



**GRAFİT ORANININ DÖKÜM POLYAMİD-GRAFİT KOMPOZİTLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Canset GÜNEŞ ARSLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2019

Canset GÜNEŞ ARSLAN tarafından hazırlanan “GRAFİT ORANININ DÖKÜM POLYAMİD-GRAFİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Muharrem PUL

İklimlendirme Teknolojisi Programı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Necati YALÇIN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 06/11/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

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

Canset GÜNEŞ ARSLAN

06.11.2019

GRAFİT ORANININ DÖKÜM POLYAMİD-GRAFİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Canset GÜNEŞ ARSLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2019

ÖZET

Günümüzde endüstriyel olarak büyük önem taşıyan ve metallerin yerine birçok alanda kullanılan döküm polyamid, mühendislik plastikleri arasında en yaygın olarak kullanılanlardandır. Mühendislik plastiklerinin mekanik özellikleri oldukça iyidir fakat kullanım amacına göre bazı özelliklerinin daha iyi olması gerekmektedir. Bu iyileştirmeler döküm polyamid üretimi sırasında çeşitli katkıları eklenmesiyle sağlanmaktadır. Bu çalışmada döküm polyamidin ϵ kaprolaktamdan azot atmosferi altında serbest döküm prosesiyle endüstrideki üretim yöntemine sadık kalınarak pilot ölçekli reaktörde üretimi sırasında çeşitli oranlarda grafit katılarak, grafit oranının jelleşme ve katılaşma süreleri ile sertlik, çekme dayanımı, yüzde uzama, elastikiyet modülü, darbe ve aşınma dayanımı gibi mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelendi. Grafit oranı arttıkça jelleşme ve katılaşma süreleri uzarken, grafit oranının kompozitin sertliğinde önemli bir etkiye sahip olmadığı belirlendi. Grafit oranı arttıkça darbe dayanımı, akma dayanımı, kopma dayanımı, elastikiyet modülü, akma noktasındaki % uzama miktarı ve kopma noktasındaki % uzama miktarında düşmeler tespit edildi. % 3'e kadar grafit oranında aşınma dayanımında artış tespit edilirken, % 3'ten fazla grafit oranında dayanımda değişiklik görülmedi.

Bilim Kodu : 91512
Anahtar Kelimeler : Polyamid, Döküm Polyamid, Grafit, Mekanik Özellikler, Kompozit Malzeme
Sayfa Adedi : 71
Danışman : Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

THE EFFECT OF GRAPHITE RATE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF
CASTING POLYAMIDE-GRAPHITE COMPOSITES

(M. Sc. Thesis)

Canset GÜNEŞ ARSLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2019

ABSTRACT

Today, casting polyamide, which is of great industrial importance and used in many fields instead of metals, is one of the most widely used engineering plastics. The mechanical properties of engineering plastics are quite good, but some properties need to be better depending on the intended use. These improvements are made by adding various additives during the production of cast polyamide. In this study, during the production of cast polyamide from ϵ -caprolactam under nitrogen atmosphere by free casting process in the pilot scale reactor, various ratios of graphite were added. And the effect of graphite ratio on the gelation and solidification duration and the mechanical properties such as hardness, tensile strength, elongation, modulus of elasticity, impact and wear resistance was determined. It is determined that as the graphite ratio increased, the gelation and solidification durations were increased and the graphite ratio did not have any significant effect on the hardness of the composite. It was also determined that impact strength, yield and tensile strength, modulus of elasticity, elongation at yield and at break were decreased with increasing graphite ratio. While an increase in wear resistance were observed with up to 3 % graphite ratio, in over 3% graphite ratio any change was not seen in wear resistance.

Science Code : 91512
Key Words : Polyamide, Cast Polyamide, Graphite, Mechanical Properties, Composite Material
Page Number : 71
Supervisor : Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında benden hiçbir yardımı esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni destekleyen, yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Ramazan ÇITAK'a; her zaman yanımda olan ve manevi desteğini veren annem Ayfer GÜNEŞ, babam Şahin GÜNEŞ, amcam Fatih GÜNEŞ ve eşim Tarık ARSLAN'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. POLİMERLER	3
2.1. Polimerlerin sınıflandırılması	4
2.1.1. Termoplastikler	5
2.1.2. Termoset plastikler	5
2.2. Polimerizasyon Reaksiyonları	6
2.3. Halka Açılması Polimerizasyonu	10
2.4. Polimerlerin Genel Özellikleri	11
2.4.1. Mekanik özellikler	11
2.4.2. Elektriksel özellikler	14
2.4.3. Kimyasal özellikler	14
2.4.4. Isıl özellikler	14
3. POLYAMİD	17
3.1. Polyamidlerin Sentezlenme Yöntemleri	19
3.2. Polyamidlerin Üretim Yöntemleri	22
3.2.1. Enjeksiyon yöntemi	22
3.2.2. Ekstrüzyon yöntemi	23

	Sayfa
3.2.3. Şişirme yöntemi	24
3.2.4. Rotasyon yöntemi	25
3.2.5. Döküm yöntemi	25
3.3. Döküm Polyamid	26
3.3.1. Döküm polyamid üretim yöntemi	28
4. GRAFİT	31
5. KOMPOZİT MALZEMELER	35
5.1. Kompozitlerin Sınıflandırılması	36
5.2. Polimer Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri	37
5.3. Grafit Katkılı Döküm Polyamid Kompozitleri	38
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
6.1. Malzeme	39
6.2. Pilot Ölçekli Reaktörde Grafit Katkılı Döküm Polyamid Kompozitlerinin Üretilmesi	40
6.3. Üretilen Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Kullanılan Cihazlar ...	44
6.3.1. Hassas terazi	44
6.3.2. Etüv	45
6.3.3. Desikatör	45
6.3.4. Jelleşme zamanının belirlenmesi	45
6.3.5. Katılaşma zamanının belirlenmesi	45
6.3.6. Sertliğin belirlenmesi	45
6.3.7. Darbe özelliklerinin belirlenmesi	46
6.3.8. Çekme özelliklerinin belirlenmesi	48
6.3.9. Tribolojik özelliklerinin belirlenmesi	50
6.3.10. SEM-EDS analizi	51
7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	53

	Sayfa
7.1. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Jelleşme ve Katılaşma Süresi	53
7.2. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Sertlikleri	54
7.3. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Darbe Dayanımları	55
7.4. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Çekme Dayanımları	57
7.5. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Aşınma Özellikleri	59
7.6. SEM-EDS Analizi	61
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
8.1. Sonuçlar	65
8.2. Öneriler	66
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Naylon 6 ve 6.6 üreticileri	17
Çizelge 3.2. Polyamid, 6 polyamid 6.10 ve cam elyaf takviyeli polyamid 6.10'un bazı mekanik özellikleri	19
Çizelge 4.1. Grafit kullanım alanları	33
Çizelge 6.1. Kaprolaktam, aktivatör, katalizör ve grafitin özellikleri	39
Çizelge 6.2. Grafit katkılı döküm polyamid kompozitlerinin hammadde oranları (%)	43
Çizelge 6.3. 1 numaralı ve 2 numaralı tanklara konulan hammadde miktarları (gr) ...	44
Çizelge 7.1. Döküm polyamid kompozitlerinin jelleşme ve katılaşma süreleri (sn) ...	53
Çizelge 7.2. Döküm polyamid kompozitlerinin Shore D sertlikleri	54
Çizelge 7.3. Döküm polyamid kompozitlerinin darbe dayanımları	56
Çizelge 7.4. Döküm polyamid kompozitlerinin çekme dayanımları	57
Çizelge 7.5. Döküm polyamid kompozitlerinin aşınma miktarları	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Polimerlerin kullanım alanları	3
Şekil 2.2. Polimer moleküllerinin bağ yapıları	4
Şekil 2.3. Basamaklı polimerizasyon genelleştirilmiş gösterimi	7
Şekil 2.4. Basamaklı reaksiyon polimerizasyonunun şematik olarak gösterilmesi	8
Şekil 2.5. Zincir polimerizasyon genel denklemi	8
Şekil 2.6. Zincir reaksiyon polimerizasyonunun şematik olarak gösterilmesi	9
Şekil 2.7. Kaprolaktamın polimerizasyonunun şematik gösterimi	10
Şekil 2.8. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonunun şematik gösterimi	10
Şekil 2.9. Propilen oksitin halka açılması polimerizasyonunun şematik gösterimi	11
Şekil 2.10. Oksasiklobutanın halka açılması polimerizasyonunun şematik gösterimi	11
Şekil 2.11. Çeşitli polimerik malzemeler için genelleştirilmiş gerilme uzama eğrileri	12
Şekil 2.12. Gevrek ve sünek kırılmalar	13
Şekil 2.13. Polimer maddenin özgül hacminin sıcaklıkla değişimi	15
Şekil 3.1. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonu, başlama kademesi	20
Şekil 3.2. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonu, çoğalma kademesi	20
Şekil 3.3. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonu, sonlanma kademesi	21
Şekil 3.4. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonu	21
Şekil 3.5. Polyamidlerin üretim yöntemleri	22
Şekil 3.6. Enjeksiyon kalıplama makinası	23
Şekil 3.7. Ekstrüzyon makinasının elemanları	24
Şekil 3.8. Şişirmeyle kalıplama	24
Şekil 3.9. Rotasyonla kalıplama	2
Şekil 3.10. Döküm polyamid ve polyamid mekanik özelliklerinin kıyaslanması	28
Şekil 3.11. Döküm polyamid üretimi prosesi	29

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Grafitin kimyasal yapısı	32
Şekil 5.1. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması	37
Şekil 6.1. Charpy deney numuneleri	48
Şekil 6.2. Charpy deney numunesi ölçüleri	48
Şekil 6.3. Çekme deney numunesi ölçüleri	50
Şekil 7.1. Döküm polyamid kompozitlerinin jelleşme ve katılaşma süreleri	54
Şekil 7.2. Döküm polyamid kompozitlerinin sertlikleri (Shore D)	55
Şekil 7.3. Döküm polyamid kompozitlerinin darbe dayanımları (kJ/m ²)	56
Şekil 7.4. Üretilen döküm polyamid kompozitlerin akma ve kopma mukavemetlerindeki değişim (MPa)	58
Şekil 7.5. Üretilen döküm polyamid kompozitlerin akma ve kopma noktalarındaki % uzama miktarları	58
Şekil 7.6. Üretilen döküm polyamid kompozitlerin elastisite modülleri (MPa).....	59
Şekil 7.7. Üretilen döküm polyamid kompozitlerin aşınma miktarları değişimi	60
Şekil 7.8. Katkısız döküm polyamid örneğinin SEM fotoğrafı	61
Şekil 7.9. % 1 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı	62
Şekil 7.10. % 2 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı	62
Şekil 7.11. % 3 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı	62
Şekil 7.12. % 4 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı	63
Şekil 7.13. % 5 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı	63
Şekil 7.14. Katkısız döküm polyamid örneğinin EDS analizi	63
Şekil 7.15. % 5 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin EDS analizi	64

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Polyamid çeşitlerinden üretilmiş bazı parçalar	18
Resim 3.2. Termoplastik üretim yöntemleri	22
Resim 4.1. Grafit	31
Resim 5.1. Grafit katkılı döküm polyamid	38
Resim 6.1. Pilot ölçekli döküm polyamid üretim reaktörü	40
Resim 6.2. Döküm polyamid üretiminde kullanılan kalıp sistemi	40
Resim 6.3. Üretilen döküm polyamid numunesi	42
Resim 6.4. Kalıptan çıkartılmaya hazır grafit katkılı kompozit numunesi	43
Resim 6.5. Shore D	46
Resim 6.6. Darbe Cihazı	47
Resim 6.7. Charpy çentikli deney numunesi resimleri	48
Resim 6.8. Çekme Cihazı	49
Resim 6.9. Çekme deney numuneleri	49
Resim 6.10. UTS Tribometer T10/20	50
Resim 6.11. Aşınma deney numuneleri	51
Resim 6.12. Jeol 6060 LV taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS ünitesi	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler, kısaltmalar ve semboller, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

-CONH-

Amid grubu

-CH₂

Metilen

μm

Mikrometre

cP

Centipoise

ε

Epsilon

Kısaltmalar

Açıklamalar

CLM

Kaprolaktam

CST

Sürekli Çalışma Sıcaklığı

CTE

Termal Genleşme Katsayısı

DP

Monomer Polimerizasyon Derecesi

EDS

Enerji Dispersiv Spektrum

HDT

Isıl Sapma Sıcaklığı

M

Monomer

PLC

Programlanabilir Mantıksal Denetleyici

PVC

Polivinil Klorür

SEM

Taramalı Elektron Mikroskopu

1. GİRİŞ

Plastikler son 40-50 yıl içinde büyük gelişme göstererek hacim olarak metallerle hemen hemen eşit oranda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun başlıca nedenleri; bu malzemelerin nispeten ucuz, kolay işlenebilir, hafif, yüksek kimyasal ve korozyon direncine, yüksek ısı ve elektriksel özelliklere ve yeterli mekanik özelliklere sahip olmalarıdır [1].

Mühendislik plastiklerinin diğer plastiklere göre çok üstün termal, mekanik, elektriksel ve kimyasal özellikleri vardır. Aşınmaya, çekmeye, yüke, yaşlanmaya, yanmaya ve yüksek sıcaklığa karşı oldukça dayanıklıdırlar. Plastiklerin yüksek performanslı bir grubu olan mühendislik plastikleri metal, seramik ve camın yerine birçok alanda kullanılmaktadır. Değişik özelliklere ve kullanım alanlarına sahip birçok mühendislik plastiği vardır [1].

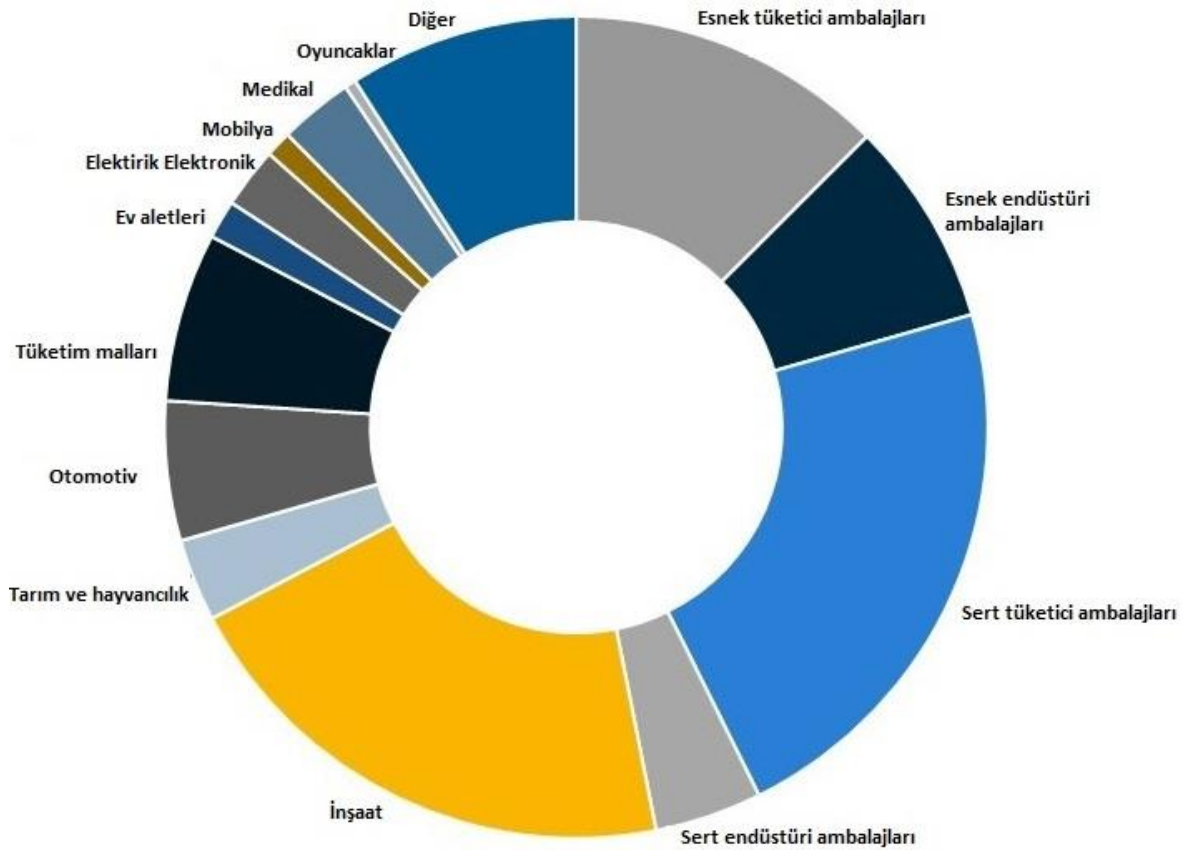
İlk mühendislik plastiklerinden olan polyamidin atmosfer basınında dökülebilen türünün adı döküm polyamiddir. Döküm polyamid yüksek mekanik dayanım, iyi aşınma direnci, yüksek üst sıcaklık limiti ve düşük sürtünme katsayısı, yüksek elastiklik modülü, iyi kimyasal dayanım, hafiflik, ses ve titreşim sönümlemesi gibi özelliklerinden dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu özelliklerinin yanında, döküm metoduyla imal edilen döküm polyamid parçaların mukavemetleri, enjeksiyon ve ekstrüzyon ile imal edilen polyamid parçalara göre çok daha iyidir. Döküm polyamid üretimi atmosfer basıncı altında yapıldığından ve kullanılacak kalıpların basit oluşundan nispeten ucuz bir yöntemdir [2-3].

Bu çalışmada döküm polyamidin ϵ -kaprolaktamdan azot atmosferi altında serbest döküm prosesiyle endüstrideki üretim yöntemine sadık kalınarak pilot ölçekli reaktörde üretimi sırasında çeşitli oranlarda grafit katkısının mekanik özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Yapılan literatür taramasında konuyla alakalı ülkemizde kapsamlı çalışmalar yapılmadığı görülmüştür, ayrıca dünya literatüründe de çok kapsamlı çalışmalara rastlanmamıştır. Genel olarak polimerik malzemelerinin tamamının aşınma davranışlarının, mekanik özelliklerinin karmaşıklığından dolayı, şimdiye kadar yapılan çalışmaların büyük bir kısmı yalnızca sonraki çalışmalar için öneri niteliğindedir [4]. Daha önce yapılan çalışmalarda grafit katkısıyla sürtünme katsayısının ve aşınma hızının azaldığı gözlemlenmiştir [5]. Fakat yapılan çalışmalarda grafit katkısının diğer mekanik özelliklerine etkisi üzerinde detaylı bir çalışma yapılmamıştır. Yapılan çalışmalarda özellikler birbirinden

bağımsız tek tek ele alınmıştır. Bu çalışmada hem aşınma davranışlarının hem de diğer mekanik özelliklerin birlikte incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. POLİMERLER

Doğal polimerler molekül ağırlığı yüksek organik molekül zincirlerinden oluşan karmaşık yapıya kimyasal bileşiklerdir. Günlük hayatta kullandığımız neredeyse tüm maddelerin temeli bu organik polimerlerdir, Şekil 2.1’ de polimerlerin kullanım alanları verilmiştir. yapıları genellikle karbon-karbon bağı şeklindedir ve karbon genellikle dört değerlik elektronuna sahiptir. Karbon diğer atomlar veya moleküllerle dört bağ oluşturur. Bu bağların yönü düzgün bir dörtgenin köşeleri gibidir. Doğal polimerlerin kullanımını kısıtlayan işlenmelerindeki zorluklar ve yetersiz mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı zamanla yerlerini sentetik polimerlere bırakmışlardır [6].



Şekil 2.1. Polimerlerin kullanım alanları [7]

İlk sentetik plastik 1909 yılında üretilen fenol formaldehittir. Sentetik lastik 1924 yılı, üre formaldehit 1929 yılı, polivinil klorür (PVC) 1936 yılında üretilmiş ve devam eden yıllarda sentetik plastik üretimi çeşitlilik ve hacim olarak büyük bir hızla artmıştır ve polimerlerin birçok alanda metallerin yerine kullanılmaya başlanmıştır [1, 6].

2.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerleri diğer kimyasal maddelerden ayıran en önemli özellik molekül yapılarının çok büyük olmasıdır. Polimerlerin üstün özellikler kazanmasında makro moleküler yapıları büyük önem taşır. Üstün mekanik özellikler genellikle yüksek zincir büyüklüğü bir noktayı aştıktan sonra kazanılır. Polimer zincirlerinin bağ yapıları da polimerlerin özellikleri üzerinde etkilidir. Polimer moleküllerinin bağ yapıları, doğrusal, dallanmış veya çapraz yapıda olabilir Bu bağ yapıları Şekil.2.2’de gösterilmiştir [8].



Şekil 2.2. Polimer moleküllerinin bağ yapıları [8]

Polimerlerin sınıflandırılması için tek bir yöntem yoktur, üretim yöntemlerine göre veya son kullanıcılara göre çeşitli şekillerde sınıflandırmalar yapmak mümkündür [9]. Polimerler değişik sınıflandırma yöntemleri;

- a. Kimyasal bileşimine göre:
Organik Polimerler, İnorganik Polimerler
- b. Yapılarına Göre :
Homopolimer, Kopolimer, Termopolimer
- c. İşleme Esasına göre:
Termoplastik Polimerler, Termoset Polimerler
- d. Kullanım Alanına Göre:
Plastikler, Fiberleri Kaplamalar
- e. Fiziksel Yapılarına Göre:
Amorf Polimerler, Kristalin Polimerler, Yarı Kristalin Polimerler

Bu sınıflandırma biçimlerinden en önemlisi işlenme yöntemine göre sınıflandırmadır [1].

2.1.1. Termoplastikler

Basınç ve ısı verildiğinde şekillendirilebilen, bunların etkisi kaldırıldığında tekrar eski haline dönebilen ısı ve basınç tekrar verildiğinde tekrar yumuşayan plastiklerdir. Bu etki malzemede hiçbir kimyasal değişikliğe neden olmaz, bu özellikleri sayesinde istenilen şekli vermek kolaydır. Zincir kovalent, zincirlerarası van der Waals bağları vardır. Başlıca termoplastikler şunlardır.

- Akrilikler
- Polistiren
- Polietilen
- Selülozikler
- Viniller
- Polyamidler [1, 10]

2.1.2. Termoset plastikler

Termoset polimerler sentetik malzemelerdir. Isıtılarak bir defa şekillendirilirler ve bu halini korurlar. Tekrar ısıtılırlarsa kimyasal değişime uğrarlar, tekrar ısıtılmakla yeniden şekillendirilemezler. Termoset pastikler solventler içinde çözünmez. Genellikle çapraz bağlı bir yapıya sahiptirler. Polimerleşme monomerlerin bir arada bulunduğu reaktörde başlar ve plastiğin kalıplanması ile son bulur. Başlıca termosetler şunlardır;

- Reçineler
- Poliüretan
- Poliimid
- Polibütadien
- Vulkanize Kauçuklar [1, 7]

2.2. Polimerizasyon Reaksiyonları

Polimer molekülleri oluşturmak üzere milyonlarca monomerin belli aktivatörün ve belli katalizörün varlığında bir reaktörde sıcaklık ve basınç etkisiyle Van Der Waals bağları ile birbirine bağlanarak polimerleri oluşturma reaksiyonlarına polimerizasyon reaksiyonları denir. Polimerlerin erimiş hallerinin ve çözeltilerinin viskozitesi oldukça yüksektir. Polimerleşme reaksiyonu ekzotermik olduğundan, izotermal ortamı korumak için, ortama çıkan ısıyı ortamdan uzaklaştırmak gerekir [9].

Polimerizasyon reaksiyonları bağ-oluşum mekanizmasına göre ikiye ayrılır:

- (1) basamaklı büyüme reaksiyonu polimerizasyonu,
- (2) zincir büyüme(katılma) reaksiyonu polimerizasyonu.

Bu polimerizasyon çeşitleri de, monomerlerin yapısına ve polimerizasyon şartlarına bağlı olarak bazı alt alt sınıflara ayrılırlar.

Basamaklı büyüme reaksiyon polimerizasyon mekanizmaları aşağıdaki şekilde 6 gruba ayrılabilir;

1. Karbonil katılma-ayrılma reaksiyonları :

- Doğrudan reaksiyon,
- Moleküller arası alışveriş reaksiyonu,
- Asit klorür veya asit anhidrid reaksiyonu,
- Yüzey arası kondensasyon reaksiyonu,
- Halka ve zincir oluşumu reaksiyonu,

2. Karbonil katılma-süstitüsyon reaksiyonları,

3. Nükleofilik süstitüsyon reaksiyonları,

4. Çifte-bağ katılma reaksiyonları,

5. Serbest-radikal bağlanması,

6. Aromatik elektrofilik-süstitüsyon reaksiyonları [9].

Zincir reaksiyonu polimerizasyon reaksiyonları aşağıdaki şekilde 4 grubu ayrılabilir.

1. Radikal-zincir reaksiyonları,
2. İyonik-zincir reaksiyonları (anyonik-polimerizasyon), katyonik-polimerizasyon,
3. Kopolimerizasyon reaksiyonları,
4. Stereospesifik polimerizasyon reaksiyonları [9].

Basamaklı reaksiyon ve katılma(zincir) reaksiyonu polimerizasyon yöntemlerinin karşılaştırılması

Büyük moleküllerin oluşması için gereken süre basamaklı reaksiyon ve zincir reaksiyon polimerizasyon türlerinde farklıdır. Basamaklı polimerizasyonda birbirinden farklı iki tip monomer bulunur, bunların X ve Y grupları oldukları varsayılırsa, polimerizasyon reaksiyonunun genelleştirilmiş gösterimi Şekil 2.3’ te verilmiştir.



Şekil 2.3. Basamaklı polimerizasyon genelleştirilmiş gösterimi [9]

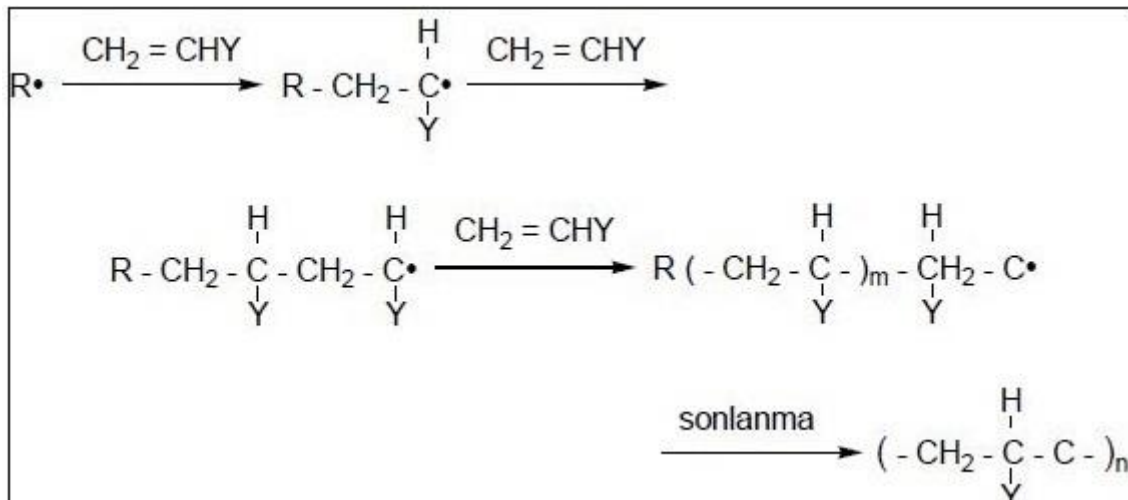
X ve Y grupları birleşerek XY fonksiyonel birimi oluşturur. Poliesterler poliüretanlar, polisülfürler ve polisiloksanlar Şekil 2.4’te verilen basamaklı reaksiyon polimerizasyonu ile oluşur. Genel özellikleri şu maddeler halinde sıralanabilir;

- İki molekül tür varlığında reaksiyon gerçekleşir.
- Monomer polimerizasyon derecesi (DP) 10 olduğunda, ortadan kalkar. % 1 den daha az monomer kalır.
- Polimerin molekül ağırlığı reaksiyon süresince sürekli artar.
- Reaksiyon süresinin uzatılmasıyla daha yüksek molekül ağırlıklı polimer elde edilir.
- Herhangi bir adımda tüm moleküller türler dağılımı hesaplanabilir.

$ \begin{array}{ccccccc} M_1 & M_1 & M_1 & M_1 & & M_1 & M_1 & M_1 \\ & & & & & & & \\ M_1 & M_1 & M_1 & M_1 & \longrightarrow & M_2 & & M_1 & M_1 \\ & & & & & & & & \\ M_1 & M_1 & M_1 & M_1 & & M_1 & M_2 & M_1 \\ & & & & & & & \\ M_1 & M_1 & M_1 & M_1 & & M_2 & M_1 & M_2 \end{array} $	% 25 Reaksiyon $DP_n = (8 \times 1 + 4 \times 2) / 12$ $DP_n = 1.33$
$ \begin{array}{ccccccc} & M_1 & M_1 & M_1 & & M_1 & M_1 \\ & & & & & & \\ M_2 & & M_1 & M_1 & \longrightarrow & M_3 & & M_2 \\ & & & & & & & \\ M_1 & & M_2 & M_1 & & M_1 & & M_1 \\ & & & & & & & \\ M_2 & M_1 & & M_2 & & M_3 & & M_4 \end{array} $	% 50 Reaksiyon $DP_n = (4 \times 1 + 1 \times 2 + 2 \times 3 + 1 \times 4) / 8$ $DP_n = 2$
$ \begin{array}{ccccccc} & M_1 & M_1 & & & M_3 & \\ & & & & & & \\ M_3 & & M_2 & & \longrightarrow & M_4 & M_1 \\ & & & & & & \\ M_1 & & M_1 & & & & \\ & & & & & & \\ M_3 & & M_4 & & & & \end{array} $	% 75 Reaksiyon $DP_n = (1 \times 1 + 1 \times 3 + 1 \times 4 + 1 \times 8) / 4$ $DP_n = 4$
$ \begin{array}{ccc} M_3 & & \\ & & \\ M_4 & M_1 & \longrightarrow & M_{13} & M_3 \\ & & & & \\ M_8 & & & & \end{array} $	% 87.5 Reaksiyon $DP_n = (1 \times 3 + 1 \times 13) / 2$ $DP_n = 8$

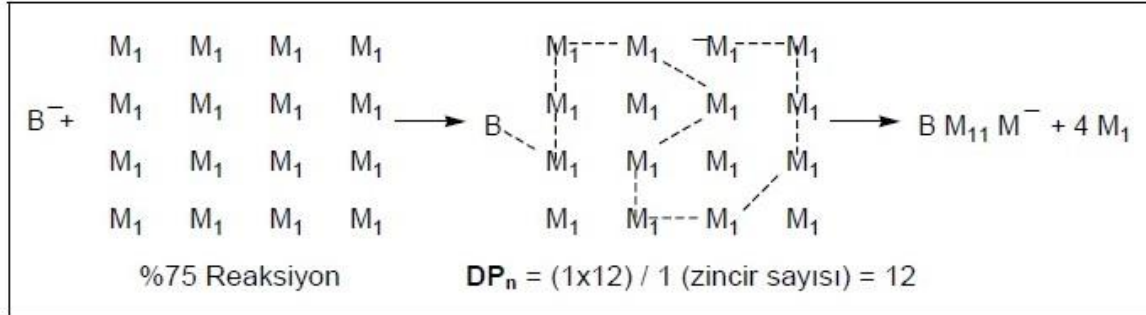
Şekil 2.4. Basamaklı reaksiyon polimerizasyonunun şematik olarak gösterilmesi [9]

Zincir-polimerizasyon reaksiyonunun en klasik örneği karbon-karbon çift bağı içeren monomerlerdir. Polimerizasyon reaksiyonu Şekil 2.5'te verilen aşağıdaki genel denklemle gösterilebilir.



Şekil 2.5. Zincir polimerizasyon genel denklemi [9]

Zincir reaksiyon polimerizasyonu ile oluşan polimerlere örnekler etilen, stiren, vinil klorür vs.dir. Zincir polimerizasyonunun şematik gösterimi Şekil 2.6'da verilmiştir.



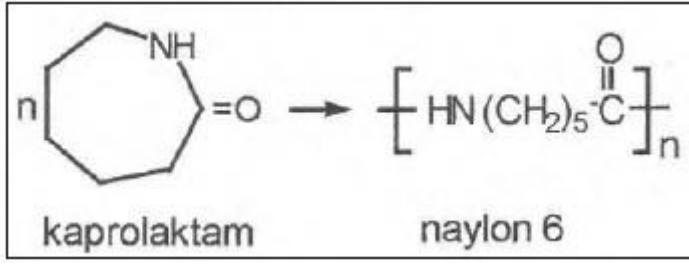
Şekil 2.6. Zincir reaksiyon polimerizasyonunun şematik olarak gösterilmesi [9]

Zincir polimerizasyonunun genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir,

- Reaksiyonun ilerlemesi tekrarlanan birimin zincire katılmasıyla devam eder.
- Monomer konsantrasyonu reaksiyon süresince boyunca sürekli düşer.
- Yüksek molekül ağırlıklı polimer oluşur. Polimerin molekül ağırlığında reaksiyon boyunca büyük değişimler olmaz.
- Reaksiyon süresinin uzaması ile verim yükselir fakat molekül ağırlığında çok büyük değişimler olmaz.
- Reaksiyon karışımı, yalnızca monomer, yüksek molekül ağırlıklı polimer ve çok az miktarda büyüyen zincir içerir [3, 6, 11].

Zincir reaksiyon polimerizasyonu kendi içerisinde iki alt gruba ayrılır. Zincir büyümesini sağlayan aktif merkezler radikalik ise radikalik polimerizasyon, iyonik karakterde ise iyonik polimerizasyon tanımlamaları kullanılır.

Laktamlar katılma polimerizasyonu kinetiğine uygun şekilde polimerleşirler. Örneğin kaprolaktamın polimerizasyonu Polyamid 6'yı verir. Kaprolaktamın polimerizasyonunun şematik gösterimi Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Kaprolaktamın polimerizasyonunun şematik gösterimi [8]

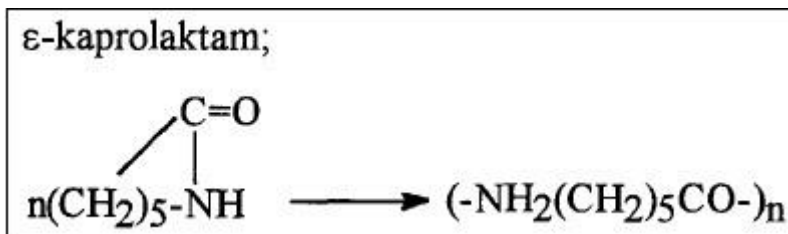
İyonik zincir polimerizasyonu da, aktif merkezin karakterine bağlı olarak katyonik polimerizasyon ve anyonik polimerizasyon şeklinde iki ayrı alt gruba ayrılır.

Katyonik polimerizasyonda zincir büyümesi katyonik merkezler, anyonik polimerizasyon da ise anyonik merkezler üzerinden devam eder. Buraya kadar değinilen polimerleşme reaksiyonları arttırılabilir veya alt gruplara ayrılabilir, halka açılması polimerizasyonu, elektro polimerizasyon, ara yüzey polimerizasyonu bunlardan bazılarıdır [8, 11].

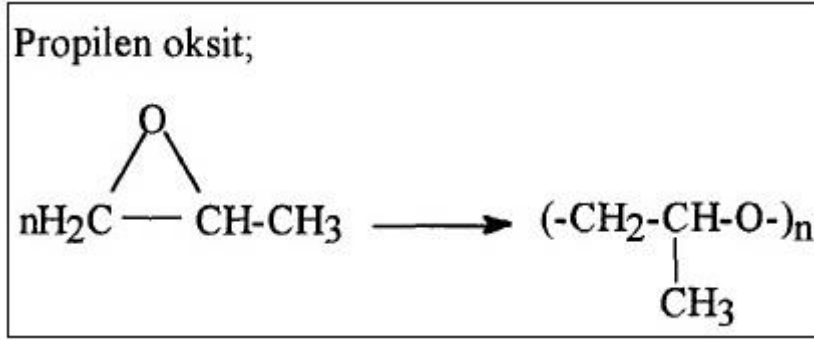
2.3. Halka Açılması Polimerizasyonu

Halkalı yapıya sahip bazı tür monomerlerden örneğin amitler, esterler, siloksanlar halka açılması polimerizasyonu ile polimer üretilebilir. halka açılması polimerizasyonu ile endüstriyel boyutlarda çok çeşitli monomerlerden polimer üretimi yapılabilir [9, 11].

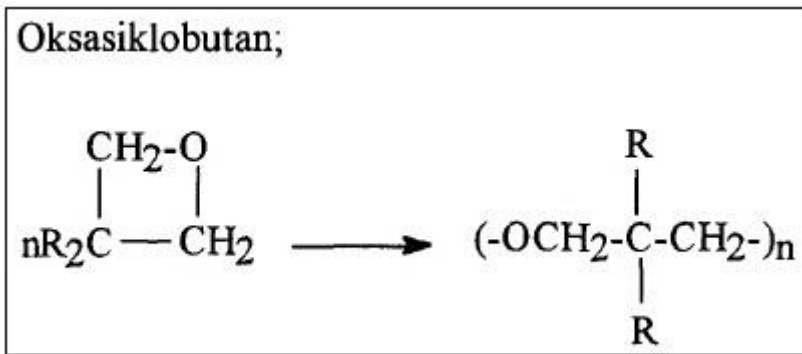
Aşağıda halka açılması polimerizasyonu ile polimerleşen monomerlere bazı örnekler Şekil 2.8, Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.8. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonunun şematik gösterimi [12]



Şekil 2.9. Propilen oksitin halka açılması polimerizasyonunun şematik gösterimi [12]



Şekil 2.10. Oksasiklobutanın halka açılması polimerizasyonunun şematik gösterimi [12]

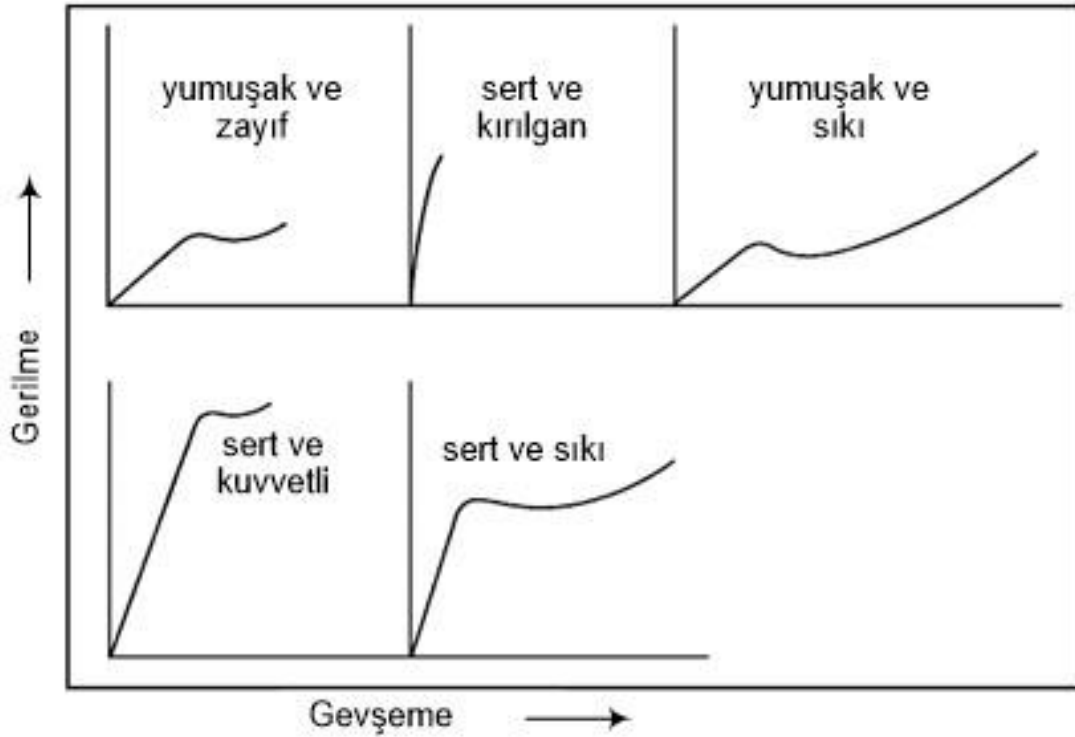
2.4. Polimerlerin Genel Özellikleri

2.4.1. Mekanik özellikler

Mekanik özellikler, bir kuvvet uygulandığında malzemenin kendi şeklini korumak için kuvvete karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Mekanik özellikler; uzama, akma kopma gibi deformasyonları kapsamaktadır. Polimerik malzemeden farklı kullanım alanlarına göre farklı mekanik özelliklerin üstünlüğü istenmektedir, mekanik özelliklerden bazılarının açıklamasına aşağıda yer verilmiştir [1, 13, 14].

Çekme-uzama özellikleri

Polimer malzemelerin mekanik özellikleri bakımından en önemli bilgileri çekme uzama testiyle elde etmek mümkündür. Çekme - uzama testi polimerin sabit hızla gerdirilmesi esnasında açığa çıkan kuvvetin sürekli olarak ölçülmesi ile olur. Çeşitli polimerik malzemeler için genelleştirilmiş örnek gerilme uzama eğrileri Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Çeşitli polimerik malzemeler için genelleştirilmiş gerilme uzama eğrileri [9]

Bu eğrilerden ‘rijitlik’, ‘akma gerilmesi’, kopma gerilmesi ve ‘kopmadaki uzama’ vb. hakkında bilgi edinilir.

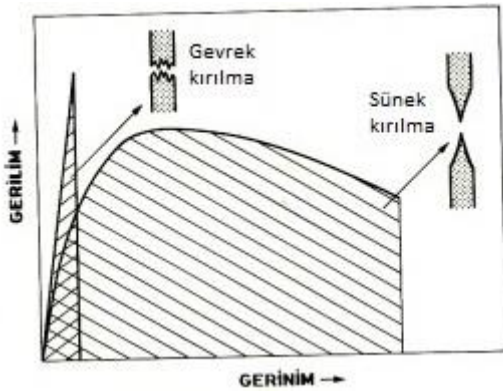
Yorulma

Polimer bir malzeme değişken yükler altında kalarak zamanla deformasyona uğrar ve kopar bu olay yorulma olarak tanımlanır. Polimer malzemenin yorulmasını incelenmesinde iki metot kullanılır bu metotlar eğilme yorulması ve çekme yorulması testleridir.

Darbe direnci

Darbe direnci polimer malzemenin dayanıklılığının ölçüsüdür. Darbe şeklinde etki eden kuvvete karşı cisimde beliren değerdir. Gerilme uzama eğrisi altında kalan alan darbe direncinin bir ölçüsüdür. Polimerik malzemelerde kırılma iki şekilde meydana gelir, Şekil 2.12.'de gösterilmiştir.

- Gevrek kırılma
- Sünek kırılma



Şekil 2.12. Gevrek ve sünek kırılmalar [1]

Sertlik

Sertlik direkt bir büyüklük değildir, bir malzemenin kendisinden daha düşük dayanımdaki bir malzeme üzerinde yapmış olduğu deformasyon üzerinden hesaplanır, genel anlamda malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak açıklanabilir.

Polimerlerde sertlik ölçümü için 5 farklı metot vardır (Rockwell Durometre, Bacrol, Shore ve küre basma sertliği). Shore sertlik ölçme metodunda sert koni ucun yükü malzemeye girme isteğine karşı olan direnç olarak tanımlanır. Kauçuk gibi yumuşak polimerlerde Shore A skalası kullanılırken polyamid gibi sert plastiklerde Shore D skalası kullanılır [13, 14, 15].

Aşınma

Aşınma, malzemelerin birbirine temas etmesi sonucu yüzeyinden mekanik etkenlerle küçük parçacıkların ayrılmasıyla malzemede kütle kaybı ve yüzey bozukluklarıyla sonuçlanan bir bozulma olarak tanımlanabilir. Polimerik malzemede aşınma sürtünme kuvveti, yük ve gerçek temas yüzeyi ile doğrudan alakalıdır. Polimerik malzemelerin sertliği aşınma oranı üzerinde büyük ölçüde etkili olan bir özelliktir [13, 16].

2.4.2. Elektriksel özellikler

Yüksek molekül ağırlıklı polimerlerin büyük bir kısmı yalıtkan özellik gösterirler, bu özellikleri sayesinde elektrik-elektronik endüstrisinde yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Polimerik malzemeleri yalıtkanlık özelliği üzerine nem ve sıcaklığın etkisi büyüktür. Polimerik malzemelerde statik elektrik yangın tehlikesine yol açtığından iletkenliği düşürecek dolgu maddeleri ilavesi edilerek bu durum engellenir [1].

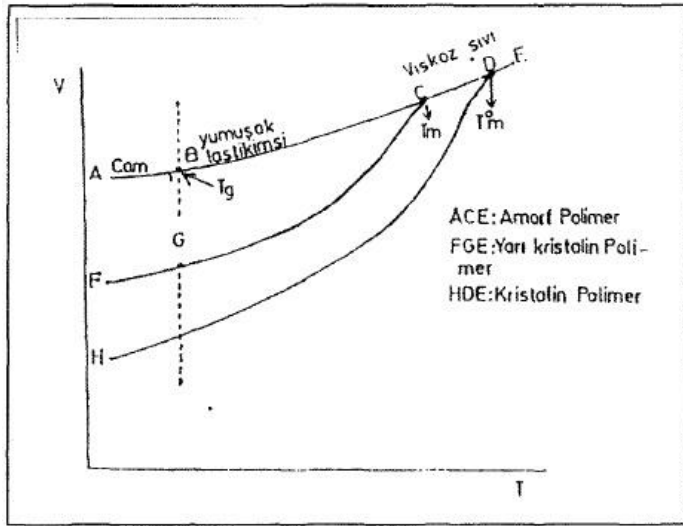
2.4.3. Kimyasal özellikler

Polimer malzemeler diğer malzemelere göre çevresel etkilere, atmosferik korozyon, nem ve benzeri daha büyük ölçüde dirençlidir. Termoplastikler genellikle zayıf asit zayıf alkali ve tuzlu su çözeltilerin den etkilenmezler. Birçok termoplastik organik çözücüler etkisinde çözülürler veya şişme gösterirler. Kuvvetli asit veya alkalilerdense kimyasal olarak etkilenirler. Termosetler kimyasal etkilere karşı termoplastiklerden daha dirençlidir. polimerlerin kimyasallara karşı dirençleri birçok etmene bağlıdır kimyasal reaktif maddenin cinsi ve konsantrasyonu, polimerik yapı, sıcaklık, uygulanan gerilme, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey morfolojisi vb.[1, 6].

2.4.4. Isıl özellikler

- Termal Genleşme Katsayısı (CTE): Polimerlerin sıcaklık değişimiyle boyları da değişir.
- Isıl Sapma Sıcaklığı (HDT): Polimerin yük altında distorsiyonsuz çalışabildiği en yüksek sıcaklık değeridir.

- Sürekli Çalışma Sıcaklığı (CST): Polimerin dayandığı ve özelliklerinin en az yarısını kaybetmediği en yüksek sıcaklık değeridir.
- Ergime Sıcaklığı: Yarı kristal (semi kristal) polimerin sıvı hale geçiş sıcaklığıdır.



Şekil 2.13. Polimer maddenin özgül hacminin sıcaklıkla değişimi [17]

Termal iletkenlik

Polimer malzemenin ne kadar ısı iletceğinin ölçütüdür. Polimerlerin çoğu ısıyı iyi iletmezler. Polimerlerin termal iletkenliği metallerden büyük ölçüde daha azdır.

Alevlenebilirlik

Polimerlerin alevlenebilirlikleri, bilinen bir örneğin yanma hızı ile test edilir. Uygulanan alevin uzaklaştırılması ile polimerin kendini söndürme eğilimi polimer için ayırt edici bir özelliktir [1].

3. POLYAMİD

İlk mühendislik plastiği olan polyamidler naylon olarak da bilinmektedir. 1928 yılında polyamid Carothers tarafında polikondenzasyonla üretilmiştir. 1938 yılında DuPont firması ilk ticari polyamid ürününü Nylon markasıyla piyasaya sürmüştür. 1950’lerde aromatik polyamideler üretilerek yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı hale getirilmişlerdir. 1961 yılında DuPont’un ürettiği aromatik elyaf ticari olarak büyük önem kazanmıştır. 1950’lere gelindiğindeyse 1500 den fazla polyamid çeşiti üretilmiştir. Çizelge 3.1’de bazı polyamid 6 ve Polyamid 6.6 üreticileri verilmiştir [1-3].

Çizelge 3.1 Nylon 6 ve 6.6 üreticileri [2]

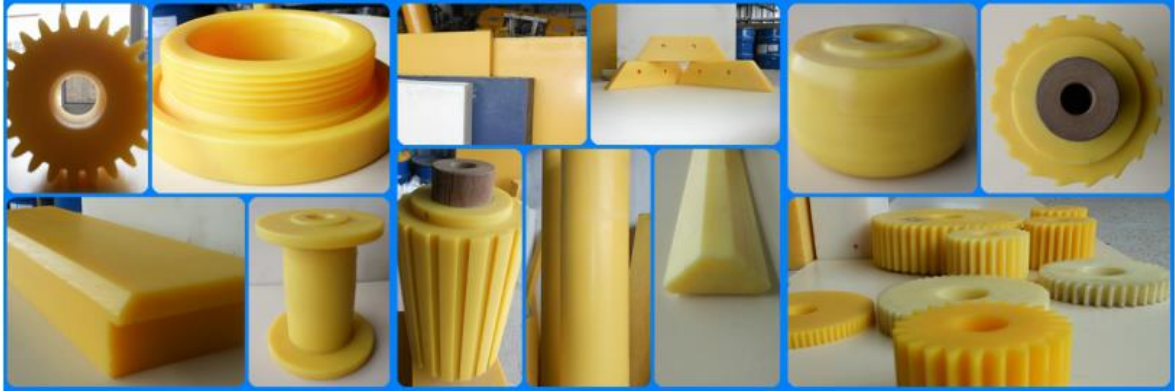
Ticari adı ve polyamid	Üretici Firma
Ultramid A,B (Naylon 6 ve 6.6)	BASF -Almanya
Durethan (Naylon 6)	Bayer – Almanya
Grilon (Naylon 6)	Emser-Werke- İsviçre
Rilsan (Naylon 6)	Organics- Fransa
Maranyl (Naylon 6 ve 6.6)	ICI- İngiltere
Zytell(Naylon 6 ve 6.6)	DuPont- Amerika
Sniamid (Naylon 6)	Snia Viscoa- İtalya

Polyamidler bir amid grubu (-CONH-) ve buna doğrusal olarak bağlanan metilen (-CH₂) grubundan oluşur. Lineer polyamidler bifonksiyonel monomerlerin kondenzasyonu ile meydana gelir. AB tipi polyamidler amino asit monomerlerinden oluşan polimerlerdir. A amin grubunu B de karboksil asit grubunu temsil eder. AABB tipi polyamidler ise diaminlerin ve dikarboksilik asitlerin kondenzasyonu ile oluşan polimerlerdir. Polyamidlerin genellikle kondenzasyon ürünü olmalarına karşın, katılma polimerizasyonu ile oluşan polyamidler de bulunur. ε-kaprolaktam gibi halkalı monomerden AB türünde polyamid elde edilmesinde seçilen yöntemin önemi büyüktür.

Polyamidler monomerdeki karbon atomlarının sayısı ile tanımlanır, AB tipinden bir polyamidde tek sayı polyamidin tek tip monomerden meydana geldiğini ve karbon atomu sayısını ifade eder. Örnek olarak polyamid 6 ε-kaprolaktamın polimerizasyonu ile elde edilir. AABB tipindeki polyamidler ise birbirinden virgülle ayrılmış iki sayı ile ifade edilir. İlk

sayı diamindeki karbon atomlarının sayısını ikinci sayı ise dikarboksilk asitteki karbon atomlarının sayısını ifade eder. Örnek olarak Polyamid 6,6 hekzametilendiamin ve apidik asitten elde edilmiştir.

Günümüzde çok fazla sayıda polyamid çeşidi vardır polyamid 6, polyamid 6.6, polyamid 6.10, polyamid 6.1, polyamid 4.6, polyamid 8 ve döküm polyamid gibi. Polyamid çeşitleriyle üretilmiş bazı parçaların resimleri aşağıda Resim 3.1 'de verilmiştir [1-3, 12]



Resim 3.1. Polyamid çeşitlerinden üretilmiş bazı parçalar [18]

Polyamidlerin özellikleri çeşitlerine bağlı olarak çok geniştir. yüksek kristal yapıya sahiptirler ve molekül ağırlıkları yüksektir. Sert ve dayanıklıdırlar, yorulma mukavemetleri yüksektir, sağlam, aşınmaz, sürtünme katsayısı düşük ve kendinden yağlama özelliğine sahiptirler. Yüksek çekme direncine ve uzamaya sahiptirler, esneklikleri yüksek, darbeye karşı dayanıklılıkları iyidir. 80-120 °C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışabilirler. Isı ve ışığa karşı dayanıklıdırlar, atmosferik şartlarda kullanılabilirler. Kimyasallara karşı iyi dirençlidirler, gaz ve kokuları geçirmezler, elektrik özellikleri iyidir. Geleneksel torna tezgahlarında kolayca işlenebilirler.

Polyamidler hidroskopik malzemelerdir ve mekanik özellikleri bağlı nem oranına bağlı olarak değişir. Bünyelerinde barındırdıkları nem oranı %2-3 olduğu zaman toklukları yüksektir. Kuru olan polyamidler kırılgandır. Polyamidlerin bağlı nem oranı; ortam sıcaklığı, polyamidin kalınlığı ve geçen süreyle değişir. Aşağıdaki tabloda polyamid 6 polyamid 6.10 ve cam elyaf takviyeli polyamid 6.10'un bazı mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir [1-3, 19].

Çizelge 3.2. Polyamid, 6 polyamid 6.10 ve cam elyaf takviyeli polyamid 6.10'un bazı mekanik özellikleri [18]

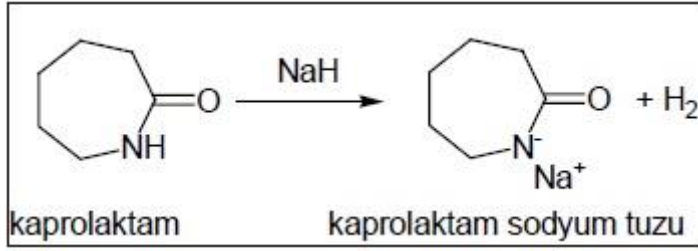
Malzeme Özellikleri	Naylon 6/6	Naylon 6/10	Cam Elyaf Takviyeli Naylon 6/10
Yoğunluk (g/cm ³)	1,13–1,15	1,09	1,17-1,52
Çekme dayanımı (MPa)	62-82	58-60	89-240
Izod darbe dayanımı (J/mm)	0,05-0,1	0,06	0,06-0,3
Sertlik (Rockwell)	R108-R120	R111	M94, E75
Termal genişleme (10 ⁻⁴ / °C)	20	23	3-8
Sıcaklık Direnci (°C)	80-150	80-120	150-205
Dielektirik mukavemeti (V/mm)	15000-18500	13500-19000	16000-2000
Dielektirik Sabiti (60 Hz)	4-4,6	3,9	4-4,6
Su absorpsiyonu (24 saat, %)	1,5	0,4	0,2-2
Ergime sıcaklığı (°C)	260	220	-

3.1. Polyamidlerin Sentezlenme Yöntemleri

Polyamidlerin sentezinde kullanılan başlıca polimerizasyon yöntemleri diamindikarboksilikasit kondensasyonu, amino asit kondenzasyonu, diamin-diasit klorür kondensasyonu ve siklik amitlerin (laktamlar) halka açılma polimerizasyonudur.

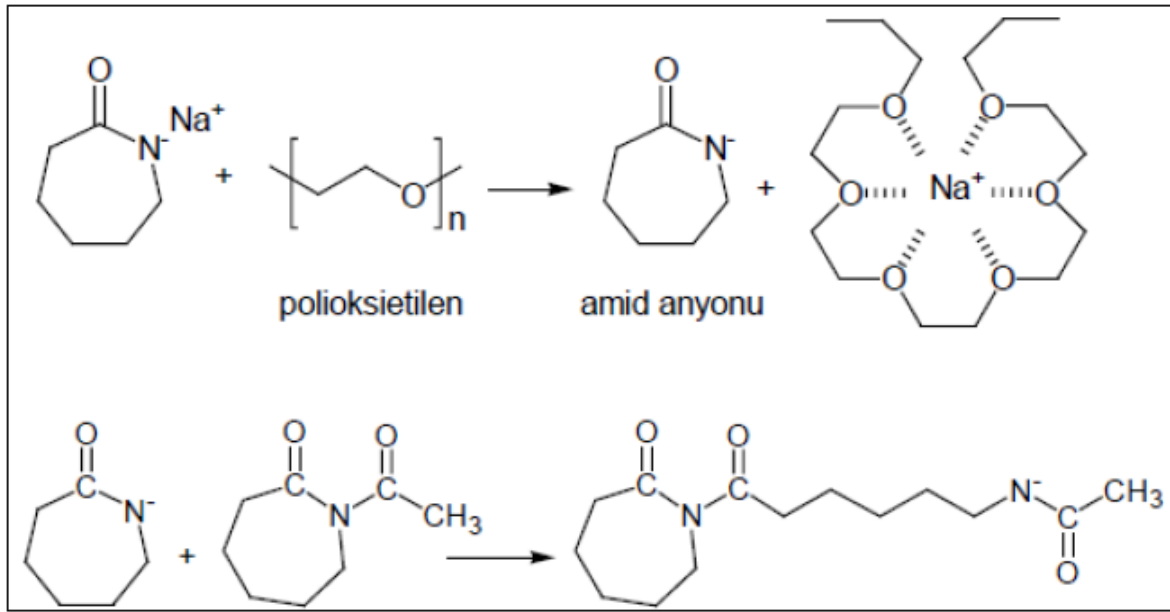
Polyamid 6 (nylon 6) ϵ -kaprolaktamdan halka açılması polimerizasyonu ile üretilir. Polimerizasyon kademeleri başlama, çoğalma ve sonlanma şeklindedir [8-9].

Başlama kademesi, sodyum hidrür reaksiyonu başlatır, kaprolaktamla reaksiyona girer, kaprolaktam sodyum tuzunu meydana getirir, kaprolaktamdan daha fazla nükleofiliktir. Şematik gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir.



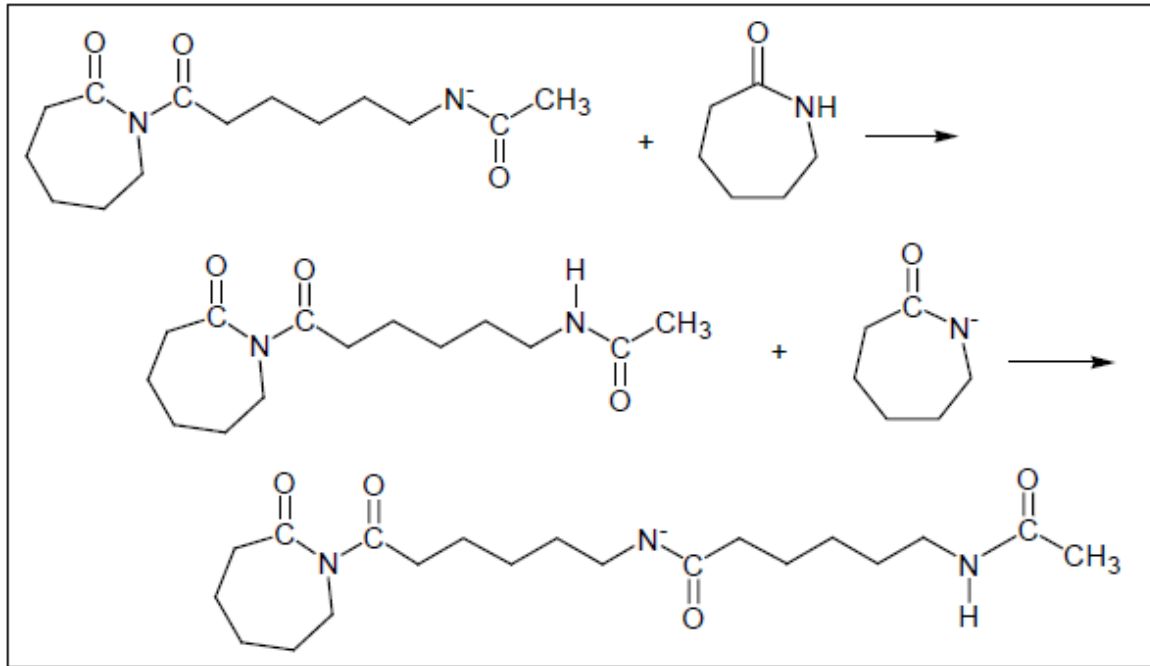
Şekil 3.1. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonu, başlama kademesi

Çoğalma kademesi, başlama kademesi 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 tekrarlanarak uzun naylon 6 zincirleri oluşur. Şematik gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir.



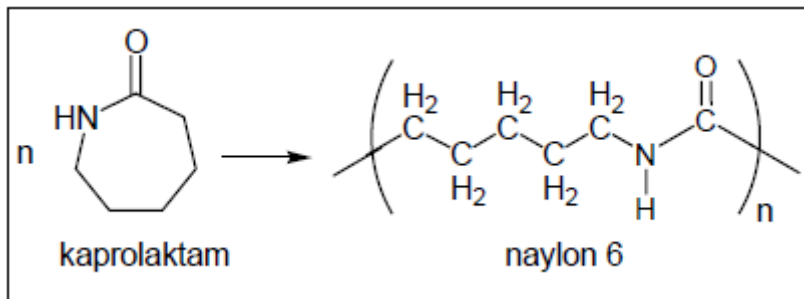
Şekil 3.2. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonu, çoğalma kademesi

Sonlanma kademesi, aktif zincirlerin aktivitelerinin herhangi bir ara bileşik veya safsızlıkla giderilmesiyle normal naylon 6 polimerik zincirleri oluşur. Şematik gösterimi Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonu, sonlanma kademesi

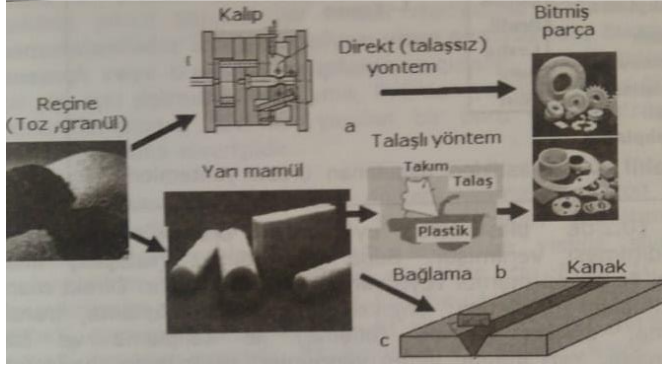
Toplam reaksiyon Şekil 3.4'te ki gibi gösterilebilir[8, 9]



Şekil 3.4. Kaprolaktamın halka açılması polimerizasyonu

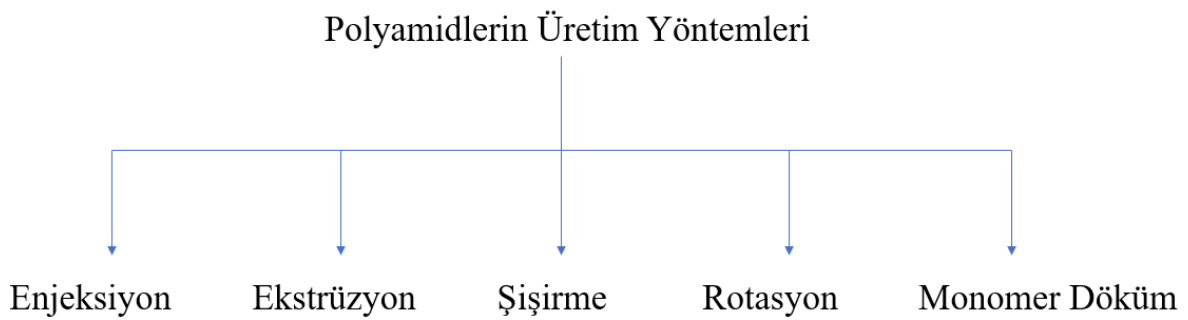
3.2. Polyamidlerin Üretim Yöntemleri

Polyamidler tüm termoplastik üretim yöntemleriyle, enjeksiyon yöntemi, ekstrüzyon yöntemi, şişirme yöntemi, rotasyon yöntemi, monomer döküm yöntemi vb., üretilebilir, bu üretim yöntemleri Resim 3.2’ de gösterilmiştir.



Resim 3.2. Termoplastik üretim yöntemleri [3]

Polyamid parçaların üretimi temelde iki kademedен oluşur. İlki kimyasal proses (polimerizasyon) bu işlemdе polimer malzeme (reçine) meydana getirilir. İkinci kademedе ise reçineden ürün olarak kullanılmak üzere şekil verilmiş parçalar imal edilir. İkinci kademe mekanik bir işlemdir. Polyamidelerin üretim yöntemleri Şekil 3.2’te verilmiştir [3, 11, 20, 21].

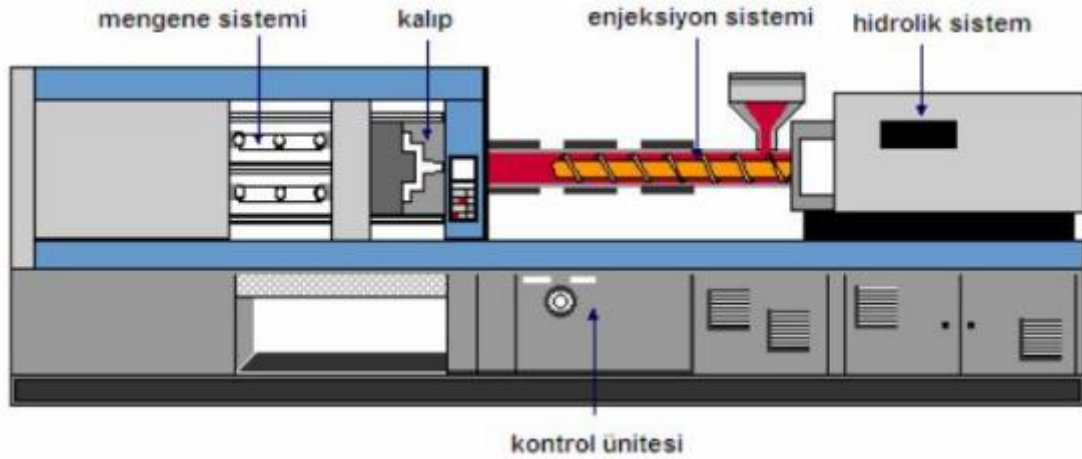


Şekil 3.5. Polyamidlerin üretim yöntemleri

3.2.1. Enjeksiyon yöntemi

Bu yöntemde polimer ısıtılır şekil alabilir hale getirilir ve yüksek basınç uygulanarak bir kalıba dolması sağlanır, kalıpta katılaşan parça kalıptan çıkarılır. İstenilen son boyutlara çok

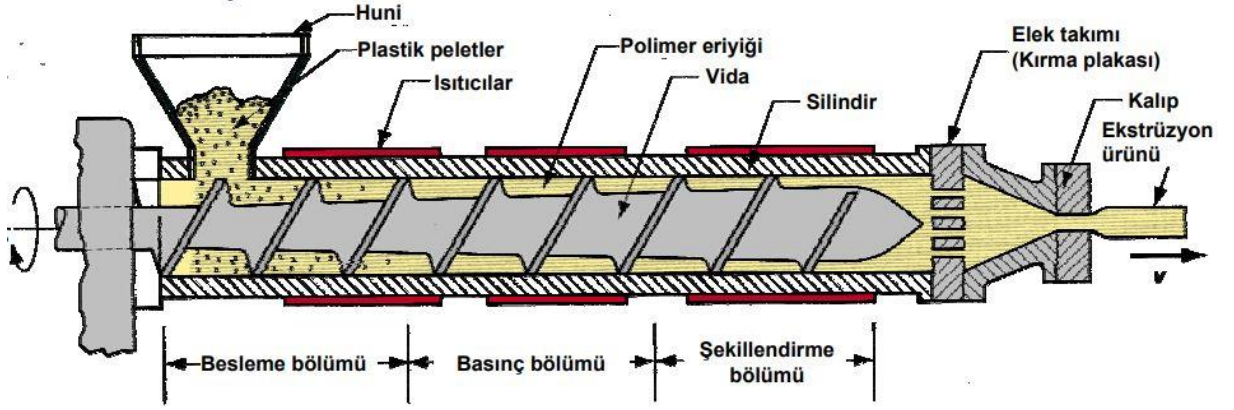
yakın hassas parçalar üretmek mümkündür. Parçalar 10-30 saniye gibi kısa sürelerde üretilir. Karmaşık şekillerdeki parçalar üretilir. Kalıp maliyeti çok yüksek olduğundan yalnızca parça sayısı yüksek üretimler için ekonomik olur. Proses sırasında gereken yüksek basınç da dezavantajlarından. Şekil 3.6 'da bir enjeksiyon makinasının şekli verilmiştir.



Şekil 3.6. Enjeksiyon kalıplama makinası [22]

3.2.2. Ekstrüzyon yöntemi

Bu yöntemde kapalı bir bölmede bulunan polimere basınç uygulanarak, polimer kalıp açıklığından akışa zorlanır, bu sırada malzeme kalıp boşluğunun belirlediği biçimde, sabit kesitli bir sürekli ürün oluşur. Bu yöntemle boru, hortum, profiller, film, levha, sürekli lifler, kaplı elektrik telleri vb parçalar üretmek mümkündür. Sürekli bir proses olarak uygulanır, daha sonra ürün istenilen boylara kesilir. Şekil 3.7' de bir ekstrüzyon makinasının şekli verilmiştir.



Şekil 3.7. Ekstrüzyon makinasının elemanları [23]

3.2.3. Şişirme yöntemi

Bu yöntemde eriyik plastik hava basıncı yardımıyla şişirilerek bir kalıp boşluğuna doldurulur. Şişe bidon vb. ince cidarlı ve içi boş parçaların üretilmesi mümkündür. İki basamakta gerçekleştirilir:

- İlk olarak bir tüp üretilir
- Bu tüp kalıp içinde şişirilerek son şekli verilir.

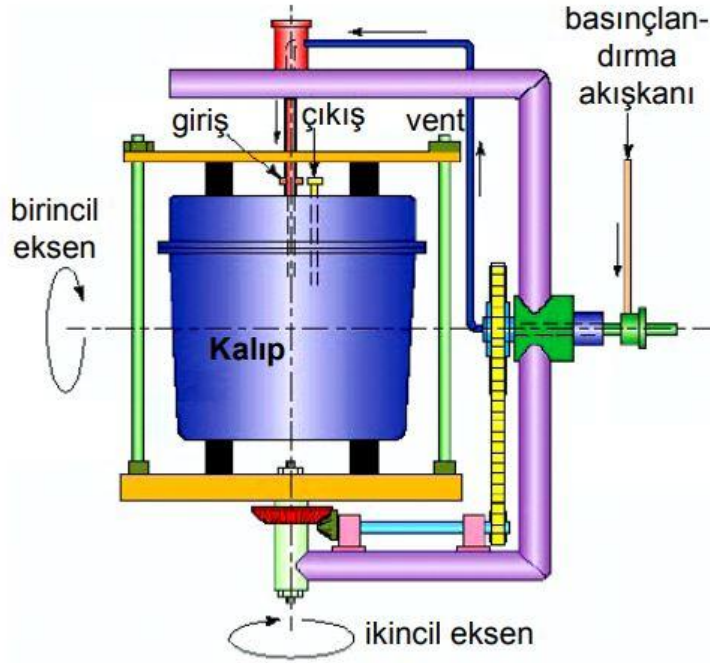
Şekil 3.8’ de şişirme yönteminin uygulanmasına dair bir şekil vardır.



Şekil 3.8. Şişirmeyle kalıplama [24]

3.2.4. Rotasyon yöntemi

Bu yöntemde, içi boş ürünler elde etmek amacıyla yerçekiminden faydalanılır. Daha büyük ve boş kapların üretilmesinde şişirmeyle kalıplamaya bir alternatiftir. Şekil 3.9’ da rotasyon yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.9. Rotasyonla kalıplama [24]

3.2.5. Döküm yöntemi

Döküm yöntemi iki şekilde olur bunlar polimer döküm ve monomer dökümdür.

Polimer döküm

Polimer döküm yöntemi genellikle film hazırlamada kullanılır. Polimer dökümde, polimerin viskoz bir çözeltisi hazırlanır. Bu viskoz polimer çözeltisi film şeklinde çekilir. Daha sonra çözücü sıcak hava ile uzaklaştırılır ve ürün elde edilir.

Monomer döküm

Bu yöndemde, monomer sıvı halde ise doğrudan, katı halde ise eritildikten sonra başlatıcılar ve katkı maddeleri eklenerek bir çözelti hazırlanır. Çözelti ürün şekline göre hazırlanmış ve önceden ısıtılmış kalıba konur, yeterli süre beklenerek monomerin polimerleşmesi sağlanır. Sonunda kalıp soğutulup açılır ve donmuş polimer ürün çıkartılır.

Monomer döküm yöntemi bu çalışmada üretilecek parçaların üretiminde kullanılacaktır.

3.3. Döküm Polyamid

Döküm polyamid ϵ -kaprolaktamın anyonik polimerizasyonu ile aktivatör olarak sodyum tuzları, katalizör olarak izosiyanatlar kullanılarak monomer döküm yöntemiyle üretilen yüksek molekül ağırlıklı bir termoplastiktir.

Yüksek molekül ağırlığı sayesinde yüksek kristaliniteye sahiptir. Yüksek mekanik dayanımı vardır ve kendinden yağlayıcıdır. Çalışma sıcaklık aralığı geniştir (-50°C - $+160^{\circ}\text{C}$). Elektrik izolasyonu yüksektir. Kimyasallara direnci yüksektir. Hafifdir, ses ve titreşimi iyi sönümler. Sert aynı zamanda esnektir. Geleneksel torna tezgahlarında kolay işlenebilir. Gerilimsiz büyük ağır ve karmaşık parçalar üretilebilir. Bu özelliklerinin yanında, döküm metoduyla imal edilen döküm polyamid parçaların mukavemetleri, enjeksiyon ve ekstrüzyon ile imal edilen polyamid parçalara göre çokdaha iyidir. Döküm polyamid üretimi atmosfer basıncı altında yapıldığından ve kullanılacak kalıpların basit oluşundan nispeten ucuz bir yöntemdir. Döküm polyamid üretim tesisinin ilk yatırım maliyeti enjeksiyon ve ekstrüzyona göre çok düşüktür. Bu üstün özellikleri sayesinde inşaat, gemi, nakliye, mühendislik sektörlerinde; ambalaj, ziraat, gıda, tekstil, kağıt, deri, demir çelik ve kimya sanayilerinde geniş kullanım alanına sahiptir ve birçok alanda metallerinin yerini almıştır.

Kullanım alanları;

- Makaralar
- Dişli çarklar
- Makine elemanları

- Hadde yatakları ve kızakları
- Aşınma plakaları
- Aşınma pabuçları
- Döner ve kayar hareketli makine parçaları
- Sıyırıcılar
- Tekerlekler
- Beton döküm kalıpları
- Sonsuz vidalar
- Masfal parçaları
- Vantilatör parçaları
- Fan kanatları vb. [12, 25, 26, 27, 28, 29, 30].

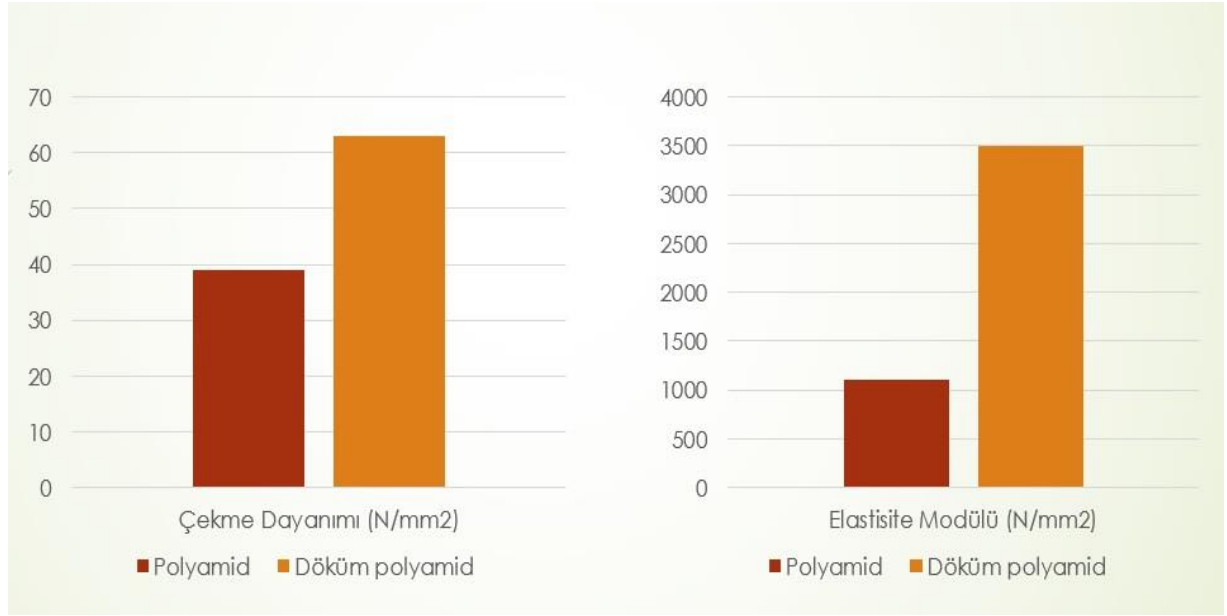
Döküm polyamidin polyamid 6'ya üstünlükleri

Üretim

- Basit ve ucuz kalıplar kullanmak mümkün,
- Çeşitli kalınlıklarda büyük ve ağır parçalar üretilebilir,
- Düşük miktarda üretimler için de maliyeti düşük,

Malzeme

- Gelişmiş mekanik özellikler
- Daha iyi aşınma dayanımı
- Daha iyi kristal yapı, yüksek kristalinite [28]

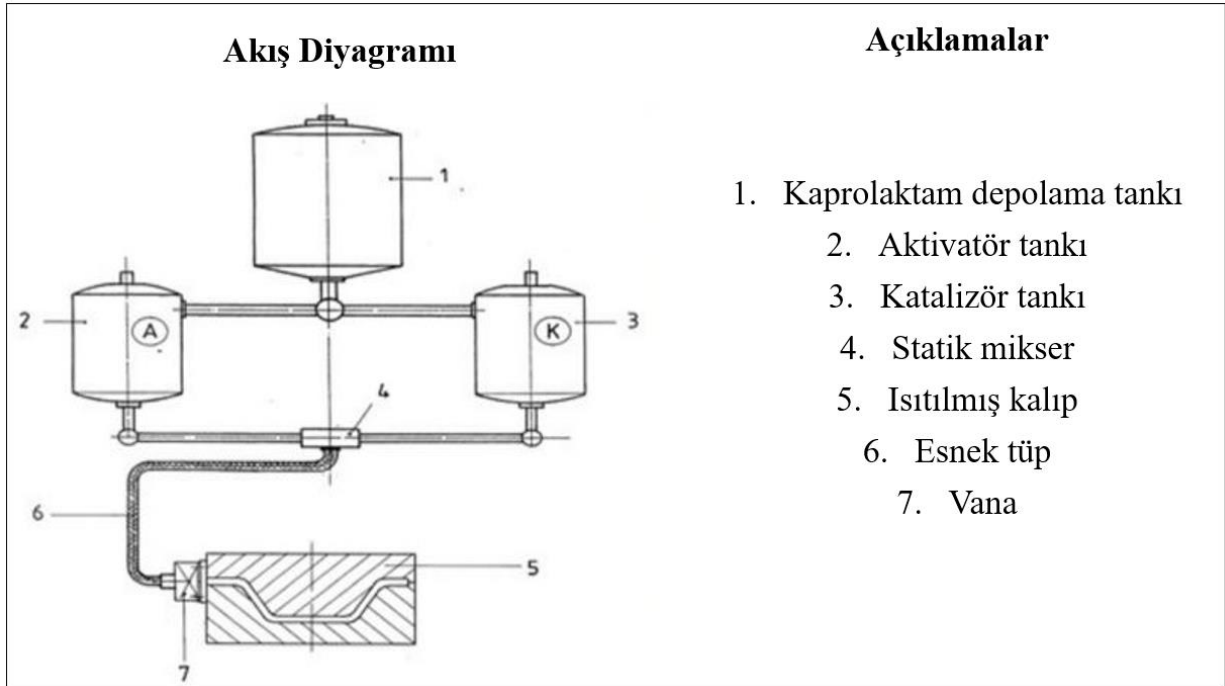


Şekil 3.10. Döküm polyamid ve polyamid mekanik özelliklerinin kıyaslanması [25]

Şekil 3.10’ da döküm polyamid ve polyamidin mekanik özelliklerinin kıyaslaması verilmiştir. Üretim yöntemindeki bu farklılık çekme dayanımı 1.5 kattan fazla, elastisite modülü ise yaklaşık 3 kat arttırmıştır.

3.3.1. Döküm polyamid üretim yöntemi

Endüstride döküm polyamid üretimi için kullanılan sistemde temelde iki tank, aktivatör tankı ve katalizör tankı, bunların karışımını sağlayan statik bir mikser ve karışımın alındığı sıcak bir kalıptan oluşur. Şekil 3.11’ de verilen akış diyagramı üzerinden proses basamakları;



Şekil 3.11. Döküm polyamid üretimi prosesi [28]

- 1 numaralı tank kaprolaktam depolama tankıdır bu tank zaruri değildir, işlemleri hızlandırmak için kullanılır
- 2 numaralı tank aktivatör ve kaprolaktamın beraber koyulduğu tanktır
- 3 numaralı tank katalizör ve kaprolaktam beraber koyulduğu tanktır
- 2 ve 3 numaralı tanklara kaprolaktam koyulur ve tanklardan azot verilmeye başlanır, daha sonra azot atmosferi altında sürekli karıştırılarak kaprolaktamın erime sıcaklığı olan 69°C kadar gelinmesi beklenir
- 69°C de bütün kaprolaktam eriyik hale geldikten sonra kazanlara belirlenmiş oranlarda aktivatör ve katalizör eklenir
- Kazanlara aktivatör ve katalizör eklendikten sonra $130 - 150^{\circ}\text{C}$ arasındaki bir sıcaklık değerine çıkılır (bu değer üretilcek malzemenin boyutlarına ve şekline göre değişkenlik gösterir)
- Belirlenen sıcaklık değerine gelindikten sonra kazanlardan alınan malzeme 4 numaralı statik mikserde karıştırılarak 6 numaralı boru yardımıyla 5 numarada gösterilen önceden ısıtılmış kalıba alınır.
- 2 ve 3 numaralı kazanlardaki çözeltiler statik mikserde karıştığı anda ekzotermik reaksiyon başlar.

Polimerizasyon hızı malzemede oluşacak stresi önleme açısından çok önemlidir, çok hızlı polimerizasyon malzemede gerilmelere sebep olur. Polimerizasyon hızı iyi ayarlanırsa kalınlığı düzenli olmayan parçalarda bile iç stres oluşmasının önüne geçilebilir. Parçanın ölçüleri, doğru miktar ve türde ki aktivatör ve katalizör seçimi, çözelti ve kalıp arasındaki sıcaklık farkı çok iyi belirlenmelidir. Çözelti ve kalıp arasındaki sıcaklık farkı 40 °C den fazla olmamalıdır [28, 31, 32, 33, 34].

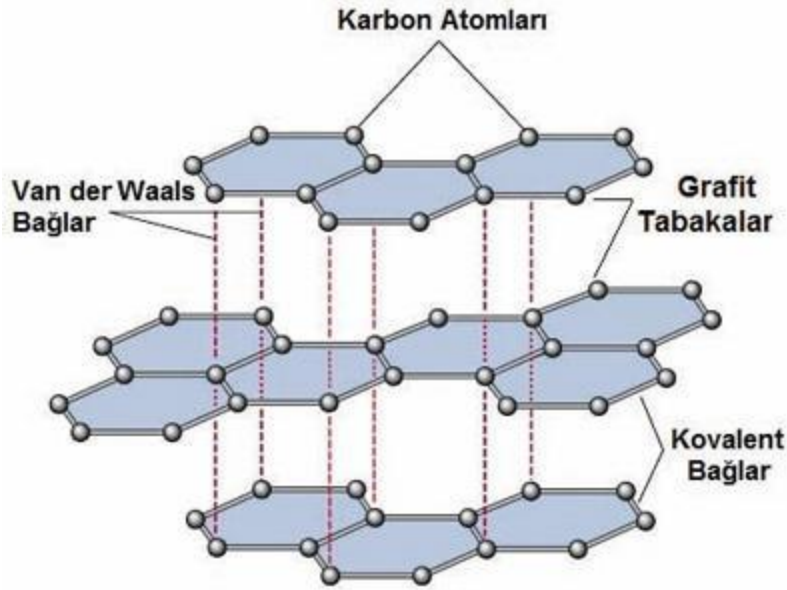
4. GRAFİT

Yunanca yazmak anlamına gelen “Grafit”, dokunumu yağsı, oldukça yumuşak ve ince levhalar halinde bükülme özelliğine sahiptir. Gri siyah arasında değişen tonlarda rengi olan grafitin çizgi rengi kül rengindedir, Resim 4.1’de grafit resmi verilmiştir. Oksijenli ortamda 600-670 °C’ ta yanan, normal hava ortamlarında 3500 °C’ a kadar yanmayan grafitin, erime derecesi 3927 °C’ tır. Grafit karardır ve kimyasal bozunmaya dayanıklılık gösterir, asit, baz ve tuzlara karşı dayanıklı, kimyasal reaksiyonlara karşı duyarsız, iyi bir yağlayıcıdır. Ayrıca ısı ve elektrik iletkenliği çok iyidir [35, 36].



Resim 4.1. Grafit [35]

Organik bileşiklerin ana elementi olan ve yerkabuğunun yaklaşık % 0,2'sini oluşturan Karbon (C), periyodik tablonun 2. periyot 4A grubunda yer alır, değerlik elektron sayısı da 4'tür, ametal bir elementtir. Karbon 4 bağ yapar. Bu bağlar tekli, 2'li veya 3'lü olabilir. Karbonun elektron konfigürasyonu 1S² 2S² 2P² şeklindedir. Elmas ve grafit, karbonun doğal allotroplarıdır. Grafitin özellikleri elmastan çok farklıdır. Hekzagonal kristal yapısına sahip grafitte karbon atomları üst üste yığılmış geniş ve yassı levhalar oluşturacak biçimde iki boyutlu düzlemde birbirlerine bağlanmıştır. Bu karbon levhalar birbirlerinin üzerinden kolayca kayar, grafitin iyi bir yağlayıcı olma özelliği bundan kaynaklanır. Grafitte karbon atomlarının meydana getirdikleri düzlem içerisinde bağlar kuvvetli, düzlemler arası bağlar ise zayıftır. Bundan dolayı kaygan bir davranış gösterir [25, 36].



Şekil 4.1. Grafitin kimyasal yapısı [36]

Grafit; Doğal Grafit ve Sentetik Grafit olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

- Doğal Grafit
 - Amorf grafit (Mikro kristalin ya da kripto kristalin grafit olarak da bilinir),
 - Pulsu grafit,
 - Kristal grafit-damar tipi grafit formlarında bulunur.
- Sentetik Grafit

Bir sanayi ürünü olup, petrol, kok ve antrasitin elektrik ocaklarında 4000 °C'ye ısıtılmasıyla elde edilir [36].

Üstün özellikleri nedeni ile grafitin çok geniş kullanım alanı vardır. Çizelge 4.1'de grafit kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Grafit kullanım alanları [35]

Kullanma Amacı	Kullanıldığı Alanlar
Refrakterlik (veya dayanıklılık)	Refrakter Tuğlalar Döküm Boyaları Potalar Yatay Mufı Fırınları (Retort) Soba Boyaları Elektrodlar
Yağlayıcılık	Yağlayıcılar Motor ve Jeneratör Fırçaları Barut Cılası Lastikler Kurşun Kalemler Yataklar Tohum ve Gübre Kaplama Fren Astarları Piston Halkaları (Segmanlar) Motor Gömlekleri
İletkenlik	Motor ve Jeneratör Fırçaları Pil Tozları Fren Astarları Elektrodlar Basım (Electro - Typing) Isı Değiştiricileri
Karbon Verici	Karbon Yükseltici İzabe İşlemleri Nükleer Moderatörler (Nötron Yavaşlatıcılar)
Kimyasal Asallık	Contalar Yapıştırıcılar Boyalar Refraktörler Pil Karbonları Döküm Boyaları Pas Temizleyiciler (Kazanlar) Soba Boyaları

5. KOMPOZİT MALZEMELER

Teknolojinin gelişmesiyle aynı anda birçok üstün özelliği olan malzemelere ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır ve bu ihtiyacın sonucu olarak kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozit malzemeler kimyasal bileşimi ve özellikleri birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin üstün özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleşmesinden oluşan yeni malzemelerdir. Kompozit malzemenin bileşenleri kendi özelliklerini de koruyarak daha üstün özellikli malzemeler oluştururlar. Kompozit malzemeler matris elemanı, takviye elemanı ve isteğe bağlı olarak eklenen katkı elemanlarının birleşmesinden oluşurlar. Kompozit malzemelere verilebilecek en güzel ve yaygın örneklerden biri betondur. Betonda matris malzemesi çimento ve kum, takviye elemanı ise çelik çubuklardır.

Kompozit malzemeleri geleneksel malzemelerle kıyasladığımız zaman kompozit malzemeler yüksek mukavemet, yüksek aşınma dayanımı, düşük yoğunluk, yüksek yorulma dayanımı, yüksek kırılma tokluğu, yüksek korozyon dayanımı, yüksek sıcaklık performansı, ısı ve akustik iletkenlik, estetik görünüm, imalat kolaylığı, düşük maliyet gibi birçok özellik bakımından kompozit malzemeler geleneksel malzemelere göre daha üstün özelliklere sahiptir.

Kompozit malzeme matris ana fazı ve ana fazın içine dağılmış takviye elemanlardan oluşur. Kompozit malzemelerde matris ve takviye genel olarak cam, seramik, plastik ve metaller gibi malzemelerdir. Bu malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan kompozit malzemeler üstün mekanik özellikler gösteren ileri malzemeler olarak tanımlanmaktadır.

Matris elemanı uygulanan yükü ara yüzey bağıyla takviye elemanına iletir ve dağıtır. Böylece takviye elemanı planlanan şekilde tutarak tahribatı önler. Kompozit malzemelerde yükü taşıyan takviye elemanlarının fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için matris elemanının mekanik özellikleri büyük önem taşır. Takviye elemanı, üretim esnasında matris elemanının tane büyüklüğünü kontrol eder ve iletilen yükleri paylaşarak karşı koyar. Matris elemanı ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevi yapan ara yüzey bağı ise, genellikle kırılma özelliği göstermesine rağmen oluşan herhangi bir kuvveti çözülmeye ve kırılmaya uğramadan takviye elemanına iletir. Ara yüzey bağı malzemenin elastikiyet modülünü

etkileyen en önemli bölgedir. Kompozit malzemenin dayanıklılığı ara yüzey bağının istenilen şekilde olmasıyla doğrudan ilişkidir [37, 38, 39, 40].

5.1. Kompozitlerin Sınıflandırılması

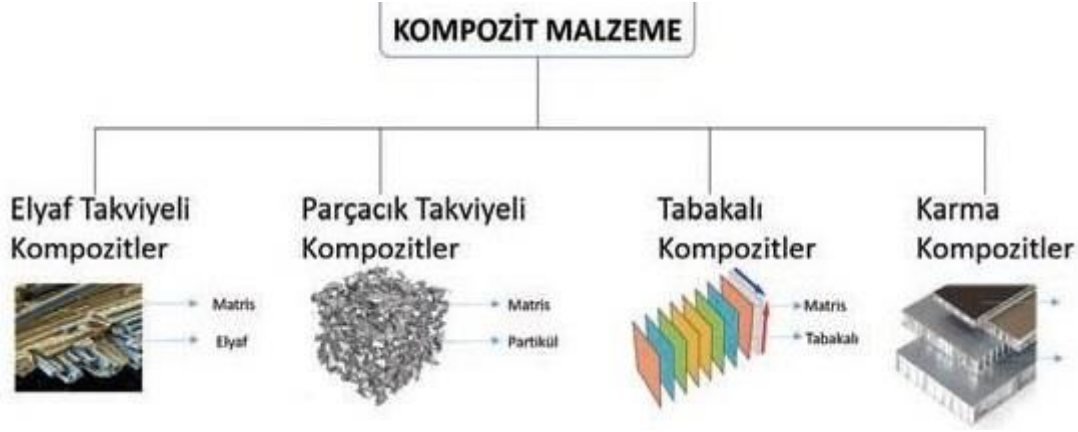
Yapılarında çeşitli malzeme bulunduran kompozit malzemeler, değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Bunlar arasında en yaygın olarak kullan sınıflandırma şekli, matris elemanına göre ve takviye elemanına göre yapılan sınıflandırmadır.

Matris elemanına göre kompozit malzemeler;

- Metal matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Polimer matrisli kompozitler
 - Termoset matrisli kompozitler
 - Termoplastik matrisli kompozitler şeklinde sınıflandırılır.

Takviye elemanına göre kompozit malzemeler;

- Elyaf takviyeli kompozitler
- Parçacık takviyeli kompozitler
- Tabakalı kompozitler
- Karma kompozitler şeklinde sınıflandırılırlar, bu kompozitlerin şematik gösterimi Şekil 5.1.' de verilmiştir.



Şekil 5.1. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması [40]

5.2. Polimer Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri

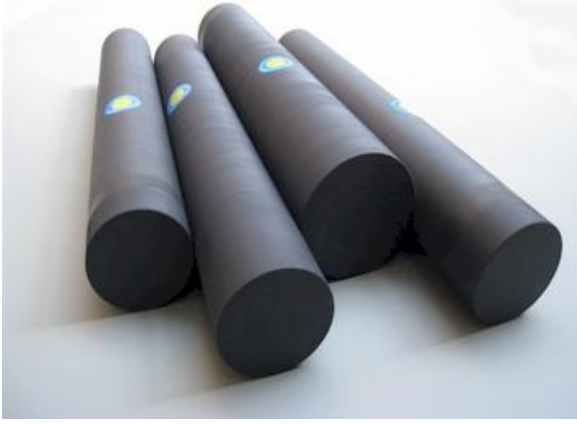
Kompozit malzeme üretimi için birçok yöntem vardır. Polimer matrisli kompozit malzeme üretiminde kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır,

- El Yatırma Tekniği
- Püskürtme Tekniği
- Tabakalı Birleştirme (Torba Kalıplama) Tekniği
- Elyaf Sarma Tekniği
- Basma Transfer Kalıplama Tekniği
- Pultrüzyon Tekniği
- Enjeksiyon Tekniği
- Santrifüj (Savurma) Yöntemi
- Basınçlı Kalıplama Teknikleri
- Döküm Yöntemi

Döküm yöntemiyle polimer matrisli kompozit üretim yöntemi diğer yöntemlere göre nispeten ucuz bir yöntemdir, fakat parçacık takviyelerin matris yapı içerisinde homojen olarak dağıtılması bu yöntemde yaşanan temel zorluktur.

5.3. Grafit Katkılı Döküm Polyamid Kompozitleri

Döküm polyamidler mekanik özellikleri, elektriksel özellikleri, kimyasal özellikleri bakımından genel olarak yeterli özelliklere sahip olsalar da bazen kullanım alanlarına göre bu özelliklerin daha da iyileştirilmesi gerekmektedir bu özellikleri iyileştirmek amacıyla döküm polyamidlere özel katkı maddeleri ilave edilerek istenilen özellikleri iyileştirilir. Döküm polyamidlere ilave edilebilen katkı maddelerinden bazıları cam, grafit, karbon, kalsiyum karbonat ve silikatlardır. Resim 5.1.'de grafit katkılı döküm polyamide bir örnek verilmiştir [5] [32] [16] [41] [42] [43].



Resim 5.1. Grafit katkılı döküm polyamid [44]

Daha önce yapılan çalışmalarda grafit katkısının en büyük etkisinin elektriksel özellikler ve tribolojik özellikler (sürtünme, aşınma ve yağlama) üzerine olduğu gözlemlenmiştir. Grafit katkısı elektrik iletkenliğini ve tribolojik özellikleri iyileştirmiştir. Mekanik özelliklerinde ise düşüşe neden olmuştur [5,15,16,25,32,43,45].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Malzeme

Kompozit matrisinin üretilmesinde monomer olarak özellikleri Çizelge 5.1’de verilen Brüeggemann Chemical-AP-NYLON® kaprolaktam, aktivatör olarak BRUGGOLEN® C20P sodyum tuzu, katalizör olarak BRUGGOLEN® C10 izosiyanatı kullanıldı.

Kompozit takviye elemanı olarak Skaland marka özellikleri Çizelge 5.1’de verilen grafit kullanıldı. Grafit üretimde kullanılmadan önce 24 saat 110 °C’de etüvde kurutuldu ve çalışmalar boyunca cam desikatörde saklandı.

Çizelge 6.1. Kaprolaktam, aktivatör, katalizör ve grafitin özellikleri

Monomer: AP-NYLON® Kaprolaktam			
Kristalleşme noktası 69 °C		Su içeriği %0,01	
Katalizör: BRUGGOLEN® C10			
Görünüm Renksiz, açık sarı	Kompozisyon % 17-19 Sodyumkaprolaktam	Erime derecesi Yaklaşık 68 °C	Yoğunluk 450-550 g/l
Aktivatör: BRUGGOLEN® C20			
Görünüm Renksiz, kristal toz	Kompozisyon bloke izosiyanat	Erime derecesi > 60 °C	Yoğunluk Yaklaşık 800 g/l
Takviye elemanı: Grafit			
Karbon oranı > % 99	Tanecik çapı < 20 µm		Spesifik yüzey alanı 10m²/g

6.2. Pilot Ölçekli Reaktörde Grafit Katkılı Döküm Polyamid Kompozitlerinin Üretilmesi

Deney numunelerinin üretilmesi için Resim 6.1’ de verilen pilot ölçekli reaktör ve Resim 6.2’de verilen kalıp sistemi kullanıldı. Reaktör ve kalıp sistemi Aksa Run Flat Şirketinin Sincan Sanayi Sitesi’nde bulunan işyerinde tasarlandı ve imal edildi.



Resim 6.1. Pilot ölçekli döküm polyamid üretim reaktörü



Resim 6.2. Döküm polyamid üretiminde kullanılan kalıp sistemi

Reaktör ve kalıp sisteminin detayları;

- Tanklar ve diğer elemanlar 45x45 sigma profil kasa üzerine monte edildi,
- Tanklar 304 kalite paslanmaz çelik malzemeden imal edildi,
- Tankların ısıtılması için çember rezistans kullanıldı,
- Tankların mekanik karıştırıcı mikserlerinde karışım hızının sürekli aynı kalması için 220 V, 0,25 kW gücünde elektrik motorundan 1/42 redüktörler kullanıldı,
- Tankların üzerinde azot girişi için delikler açılıp azot gazı bir hortum yardımıyla tanklara bağlandı,
- Tankların altına malzeme boşaltmak amacıyla pnömatik valfler yerleştirildi,
- Hammaddeyi tanklardan alıp kalıba dökmek için dişli pompalar kullanıldı,
- Tankların altındaki pnömatik valflerin ucuna tanktan kalıba döküm sırasında hammaddenin sıcaklığını sabit tutmak amacıyla ısıtmalı hortumlar bağlandı,
- Isıtmalı hortumlar bir karıştırma kafası yardımıyla statik miksere bağlandı,
- Statik mikser direkt kalıp sistemine bağlandı,
- Kalıp 304 kalite paslanmaz çelik malzemeden üretildi,
- Kalıbın açılıp kapanması için hidrolik pres kullanıldı,
- Tüm sistemin kontrolü için (tankların sıcaklıkları, kalıp sıcaklığı, mekanik karıştırıcı mikser hızları, kazanlarda bulunan hammadde miktarları) PLC ünitesi kuruldu.

Endüstrideki üretim koşullarına bağlı olarak üretilen döküm polyamid kompozitlerinin üretim aşamaları şu şekildedir;

- Grafit 24 saat boyunca 110 °C etüvde kurutuldu, cam desikatöre alındı,
- Aktivatör, katalizör ve grafit eklendikten sonra iki tanktaki hammadde miktarı kütleli olarak aynı olacak şekilde belirlenen miktardaki kaprolaktam tartılarak tanklara boşaltıldı. Hammaddelerin nemlenmesini önlemek için tartımlar olabildiğince hızlı yapıldı,
- Tanklara gelen azot gazı açıldı, mekanik karıştırıcılar çalıştırıldı,
- Tank sıcaklıkları 69 °C'a ayarlandı ve kaprolaktamın tamamının erimesi beklendi,
- Kaprolaktamın tamamen eriyip erimeği tankların üzerindeki kapaklar yardımıyla kontrol edildi, kaprolaktam tamamen eridikten sonra iki tanktaki hammadde miktarı kütleli olarak eşit olacak şekilde belirlenen miktarlarda aktivatör, katalizör ve grafit

tanklara eklendi. Grafit daha önce yapılan çalışmalardan edinilen bilgiler ışında sadece aktivatör tankına eklendi,

- Sıcaklıklar serbest olarak 135 °C'a çıkarıldı ve bu sıcaklıkta 15 dakika beklendi,
- Bu sırada kalıp sıcaklığı da 160 °C'a çıkarıldı,
- Tankların altındaki boşaltma vanalarına bağlı olan hortumlar karıştırma kafasıyla statik mikserle bağlandı,
- 135 °C'daki hammadde tanklarının pnömatik valfleri PLC operatör panelinden açıldı. İki tanktan eşit miktarda hammadde ısıtmalı hortumlarla karışma kafası, ardından statik mikserden geçerek 165 °C'daki kalıba döküm yapıldı. Kalıba dolan hammadde miktarı kalıp üzerindeki delikten gözle kontrol edilerek maksimum seviyede pnömatik valfler kapatıldı,
- Her bir döküm için jelleşme ve katılaşma süreleri belirlendi,
- Döküm yapıldıktan sonra yaklaşık 10 dakika beklendi ve hidrolik prese bağlı kalıp açıldı
- Numune oda sıcaklığında 24 saat bekletildi,
- Üniversal torna tezgahında testler için gerekli numuneler ilgili standartlara göre hazırlandı,

Bu çalışmada toplamda 6 farklı numune üretildi, Resim 6.3'te üretilen grafit katkısız döküm polyamid numunesi, Resim 6.4'te kalıptan çıkartılmaya hazır grafit katkılı döküm polyamid kompoziti verilmiştir. Her bir numune toplamda kazanlara 7000 gr hammadde konularak üretildi. Üretilen numunelerin hammadde oranları (%) Çizelge 6.2'de 1 numaralı ve 2 numaralı tanklara konulan hammadde miktarları(gr) Çizelge 6.3' te verilmiştir.



Resim 6.3. Üretilen döküm polyamid numunesi



Resim 6.4. Kalıptan çıkartılmaya hazır grafit katkılı kompozit numunesi

Çizelge 6.2. Grafit katkılı döküm polyamid kompozitlerinin hammadde oranları (%)

Numune No	% CLM	% C10	% C20	% Grafit
0	97,5	1,5	1,0	0
1	96,5	1,5	1,0	1
2	95,5	1,5	1,0	2
3	94,5	1,5	1,0	3
4	93,5	1,5	1,0	4
5	92,5	1,5	1,0	5

Çizelge 6.3. 1 numaralı ve 2 numaralı tanklara konulan hammadde miktarları (gr)

Numune No	1 numaralı tank	2 numaralı tank
0	C10 : 105 gr CLM : 3395 gr	C20 : 70 gr Grafit : - CLM : 3430 gr
1	C10 : 105 gr CLM : 3395 gr	C20 : 70 gr Grafit : 70 CLM : 3360 gr
2	C10 : 105 gr CLM : 3395 gr	C20 : 70 gr Grafit : 140 gr CLM : 3290 gr
3	C10 : 105 gr CLM : 3395 gr	C20 : 70 gr Grafit : 210 gr CLM : 3220 gr
4	C10 : 105 gr CLM : 3395 gr	C20 : 70 gr Grafit : 280 gr CLM : 3150 gr
5	C10 : 105 gr CLM : 3395 gr	C20 : 70 gr Grafit : 350 gr CLM : 3080 gr

6.3. Üretilen Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Kullanılan Cihazlar

6.3.1. Hassas terazi

Kern marka PFB 3000-2 model, tartım kapasitesi 3000 g /tartım hassasiyeti 0,01 g olan, hassas terazi döküm polyamid üretiminde kullanılacak kaprolaktam, aktivatör, katalizör ve grafitin tartılması için kullanıldı.

6.3.2. Etüv

Elektromag marka M420 P model, 50 °C – 250 °C sıcaklık aralığında 1°C hassasiyetle çalışabilen, etüv döküm polyamid üretimde katkı olarak kullanılacak grafitin üretimden önce kurutulmasında kullanıldı.

6.3.3. Desikatör

Döküm polyamid üretiminde kullanılacak kaprolaktam, aktivatör, katalizör ve grafit nemlenmelerini önlemek için cam desikatörde muhafaza edildi.

6.3.4. Jelleşme zamanının belirlenmesi

Döküm polyamidlerin üretimi sırasında kaprolaktam, aktivatör ve katalizör statik mikserde karıştıktan sonra, karışımın viskozitesi 100.000 cP ulaşmaya kadar jelleşme reaksiyonu devam eder [12]. Jelleşme zamanı (t_1) gözlemleyerek belirlendi.

6.3.5. Katılaşma zamanının belirlenmesi

Karışımın tamamen katılaşp katılaşmadığının tespiti için çelik spatulayla dokunarak sertliğine bakılır. a ve b kazanındaki hammaddeler ilk karıştığı andan tamamının katılaştığı ana kadar geçen süre katılaşma zamanı olarak tanımlanır [12]. Tüm örnekler için katılaşma zamanı(t_2) belirlendi.

6.3.6. Sertliğin belirlenmesi

24 saat bekletildikten sonra Üretilen döküm polyamid parçalardan, ISO 868 standartlarına uygun olarak 25 mm x 150 mm x 5 mm ölçülerinde numuneler hazırlandı. Oda sıcaklığında düz bir zemin üzerine sabitlenen numune üzerinde Resim 6.5'te verilen Shore D aleti ile sertlik ölçümleri yapıldı. Ölçüm ucu darbesiz olarak batırılıp 3 saniye bekletildi ve değerler okundu, her örnek için üç farklı ölçüm yapıldı.



Resim 6.5. Shore D

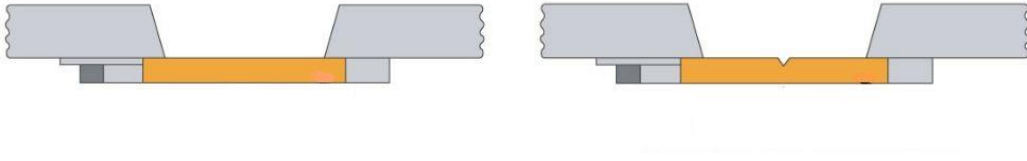
6.3.7. Darbe özelliklerinin belirlenmesi

Üretilen döküm polyamid örneklerinin darbe direncini belirlenmesi için Resim 6.6’da gösterilen MTS marka E 21 model 25 Joule kapasiteli darbe cihazı kullanıldı, Charpy darbe mukavemetleri belirlendi.



Resim 6.6. Darbe Cihazı

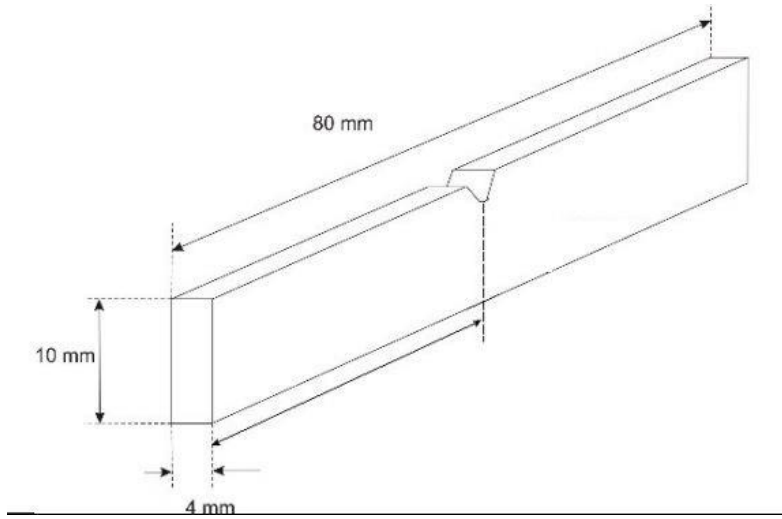
Cihaza yatay olarak sabitlenmiş deney numunesine (çentikli ise çentiğin aksi yönünden), numunenin orta noktasından sarkaç serbest bırakılarak numuneye çarptırıldı ve absorbe ettiği enerji cihazdan okundu. Testler oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Numune ölçüleri deneye başlamadan cihaza tanıtıldı, böylelikle sonuçlar hem J hem de kJ/m^2 olarak cihazdan okundu. Testler için ISO 179 standartlarına göre iki farklı deney numunesi hazırlandı; Şekil 6.1’de çentiksiz ISO 179 / 1eU, çentikli ISO 179 / 1eA. deney numunelerinin şekilleri, Şekil 6.2’de ISO 179 / 1eA deney numunesi ölçüleri, Resim 6.7’ de deney numunelerinin resimleri verilmiştir.



Şekil 6.1. Charpy deney numuneleri [46]



Resim 6.7. Charpy çentikli deney numunesi resimleri



Şekil 6.2. Charpy deney numunesi ölçüleri [47]

6.3.8. Çekme özelliklerinin belirlenmesi

Üretilen döküm polyamid örneklerinin çekme özelliklerinin, statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarının belirlenmesi için, Resim 6.8’ de verilen MTS marka Exceed E40 serisi tam otomatik çekme cihazında ISO 527 standartlarına göre 10 mm/min çekme hızında gerçekleştirildi. Standart çekme numunelerinin mukavemet değerleri ölçüldü. Şekil 6.3’ te

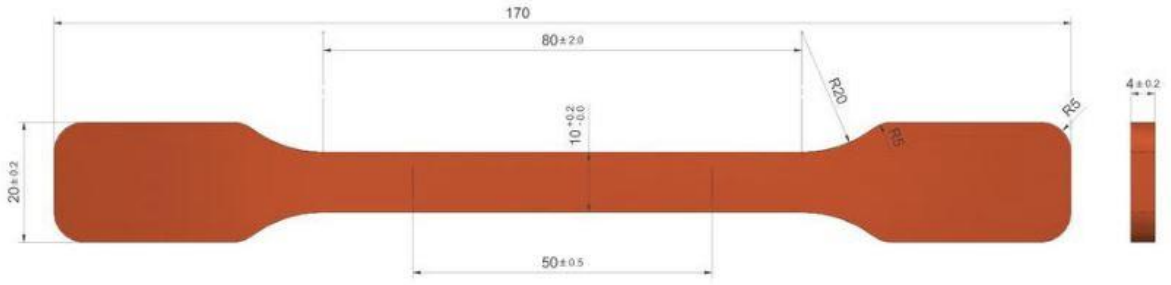
ISO 527 standartlarına uygun çekme deney numunesi ölçüleri, Resim 6.9’ da çekme deney numuneleri resmi verilmiştir.



Resim 6.8. Çekme Cihazı



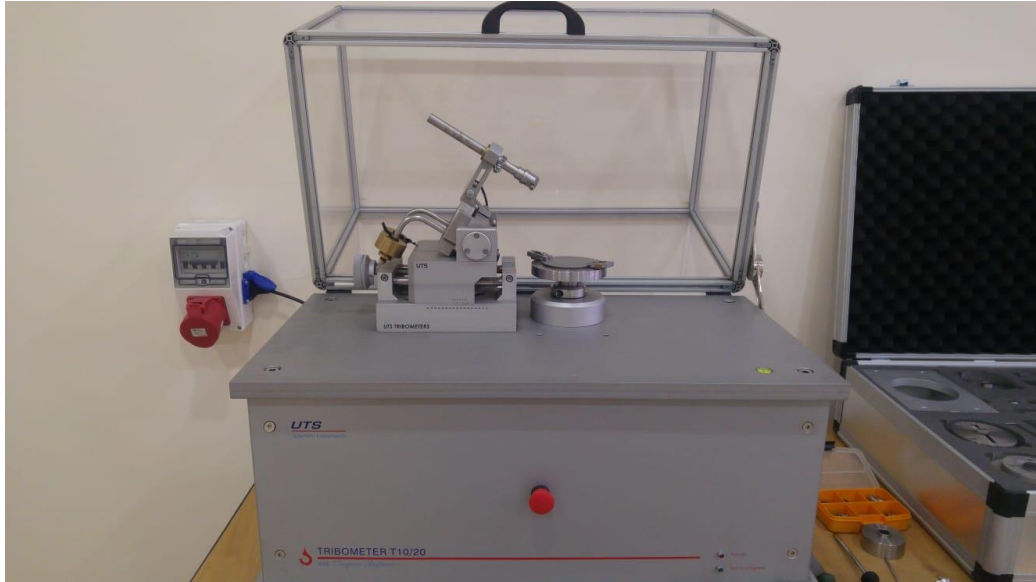
Resim 6.9. Çekme deney numuneleri



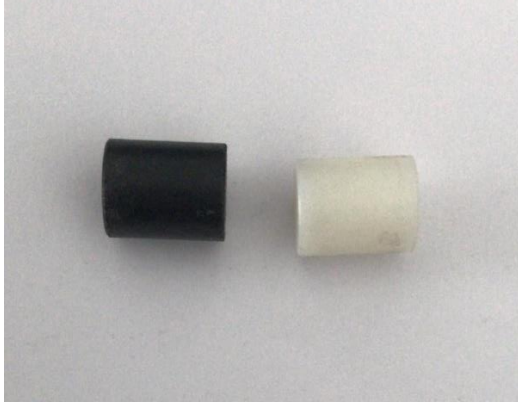
Şekil 6.3. Çekme deney numunesi ölçüleri [48]

6.3.9. Tribolojik özelliklerinin belirlenmesi

Üretilen döküm polyamid örneklerinin sürtünme ve aşınma deneyleri pin-on-disk tipi bir Universal sürtünme aşınma test sistemi olan UTS marka Tribometer T10/20 ile yapılmıştır, sistemin resmi Resim 6.10’ da gösterilmiştir. Grafitin aşınma özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla aşınma testleri için 10 mm çapında 14 mm boyunda Resim 6.11’de gösterilen numuneler kullanılmıştır. Numuneler; 5N nominal yük altında ve 0,85 m/s kayma hızında test edilmiştir. Her bir şarttaki test süresi 500 m’ye karşılık gelecek şekilde 9,8 dakika olarak belirlenmiştir. Aşınma miktarları kütle kaybı olarak hesaplanmıştır.



Resim 6.10. UTS Tribometer T10/20



Resim 6.11. Aşınma deney numuneleri

6.3.10. SEM-EDS analizi

Malzemelerin mikro-yapı analizleri G.Ü. Teknoloji Fak. Metalurji Malzeme Mühendisliği SEM Laboratuvarındaki EDS üniteli Jeol 6060 LV Taramalı Elektron Mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir, sistemin Resmi 6.12’de verilmiştir



Resim 6.12. Jeol 6060 LV taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS ünitesi

7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Jelleşme ve Katılaşma Süresi

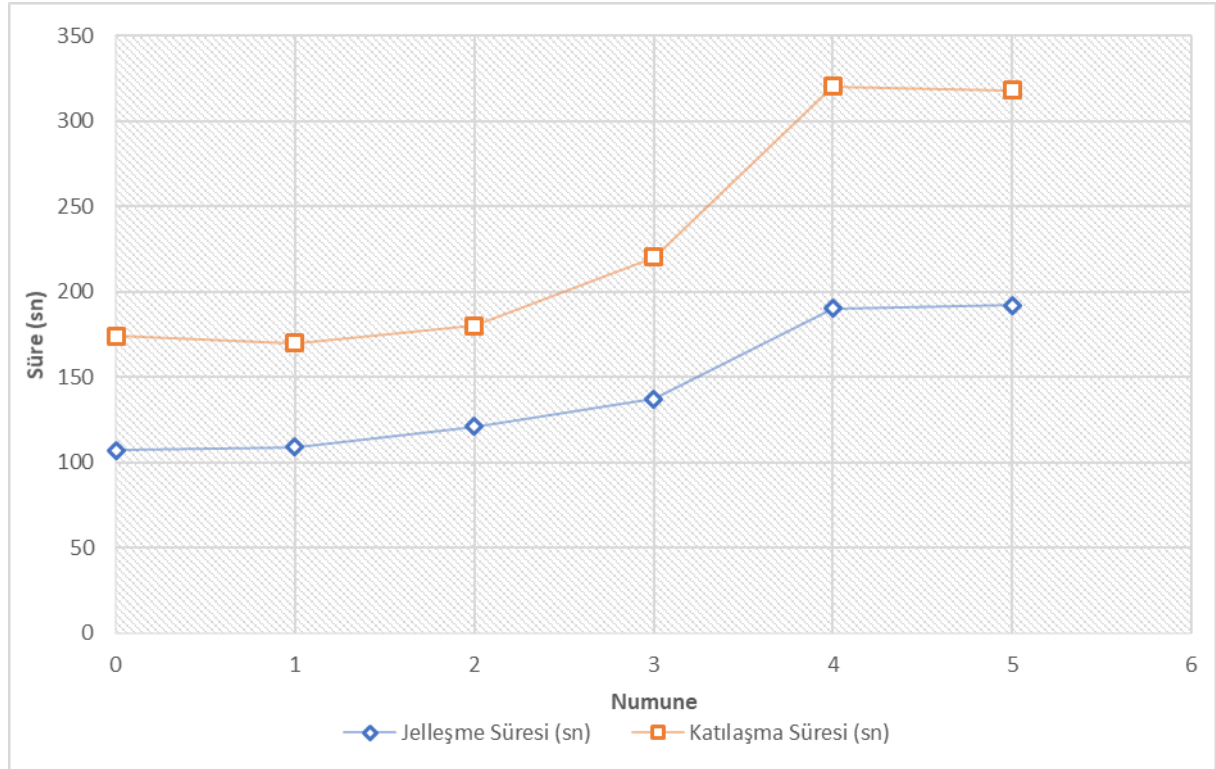
Üretilen tüm döküm polyamid kompozitlerinin jelleşme ve katılaşma süreleri Çizelge 7.1’ de verilmiştir. Grafit katkısı arttıkça jelleşme ve katılaşma sürelerinde artış görülmektedir. Grafit katkısız 0 numaralı numune 107 saniyede jelleşip, 174 saniyede katılaşırken % 3 grafit katkılı kompozit 137 saniyede jelleşip 220 saniyede katılaştı, % 5 grafit katkılı 5 numaralı kompozit ise 192 saniyede jelleşip, 318 saniyede katılaştı.

Çizelge 7.1. Döküm polyamid kompozitlerinin jelleşme ve katılaşma süreleri (sn)

Numune No	Jelleşme Süresi (sn)	Katılaşma Süresi (sn)
0	107	174
1	109	170
2	121	180
3	137	220
4	190	320
5	192	318

% 4 ve % 5 Grafit katkılı kompozitlerin jelleşme ve katılaşma süresinde daha düşük grafit katkılı kompozitlere göre daha belirgin bir artış olmuştur. Kalıptan çıkartılan parçalarda grafitin parçanın alt kısmına bir miktar çökme yaptığı, dağılımın homojen olmadığı gözlemlenmiştir.

Döküm polyamid kompozitlerinin jelleşme ve katılaşma süreleri arasındaki ilişkiler Şekil 7.1’de grafik olarak verilmiştir. Jelleşme ve katılaşma sürelerindeki bu artış reaksiyon toplam süresinin arttığını göstermektedir. Polimerizasyon ekzotermiktir, kalıpta grafit partiküllerinden kaynaklı istenmeyen ısı aktarım sorunu veya grafit partiküllerinin yüksek viskoziteye neden olması toplam reaksiyon süresini attırdığı düşünülmektedir. Yapılan literatür taramasında polimerizasyon sırasında eklenen katkıların, özellikle grafitin bu gibi sonuçlar verdiği görülmüştür [3].



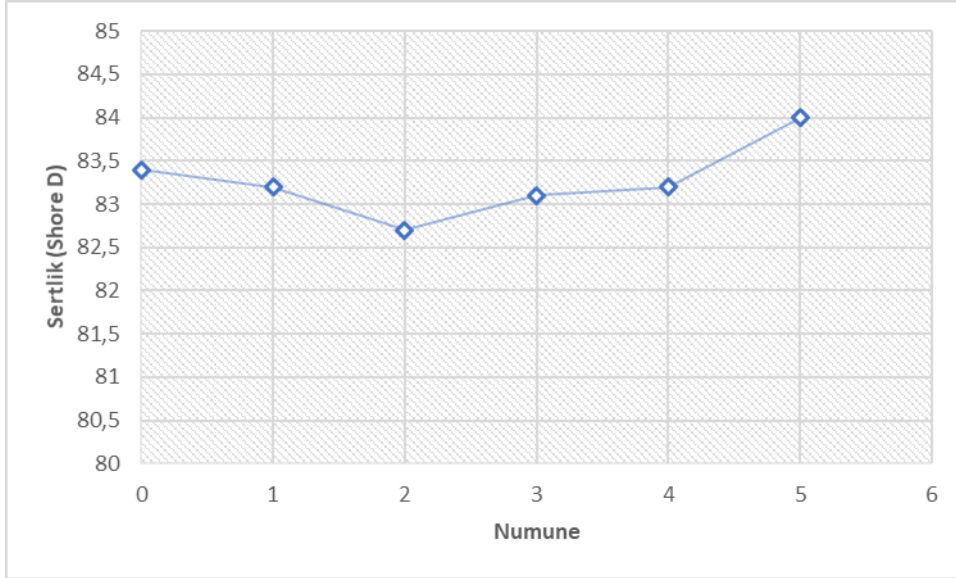
Şekil 7.1. Döküm polyamid kompozitlerinin jelleşme ve katılaşma süreleri

7.2. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Sertlikleri

Üretilen tüm döküm polyamid kompozitlerinin Shore D sertlikleri Çizelge 7.2.’de verilmiştir. .%2 grafit katkısına kadar bir miktar azalan sertlik % 3 grafit katkısıyla tekrar yükselmeye başlamıştır, % 5 grafit katkılı kompozitin sertliği katkısız döküm polyamidin sertliğini geçmiştir. Sertlikteki değişimler Şekil 7.2’de grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 7.2. Döküm polyamid kompozitlerinin Shore D sertlikleri

Numune No	Sertlik (Shore D)
0	83,4
1	83,2
2	82,7
3	83,1
4	83,2
5	84,0



Şekil 7.2. Döküm polyamid kompozitlerinin sertlikleri (Shore D)

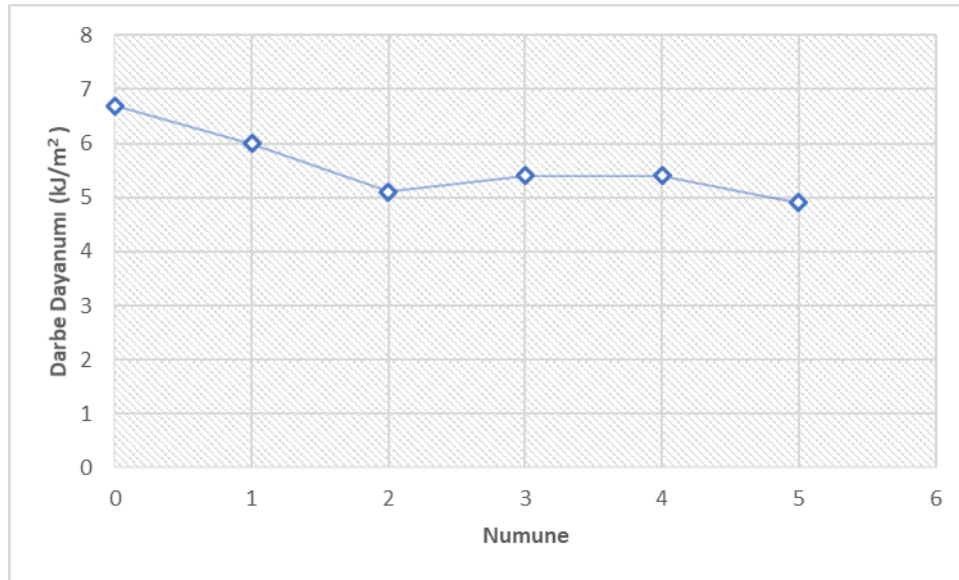
Yapılan bir çalışmada döküm polyamide grafit eklendiğinde sertliği arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada grafit parçacıkların matris yapı içerisinde gerilimler oluşturmaları ve kompozitin sertliğinin artmasına önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır [43]. % 5 grafit katkılı kompozitin sertliğinin katkısız döküm polyamide göre yüksek olması bu çalışmanın sonuçlarıyla uyumludur. % 1 ve % 2 grafit katkılı kompozitlerin sertliğindeki düşüşün nedeninin bu kompozitlerin bünyesindeki bağıl nem miktarının katkısız döküm polyamiden düşük olması olarak düşünülmektedir. Döküm polyamidlerin bağıl nem miktarlarının artmasıyla sertliklerinde düşüş meydana geldiği daha önce yapılan çalışmalardan bilinmektedir [19].

7.3. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Darbe Dayanımları

Üretilen tüm döküm polyamid kompozitlerinin darbe dayanımları çentikli ve çentiksiz numuneler için enerji (J) ve kuvvet (kJ/m^2) olarak Çizelge 7.3.'te verilmiştir. Çentiksiz numunelerin hiç biri kırılmadı. Çentikli numunelerde ise grafit katkısıyla darbe mukavemeti azaldı % 5 'lik grafik katkısı yaklaşık % 27 oranında darbe dayanımında düşüşe neden oldu. Grafik katkısız döküm polyamid numunesinin darbe dayanımı $6,7 \text{ kJ/m}^2$ iken % 5 grafit katkılı kompozitin darbe dayanımı $4,9 \text{ kJ/m}^2$ 'ye gerilemiştir. Darbe dayanımındaki değişimler grafik olarak Şekil 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3. Döküm polyamid kompozitlerinin darbe dayanımları

Numune No	Çentiksiz		Çentikli	
	Enerji (J)	Kuvvet (kJ/m ²)	Enerji (J)	Kuvvet (kJ/m ²)
0	Kırılmadı	Kırılmadı	0,2144	6,7
1	Kırılmadı	Kırılmadı	0,1920	6,0
2	Kırılmadı	Kırılmadı	0,1632	5,1
3	Kırılmadı	Kırılmadı	0,1728	5,4
4	Kırılmadı	Kırılmadı	0,1728	5,4
5	Kırılmadı	Kırılmadı	0,1568	4,9

Şekil 7.3. Döküm polyamid kompozitlerinin darbe dayanımları (kJ/m²)

Polimer kompozitlerde termoplastik matrise rijit katkıları eklendiği zaman bu rijit katkıların boyutsal kararlılığı artırırken, darbe dayanımı ve tokluğu düşürdüğü daha önce yapılan çalışmalardan bilinmektedir [49]. Grafit katkı içeriği arttıkça darbe mukavemetinde azalma beklenir, çünkü grafit partikülleri rijittir, kompozite yapılan dış basma ile deformasyon zorlaşır veya gözlenmez, ancak matriste çatlağa neden olurlar ve stresi yoğunlaştırırlar. Aynı zamanda, grafit oranı arttıkça, yıgılma eğilimi de artar ve ara yüzey bağları zayıflar. Yani, polimer matris ve dolgu maddesi grafit arasında ara yüzey bağlantısının zayıflamasına, bu da grafit ve polimer matris arasında mikro boşlukların uyarılmasına neden olur. Grafit partikülleri kompozitte darbe meydana geldiğinde çok sayıda mikro çatlaklara neden olur ve

malzeme içerisinde hızlı çatlak ilerlemesine neden olurlar. [43, 45, 50]. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumludur.

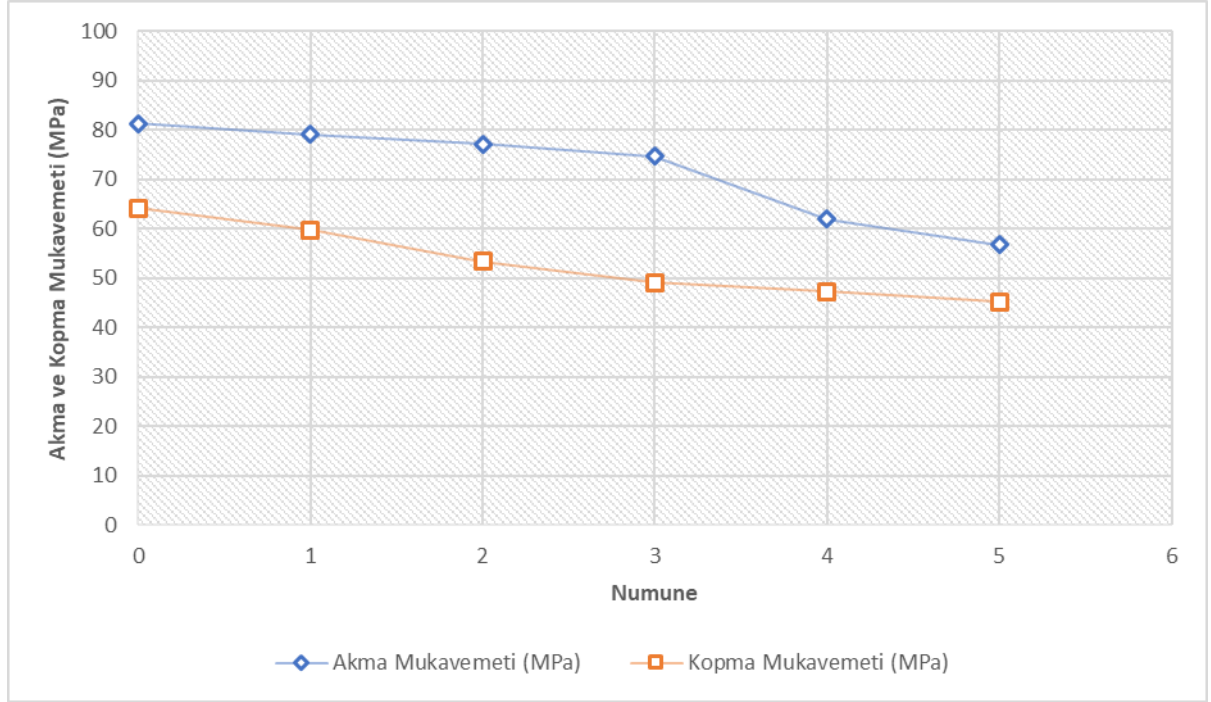
7.4. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Çekme Dayanımları

Üretiten döküm polyamid kompozitlerinin akma ve kopma mukavemetleri (MPa), akma ve kopma noktasındaki % uzama miktarları ve elastisite modülleri (MPa) Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4. Döküm polyamid kompozitlerinin çekme dayanımları

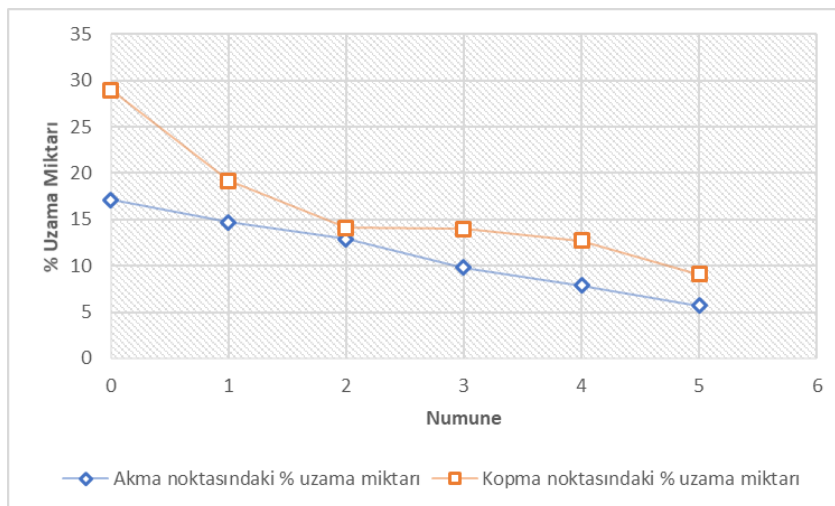
Numune No	Akma Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Noktasındaki % Uzama	Kopma Noktasındaki % Uzama	Elastisite Modülü (MPa)
0	81,3	64,1	17,1	29,0	3240
1	79,1	59,7	14,7	19,2	3107
2	77,2	53,4	12,9	14,1	2881
3	74,7	49,1	9,8	14,0	2888
4	61,9	47,3	7,9	12,7	2590
5	56,8	45,2	5,7	9,1	2263

Üretilen döküm polyamid kompozitlerin akma ve kopma mukavemetleri grafit katkısıyla Şekil 7.4' te görüldüğü gibi azalmıştır. Grafit katkısız döküm polyamidin akma mukavemeti 81,3 MPa, kopma mukavemeti 64,1 MPa iken % 5 grafit katkılı kompozitlerin akma mukavemeti 56,8 MPa, kopma mukavemeti 45,3 MPa'a gerilemiştir. Akma mukavemeti yaklaşık % 27 gerilerken, kopma mukavemeti yaklaşık % 20 gerilemiştir.



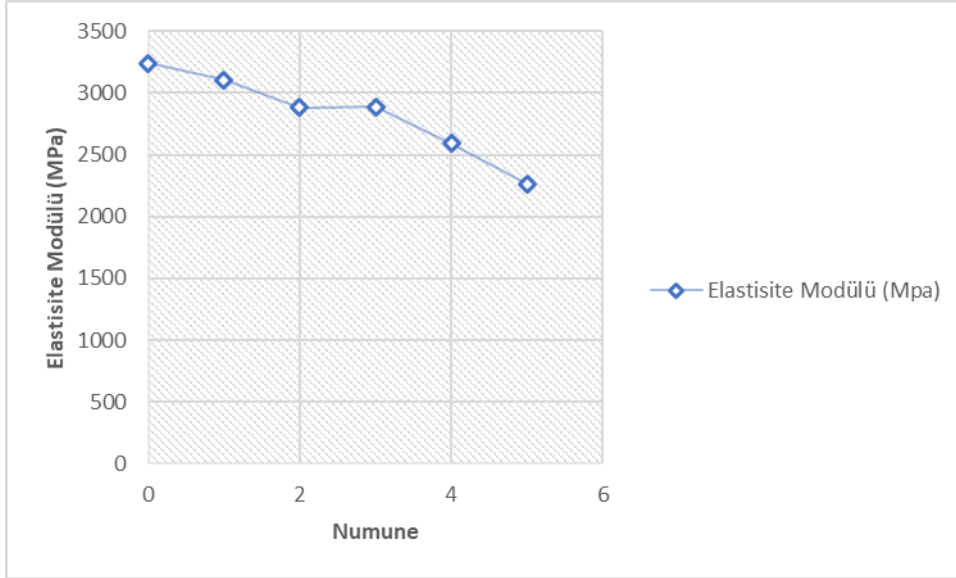
Şekil 7.4. Üretilen döküm polyamid kompozitlerin akma ve kopma mukavemetlerindeki değişim (MPa)

Üretilen döküm polyamid kompozitlerin akma ve kopma noktalarındaki % uzama miktarları grafit katkısıyla azalmıştır. Akma noktasındaki % uzama miktarı 17,1'den 5,7'ye, kopma noktasındaki % uzama miktarı da 29,0'dan 9,1'e geriledi. Değişimler grafiksel olarak Şekil 7.5'te verilmiştir.



Şekil 7.5. Üretilen döküm polyamid kompozitlerin akma ve kopma noktalarındaki % uzama miktarları

Üretilen döküm polyamid kompozitlerin elastisite modülü de %1 ve 2 grafit katkısıyla azalmıştır, %3 grafit katkısıyla çok az bir artış gösterdi % 4 ve 5 grafit katkısıyla tekrar azalmaya devam etti. % 5 lik grafit katkısı elastisite modülünde toplamda yaklaşık % 30 luk bir azalmaya neden ol Bu değişimler Şekil 7.6’ da verilmiştir.



Şekil 7.6. Üretilen döküm polyamid kompozitlerin elastisite modülleri (MPa)

Polimer kompozitlerin özelliklerinin ayrı ayrı bileşenlerinin özellikleriyle ilişkili olduğu bilinir [1]. Grafit döküm polyamidle reaksiyona girmez ve genelde homojen olmayan bir şekilde dağılır. Döküm polyamid ve grafit reaksiyona girmediği için grafit dış kuvvetlere karşı herhangi bir direnç oluşturmaz. Döküm polyamid yapıları arası bağ kuvveti de grafitten dolayı azalır, çekme özelliklerinde kaydedilen düşüşler bu şekilde açıklanabilir [5]. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar önceki çalışmalarla uyumludur.

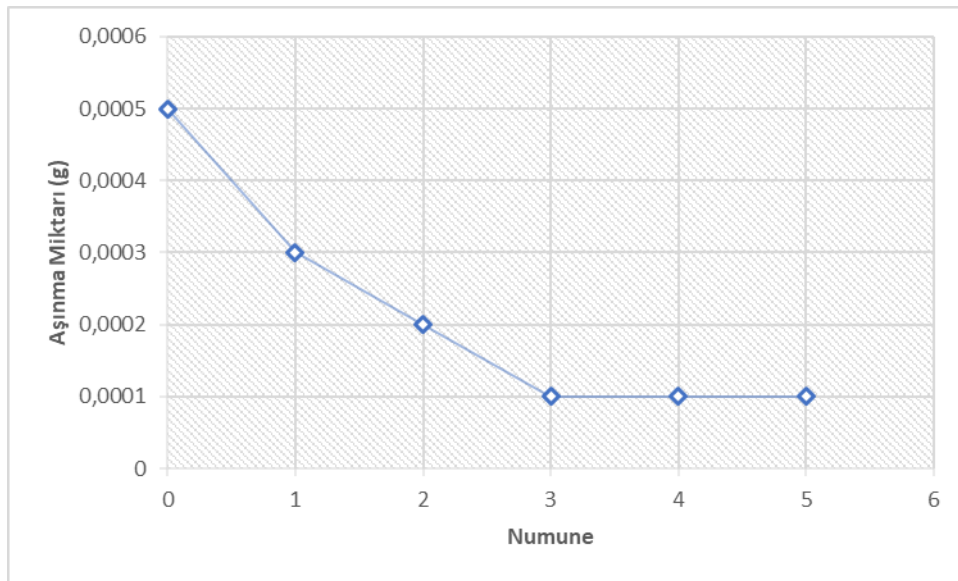
7.5. Döküm Polyamid Kompozitlerinin Aşınma Özellikleri

Malzemelerin aşınma davranışları kütle ve hacim kayıpları üzerinden incelenmiştir. Üretilen tüm döküm polyamid kompozitlerinin aşınma davranışları 5 N yük, 0,85 m/s kayma hızı, 500 m kayma mesafesi koşullarında kütle kayıpları üzerinden incelenmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda kütlelerde meydana gelen kayıplar gram olarak Çizelge 6.5.’te verilmiştir. Katkısız döküm polyamidde 0,0005 gram ağırlık kaybı olmuş % 5 grafit katkılı döküm polyamid de ise 0,0001 gram ağırlık kaybı olmuştur. Grafit katkısının artmasıyla

aşınma miktarında azalma gözlemlenmiştir. Grafit katkısının aşınma miktarı üzerine etkisini gösteren grafik şekil 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 7.5. Döküm polyamid kompozitlerinin aşınma miktarları

Numune No	Ağırlık Kaybı (g)
0	0,0005
1	0,0003
2	0,0002
3	0,0001
4	0,0001
5	0,0001



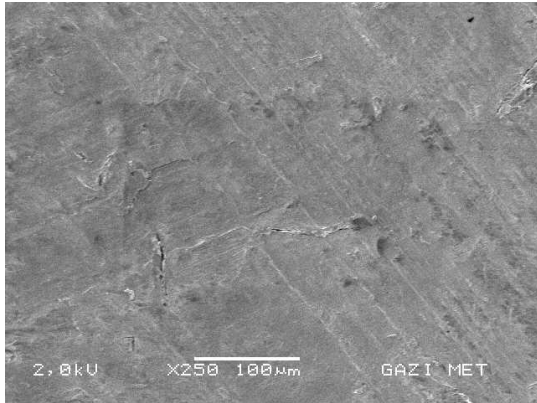
Şekil 7.7. Üretilen döküm polyamid kompozitlerin aşınma miktarları değişimi

Kütlesel aşınma, oranı grafit katkısıyla bir miktar azalmış % 3'lük grafit katkısından sonra sabit kalmıştır. Katkısız döküm polyamidle, % 3 grafit katkılı döküm polyamid kompoziti kıyaslandığında % 3 grafit katkılı döküm polyamid kompozitinde aşınma direncinin 5 kat attığı tespit edilmiştir. Daha önce yapılan bir çalışmada % 5'lik grafit katkısından sonra % 6 ve % 8 grafit katkılı kompozitler üretilmiş ve aşınma özelliklerinin ciddi şekilde gerilediği tespit edilmiştir [25]. Aşınma özelliklerindeki iyileşmenin % 3 grafit katkısıyla sabit kalması, grafit katkısıyla kompozitin ortalama molekül ağırlığında azalma olması dolayısıyla

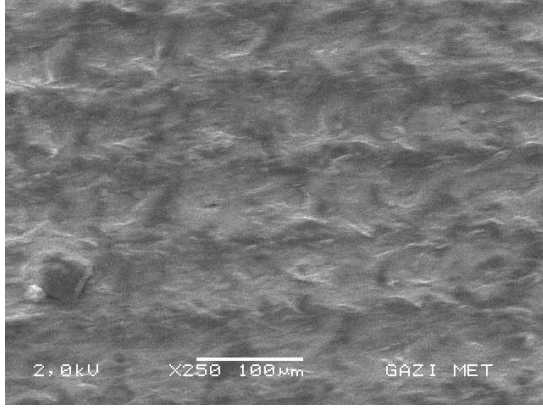
mekanik özelliklerde gerileme meydana gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kompozitte yüksek grafit konsantrasyonun dispersiyonu azaltmasının da aşınma özelliklerinin sabit kalmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlardan uygun miktarda grafit katkısı ile aşınma özelliklerinin daha iyi hale getirilebileceği sonucuna varılmıştır.

7.6. SEM-EDS Analizi

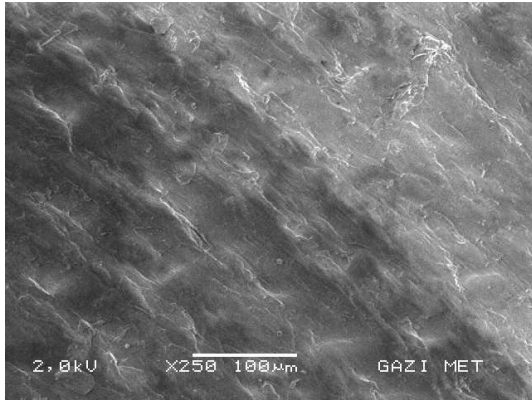
Üretilen kompozitlerin SEM görüntüleri Resim 7.8-7.13'te ve EDS Şekil 7.8 ve 7.9'da verilmiştir. SEM görüntülerinden büyük bir ayrım gözükmemekle birlikte bazı bölgelerde mikroçatlak olduğu düşünülen farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu durum çekme dayanımını düşmesi ile uyumluluk göstermektedir. Ayrıca literatürde benzer yorumlar yapılmıştır. EDS analizleri takviyesiz ve % 5 grafit katkılı kompozite uygulanmıştır. Takviyesizde karbon oranı ağırlıkça yaklaşık % 59 çıkarken % 5 grafit katkılıda yaklaşık % 61 olarak tespit edilmiştir. Grafit de karbon olduğu için karbon artış oranı mantıklı gözükmemektedir.



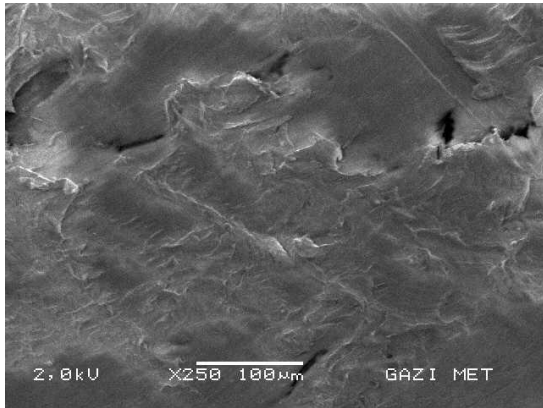
Şekil 7.8. Katkısız döküm polyamid örneğinin SEM fotoğrafı



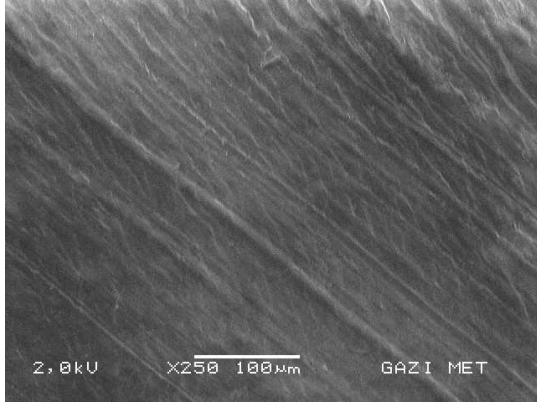
Şekil 7.9. % 1 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı



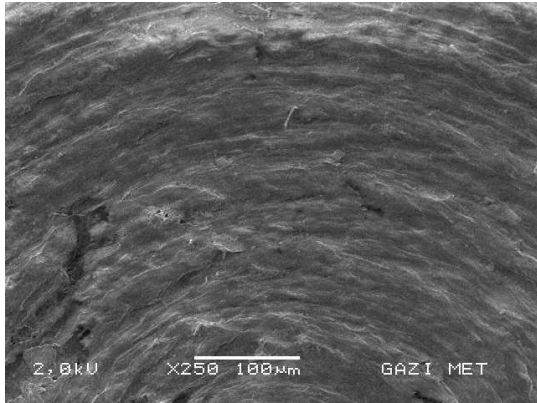
Şekil 7.10. % 2 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı



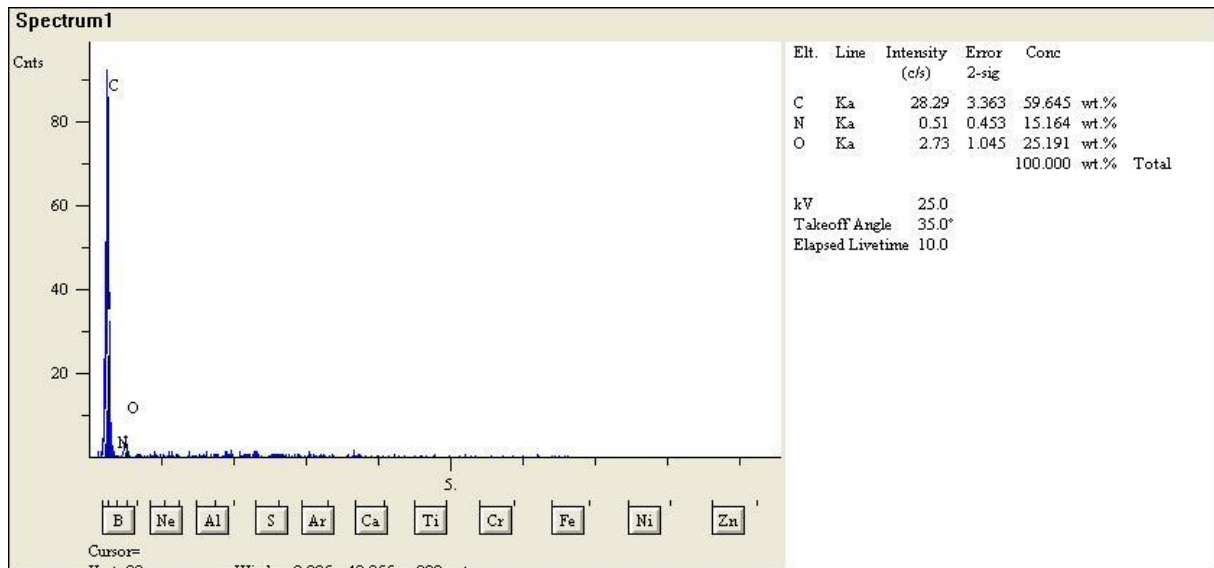
Şekil 7.11. % 3 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı



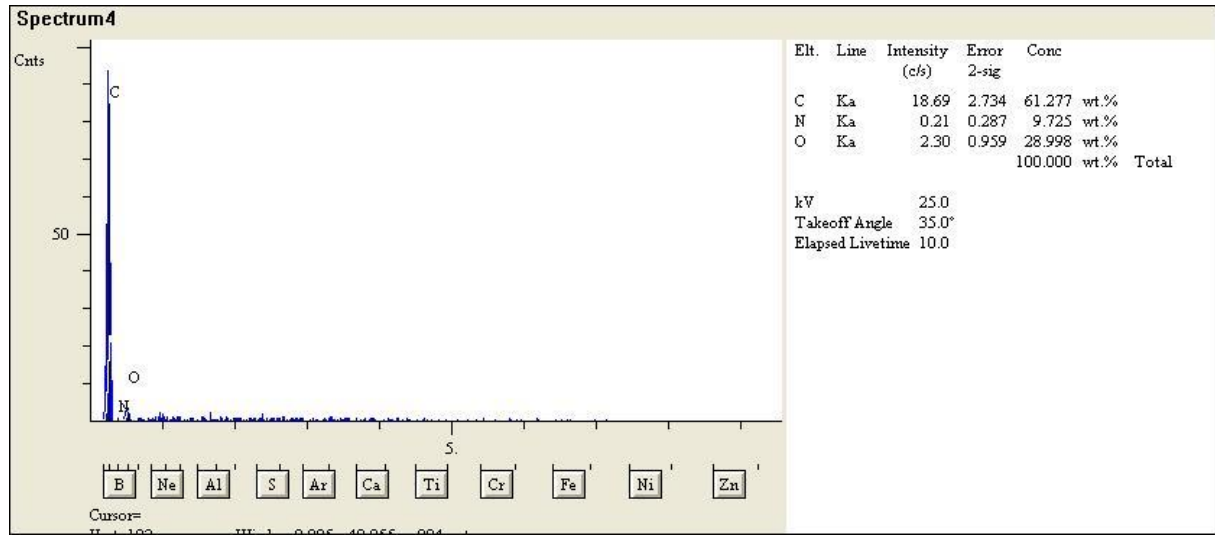
Şekil 7.12. % 4 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı



Şekil 7.13. % 5 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin SEM fotoğrafı



Şekil 7.14. Katkısız döküm polyamid örneğinin EDS analizi



Şekil 7.15. % 5 Grafit katkılı döküm polyamid kompozitinin EDS analizi

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Monomer döküm yöntemi ile grafit takviyeli döküm polyamid matrisli kompozitlerin üretimi, mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Grafit katkısıyla jelleşme süresi artmıştır.
- Grafit katkısıyla katılaşma süresi artmıştır.
- Sertlik (Shore D) değerleri grafit katkısıyla önemli bir değişiklik olmamıştır.
- Üretilen döküm polyamid kompozitlerinden darbe dayanımlarının tespiti için hazırlanan çentiksiz numunelerin hiç biri kırılmamıştır.
- Üretilen döküm polyamid kompozitlerinin çentikli numunelerle yapılan darbe testlerinde grafit katkısının artmasıyla darbe dayanımı azalmıştır.
- Üretilen döküm polyamid kompozitlerin akma ve kopma mukavemetleri grafit katkısıyla azalmıştır.
- Üretilen döküm polyamid kompozitlerin akma ve kopma noktalarındaki % uzama miktarları grafit katkısıyla azalmıştır.
- Üretilen döküm polyamid kompozitlerin elastisite modülü önce grafit katkısıyla azalmış, daha sonra çok az bir artış göstermiş ve artan oranlardaki grafit katkısıyla tekrar azalmaya devam etmiştir.
- Üretilen döküm polyamid kompozitlerin kütleli aşınma miktarı grafit katkısıyla azalmıştır.

- Kompozitlerin SEM fotoğraflarının tamamında döküm üretim yönteminden kaynaklanan mikro boşluklar gözlemlenmiştir.
- EDS analizinde grafit katkısıyla kompozitte karbon miktarında meydana gelen artış görülmüştür.

8.2. Öneriler

Döküm polyamidlerin anyonik polimerizasyonla ϵ -kaprolaktamdan üretilmesi ile alakalı çok fazla çalışma yapılmamıştır, özellikle ülkemizde yapılan çalışma sayısı çok azdır. Bu çalışmada bahsedilen üstün mekanik özellikleri döküm polyamidleri incelemeye değer kılmaktadır.

Üretim prosesinde kullanılan hammaddelerin aktivatör, katalizör ve monomer (ϵ -kaprolaktam) ülkemizde üretimi yapılmamaktadır. Mühendislik plastikleri dünya toplam dış ticaret hacmi 2016 yılında 89 milyon tondur. [51] Bu büyük pazarda daha aktif rol alabilmek için proses hammaddelerin ülkemizde üretimi, geliştirmesi konusunda çalışmalar yapılabilir.

Döküm yöntemiyle grafit katkılı kompozit üretimi sırasında parçacıkların homojen dağılımıyla alakalı sorunlar yaşandığından dolayı başka üretim yöntemleriyle çalışmalar yapılabilir.

Farklı takviye elemanlarıyla çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gürü, M. ve Yalçın, H. (2012). *Malzeme Bilgisi* (Üçüncü Baskı). Ankara: Palme Yayıncılık, 307-361.
2. Kaya, F. (2005). *Ana Hatlarıyla Plastikler ve Katkı maddeleri* (İkinci Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi, 99-120.
3. Akkurt, S. (2007). *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı* (Birinci Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi, 461-469.
4. Shipway, P. H. and Ngao, N. K. (2003). Microscale abrasive wear of polymeric materials. *Wear*, 225 (1-6), 742-750.
5. Kang, S. and Chung, D. (2003). Improvement of frictional properties and abrasive wear resistance of nylon/graphite composite by oil impregnation. *Wear*, 254 (1-2), 103-110.
6. Baysal, B. (1981). *Polimer Kimyası* (Birinci Baskı). Ankara: ODTÜ, 1-21, 231-235, 243-25.
7. AMI Strategic Consultants (2019). To Global Plastic Industry. Poymer Demand in Europe 2019; *AMI Consulting*, Bristol.
8. Saçak, M. (1998). *Polimer Kimyasına Giriş* (Birinci Baskı), Ankara: Ankara Üniversitesi Döner Sermaye Yayınları, 2-4, 6-15, 107-115.
9. Beşergil, B. (2008). *Polimer Kimyası* (Birinci Baskı). Ankara: Gazi Kitabevi, 1-9, 177-219, 415-451.
10. Fink, J. K. (2008). *High Performance Polymers* (First Edition). New York: William Andrew, 148-184.
11. Budinski, K. G. and Budinski, M. K. (2010). *Engineering Materials Properties and Selection* (Ninth Edition). New Jersey: Pearson, 190-212,233-237,241-255.
12. Aydın, M. (2001). *Değişik yapıdaki İzosiyanat Aktivatörleri ile Naylon-6 Döküm Polimerlerinin Hazırlanması ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 23-24, 40.
13. Arıcıoğlu, M. K., Mert, B. ve Soydan, Y. (2000). Polimer Malzemelerin Mekanik Analiz Yöntemleri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1-2), 54-58.
14. Vishu, S. (1998). *Plastics Testing Technology* (Second Edition). New York: Wiley-Intercience, 50-85.
15. Ando, M. Kalacska G. and Czigany, T. (2009). Shore D hardness of cast PA6 based composites. *Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology*, 23, 15-18.

16. Kang, S. and Chung, D. (2000). The synthesis and frictional properties of lubricant-İmpregnated cast nylons. *Wear*, 239(2), 244-250.
17. Şenvar, C. (1986). *Kimyasal Kinetik ve Makromoleküler* (Birinci Baskı). İstanbul: Marmara Üniversitesi Yayınevi Kitap Koleksiyonu, 289-290.
18. İnternet: Polyamid çeşitlerinden üretilmiş bazı parçalar
URL:<https://www.plamekplastik.com.tr/>, Son Erişim Tarihi: 21 Nisan 2019.
19. Turgut, D. (2012). *Farklı Tür Sıvı Ortamlarda Tutulan Kestamid Malzemenin Darbe Dayanımının DeneySEL İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli 5, 15-16.
20. Yasui, T. (2016). *Method for Manufacturing Nylon 6*. U.S. Patent No. 2016/0002401 A1.
21. Lacobs, J. A. and Kilduff, T. F. (2005). *Engineering Material Technology:Structures, Processing, Properties & Selection* (Fifth Edition). New Jersey: Pearson, 321-342.
22. Yumakgil, H. K. (2009). *Yüksek Enerjili Öğütme Sistemleriyle İnce Gümüş Tozlarının Üretimi ve Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle Gümüş Takviyeli Polimer Kompozit Yapıların Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 32.
23. İnternet: Ekstrüzyon makinasının elemanları
URL:<https://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch13-Plastik%20isleme.pdf>, Son Erişim Tarihi: 21 Nisan 2019.
24. Beşergil, B. (2007) *Hampetrolden Petrokimyasallara* (Birinci Baskı), İzmit: Tükelmat, 612-641.
25. Li, C., Xiang, M. and Ye, L. (2017). Structure and tribological performance of monomer casting nylon-6/colloidal graphite composites synthesized through in situ polymerization. *Polymer - Plastics Technology Engineering*, 56(12), 1345-1357.
26. Çuvalcı, H., Erbay K. ve İpek, H. (2014). Investigation of effect of glass fiber content on mechanical properties of cast polyamide. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(12), 9049-9056.
27. Kim, S. M., Seon K. M. and Cho, C. G. (2011). *Controlling Copolymerization of 2-Pyrolidinone with e-Caprolactam and Their Thermal Properties*. 18th International Conference on Composites Materials, Jeju Island.
28. McDade E. and Gleich, K. (2000). Nylon-VARTM, TRM, S-RIM for composite applications -material and process. *The Universty of Alabama, Material Science and Engineering*, 217-223.
29. Ando, M., Kalacska, G., and Czigany, T. (2008). Cast polyamide 6 polymer composites for agricultural machine applications. *Hungarian Agricultural Engineering*, 21(1), 67-69.

30. Ando, M., Kalacska, G., and Czigany, T. (2008, 30-31 October). *Cast Polyamide 6 Polymer Composites for Special Application*. 14th Building Services, Mechanical and Building Industry days International Conference, Debrecen, Hungary, 296-303
31. Laufer, W. and Eckert, A. (2012). *Method of Production of Cast Polyamides*. U.S. Patent No. 2012/0245320 a1.
32. Rusu, M. M. (2000, August). *Centrifugal Casting of Polyamide 6 II. Internally lubricated composites with graphite*. Third International Congress in Materials Science and Engineering, At Iasi.
33. Tüzün, F. N. (2008). Effect of the Activator Type and Catalyst/Activator Ratio on Physical and Mechanical Properties of Cast PA6. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 5(47), 532-541.
34. Barhoumi, N., Maazouz, A. and Abdelhedi, R. (2012). Polyamide for lactams by reactive rotational molding via anionic ring-opening polymerization: Optimization of processing parameters. *Express Polymer Letters*, 7(1), 76-87, 2012.
35. İnternet: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. URL:<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/grafit>, Son Erişim Tarihi: 12 Mart 2019.
36. Çuhadaroğlu, A. D. ve Kara, E. (2018). Grafit Bir Genel Değerlendirme. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 8(1), 15-30.
37. Chung, D. D. (2010). *Composite Materials: Science and Applications* (Second Edition). London: Springer Science & Business Media, 1-30.
38. Şahin, Y. (2000). *Kompozit Malzemelere Giriş* (Birinci Baskı). Ankara: Gazi Kitap Evi, 65-88.
39. Yıldızhan, H. (2008). Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 3-12.
40. İnternet: Kompozitlerin Özellikleri URL: <http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html>, Son Erişim Tarihi: 21 Mayıs 2019.
41. Yuan, S., Li, Y., Wen, J., Yin L. and Zhang, Q. (2018). *Study on the tribological Properties of MC Nylon Composites Filled with Hydraulic Oil*. 4th International Conference on Advanced Engineering and Thecnology, Incheon.
42. Wang, Y., Liu, S., Zhang, Q. And Meng, Q. (2015). In Situ Polymerization to Prepare Graphene-Toughened Monomer Cast Nylon Composites. *Journal of Materials Science*, 50(19), 6291-6301.
43. Rusu, G. and Rusu, E. (2007). In Situ Nylon &/Graphite Composites Physico Mechanical Properties. *Journal of Opto electronics and Advanced Materials*, 9(7), 2102-2109.

44. İnternet: Grafit Katkılı Döküm Polyamid URL:<https://www.polikim.com.tr/sayfa/urun-detay/13/kestamid-grf%C2%AE>. Son Erişim Tarihi: 12 Nisan 2019.
45. Ando, M. (2018). Influence of Graphite Additives on Mechanical, Tribological, Fire Resistance and Electrical Properties in Polyamide 6. *Technical Gazette*, 25(4), 1014-1019.
46. İnternet: Charpy Deney Numuneleri URL: <https://www.ulttc.com/de/leistungen/pruefverfahren/mechanische/charpy.html>. Son Erişim Tarihi: 25 Nisan 2019.
47. İnternet: Charpy Deney Numunesi Ölçüleri URL: http://www.bickel-wolf.com/files/lieferanten/Coesfeld/COESFELD_Catalouge_RubberAndPlastics.pdf. Son Erişim Tarihi: 25 Nisan 2019.
48. İnternet: Çekme Deney Numunesi Ölçüleri URL:<http://www.unitedtest.com/application/test-type/tension-test/24.html>. Son Erişim Tarihi: 20 Nisan 2019.
49. Zyl, W. E., García, M., Schrauwen, B. A., Kooi, B. J., Hosson, J. M. and Verweij, H. (2002). Hybrid Polyamide/Silica Nanocomposites: Synthesis and Mechanical Testing. *Macromolecular Materials and Engineering*, 287(2),106-110.
50. İpek, H. (2011). *Cam Elyaf Takviyeli Kestamid Matrisli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 10.
51. Türk Plastik Sanayicileri Araştırma ve Geliştirme Vakfı (2016). Dünya ve Türkiye Mühendislik Plastikleri Dış Ticaret Raporu; Pagev. İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜNEŞ ARSLAN, Canset
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.08.1988, Sorgun
 Medeni hali : Evli
 e-mail : canset.gunes@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Met. ve Malzeme Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2012
Lise	Şehitler Fen Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-2019	Aksa Run Flat	Ar-Ge Sorumlusu
2012-2015	Kardelen Boya	Ar-Ge Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Güneş, C., Saçmacı, B.R. ve Çıtak, R., (06-08 Nisan 2017), *Güvenlik Araçlarında Run Flat Uygulamaları*, Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu 2017, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

Hobiler ve İlgi Alanları

Ahşap dekorasyon ürünleri tasarımı, Üçüncü nesil kahve demleme yöntemleri, Okumak, Sağlıklı yaşam, Hazır gıdalarda kullanılan kimyasallar, Mühendislik plastikleri



GAZİ GELECEKTİR..