

**YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞÜK SICAKLIKTA YÜKSEK DARBE DAYANIMINA SAHİP CAM VE  
KARBON ELYAF TAKVİYELİ İLETKEN POLİAMİD 6 VE POLİAMİD 66  
KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kübra KARABACAK**

**Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Polimer Mühendisliği Programı**

**EYLÜL 2018**



**YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞÜK SICAKLIKTA YÜKSEK DARBE DAYANIMINA SAHİP CAM VE  
KARBON ELYAF TAKVİYELİ İLETKEN POLİAMİD 6 VE POLİAMİD 66  
KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kübra KARABACAK  
(155101006)**

**Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Polimer Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. HAMİT ERDEMİ**

**EYLÜL 2018**



YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 155101006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Kübra KARABACAK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DÜŞÜK SICAKLIKTA YÜKSEK DARBE DAYANIMINA SAHİP CAM VE KARBON ELYAF TAKVİYELİ İLETKEN POLİAMİD 6 VE POLİAMİD 66 KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** Doç. Dr. Hamit ERDEMİ  
Yalova Üniversitesi



**Jüri Üyeleri :** Doç. Dr. Hamit ERDEMİ  
Yalova Üniversitesi



Doç. Dr. Mehmet Atilla TAŞDELEN  
Yalova Üniversitesi



Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI  
İstanbul Üniversitesi



**Teslim Tarihi : 24.07.2018**  
**Savunma Tarihi : 07.09.2018**





*Sevgili eşime ve kardeşlerime,*





## ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışması, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nın desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen ve bilgi ve tecrübesi ile bana her konuda yardımcı olan tez hocam sayın Doç. Dr. Hamit ERDEMİ'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmamı değerlendiren jüri üyesi hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca gerekli imkanları bana sağlayan ve her konuda desteklerini esirgemeyen firmam EPSAN Plastik ailesine ve birlikte çalıştığım çok değerli ekip arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince, destekliğini esirgemeyerek yanımda olan sevgili eşime göstermiş olduğu hoşgörü için çok teşekkür ederim.

Eylül 2018

Kübra KARABACAK  
(Polimer Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEORİK BİLGİ .....</b>	<b>3</b>
2.1 Poliamid .....	3
2.1.1 Poliamid 6 .....	8
2.1.2 Poliamid 6,6 .....	13
2.1.3 Poliamidlerin Genel Özellikleri .....	15
2.1.3.1 Kimyasal dayanım.....	15
2.1.3.2 Hava dayanımı .....	16
2.1.3.3 Elektriksel özellikleri .....	16
2.1.3.4 Optik özellikleri .....	17
2.1.3.5 Yanabilirlik .....	17
2.1.3.6 Termal özellikler .....	17
2.1.3.7 Uzun vadeli özellikler .....	17
2.2 Katkılı Poliamidlerin Özellikleri .....	18
2.3 Elektriksel İletkenlik .....	20
2.3.1 Çeşitli malzemelerin iletkenliği .....	21
2.3.2 Dolgu maddelerinin kombinasyonlarının sinerjik etkisi.....	22
2.3.3 Perkolasyon teorisi ve elektrik iletkenliği .....	23
2.3.4 Elektriksel iletkenliği etkileyen faktörler.....	27
2.3.5 Elektriksel iletkenlik modelleri .....	28
2.3.5.1 İstatiksel perkolasyon modelleri .....	28
2.3.5.2 Termodinamik perkolasyon modelleri .....	29
2.3.5.3 Geometrik perkolasyon modelleri.....	31
2.3.5.4 Yapıya dayalı perkolasyon modelleri.....	31
2.3.6 Elektriksel iletkenlik için kullanılan bazı katkı malzemeleri.....	32
<b>3. DENEYSEL KISIM.....</b>	<b>35</b>
3.1 Malzemeler.....	35
3.1.1 Poliamid 6 ve Poliamid 6,6 .....	35
3.1.2 Cam elyaf .....	36
3.1.3 Karbon elyaf.....	36
3.1.4 Geri dönüştürmüş karbon elyaf.....	37
3.1.5 İletken karbon siyahı katkı karışım.....	38
3.1.6 Grafit .....	38

3.1.7 Kalsiyum stearat .....	39
3.1.8 Antioksidanlar .....	39
3.1.9 EBS wax .....	40
3.2 Makinalar .....	40
3.2.1 Ekstrüder makinası .....	40
3.2.2 Enjeksiyon makinası .....	41
3.3 İletken Polimer Karışımlarının Hazırlanması .....	41
3.4 İletken Polimer Karışımlarının Kalıplanması .....	43
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>47</b>
4.1 Mekanik Özellikler .....	47
4.1.1 Çekme-kopma testi ve sonuçları .....	47
4.1.2 Darbe dayanımı testi ve sonuçları .....	52
4.2 İletkenlik Özellikleri .....	59
4.3 Karışımların SEM Analizleri .....	63
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>73</b>

## KISALTMALAR

<b>PA 6</b>	: Poliamid 6
<b>PA 6,6</b>	: Poliamid 6,6
<b>KE</b>	: Karbon elyaf
<b>g-KE</b>	: Geri dönüştürülmüş karbon elyaf
<b>Te</b>	: Erime noktası
<b>Tg</b>	: Camsı geçiş sıcaklığı
<b>EPDM</b>	: Etilen propilen dien monomeri
<b>PAN</b>	: Poliakrilonitril
<b>ESD</b>	: Elektrostatik yayılım
<b>EMI</b>	: Elektromanyetik dalga enterferansı
<b>EBS</b>	: Etilen bisstearamid



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Bazı poliamid türlerinin kimyasal yapıları ve erime noktaları.....	6
Çizelge 2.2 : Poliamid 6'nın temel özellikleri (a).....	10
Çizelge 2.2 : Poliamid 6'nın temel özellikleri (b) .....	11
Çizelge 2.3 : Poliamid 6,6'nın tribolojik özellikleri .....	14
Çizelge 2.4 : Poliamidlerin kimyasal dayanımı .....	15
Çizelge 2.5 : Poliamidlerin neden ve nasıl modifiye edildiğinin özeti.....	18
Çizelge 2.6 : Elyaf takviyesinin fayda ve deavantajları .....	19
Çizelge 2.7 : İletken Poliamid 6,6 için deneme sonuçları .....	23
Çizelge 3.1 : Poliamid 6'nın teknik özellikleri.....	36
Çizelge 3.2 : Poliamid 6,6'nın teknik özellikleri.....	36
Çizelge 3.3 : Birinci kalite karbon elyafın teknik özellikleri.....	37
Çizelge 3.4 : İletken karbon siyahı katkılı karışıma ait teknik özellikler .....	38
Çizelge 3.5 : İletken poliamid karışımları için belirlenen formülasyonlar.....	42
Çizelge 3.6 : İletken poliamid karışımları için karışım şartları (a).....	44
Çizelge 3.6 : İletken poliamid karışımları için karışım şartları (b) .....	45
Çizelge 3.7 : İletken poliamid karışımları için enjeksiyon parametreleri (a) .....	46
Çizelge 3.7 : İletken poliamid karışımları için enjeksiyon parametreleri (b) .....	46
Çizelge 4.1 : Hazırlanan karışımlara ait kopma mukavemeti sonuçları .....	52





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Alifatik ve aromatik poliamidlerin genel kimyasal yapısı .....	6
Şekil 2.2 : Para aramid yapısı .....	7
Şekil 2.3 : Kaprolaktamın kimyasal yapısı .....	8
Şekil 2.4 : Poliamid 6 sentezi .....	9
Şekil 2.5 : PA 6,6 sentezinde kullanılan monomerler .....	13
Şekil 2.6 : PA 6,6 kimyasal yapısı .....	13
Şekil 2.7 : PA 6'nın modifikasyonu ile darbe dayanımındaki değişim [8] .....	20
Şekil 2.8 : Birbirine bağlı kanallar ağı olarak modellenen gözenekli bir ortamın Perkolasyonu .....	24
Şekil 2.9 : Kare kafesler ve noktalar tarafından isgal edilmiş kareler .....	25
Şekil 2.10 : Elektriksel iletkenliğin dolgu maddesi hacim fraksiyonu üzerine bağımlılığı .....	26
Şekil 3.1 : Birinci kalite karbon elyaf .....	37
Şekil 3.2 : Geri dönüştürülmüş karbon elyafın fiziksel yapısı .....	38
Şekil 3.3 : Antioksidan 168'in kimyasal yapısı .....	39
Şekil 3.4 : Antioksidan 1098'in kimyasal yapısı .....	39
Şekil 3.5 : Karışımlarda kullanılan ekstrüder makinası .....	40
Şekil 3.6 : Enjeksiyon makinası .....	41
Şekil 4.1 : Çekme kopma test çubuğu .....	47
Şekil 4.2 : Gerilim-gerinim eğrisi .....	48
Şekil 4.3 : Çekme-kopma test cihazı .....	49
Şekil 4.4 : Karbon elyaf ile hazırlanan karışımlara ait elastisite modülü değerleri ...	49
Şekil 4.5 : Grafit ile hazırlanan karışımlara ait elastisite modülü değerleri .....	50
Şekil 4.6 : İletken karbon siyahı katkılı karışım ile hazırlanan karışımlara ait elastisite modülü değerleri .....	50
Şekil 4.7 : İletken katkıların kombinasyonu ile hazırlanan karışımlara ait elastisite modülü değerleri .....	50
Şekil 4.8 : %10 cam elyaf ile takviyelendirilmiş PA 6 formülü üzerine eklenen farklı oranlardaki orijinal karbon elyaf ve geri dönüştürülmüş karbon elyafa ait elastisite modülü karşılaştırması .....	51
Şekil 4.9 : Darbe testinin temel prensibi .....	53
Şekil 4.10 : Charpy darbe testi plakası .....	53
Şekil 4.11 : Darbe testi cihazı .....	54
Şekil 4.12 : Karbon elyaf ile hazırlanan karışımlara ait 23°C'deki çentiksiz Charpy değerleri .....	54
Şekil 4.13 : Grafit ile hazırlanan karışımlara ait 23°C'deki çentiksiz Charpy değerleri .....	55
Şekil 4.14 : İletken karbon siyahı katkılı karışım ile hazırlanan karışımlara ait 23°C'deki çentiksiz Charpy değerleri .....	55

<b>Şekil 4.15</b> : İletken katkıların kombinasyonu ile hazırlanan karışımlara ait 23°C'deki çentiksiz Charpy değerleri .....	55
<b>Şekil 4.16</b> : 23°C'deki çentikli Izod değerlerine cam elyaf ve karbon elyaf miktarlarının etkisi .....	56
<b>Şekil 4.17</b> : Karbon elyaf ile hazırlanan karışımlara ait -40°C'deki çentiksiz Charpy değerleri .....	57
<b>Şekil 4.18</b> : Grafit ile hazırlanan karışımlara ait -40°C'deki çentiksiz Charpy değerleri .....	57
<b>Şekil 4.19</b> : İletken karbon siyahı katkılı karışım ile hazırlanan karışımlara ait -40°C'deki çentiksiz Charpy değerleri .....	58
<b>Şekil 4.20</b> : İletken katkıların kombinasyonu ile hazırlanan karışımlara ait -40°C'deki çentiksiz Charpy değerleri .....	58
<b>Şekil 4.21</b> : Elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı .....	59
<b>Şekil 4.22</b> : İletkenlik test ölçüm plakası .....	60
<b>Şekil 4.23</b> : Karbon elyaf ile hazırlanan karışımlara ait yüzey direnci değerleri.....	60
<b>Şekil 4.24</b> : Grafit ile hazırlanan karışımlara ait yüzey direnci değerleri .....	61
<b>Şekil 4.25</b> : İletken karbon siyahı katkılı karışımlar ile hazırlanan karışımlara ait yüzey direnci değerleri.....	61
<b>Şekil 4.26</b> : İletken katkıların kombinasyonu ile hazırlanan karışımlara ait yüzey direnci değerleri .....	61
<b>Şekil 4.27</b> : %10 cam elyaf ile takviyelendirilmiş PA 6 formülü üzerine eklenen farklı oranlardaki orijinal karbon elyaf ve geri dönüştürülmüş karbon elyafın yüzey direnci üzerindeki etkisi .....	63
<b>Şekil 4.28</b> : Karbon elyaf takviyeli karışımların 1000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri a) D3 b) D4 c) D5 d) D6 e) D7 f) D8.....	65
<b>Şekil 4.29</b> : Karbon elyaf takviyeli karışımların 2000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri a) D3 b) D4 c) D5 d) D6 e) D7 f) D8.....	66
<b>Şekil 4.30</b> : Grafit ve iletken karbon siyahı katkılı karışım takviyeli örneklerin 1000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri a) D13 b) D17 c) D21 d) D22 .....	67
<b>Şekil 4.31</b> : Grafit ve iletken karbon siyahı katkılı karışım takviyeli örneklerin 2000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri a) D13 b) D17 c) D21 d) D22 .....	67

# DÜŞÜK SICAKLIKTA YÜKSEK DARBE DAYANIMINA SAHİP CAM VE KARBON ELYAF TAKVİYELİ İLETKEN POLİAMİD 6 VE POLİAMİD 66 KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI

## ÖZET

Poliamidler, mühendislik polimerleri içinde birçok farklı uygulamada kullanılırlar. Poliamidlerin en karakteristik özellikleri; yıpranmaya ve aşınmaya karşı dirençli olmaları, yüksek sıcaklıklarda bile iyi mekanik özelliklere, düşük gaz geçirgenliğine sahip olmaları ve kimyasallara karşı dirençli olmalarıdır. Bazı uygulamalarda cam parçacıklar ya da elyaflarla güçlendirilen poliamid kompozitler, daha yüksek yapısal mukavemet, darbe dayanımı ve sertlik sunarlar. En çok kullanılan poliamid olan poliamid 6 ve poliamid 6,6 benzer özelliklere sahip olsalar da farklı erime noktasına sahiptirler (poliamid 6- 223°C, poliamid 6,6'-255°C). Poliamidler genellikle tamamen yalıtkan malzemelerdir. Yapılan çalışma hali hazırda otomotivden elektroniğe kadar birçok sektörde kullanılabilen elyaf takviyeli poliamid esaslı iletken polimer kompozit malzeme teknolojilerine yöneliktir. İletken polimerler günümüzde yaygın bir kullanım alanı bulmakla birlikte bu alanda yeni ve özgün çalışmalarla birlikte daha da yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada standart tip iletken, yarı iletken ve antistatik özellikli temel ürün grupları yerine otomotiv endüstrisi, dişli ve mil uygulamaları başta olmak üzere polimer malzemeler açısından zorlayıcı koşullarda da yüksek darbe dayanımı gösterebilecek ve iletkenlik özelliğini koruyabilecek, kompozit yapıları bir malzemenin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda polimer malzeme olarak yüksek mukavemet için poliamid (PA) ve elektrik iletkenliğini sağlamak için karbon siyahı, grafit, karbon elyaf ve geri dönüştürülmüş karbon elyaf kullanılmıştır. Standart tip uygulamalardan farklı olarak elde edilen kompozitler düşük sıcaklıklarda da (-40°C) yüksek darbe dayanımı göstermiştir. Çift vidalı ekstrüder ile gerekli karışım hazırlandı ve enjeksiyon ile gerekli test plakaları basıldı. Malzemelerin mekanik özellikleri çekme-kopma testi ve darbe testi ile incelendi. Çalışmada en yüksek elastisite modülü ve kopma mukavemeti değerleri %30 karbon elyaf ilavesi ile elde edildi. -40 °C'de ölçülen darbe değerlerinde en iyi sonuç %30 cam elyaf ve %10 grafit kombinasyonu ile hazırlanan karışımda sağlandı. Elektrik iletkenliği için karışımların yüzey direnci Kethyle marka cihaz ile ölçüldü. İletkenlik için gerekli olan en düşük yüzey direnci değeri 10<sup>2</sup> ohm olarak %30 karbon elyaf ilavesinde görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Poliamid, Poliamid karışımlar, İletken polimerler, Elektriksel iletkenlik, Elektriksel iletken karışımlar



## **PARATION OF CARBON AND GLASS FIBER REINFORCED ELECTRICAL CONDUCTING POLYAMIDE 6 AND POLYAMIDE 66 WITH HIGH IMPACT RESISTANCE AT LOW TEMPERATURES**

### **SUMMARY**

Synthetic polyamides, among the engineering plastics, are used in many applications. The main characteristics of polyamides are high abrasion resistance, good mechanical properties even at high temperatures, low gas permeability and chemical stability. In some applications, nylon composites reinforced with glass particles or fibers and show higher structural resistance, impact resistance and hardness. Although the most used polyamides, polyamide 6 and polyamide 6,6 exhibit similar properties, they have different melting points (polyamide 6- 223°C, polyamide 6,6'-255°C). In general, polyamides are completely insulators. The present work aims at conducting polymer composites technology based on fiber-reinforced polyamides, which are used from automotive industry to electronics. While conducting polymers are used widely recently, it becomes more widespread with new and unique works. In this work, our purpose was to develop a material, which can show high impact resistance and conductivity even at very hard conditions for polymeric materials, such as gear and mile application instead of standard type conductors, semiconductors and antistatic materials. In this scope, polyamide (PA) was used as a high strength polymer material. Carbon black, graphite, carbon fiber, and recycled carbon fibers were used to provide electrical conductivity. Composites obtained differently from standard type applications showed high impact resistance at low temperatures (-40°C). The required mixture was prepared with double screw extruder and the required test plates were molded by injection. Mechanical properties of materials have been studied by tensile test and impact test. In the study, the highest elasticity module and the tensile strength at break values were obtained with 30% carbon fiber addition. The best result was measured in the mixture prepared with a combination of 30% glass fiber and 10% graphite at -40°C. For electrical conductivity, surface resistance of the mixtures is measured by the Kethyle brand device. The lowest surface resistance required for conductivity was seen in the addition of 30% carbon fiber as  $10^2$  ohms.

**Keywords:** Polyamide, Polyamide blends, Conducting polymers, Electrical conductivity, Electrical conducting blends



## 1. GİRİŞ

Monomer olarak adlandırılan basit moleküllerin kimyasal bağlarla bağlanması sonucu oluşan yüksek molekül ağırlıklı maddelere polimer denilmektedir. Gösterdikleri birbirinden farklı bir çok özellik sebebiyle polimerler günümüzde bir çok sektörde, birbirinden farklı bir çok alanda tercih edilmektedirler. En çok kullanılan mühendislik plastiklerinden biri olan Poliamid ise yüksek dayanım, iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip, hafif ve birçok türleri olan termoplast bir üründür. Cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli poliamid kompozitleri üzerine yapılan son çalışmalar, tasarım esnekliğinin yanı sıra sürekli yüksek sıcaklık ve termal bozulmaya karşı direncin kritik olduğu durumlarda, kaporta parçaları altında otomotiv parçalarına uygulanmasına odaklanmaktadır. Polimerler, ilk kullanımlarından bu yana elektriksel yalıtkanlığı iyi maddeler olarak bilinirler. Bu özelliklerinden dolayı elektriksel yalıtkanlığın arandığı, kabloların kılıflanması gibi alanlarda önemli kullanım yerleri bulmuşlardır. Kolay işlenmeleri, esneklikleri, estetik görüntüleri, hafiflikleri ve kimyasal açıdan inert olmaları diğer bazı üstün özellikleridir. Gelişen teknoloji ve yeni kullanım alanları ile özellikle bazı mühendislik plastiklerinin iletken özelliklerinin olabileceği keşfedilmiş ve bu özellik ile özellikle metal bileşimlerin yerini almaları kolaylaşmıştır. Elektriksel olarak iletken bir dolgu maddesi ile bir polimer matrisden oluşan kompozitler ile bu bileşimler elde edilmiştir. Polimer matrisden sertlik, mekanik dayanım, kimyasallara karşı direnç, esneklik ve kolay işlenebilirlik gibi özelliklerini alan bu karışımlar özellikle termal dirençler, kimyasal sensörler, elektromanyetik dalga koruyucu kutuları, elektrostatik yayılım gibi bir çok uygulama için uygundur. Bu elektriksel olarak iletken kompozitler tipik olarak eriyik karıştırma veya çözelti işlemi kullanılarak hazırlanırlar. Rastgele dağılmış kompozitler için makul bir iletkenlik elde etmek için yüksek bir iletken dolgu maddesi yoğunluğu gereklidir. Bu çalışmada hazırlanacak olan iletken polimer kompozit için Poliamid polimer matrisi olarak seçilmiştir. Mekanik özellikleri için cam elyaf takviyeli olarak hazırlanacak kompozitte, elektriksel iletkenlik için karbon elyaf, karbon siyahı, grafit gibi dolgu malzemeleri kullanılacaktır. Gerekli karışım ekstrüzyon prosesi ile eriyik karıştırma

işlemi ile hazırlanacaktır. Test örnekleri enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kalıplanacak ve iletkenlik ve mekanik özellikleri kontrol edilecektir.





## 2. TEORİK BİLGİ

### 2.1 Poliamid

Asit ve amin gruplarından oluşan yinelenen birimlerin, yani monomerlerin, birbirlerine amit bağları ile bağlanmasıyla oluşan polimerler poliamit olarak tanımlanırlar. Poliamidler türlerine göre değişik monomerlerden elde edilirler. Moleküler yapıları çok düzenlidir, dolayısıyla yüksek gerilmelere dayanıklıdır. Örneğin, Poliamid 6,6 ve Poliamid 6,10 dikarboksilik asit ve diaminlerden elde edilir; 6,6 ve 6,10 sayıları, sırasıyla diamin ve dikarboksilik asitteki karbon sayılarını gösterir [1,2]. Amino asitlerin kondensasyon reaksiyonlarıyla elde edilen diğer naylon tipleri de vardır. Poliamidler aşınmaya dirençlidir, sürtünme katsayıları düşüktür, yani kaygandır. Gerilme kuvvetleri alüminyum alaşımlarıyla kıyaslanabilir seviyelerde olduğundan dişliler ve yataklar gibi mekanik malzemeler üretimine uygundur [3]. Genellikle lif halinde üretilen Nylon, ilk kez 1930'da Nylon 6,6 ise 1939'da Amerikalı kimyacı Wallace H. Carothers'e bağlı bir araştırma grubu tarafından geliştirildi. Poliamidlerden (Poliamid 6 ve Poliamid 6,6) her yıl milyonlarca ton sentetik iplik üretilmektedir; giysiler, balık ağları, fırça ve daha sayısız ürün yapılır.

Poliamidler yüksek kristal yapıya sahip, bünyesinde amid grubu bulunduran ve molekül ağırlığı yüksek lineer polimerlerdir. Sert ve dayanıklı olan poliamidlerin birçok çeşidi vardır. Poliamid 6, Poliamid 6,6, Poliamid 6,10, Poliamid 11 ve Poliamid 12 bunların en bilinenleri olup PA 6 ve PA 6,6 en çok kullanılanlarındandır [4].

PA 6 ve PA 6,6, kristal yapıya ve yüksek molekül ağırlığına sahip polimerlerdir. Yapılarında hem amorf hem de kristal bölgelere sahiptirler. Özellikleri daha çok kristal yapıya bağlı olup kristal yapının amorf yapıya oranı arttıkça iyileşir. Kristal yapı oranının fazla olması durumunda, darbe dayanımı dışındaki tüm mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlar. Kristal yapı oranı, ergimiş polimerin soğutulma hızıyla bağlantılı olup, çok hızlı soğutulduğunda kristal yapı oranı düşük olur. PA 6 ve PA 6,6 kimyasal yapılarından dolayı, nem alan malzemelerdir. Nem aldıktan sonra polimerin çekme ve kopma dayanımı ile sertliğini azaltırken darbe dayanımını artırır. Sıcaklık artışıyla PA

6 ve PA 6,6'nın özelliklerinde, amorf yapının sıcaklıkla değişmesi nedeniyle değişiklikler olur. Sıcaklık artışıyla çekme ve kopma dayanımı ile sertlik değerleri azalırken, darbe dayanımı artar [4].

Poliamidler kondenzasyon polimerizasyonu mekanizması ile sentezlenebilirler. Bu reaksiyonlarda poliesterlerde olduğu gibi güçlü bir asit kullanılmaz. Çünkü reaksiyon hızı kendiliğinden yüksek bir hıza sahiptir. Birçok reaksiyon mekanizması ile poliamid elde etmek mümkün olsa bile, en sık kullanılan sentez metodu diasitlerin diamin ile direk amidasyonudur. Mesela PA 6,6 poliamidi, heksametilen diamin ile adipik asidin reaksiyonu sonucu elde edilir. Laktamların halka açılma polimerizasyon mekanizması da poliamid sentezi için kullanılan bir kimyasal yöntemdir [5].

Poliamidlerin zincir yapısı kolayca kristalleşmelerine elverişlidir. PA 6,6 polimeri orta derecede kristalliğe sahiptir. Standart üretimler ile %50'ye yakın kristal yapı elde edilebilirken, mekanik çekme ile yönlendirme uygulaması altında elde edilen elyaflarda ise (polimer zincirleri belirli bir düzene zorlandığı ve yönlendirildiği için) kristal yapı oranı artırılabilir. PA 6,6 mukavemet, esneklik, tokluk, aşınma direnci, renklendirilebilme, düşük sürtünme katsayısı, düşük sünme ve çözücülere karşı iyi direnç gibi istenilen özellikler gösteren bir polimerdir. En büyük dezavantajı ise neme karşı direncinin düşük olması ve nemli ortamlarda boyutsal ve mekanik özelliklerinin bozulmasıdır.

Poliamidlerin zincirler arası etkileşimi dolayısıyla yüksek mekanik özelliklere sahip olabilirler. Bir zincirdeki oksijen atomu ile diğer bir zincirdeki hidrojen atomunun arasında gerçekleşen etkileşim hidrojen bağı olarak bilinir ve tek başına kovalent bağlarla karşılaştırınca zayıf gibi gözükse de hidrojen bağları zincirler arası binlerce hidrojen bağı etkileşimleriyle toplamda güçlü bir ikincil kuvvet teşkil eder. Zincirlerin kristallenmesine hidrojen bağları etkileşimleri yardımcı olur ve poliamidlerin yüksek kristal yapıya ulaşmalarına katkıde bulunur. Bu durum poliamidlerin yüksek mekanik dayanıma sahip olmalarına sebep olur. Düzenli kristal yapının oluşmasına ise hidrojen ve oksijen atomları arasındaki paylaşılan elektronlar sebep olur fakat nemli ortamlarda hidrojen bağları bozulur. Poliamid zincirlerinin arasına giren su molekülleri zincirler arasındaki etkileşimi bozmaya başlar ve zincirlerin hareketliliğini (mobilité) artırır. Bu sebeple nemli ortamlarda poliamidler boyutsal ve mekanik özelliklerini kaybetmeye başlar [4,6].

Saf poliamidler için sürekli kullanım sıcaklığı 65-75°C aralığındadır ancak cam ve diğer mineraller ile takviyelendirilmiş poliamidlerde bu sıcaklık 100-115°C'ye kadar yükseltilebilir. En çok kullanılan poliamid türleri Poliamid 6 ve 6,6'dır. Bu polimerler benzer özellikleri sahiptirler. Erime noktaları farkı ile kolayca ayırt edilebilirler. PA 6 daha düşük erime noktasına sahiptir ve 225 °C olarak verilir. PA 6,6 ise 255 °C civarında erime noktasına sahiptir.

PA 6 ve PA 6,6'ya ek olarak, Poliamid 6,9, Poliamid 6,10, Poliamid 6,12; Poliamid 11, Poliamid 12, Poliamid 12,12 ve Poliamid 4,6 gibi poliamidler de üretilir. PA 6 ya da PA 6,6'dan daha fazla metilen grubuna sahip poliamidlerin daha yüksek nem dayanımı, boyutsal kararlılığı, daha iyi elektrik özellikleri vardır. Ancak yüksek metilen grubu içeren bu poliamid gruplarının kristallliği ve mekanik özellikleri daha düşüktür [6].

Poliamidler genellikle tamamen yalıtkan malzemelerdir. Ancak yüksek voltaj ve frekansta çoğunlukla statik elektrik üretirler ve üretilen statik elektrik tehlikeli kıvılcımların oluşmasına sebep olabilir. Bu sebeple kullanımları düşük frekans uygulamaları ile kısıtlıdır. Fakat, poliamidlerin elektrik altındaki hassasiyetini gidermek için karbon siyahı ya da gümüş gibi iletken parçacıklar eklenebilir.

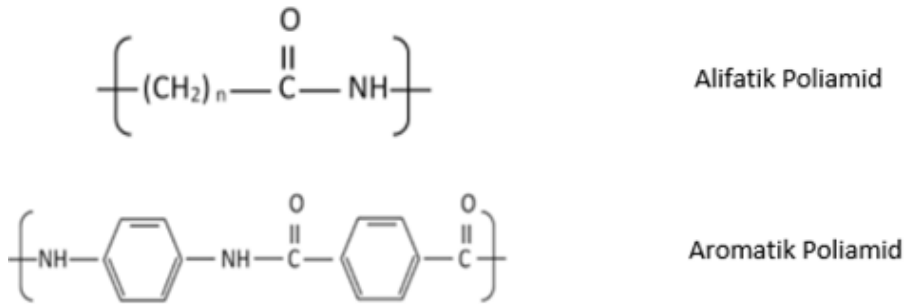
Poliamidlerin en belirgin özellikleri şu şekildedir; esnek ve rijit olabilirler, iyi mekanik ve ısı dayanım sağlarlar, kimyasal dayanımları iyidir.

Aşağıdaki poliamid türlerinde amid/CH<sub>2</sub> oranı arttıkça, poliamidin erime sıcaklığı ve su tutma kabiliyeti artar. Ticari poliamidlerin ortalama molekül ağırlığı 10000-30000 arasında değişir. Amid gruplarına bağlı olarak su tutma kapasitesi %8,5 e kadar çıkabilir. Poliamid 11 ve Poliamid 12 diğerlerine göre daha az su tutma özelliğine sahiptir.

**Çizelge 2.1 : Bazı Poliamid türlerinin kimyasal yapıları ve erime noktaları**

Poliamid Türü	Kimyasal Yapısı	Erime Noktası (°C)
Poliamid 4,6	$\left( \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_4 \text{---} \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_4 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \right)_n$	295
Poliamid 6,10	$\text{---} \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_6 \text{---} \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_8 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \text{---}$	220
Poliamid 6	$\left( \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_5 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \right)_n$	210-220
Poliamid 6,6	$\left( \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_6 \text{---} \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_4 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \right)_n$	255-265
Poliamid 6,12	$\left[ \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_6 \text{---} \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_{10} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \right]$	195-210
Poliamid 11	$\left[ \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_{10} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \right]_n$	180-190
Poliamid 12	$\left[ \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_{11} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---} \end{array} \right]_n$	160-209

Poliamidler alifatik, aromatik ve kısmi aromatik olarak gruplara ayrılırlar. En yaygın kullanılanları ise alifatik ve aromatik poliamidlerdir.

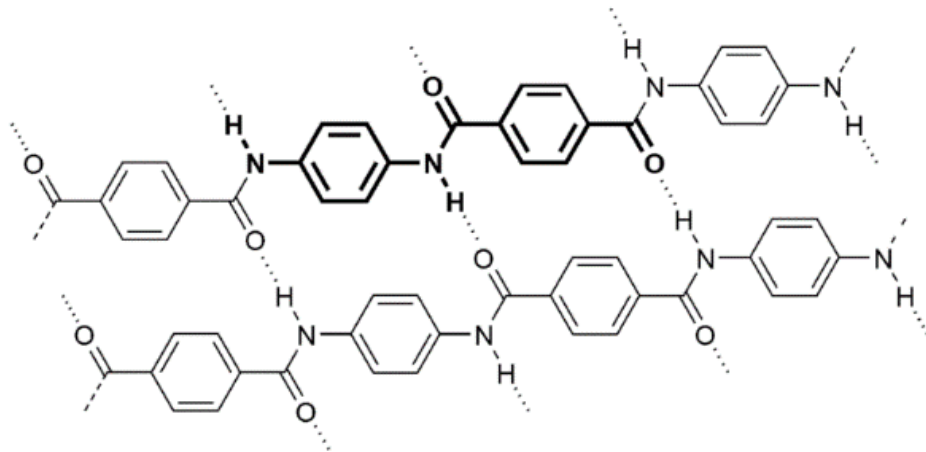


**Şekil 2.1 : Alifatik ve aromatik poliamidlerin genel kimyasal yapısı**

Alifatik poliamidler, alifatik diaminler ile alifatik diasitlerin reaksiyonların meydana gelmektedir. Bu poliamidlerin en bilinenleri Poliamid 6, Poliamid 6,6 adları ile bilinen poliamidlerdir. Mühendislik plastiklerinden olan bu malzemeler ticari olarak da en çok kullanılanlarıdır. İsimlendirilmelerinde kullanılan rakamlar polimerin kaç monomerden oluştuğuna bağlıdır. Örneğin Poliamid 6,6 , 6 karbonlu diamin ve 6 karbonlu diasitlerin polimerizasyonundan elde edilmektedir.

Aromatik poliamidler aromatik diasit klorür ile aromatik diaminlerin düşük sıcaklıklarda yapılan polikondenzasyonu ile elde edilir. Bu gruptaki poliamidler alifatik poliamidlere göre daha yüksek ısıl dayanıma sahiptir. Genel olarak aramid ismiyle bilinirler. Aromatik poliamid, ilk olarak 1960'ların başında DuPont firması tarafından başta HT-1, ardından Nomex adıyla ticari kullanıma uygun hale getirildi. 1973'te Kevlar adını almıştır.

Aramid polimerler, amit gruplarının benzen halkalarına bağlandıkları konuma göre sınıflara ayrılır. Amit gruplarının para pozisyonunda yani birbirine en uzak konumda buldukları aramidlerde, bir diğer ifadeyle para aramid bileşiklerde amit gruplarının bu yerleşimi polimer zincirleri arasında hidrojen bağları oluşmasını sağlar, böylece kristal yapıya sahip olan bu polimerler aynı ağırlıktaki çelikten yaklaşık beş kat daha güçlü hale gelir. Elektrik iletkenliği de düşük olan bu lifler yüksek sıcaklığa ve kimyasal maddelere karşı çok dayanıklıdır.



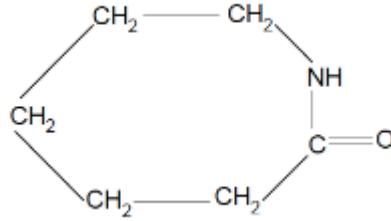
Şekil 2.2 : Para aramid yapısı

Aramidler özellikle yüksek ısıya dayanıklı kıyafetler, kurşun geçirmez yelekler, kompozit malzemeler, fren sistemleri, fiber optik kablolar gibi yüksek özellikler beklenen özel uygulama alanlarında tercih edilmektedir.

Poliamidlerin diğer bir grubu olan kısmi aromatik poliamidler ise alifatik yapıda diamin ile aromatik diasit bileşiğinin polimerizasyonu ile elde edilir. Alifatik yapıdaki poliamidlere göre kısmen daha yüksek ısıl dayanıma sahiptirler. Kısmi aromatik poliamidlerin en bilinenleri Poliamid 6,T ve Poliamid 6,I 'dır. Burada T, tereftalik asidi, I ise izoftalik asidi temsil etmektedir.

### 2.1.1 Poliamid 6

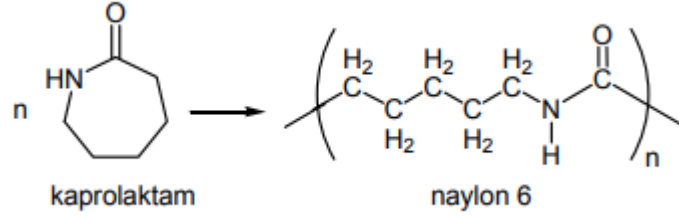
Poliamid 6, kaprolaktamdan sentezlenen poliamitin (polikaprolaktam) geleneksel adıdır. Kaprolaktamın polimerizasyonu tepkime koşullarına ve kullanılan katalizöre bağlı olarak basamaklı veya katılma polimerizasyonu mekanizmasını izler. Her iki yolla elde edilen polimerin yapısı aynıdır ve zincirler üzerinde amit bağları bulunduğu için basamaklı polimer grubunda incelenir.



Şekil 2.3 : Kaprolaktamın kimyasal yapısı

Genellikle PA 6, kaprolaktamın halka açılma polimerizasyonu ile üretilir. Reaksiyonlar sodyum hidrür (NaH, başlatıcı), n-asetilkaprolaktam ve polioksietilenin de bulunduğu bir reaktörde yapılır. Polimerizasyon aşamaları başlama, çoğalma ve sonlanma kademelerinden geçer. Başlama aşamasında ortamdaki sodyum hidrür reaksiyon başlatıcısıdır; kaprolaktamla reaksiyona girerek, kaprolaktam sodyum tuzunu meydana getirir. Bu bileşik kaprolaktamdan daha fazla nükleofiliktir. Polioksietilen, kaprolaktam sodyum tuzundaki sodyum iyonunu kompleks içine alarak koparır, geride kalan amid anyonunun re aktivitesi çok yüksektir. Amid anyonu n-asetilkaprolaktamla reaksiyona girer ve yine aktif olan bir yapı meydana getirir. Çoğalma kademesinde, başlama aşamasında meydana gelen amid anyonu diğer bir kaprolaktam monomerindeki amid hidrojenini alır, dolayısıyla diğer bir kaprolaktam amid iyonu oluşur; bunlar etkileşerek daha büyük aktif bir zincir meydana gelir. Aynı

reaksiyonlar, (aktif zincirlerle yeni bir kaprolaktam molekülü arasında) tekrarlanarak uzun Poliamid 6 zincirleri oluşur. Sonlanma aşamasında aktif zincirlerin aktivitelerinin herhangi bir ara bileşik veya safsızlıkla giderilmesiyle normal Poliamid 6 polimerik zincirleri oluşur. Toplam reaksiyon aşağıdaki gibi gösterilebilir [7].



**Şekil 2.4 :** Poliamid 6 sentezi

Ticari olarak genelde 18.000 ila 52.000 moleküler kütle arasında Poliamid 6 sentezi sonlandırılır. Moleküler kütle dağılımı fazla değişkenlik göstermez ve kütle ortalaması/sayı ortalamasına oranı genellikle 1.9 ila 2.0 'dir. Polimerizasyon sırasında arta kalan monomer, plastikleştirici görevi görür ve böylece polimerin işlenebilirliğini ve fiziksel özelliklerini etkiler. Ticari sınıflarda ekstrakte edilebilir maddelerin oranı %<0.5 ile %10 wt civarındadır.

**Çizelge 2.2 : Poliamid 6'nın temel özellikleri (a) [8]**

Özellik	ASTM			Darbe	Fiberglas	GF/Takviyeli
	Test	Birimler	Homopolimerler	Modifiye	Takviyeli	Takviyeli
Genel						
Erime Noktası	D 789	°C	215	205 – 215	215	215
Özgün Ağırlık	D792	5	1,13	1,06 – 1,09	1,16 – 1,49	1,48 - 1,49
Kalıp Çekmesi		mm/mm	0,009 – 0,012	0,012 – 0,014	0,002 – 0,008	0,004
Su Emilimi						
24 s	D 570	5	1,6	1,1 – 1,5	0,9 – 1,5	0,9
%50 RH Denge		5	2,7	1,9 – 2,4	1,6 – 2,5	1,5
Doygunluk		5	9,5	6,8 – 8,5	5,6 – 8,9	4
Mekanik						
Gerilme Dayanımı	D 638	Mpa	70 – 80	35 – 65	85 – 230	130 - 140
Aşırı Uzama	D 638	%	15 – 200	150 – 260	2 – 5	4
Bükülme Dayanımı	D 790	Mpa	80 – 115	30 – 85	125 – 285	190 - 205
Bükülme	D 790	Mpa	2,200 – 3,200	760 – 2.200	4000 – 11900	7600 - 9200
Modülüsü						
Çentikli İzot	D 256	J/m	45 – 65	135 – NB	30 – 135	45 - 50
Darbesi						
Rockwell Sertliği	D 785	R Scale	119 – 120	40 – 80	121	121
Taber abrazyonu	D 1044	mg/1000		35 – 55	30 – 40	30-40



**Çizelge 2.2 : Poliamid 6'nın temel özellikleri (b) [8]**

Özellik	ASTM				Darbe	Fiberglas	GF/Takviyeli
	Test	Yönetimi	Birimler	Homopolimerler	Modifiye	Takviyeli	Takviyeli
Termal Isı Sapma	D 648		°C at 1,8	55 – 75	50 – 60	150 - 210	200 - 205
Sıc. Genleşme Katsayısı	D 696		Mpa mm/mm/° C	8,1 – 8,3x10	1,0 – 1,1 x 10 <sup>-4</sup>	3,1 – 5 x 10	3,1 x 10
Elektrik (3.18 mm)							
Dielektrik Day. – ST	D 149		Kv/mm	10 – 20	15 – 20	10 -- 25	10 – 25
Hacimsel Özdirenç	D 257		ohm-cm	E14	E14	E14	
Dielektrik Sabiti	D 150				3,3	3,8	
Güç Kaybı Katsayısı	D 150				0,018	0,022	

Yağlanmış dişliler, bağlantı elemanları, yuvalar ve düşük sürtünme katsayıları gerektiren diğer kalemler gibi düşük yüklü temel mekanik parçalarda dolgusuz PA 6 kullanılır. Elektrik uygulamaları arasında ilave menteşe, duvar plakaları, açma-kapama anahtarları, bobinler, basma butonlu anahtarlar ve konektörler yer alır. Tokluk ve aşınma ile ısı dayanımı bu alandaki önemli faktörlerdir. Mükemmel benzin dayanımı, homopolimerlerin bazı güç aletlerinde yakıt deposu olarak kullanılmasına yol açmıştır.

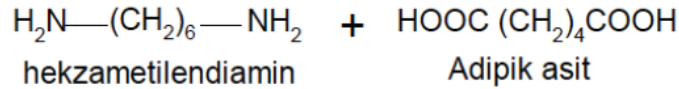
Esnekliği arttırmak ve montaj sırasında parça kırılmasını engellemek için nem koşullama, popüler bir endüstriyel prosedürdür. Modifiye PA 6 sınıflarının kullanılması genelde bu adımı ortadan kaldırabilir. Modifiye sınıflar için temel bir kullanım alanı bağlantı ve mungenelerdir. Temel gereksinimler esneklik, tokluk ve iyi düşük sıcaklık darbesidir. Isıyla stabilize edilen ve kaporta altı parçalarına uygun sınıflarda mevcuttur [8].

PA 6 'ya cam elyaf ilavesi ile önemli ölçüde artan sertlik, sünme ve yorulma dayanımı ve sürekli kullanım sıcaklıkları ile sonuçlanır. Bu kazançların karşısında darbe dayanımında önemli azalma vardır. Darbe modifiyeli, cam elyaf ile takviye edilmiş sınıflarda darbe dayanımında bir miktar iyileşme sağlansa da modüllerde bir derece kayba yol açar. Cam elyaf ile takviyelendirilmiş sınıflarının mekanik ve termal özellikleri, ayrıca mükemmel yüzey görünümleri ve pigmentlenebilirlikleri, bunların elektrikli testere, matkap ve diğer elektrikli aletler gibi müşteri uygulamalarında kullanımına yol açmıştır. İyi yorulma dayanımı sayesinde soğutma fanları gibi başarılı uygulamaları görülmüştür.

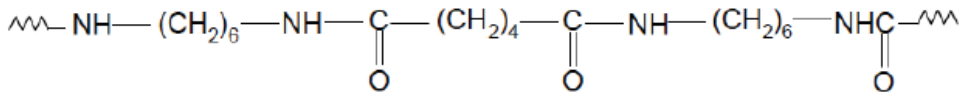
Cam elyaf takviyeli bileşimlere bazı minerallerin eklenmesi, enjeksiyonla kalıplanmış parçaların boyut kararlılığını önemli ölçüde artırır. Bu durum minerallerin cam elyafa göre daha izotropik olmasından kaynaklanır. Sertlik ve sünme dayanımı aynı derecede yüklü cam elyafı olanlardan daha düşüktür, çünkü mineraller takviye için daha az etkilidir. Parça plakasında normal olan gerilim boşalımı, mineralin nispeten izotropik yapısından dolayı daha az olabilir. Bu sınıftaki ürünler, soğutucu fanlar, vakumlu kontrol kutuları, otomotiv kaporta altı uygulamalarında başarıyla kullanılır. Yüksek ısılarda mekanik özellikler ve ayrıca oksidasyon ve kimyasal dayanım bu uygulamalarda önemlidir. Dış parçalar arasında kaporta havalandırma menfezi ızgaraları, ayna kılıfları ile kapı ve manivela kolları yer alır.

### 2.1.2 Poliamid 6,6

Kondenzasyon polimerizasyonu ile elde edilen bir poliamiddir. Bir asitle bir amin reaksiyona girdiklerinde, amin nitrojeni üzerindeki açık elektron çifti, karboksilik asit grubundaki karbonil karbonuyla etkileşir; reaksiyonda bir molekül su çıkarken amin ve asit arasında amid bağı meydana gelir.



Şekil 2.5 : PA 6,6 sentezinde kullanılan monomerler



Şekil 2.6 : PA 6,6 kimyasal yapısı

Termoplastik olup kristal yapıya sahiptir. Katkı maddesi ve yumuşatıcı ilavesiyle çok çeşitli yapıda plastik elde etmek mümkündür. Naylonların en yüksek erime sıcaklığına sahip olanı PA 6,6'dır.

Yüksek kuvvete ve sertliğe ve sıcaklık artışıyla sertliğini koruma özelliğine sahiptir. PA 6 kadar yapısına su alıp şişmez.

PA 6,6 yüksek ve keskin erime sıcaklığına sahiptir (265°C) (PA 6 220°C). Kristal yapılı,  $T_e = 265^\circ\text{C}$ ,  $T_g = 53^\circ\text{C}$ , 150°C'ye kadar kullanışlıdır. Darbe (impact) direnci geniş bir sıcaklık bölgesinde yüksektir. PA 6,6 alkalilerden etkilenmez, anorganik asitlerden etkilenir. PA 6,6'nın en önemli özelliklerini ve avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Sertlik
- Tokluk
- Yorgunluğa karşı mukavemet
- Sünme mukavemeti
- Alev geciktiricilik

- Elektriksel yalıtım
- Kimyasal mukavemet
- Aşınma mukavemeti
- Düşük sürtünme katsayısı
- Dış koşullara dayanıklılık
- Geniş renk yelpazesi
- İşleme kolaylığı

**Çizelge 2.3 : PA 6,6'nın tribolojik özellikleri [8]**

ÖZELLİK	ASTM YÖNTEMİ	PA 6,6
Özgül ağırlık	D792	1,18
Sertlik	D785	M60
Statik sürtünme	D1894	0,05
Dinamik sürtünme	D1894	0,06
Aşınma faktörü	m/s	14,7
PV limiti	MPa	48,3

Son yıllarda çoğu radyatör uç deposu pirinçten kalıplanmış cam elyaf ile takviyeli PA 6,6'ya dönüştürülmüştür ve cam elyafı PA 6,6 giriş manifoldu ve yakıt hatlarında hızlı ilerlemeler kaydetmektedir. Minerale takviyeli PA 6,6, kalıplanmış çamurluk uzantılarında, ayna muhafazasında, kaporta havalandırma menfezi ızgaralarında, jant kapaklarında, plaka ceplerinde ve yakıt dolmuş kapaklarında, boya fırın sıcaklıklarına dayanabildikleri, iyi boyut kararlılığına sahip oldukları ve son kullanım ortamına dayanabildiklerinden dolayı yaygın olarak kullanılır. Kaporta altı parçalar -40 dereceye kadar düşük sıcaklıklarda kullanılabilir ve çok çeşitli şartlarda, yüksek çalışma sıcaklıkları ve sıcaklık farklılıklarına, olası darbelere, yağ, yakıt, yağlayıcı ve glikol soğutucu gibi otomotiv sıvılarına, titreşim ve yorulmaya dayanıklı olmalıdır. Ayrıca parça şeklini de muhafaza etmeleri gereklidir. Cam elyaf takviyeli PA 6,6 radyatör uç depo kapaklarında ve termostat kutularında yaygın olarak kullanılır ve yüksek sıcaklık ve basınçlarda zararlı soğutucu solüsyonlara karşı dayanır. Toklaştırılmış PA 6,6 ise, emniyet kemeri bileşenleri, trim bağlama elemanlarında, bağlayıcı elemanlarda, lensler ve sviçlerde sıkça kullanılır. Teflon ve cam elyaf ile takviyelendirilen bazı sınıflar ise, vitesler, avaralar, makaralar, rulmanlar, aşınma bantları ve yatak yuvaları için yaygın olarak kullanılır; bunlar düşük sürtünme, bükülme yorulmasına dayanım ve boyut kararlılığı gerektirir.

## 2.1.3 Poliamidlerin Genel Özellikleri

### 2.1.3.1 Kimyasal dayanım

Poliamidlerin asitler, fenoller ve bazı oksitleyici ajanlara, özellikle yüksek ısılarda dayanımı sınırlıdır.

**Çizelge 2.4 : Poliamidlerin kimyasal dayanımı**

Kimyasal	Kons. (%)	PA 4,6	PA 6	PA 6,6	PA 12
Asetik asit	10	-	3	3	2
Asetaldehit	40	1	2	2	1
Aseton	100	1	1	1	1
Bütanol	100	1	1	1	1
Karbon tetraklorit	100	1	1	1	2
Mazot	100	1	1	1	1
Etanol	96	1	1	1	1
Formik asit	3	-	3	3	-
Formik asit	10	4	4	4	3
Benzin, kurşunsuz	100	1	1	1	1
Heptan	100	1	1	1	1
Hidrojen peroksit	2	4	4	4	2
Metilen klorit	100	2	2	2	3
Perkloroetilen	100	1	1	1	2
Fenol	75	4	3	3	3
Potasyum hidroksit	10	2	1	1	1
Sülfirik asit	10	4	4	4	2
Toluen	100	1	1	1	1
Transformatör yağı	100	1	1	1	1

1=Dayanıklılık

2=Sınırlı dayanım

3=Sınırlı ürün ömrü

4=Materyal çözünür, kısa sürede bozulur

Poliamidlerin uzun süreler boyunca sıcak su ve buhara maruz kalması, hidrolitik ve oksidatif bozunmayla sonuçlanır. Bu bozunmayı engellemek için hidroliz dayanımlı

malzeme ekleyerek, poliamidin bazikliği arttırılarak düzenlenebilir. Bozunum hızı ve miktarı suyun sıcaklığına, suda oksijen veya klor olmasına ve stabilizörlerin bulunmasına bağlıdır [8].

### **2.1.3.2 Hava dayanımı**

Çoğu plastik gibi poliamidler de UV ışınıyla bozunmaya uğrar ve stabilize bir katkı kullanmadıkça hava şartlarına dayanıklılığı düşük olur. Hava şartlarına maruz kalma gevrekleşmeye, dayanıklılık kaybına ve yüzey görünümünde değişikliğe yol açar. Hava şartlarına dayanıklı sınıf olarak karbon siyahı ile içeren bileşimler tercih edilebilir. Bu bileşiklerde gerilme dayanımı en az değişiklik gösterir.

### **2.1.3.3 Elektriksel özellikleri**

Enjeksiyon ile kalıplanan parçalar çeşitli konektörler, bobin formları, bağlantı uçları, soketler gibi birçok aygıt içerir. Bu parçalar üstün dielektrik özellikler gerektirmeyen fakat poliamidin elektriksel, mekanik, termal ve kimyasal özelliklerinin farklı bir kombinasyonunu gerektiren, düşük frekanslı, orta dereceli voltaj uygulamalarında kullanılmaktadır.

Beklendiği gibi, poliamidler ve frekansa bağımlılık arasındaki fark, bağıl nemle ve nem içeriğine göre artar. Poliamidin dielektrik sabitleri de ısıyla büyük artış gösterir. Poliamidin dielektrik dayanımı genelde milimetre kalınlık başına >10.000'dir. 0,25 mm'lik çok ince bobin formlarında bile yaygın kullanım için emniyet faktörü en az on katıdır. PA 6,6'nın dielektrik dayanımı hem artan kalınlık hem nem içeriği ile azalır. PA 6,6 ve PA 6 'nın dielektrik dayanımları 23°C de 13 ile 17 kV/mm ve kalıplanmış hali ile kuru olarak bildirilmektedir [8].

Poliamidlerin kıvılcım dayanımı mükemmeldir. Modifiye edilmiş poliamidlerdeki katkı maddeleri, elektrik özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir. Bazı ısı stabilizörü formülasyonlarında veya alev geciktiricili bileşimlerindeki polar malzemeler, dielektrik sabitini ve güç kaybı katsayısını arttırarak öz direnci azaltır. Karbon siyahı ilavesi, kıvılcım dayanımını azaltır. Ancak cam elyaf takviyesi poliamidin elektriksel özellikleri üzerinde fazla değişikliğe sebep olmaz.

#### **2.1.3.4 Optik özellikleri**

Poliamidin kristallenme hızını ve sferoidal yapısını azaltarak saydamlık artırılabilir. Eriyiğin hızlı soğutulması, kopolimerizasyon ve plastikleştirme yoluyla poliamidin modifiye edilmesi, saydamlığı arttıracaktır. Poliamiddeki amid konsantasyonu azaldıkça, ışık geçirgenliği de artmaktadır.

#### **2.1.3.5 Yanabilirlik**

Modifiye edilmemiş poliamidler V-2 sınıfında yer almaktadır. V-2 sınıfı düşey yanma, kendi kendine sönmeye özelliklerine sahiptir. Polimerin hidrokarbon niteliği arttıkça ateşe dayanıklılık azalır.

Cam elyaflar, toklaştırıcılar ve diğer düzenleyicilerin ilavesi ile UL sınıfında V-2 den HB sınıfına geçiş yapar. HB sınıfı UL-94 testine göre yanma özellikleri en kötü sınıftır ve malzeme yanıcı olarak tasvir edilir. Ancak alev geciktirici içeren bileşimler ile bu dayanım V-0 sınıfına yükseltilebilir.

#### **2.1.3.6 Termal özellikler**

Dolgu malzemesi ilavesi ile hem termal genişleme katsayılarını hem kalıp çekmesi azaltılabilir. Isı kapasitesi ve özgül ısı (ASTM D2766) inorganik dolgu malzemeleri ile azalır. Termal iletkenlik ise inorganik dolgu malzemeleri, metal veya karbon liflerle önemli ölçüde yükselebilir.

#### **2.1.3.7 Uzun vadeli özellikler**

Yorulma özellikleri, ASTM D671 yorulma yenilmesi süreci üç aşamada gerçekleşir; mikroskobik altı kusurların çekirdeklenmesi, tekrar eden yük altında kukurların yavaş yavaş büyümesi ve son olarak çatlakların yayılarak katastrofik arıcaya neden olması. Poliamdilerin yorulma çatlak dayanımı, kısa cam elyaf takviyeleri ile önemli ölçüde arttırılır.

Sünme dayanımı, yükleme koşullarının yani sıkıştırma, çekme yada bükülme geriliminin bir fonksiyonudur. Sünme dayanımı moleküler yapıya bağlıdır fakat artan kristallenme ve artan takviyeyle birlikte artar.

## 2.2 Katkılı Poliamidlerin Özellikleri

Poliamidler çeşitli özelliklerinin geliştirilmesi için farklı katkı maddeleri ile takviyelendirilmektedir. Aşağıdaki çizelgede poliamidlerin neden modifiye edildiklerine dair bir özeti bulabilirsiniz.

**Çizelge 2.5 : Poliamidlerin neden ve nasıl modifiye edildiğinin özeti**

Modifikasyon	Amaç
Partikül Büyüklüğü	Proses İhtiyacı Karşılama
Molekül Kütlesi	Proses veya Özellik İhtiyacı Karşılama
Kopolimerizasyon	Özellikleride Değişim
Mineral Dolgular	Daha Yüksek Dayanım Sertlik
Lifli Takviye	Dayanım , Sertlik , Darbe Dayanımı
Metaller , Metal Kaplamalı Dolgular , Karbon	Statik Dağılım , Elektromanyetik Enterferansı Önleme
Elastomerler	Tokluk , Çentik Direnimi
Alev Geciktiriciler	Alevlenmeyi Azaltma , Duman Üretme
Plastikleştiriciler	Esneklik
Yağlayıcılar	Düşük Sürtme
Isı Stabilizörleri	Oksidatif Bozunumu Önleme
Işık Stabilizörleri	Açık Alan Ömrü Uzatma
Akışkan Yardımcıları , Çekirdeklendiriciler , Kalıp Salınım Ajanları	İşlenebilirlik
Renklendiriciler	Estetik , Programlama
Yukarıdakilerin Kombinasyonları Örn. Dolgu+Lif	Dayanım ve Çarpılma Dengesi
Diğer Örnekler	
Blok Kopolimer	Mühendislik Termoplastik Elastomer
IPN	Sızmayan Silikon İlavesi
Reaksiyon (ROH , CH <sub>2</sub> O)	Kaplamalar ve Adhezivler

Poliamidlerde kullanılan dolgu malzemeleri arasında partiküllü mineraller, mineral elyaflar, cam boncuk ve içi boş mükro kürecikler yer alır. Dolgu malzemesi seçiminde önemli bir faktör malzemenin abrazivliğidir; abrazivlik, bileşim ve proses ekipmanları üzerinde aşınmaya neden olabilir [8].

Parçacık mineral dolgu maddeleri genelde maliyeti düşük katkı maddeleridir; sertlik ve ısıl sapma sıcaklığını (HDT) arttırır. Gerilem dayanımı üzerinde minimal bir etkisi olup, termal genleşme ve çekmeyi azaltırlar. Talk, kil, mika gibi mineraller uzunluk/kalınlık oranları 5:1'i aştığında takviye özelliği görürler. Dolgu malzemeleri elyaflara göre daha az çarpılmaya neden olur. Bazı mineraller kaolin gibi, yüzey özellikleri iyi olan mika gibi minerallere göre daha iyi tokluk sağlamaktadır. Cam



boncuklar, diğ er dolgu malzemelerine göre, daha iyi eriyik akışı göstermektedir. Boncuklar sertlik ve HDT'yi arttırırken, kalıp çekmesi ve termal genişmeyi azaltmaktadırlar. Basınç dayanımı iyileştirirken, gerilme dayanımı üzerinde pek bir etkileri yoktur.

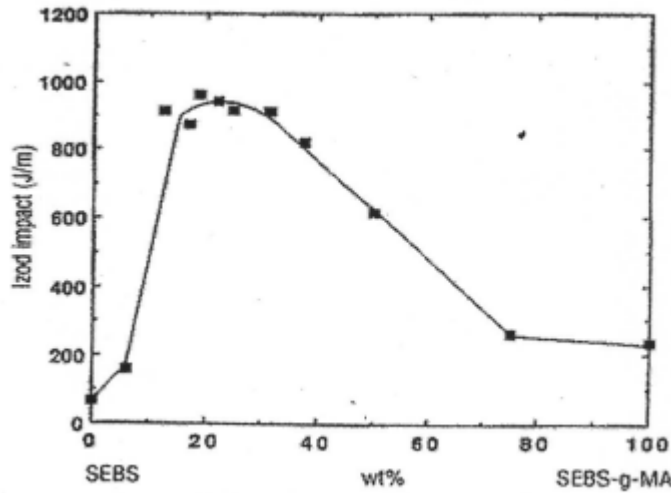
Poliamidlerin takviyesinde en çok kullanılan katkı maddeleri cam elyaflardır. Cam elyaf takviyeli polimer matriks kompozitleri önemli mühendislik malzemeleridir, bunlar, özellikle mükemmel özgül sertlik ve mukavemet ile birlikte ağırlık tasarrufları nedeniyle, dünya çapında en çok kullanılan kompozitlerdir. Cam elyaflar düşük maliyetinden dolayı yaygın olarak kullanılır. Mekanik , kimyasal ve elektrik özelliklerinin iyi bir kombinasyonunu sunar. Daha yüksek gerilme için S camı, daha düşük dielektrik kayıp için D cam, daha iyi asit dayanımı için A cam ve daha yüksek ısı dayanımı için erimiş silis kullanılabilir.

**Çizelge 2.6 : Elyaf takviyesinin fayda ve dezavantajları**

Özellik	Elyaf Takviyeli
<i>Faydalar</i>	
Dayanım	Artar
Sertlik	Artar
Elastik Sınırı	Artar
Isı Sapma Sıcaklığı (HDT)	Artar
Sürekli Kullanım Sıcaklığı (CUT)	Artar
Sünme Dayanımı	Artar
Yorulma Dayanımı	Artar
Termal İletkenlik	Artar
Boyut Kararlılığı	Azalır
Termal Genleşme Katsayısı	Azalır
Kalıp Çekmesi	Azalır
<i>Dolgu / Takviyeli Malzemelerin Dezavantajları</i>	
Düktilite (Uzama)	Azalır
Tokluk (Darbe Dayanımı)	Azalır
Anizotropi	Artar
Kalıplanan Parça Çarpılması	Artar
Eriyik Akışı (Viskozite)	Artar
İşlenebilirlik	Azalır
Dielektrik Dayanımı	Azalır
Dielektrik Sabiti	Modifiye
Hacimsel Öz direnç	Modifiye

Karbon elyaf ve grafit liflerin dayanımı ve modülü cam elyaflara göre daha yüksektir. Dolayısıyla daha üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca bu malzemeler poliamide iletkenlik özelliklerinin verilmesi için de kullanılabilir [8].

Poliamidler darbe dayanımlarının artırılması ve toklaştırılması için farklı katkı maddeleri ile modifiye edilmektedir. EPDM ile toklaştırılmış bir matris ile uzama özellikleri bir miktar artırılır ve darbe dayanımlarında önemli ölçüde gelişme gözlenir. Bu matrisin sertliği %20 dolaylarında düşürülmüş olmaktadır. Poliamid ile küçük miktarda asit fonksiyonel elastomerin ekstrüzyon ile harmanlanmasıyla ile toklaştırılmış poliamidler elde edilebilir. Maleik anhidrit modifiye etilen/propilen elastomerleri ve stiren/etilen/butilen/stiren blok kopolimerleri poliamidlerin darbeyle modifikasyonunda kullanılan elastomerlerin önemli örneklerindedir.



Şekil 2.7 : PA 6'nın modifikasyonu ile darbe dayanımındaki değişim [8]

Poliamid 6'nın çeşitli miktarlarda SEBS( stiren/etilen/butilen/stiren blok kopolimeri) ve SEBS-g-MA (maleik anhidrit graft stiren/etilen/butilen/stiren blok kopolimeri) ile yapılan harmanlarının tokluğu yukarıdaki şekilde verilmiştir.

### 2.3 Elektriksel İletkenlik

Polimerlerin elektrik iletkenliği, karbon fiberler, karbon siyahı ve grafit gibi karbon dolgu maddelerinin eklenmesiyle artırılabilir [9]. Elde edilen kompozitler, metallerin tipik olarak tercih edilen malzemeler olduğu uygulamalarda kullanılabilir. Bu malzemelerin kullanılmasının avantajları; daha hafif, korozyona karşı dirençli ve özel

bir uygulamaya duyulan ihtiyaca kolayca adapte olabilmeleridir. Elektriksel iletken reçineler için olası uygulamalar arasında elektronik cihazlar için elektromanyetik ve radyo frekans enterferansı (EMI / RFI) koruyucusu , yakıt göstergeleri gibi parçalar için orta derecede iletken kompozitler ve elektrostatik yayılımlar (ESD) yer almaktadır [9, 10].

Elektrik iletkenlik modelleri genellikle bu kompozitlerin iletkenlik davranışlarını açıklamak ve tahmin etmek için önerilmektedir. Modellerin geliştirilmesi daha verimli malzeme tasarımına olanak tanır ve bu nedenle yüksek maliyetli tasarım çalışmalarını azaltıp, optimize edilmiş tasarım sayesinde malzeme ve üretim maliyetlerini düşürür. Bu iletkenlik modelleri ,tipik olarak dolgu maddesi hacim fraksiyonunu, bileşen iletkenliğini, dolgu maddesinin ve matrisin uyumluluğunu, dolgu en-boy oranını ve dolgu oryantasyonu gibi kompozit yapının özelliklerini açıklamak için kullanılır [9,11].

### 2.3.1 Çeşitli malzemelerin iletkenliği

Saf polimerler için elektrik iletkenliği tipik olarak  $10^{-14}$  ila  $10^{-17}$  Siemens/cm (S/cm) arasında değişir. Diğer malzemeler için tipik elektriksel iletkenlik değerleri, elektriksel olarak iletken Karbon siyahı için  $10^2$ , PAN-bazlı karbon fiber için  $10^3$ , grafit için  $10^5$  ve alüminyum ve bakır gibi metaller için  $10^6$ 'dır. Tüm iletkenlik değerleri S/cm cinsinden verilmiştir.

Polimerlere iletken dolgu maddeleri ekleyerek, malzemeler her uygulamaya göre özel özellikler ile tasarlanabilir. İletken uygulamalar için kullanılacak olan kompozit materyeller için, ESD uygulamalarında  $10^{-12}$  ve  $10^{-8}$  S / cm aralığında ,orta derece elektrik iletkenliği isteyen uygulamalarda  $10^{-8}$  ve  $10^{-2}$  S / cm arasında, koruma uygulamalarında  $10^{-2}$  S / cm ve üzerinde elektrik iletkenliği olmalıdır [10].

İletken dolgu maddelerinin, iletken kompozitleri üretmek için plastıklere eklendiği çok sayıda örnek bulunmaktadır. Alüminyum, çelik, demir ve bakır ve nikel kaplı cam elyafı içeren metal elyaf / partiküller kullanılmıştır. Karbon siyahı ve karbon fiber ,aynı zamanda polimerlerin iletkenliğini geliştirmek için de kullanılmıştır. Karbon siyahı dolgu maddeleri elektrik iletkenliğini geliştirmek için başarılı bir şekilde kullanılmıştır ama bu malzemelerin termal iletkenlik üzerinde genellikle bir etkisi olmamıştır. Öte yandan karbon fiberler, termal ve elektrik iletkenliklerini geliştirmek için iyi performans göstermiştir [9, 12].

1995 yılında ABD'de iletken reçineler için talep 221 milyon lbs idi. ABD'deki iletken polimer talebinin, 2004 yılında yıllık % 6,1 artışla 565 milyon dolara (hem reçineler hem de katkı maddeleri dahil) çıkması öngörülüyor. Değer, iletken bileşiğin üretimi sırasında ortaya çıkacak, reçinelerin ve katkı maddelerinin yanı sıra işçilik ve diğer genel gider maliyetleriyle beraber 1,5 milyar dolara ulaşacak. İletken reçine talebindeki artış, elektronik gürültü ve elektronik parçaların ve bileşenlerin artan hassasiyeti ile ilgilidir. Örneğin, yüksek hızlı elektronik cihazlara yönelik artan talepler, minyatürleştirme modası ile birleştiğinde, EMI koruma ve ESD korumasına olan talebi arttırmaktadır. Daha küçük, daha yoğun şekilde paketlenmiş elektronik bileşenler daha fazla elektronik gürültü üretir ve bu nedenle de EMI / RFI korumasına gereksinim duyar ve statik deşarjlara daha duyarlıdır, ek iletken reçine talebi, fotokopi makineleri içindeki silindirler gibi hareketli parçaların oluşturduğu yüksek seviyede statik elektrik için isteniliyor.

### **2.3.2 Dolgu maddelerinin kombinasyonlarının sinerjik etkisi**

Kompozit iletken malzemeler için tek iletken dolgu miktarını değiştirildiği önemli miktarda çalışma yapılmıştır, ama tersine, çeşitli tipteki kombinasyonların etkileri konusunda çok sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Karbon siyahı, karbon fiber veya grafit gibi iletken dolgu maddelerinin iletken reçinelerin elektrik iletkenliği üzerine etkisi konusunda, çizelge 2.7'de verilen sonuçlar MTU'da yapılmış projeden alınmıştır, baz polimer olarak Poliamid 6,6 kullanılmıştır. Bu projede üç farklı karbon bazlı dolgu maddesi kullanılmıştır [9,13,14]. 1- Termokarb <sup>TM</sup> denilen özel bir grafit malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme, conoco, Inc.'den temin edilebilen, yüksek kaliteli bir öğütülmüş sentetik grafitir. Elektriksel olarak iletken karbon siyahı, minimum yükte elektriksel iletkenliğini verimli bir şekilde verdiği için dolayı kullanılmıştır. Yüksek ölçüde dallanmış, yüksek yüzey alanlı karbon siyahı yapısı, büyük miktarda polimer ile temas etmesini sağlamış, bu da daha iyi elektriksel iletkenliğe neden olmuştur. Üçüncü dolgu, 3.2 mm uzunluğunda kesilmiş bir PAN bazlı karbon elyaftır. Bu dolgu, malzemenin termal ve elektrik iletkenliğini ve kompozitin gerilme mukavemetini arttırmak için kullanıldı.

**Çizelge 2.7 : İletken Poliamid 6,6 için deneme sonuçları [9,13,14]**

Tanımlama	Oran (%)	Hacimsel yüzsey direnci
PA 6,6	75	13.02
Thermocarb	10	2.85
Karbon siyahı	5	12
PAN-bazlı Karbon elyaf	10	
Toplam	100	
PA 6,6	95	10 <sup>3</sup>
Karbon siyahı	5	
Toplam	100	5
PA 6,6	90	10 <sup>14</sup>
Thermocarb	10	
Toplam	100	5
PA 6,6	90	10 <sup>14</sup>
PAN-bazlı Karbon elyaf	10	
Toplam	100	5

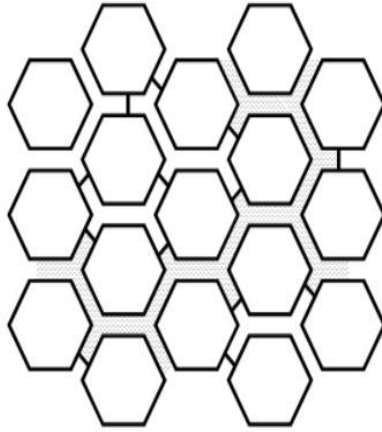
Çizelge 2.7'deki veriler, karbon siyahı, Thermocarb™ özel grafiti ve PAN bazlı karbon fiber kombinasyonu ile üretilen malzemenin , elektrik direncini 1000 den 13 ohm-cm e azalmasına neden olan pozitif bir sinerjik etki olduğunu göstermektedir. Çizelge 2.7'de elde edilen sonuçlar, açık literatürde, benzer miktarlarda karbon siyahı ve PAN bazlı karbon fiberlerin tek başına polietilen, poliamid ve polivinil klorür matris malzemelerinde kullanılmasıyla tutarlıdır [14]. Bazı araştırmalara göre ,Polietilen ve polivinil klorür reçinesi ile tek başına kullanılan 30-vol% luk (yaklaşık olarak 40-wt%) grafit dolgu maddesi, 105 ohm-cm (1) 'lik bir elektrik direnci olan bir malzeme üretmektedir. bu nedenle, Çizelge 2.7'deki son veriler, elektriksel olarak iletken karbon siyahının eklenmesi, Thermocarb™ özel grafiti ve PAN-bazlı karbon fiber ile yolların oluşmasına olanak sağlayarak elektrik ileklenliği arttırmıştır. Poliasetal ve poliimid matrisinde grafit ve karbon siyahı arasında benzer bir sinerjik etki geçmişte görülmüştür. Çizelge 2.7'deki verilerin, iletken bir reçine içinde üç farklı karbon bazlı iletken dolgu maddesinin etkisini gösteren ilk veriyi içerdiği görülecektir.

### **2.3.3 Perkolasyon teorisi ve elektik iletkenliği**

Bir kompozitin elektriksel iletkenliği, genel olarak dolgu hacmi fraksiyonuna olan bağımlılığı ile karakterize edilir. Düşünce şudur ki, kompozit içindeki dolgu miktarı arttıkça, dolgu maddeleri parçacıkları birbiriyle temas etmeye başlar ve elektronların hareket etmesi için sürekli bir yol meydana getirir. Bu iletken ağın oluşumu, perkolasyon teorisi prensiplerine dayanmaktadır.

Perkolasyon teorisinin başlangıcı 1957'de Hammersley ve Broadbent'e atfedilir [15]. Bu teori, bir ortamın, rasgele özelliklerinin, akışkanın bu ortamın içinde nasıl yayılmasını etkilediğini gösterir. Burada "akışkan" ve "ortam", bir çözücü içine difüze olan bir çözünen, gözenekli katılar içerisine penetre eden moleküler, ormanın içinden yayılan bir yangın ve bir atomik kafes boyunca elektronların akışı gibi bir çok tanım alabilir. Bu teori, bir difüzyon prosesi içinde tipik olarak gözlenen bir akış prosesi ile ilişkili olan rastgele mekanizmalara alternatif olarak önerilmiştir.

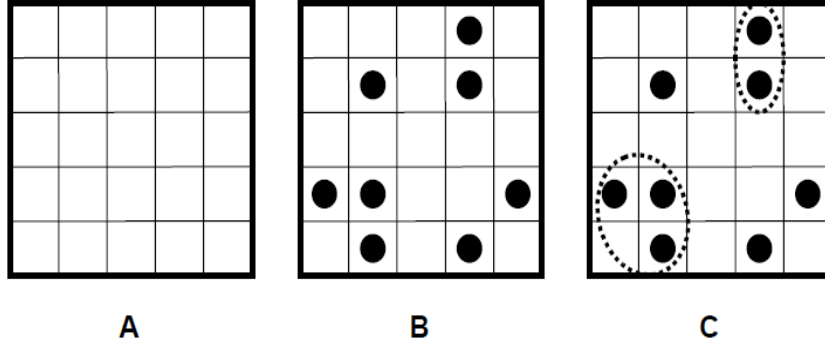
Hammersley ve Broadbent tarafından ortaya konan bir örnek, Şekil 2.1'de gösterilen bir kanal sistemi idi. Her kanal iki yeni kanala ayrılır ve her birinin barajlanma olasılığı  $q$ 'ya sahiptir. Bu rasgele baraj kümesi, bir sıvının kanallar ağı boyunca nasıl yayılacağını belirleyecektir. Bu, bir perkolasyon işlemidir. Bu işlem, "bağ perkolasyonu" olarak da bilinir, çünkü bu işlem, birbirine bağlı borulardan (Bağlardan) akan bir akışkan olarak tanımlanabilir. Şekilde gösterildiği gibi akışkan, kanal ağı boyunca ilerlemek için sürekli bir bağ yoluna sahiptir.



**Şekil 2.8 :** Birbirine bağlı kanallar ağı olarak modellenen gözenekli bir ortamın Perkolasyonu

Perkolasyon teorisini görmenin başka bir yolu, Stauffer tarafından açıklandığı gibi geniş bir kareler dizisini görselleştirmektir [9,16]. Bu, Şekil 2.9 (A) ve (B) panelinde gösterildiği gibi, noktaların kapladığı karelerin bir kısmını, (C) panelinde ana hatları verilen bu noktaların "kümeleri" ile gösterir. Perkolasyon teorisi, bu kümelerin sayısını ve özelliklerini tanımlamak için kullanılır ve burada "bölge perkolasyonu" olarak tanımlanır. Noktalar kafes içinde rasgele dağıtılır ve bir olasılık " $p$ " vardır. Bir bölge, bir nokta tarafından işgal edilecektir. Belli bir olasılıkta, bundan daha geniş bir

kümelenme olacaktır. Bir kare kafes durumunda, yukarıdan aşağıya ve soldan sağa, Bu kümenin sistem üzerinden “perkolasyon halinde” olduğu söylenir. Bu kümelenmenin oluşturulduğu belirli bir konsantrasyon vardır ve bu konsantrasyon ifadesine 'Perkolasyon eşiği' denir,  $\phi_c$  ile ifade edilir.



**Şekil 2.9 :** Kare kafesler ve noktalar tarafından işgal edilmiş kareler

Stauffer bu yöntemi, Perkolasyon eşiği fikrini açıklamanın basit bir yolu olarak orman yangınlarına uyguladı. Bu örnekte ortaya atılan soru, "orman yangınlarının ormanın içine girmesi veya sönmesi ne kadar sürüyor?" Bu soruyu cevaplamak için çok az istatistik hatasıyla önemli miktarda yangın çıkması gerektiğinden. Sorun bir bilgisayarda gerçekleştirildi. Şekil 2.9'deki gibi büyük bir kare kafes ormanı temsil edecektir. Bir karenin bir nokta veya ağaç tarafından işgal edilme olasılığı  $p$ .

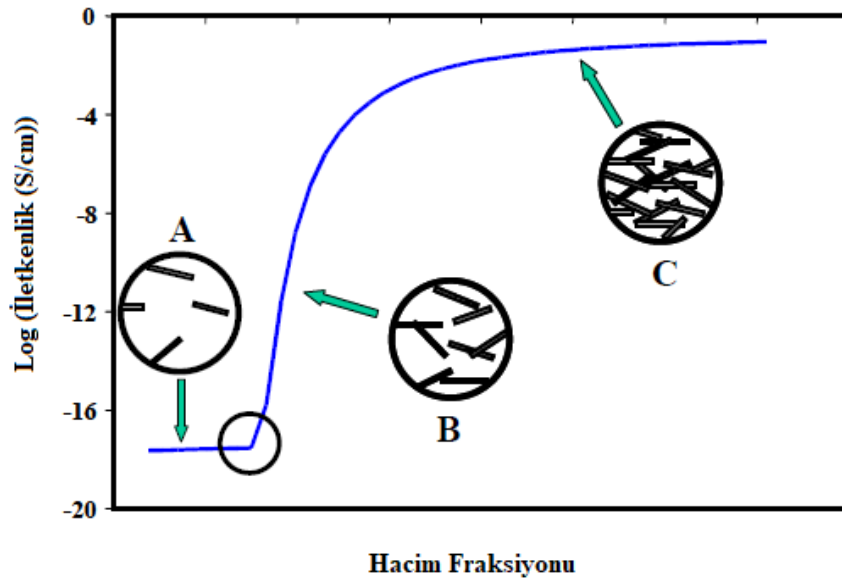
$(1-p)$  bir sitenin boş olacağını.  $P = 1$  ise her site bir ağaç tarafından işgal edildiğini belirtecektir.

Matrisin solundaki ilk sütundaki ağaçların yanmasına izin verilirken, geriye kalan ağaçların yanmasına izin verilmeyecek. Bu taraftaki yangının tüm orman boyunca sağdaki son sütuna geçip geçemeyeceği belirlenmelidir. Yangının yayılması için komşu bir ağaç mevcut olmalı. Ateşin yayılması için ağaç yoksa, orman yangını sonlandırıldı. Orman yangınının ömrü, her bir ardışık sütunda bitiş süresine ulaşmak için kaç tane süpürme yapılması gerektiği olarak tanımlanmaktadır. Bu sonlandırma son sütunda meydana geldiğinde perkolasyon eşiğinde bulunur ve yangınlar tüm orman boyunca nüfuz etmiştir [16].

Kanallardaki suyunkine benzer bir analiz, bir elektrik iletkenliğini tarif ederken iletken reçinelere uygulanabilir. Karbon fiberler gibi iletken dolgu maddeleri, elektronların akması için kanal görevi görür. Elektronlar karbon fiberlerden geçmekte serbesttir.

Bununla birlikte, fiberin sonuna ulaştıklarında, elektronların akışını engelleyen baraj gibi davranan polimer matriksi ile karşılaşılırlar. Yeterli dolgu maddesi ilave edildikten sonra, karbon fiberler birbirleriyle temas etmeye başlarlar, bu da elektronların kompozitin tüm hacmi boyunca ilerlemesi için tam bir yol oluşturur.

Genel olarak, dolu polimer kompozitlerin iletkenliğini kontrol eden üç ana bölge vardır. İletkenliğin hacim fraksiyonuna bağımlılığı Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Şekildeki A bölgesi olarak gösterilen düşük dolgu yüklemelerinde, kompozitin iletkenliği hala saf polimer matrisininkine çok yakındır. Bazı kritik yüklemelerde, Perkolasyon eşiği, yeterli dolgu maddesi eklenmiş ve böylece bileşik boyunca sürekli bir iletken ağ oluşturmaya başlamıştır. Perkolasyon eşiğini takiben, B bölgesinde ortaya çıktığı gibi, dolgu maddesi miktarında çok az bir artış ile iletkenlikte önemli bir artış sağlayan bir bölge olduğundan, bu bölgede ki şiddetli bir artıştan sonra, iletkenlik tekrar düzleşir ve dolgu maddesinin seviyesine yaklaşır. Bunun sebebi iletken şebekenin numune üzerinden tamamlanmış olması ve elektronların bağlı dolgu maddesi parçacıkları tarafından oluşturulan yolu takip etmesidir, Şekil 2.10'taki C bölgesinde gösterilmiştir.



**Şekil 2.10 :** Elektriksel iletkenliğin dolgu maddesi hacim fraksiyonu üzerine bağımlılığı

Perkolasyon eşiğinin nerede yattığını ve plato iletkenlik seviyesini önemli ölçüde etkileyebilecek çeşitli faktörler vardır. Ayrıca, çeşitli faktörlere dayanan kompozitlerin elektrik iletkenlik davranışını tahmin etmek için çeşitli modeller önerilmiştir. modellerin çoğunluğu hesaplamaları dolgu hacmi fraksiyonuna dayandırırken, diğer



faktörler kompozitin iletkenliğini etkileyebilir. Aynı faktörler, Perkolasyon eşiğinin meydana geldiği hacmi de etkileyebilir.

#### **2.3.4 Elektriksel iletkenliği etkileyen faktörler**

Dolgu maddesinin özellikleri, kompozitin iletkenliğini belirlemede önemli bir rol oynar. Karbon, dolgu maddesi olarak kullanıldığında, küçük karbon parçacıklarından grafit fiberlere kadar birçok farklı şekilde olabilir ve her birinin iletkenliği farklıdır. Diğer malzemeler için tipik elektriksel iletkenlik değerleri ;

elektriksel olarak iletken karbon siyahı için  $10^2$ , poliakrilonitril için  $10^3$ , PAN-bazlı karbon fiberler için  $10^4$  ve grafit için  $10^5$ 'dir. Tüm iletkenlik değerleri S / cm cinsinden verilmiştir. Dolgu iletkenliğinin değeri kompozitin elektriksel iletkenliği için üst sınır olacaktır.

Parçacık boyutu gibi diğer dolgu özellikleri de elektrik iletkenliği üzerinde bir etkiye sahip olabilir. Küresel parçacıklar için, daha küçük parçacık büyüklüğünün, perkolasyon eşiğini düşürdüğü gösterilmiştir. Ayrıca, boy-en oranının, perkolasyon eşiğini düşüreceği gösterilmiştir. Bu durumda, dolgu maddesinin diğer özellikleri de ,uygulama için doğru dolguyu seçerken dikkate alınmalıdır [9,17].

Göz önüne alınması gereken bir diğer önemli nokta ise , kompozitlerin yapıldığı ve daha sonra parçalara ayrıldığı yöntemdir. Dolgu oryantasyonunun kompozitlerin elektriksel iletkenliği üzerindeki etkilerini ve bu etkinin nasıl nicelenebileceğini gösteren çeşitli çalışmalar vardır. Bir kompozitin ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplanması, farklı makinelerin ve kalıbın nozulundan kaynaklanan akış nedeniyle belirli bir yönde bir en-boy oranına (AR) sahip dolgu maddelerini hizalayabilir. Bu hizalama numune içinde anizotropik iletkenlik oluşturacak, yani iletkenliğin bir yöne göre bir yönde daha büyük olacağı anlamına gelir. Sıkıştırma ile kalıplanmış numuneler, aynı zamanda, elektriksel iletkenlik üzerinde dolgu oryantasyonunun bir etkisini sergileyecektir. Weber ve Kamal, enjeksiyonla kalıplanmış numunelerin, bir 33.6 derece açılı yönüne sahip olduğunu, sıkıştırma ile kalıplanmış numunelerin, 45.2 derecelik olup 45 derecelik bir açıdan sapma ile doldurulduğunu bulmuştur . Bu durum Dolgu maddelerinin hizalanmış olduğuna dair kanıttır.

Dolgu ve polimerin yüzey özellikleri de kompozitin iletkenliği ve perkolasyon eşiği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Dolgu maddesinin ve matrisin yüzeysiz enerjileri, iki materyale olan etkileşimi etkileyecektir ve polimerin, dolgu maddesinin yüzeyini

ıslatması, iki malzemenin yüzey enerjileri arasındaki farkla nicelleştirilebilir. Mamunya, iki yüzey enerjisinin arasındaki küçük farkların, polimer tarafından dolgu maddesinin daha iyi ıslanmasına yol açtığını gösterdi. Bu nedenle, dolgu maddesinin daha iyi ıslanması, matris malzemesinin içindeki dağılımını geliştirebilir, bu da kompozitin perkolasyon eşiğini arttırabilir, ayrıca kompozitin genel iletkenliğini de geliştirebilir, genel olarak, yüksek kompozit elektrik enerjisi elde etmek için dolgu maddesi ve polimer arasındaki yüzey enerji farkının az olması istenir [9].

### 2.3.5 Elektriksel iletkenlik modelleri

Literatürde bulunan dört ana iletkenlik modeli vardır ve bunlar Lux tarafından ayrıntılı olarak tarif edildiği gibi istatistiksel, termodinamik, geometrik ve yapı odaklı modelleri içerir. Her sınıf, yukarıda tarif edilen parametrelere ilişkin olarak farklı yaklaşımlara dayanan elektriksel iletkenliği tahmin eder.

#### 2.3.5.1 İstatistiksel perkolasyon modelleri

Literatürde bulunan modellerin çoğu istatistiksel perkolasyon tipindedir. Bu modeller tipik olarak, kompozit içindeki partikül temaslarının olasılığına dayanan iletkenliği tahmin eder. Sıklıkla atıfta bulunulan perkolasyon modellerinden ikisi, ilk olarak Kirkpatrick ve Zallen tarafından önerilen modellerdir. Perkolasyon konsantrasyonunu belirlemek için sonlu düzenli bir dizi nokta ve bağ kullanılmıştır. Bilgisayar simülasyonu ile , bir kümede bulunan noktaları ve bağları tahmin etmek ve bu kümenin sistemin sınırlarını kapsayıp kapsamadığını belirlemek mümkün olmuştur. Bu işlemden sonra, perkolasyon eşiğini tahmin etmek mümkün oluyordu, ama tahmin edilen değerleri hacim kesirlerine dönüştürmek için daha fazla hesaplama yapılması gerekliydi, önerilen model aşağıdaki formun bir güç kanunu denklemini izledi:

$$\sigma_m = \sigma_h (\phi - \phi_c)^t \quad (2.1)$$

Bu denklemde  $\sigma_m$ , kompozit iletkenliğidir,  $\sigma_h$  dolgu iletkenliği,  $\phi$  hacim fraksiyonudur,  $\phi_c$  perkolasyon eşigidir ve  $t$ , kritik üsdür. Bu özel model, perkolasyon eşiğini belirlemede tam olarak doğru değildi. Ancak. Daha sonraki iletkenlik modellerinin birçoğu için temel olmuştur. Bu yeni modeller benzer bir formda

tutulmuştur. Ama, T üssünün çözümü için farklı yöntemler kullanmaktadır. Sonuç olarak, elektrik iletkenliğinin biraz daha doğru tahmin edicileri haline gelmiştir.

İstatistik modeline benzer bir modelin bir örneği, denklem 2.2'de verildiği gibi, Mclachlan tarafından önerilen modeldir.

$$\frac{(1-\phi)(\rho_m^{1/t} - \rho_h^{1/t})}{\rho_m^{1/t} + \left(\frac{1-\phi_c}{\phi_c}\right)\rho_h^{1/t}} + \frac{\phi(\rho_m^{1/t} - \rho_l^{1/t})}{\rho_m^{1/t} + \left(\frac{1-\phi_c}{\phi_c}\right)\rho_l^{1/t}} = 0 \quad (2.2)$$

Bu Denklem ; hacim fraksiyonu  $\phi$ , perkolasyon eşiği  $\phi_c$ , dolgu direnci  $\rho_h$  polimer direnci  $\rho_l$ , ve kiritik üs T nin bir fonksiyonudur.

Mclachlan, bu özel modeli, burada incelenen sistemin bir tipi olan bir yalıtım matrisinde iletken parçacıklar için önerdi. Bu model, yapıyı oluşturan materyallerin iletkenliğini, perkolasyon eşiğini ve kritik üssü hesaplamaya yönlendirir. Kritik üssün değeri deneysel bir veri kümesinden hesaplanır ve tipik olarak 1.5 ile 3.1 arasında değişir [18].

### 2.3.5.2 Termodinamik perkolasyon modelleri

Bu tipteki modeller, özellikle ara yüzey geriliminin ve bileşenlerin yüzey enerjilerinin kullanılmasıyla, polimer ile dolgu malzemesi arasındaki etkileşimlere dayanan iletkenliği tahmin eder.

Mamunya ve arkadaşları [9,19], farklı polimerlerin dolgu maddesi hacim fraksiyonuna karşı kompozit iletkenliği incelediler ve böylece iletkenlik üzerindeki diğer faktörlerin etkisini değerlendirebildiler. Bu faktörler dolgu ve polimer yüzey enerjilerini ve polimer eriyiğinin viskozitesini içeriyordu. diğerlerinin yanı sıra, sonuçta ortaya çıkan model, perkolasyon davranışının dolgu maddesi malzemesinin büyüklüğüne ve miktarına ek olarak polimer dolgu maddesi içeriğine bağlı olduğunu göstermiştir. Perkolasyon eşiğinin üzerindeki tüm noktalarda, kompozitin iletkenliği şu şekilde bulunmuştur:

$$\log \sigma_m = \log \sigma_c + (\log \sigma_F - \log \sigma_c) \left( \frac{\phi - \phi_c}{F - \phi_c} \right)^k$$

$$k = \frac{K \cdot \phi_c}{(\phi - \phi_c)^{0.75}} \quad K = A - B \cdot \gamma_{pf} \quad F = 0.65 \cdot \phi_c^{1/3} \quad (2.3)$$

Bu denklemde  $\sigma_m$  kompozit iletkenliktir,  $\sigma_c$  Perkolasyon eşiğinde iletkenliktir,  $\sigma_F$  maksimum paketleme fraksiyonu F'deki iletkenliktir. hacim oranı  $\phi$  ile temsil edilir,  $\phi_c$  tarafından percolasyon eşiği,  $\gamma_{pf}$ , tarafından ara yüzey gerilimini belirtilir . A ve B Sabit sayılardır.

K değeri, dolgu maddesi hacim fraksiyonuna, perkolasyon eşiğine ve Fowklar [20] denklemi ile hesaplanan ara yüzey gerilimine bağlıdır; burada  $\gamma_p$  polimerin yüzey enerjisi ve  $\gamma_f$  dolgu maddesinin yüzey enerjisidir.

$$\gamma_{pf} = \gamma_p + \gamma_f - 2(\gamma_p \cdot \gamma_f)^{0.5} \quad (2.4)$$

Bu model, hesaplanan değerler ile karbon siyahı [21] ile doldurulmuş farklı polimerler için deneysel veriler arasında iyi bir anlaşma sağlamıştır, ancak bu modeli bu çalışmaya uygulamak için diğer dolgu maddelerini de kapsayacak şekilde genişletilememiştir. Aynı grubun daha önceki bir çalışmasından elde edilen bir denklem, karbon fiberler için F, maksimum paketleme fraksiyonunu hesaplamak için kullanıldı [9, 19]. Bu denklem, en boy oranı (AR) işlevi olan aşağıdaki denklem tarafından verilir.

$$F = \frac{5}{\frac{75}{10 + AR} + AR} \quad (2.5)$$

Bu denklemin modele eklenmesinin, karbon fiberleri içeren kompozitler için elektriksel iletkenliğin doğru hesaplanmasını sağlayacaktır.

### 2.3.5.3 Geometrik perkolasyon modelleri

Lux [22] 'e göre, geometrik kaplama modelleri orijinal olarak, iletken ve yalıtıcı tozların sinterlenmiş karışımlarının iletkenliğini tahmin etmeyi amaçlamıştır. Sınırlı uygulanabilirlikten dolayı, bu projedeki malzemeler için incelenememiştir.

Bu nedenle, burada ayrıntılı olarak incelenmeyeceklerdir, ancak kısa örnekler tartışılacaktır, ana varsayım, sinterleme işlemi sırasında, yalıtım malzemesi düzenli kübik partiküller oluştururken, iletken parçacıkların düzenli olarak yalıtkan parçacıkların yüzeyinde dizilmesidir. İletkenliği belirlemede kullanılan ana parametreler; sinterlenmiş parçacıkların çapları veya sinterlenmiş parçacıkların kenar uzunluklarıdır.

Bu sınıftaki en iyi bilinen model Malliaris ve Turner tarafından önerilmiştir [9]. İki hacim fraksiyonunu tahmin etmek için kullanılan iki denklem vardır - biri perkolasyon eşiğini hesaplamak için, diğeri iletkenlik artışının sonunda hacim fraksiyonu için. Bu denklemler, parçacıkların çapını, uzun şeritte iletken parçacıkların oluşma olasılığını ve iletken parçacıkların yalıtıcı parçacıkların yüzeyi üzerinde düzenlenmesini kullanır. Deneysel doğrulama ile, bu denklemlerin hacim fraksiyonlarını doğru olarak tahmin edemediği tespit edilmiştir.

### 2.3.5.4 Yapıya dayalı perkolasyon modelleri

Yapıya yönelik modeller, nihai kompozitin fiziksel yapısına dayanmaktadır. İşleme tekniklerinin çeşitliliğine bağlı olarak, nihai ürün farklı iletkenlik veya perkolasyon konsantrasyonları ile sonuçlanarak önemli ölçüde değişebilir. Nielsen [9] tarafından önerilen bir model, bir kompozitin iletkenliğini, en boy oranına ( $l / d$ ) ve dolgu maddesinin koordinasyon numarasına bağlamıştır. Nielson modelinde kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_m = \sigma_i \cdot \frac{1 + AB\phi}{1 - B\Psi\phi}$$
$$B = \frac{\sigma_h / \sigma_i - 1}{\sigma_h / \sigma_i + A} \quad \Psi \approx 1 + \left( \frac{1 - F}{F^2} \right) \phi \quad (2.6)$$

Bu modelde, A, en boy oranı ve oryantasyonun bir fonksiyonudur ve B, polimer sistemi için esasen 1'e eşittir,  $\phi$  hacim fraksiyonu, F maksimum paketleme fraksiyonu,  $\sigma_m$  kompozitin iletkenliği,  $\sigma_i$ , Polimer iletkenliği ve  $\sigma_h$  dolgu maddesinin iletkenliğidir,

Nielsen bu denklemleri elektrik iletkenliğini, termal iletkenliği ve metal / polimer sisteminin modülünü tanımlamak için kullanmıştır. Denklemler, termal iletkenlik tahminleri için marjinal olarak doğru olsa da, Bigg [9], elektrik iletkenliğini tahmin etmede tamamen etkisiz olduğunu göstermektedir.

Weber ve Kamal [11] , dolgu konsantrasyonu, boyutları, en boy oranı ve oryantasyon için iki model önermişlerdir. İncelenen sistem polipropilende nikel kaplı grafit elyaftı. "Uçtan uca" modeli, numunenin liflerinin iletken "tellerinden" oluştuğunu ve uçtan uca bağlandıklarını varsaydı. ikinci model ise Diğer parametrelere ek olarak fiber-fiber teması dikkate alır ,Temas modeli için ortaya çıkan denklem, parametrik bir çalışma için seçilmiş ve aşağıdaki denklem tarafından verilmiştir:

$$\rho_{c, long} = \frac{\pi d^2 \rho_f X}{4 \phi_p d_c \ell \cos^2 \theta_a} \quad (2.7)$$

Bu denklemde  $\rho_{c, long}$  kompozitin direncidir,  $\theta_a$  yönelim açısıdır,  $L / d$  en boy oranıdır,  $d / DC$  fiber çapının temas çemberi çapına oranıdır,  $\phi_p$  tellere katılan liflerin yüzdesidir,  $\rho_f$  dolgu maddesinin direncidir ve  $P_i$  yaklaşık 3,14'tür. Bazı yapı yönelimli modeller iletkenliği doğru bir şekilde öngörebilmelerine rağmen, bu sınıftaki tüm modellere yönelik büyük bir sınırlama:bu modellerin, kompozitin iletkenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilen yüzey enerji etkileşimlerini hesaba katmadıkları veya tahmin edemedikleridir. . Mamunya ve arkadaşları [9] tarafından yapılan model, iletkenliğin, polimer ve dolgu maddesinin yüzey etkileşimleri ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir.

### 2.3.6 Elektriksel iletkenlik için kullanılan bazı katkı malzemeleri

Karbon siyahı, uygulama alanı olarak geniş yayılımı bulunan bir malzemedir. Esas olarak elementel karbondan oluşur ve tipik olarak yaklaşık 30-100 nm boyutunda olan yığınları oluşturmak için birbirine kaynaşmış olan küresel parçacıklar biçimindedir. Geleneksel olarak, karbon siyahı, siyah mürekkep pigmentinde ve aynı zamanda hala kullanılmakta olan kopya makineleri ve yazıcıların tonerlerinde kullanılmıştır. Karbon siyahı ayrıca yırtılma mukavemetini arttırmak ve aşınma özelliklerini geliştirmek için kauçuğa ilave edilmiştir. iletken reçinelerde kullanım

için, elektrik iletkenliklerini geliştirmek amacıyla plastikler ,karbon siyahı ile doldurulmuştur.

Karbon siyahı, hammaddeye ve malzemeyi üretmek için kullanılan prosese bağlı olarak birkaç farklı şekilde ortaya çıkar [23]. Karbon siyahının üretimi için en yaygın süreç, termal-oksidatif işlemdir. Her yıl tüketilen karbon siyahının yaklaşık% 98'i bu yöntemden üretilmektedir. Bu işlemde, doğal gaz havada yakılır ve daha sonra tipik olarak kömür katranı veya ham petrol olan besleme stokları ile karıştırılır. Reaksiyonu oluşturan ürünler daha sonra karbon siyahını, kuyruk gazından ayıran filtreler yoluyla gönderilir. Büyük partiküller daha sonra çekiçli değirmenler tarafından küçültülür ve daha sonra karbon siyahı, suyla karıştırıldığı bir peletleyiciye gönderilir. Islak peletler daha sonra kurutulur, boyut dağılımı için elenir, miktatsızlar içinden geçirilir ve herhangi bir demir veya pas kontaminasyonu çıkarılır. Ve daha sonra silolarda saklamak için gönderilir [23].

Karbon siyahı ayrıca, elektrik uygulamaları için daha uygun bir malzeme oluşturan başka bir işlemde de oluşturulabilir. asetilen siyahı olarak bilinen bu yüksek derecede elektriksel olarak iletken karbon siyahı türü, oksijenin yokluğunda asetilenin termal ayrışmasının bir ürünüdür. Asetilen, termal olarak dengesiz bir malzemedir ve yüksek ölçüde ekzotermik bir reaksiyonda hidrojen ve karbonun içine ayrılacaktır. Bu reaksiyonu gerçekleştirmek için, reaktör kabı, hava içinde asetilenin yakılarak ısınmaktadır. Karbon siyahı üretmek için, reaksiyonun devam etmesi beklenirken hava girişi durdurulur. Reaksiyonun devam etmesi, karbon siyahını meydana getiren şeydir. Asetilen beslemesinin akışı durana kadar proses devam edecektir. Bu işlem çok saf olan ve diğer siyahlara göre daha yüksek bir kristallilik derecesine sahip bir karbon siyahı üretecektir. Karbon siyahı parçacıkları da bu işlemde toplanacak ve yüksek yüzey alanlı aglomera üretecektir. Çok düşük yoğunluklu. Yüksek yüzey alanı ve doğal iletken özellikleri, iletken uygulamalarda bu özel karbon siyahının kullanılmasının nedenleridir [23].

Poliakrilonitril (PAN), ticari olarak temin edilebilen karbon fiberlerin yaklaşık yüzde yetmiş ila yüzde seksenini oluşturmak için kullanılan bir polimerdir [24]. Esas olarak, PAN'nın yapısı, temel yapıyı değiştirmeden hızlı bir piroliz hızına izin verdiği için kullanılır. Tercih edilen bir yönelimin daha yüksek bir derecesi ile, bu malzeme, orijinal boyutun% 800 kadar yüksek bir seviyeye kadar gerilebilir. Ayrıca, PAN erime

işleminden önce ayrışacaktır ve 1000 C ve daha yükseğe [24] pirolize edildiğinde% 50-55 yüksek karbon verimine neden olacaktır.

Önceki bölümlerden, geniş bir malzeme dizisinin çeşitli karbon parçacıklarına ve liflere dönüştürülebildiği görülebilir. Bu malzemeler, grafitte benzer özelliklere ve yapıya sahip bir sentetik malzeme oluşturmak için de kullanılabilir. Sentetik grafit oluşturmak için kullanılan çok adımlı işlem ,komplike ve yavaştır, ancak ürettiği ürün birçok iletken uygulama için faydalıdır.

Sentetik grafit üretiminde kullanılan ana hammadde, ham petrolün işlenmesinin bir yan ürünü olan petrol kokudur. Bir rafineride birçok damıtma işleminden gelen artıkların toplanması ile oluştuğu için, tedarik imkanı yüksektir. Ancak, petrol kok kömürü olduğu gibi çok yararlı değildir. Toplanan yüksek miktarlarla karıştırılmış, bu hammadde nispeten ucuzdur.



### **3. DENEYSEL KISIM**

#### **3.1 Malzemeler**

Cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli iletken Poliamid 6 ve 6,6 karışımlarının hazırlanması için kullanılan malzemeler aşağıda belirtilmektedir. Belirtilen bu malzemelerden cam elyaf malzemenin mekanik dayanımları için kullanılmış, karbon elyaf ise özellikle iletkenlik için tercih edilmiştir. Ayrıca iletkenliği sağlamak için özel karışım paketleri ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu katkıların dışında kullanılan malzemeler karışım hazırlanması sırasında proses için gerekli olan yardımcı katkılar ve kaydırıcılar ve antioksidanlardır. Yardımcı katkılar üretim prosesi sırasında ekstrüzyonda sürtünmeyi azaltarak malzemenin zarar görmesini engeller. Kaydırıcı olarak kullanılan katkılardan dış kaydırıcılar malzemenin enjeksiyon prosesi sırasında kalıptan rahat ayrılmasını sağlar. Fenolik yapıdaki antioksidanlar birincil antioksidan olarak kullanılır ve özellikle proses sırasında ısıl koruma sağlar. Fosfit yapıdaki ikincil antioksidanlar uzun süreli bir koruma sağlamak için formüllere eklenmektedir. Malzemeler karışım yapılmadan önce özelliklerine göre karışım için uygun hale getirilir. Karışım için belirlenen oranlarda harman yapılarak hazırlanır ve ekstrüzyon prosesinde ilgili ana besleme ve yan beslemelerden karışıma beslenir.

##### **3.1.1 Poliamid 6 ve Poliamid 6,6**

Çalışmada yarı kristalin yapıda Poliamid 6 ve 6,6 kullanılmıştır.

Kullanılan PA 6 2.4 viskoziteye sahip, katkısız, ekstrüzyon prosesine uygun bir hammaddedir. Hammaddeye ait teknik özellikler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 3.1 : Poliamid 6'nın teknik özellikleri**

<b>Teknik Özellikler</b>	<b>Birim</b>	<b>PA 6</b>
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	1,14
Çekme Esneklik Modülü	MPa	3000
Kopma Mukavemet (23°C)	MPa	75
Kopma Uzaması (23°C)	%	4
Çentikli Charpy Darbe Değeri (23°C)	kJ/m <sup>2</sup>	<10
Erime Sıcaklığı	°C	222

Çalışmada kullanılan PA 6,6 katkısız, ekstrüzyon prosesine uygun bir hammaddedir. Hammaddeye ait teknik özellikler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 3.2 : Poliamid 6,6'nın teknik özellikleri**

<b>Teknik Özellikler</b>	<b>Birim</b>	<b>PA 6,6</b>
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	1,14
Çekme Esneklik Modülü	MPa	2900
Kopma Mukavemet (23°C)	MPa	84
Kopma Uzaması (23°C)	%	4,5
Çentikli Charpy Darbe Değeri (23°C)	kJ/m <sup>2</sup>	3,5
Erime Sıcaklığı	°C	263

### **3.1.2 Cam elyaf**

Karışımda kullanılan cam elyaf; 10,5 µm filament çapına, 3 mm uzunluğa ve maksimum 0,1 nem alma kapasitesine sahiptir.

### **3.1.3 Karbon elyaf**

Çalışmada karbon elyaf kullanımının amacı elektriksel iletkenliği ve malzemenin mekanik dayanım değerlerini arttırmaktır.



**Şekil 3.1** : Birinci kalite karbon elyaf

Çalışmada kullanılan birinci kalitedeki karbon elyafın özellikleri aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

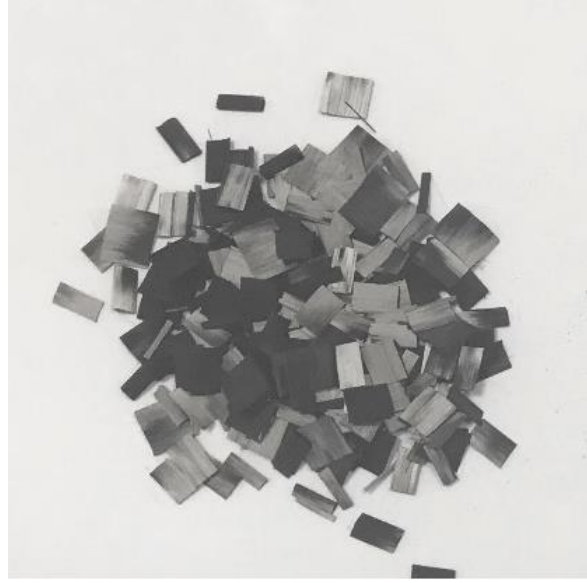
**Çizelge 3.3** : Birinci kalitedeki karbon elyafın teknik özellikleri

<b>Teknik Özellikler</b>	<b>Birim</b>	<b>Karbon Elyaf</b>
Yoğunluk	Kj/m <sup>2</sup>	1,76
Çekme Esneklik Modülü	GPa	240
Kopma Mukavemet (23°C)	MPa	4200
Kopma Uzaması (23°C)	%	1,8
Elyaf Uzunluğu	mm	6
Hacimsel Yoğunluk	g/l	575

#### **3.1.4 Geri dönüştürülmüş karbon elyaf**

Çalışma da geri dönüştürülmüş karbon elyaf maliyet düşürme amacı ile kullanılmıştır.

Şekil 3.2' de geri dönüştürülmüş karbon elyafın fiziksel yapısı verilmiştir.



**Şekil 3.2 :** Geri dönüştürülmüş karbon elyafın fiziksel yapısı

### 3.1.5 İletken karbon siyahı katkılı karışım

PA 6 taşıyıcıda karbon siyahının belirli bir konsantrasyonda karışımı ile oluşmuş bir hammaddedir. Masterbatch % 100 oranında kullanılabilir veya diğer polimerler ile seyreltilerek bir bileşen olarak kullanılarak elektrik iletkenliği sağlanabilir. Kalın / ince kesitli ekstrüzyonda kullanımı uygundur. Bir çok poliamid malzeme ile uyumludur. Karbon siyahının doğrudan üretim prosesine dahil edilmesi zor olduğu için bu şekilde masterbatch haline getirilmiş bir katkı kullanımı tercih edilmiştir. Kullanılan masterbatch' e ait bilgiler aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

**Çizelge 3.4 :** İletken karbon siyahı katkılı karışıma ait teknik özellikler

<b>Teknik Özellikler</b>	<b>Birim</b>	<b>Karışımın Özellikleri</b>
PA6 Erime Noktası	°C	220
Yoğunluk	Kg/m <sup>3</sup>	1100
Eriyik Akış İndeksi (10.0kgs/275°C)	g/10 dk	60
Yüzey Direnci	Ohms	10 <sup>2</sup>
Izod Darbe Değeri	Kj/m <sup>2</sup>	2.59
Kopma Uzaması	%	2.0
Kopma Mukavemeti	Mpa	51.6
Basma Bükme Modülü	Mpa	3343

### 3.1.6 Grafit

Grafit, PA 6 ile blend edildiğinde yüksek saflık, iyi bir kaydırıcı ve iletkenlik özelliği sağlar.

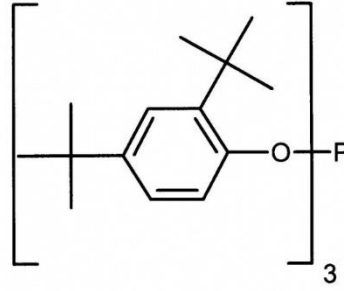
### 3.1.7 Kalsiyum stearat

Çalışma da kullanılan iç kaydırıcı ve kalıp ayırıcı özelliği veren kalsiyum stearat, proses yardımcı bileşendir.

### 3.1.8 Antioksidanlar

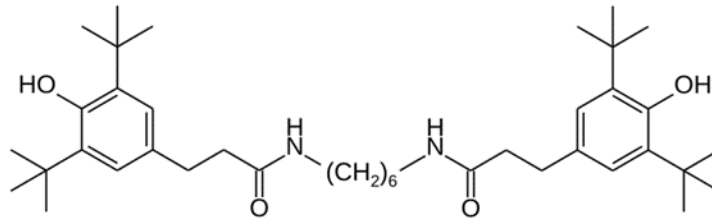
Polimer karışımlarında, antioksidantlar, oksitlenmeye karşı korumak için kullanılmaktadır. Bununla birlikte yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunda renk değişimine karşı mükemmel bir koruma sağlarlar.

Antioksidan 168 olarak kullanılan malzemenin kimyasal yapısı aşağıda gösterilmiştir. Bu molekül 183-187 °C erime sıcaklığına sahiptir. Fosfit yapılı bu katkı ikincil antioksidan olup uzun süreli koruma sağlar.



Şekil 3.3 : Antioksidan 168'in kimyasal yapısı

Antioksidan 1098 fenolik yapıda olup birincil ısı stabilizatörü olarak kullanılan bir katkıdır ve kimyasal yapısı aşağıda verilmiştir. Bu antioksidan özellikle proses sırasında güçlü bir koruma özelliği göstermektedir. Bu molekül 155-161 °C erime derecesi özelliklerine sahiptir.



Şekil 3.4 : Antioksidan 1098'in kimyasal yapısı

### 3.1.9 EBS wax

Etilen bisstearamid (EBS), formülü  $(CH_2NHC(O)C_{17}H_{35})_2$  olan organik bir bileşiktir. Bileşik, etilendiamin ve stearik asitin reaksiyonundan elde edilir. EBS, işlenebilirliği arttırmak, polimer yüzeyinin sürtünmesini ve aşınmasını azaltmak ve rengin korunmasına katkıda bulunmak için kullanılır. Katı bileşik malzemelerin dispersiyonunu kolaylaştıracağı gibi iç ve dış yağlayıcı olarak kullanılan sentetik bir mumdur.

## 3.2 Makinalar

### 3.2.1 Ekstrüder makinası

Çift vida ekstruderler 50 yılı aşkın süredir plastik malzemelerin diğer plastikler, katkılar, boya ve stabilizanlar ile homojen karıştırılması için kullanılan ürünlerdir. Ekstruderleri oluşturan ana birimler; motor, redüktör, kovan grubu ve taşıyıcı gövdedir. Bu ana birimlerin dışında ürünün özelliklerini belirleyen çok sayıda yardımcı birim ekstrüderler üzerinde bulunmaktadır.

İletken polimer denemelerinin yapılması çalışmalarımız kapsamında öncelikli olarak ekstrüzyon prosesi operasyon koşulları tanımlandı. Numunelerin hepsi firmada bulunan COPERION marka, ikisi yandan olmak üzere toplamda beşbesleme hunisine sahip, çift vidalı ve karıştırma hatveli, vida çapı 26 olan ekstrüderde gerçekleştirildi.



Şekil 3.5 : Karışımlarda kullanılan ekstrüder makinası

### 3.2.2 Enjeksiyon makinası

Plastik enjeksiyon, sıcaklık yardımı ile eritilmiş plastik hammaddenin bir kalıp içine enjekte edilerek şekillendirilmesi ve soğutulularak kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalat yöntemidir.

İletken polimer performans test çalışmaları kapsamında öncelikli olarak numune basımları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda tüm numunelerin basımı JOMWAI marka 150 ton'luk enjeksiyon makinesinde gerçekleştirildi.



Şekil 3.6 : Enjeksiyon makinası

### 3.3 İletken Polimer Karışımlarının Hazırlanması

Çalışmamız ön hazırlık aşamasında belirlenen başlangıç formüllerine malzemeler hazırlandı ve COPERION marka, çift vidalı ve karıştırıcı hatveli, vida çapı 26 olan ekstrüderde karışımlar hazırlandı.

Çalışmada yapılan ve denemeleri tamamlanan formülasyonlar aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 3.5 : İletken Poliamid karışımları için belirlenen formüllasyonlar**

İLETKEN KATKI TÜRÜ	DENEMELER	FORMÜLASYON
Karbon elyaf ilavesi	D1	POLİAMİD 66 + %10 ORJİNAL KARBON ELYAF
	D2	POLİAMİD 66 + %10 GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ KARBON ELYAF
	D3	POLİAMİD 6 + %10 CAM ELYAF + %10 KARBON ELYAF
	D4	POLİAMİD 6 + %10 CAM ELYAF + %20 KARBON ELYAF
	D5	POLİAMİD 6 + %10 CAM ELYAF + %30 KARBON ELYAF
	D6	POLİAMİD 6 + %10 CAM ELYAF + %10 GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ KARBON ELYAF
	D7	POLİAMİD 6 + %10 CAM ELYAF + %20 GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ KARBON ELYAF
	D8	POLİAMİD 6 + %10 CAM ELYAF + %30 GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ KARBON ELYAF
Grafit ilavesi	D9	POLİAMİD 6 + %10 GRAFİT
	D10	POLİAMİD 66 + %10 GRAFİT
	D11	POLİAMİD 6 + %30 CAM ELYAF + %10 GRAFİT
	D12	POLİAMİD 66 + %30 CAM ELYAF + %10 GRAFİT
	D13	POLİAMİD 6 + %40 GRAFİT
İletken karbon siyahı katkılı karışım ilavesi	D14	POLİAMİD 66 + %30 CAM ELYAF + %10 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
	D15	POLİAMİD 6 + % 80 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
	D16	POLİAMİD 6 + %40 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
	D17	POLİAMİD 6 + %10 GRAFİT + %5 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
	D18	POLİAMİD 66 + %10 GRAFİT + %5 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
İletken katkılarının kombinasyonu	D19	POLİAMİD 66 + %5 GRAFİT + %10 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
	D20	POLİAMİD 6 + %10 KARBON ELYAF + %30 GRAFİT
	D21	POLİAMİD 6 + %10 KARBON ELYAF + %30 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM



D22	POLİAMİD 6 + %10 GRAFİT + %40 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
D23	POLİAMİD 66 + %10 GERİ DÖNÜŞTÜLMÜŞ KARBON ELYAF + %60 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
D24	POLİAMİD 6 + %10 KARBON ELYAF + %70 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
D25	POLİAMİD 6 + %5 KARBON ELYAF + %75 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM
D26	POLİAMİD 66 + %65 İLETKEN KARBON SİYAHİ KATKILI KARIŞIM + %5 CAM ELYAF + %5 KARBON ELYAF

---

İletken polimer denemelerinin yapılması çalışmalarımız kapsamında öncelikli olarak ekstrüzyon prosesi operasyon koşulları tanımlandı. Numunelerin hepsi firmada bulunan COPERION marka, ikisi yandan olmak üzere toplamda beş besleme hunisine sahip, çift vidalı ve karıştırma hatveli ekstruderde gerçekleştirildi.

Çalışmada hazırlanan karışımların ekstrüzyon şartları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

### **3.4 İletken Polimer Karışımlarının Kalıplanması**

Hazırlanan karışımlar, çekme- kopma , darbe ve iletkenlik testlerinin yapılması için ISO 527 ve ISO 179 standartlarına uygun ölçütlerde enjeksiyon kalıplama yöntemi ile şekillendirilmiştir. Şekillendirilmiş test plakalarından 5 'er adet alınarak gerekli test yapılmıştır.

**Çizelge 3.6 : İletken Poliamid karışımları için karışım şartları (a)**

<b>PARAMATRELER</b>	<b>D-1</b>	<b>D-2</b>	<b>D-3</b>	<b>D-4</b>	<b>D-5</b>	<b>D-6</b>	<b>D-7</b>	<b>D-8</b>	<b>D-9</b>	<b>D-10</b>	<b>D-11</b>	<b>D-12</b>	<b>D-13</b>
Kovan 1	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Kovan 2	270	270	260	260	260	260	260	260	260	265	260	265	260
Kovan 3	270	270	260	260	260	260	260	260	260	265	260	265	260
Kovan 4	270	270	260	260	260	260	260	260	260	265	260	265	260
Kovan 5	270	270	260	260	260	260	260	260	260	265	260	265	260
Kovan 6	270	270	260	260	260	260	260	260	260	265	260	265	260
Kovan 7	270	270	260	260	260	260	260	260	260	265	260	265	260
Kovan 8	270	265	260	260	260	260	260	260	260	265	260	265	260
Kovan 9	270	265	260	260	260	260	260	260	260	265	260	265	260
Kovan 10	270	265	260	260	260	260	260	260	260	265	260	265	260
Kafa Sıcaklığı	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Motor Devri/Dk.	970	930	920	920	920	920	920	920	690	930	690	930	690
Üretim Hızı (kg/h)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Yan Besleme Devir/Dk.	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Granetör Devir/Dk	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35

**Çizelge 3.6 : İletken Poliamid karışımları için karışım şartları (b)**

<b>PARAMATRELER</b>	<b>D-14</b>	<b>D-15</b>	<b>D-16</b>	<b>D-17</b>	<b>D-18</b>	<b>D-19</b>	<b>D-20</b>	<b>D-21</b>	<b>D-22</b>	<b>D-23</b>	<b>D-24</b>	<b>D-25</b>	<b>D-26</b>
Kovan 1	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Kovan 2	270	260	260	260	265	265	260	260	260	265	260	260	265
Kovan 3	270	260	260	260	265	265	260	260	260	265	260	260	265
Kovan 4	270	260	260	260	265	265	260	260	260	265	260	260	265
Kovan 5	270	260	260	260	265	265	260	260	260	265	260	260	265
Kovan 6	270	260	260	260	265	265	260	260	260	265	260	260	265
Kovan 7	270	260	260	260	265	265	260	260	260	265	260	260	265
Kovan 8	265	260	260	260	265	265	260	260	260	265	260	260	265
Kovan 9	265	260	260	260	265	265	260	260	260	265	260	260	265
Kovan 10	265	260	260	260	265	265	260	260	260	265	260	260	265
Kafa Sıcaklığı	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Motor Devri/Dk.	880	690	690	790	890	920	690	690	690	890	690	690	890
Üretim Hızı (kg/h)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Yan Besleme Devir/Dk.	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Granetör Devir/Dk	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35

**Çizelge 3.7 : İletken Poliamid karışımları için enjeksiyon parametreleri (a)**

PARAMATRELER	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	D-9	D-10	D-11	D-12	D-13
Kovan 1 (°C)	265	265	255	255	260	255	255	255	250	285	250	285	250
Kovan 2 (°C)	260	260	250	250	255	250	250	250	245	280	245	280	245
Kovan 3 (°C)	260	260	245	245	250	245	245	245	240	275	240	270	240
Kovan 4 (°C)	260	260	240	240	245	240	240	240	240	275	240	270	240
Enjeksiyon Basıncı (N)	120	120	120	120	120	120	120	120	110	120	120	120	110

**Çizelge 3.7 : İletken Poliamid karışımları için enjeksiyon parametreleri (b)**

PARAMATRELER	D-14	D-15	D-16	D-17	D-18	D-19	D-20	D-21	D-22	D-23	D-24	D-25	D-26
Kovan 1 (°C)	285	280	280	250	285	285	255	255	285	265	280	280	265
Kovan 2 (°C)	280	275	275	245	280	280	250	250	280	260	275	275	260
Kovan 3 (°C)	275	270	270	240	275	270	245	245	270	260	270	270	260
Kovan 4 (°C)	275	270	270	240	275	270	240	240	270	260	270	270	260
Enjeksiyon Basıncı (N)	120	120	120	110	120	120	120	120	120	120	120	120	120

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

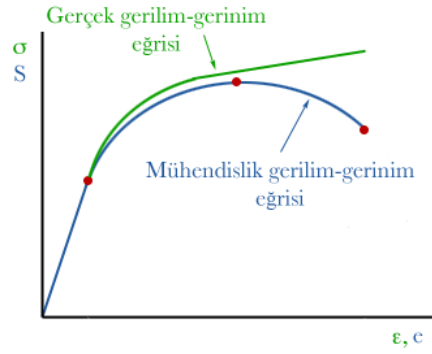
### 4.1 Mekanik Özellikler

#### 4.1.1 Çekme-kopma testi ve sonuçları

Çekme deneyi malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılan en yaygın test yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Çekme deneyinde bir malzemenin statik ve yavaş uygulanan bir yüke karşı dayanımı ölçülür. Uygun bir çekme test örneği (Şekil (4.1)) universal test makinesine yerleştirilir ve örneğe kuvvet (yük) uygulanır. Çekme deneyinde malzemedeki uzama miktarı ekstensometre, uygulanan kuvvet (yük) ise yük hücresi kullanılarak ölçülür ve bu ölçülen uzama ve yük değerleri kullanılarak gerilim - gerinim eğrisi elde edilir. Çekme deneyi ile malzemelerin sünekliği, mukavemeti, ve rijitliği belirlenebilir.



Şekil 4.1 : Çekme kopma test çubuğu



**Şekil 4.2 :** Gerilim-gerinim eğrisi

Testten elde edilen sonuçlar herhangi bir uygulama için malzeme seçimi, kalite kontrol ve malzemenin diğer kuvvetler altında nasıl davranacağını tahmin etmek için kullanılır. Bu test yoluyla direkt elde edilen bilgiler; maksimum çekme gerilmesi, maksimum uzama ve alandaki azalmadır. Bu verilerden de malzemenin Young katsayısı, Poisson oranı, akma mukavemeti ve pekleşme gibi karakteristikleri elde edilebilir.

Test edilecek numune makineye konular ve kopana dek çekme kuvveti uygulanır. Kuvvetin uygulanma süresi boyunca standart kesitteki uzama miktarı uygulanan kuvvete karşılıklı şekilde kaydedilir. Uzama miktarındaki veriler aşağıdaki denklem kullanarak mühendislik deformasyonunu ( $\epsilon$ ) belirlemede kullanılır:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (4.1)$$

$\Delta L$  boydaki uzama,  $L_0$  başlangıç uzunluğu ve  $L$  de son uzunluktur. Aşağıdaki denklemle de kuvvet verileri kullanılarak mühendislik gerilmesi,  $\sigma$  hesaplanır:

$$\sigma = \frac{F_n}{A} \quad (4.2)$$

$F$  kuvveti,  $A$  da standart kesit alanını göstermekle birlikte, makine, kuvvet arttıkça bu hesaplamaları yapar ve bu verilerden bir gerilme-deformasyon eğrisi çıkarır.

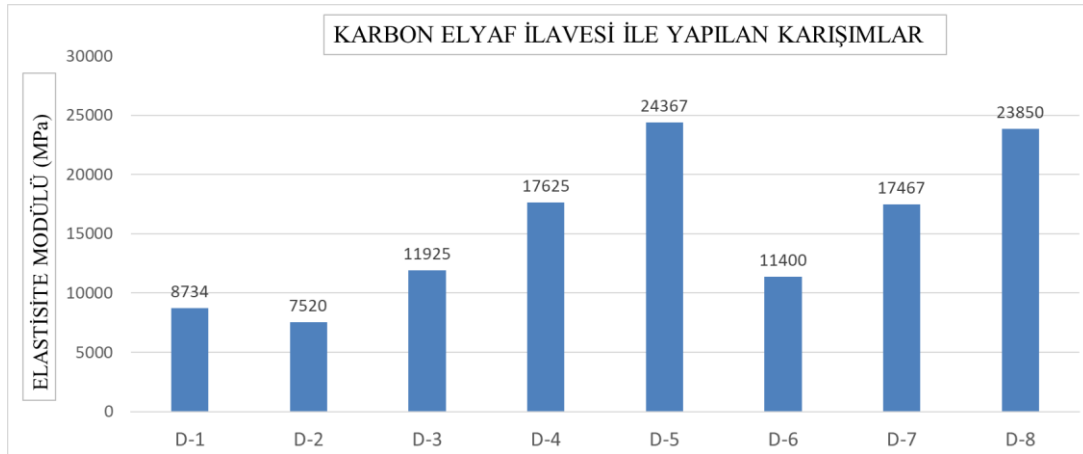
Tüm numunelere çekme-kopma testleri EPSAN PLASTİK firması laboratuvarlarında bulunan Zwick/Roell marka çekme test cihazında gerçekleştirildi.



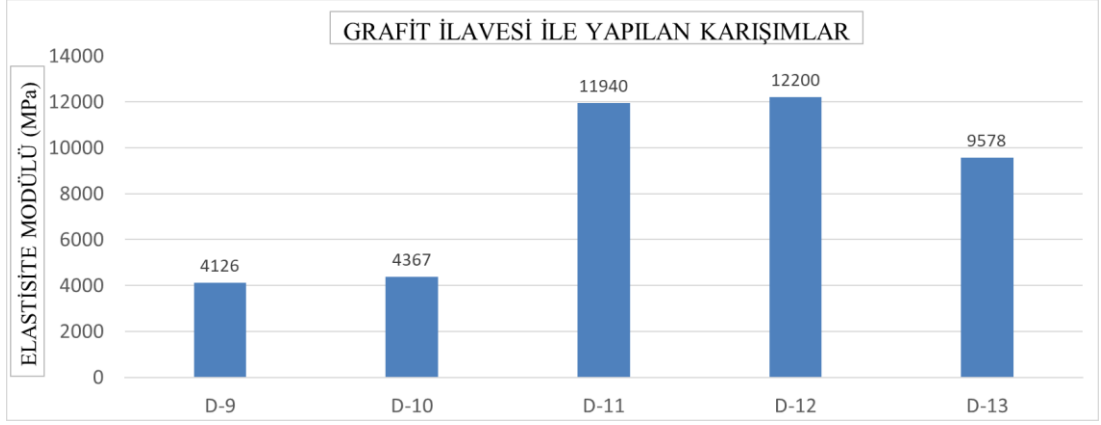
**Şekil 4.3 :** Çekme-kopma test cihazı

Tüm numuneler ISO 527-2 standardına uygun olarak kalıplanmış ve şekil 4.3'te gösterilen test cihazı ile test edilmiştir.

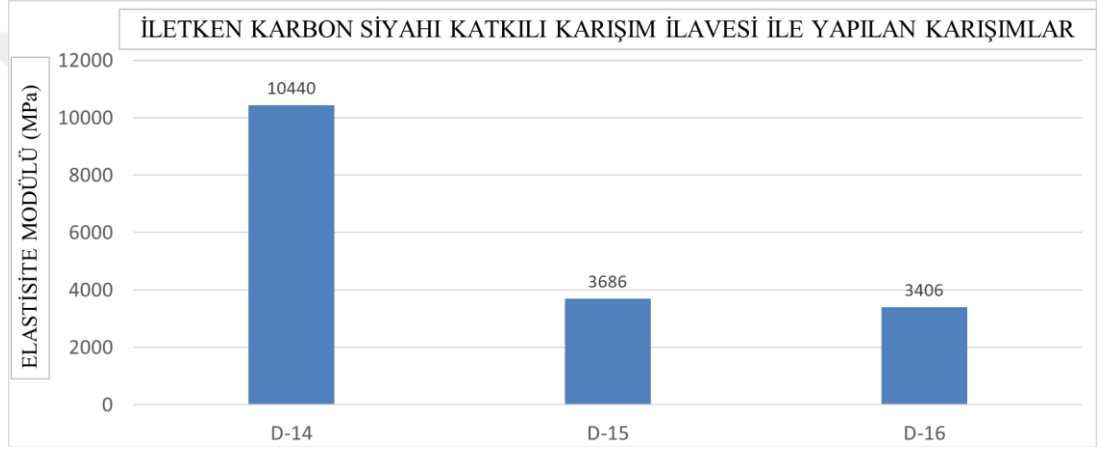
Yapılan karışım gruplarına ait çekme kopma testinden elde edilen elastisite modüllerine ait sonuçlar aşağıdaki gibidir.



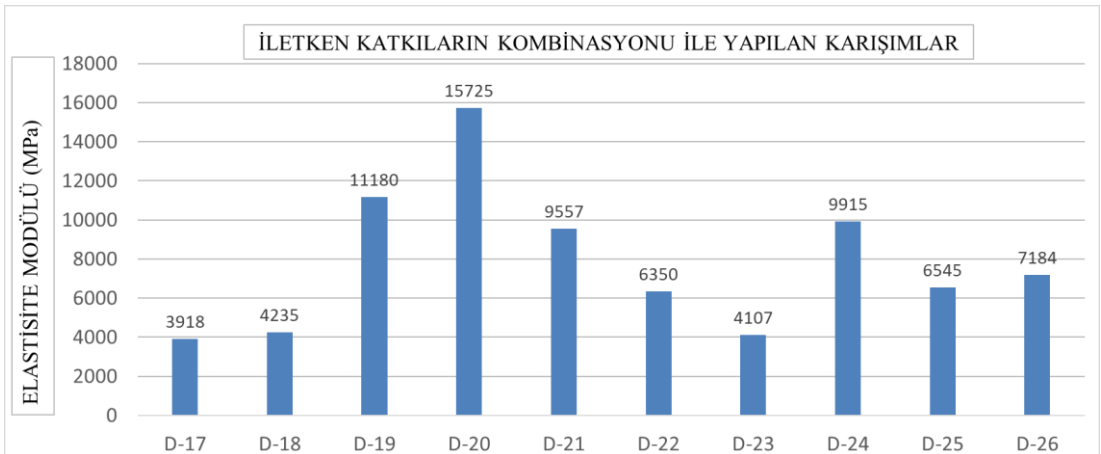
**Şekil 4.4 :** Karbon elyaf ile hazırlanan karışımlara ait elastisite modülü değerleri



**Şekil 4.5 :** Grafit ile hazırlanan karışımlara ait elastisite modülü değerleri



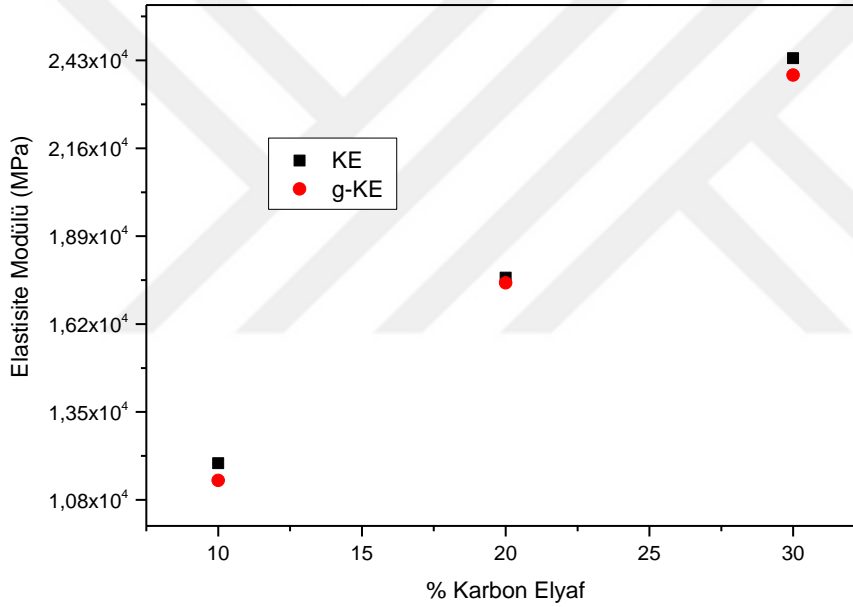
**Şekil 4.6 :** İletken karbon siyahı katkıli karışım ile hazırlanan karışımlara ait elastisite modülü değerleri



**Şekil 4.7 :** İletken katkıların kombinasyonu ile hazırlanan karışımlara ait elastisite modülü değerleri



Yapılan denemelerde çekme kopma testinde en başarılı olan grup karbon elyaf ile takviyelendirilmiş grup olmuştur. Karbon elyaf ilavesi ile malzemenin mekanik özellikleri doğru orantılı olarak artmaktadır. Kullanılan elyafların yüzey modifikasyonu poliamid ile uyumlu hale getirilmek üzere tasarlanmıştır. Bu sebeple poliamid matrisi ile elyaflar uygun ara yüzey oluşturmaktadır. Mekanik özelliklerin artmasında bu durumun önemli bir etkisi vardır. Orijinal karbon elyaf ve geri dönüştürülmüş karbon elyaf katkılı karışımların elastisite modüllerinin karşılaştırılması Şekil 4.8’de verilmiştir. Grafiktende açık bir şekilde görüldüğü üzere geri dönüştürülmüş karbon elyaf katkılı karışımların modül değerleri, birinci kalite karbon elyaf katkılı karışımlar ile kıyaslanabilir seviyededir.



**Şekil 4.8 :** %10 cam elyaf ile takviyelendirilmiş PA 6 formülü üzerine eklenen farklı oranlardaki orijinal karbon elyaf ve geri dönüştürülmüş karbon elyafa ait elastisite modülü karşılaştırması

Bunun yanında sadece %10 grafit ile takviyelendirilmiş denemelerde mekanik olarak beklenen değerler elde edilememiştir. Grafit ile olan numunelerin cam elyaf ve karbon elyaf ilavesi ile mekanik özelliklerinin yükseltilebileceği görülmüştür. %40 grafit takviyesi ile yapılan denemede elastisite modülü değerinde ciddi bir artış olmuştur. Bunun sebebi daha yapılan benzer çalışmalarda da belirtildiği gibi grafit ile poliamid matrisinin, grafitin iyi dispersiyonu ile güçlü bir ara yüzey oluşturması ve matristen grafitte etkili bir yük aktarımının sağlanması ile açıklanabilir [25].

Karbon siyahı katkılı karışımlar ile yapılan denemelerde mekanik özelliklerin çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu karışımlara iletken katkı maddelerinin kombinasyonlarında yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi karbon elyaf ilavesinin eklenmesi ile mekanik özelliklerinin çok ciddi anlamda arttırıldığı belirlenmiştir.

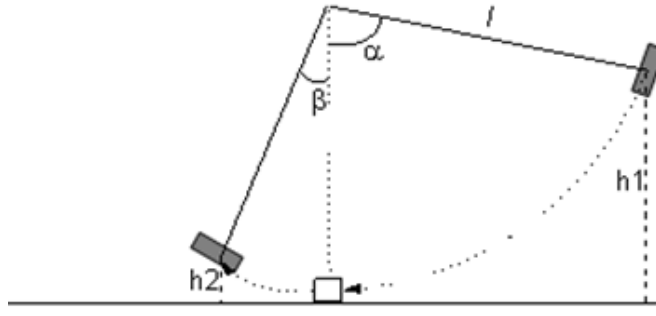
**Çizelge 4.1 : Hazırlanan karışımlara ait kopma mukavemeti sonuçları**

KARIŞIMLAR	KOPMA MUKAVEMETİ (Mpa)	KARIŞIMLAR	KOPMA MUKAVEMETİ (Mpa)
D1	145	D14	171
D2	126	D15	58
D3	166	D16	63
D4	191	D17	44
D5	214	D18	45
D6	174	D19	163
D7	207	D20	130
D8	216	D21	107
D9	41	D22	72
D10	47	D23	71
D11	169	D24	120
D12	182	D25	47
D13	79	D26	97

#### 4.1.2 Darbe dayanımı testi ve sonuçları

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir. Bu deneyin temel prensibi Şekil 4.5’de şematik olarak gösterildiği gibi, bir  $l$  uzunluğundaki sarkacın ucundaki belli bir  $G$  ağırlığına sahip çekiç belli bir  $h_1$  yüksekliğinden numuneyi kırması için serbest bırakılıyor. Serbest bırakılmadan önce çekicinin potansiyel enerjisi  $G.h_1$  iken numune kırıldıktan sonra belli bir  $h_2$  yüksekliğine çıkan çekicinin potansiyel enerjisi  $G.h_2$  olur. Bu durumda Kırılma Enerjisi (K.E.)  $=G.h_1-G.h_2$  olarak ifade edilir. Buna göre

$K.E.=G(h_1-h_2)=G.l.(Cos\beta-Cos\alpha)$  olarak ifade edilir. Burada  $l$  sarkaç boyudur. Buradan,  $\beta$  salınım açısı ve  $h_2$  yüksekli ne kadar az gerçekleşirse kırılan o malzemenin ne kadar çok darbe direnci yada yüksek tokluk gösterdiğini anlarız.



**Şekil 4.9 :** Darbe testinin temel prensibi

Test için gerekli numuneler ISO 179 standardına göre hazırlanmalıdır. Genellikle Charpy ve Izod olarak iki tipte darbe deney yöntemi vardır. Temel prensip aynıdır. Charpy deney numunesi yatık olarak Izod deney numunesi dik olarak darbe deney cihazına yerleştirilir. Tipik bir Charpy darbe deney numunesinin ölçü boyutu Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Bu numune üzerinde özellikle sünekliği fazla ve yüksek darbe direnci gösteren numunelerde belli ölçülerde çentik açılmalıdır. Bu çentikler gösterildiği gibi V-çentik, anahtar deliği ve U-çentik gibi çeşitlenebilir. Ancak Sert-kırılgan (gevrek) malzemelerin darbe deney numunelerine çentik açılmaz. Açılan bu çentikler aslında sünek malzemelerde kırılmayı kolaylaştırmak amacıyla yapılmaktadır.



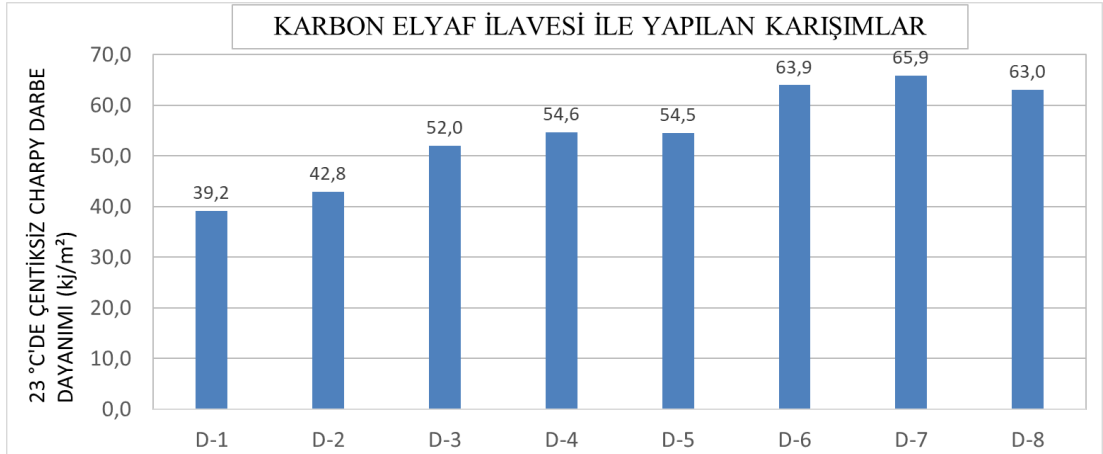
**Şekil 4.10 :** Charpy darbe testi plakası

Denemelere uygulanan charpy darbe testlerinin tümü EPSAN PLASTİK Firmasında bulunan INSTRON Marka cihaz ile tayin edilmiştir.

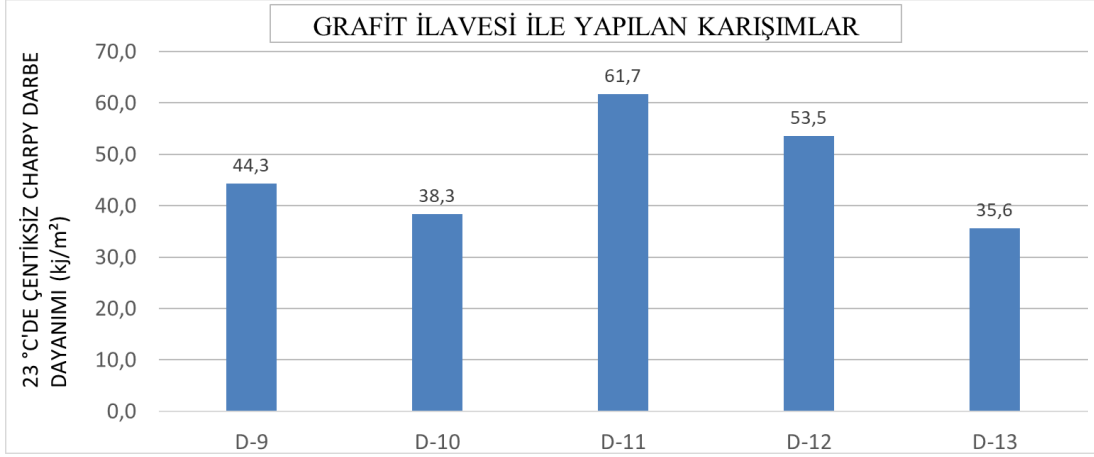


Şekil 4.11 : Darbe testi cihazı

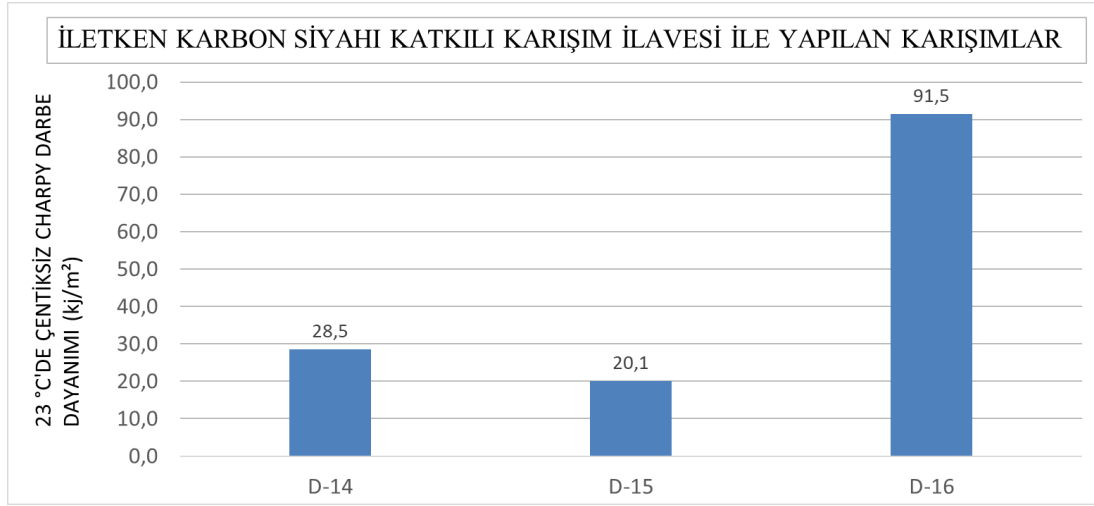
Tüm numuneler şekilde 4.10’da gösterilen darbe cihazı ile hem 23°C hem de -40°C’de test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar iletken katkı gruplarına göre aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



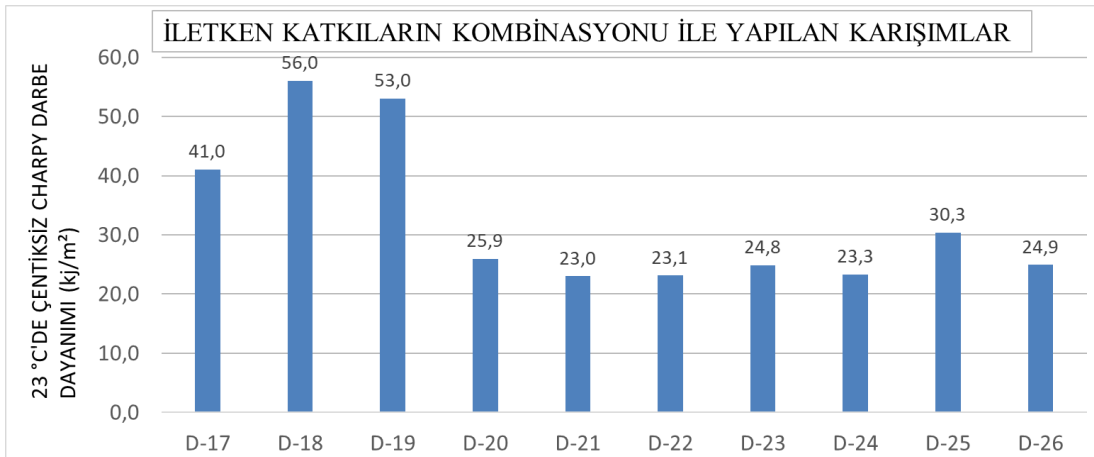
Şekil 4.12 : Karbon elyaf ile hazırlanan karışımlara ait 23°C’deki çentiksiz Charpy değerleri



**Şekil 4.13 :** Grafit ile hazırlanan karışımlara ait 23°C'deki çentiksiz Charpy değerleri



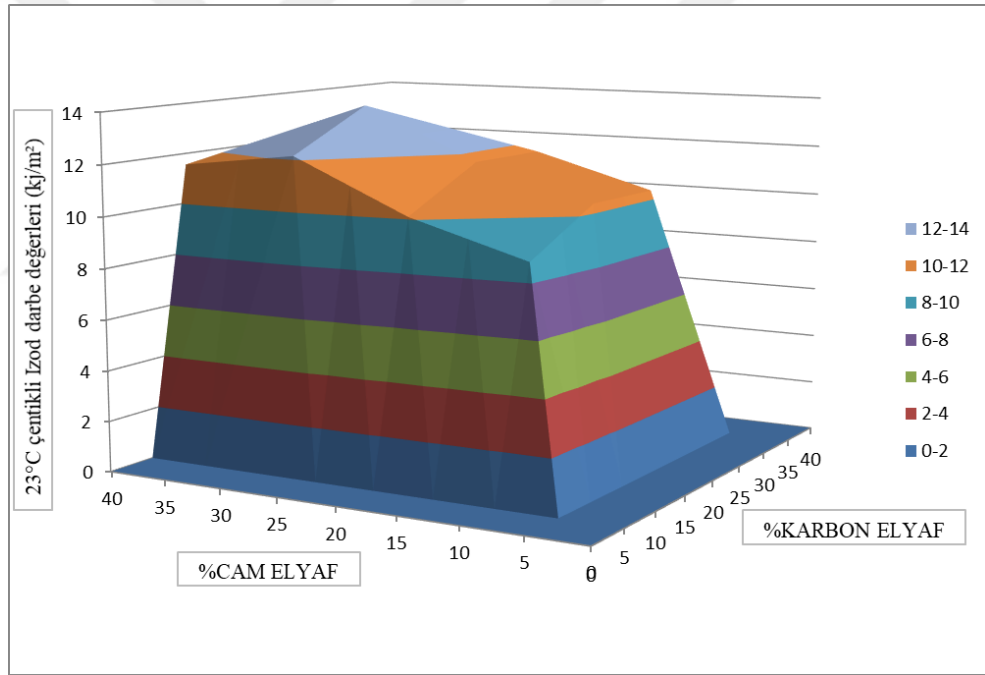
**Şekil 4.14 :** İletken karbon siyahı katkıli karışım ile hazırlanan karışımlara ait 23°C'deki çentiksiz Charpy değerleri



**Şekil 4.15 :** İletken katkıların kombinasyonu ile hazırlanan karışımlara ait 23°C'deki çentiksiz Charpy değerleri

Yapılan çentiksiz charpy darbe testi sonuçlarında en yüksek değerler cam elyaf katkı karışımlarda elde edilmiştir. En iyi sonuçlar ise %30 cam elyaf takviyesi ile sağlanmıştır. Bu şu şekilde açıklanabilir; poliamidler yüksek tokluğua sahip plastikler olsalar da, cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli olan karışımlarını kırmak için daha yüksek enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sayede elyaf takviyesi ile malzemelerin darbe dayanımları artmaktadır. Elyaf takviyesinin artırılması ile çatlakların sayısı ve yayılma hızı yavaşlatılmış olunur [26].

Yapılan çalışmalarda cam elyaf ve karbon elyaf miktarlarının darbe değerleri üzerinde doğrudan etkisi olduğu görülmüştür. Aşağıda verilen grafik ile bu dolgu malzemelerin kombinasyonunun darbe değeri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

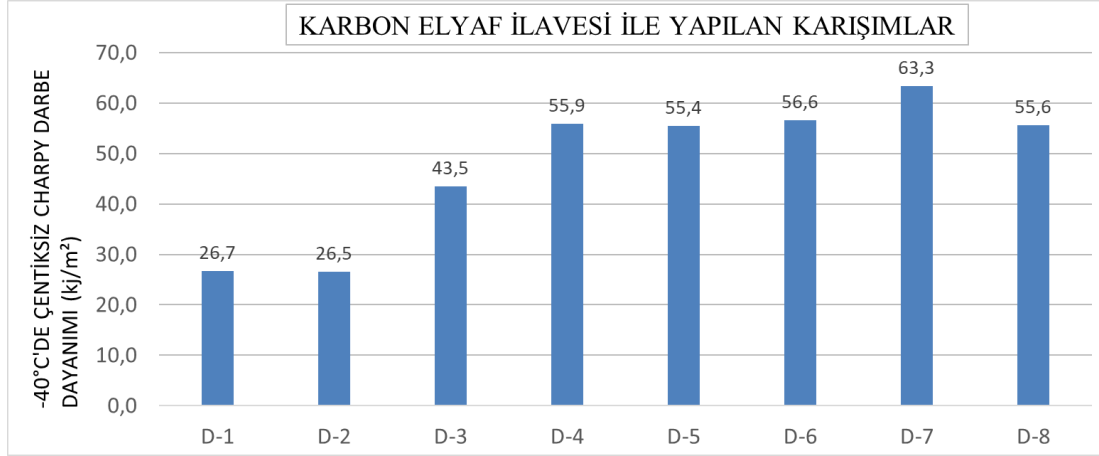


**Şekil 4.16 :** 23°C'deki çentikli Izod değerlerine cam elyaf ve karbon elyaf miktarlarının etkisi

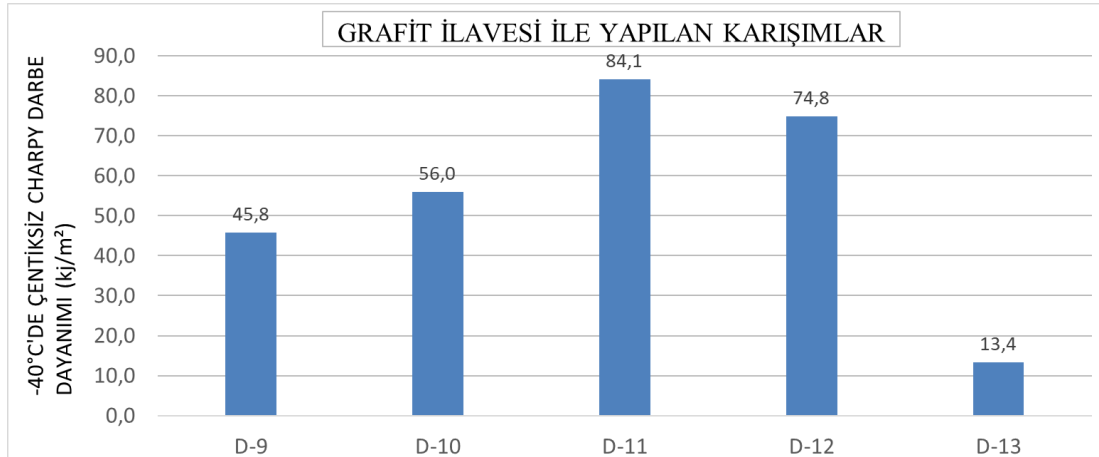
Grafiktende görüldüğü gibi darbe değerleri, cam elyaf katkı karışımlarda karbon elyaf katkı olanlara göre nispeten bir miktar daha yüksek elde edilmektedir. Bunun sebebi poliamide özel olarak yüzey modifikasyonu işlemi ile hazırlanmış cam elyaf kullanımı olabilir. Yapılan yüzey modifikasyonu sayesinde cam elyaf poliamid matrisiyle

karbon elyafa göre daha iyi ara yüzey oluşturmakta ve kırılmaya karşı kısmen daha iyi direnç göstermektedir.

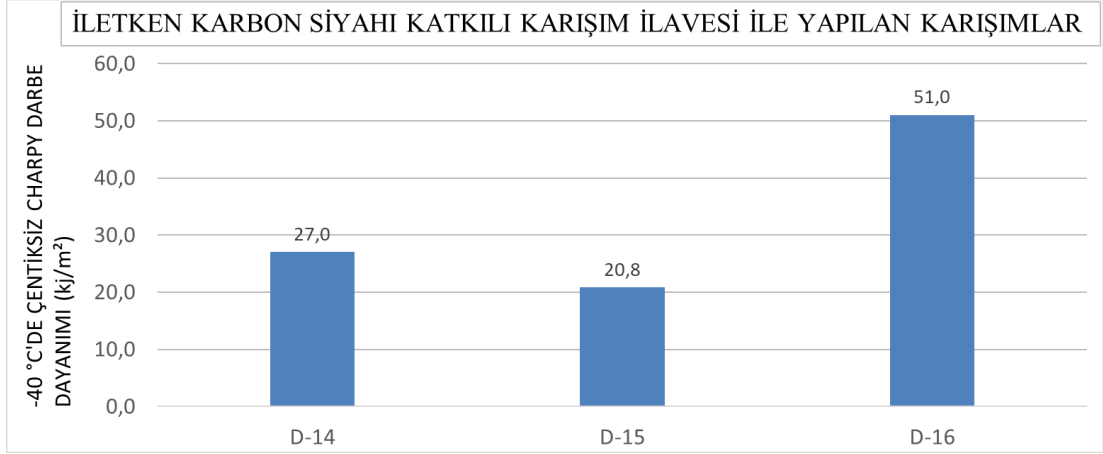
Darbe cihazında bulunan kabine yerleştirilen plakalar sıvı azot ile  $-40^{\circ}\text{C}$ 'de iklimlendirildi ve darbe testleri yapıldı. Test sonuçları aşağıdaki grafikler ile verilmiştir.



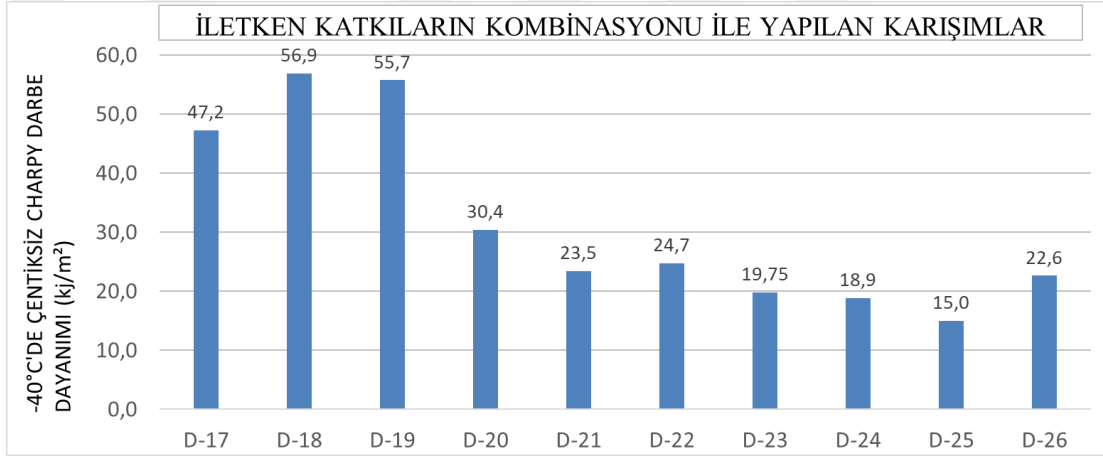
**Şekil 4.17 :** Karbon elyaf ile hazırlanan karışımlara ait  $-40^{\circ}\text{C}$ 'deki çentiksiz Charpy değerleri



**Şekil 4.18 :** Grafit ile hazırlanan karışımlara ait  $-40^{\circ}\text{C}$ 'deki çentiksiz Charpy değerleri



**Şekil 4.19 :** İletken karbon siyahı katkıli karışım ile hazırlanan karışımlara ait -40°C'deki çentiksiz Charpy değerleri



**Şekil 4.20 :** İletken katkıların kombinasyonu ile hazırlanan karışımlara ait -40°C'deki çentiksiz Charpy değerleri

-40°C'de yapılan darbe testi sonuçlarına da en yüksek değerler cam elyaf takviyeli karışımlarda elde edilmiştir. Elyaf ve grafit ile poliamid matrisinin doğru arayüzey oluşturması ile çatlakların izleyeceği yol etkilenmiş olur, bu sayede daha fazla enerji emilimi sağlanabilir.

23 °C'de elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, sadece karbon elyaf kullanılan numuneler -40 °C'de test edildiğinde ortalama %25'lik bir kayıp ile darbe dayanımı büyük ölçüde korumuştur. Karbon elyaf ve cam elyaf kombinasyonları ile yapılan analizlerde ise bu kayıp %10'nun altına düşmüştür. Bu duruma cam elyafın karbon elyafa göre daha önce açıklandığı gibi darbe dayanımında bir miktar daha iyi sonuç vermesi gösterilebilir. %10 grafit ile %30 cam elyaf numunelerinde -40 °C'de daha



iyi sonuçlar alınmıştır. Grafit oranı arttırıldığında darbe değerlerinde kayda değer bir yükselme görülmemesinin nedeni grafitin yüksek oranlarda poliamid matrisi içinde iyi bir dispersiyon ile dağıtılamaması olabilir. İletken katkıların kombinasyonu ile hazırlanan numunelerde yine karbon elyaf ve grafit kullanımı ile darbe dayanımı arttırabilmiştir. Genel olarak darbe dayanımında -40 °C’de, 23 °C’de elde edilen sonuçlara oranla nispeten kabul edilebilir düşüşler gözlemlenmiştir. Buna rağmen tüm karışımlarda düşük sıcaklıklarda darbe dayanımı yeterli olacak numuneler elde edilebilmiştir.

#### 4.2 İletkenlik Özellikleri

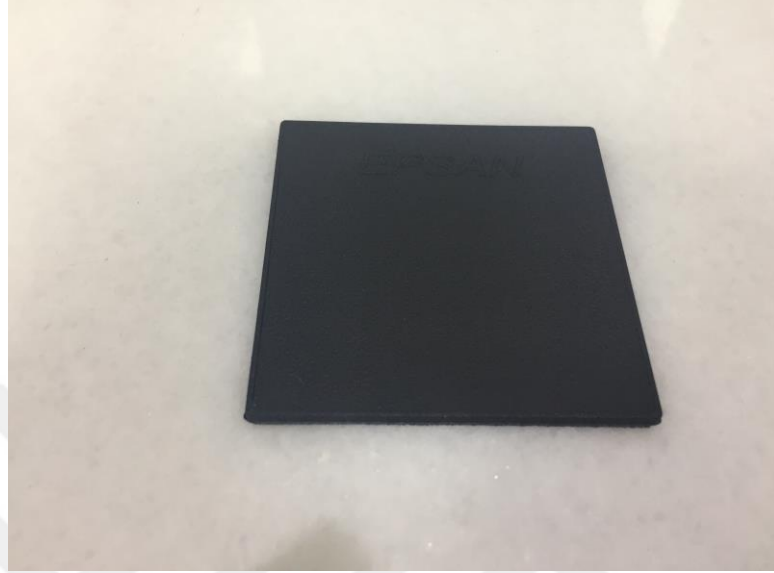
Malzemelerin elektriksel iletkenliği yüzey direnci ile belirlenmektedir. Plastik malzemelerin yüzey direnci genel olarak  $10^{12}$  -  $10^{13}$  ohm değerlerindedir. Plastiklere eklenen belirli katkıları ile bu değer düşürülebilmektedir. Yüzey direnci  $10^{10}$  ila  $10^{12}$  ohm arasında ise malzemeler antistatik olarak adlandırılmaktadır. Yüzey direnci  $10^6$  ile  $10^{10}$  ohm arasında ise yarı iletken olarak belirtilmektedir. Yüzey direnci  $10^6$  ohm değerinin altında ise ancak plastik malzeme iletken olarak adlandırılabilir.

Hazırlanan karışımların elektrik iletkenliği ölçümleri KEITHLEY 2450 marka iletkenlik cihazı ile ölçülmüştür. EPSAN PLASTİK Firmasında bulunan cihazın resmi şekil 4.21’de verilmiştir.



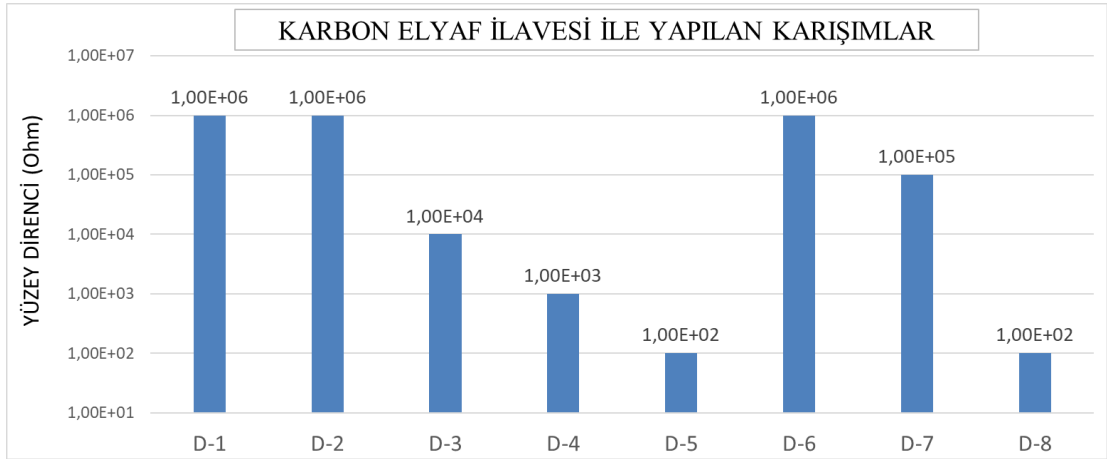
Şekil 4.21 : Elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı

Yapılan denemelerden elde edilen numunelerden 60x60x2 mm olarak kalıplanan plakalardan ölçümler yapılmıştır. Malzemelerin belirli bir akım değerinde yüzey dirençleri ölçülerek iletkenlikleri hesaplanmıştır.

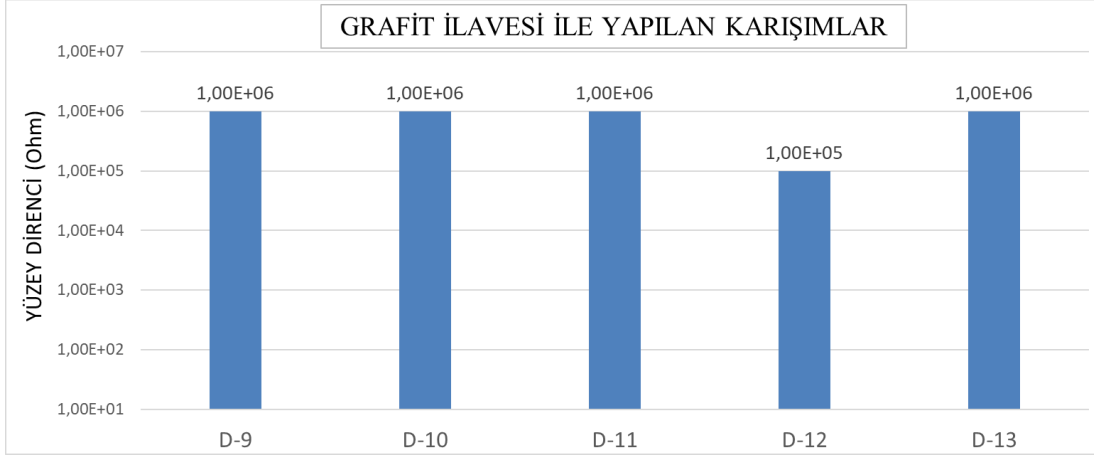


**Şekil 4.22 :** İletkenlik test ölçüm plakası

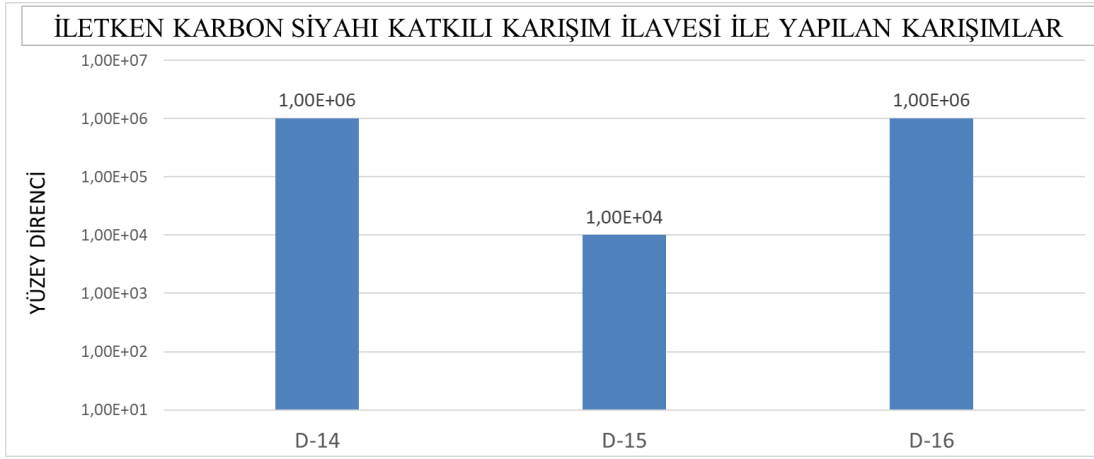
Test sonuçları iletken katkı gruplarına göre aşağıda verilen grafikler ile verilmiştir.



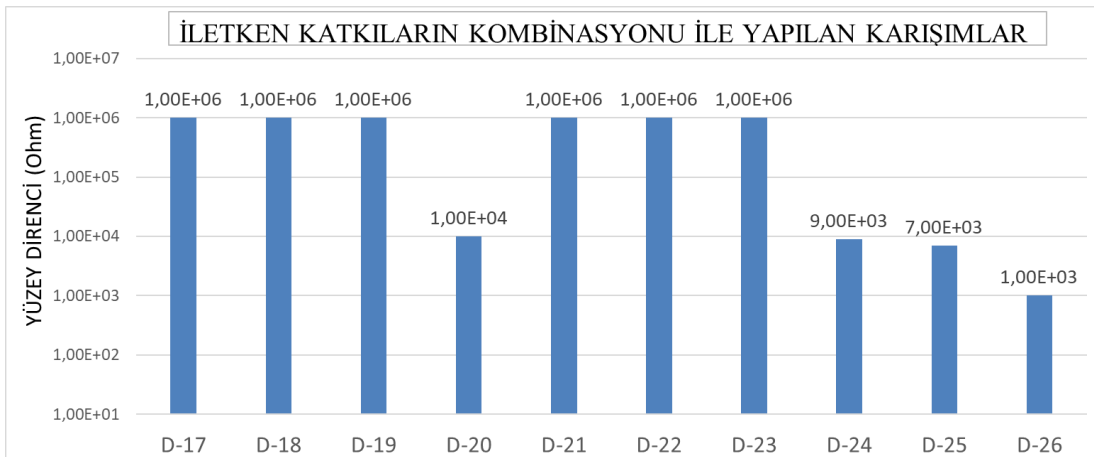
**Şekil 4.23 :** Karbon elyaf ile hazırlanan karışımlara ait yüzey direnci değerleri



**Şekil 4.24 :** Grafit ile hazırlanan karışımlara ait yüzey direnci değerleri



**Şekil 4.25 :** İletken karbon siyahı katkıli karışımlar ile hazırlanan karışımlara ait yüzey direnci değerleri



**Şekil 4.26 :** İletken katkıların kombinasyonu ile hazırlanan karışımlara ait yüzey direnci değerleri

İletken karbon siyahı katkılı karışımların ilavesi iletkenlik değerinde olumlu bir artış göstermemiştir. Karışımlara eklenen %10 karbon elyaf ve %10 grafit ilavesi de yüzey direncini  $10^6$  ohm'un altına indirmeye yetmemiştir.

D-20 ve D-21 olarak yapılan karışımlarda %10 karbon elyaf sabit tutularak %30 karbon siyahı katkılı karışım ve grafit eklenmiştir. Karbon siyahı katkılı karışımın ve grafitin artırılması ile iletkenliği artırılabilmiştir. Yapılan çalışmalarda bu katkıların minimum %30 kullanılması gerektiği tespit edilmiştir.

%10 karbon elyaf ile  $10^6$  ohm olarak elde edilen değer, %30 ve %40 iletken karbon siyahı katkılı karışım eklenmesi ile de yüzey direnci tespit edilebilecek düzeyde düşmemiştir. Bu karışıma minimum %65 oranında iletken karbon siyahı katkılı karışım ilavesi ile iletkenlikte yükselme görülmüştür. %10 karbon elyaf ile %30 grafit ile de iletkenlik istenilen seviyelere gelebilmektedir. Bunun sebebi iletken karbon siyahı katkılı karışım içerisinde bulunan iletken olmayan diğer maddelerin %10 karbon elyafı örneklerin perkolasyonunu geciktirmesi bunun yanında asf grafitin karbon elyafın bıraktığı boşluklar arasına girerek daha az yüzdede istenilen perkolasyonun sağlayabildiği söylenebilir.

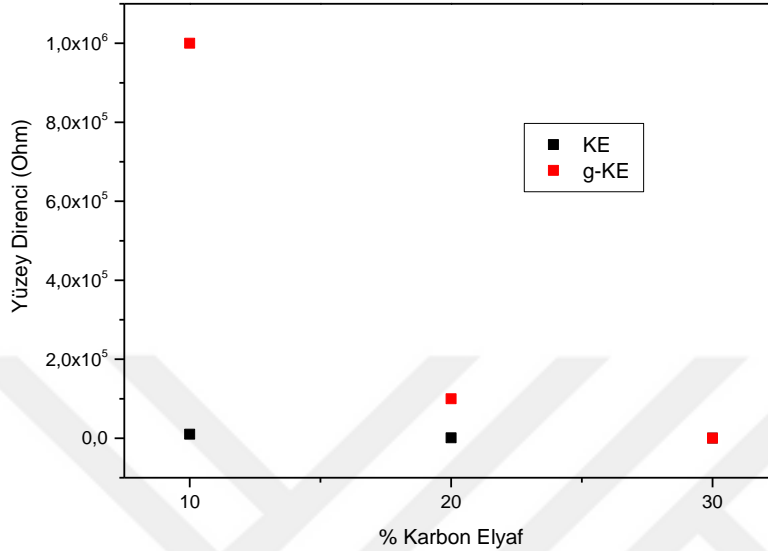
Beklenildiği üzere perkolasyon eşiğine ulaştıktan sonra grafitin %40 gibi yüksek bir oranda kullanılması iletkenliği yükselmemiş hatta bir miktar düşmesine neden olmuştur. Bunun nedeni yüksek miktarda grafitin poliamid matrisi içinde iyi dağıtılamıyor ve topaklanmaya sebep olması olabilir.

D-15 kodlu karışımda sadece iletken karbon siyahı kullanılmıştır ve ancak %80 oranında kullanılmasına rağmen belirgin bir iletkenlik değeri elde edilmiştir. Karbon elyaf ilavesi ile yüzey direncinde  $10^3$ ohm' a kadar azalma gözlemlenmiştir.

Karışımlarda sadece %30 karbon elyaf ilavesi ile hedeflenen maximum yüzey direnci değeri olan  $10^2$ ohm değerine inilebilmiştir. Hem orijinal karbon elyaf hem de geri dönüştürülmüş karbon elyaf ile bu değere ulaşılabilir. Karbon elyafın artırılması ile doğru orantılı olarak iletkenlik de artmaktadır.

Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre maximum iletkenliği sadece yüksek karbon elyaf ilavesi ile elde edebilmekteyiz. Grafit, iletken karbon siyahı katkılı karışım ve bunların farklı oranlarda ilavesi ile hazırlanan karışımlar yeterli iletkenliği gösterememiştir. Karbon elyaf fiziksel yapısı gereği belirli bir en-boy (l/d) oranına sahip olmasından dolayı iletkenlik için gerekli olan perkolasyon ağını düşük

konsantrasyonlarda dahi sağlayabilmektedir. Grafit ve iletken karbon siyahı küresel yapılarından dolayı ancak çok yüksek konsantrasyonlarda yeterli perkolasyon ağını oluşturabilir ve iletkenliği sağlayabilir.



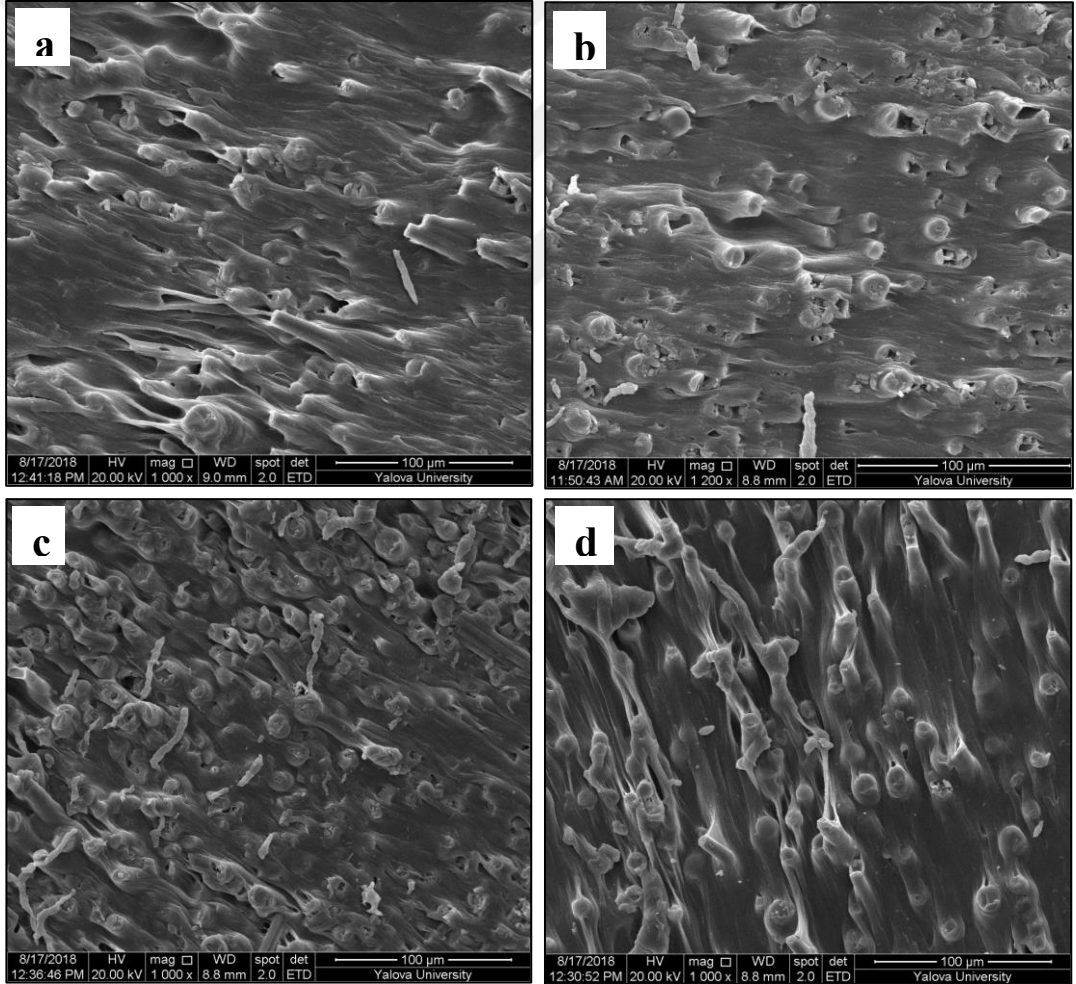
**Şekil 4.27 :** %10 cam elyaf ile takviyelendirilmiş PA 6 formülü üzerine eklenen farklı oranlardaki orijinal karbon elyaf ve geri dönüştürülmüş karbon elyafın yüzey direnci üzerindeki etkisi

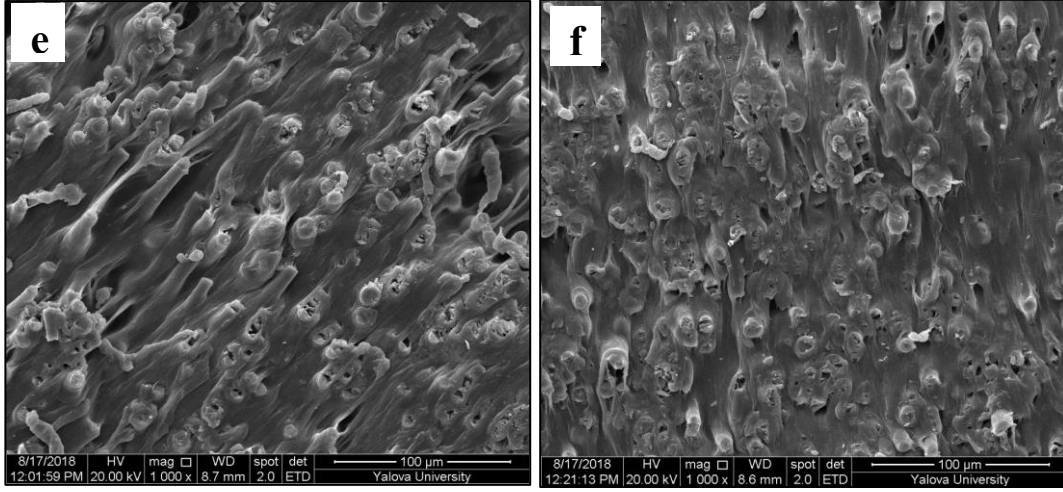
Grafiktende görüldüğü üzere, %10 karbon elyaf katkılı karışımlarda geri dönüştürülmüş karbon elyaf katkılı karışımın iletkenliğinin, birinci kalite karbon elyaf katkılı karışıma göre çok düşüktür. Geri dönüştürülmüş karbon elyaf katkılı karışımların iletkenliği ancak belirli bir konsantrasyondan sonra (>%20) birinci kalite karbon elyaf katkılı karışımın iletkenliği ile kıyaslanabilir seviyeye çıkmaktadır. Geri dönüştürülmüş karbon elyafın en-boy oranının azalmasından dolayı gerekli perkolasyonu sağlaması için daha yüksek konsantrasyonda kullanılmasına ihtiyaç duyulması şeklinde açıklanabilir.

### 4.3 Karışımların SEM Analizleri

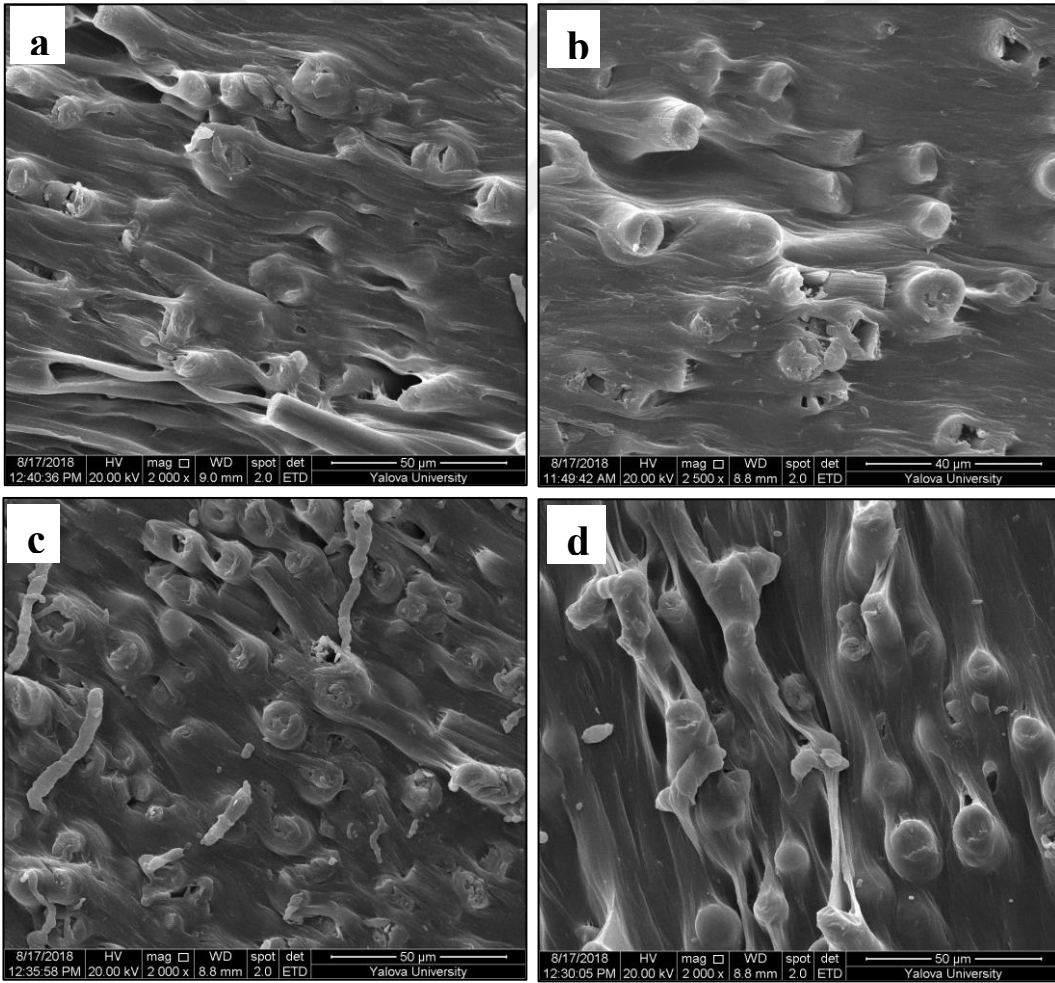
Karbon elyaf takviyeli karışımların 1000x ve 2000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri sırasıyla şekil 4.28 ve şekil 4.29'da gösterilmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde hem orijinal karbon elyafın hem de geri dönüştürülmüş karbon elyafın poliamidlerle tam uyumlu olduğu görülmektedir. Polimer ile karbon elyaf ve cam elyaflar arasında iyi bir arayüzey tutunması olduğu görülmüştür. Ayrıca karbon elyaf

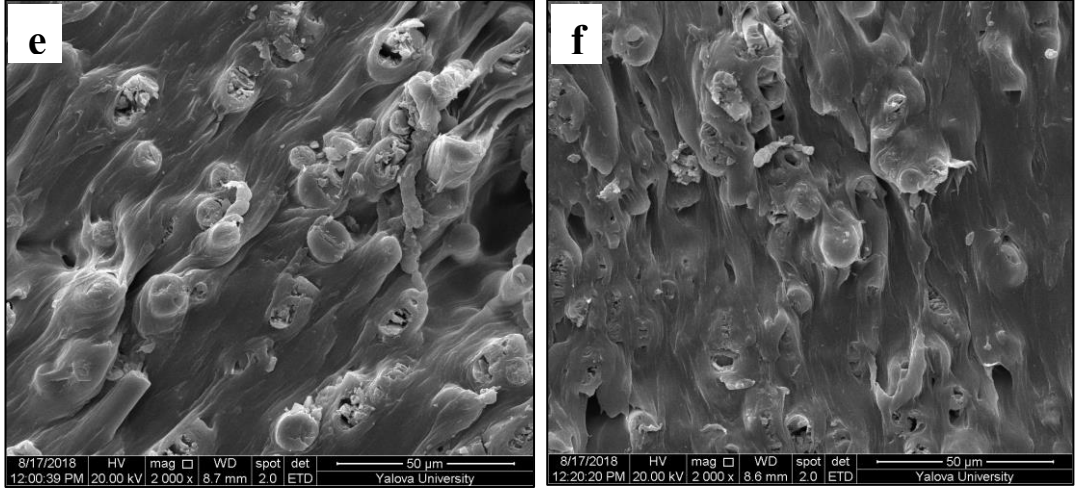
yüzdesinin artırıldığı karışımlarda bile cam elyaflarla birlikte polimer matrisi içerisinde iyi bir şekilde dağıtıldığı da açıkça gözlenmektedir. Bu durum perkolasyonun oluşmasını sağlamakta ve dolayısıyla karbon elyaf yüzdesinin artmasıyla birlikte karışımların iletkenliklerini artmasına neden olduğu iletkenlik ölçümlerinde de çok açık bir şekilde görülmektedir. Geri dönüştürülmüş karbon elyaflar daha fazla kırıldığından en-boy oranı orijinal karbon elyafa göre değişmiş ve bunun sonucunda polimerlerin tutunması için daha fazla yüzey alanı oluşmuştur. Aynı zamanda elyafların yüzeyinde ve özellikle uç kısımlarında oksidasyon sonucu oluşan polar gruplarda polimer ile olan etkileşimini arttırmıştır. Bunun sonucu geri dönüştürülmüş karbon elyaflarla hazırlanan karışımların darbe değerlerini daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır.





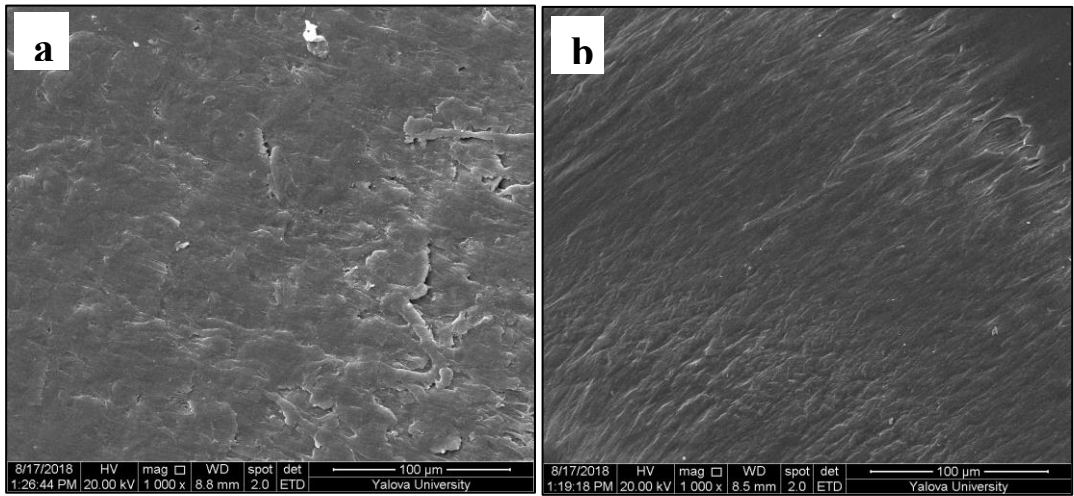
Şekil 4.28 : Karbon elyaf takviyeli karışımların 1000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri a) D3 b) D4 c) D5 d) D6 e) D7 f) D8



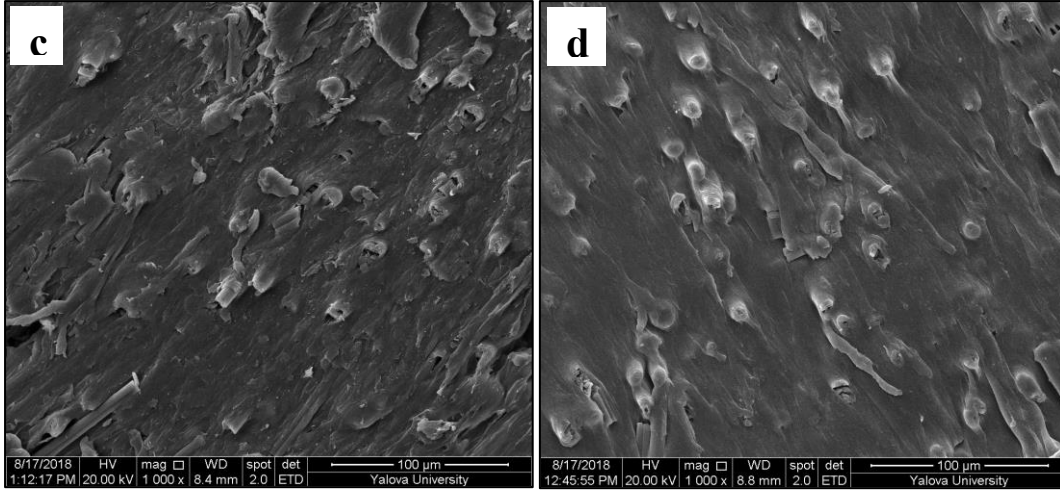


**Şekil 4.29 :** Karbon elyaf takviyeli karışımların 2000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri a) D3 b) D4 c) D5 d) D6 e) D7 f) D8

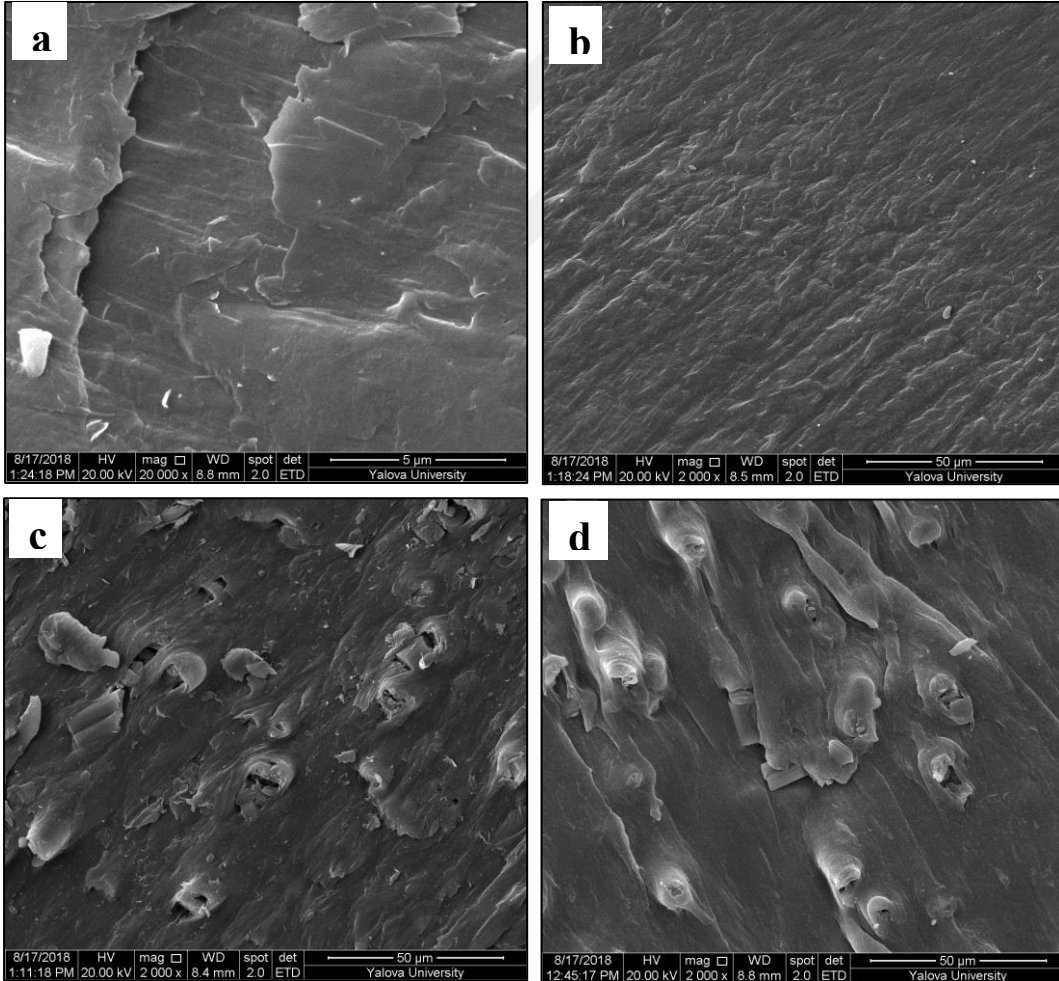
Grafit ve iletken karbon siyahı katkılı karışım takviyeli örneklerin 1000x ve 2000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri ise sırasıyla şekil 4.20 ve şekil 4.31'de gösterilmektedir. Özellikle grafitin bulunduğu karışımlarda topkalanmalar olduğu görülmektedir. Buda iletkenlik ve özellikle mekanik değerlerde gözlene büyük düşüşün nedeni olarak açıklanabilir. Grafitli karışımlarla karşılaştırıldığında iletken karbon siyahı takviyeli karışımlarda nispeten daha az topkalanmalar olduğu görülmüştür. Bu durum yine hem elektriksel hem de mekanik değerlerdeki düşüşler olarak kendini göstermiştir.







**Şekil 4.30 :** Grafit ve iletken karbon siyahı katkılılı karışım takviyeli örneklerin 1000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri a) D13 b) D17 c) D21 d) D22



**Şekil 4.31 :** Grafit ve iletken karbon siyahı katkılılı karışım takviyeli örneklerin 2000x magnifikasyondaki SEM görüntüleri a) D13 b) D17 c) D21 d) D22



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı iletken katkıların ilavesi ve kombinasyonu ile hazırlanan karışımların mekanik özellikleri ve elektriksel iletkenlik özellikleri incelenmiştir.

Numunelerin mekanik özellikleri çekme-kopma testi ile elde edilen elastisite modülü ve kopma mukavemetleri üzerinden değerlendirildi. Yapılan karışımlarda mekanik olarak en yüksek değerler karbon elyaf ve cam elyafın kombinasyonları ile yapılan numunelerde görüldü. En yüksek elastisite modülü değeri %10 cam elyaf ile %30 birincil kalite karbon elyaf kombinasyonu ile yapılan karışımlarda elde edildi. Aynı zamanda kopma mukavemeti içinde en yüksek değer %10 cam elyaf ve %30 karbon elyaf ilavesi ile elde edildi. Kullanılan geri dönüştürülmüş karbon elyaf ile de bu değerlere yaklaşılmış ve orjinal karbon elyaf ile mekanik özelliklerinde ciddi bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Elektriksel iletkenlik değerlerini tespit etmek amacıyla malzemelerin yüzey dirençleri ölçülmüştür. Grafit ve karbon siyahı katkılı karışımlarda istenilen iletkenlik değerlerinin elde edilememesinin sebebi bu katkıların polimer matrisi içerisinde iyi dağıtılamamış olmasından kaynaklanan istenilen perkolasyonun sağlanamaması olabilir. Yapılan çalışmalarda en düşük yüzey direnci %30 karbon elyaf ilavesi ile sağlanmıştır. Düşük yüzdelerde geri dönüştürülmüş karbon elyafın ilavesi istenilen iletkenliği vermemesine rağmen bu oran %20'nin üzerine çıktığında yeterli perkolasyonu sağlamış ve birincil kalite karbon elyaf ile karşılaştırılabilir seviyede  $10^2$  ohm yüzey direnci elde edilmiştir.

Malzemelerin darbe dayanımları  $23^{\circ}\text{C}$ 'de ve  $-40^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan charpy darbe testi ile tartışılmıştır. Yapılan testlerde  $23^{\circ}\text{C}$ 'de en yüksek değer %40 iletken karbon siyahı katkılı poliamid 6 karışımının ölçümlerinde görülmüştür. Toklaştırılmış olarak hazırlanan bu numune  $-40^{\circ}\text{C}$ 'de de yüksek darbe dayanımı sağlamıştır. Numunenin yüzey direncinin  $10^6$  ohm gibi iletkenlik için yüksek bir değer olması sebebiyle bu karışım iletkenlik açısından başarısız olmuştur.

%10 cam elyaf ve %30 karbon elyaf ilavesi ile yapılan çalışmalarda hem mekanik olarak beklenen değerler elde edilmiş hem de iletkenlik değerleri hedeflenen seviyeye çıkarılabilmektedir. Bu numuneler -40  C'de de yeterli darbe dayanımı gösterebilmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Doğan B., Gürsoy G.,** (t.y.). Poliamid ve Naylon 6,6 Sentezi. Alındığı tarih: 07.03.2018, adres: <https://docplayer.biz.tr/29905768-Polyamid-nylon-6-6-sentezi-bektas-dogan-gokhan-gursoy.html>
- [2] **Page I. B.,** 2000 Polyamides as Engineering Thermoplastic Materials, iSmithers Rapra Publishing.
- [3] **Beşergil B.,** 2008, Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi.
- [4] **B L Deopura, R AlagirusamyM, Joshi B Gupta,** 2008, Polyesters and Polyamides, Woodhead PublishinG, Cambridge, England.
- [5] **Kricheldorf Hans R.,** 1992, Handbook of Polymer Synthesis, Marcel Dekker, INC.
- [6] <https://www.tasarimdanimalata.com/termoplastik-malzemeler/>, Alındığı tarih: 14.04.2018
- [7] **Martin E. Rogers, Timothy E. Long,** 2003, Synthetic Methods in Step-Growth Polymers, John Wiley & Sons INC.
- [8] **Melvin I. Kohan,** 1995, Nylon Plastics Handbook, Hanser Publishers.
- [9] **Clingerman M. L.,** 1998, Development and Modelling of Electrically Conductive Composite Materials, Bachelor of Science, Michigan Technological University.
- [10] **Wright, W. M. and Woodham, G. W.,** 1989, Conductive Polymers and Plastics, Chapman and Hall, New York.
- [11] **Weber, M. E. and Kaml, M. R.,** 2004, Estimation of the volume resistivity of electrically conductive composites, Polymer Composite Vol. 18, no 6, pp. 711-725.
- [12] **Clingerman M. L.,** 1998 Development and modelling of electrically conductive composite materials, Bachelor of Science, Michigan Technological University, UK.
- [13] **King, J.A., Tucker, K.W., Vogt, B.D, Weber, E.H., and Quan, C., J.,** 1999 Electrically and thermally conductive nylon 6, 6, Polymer Composites, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, pp. 643-654.
- [14] **King, J.A., Weber, E.H., and Vogt, B.D.,** 1998, Development of Thermally and Electrically Conductive Nylons, American Institute of Chemical Engineers Annual Meeting, FL, Miami.
- [15] **Broadbent, S. R. And Hammersley, J. M.,** 1957, Percolation processes, Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Vol.53, 3, p.629, Cambrige.
- [16] **Stauffer, D.,** 1985, Introduction of Percolation Theory, Taylor and Francis, London.
- [17] **Jae Yeon Yi and Gyeong Man Choi,** 1999, Percolation Behavior of Conductor-Insulator Composites with Varying Aspect Ratio of Conductive Fiber, Journal of Electroceramics, Vol. 3, pp. 361.
- [18] **Balberg, I.,** 1987, Tunneling and nonuniversal conductivity in composite materials, American Physical Society, 59, 12.

- [19] **Clingerman M. L., King J., Schulz K. H., Meyerse J.**, 2000, Evaluation of Electrical Conductivity Models for Conductive Polymer Composites, Department of Chemical Engineering, Michigan Technological University, Michigan.
- [20] **Fowkes, F.M.**, 1964, Attractive Forces At Interfaces, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 56, pp. 40-52.
- [21] **The Freedonia Group**, 2000, Conductive Polymers, Industry Study, Cleveland, USA.
- [22] **Lux. F.**, 1993, Models proposed to explain the electrical conductivity of mixtures made of conductive and insulating materials, Journal of Materials Science, Vol. 28, pp. 285.
- [23] **Kuhner, G. And Voll, M.**, 1993, Conductive Black, Science and Technology, Taylor & Francis Inc, Unites States.
- [24] **Donnet, J. B. and Bahl, O.P.**, 1987, Carbon Fibers, Encyclopedia of Physical Science and Technology, France.
- [25] **Youngjae Yoo, Hoing Lae Lee, Sung Min Ha**, 2013, Effect of graphite and silicon carbide fillers on mechanical properties of PA6 polymer composites, Polymer International.
- [26] **Shang-Han Wu, Feng-Yih Wang, Chen-Chi. M. Ma**, 2001, Mechanical, thermal and morphological properties of glass fiber and carbon fiber reinforced polyamide-6 and polyamide-6/clay nanocomposites, Materials Letters, Vol. 49, pp. 327-333.

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Kübra Karabacak

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Kütahya – 28.05.1992

**Adres:** Demirtaş Cumhuriyet Mah. İnönü cad. Sinpaş Bursa Modern Sitesi Marine  
Residans 2D No: 23A Osmangazi/Bursa

**E-Posta:** kubrakyksz@gmail.com

**Lisans:** Yalova Üniversitesi, Polimer Mühendisliği

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Hamit E., Karabacak K., 2018: Düşük Sıcaklıkta Yüksek Darbe Dayanımına Sahip Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli İletken Poliamid 6 ve Poliamid 66 Karışımlarının Hazırlanması, *International Eurasian Conference On Biological And Chemical Sciences (EurasianBioChem'18 Congress)*, Ankara, Türkiye.