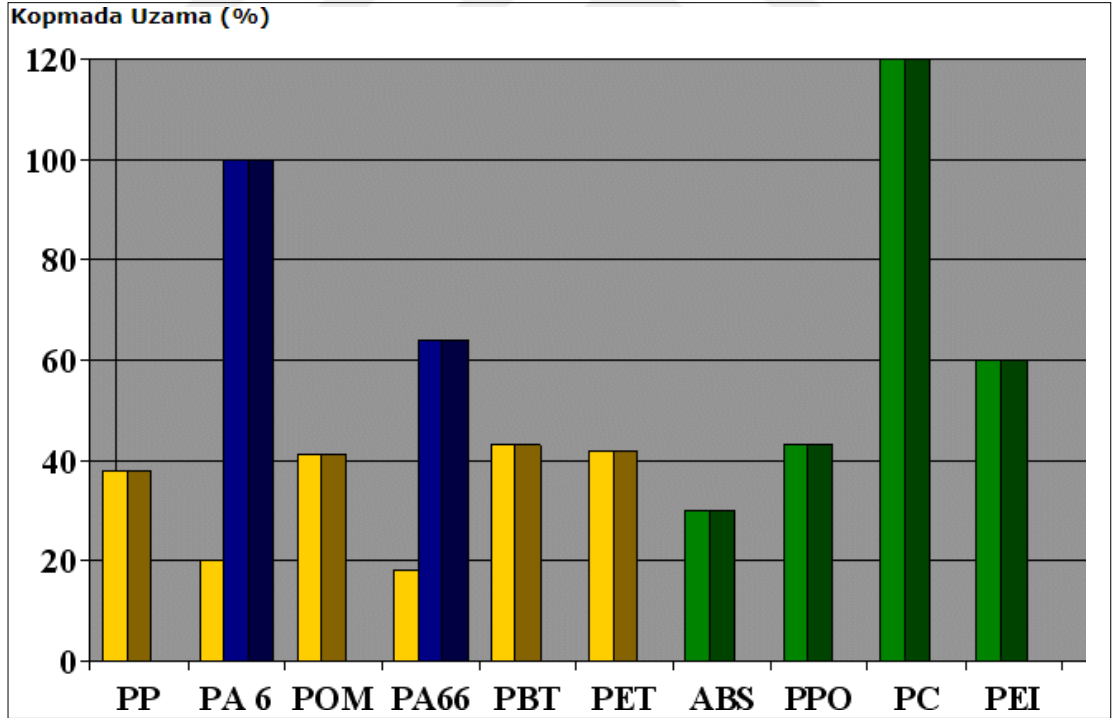
Şekil 2.12. Mühendislik plastiklerinin çekme modül değerleri [22].



Şekil 2.13. Mühendislik plastiklerinin çekme mukavemet değerleri [22].



Şekil 2.14. Mühendislik plastiklerinin çentikli izod darbe deneyi değerleri [22].



Şekil 2.15. Mühendislik plastiklerinin kopmada uzama değerleri [22].

## 2.5. PLASTİK KOMPOZİTLERE KATILAN KARBON BAZLI MADDELER

### 2.5.1. Karbon Fiber

Ana bileşenleri orlon, naylon ve katrandır. Çelikten 4-5 kat hafif olmasına karşılık, çelikten 3 kat daha dayanıklıdır. Karbon fiberler yüksek mukavemet ve sıcaklık direncine sahiptirler. Oldukça hafiftir, kolay işlenebilir ve düşük yoğunluğa sahiptir. Basmada zayıf, çekmede ise güçlüdür [23].

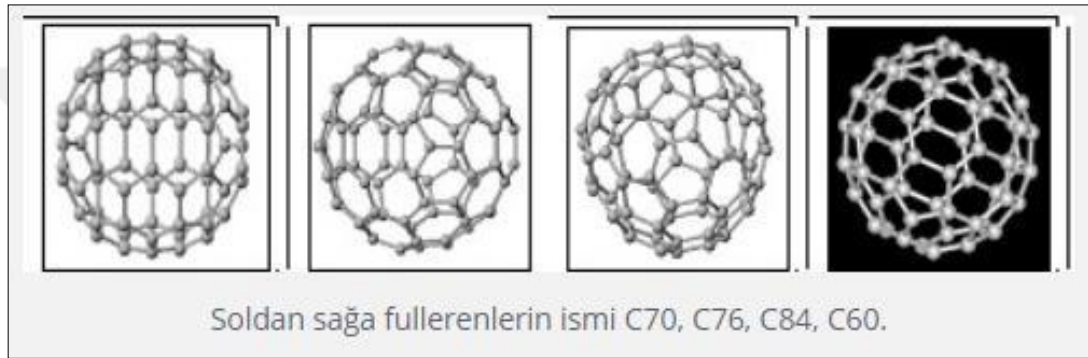
Teknik açıdan bakıldığında 4 aşamadan oluşmaktadır:

1. Oksidasyon; elyaflar hava ortamında yaklaşık olarak 300 °C' de ısıtılırlar. Böylelikle, hidrojenin elyaftan ayrılması ve oksijenin eklenmesi sağlanır. Elyaflar kesilerek grafit teknelerine koyulur ve karbonizasyon aşamasına hazırlanması sağlanır. Polimer kararlı bir yapıya dönüşür. Bu işlemler neticesinde elyafın rengi beyaz, kahverengi ve en son siyah rengine dönüşür.
2. Karbonizasyon; yanıcı olmayan bir atmosferde 3000 °C' ye kadar ısıtılan elyafların %100 karbonlaşması sağlanır. Bu işlemde uygulanan sıcaklık sayesinde üretilen elyafın sınıfı belirlenmiş olur.
3. Yüzey iyileştirme; karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın reçineye daha iyi yapışabilmesi için elektrolit banyoya yatırılır.
4. Kaplama; nötr bir sonlandırma basamağıdır. Amaç, elyafı sonraki işlemlerden korumaktır. Elyaf reçine ile kaplanır ve bu kaplama işlemi olarak epoksi kullanılır [23].

Kullanım alanları olarak; uzay araçları, havacılık, otomotiv, denizcilik, iş ekipmanları örnek verilebilir.

## 2.5.2. Fulleren

Birçok sayıdaki karbon atomunun birleşerek küresel yapılar oluşmasıyla ortaya çıkan sıfır boyutlu yapılardır. Yapay olarak, grafitin buharlaştırılmasıyla elde edilirler. Grafitin buharlaştırılması ile oluşan karbon yapıların yaklaşık %75' ini 60 atomlu (C60), %23' ünü 70 (C70) atomlu yapılar ve geri kalan kısmı ise diğer karbon nanotopları oluşturur ve bu yapılar Şekil 2.16' da örneklendirilmiştir. En az 20 atomludurlar anca 1000 atomlu olanlar da gözlemlenebilir [24].



Şekil 2.16. Fulleren örnekleri [24].

Grafit ve hidrokarbonların kullanıldığı yöntemler yardımıyla üretimi gerçekleşir. Grafit ile gerçekleşen üretim yönteminde asal gaz ortamında lazer ya da ark ile buharlaştırma yapılır. Oluşan bu buharın yoğunlaşması ile fulleren ve diğer karbon yapıları oluşur [24].

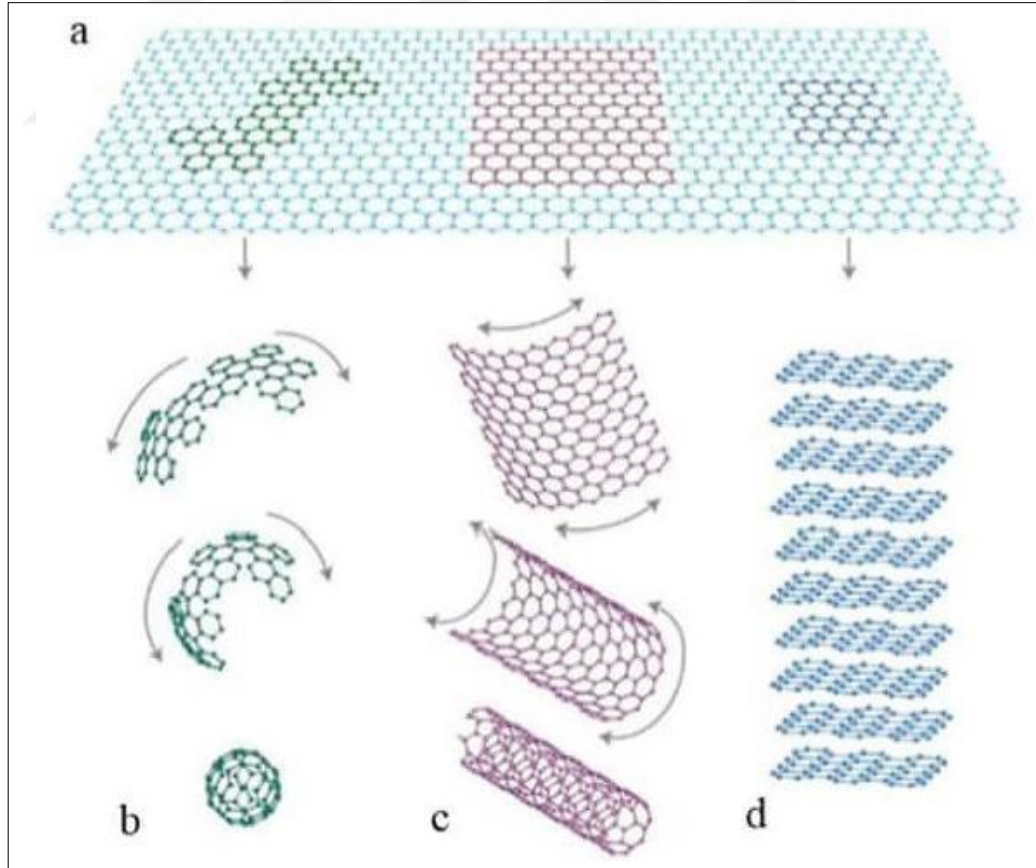
Hidrokarbonlarla gerçekleşen üretim yönteminde ise hidrokarbonlar fırın ya da lazer ortamında hidrojenlerin buharlaşması ile oluşur. Fullerenlerin katılınması ise 2 yöntemle yapılır. Bunlardan ilkinde, grafitin içerisine katılacak elementin tozu atılır. Diğer yöntemde ise, katılacak olan element gaz olursa fullerenleri katılacak elementin yüksek sıcaklık basınç altında ortama maruz bırakılır. Katılacak olan element gaz değil ise atomlar iyonlaştırılıp hızlandırılır ve fulleren kristali içine bombardıman yapılır [24].



### 2.5.3. Grafen

Grafen, iki boyutlu olduğu kabul edilen, kovalent bağ ile bağlanan karbon atomlarının oluşturmuş olduğu 1stn 1zelliklere sahip olan nanometaryeldir. Grafenden oluşturulan 1eşitli yapılar Şekil 2.17' de verilmiştir [25]. Başlıca 1zellikleri;

- 1elikten 200 kat daha sađlamdır,
- Elmastan daha serttir,
- Elektriđi 1ok iyi iletir,
- Keřfedilen ilk 2 boyutlu kristaldir,
- 1ok hafif bir malzemedir,
- Saydamdır,
- B1k1lebilir ve esnetilebilir bir maddedir [25].

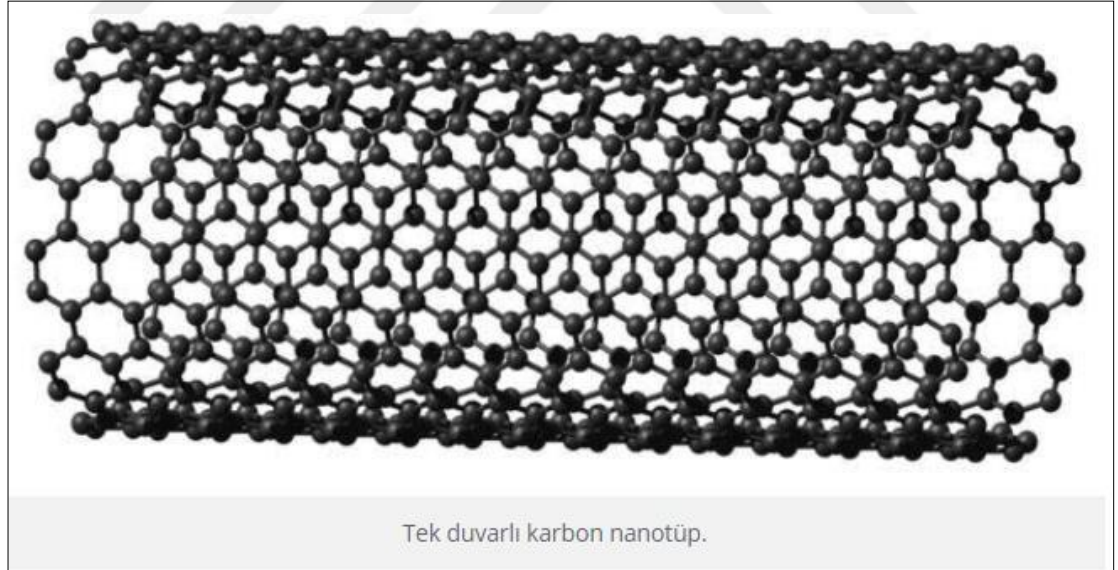


Şekil 2.17. Grafene uygulanarak oluşturulan 1eřitli yapılar. Grafen (a), fulleren (b), CNT (c), grafit (d) [25].

Grafenin üretim yöntemlerinden bazıları, kimyasal buhar çöktürme, sıvı faz pullandırma, mekanik pullandırma ve grafen oksidin indirgenmesidir. Grafenin kullanıldığı yerler arasında, polimer kompozitleri ve nano kompozitleri, sensörler, ısı transfer malzemesi, fotodetektörler, havacılık, enerji depolama aygıtları, otomotiv, güneş panelleri, saydam elektrotlar, bataryalar gibi geniş kullanım alanları vardır [26].

#### 2.5.4. Karbon Nanotüp

Silindirlere meydana gelen fulleren tipi yapılardır. Önemli elektronik ve mekanik özelliklere sahiptir. Yapay olarak oluşturulurlar, enerji iletimleri yüksektir. Karbon nanotüpleri oluşturmak için öncelikle fullerenler oluşturulur. Sonra fullerenler buharlaştırılır ve grafen ayrıştırılır; daha sonra sarılarak bunlardan daha farklı özellikte karbon nanotüpleri oluşturulur. CNT örneği Şekil 2.18’de verilmiştir [24].

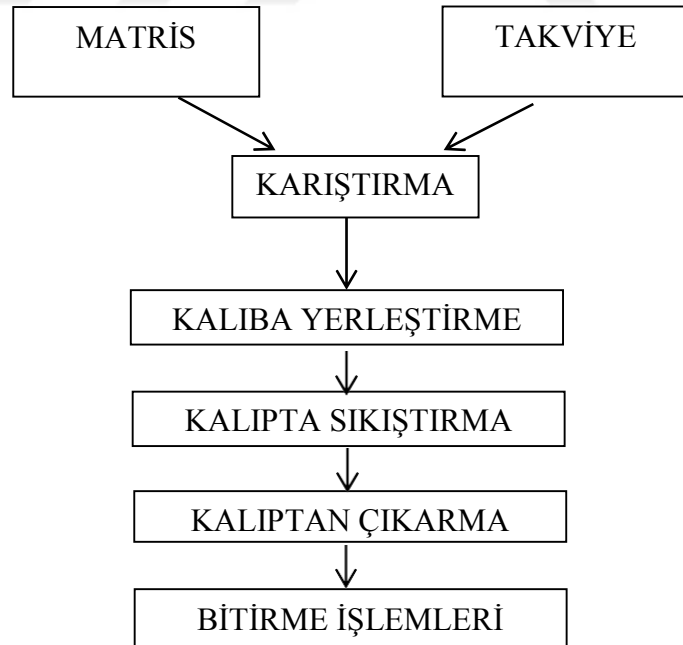


Şekil 2.18. Tek duvarlı CNT örneği [24].

## BÖLÜM 3

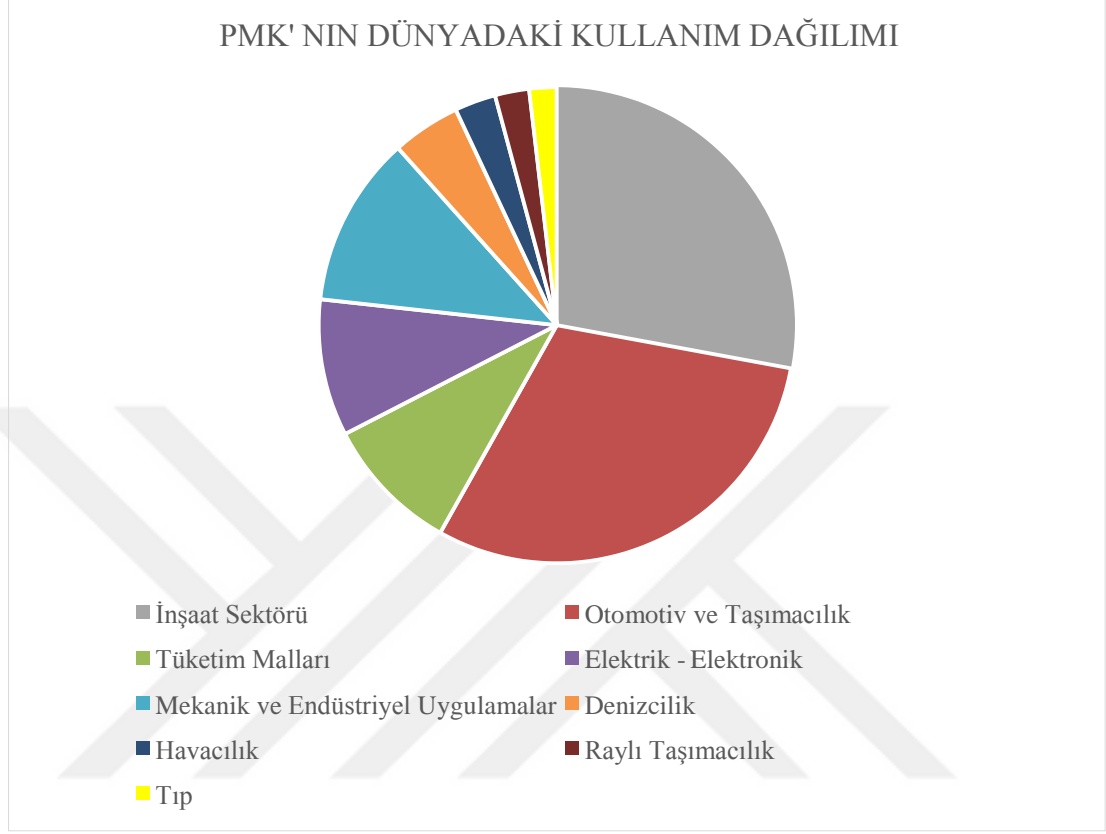
### POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Polimer matrisli kompozit malzeme üretimi yapılırken uygun matris ve ilave malzeme seçmek ya da doğru malzemelerin yapılandırılmış olması yeterli parametreler değildir. Ayrıca seçilen malzeme ile nihai üründen beklenen özellikler ve ürün formu arasındaki ilişkiye ilave olarak üretim metodunun seçimi de oluşturulan son ürüne etkisi yüksektir [14]. Yani seçilecek olan üretim yönteminin, kullanılan malzemelerle uyumu oldukça önemlidir. Bu uyumun yakalanamaması halinde kompozit malzemelerin üstünlük sağladığı bazı özellikler (performans değerleri, tasarım esnekliği vb.) yitirilebilir. Polimer matrisli malzemelerin üretim kademeleri Şekil 3.1’deki gibidir [14].



Şekil 3.1. Polimer matrisli kompozitlerin üretim kademeleri [14].

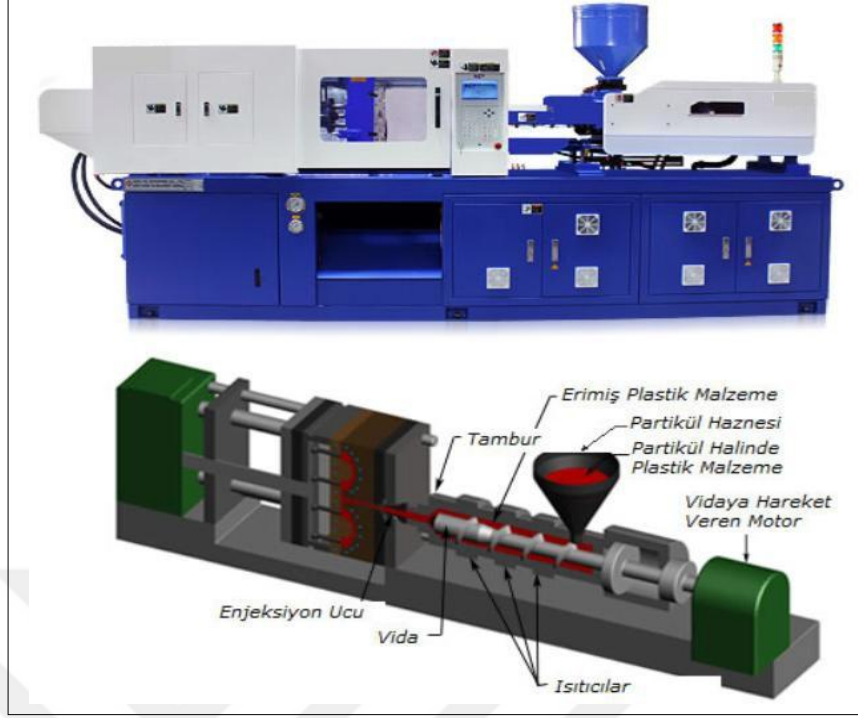
Polimer matrisli kompozitlerin farklı özelliklerinden faydalanılarak dünyadaki çeşitli kullanım alanları Şekil 3.2' de gösterilmiştir [14].



Şekil 3.2. Polimer matrisli kompozitlerin dünyadaki kullanım dağılımı [14].

### 3.1. PLASTİK ENJEKSİYON

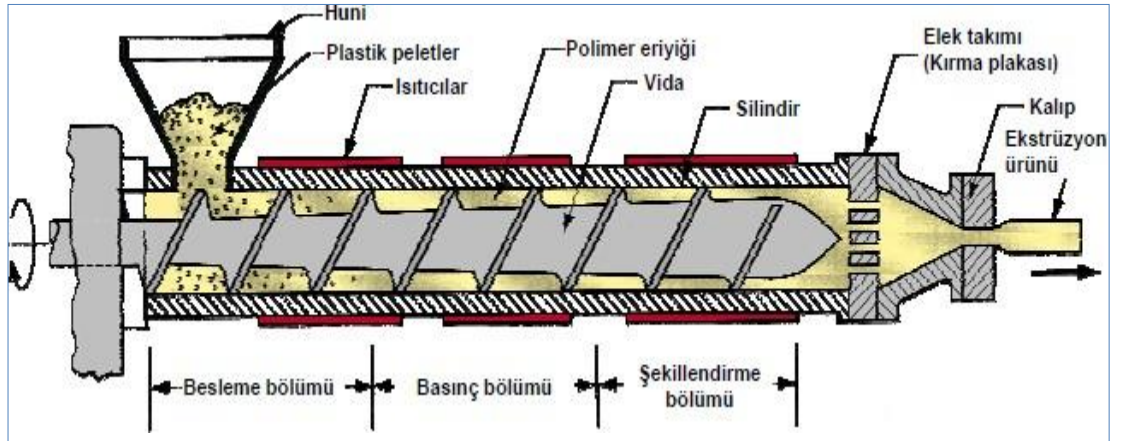
Malzeme ısıtılarak şekil alabilir duruma getirilir ve yüksek basınç uygulanarak kalıp boşluğuna dolması sağlanır; bu bölümde katılaştıran parça kalıptan çıkartılır. Bu üretim şekli ile istenilen nihai ürüne çok yakın hassas parçalar elde edilebilir. Kalıpta çok sayıda boşluk bulunabilir ve her seferinde birden fazla parça elde edilebilir. Karmaşık biçimler elde edilebilir. Kalıp maliyeti fazla olduğu için sayıca fazla üretimler yapılması ekonomik olur. Büyük hacimli karmaşık parçaları üretmek amacıyla tekli ya da çok parçalı kalıplar kullanılarak gerçekleştirilen üretimdir. Şekil 3.3' de plastik enjeksiyon üretimine bir örnek verilmiştir [27,28].



Şekil 3.3. Plastik enjeksiyon örneği [27].

### 3.2. EKSTRÜZYON

Kapalı bölmede bulunan malzemeye basınç uygulayarak kalıp açıklığından akışına zorlanır; böylelikle malzeme kalıp boşluğunun şeklinde, sabit kesitli ve sürekli bir ürün oluşur. Bu yöntem ile üretilen malzemelere; boru, profiller, hortum, kaplı elektrik telleri örnek verilebilir [27]. Şekil 3.4’ de ekstrüzyon üretimine bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.4. Tek vidalı ekstrüzyon örneği [27].

Üretilebilen ürün çeşitleri arasında;

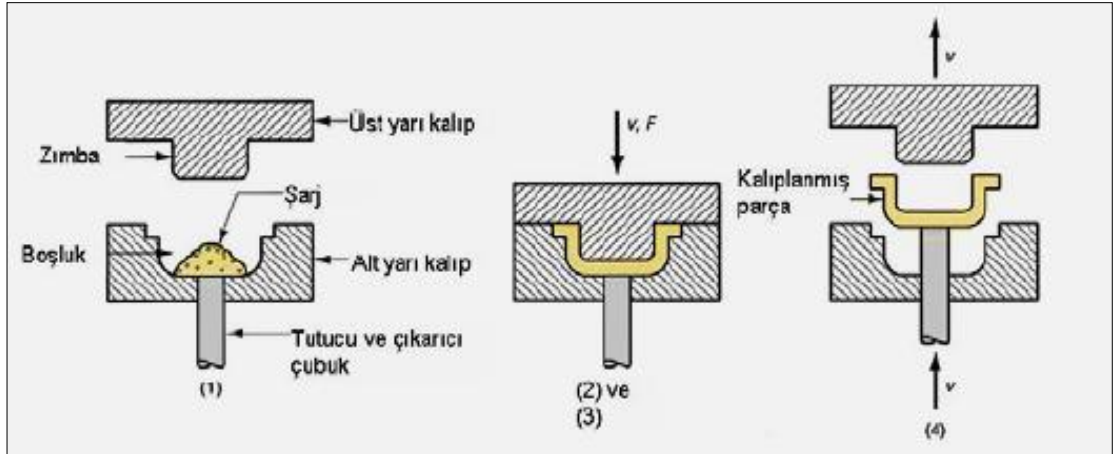
- Levha ve filmler,
- İçi boş boru ve profiller,
- Lifler,
- Dolu profiller,
- Tel ve kablo kaplamaları vardır.

### 3.3. BASINÇLI KALIPLAMA

Bu uygulama çoğunlukla polimer matrisli kompozitlerin elde edilmesinde ve oto lastiklerinin üretiminde kullanılır [27,28]. Başlıca özellikleri;

- Yolluk sistemi mevcut değildir,
- Enjeksiyon kalıplara göre daha basit bir uygulaması vardır,
- Genellikle daha basit geometriler üretilir,
- Düşey tiptedir.

Şekil 3.5' de basınçlı kalıplama üretimine bir örnek verilmiştir [27].



Şekil 3.5. Basınçlı kalıplama örneği [27].

Üretilen ürünün ebadına göre 3-6 dakikalık bir üretim süreci vardır. Hızlı ve seri bir kalıplama çeşididir [27].

Kullanılan üretim yöntemi, o maddenin özelliklerine etkisi oldukça fazladır. Çeşitli üretim yöntemlerinden bazılarının karakteristik bilgileri ve örnek kullanım alanları Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir [14].

Çizelge 3.1. Üretim yöntemlerinden bazılarının karakteristik bilgileri [14].

<b>Üretim Yöntemi</b>	<b>Çıktı</b>	<b>Çevrim Zamanı</b>	<b>Yatırım</b>	<b>İşçilik Maliyeti</b>
El Yatırma	1- 1000	30dk. ila birkaç saat	Düşük	Yüksek
Püskürtme	1- 1000	30dk. ila birkaç saat	Düşük	Yüksek
Matris Enjeksiyon	200-10000	30dk. ila birkaç saat	Orta	Orta
Soğuk Kalıplama	500-20000	5 ila 30 dk.	Orta – Yüksek	Orta
Sıcak Kalıplama (keçe ve ön şekillendirme)	Kitlesel Üretim	1 ila 10 dk.	Yüksek	Orta
Sıcak Kalıplama (preg)	Kitlesel Üretim	2 ila 5 dk.	Yüksek	Düşük
Yüksek Basınç Enjeksiyon	>10000	-	Yüksek	Düşük
Otoklav	<5000	-	Orta	Orta
Filament Sarma	<10000	Parçaya göre değişken	Yüksek	Yüksek
Santrifüj Kalıplama		10dk. ila birkaç saat	Yüksek	Düşük
Pulturuzyon	Sürekli	Sürekli	Yüksek	Düşük
Sürekli Emdirme	Sürekli	Sürekli	Yüksek	Düşük

Çizelge 3.2. Üretim yöntemlerinden bazılarının örnek kullanım alanları [14].

Parça Boyutu, Mak. Alan (m <sup>2</sup> )	Kalınlık (mm)	Örnek Kullanım	Yüzey Pürüzsüzlüğü	Üretim Yöntemi
Neredeyse Sınırsız, <300	Sınırsız, genellikle 2-10	Denizcilik	1	El yatırma
Neredeyse Sınırsız	Sınırsız, genellikle 2-10	Denizcilik	1	Püskürtme
15m <sup>2</sup> 'ye kadar	1 – 10	Otomotiv Gövde Elemanı	2	Matris Enjeksiyon
15m <sup>2</sup> 'ye kadar	3 – 10	Otomotiv Gövde Elemanı	2	Soğuk Kalıplama
5m <sup>2</sup> 'ye kadar	1 – 16	Otomotiv Gövde Elemanı	2	Sıcak Kalıplama (keçe ve ön şekillendirme)
5m <sup>2</sup> 'ye kadar	2- 10	Otomotiv Gövde Elemanı	2	Sıcak Kalıplama (preg)
10m <sup>2</sup> 'ye kadar		Elektrik & Elektronik Parçalar	2	Yüksek Basınç Enjeksiyon
30m <sup>2</sup> 'ye kadar	3 – 15	Boru, Tüp	1	Santrifüj
20m <sup>2</sup> 'ye kadar		Havacılık		Otoklav
5cm – 25 metre arası özel ekipmanlar	1 – 10	Basınç Tankı	1	Filament Sarma
Limitli kesit	3 – 20	Profil	Tümü	Pulturuzyon
Limitli kesit	1 – 4	Çatı Malzemesi	2	Sürekli Emdirme



## BÖLÜM 4

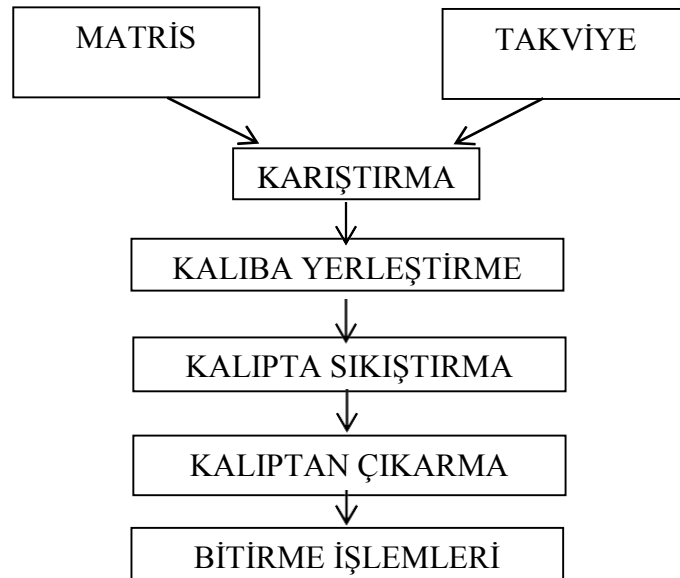
### MALZEMELER VE DENEYSEL METOT

#### 4.1. MALZEMELER

Bu çalışmada kullanılan malzemelerden biri önemli elektronik ve mekanik özelliklere sahip olan ve yapay olarak oluşturulan karbon nanotüpdür (CNT). Diğer malzemelerden biri ise iki boyutlu olduğu kabul edilen ve üstün özelliklere sahip olan grafendir. Bu çalışmada kullanılan grafen, 750 m<sup>2</sup>/gr yüzey alanına ve 5-8 mm arasında kalınlığa sahiptir. Çok duvarlı karbon nanotüp ise 9,5 mm kalınlığa ve 250 m<sup>2</sup>/gr yüzey alanına sahiptir. Karbon bazlı takviyeler Nanografi Ltd. firmasından temin edilmiştir. Çalışmada matris olarak kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen, 0,91 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahiptir ve PETKİM firmasından temin edilmiştir.

#### 4.2. ÜRETİM ÇALIŞMASI

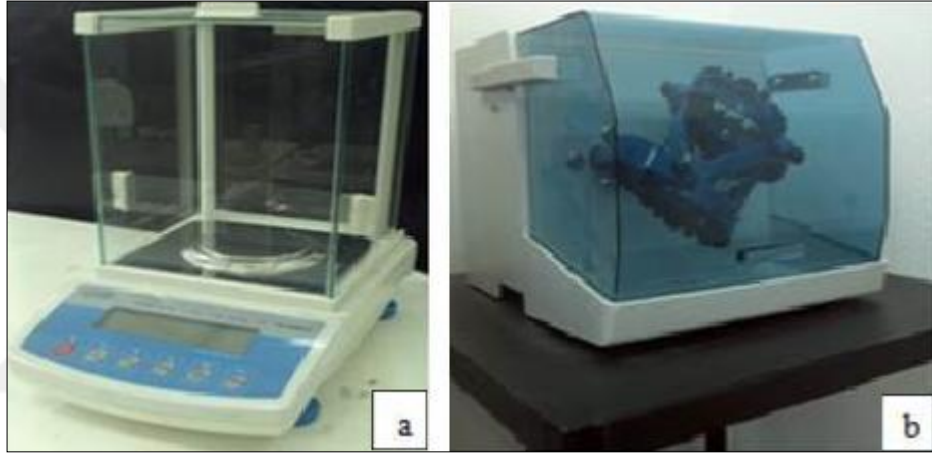
Bu çalışmada kullanılan üretim basamakları Şekil 4.1' de verildiği gibidir.



Şekil 4.1. Çalışmada gerçekleşen üretim basamakları.

Granül halindeki polimer ile toz halindeki takviyeler hassas terazide tartıldı. Sonra tartılan karışımlar her bir numune için ayrı ayrı olarak turbula mikserde 1 saat karıştırıldı. Karıştırma işleminden sonra kalıp içine dolduruldu ve kalıp 170 dereceye kadar ısıtıldı. Sıcaklığın homojen olması için 170 derecede 5 dk. beklenildi. En son olarak 20 MPa ile basıldı. Kalıp havada soğutuldu ve parça çıkarıldı.

DeneySEL çalışmada kullanılan hassas terazi ve turbula mikser Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Ayrıca basınçlı kalıplama işlemi için kullanılan cihaz ise Şekil 4.3’ de gösterilmiştir.

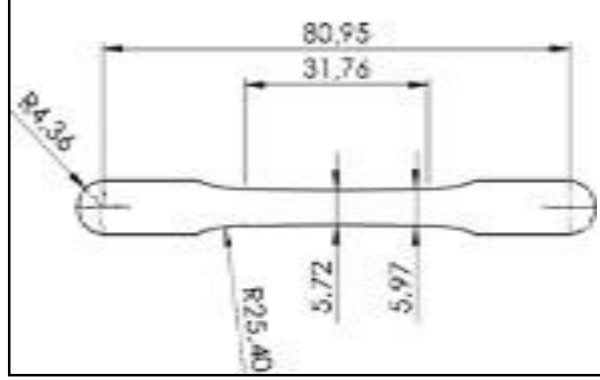


Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan a) hassas terazi, b) turbula cihazı görüntüleri.



Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan basınçlı kalıplama cihazı.

Çalışmada oluşturulan numunelerin ölçüleri Şekil 4.4' te gösterilmiştir. Şekil 4.5' de ise çalışmada hazırlanan numune örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çalışmada hazırlanan numune ölçüleri.



Şekil 4.5. Çalışmada hazırlanan numuneler.

Numuneler hazır hale getirildikten sonra sırasıyla yoğunluk ölçümü, çekme testi, aşınma testi, sertlik testi ve SEM analizi yapılmıştır.

### 4.3. KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ

#### 4.3.1. Yoğunluk Ölçümü

Yoğunluk ölçümleri, Karabük Üniversitesi, Demir-Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk hesabında kullanılan formül Çizelge 4.1' de gösterilmiştir. Kullanılan düzenek Şekil 4.6' da gösterilmiştir. Düzenekte alkol kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Yoğunluk hesabında kullanılan formül.

İstenilen Sonuç	Kullanılan Formül	Birim
Teorik Yoğunluk Hesaplama	$(0,91*99+2,26*1)/100$	$g/cm^3$



Şekil 4.6. RADWAG AS 220 marka analitik terazide yoğunluk ölçümü.

#### 4.3.2. Çekme Testi

Çekme deneyleri, Şekil 4.7' de gösterilen Karabük Teknoloji Fakültesi Malzeme Laboratuvarında 50 kN kapasiteli SCHIMATZU TRAPEZIUM SINGLE marka çekme cihazında 5 mm/dk. hızında çekilerek yapılmıştır.



Şekil 4.7. Tezde kullanılan çekme cihazı.

Her deney sonrasında gerilme- % gerinim diyagramları elde edilmiştir. Bu diyagramlardan numunelerin çekme dayanımı ve uzama değerleri incelenmiştir. Şekil 4.8’ de ise çekme sonucu elde edilen parçalar gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Çekme sonucu elde edilen malzemeler.

#### 4.3.3. Aşınma Testi

Aşınma testi incelemeleri, Şekil 4.9’ da gösterilen Karabük Üniversitesi, Demir-Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Numunelere UTS-10 Tribometer test cihazında Reciprocating Wear Test (ileri-geri aşınma testi) uygulanmıştır. Aşınma testini uygulamak için AISI 52100 malzeme çelik bilye kullanıldı ve strok mesafesi 10 mm tutuldu. Toplam alınan yol ise 1000 metredir. Aşınma testi standardı 100 m yol alınması yönündedir. Ancak, genellikle polimer çalışmalarında daha emin sonuçlar alınabilmesi için toplam alınan yol 1000 m olarak uygulanır. Nitekim, Topçu vd., yaptıkları çalışmadaki aşınma testlerinde 1000 m mesafe kullanmışlardır.

Uygulanan yükler ise 30 N ve 60N, kayma hızı ise 72 mm/sn. olarak belirlendi. Cihaza ait yazılım programı ile aşınma derinlikleri, sürtünme katsayıları ve sürtünme kuvvetleri hesaplandı. Çizelge 4.2’ de aşınma testi sonuçlarında kullanılan formüller gösterilmiştir.



Şekil 4.9. UTS Tribometer T10 aşınma test cihazı.

Çizelge 4.2. Aşınma testi sonuçlarında kullanılan formüller.

İstenilen Sonuç	Kullanılan Formül	Birim
Aşınma Oranı	$((\text{Alan} * \text{Aşınma Derinliği}) / \text{Mesafe}) / 1000$	$\text{mm}^3/\text{m}$
Alan	$a * b * (2/3)$	$\text{mm}^2$
Belirli Aşınma Oranı	Aşınma Oranı/ Yük	$\text{mm}^3/\text{mN}$

#### 4.3.4. Sertlik Testi

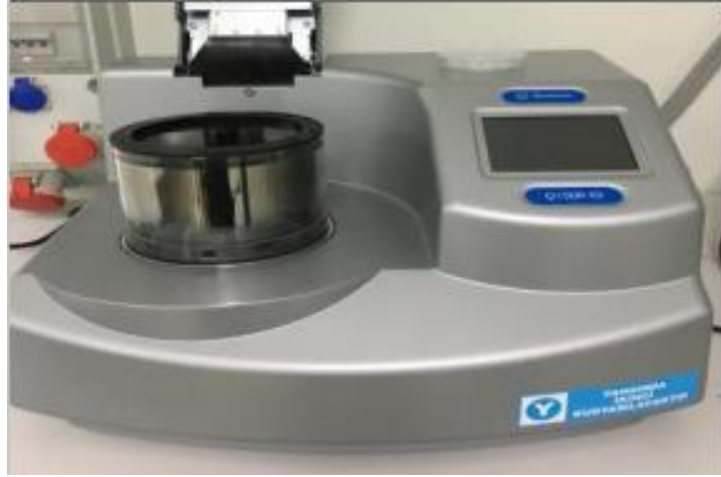
Sertlik ölçümü, Karabük Üniversitesi Demir-Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarında Brinell sertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir. Deney işleminde malzemenin sertliğini belirlemek için numune üzerinde 5 ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. Şekil 4.10' da sertlik ölçme işleminde kullanılan cihaz gösterilmiştir.



Şekil 4.10. QNESS Q250M sertlik ölçme cihazı.

#### 4.3.5. SEM Analizi

SEM analizi incelemeleri, Karabük Üniversitesi, Demir-Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Numuneleri iletken hale getirilmek için SEM analizinden önce Şekil 4.11’ de gösterilen kaplama cihazıyla Au-Pd alaşımı ile kaplanmıştır. Daha sonra SEM analizi Şekil 4.12’ de gösterilen cihaz ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.11. Deneysel çalışmada kullanılan kaplama cihazı.



Şekil 4.12. Deneysel çalışmada kullanılan SEM cihazı.



## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 5.1. MEKANİK TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

##### 5.1.1. Yoğunluk Sonuçları ve Değerlendirilmesi

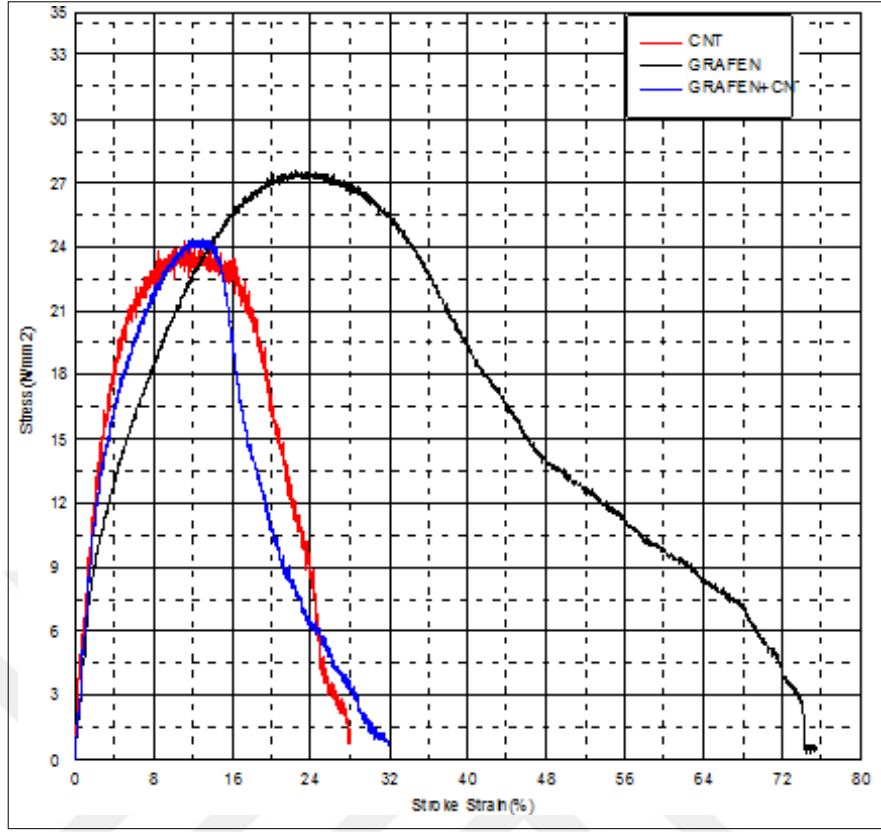
Karbon nanotüpün topaklanmasından dolayı numune içerisinde çok az miktarlarda da olsa gözenek oluşumuna neden olmuştur. Bu da CNT içeren numunelerin grafen içeren numunelere göre daha düşük yoğunluk içermesine neden olmaktadır. Ayrıca, bu gözenekler CNT içeren numunelerin mekanik özelliklerini de olumsuz etkilemiştir. Yapılan yoğunluk ölçümlerinin sonuçları Çizelge 5.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. PE/CNT, PE/GNP ve PE/GNP+CNT yoğunluk sonuçları.

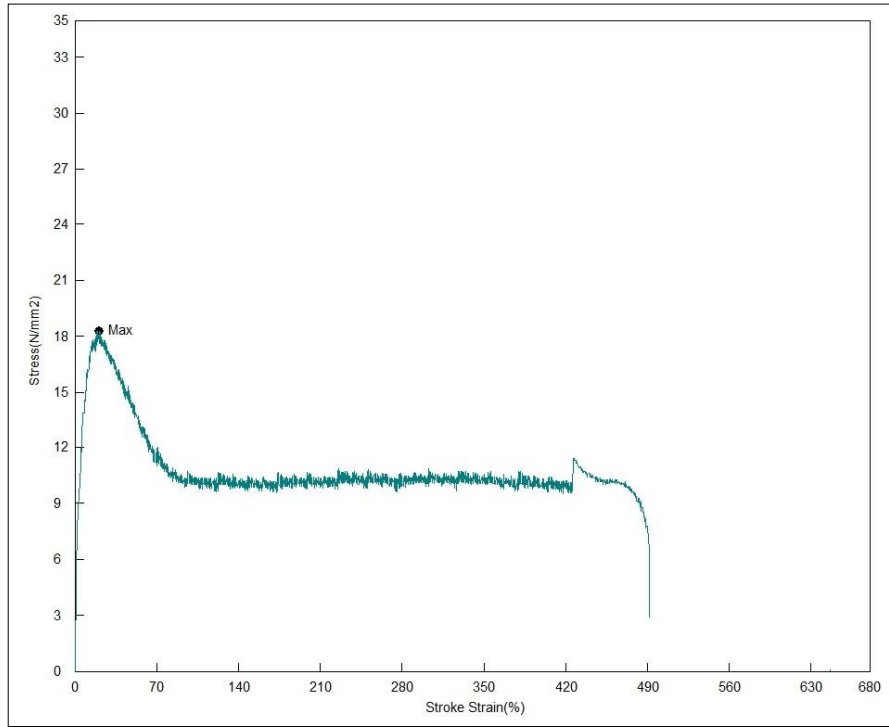
Numune	Teorik Yoğunluk	Teorik Gözeneklilik	Pratik Yoğunluk	Pratik Gözeneklilik
PE/CNT	0.9235	%0	0.915	%0,92
PE/GNP			0.920	%0,38
PE/GNP+CNT			0.902	%2,32

##### 5.1.2. Çekme Sonuçları ve Değerlendirmesi

Çalışmada kullanılan saf PE, PE/CNT, PE/GNP ve PE/CNT-GNP malzemelerinin çekme eğrileri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’ de gösterilmiştir. Çizelge 5.2’ de deneylerde kullanılan malzemelerin akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kompozitlerin çekme sonuçları.



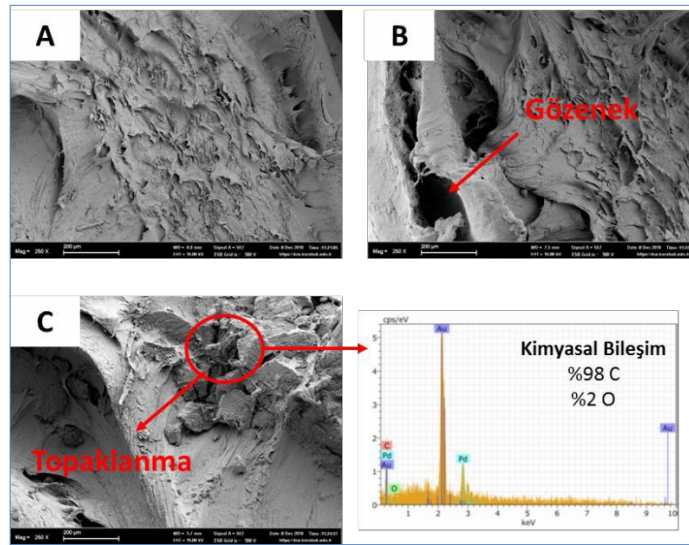
Şekil 5.2. Saf polietilenin çekme sonuçları.

Çizelge 5.2. PE, PE/CNT, PE/GNP ve PE/CNT+GNP malzemelerinin akma (YS), çekme (UTS), % uzama değerleri.

Malzeme	Akma D. (MPa)	Çekme D. (MPa)	Uzama (%)
PE	10	18	490
PE/CNT	20	23	28
PE/GNP	15	28	32
PE/CNT+GNP	18	24	75

Elde edilen değerlere göre, PE/GNP ve PE/CNT numunelerinin çekme dayanımları artmıştır. PE/GNP ile PE/CNT karşılaştırıldığında ise, grafenin CNT' ye göre çekme dayanımını daha çok arttırdığı görülmüştür. Bunun sebebi ise grafenin PE içinde CNT' ye göre daha çok homojen dağılmasıdır.

Çekme testi sonrası kırık yüzeyler incelendiğinde CNT içeren numunelerde karbon nano partiküllerinin aglomera olduğu Şekil 5.3' de görülmüştür. Bu da mekanik özellikleri olumsuz etkilemiştir. Ayrıca PE/GNP' nin görüntüsüne bakıldığında, diğer görüntülere göre gözenek ya da topaklanmaların görülmediği, homojen dağılım gösterdiği görülmektedir.

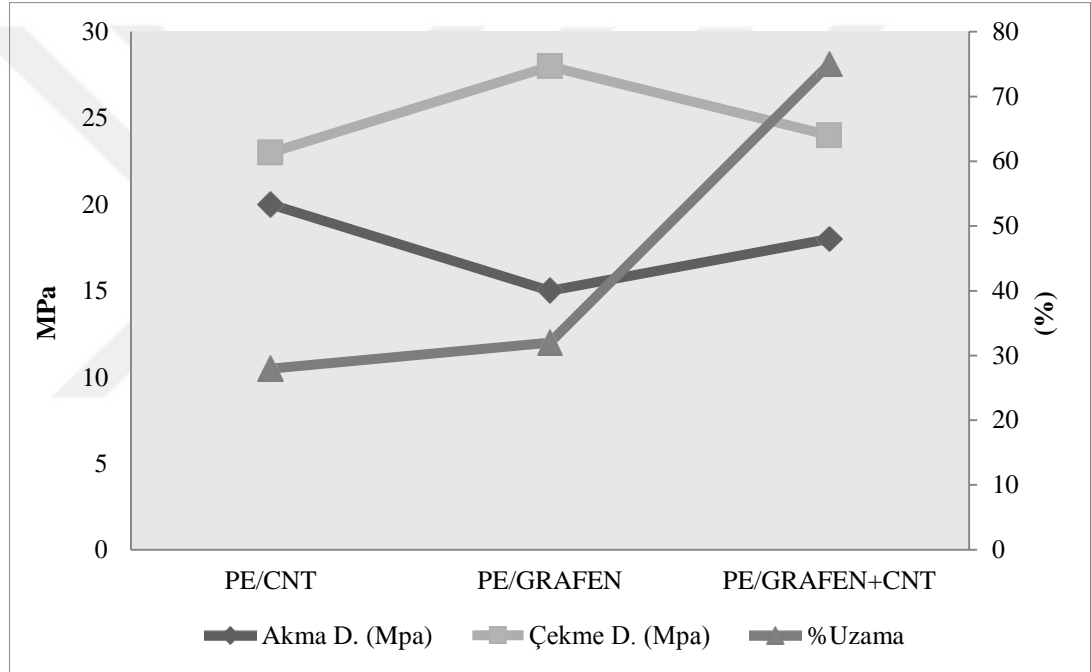


Şekil 5.3.Çekme testi sonrası kırık yüzey incelemesi. a) PE/GNP, b) PE/CNT+GNP, c) PE/CNT.

Şekil 5.3' ü incelediğimizde;

- A görüntüsünde, topaklanma ve gözenekler daha azdır. Böylelikle diğer görüntülere göre daha homojen bir görünüm vardır.
- B görüntüsünde, gözeneklerin büyük olduğu görülmüştür.
- C görüntüsünde, yoğun bir şekilde topaklanma mevcuttur. Topaklanmanın olduğu bölge incelendiğinde ise %98 karbon olduğu görülmüştür.

Kullanılan malzemelerin mekanik test sonuçlarının grafik ile gösterimi Şekil 5.4' de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Çekme, akma ve uzama sonuçlarının grafik ile gösterimi.

Literatürdeki çalışmalar elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Nitekim Öner vd. [30], yaptıkları çalışmada dokuma cam kumaş ve epoksi kompozit malzemelerde, epoksi reçine içerisine farklı oranlardaki karbon nanotüp ilavesinin, çekme ve eğilme dayanımına olan etkisini karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre karbon nanotüp ilave edilen malzemenin çekme dayanımlarında ve elastisite modüllerinde artış gözlemlenmiştir. En fazla artışın ise ağırlıkça %0,5 oranında karbon nanotüp ilavesiyle oluşturdukları malzemede gözlemlenmiştir. Katkısız numunelerde elastisite modülü 33 GPa ve çekme dayanımı 410 MPa iken, ağırlıkça %0,5 ilaveli

karbon nanotüp ile oluşturulan kompozit malzemede elastisite modülü 38 GPa ve çekme dayanımını 600 MPa sonucunu elde etmişlerdir.

Öner vd. CNT içeren kompozitlerin çekme dayanımlarını arttırdığı yönündeki sonuçları ile yapılan bu çalışmada CNT ve grafen içeren kompozitlerin çekme dayanımlarını arttırdığı görülerek paralellik göstermektedir.

### 5.1.3. Sertlik Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Çizelge 5.3' e bakıldığında deneylerde kullanılan malzemelerin, saf polietilene göre sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre PE/GNP' nin sertlik oranı, PE/CNT' nin sertlik oranına göre daha çok artış göstermiştir. Saf polietilene göre %370 artmıştır. Bunun sebebi ise PE/GNP' nin polietilen içinde PE/CNT' ye göre daha çok homojen dağılmasıdır.

Çizelge 5.3. Sertlik testi sonuçları.

Numune	Sertlik (Brinell)
PE	2
PE/CNT	7,1
PE/GNP	7,4
PE/CNT+GNP	6,7

Literatürdeki çalışmalar elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Nitekim Öztop vd. [31], atık alüminyum içecek kutularından elde ettikleri matrise farklı ağırlıklarda grafen takviyesi yaparak karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit malzemeler elde etmişlerdir. Üretilen kompozit malzemelere bakıldığında ise grafen ilavesinin malzemenin sertliğini arttırdığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca grafen takviyeli kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntülerini incelediklerinde grafenin homojen bir dağılım gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

### 5.1.4. Aşınma Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

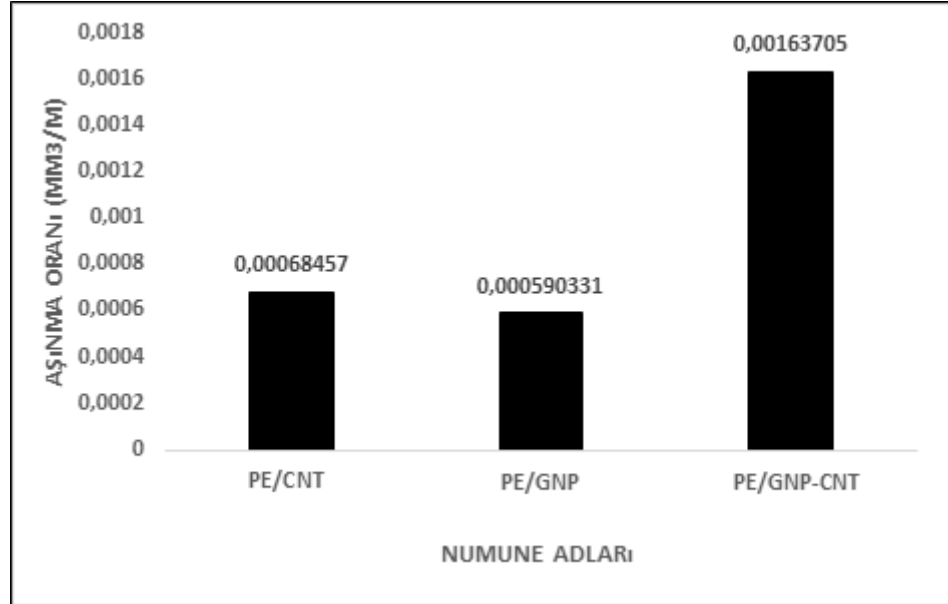
Elde edilen PE/CNT, PE/GNP ve PE/CNT-GNP malzemelerinin aşınma sonuçları Çizelge 5.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Deneyde kullanılan malzemelerin aşınma deneyi sonuçları.

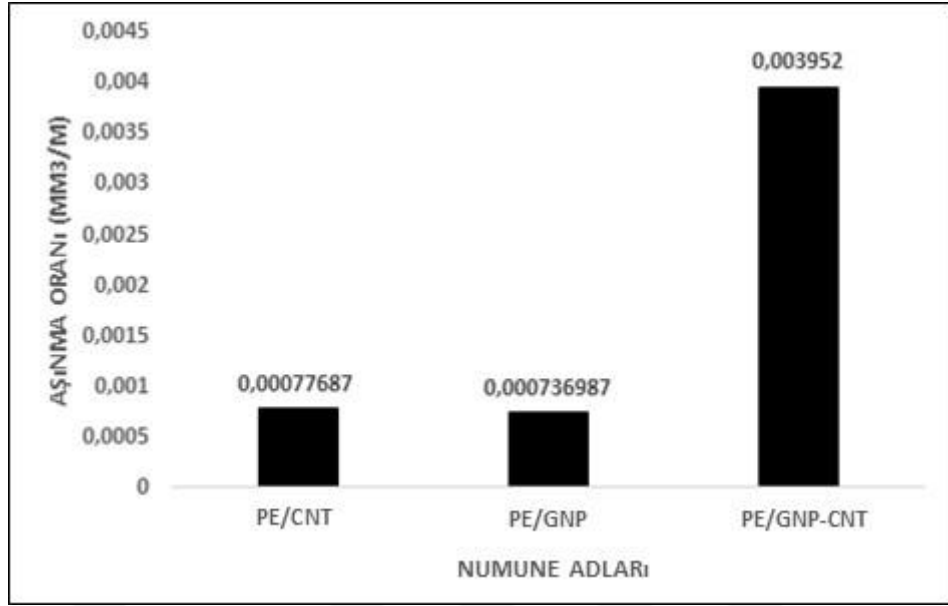
Bileşen	Yük (N)	Aşınma Oranı (mm <sup>3</sup> /m)	Alan (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	b (mm)	Mesafe (m)	Belirli Aşınma Oranı (mm <sup>3</sup> /mN)	Aşınma Derinliği (µm)
PE/CNT	30	0,00068457	9,973333333	6,8	2,2	1000	2,2819E-05	68,64
	60	0,00077687	7,68	4,8	2,4	1000	1,29478E-05	101,155
PE/GNP	30	0,000590331	4,736666667	4,9	1,45	1000	2,95165E-05	124,63
	60	0,000736987	8,16	4,8	2,55	1000	3,68493E-05	90,317
PE/GNP-CNT	30	0,00163705	12,083333333	7,25	2,5	1000	8,18525E-05	135,48
	60	0,003952	20,266666667	4	7,6	1000	0,0001976	195

Uygulanan yüklere göre aşınma oranlarının grafik ile gösterimi şekillerle gösterilmiştir. Şekil 5.5' de 30N' luk yük uygulanan numuneler, Şekil 5.6' de ise 60 N' luk yük uygulanan numunelerin grafik ile gösterimi verilmiştir.

Uygulanan 30 ve 60 N' luk yükler sonucu kırık yüzeyde aşınmaları incelenerek Şekil 5.7' de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. 30N yük uygulanan numunelerin aşınma grafikleri.



Şekil 5.6. 60N yük uygulanan numunelerin aşınma grafikleri.

NUMUNE	UYGULANAN YÜK	
	30 N	60 N
PE/GNP		
PE/CNT		
PE/GNP-CNT		

Şekil 5.7. Aşınma yüzeyinin incelenmesi.

Kuvvet arttığında, aşınma izlerinin genişlediği görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.7 incelendiğinde parça kopması olan abrasif aşınma görülmektedir.

Aşınma sonuçları ile sertlik sonuçları arasında paralellik vardır. Malzemenin sertliği yükseldikçe aşınmaya karşı direnci de artmaktadır. Literatüre de bakıldığında Yılmaz [32], saç şekillendirme kalıplarında kullanılan malzemelerin tribolojik özelliklerini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda, deney malzemeleri içerisindeki en sert malzemesinin en çok aşınma direncine sahip bir malzeme olduğunu belirtmiştir.

Raffle vd. [33], yaptıkları çalışmaya bakıldığında epoksi nanokompozitlere grafin tromposit ve CNT takviyesi yapılarak mekanik özelliklerinin gelişimi hakkında inceleme yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre grafin trompositlerin, CNT' ye göre young modülü, mukavemet, kırılma dayanıklılığı, yorulma direnci gibi mekanik özellikleri kıyaslandığında önemli ölçüde üstün özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Mittal vd. [34], yaptıkları çalışmada polimer nanokompozite takviye dolgu maddesi olarak CNT ve grafen ilavesi yapılmıştır. Matrisin mekanik ve elektriksel özelliklerindeki değişiklikler gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ise CNT dolgulu malzemelerde aglomerasyona bağlı olarak mekaniksel ve elektriksel özelliklerinde zayıf kaldığı, ancak grafende daha iletken ve mekanik özelliklerinin iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Varol ve Canakci [35], yaptıkları çalışmada ılık presleme ve sinterleme yöntemi ile farklı oranlarda CNT kullanarak Cu-CNT kompozitleri elde etmişlerdir. Elde ettikleri bu kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Sonuç olarak ise Cu-CNT kompozitlerinde, saf bakıra kıyasla yoğunluğun düştüğünü ve kompozit içerisindeki CNT oranının arttıkça sertliğin azaldığını belirtmişlerdir. Buna sebep olarak ise parçacık sınırlarındaki gözeneklilikleri ve topaklanmaları gösterilmişlerdir.

Nitekim yapılan bu deneysel çalışmada GNP ilave edilen malzemenin Brinell sertliği 7,4 iken CNT+GNP ilave edilen malzemenin 6,70'tir. Aynı malzemelerin aşınma oranına bakıldığında 0,000500331 ve 0,00163705 mm<sup>3</sup>/m'dir. Bu sonuçlara göre



sertliği düşük olan CNT+GNP ilave edilen malzeme daha azla aşınmaya maruz kalmıştır. Sonuçlar Yılmaz'ın yaptığı çalışmayı destekleyerek en sert malzemenin en çok aşınma direncine sahip olduğunu göstermektedir.



## 5.2. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.2.1. Genel Sonuçlar

Çalışmanın deneylerinden ve incelemelerinden varılan başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1) Polietilen matrisli karbon nano partikükl takviyeli nanokompozitler basınçlı kalıplama yöntemiyle başarılı olarak üretilmiştir.
- 2) Polietilene Grafen ve CNT ilavesi çekme dayanımını arttırmıştır. Ancak karşılaştırma yapıldığında grafende CNT' ye göre daha çok artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise, katı-katı karıştırma sırasında CNT' nin van der Waals bağlarından topaklanma oluşturmalarıdır. Çekme testi sonrası kırık yüzler incelendiğinde CNT içeren numunelerde karbon nano partiküllerinin aglomera olduğu görülmüştür. Grafen PE içinde CNT' ye göre daha homojen dağılmıştır.
- 3) Karbon nanotüpün topaklanmasından dolayı karbon nanotüp içeren numunelerde gözenek oluşumu görülmüştür. Bu da CNT içeren numunelerin grafen içeren numunelere göre daha düşük yoğunluk içermesine neden olmaktadır. Ayrıca, bu gözenekler CNT içeren numunelerin mekanik özelliklerini de olumsuz etkilemiştir.
- 4) Sertlik sonuçlarından elde edilen değerlere bakıldığında grafen, CNT' ye göre daha çok artış göstermiştir. PE/GNP % 370 artmış, PE/CNT % 355 artmış, PE/CNT-GNP % 335 artış göstermiştir.
- 5) Aşınma sonuçlarına bakıldığında, uygulanan yükün artması ile aşınma oranları da artmıştır. Özellikle PE/GNP-CNT' de aşınma oranının iki katından fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, topaklanma ve gözenek miktarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Numunelerin aşınma direnci, sertlikleriyle de doğru orantılı olarak büyükten küçüğe sıralandığında PE/GNP, PE/CNT, PE/GNP-CNT şeklinde olmaktadır.

6) Sonuç olarak, PE matris içerisine grafen takviyesi daha pozitif ve mekanik özellikleri CNT' ye göre daha iyi sonuç göstermiştir. Her ikisi bir arada kullanıldığında ise en olumsuz sonuçlar alınmıştır.

### **5.2.2. Öneriler**

- 1) Üretilen grafen, mekanik özellikler üzerinde CNT' ye göre daha etkin sonuç göstermiştir. CNT' nin etkisini arttırmak için katı-katı karıştırmanın yerine çözelti içinde karıştırmanın daha etkin olacağı düşünülmektedir.
- 2) Nano kompozitlerdeki gözenek miktarı oldukça düşüktür. Ancak ısı yalıtımı basınçlı kalıplama yönteminde problem çıkarmaktadır. Dolayısıyla, bu gözenek miktarı plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak daha da giderilebileceği düşünülmektedir.
- 3) Üretilen grafen içeren nano kompozitlerin, korozyon direnci isteyen ve aşınan yüzeylerde kullanılabileceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. İnkaya, S., “Dünya’da ve Türkiye’de Kompozit Sektörü”, *Mühendis ve Makina*: 52(613), 31-34, (2015).
2. Bulut, M., “Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Bitirme Projesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-25 (2014).
3. Yıldızhan, H., “Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 1-42, (2008).
4. Şenel, M.C., Gürbüz, M. ve Koç, E., “Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler”, *Mühendis ve Makina*:56(669), 44-47. (2015).
5. Topçu, İ., Güllüoğlu, A.N., Bilici, M.K. ve Gülsoy, H.Ö., “Karbon Nanotüp Takviyeli Ti-6Al-4V/KNT Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi.”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Sayfa:2-8, (2018).
6. Kaya, A.İ., “Kompozit Malzemeler ve Özellikleri”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O.*, (2016).
7. Onat, A., “Kompozit Malzemeler Ders Notu”, *Sakarya Üniversitesi Makine ve Teknolojileri Bölümü*, Sakarya, (2015).
8. Zor, M., “Kompozit Malzemelerle İlgili Genel Bilgiler Ders Notu”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, (2018).
9. Kalemtaş, A., “Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış”, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, (2014).
10. Akdoğan, Eker A., “Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri Ders Notu”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi*, İstanbul, (2008).
11. Odabaşı, Ç., “Toz Metalurjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Bakır İlavesinin Mikroyapı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği*, Karabük, 1-36, (2017).
12. Altuner, H.M., “Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Difüzyonla Birleştirilmesi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri*, İstanbul, 5-40, (2011).

13. Akdoğan, Eker A., “Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri Ders Notu”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi*, İstanbul, (2008).
14. Sönmez, M., “Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye’ den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi*, (2009).
15. Evcin, A., “Polimerin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri Ders Notu”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Afyon, (2017).
16. Salih, A., “Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması Ders Notu”, *Erzurum Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Erzurum, (2017).
17. Evcin, A., “Polimer Malzemeler Ders Notu”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Afyon, (2017).
18. Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, Ankara, (2015).
19. İnternet: PAGEV, “Mühendislik plastikleri”, <https://www.pagev.org/muhendislik-plastikleri>.
20. Callister, W., Rethwisch, D., Genel, K., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği” s: 570-600, (2015).
21. İnternet: Aldemir Plastik Demir & Makine San. Tic., <https://www.aldemirltd.com/polymer>.
22. Karaarslan, Ö., “Mühendislik Plastikleri”, *RDG Bilgi ve Üretim Teknolojileri*, <http://www.turkcadcam.net/rapor/muh-plastikleri/index.html>, (2007).
23. Erbaş, Ö., “Karbon Fiber Nedir?”, *Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği*, Bursa, (2017).
24. İnternet: “Karbon Elementi ve Nanoteknolojideki Yeri”, <http://www.kuark.org/2012/08/karbon-elementi-ve-nanoteknolojideki-yeri/>.
25. İnternet: “Grafenin özellikleri”, <https://www.muhendisbeyinler.net/grafenin-ozellikleri/>.
26. İnternet: “Grafen nedir? Nasıl üretilir? Grafen nerelerde kullanılır?” <https://malzemebilimi.net/grafen-uretimi-ve-kullanim-alanlari.html>.
27. Vural, M., “Plastikleri Şekillendirme Yöntemleri Ders Notu” *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, İstanbul, (2015).

28. Yıldırım, B., “Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretimi”, **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Gaziantep.**
29. Otabatmaz, A.İ., “Kompozit Malzemeler- Üretim Yöntemleri- Ürünler – Uygulamalarda Yaşanan Sorunlar ve Çözümler”, TEMSA, 42-62, İzmir, (2006).
30. Öner, G., Ünal H.Y. ve Pekbey, Y., “Karbon Nanotüp Katkılı Camlı-Epoksi Kompozitlerin Termal ve Eğilme Özelliklerinin Araştırılması.”, **Mühendislik Dergisi:** 8(4), 805-810, (2017).
31. Öztop. B., Gürbüz, M., “Atık Alüminyumdan Elde Edilen Matrise Grafen Takviyesiyle Üretilen Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi”, **IJMSIT:** 1(1), 4-8, (2017).
32. Yılmaz, İ.Ö., “Otomotiv Sac Şekillendirme Kalıplarında Kullanılan Malzemelerin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2012).
33. Raflee, M.A, Raflee J., Wang, Z., Song, H., Zhong, Z.Y., Koratkor N., “Enhanced Mechanical Properties of Nanocomposites at Low Graphene Content” , **American Chemical Society:** 3(12), 3884-3890, (2009).
34. Mittal, G., Dhand, V., Rhee, K.Y., Park, S.J., Lee, W.R., “A Review On Carbon Nanotubes and Graphene As Fillers In Reinforced Polymer Nanocomposites.”, **Journal of Industrial and Engineering Chemistry** 21, 11-25, (2015).
35. Varol, T., Canakci, A., “Effect of the CNT Content on Microstructure, Physical and Mechanical Properties of Cu-Based Electrical Contact Materials Produced by Flake Powder Metallurgy.”, **Arab J. Sci. Eng:** 40(9), 2711-2720,(2015).

## ÖZGEÇMİŞ

Özge KAYABAŞ, 1992 yılında Eskişehir’de doğdu; ilköğrenimini Yenimahalle İlkokulu’nda, lise öğrenimini Sarısu Lisesi’nde tamamladı. 2011 yılında Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2015 yılında buradan mezun oldu. Lisansüstü eğitimini Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı’ndan 2019 yılında eğitimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Çayırova Mahallesi Ali Haydar Efendi Caddesi 5201 Sevgi APT.  
No: 19/8 Çayırova/KOCAELİ.  
Tel : (538) 507 59 21  
E-posta : ozge.kayabas@gmail.com