

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME BİLİMİ BİLİM DALI**

**KARDAN MİLLERİNDE KULLANILAN KAYICI TAKIMLARIN
KAPLAMA İŞLEMİNİN TRIBOLOJİK ETKİLERİ**

Selin BAŞARAN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Suat Bahar BAŞTÜRK**



MANİSA-2020

Selin
BAŞARAN

**KARDAN MİLLERİNDE KULLANILAN KAYICI TAKIMLARIN KAPLAMA
İŞLEMİNİN TRIBOLOJİK ETKİLERİ**

2020

TEZ ONAYI

Selin BAŞARAN tarafından hazırlanan “ **Kardan Millerinde Kullanılan Kayıcı Takımların Kaplama İşleminin Tribolojik Etkileri** ” adlı tez çalışması 31/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Dr.Öğr.Üyesi Suat Bahar BAŞTÜRK**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr.Öğr.Üyesi Seçil Çelik ERBAŞ**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr.Öğr.Üyesi Levent AYDIN**
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Selin BAŞARAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	I
ABSTRACT	XIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Polimerler.....	2
2.1.1. Polimerlerin Genel Özellikleri	3
2.1.1.1. Polimerlerin Mekanik Özellikleri.....	5
2.1.1.2. Polimerlerin Termal Özellikleri	7
2.1.2. Polimerlerin Karakterizasyonu	9
2.1.2.1. Termal Karakterizasyon Yöntemleri.....	9
2.1.2.1.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)	9
2.1.2.1.2 Termogravimetrik Analiz (TGA).....	11
2.1.2.1.3 Dinamik Mekanik Analiz (DMA).....	11
2.1.3. Polimerlerin Sınıflandırılması.....	12
2.1.3.1. Isı Karşısında Gösterdikleri Dirence Göre Polimerler	13
2.1.3.1.1 Termosetler	13
2.1.3.1.2 Elastomerler	14
2.1.3.1.3 Termoplastikler	14
2.1.4. Poliamidler.....	17
2.1.4.1. Poliamid 11 (PA11).....	18
2.1.4.2. Poliamid 12 (PA12).....	20
2.1.5. Polimer Kaplamalar	22
2.2. Aşınma	22
2.2.1. Aşınma Mekanizmalarının Sınıflandırılması	23
2.2.1.1. Abrasif Aşınma	23
2.2.1.2. Adesif Aşınma.....	24
2.2.2. Aşınma Direncini Etkileyen Faktörler	25

2.2.2.1. Malzeme seçimi.....	25
2.2.2.2. Sürtünme	25
2.2.2.3. Yüzeye uygulanan yük	25
2.2.2.4. Sürtünme mesafesi	25
2.2.2.5. Yüzey sertliği	25
2.2.2.6. Yağlama	26
2.2.3. Aşınma Testi ve Ölçüm Yöntemleri	26
2.2.3.1. Ağırlık Farkı Metodu	26
2.2.3.2. Kalınlık Farkı Metodu	26
2.2.3.3. İz Değişim Metodu.....	27
2.3. Sürtünme	27
2.4. Kardan Mili	27
2.4.1. Kardan Millerinin Sınıflandırılması.....	28
2.4.2. Kardan Mili Komponentleri.....	29
2.4.3. Kardan Mili Çalışma Mekanizması	30
2.4.4. Kayıcı Takımlar	30
2.5. Literatür Özeti	33
2.5.1. Tezin Amacı.....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	36
3.1. Materyal	36
3.2. Yöntem.....	36
3.2.1. Diferansiyel Kimyasal Analiz (DSC)	36
3.2.2. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	38
3.2.3. Dinamik Mekanik Analiz (DMA).....	39
3.2.4. Numunelerin Kaplama İşlemi	40
3.2.4.1. Numunelerin Hazırlanması	40
3.2.4.2. Numunelerin Kaplanması.....	41
3.2.5. Shore D Testi	44
3.2.6. Aşınma Testi	44
3.2.7. Yüzey Pürüzlülük Testi (Profilometre Testi).....	46
3.2.8. Aşınma Test Sonucu Hesaplaması.....	46

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	47
4.1. Diferansiyel Kimyasal Analiz Test Sonuçları (DSC)	47
4.2. Termogravimetrik Analiz Test Sonuçları (TGA).....	49
4.3. Dinamik Mekanik Analiz Test Sonuçları (DMA).....	49
4.4. Kaplama İşlemi Proses Sonuçları	51
4.5. SHORE D Sertlik Ölçümü Sonuçları.....	53
4.6. Aşınma Testi Sonuçları	54
4.7. Sürtünme Testi Sonuçları.....	54
4.8. Yüzey Pürüzlülüğü (Profilometre) Sonuçları.....	57
4.9. Özgül Aşınma Miktarı Hesabı	61
4.10. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi Sonuçları	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
6. KAYNAKLAR.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

PA 11	Poliamid 11
PA12	Poliamid 12
T_m	Kristal erime noktası
T_g	Camsı geçiş sıcaklığı
DSC	Direfansiyel taramalı kalorimetri
DMA	Dinamik mekanik analiz
TG	Termogravimetrik analiz
PP	Polipropilen
PE	Polietilen
PA	Poliamid
PA-66	Poliamid 66
PC	Polikarbonat
PMMA	Polimetil metakrilat
PVC	Polivinilklorür
DYPE	Düşük yoğunluklu polietilen
X_c	Kristallenme derecesi
ΔH_m	Erime entalpisi
ΔH_∞	Teorik erime entalpisi
T_c	Kristallenme sıcaklığı
T_m	Erime sıcaklığı
W_s	Özgöl aşınma miktarı
ΔV	Hacimsel malzeme kaybı
N	Uygulanan yük
F_n	Uygulanan normal kuvvet
F_s	Sürtünme kuvveti
V	Aşınma hacmi
V	Hız
HB	Brinell sertlik birimi
μ	Sürtünme katsayısı

$\varnothing$	Çap
r	Yarıçap
h	Yükseklik
k	Aşınma katsayısı
A	Alan
Δm	Ağırlık kaybı
L	Kat edilen toplam yol
R_a	Yüzey pürüzlülüğü



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Mer'lerin birleşerek polimerlerin oluşumu [1]	2
Şekil 2.2. Poliamid sentezi [4]	3
Şekil 2.3. Termoplastik polimerlere ait Gerilme-Uzama Grafiği [3].....	6
Şekil 2.4. Lineer polimerin deformasyonu, a) Isıl ve Deformasyon İşlemleri, b) Gerilme- Uzama Bağlantıları [8]	6
Şekil 2.5. Kristallenebilen polimerlerde Hacim-Sıcaklık Eğrileri, A-Sıvı bölgesi, B- Bir miktar esneklik gösteren sıvı, C-Kauçuksu bölge, D-Camsı bölge, E-Kauçuk, F- Camsı matris içerisindeki kristaller [9]	9
Şekil 2.6. DSC analiz şeması [23]	10
Şekil 2.7. Isı Akışı-Sıcaklık grafiği [23]	10
Şekil 2.8. Termoset polimer zincirlerin çapraz bağlanması [12]	13
Şekil 2.9. Plastik moleküllerinin dizilişi [16]	16
Şekil 2.10. PA11'in kimyasal yapısı.....	19
Şekil 2.11. PA 12'nin kimyasal yapısı.....	20
Şekil 2.12. Aşınmanın sınıflandırılması [21]	23
Şekil 2.13. Bir araca ait güç aktarma organları sistemi	28
Şekil 2.14. Tek parçalı kardan mili	28
Şekil 2.15. İki parçalı kardan mili.....	29
Şekil 2.16. Kardan mili komponentleri.....	29

Şekil 2.17. Kardan milinin araç üzerindeki yandan görünümü	30
Şekil 2.18. Çatallı mil	31
Şekil 2.19. Kayıcı kovan	31
Şekil 2.20. Kayıcı mil	32
Şekil 2.21. Kayıcı çatal	32
Şekil 3.1. DSC Cihazı	37
Şekil 3.2. DSC Proses verileri.....	37
Şekil 3.3. TG Cihazı	38
Şekil 3.4. TGA proses verileri	39
Şekil 3.5. DMA Cihazı	39
Şekil 3.6. 42CrMoS4 çelik numunesi	41
Şekil 3.7. Vida ile aparatlanan numuneler	41
Şekil 3.8. Yüzeyi kumlanmış numune örneği	42
Şekil 3.9. PA11 Ve PA12 kaplamalı numune.....	44
Şekil 3.10. Pin-on-disk Cihazı şematik görüntüsü [26]	45
Şekil 4.1. PA11 ve PA12 için erime sıcaklığı-ısı akışı grafiği	47
Şekil 4.2. PA11 ve PA12 için kristallenme sıcaklığı-ısı akışı grafiği.....	48
Şekil 4.3. %TGA – Sıcaklık Grafiği	49
Şekil 4.4. tanD - Sıcaklık Grafiği	50
Şekil 4.5. PA11-115CrV3 pim ile aşındırılan numunelerin Sürtünme katsayısı- Kayma mesafesi grafiği.....	55

Şekil 4.6. PA12-115CrV3 pim ile aşındırılan numunelerin Sürtünme katsayısı-Kayma mesafesi grafiği.....	55
Şekil 4.7. PA11-100Cr6 bilya ile aşındırılan numunelerin Sürtünme katsayısı-Kayma mesafesi grafiği	56
Şekil 4.8. PA12-100Cr6 bilya ile aşındırılan numunelerin Sürtünme katsayısı-Kayma mesafesi grafiği	56
Şekil 4.9. PA11-1.1. için aşınma iz derinliği grafiği	57
Şekil 4.10. PA11-2.1 için aşınma iz derinliği grafiği	58
Şekil 4.11. PA12-1.1 için aşınma iz derinliği grafiği	59
Şekil 4.13. Numunelerin aşınma izlerinin çap ve yarıçap gösterimi	62
Şekil 4.14. PA11-115CrV3 pim ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (400X)	65
Şekil 4.15. PA12-115CrV3 pim ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (400X)	66
Şekil 4.16. PA11-115CrV3 pim ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (3.00KX)	66
Şekil 4.17. PA12-115CrV3 pim ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (3.00KX)	66
Şekil 4.18. PA11-100Cr6 bilya ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (300X)	67
Şekil 4.19. PA11-100Cr6 bilya ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (2.00KX)	67
Şekil 4.20. PA12-100Cr6 bilya ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (3.00KX)	68

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Polimerlerin sınıflandırılması [11].....	12
Tablo 2.2. En çok kullanılan termoplastikler ve kullanım alanları	17
Tablo 2.3. Poliamid örnekleri ve tekraralama ünitesi	17
Tablo 2.4. Poliamidlerin fiziksel özellikleri	18
Tablo 3.1. PA11 ve PA12 Mekanik ve fiziksel özellikleri.....	36
Tablo 3.2. DSC Verileri analizi	37
Tablo 3.3. TG Verileri analizi	39
Tablo 3.4. DMA proses verileri.....	40
Tablo 3.5. 42CrMoS4 kimyasal kompozisyonu	40
Tablo 3.6. Çelik Grit GL-40 kumu kimyasal analizi ve özellikleri.....	42
Tablo 3.7. Kaplama parametreleri	43
Tablo 3.8. Aşınma testi parametreleri	45
Tablo 4.1. PA11 ve PA12 polimerlerine ait DSC analiz sonuçları	48
Tablo 4.2. PA11 ve PA12 tozlarının camsı geçiş sıcaklıkları	50
Tablo 4.3. PA11 ve PA12 tozlarının 25 °C' deki depolama modülü	50
Tablo 4.4. Numunelerin kaplama öncesi ve sonrası ağırlıkları	51
Tablo 4.5. Numunelerin kaplama öncesi ve sonrası sıcaklıkları	52

Tablo 4.6. Numunelerin kaplama kalınlıkları	53
Tablo 4.7. Numunelerin Shore D sertlik değerleri	53
Tablo 4.8. Aşınma testi sonucu numunelerin ağırlık farkları	54
Tablo 4.9. Metal, PA11 ve PA12 kaplamalı numunelerin aşınma testi sonucu sürtünme katsayı değerleri	57
Tablo 4.10. PA11-1.1-1 115CrV3 pim ile aşındırılan numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri.....	58
Tablo 4.11. PA11-2.1-1 100Cr6 pim ile aşındırılan numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri.....	59
Tablo 4.12. PA12-1.1-1 115CrV3 pim ile aşındırılan numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri.....	60
Tablo 4.13. PA12-2.1-1 100Cr6 pim ile aşındırılan numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri.....	60
Tablo 4.14. Numunelerin aşınma iz alan değerleri	61
Tablo 4.15. Numunelerin hacimsel malzeme kaybı değerleri	63
Tablo 4.16. Numunelerin özgül aşınma miktarları ortalama değerleri	64
Tablo 4.17. Numunelerin özgül aşınma miktarı değerleri.....	64

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Suat Bahar BAŞTÜRK'e, ilgi ve tecrübesi ile lisans ve lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında desteğini hiç eksik etmeyen sevgili ağabeyim Makine Mühendisi Dr. Anıl BAŞARAN'a, öğrenim hayatım boyunca beni destekleyen ve hep yanımda olan aileme, yüksek lisans eğitimim sırasında aşınma bilgisi konusunda yardımcı olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Simge İRİZALP'e, mikroskop ve profilometre incelemelerimde desteklerini esirgemeyen Araş.Gör. Dr. İlyas TÜRKMEN, Arş. Gör. Melis YURDDAŞKAL, Araş.Gör. Canser GÜL, Araş.Gör. Tuğçe YAĞCI'ya , laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan sevgili arkadaşım Uğur YÜCEL'e, alternatif malzeme tedarik araştırmasında yardımcı olan sevgili çalışma arkadaşım Batıkan ŞENAY'a, tez çalışmalarımı yürütmemde yardımcı olan Manisa Kardan Cemmer firması çalışma arkadaşlarıma, bilgi ve tecrübesi ile yardımlarını esirgemeyen, tecrübeleri ile beni aydınlatan, çalışma arkadaşlarım Serhan GÖK ve Murat PALA'ya yürekten teşekkür ederim.

Selin BAŞARAN
Manisa, 2020

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kardan millerinde kullanılan kayıcı takımların kaplama işleminin tribolojik etkileri

Selin BAŞARAN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Suat Bahar BAŞTÜRK

Dünyada ve ülkemizde endüstriyel malzeme seçimini etkileyen faktörlerin başında korozyon dayanımı, temin kolaylığı, şekil alabilirlik özelliği, ekonomiklik, üretim biçimi, tribolojik özellikleri gelmektedir. Polimer malzemelerin özellikleri incelendiğinde, polimerlerin malzeme seçimini etkileyen bu özelliklerin çoğuna sahip olduğu görülmektedir. Polimer malzemeler, çelik, cam, seramik malzemeler gibi geleneksel malzemelerden daha yüksek mukavemet/ağırlık oranı sergilemeleri nedeniyle, yüzyılın son çeyreğinde birçok endüstriyel uygulamada ve günlük yaşamda yer almıştır. Polimer malzemelerin uygulamalarından biri, polimerlerin kaplama malzemesi olarak kullanılmasıdır.

Tez çalışmasında kardan millerinde kullanılan kayıcı takımların kaplanmasında hali hazırda kullanılan poliamid 11 (PA11) yerine poliamid 12 (PA12) tozunun kullanımı araştırılmıştır. Kayıcı millerin kaplanmasında ithal PA11 yerine yerli temin kaynağı bulunan PA12 tozuna yer verilmesiyle amaç, temin kolaylığı ve maliyet avantajı sağlamaktır. Bu çalışmada, PA11 ve PA12 ile polimer kaplamalar gerçekleştirilmiştir. Kaplanan numuneler 100Cr6-bilya ve 115CrV3-pim olmak üzere iki farklı aşındırıcı kullanılarak aşınma testlerine tabi tutulmuş ve kaplamaların tribolojik davranışları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, performans ve dayanım bakımından PA12 tozunun PA11'e göre daha iyi tribolojik davranış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polimer kaplama, Poliamid 11, Poliamid 12, Kayıcı takım, kardan mili

2020, 75 sayfa

ABSTRACT

Master Thesis Tribological effects of coating process of slip assemblies used in cardan shafts

Selin BAŞARAN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Metallurgy and Materials Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Suat Bahar BAŞTÜRK

Corrosion resistance, ease of supply, formability, economy, production style and tribological characteristics are the main factors affecting the selection of industrial materials in the world and in our country. Considering properties of polymer materials, it is seen that polymers have many of these properties which affect the material selection. polymer materials have been taken place in many industrial applications as well as daily life, in the last quarter of the century due to the fact that they exhibit a higher strength/weight ratio than traditional materials such as steel, glass, ceramic materials. One of the applications of the polymer materials is usage of the polymers as the coating material.

In this thesis, the utilization of the PA12 powders in the coating of slip assemble used in cardan shafts instead of PA11 which are already used in the coating of slip assemble was investigated. The purpose of the employment of PA12 in the coating of the slip assemblies instead of PA11 is to provide advantages of ease of supply and cost. Polymer coatings with PA12 and PA11 were performed in this study. The coated samples were subjected to abrasion tests using two different abrasives, 100Cr6-ball and 115CrV3-pin, and the tribological behavior of the coatings was compared. As a result of the experimental study, it has been concluded that PA12 powder shows better tribological behavior than PA11 in terms of performance and strength.

Keywords: Polymer coatings, Poliamide 11, Poliamide 12, Slip assemblies, cardan shafts

2020, 75 page

1. GİRİŞ

Günümüzde polimer malzemeler, bir malzemedeki aranılan olumlu niteliklerin çoğunu taşıdığı için her alanda kullanılmaktadır. Polimerler; yüksek aşınma direnci ve korozyon direncine sahiptirler. Kendini yağlama özelliği, düşük ısı iletmesi, ucuz malzeme olmasından dolayı önemli tribolojik malzemelerdir.

Polimerler sert yüzeyler üzerine farklı yöntemler kullanılarak kaplanabilir. Polimer kaplamaların tribolojik davranışları; temas şartları, temas malzemesi, kaplama-altlık sistemi, temas içyapısı gibi parametrelerden etkilenmektedir.

Polimer kaplamaların aşınma-sürtünme özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili literatürde birçok deneysel çalışmalar yapılmış ve kaplama yüzeylerinin nasıl davranacağı incelenmiştir. Polimer kaplamalarda kaplama yöntemi kadar film kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü, kayma hızı, yük ve çevresel şartların önemli olduğu belirlenmiştir.

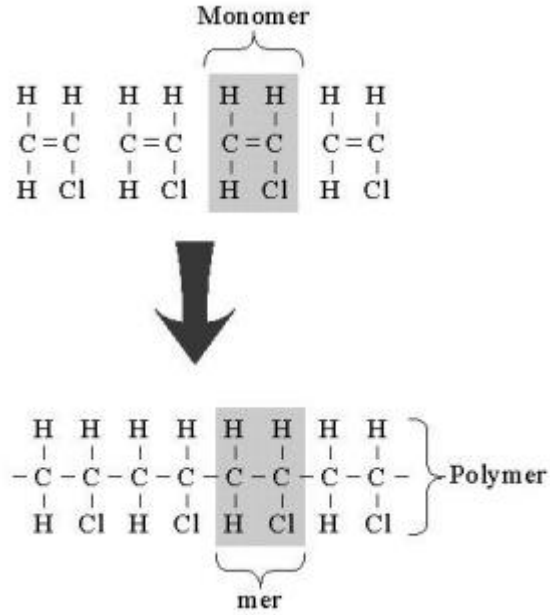
Kayıcı takımlar kardan millerinde meydana gelebilecek uzama ve kısalmaları sağladığı için aracın seyir sırasında aşağı yukarı yönlü olarak hareket eder. Yatak ve milden oluşan kayıcı takımlar metal malzeme kullanılarak frezeli tornalar ile talaş kaldırmadan dişlileri açılarak üretilmektedirler. Metal-metal çalışma sistemlerinde bir süre sonra sürtünme ve aşınmadan dolayı dişliler arası boşluk oluşur. Oluşan bu boşluklar kayıcı takımların ömür dayanımını azaltır. Ömür dayanımı ve sağlamlıklarını arttırmak için yatak veya mil polimer malzeme ile kaplanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, kayıcı takımların malzemesi olan 42CrMoS4 metalinden yapılan numuneler mevcutta kullanılan poliamid 11 tozu yerine alternatif olarak kullanılabilecek poliamid 12 tozu ile kaplanmış, iki kaplamanın ve metalin aşınma sonrası özellikleri tribolojik açıdan incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Polimerler

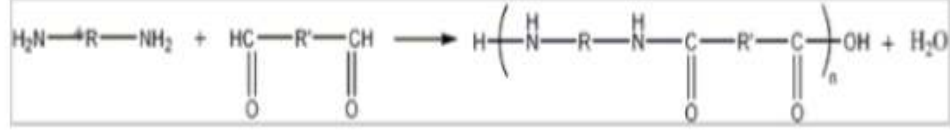
Küçük molekül birimlerinin (mer) uzun zincirler halinde birleşerek oluşturduğu zincir moleküllerine polimer denir [1]. İlk kez 1832 yılında İsveçli kimyager Jöns Jacob Berzelius tarafından aynı ampirik formüle sahip, fakat molekül ağırlıkları farklı iki bileşiği tanımlamak amacıyla kullanılmıştır [2]. Monomer, polimerik madde içinde tekrar eden en küçük moleküldür. Monomerin fiziksel ve kimyasal özellikleri elde edilen polimerin karakteristik özelliklerini belirler. İki monomerin kimyasal bağ ile birleşmesi sonucu oluşan moleküle dimer, üç tanesinin birleşmesi sonucu oluşan moleküle trimer, dört tanesinin birleşmesi sonucu oluşana ise tetramer denir. Bu birleşme 100'ün üzerinde gerçekleşirse oluşan maddeye polimer denir [3].



Şekil 2.1. Mer'lerin birleşerek polimerlerin oluşumu [1]

Polimerler düşük molekül ağırlığına sahip bileşenlerden sentezlenirler ve yüksek molekül ağırlığına sahip maddelerdir. Bu işlem polimerizasyon olarak adlandırılır. Polimer biliminin gelişmesi sırasında bilimsel olarak tercih edilen iki tip sınıflama sistemi oluşmuştur. Birinci tip sınıflandırmada polimerlerin yapısına göre

ayrım kullanılır ve buna göre polimerleri yoğunlaşma ve katılma polimerleri olarak iki gruba ayırır [4].



Şekil 2.2. Poliamid sentezi [4]

Polimerler son çeyrek yüzyılda günlük yaşantımızda ve endüstriyel alanda kullanılarak karşımıza çıkmaktadır. Polimer kullanımının ana amacı mümkün olduğunca hafif, ekonomik, ve dayanıklı ürünler üretmektir.

2.1.1. Polimerlerin Genel Özellikleri

Endüstride kullanılacak malzemelerde korozyona dayanım, temin kolaylığı, biçimlendirilebilme özelliği, fiziki, mekanik ve teknolojik özellikler, ekonomik olup olmadığı, korozyona dayanım ve üretilebilme uygunluğu önemli rol oynar. Polimerlerin özellikleri incelendiğinde aranan çoğu niteliğe uygun olduğu belirlenmiştir.

Polimerlerin temel özellikleri;

- Yoğunlukları düşüktür,
- Hafiftir,
- Nem almazlar,
- Kolay şekil verilebilir ve işlenebilirler,
- Elektrik iletkenlikleri sıfırdır,
- Düşük ısı iletkenliğine sahiptirler,
- Düşük ergime sıcaklığına sahiptirler,
- Kimyasal maddelere karşı dayanıklıdırlar,
- Korozyona karşı dayanıklıdırlar,
- Yeniden işlenebilirler [5].

İşleme sıcaklıkları düşük olduğundan üretim için harcanan enerji metal malzeme ile üretime göre daha azdır.

Polimerler kullanım alanlarına göre fiziksel ve kimyasal özellikleride göz önünde bulundurularak kullanılacak dolgu ve takviye elemanının seçimine bağlı olarak çeşitlilik gösterir.

Polimer uygulamalarında polimerlerin metallerin yerine geçmesi tasarlanmıştır. Tribolojik uygulamalarda polimer kullanılmasının avantajları aşağıda açıklanmıştır [22];

1. Bazı polimerler ucuz ve karmaşık yapılarda kolaylıkla üretilebilir.
2. Çoğu polimerler, özellikle florakarbonlar asit, alkaloit gibi kimyasal etkilere karşı dirençlidirler.
3. Metalle ve kendilerine karşı yağlanmamış haldeki sürtünme katsayısı düşük olup 0,1 – 0,4 arasında değerler olmaktadır.
4. Aşınma oranları düşüktür ve genelde aşınmazlar.
5. Sıvı yağlama olması durumunda metallere göre polimerlerde ekstra hidrodinamik yağlama daha iyidir.

Tribolojik uygulamalarda polimerlerin kullanılmasının sınırlamaları şunlardır [22];

6. Polimerler visko-elastiktir ve metallere göre sürünmeye daha duyarlıdır.
7. Elastisite modülü oldukça düşüktür.
8. Isıl genleşme katsayıları oldukça yüksektir (çeliklere göre on kat yüksektir). Bu durum boyutu korumada sıkıntıya neden olur.
9. Isıl iletkenlik çok düşüktür ve sürtünme ısısının bölgeden uzaklaştırılması açısından dezavantaj oluşturur.
10. Yumuşama, ergime, oksidasyon ve termal bozunma ile ilgili sıcaklıklar genellikle 300 °C' den daha düşük sıcaklıklarla sınırlanmıştır.

2.1.1.1. Polimerlerin Mekanik Özellikleri

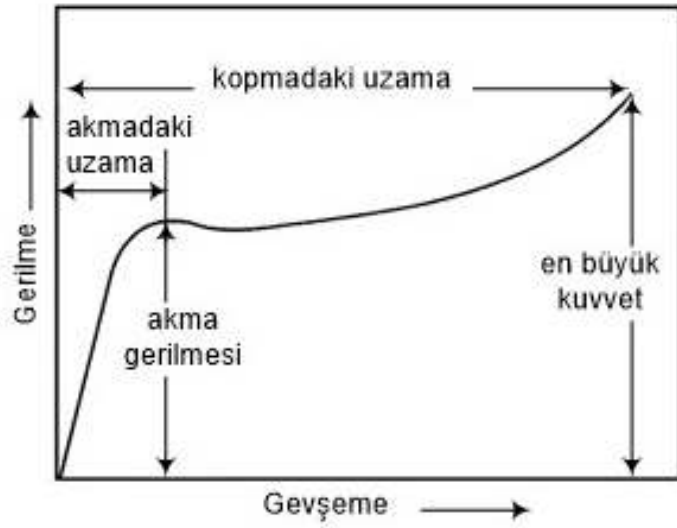
Polimer malzemelerin mekanik davranışlarının bilinmesi, kullanım alanlarının belirlenmesi ve polimer malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkabilecek zorlukların giderilebilmesi için gereklidir. Polimerlerin mekanik özelliklerini belirlemek için çeşitli parametreler tanımlanmış ve bu parametrelerin ölçülebilmesi için mekanik testler geliştirilmiştir. Polimer malzemenin mekanik özellikleri olarak, çekme dayanımı, elastisite modülü, uzama değeri, basma dayanımı, sürünme dayanımı, darbe dayanımı, eğme dayanımı, burulma dayanımı, sürtünme katsayısı sayılabilir.

Polimerlerin deformasyona uğraması sıcaklık ve zaman parametrelerine bağlıdır. Bu parametreleri etkileyen kuvvet, deformasyon, sıcaklık ve zaman arasındaki ilişkiler için önemlidir.

Polimer malzemeler çeşitli makinelerde yük altında ve dişli, şaft vb. gibi birçok hareketli parçanın titreşiminin etkisinde kalırlar. Bu etkinin birikimi malzemenin deformasyonuna ve kopmasına sebep olur. Bu olaya yorulma denir. Uygulanan çeşitli yorulma testleri değişken çekme ve basma kuvveti ve çevrimsel eğme kuvvetidir [6].

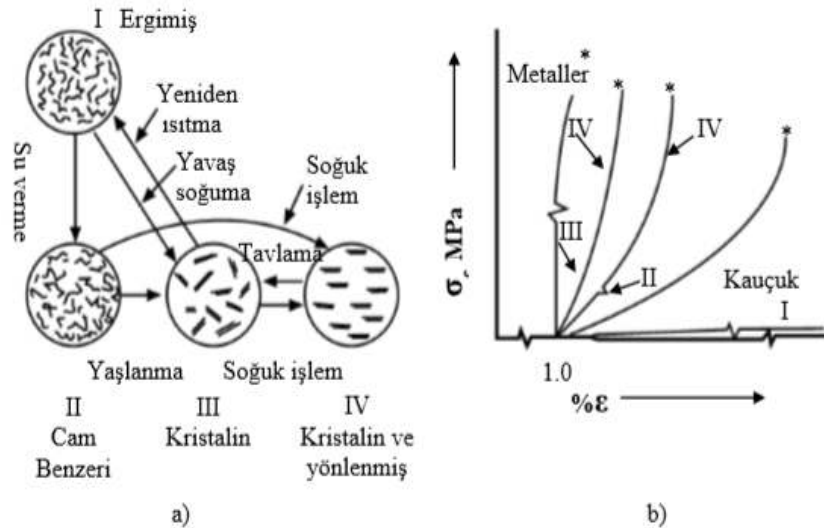
Polimer malzemelerin çekme dayanımları arasında büyük farklar vardır. Birçok malzemenin çekme gerilmesi 350 kg/cm^2 ile 710 kg/cm^2 arasında değişir. Çekme dayanımı ile ilgili bulunan ve dikkate alınması gereken diğer bir özellikte çekmeye çalışılan cismin kopmadan önce boyunda meydana gelen uzamadır [7].

Ticari olarak kullanımı yaygın termoplastik polimerler için genel gerilme-uzama eğrisi Şekil 2.3.'de verilmiştir. Bu eğri sayesinde rijitlik, akma gerilmesi, kopma gerilmesi vb. konularda bilgi edinilmektedir.



Şekil 2.3. Termoplastik polimerlere ait Gerilme-Uzama Grafiği [3]

Ergimiş haldeki bir polimer amorf yapıdadır ve zincir yönlenmeleri rastgeledir. Şekil 2.4.a'da görüldüğü gibi yüksek sıcaklıklarda elde edilen polimer yapısı, ani soğutmak (su vermek) suretiyle düşük sıcaklıklarda da elde edilebilir. Polimerlerde kuvvet ve uzama oranı metallerdeki gibi değildir. Şekil 2.4.b'deki II-IV numaralı eğride de görüldüğü gibi molekül yönelmesi olduktan sonra polimer zincirine gerilme kuvveti uygulanınca elastik modülü yükselir [8].



Şekil 2.4. Lineer polimerin deformasyonu, a) Isıl ve Deformasyon İşlemleri, b) Gerilme- Uzama Bağlantıları [8]

Sıcaklık polimerlerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktörlerden biridir. Tüm malzemeler sıcaklıktan etkilenirler; ancak polimerlerin etkilendikleri sıcaklık değeri göreceli olarak daha düşüktür. Genellikle sıcaklığın artmasıyla uzama noktasında, kopma ve esneklik sınırlarında hızla bir düşme görülür ve uzama artar. Bu yüzden polimer seçilirken düşük sıcaklıktaki mekanik özellikleri dikkate alınmalıdır. Polimerler şekil ve boyutlarını zamanla kaybederler. Dayanıklılık ya da polimerin özelliklerinin zamanla değişmesine rağmen, direnç kullanım sırasındaki şartlara da bağlıdır [5].

2.1.1.2. Polimerlerin Termal Özellikleri

Polimerlerin genleşme katsayısı, ısı iletkenliği, özgül ısı, ısıyla bozulma sıcaklığı, ısı direnci ve yanıcılığı en önemli termal özellikleridir. Polimerlerin ısı iletkenlikleri genellikle 2-8 cal/cm.s.°C aralığında değişmektedir. Bir polimerin ısı iletkenliği düşük ise bu “ısı yorulmaya” sebep olur. Alüminyum, bakır gibi metal tozları gibi katkı maddeleri ilave edilerek ısı yorulma azaltılabilir. Kristanilite ve yönelme ısı iletkenliği arttıran faktörlerdir [3].

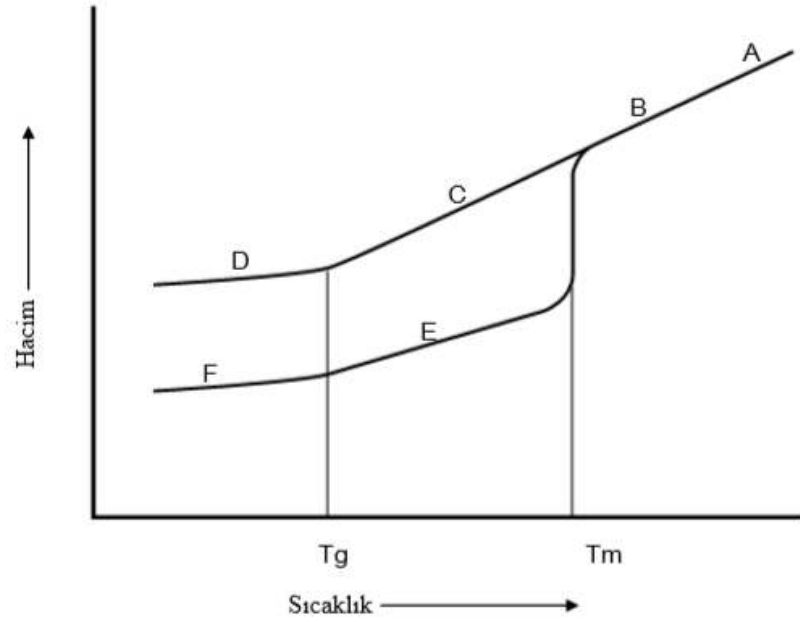
Polimer malzemelerin bir kısmı, yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında hem mekanik dayanıklılıklarını hem de fiziksel görünüşlerini yitirirler. Isıl direnç; polimerin uzun süre özelliklerini yitirmeden kullanılabilecekleri sıcaklık olarak ifade edilebilir. Örnek olarak doğrusal vinil polimerleri, eterler, selülozik esterler 100 °C’nin üzerinde çok kullanılmazlar, poliamidler ve silikonlar ise yüksek ısı direnç gösterirler [3].

Amorf bir polimer yüksek sıcaklıklarda kauçuksu ve eriyiktir. Bir polimer soğutulduğu zaman birbirinden tamamen farklı iki mekanizma ile katılaşabilir. Bunlardan biri kristallenme, diğeri ise camsılaşmadır. Bazı polimerler için kristallenme önemli iken, bazılarında camsılaşma önemli bir olaydır. Bir polimerik malzemenin hangi tür pratik uygulamaya elverişli olduğu Kristal Erime Noktası (T_m) ve Camsı Geçiş Sıcaklığı (T_g) ile belirlenir [9]. Bütün polimerik malzemeler için, sıcaklık düştüğünde polimer zincirindeki hareketliliğin hemen hemen donduğu polimer zincirinin hareketsiz hale geldiği bir sıcaklık bulunmaktadır. Bu sıcaklığa camsı geçiş sıcaklığı (T_g) denilmektedir. Bu sıcaklığın üstünde, malzemede,

polimer zincirlerinin bölgesel katlanma hareketlerine olanak sağlayacak yeterli enerji bulunmaktadır. Bu hareketler sayesinde malzeme plastik ve elastik özellik gösterir. Tg' nin altında polimer serttir ve kırılgan malzemelerdir. Tg sıcaklığının üzerinde malzemeyi bükme mümkündür.

Düşük molekül ağırlıklı diğer kristal yapıları maddelerin aksine, polimerler için kristal yapıları bölgelerdeki yapıları tam ve mükemmel bir biçimde birbirinin aynı olmaması sonucu, keskin bir erime sıcaklığı yerine, bir sıcaklık aralığı gözlemlenmektedir. Gözlenen bu sıcaklığa Kristal Erime Noktası (T_m) denilmektedir. Kristalin malzemelerde erime sıcaklığına ulaşıldığında kristal yapısının parçalanmaya başlaması yoğunlukta ani bir azalma meydana getirir. T_m'nin üzerinde malzeme sıvı haldedir ve sıcaklığın viskoziteye etkisi oldukça azdır. Malzemenin kristallik oranı % 60'ın üzerinde ise Tg'nin etkisi çok azdır ve malzeme sertliği fazla değişmez. Malzemenin kristallik oranı % 60'ın altında ise Tg'nin etkisi daha fazladır ve malzemenin sertliği daha hızlı azalır. Sürünme, yorulma ve darbe mukavemetleri amorf malzemelerde olduğu gibi kristalin malzemelerde de Tg sıcaklığından etkilenir. Kristalin malzemeler Tg ile T_m sıcaklıklarının arasında kullanılırlar [9].

Düzgün bir molekül yapısını gösteren bir organik polimerin hacim-sıcaklık davranışları Şekil 2.5.' de gösterildiği gibidir. Tg sıcaklığında polimer zincirlerinin hareketliliği hemen hemen donmakta ve hareketsiz hale gelmektedir [10]. Bu sıcaklığın üstünde malzemede polimer zincirlerinin bölgesel katlanma hareketlerine yetecek termal enerji bulunmaktadır. Amorf polimerler, bu özellik sayesinde plastik veya elastik özellik gösterebilmektedir. Tg'nin altında polimerin bütünü kapsayan tüm hareketler durduğundan aynı malzeme esnemez, sert ve genellikle kırılgan bir halde olmaktadır [9]. Polimer malzemeler ısıtılıp belirli bir sıcaklığa geldiğinde malzemedeki katı haldeki kristal yapıları erimiş kısımla denge haline gelir.



Şekil 2.5. Kristallenebilen polimerlerde Hacim-Sıcaklık Eğrileri, A-Sıvı bölgesi, B-Bir miktar esneklik gösteren sıvı, C-Kauçuksu bölge, D-Camsı bölge, E-Kauçuk, F-Camsı matris içerisindeki kristaller [9]

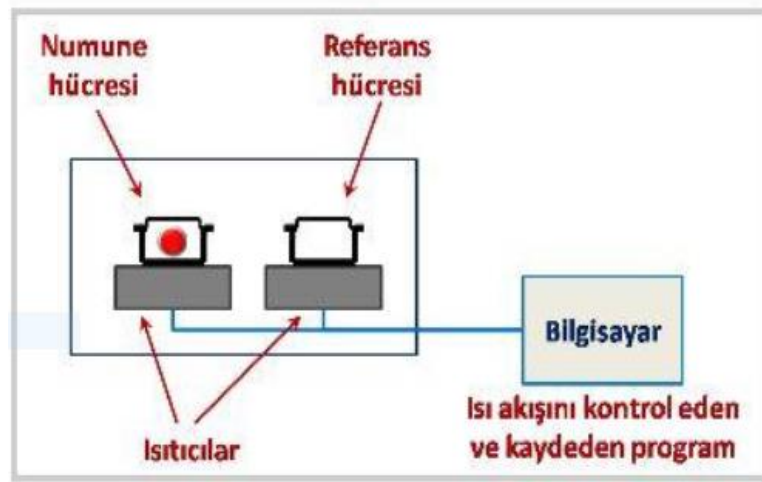
2.1.2. Polimerlerin Karakterizasyonu

Polimer bazlı malzemelerin sentezi, moleküler özellikleri ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi anlamak için farklı karakterizasyon yöntemlerini kullanmak gerekir. Polimerik malzemeyi daha iyi anlamak ve kontrol etmek için kullanılan bu karakterizasyon yöntemleri polimer biliminin temelini oluşturur ve bu yöntemlerin ne işe yaradığını ve nasıl kullanılacağını iyi anlamak gerekir.

2.1.2.1. Termal Karakterizasyon Yöntemleri

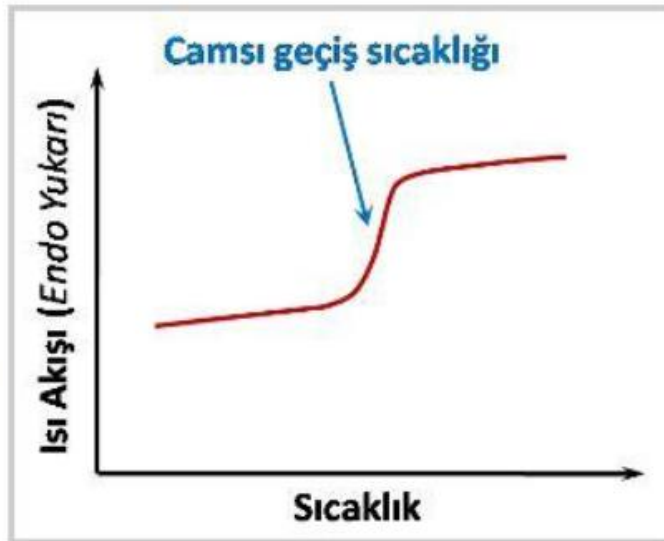
2.1.2.1.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetri veya DSC (Differential Scanning Calorimetry) tekniği malzemelerin ısı analizi için kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. Şekil 2.6.'da gösterilen sistem, biri referans diğeri ise numunenin bulunduğu iki ısıtıcıdan, bu sistemi ısı kaybı olmadan tutan bir hücreden ve ısı akışını kontrol eden bilgisayardan oluşur [23].



Şekil 2.6. DSC analiz şeması [23]

DSC yönteminde test edilen numunenin ve referansın sıcaklığını arttırmak için gerekli olan ısı miktarı, sıcaklığın zamana bağlı fonksiyonu olarak ölçülür. Numune ve referans test boyunca aynı sıcaklıkta tutulmaya çalışılarak ve aynı hızda ısıtılarak, numunenin ve referansın üzerindeki ısı akışının hızı ölçülür ve karşılaştırılır. Aradaki fark, malzeme bileşimi, kristallik ve oksidasyon gibi özelliklerin tayininde kullanılır. DSC ölçümü sonunda sıcaklık - ısı akışı grafiği elde edilir.



Şekil 2.7. Isı Akışı-Sıcaklık grafiği [23]

Isı akışı eğrisinin yukarı doğru kayması numunenin artık daha fazla ısı alması anlamına gelmektedir. Yani polimerin ısı sığasında bir artış olmaktadır. Polimerler camsı geçiş sıcaklığının üzerinde, kauçuğumsu yapıda, daha yüksek ısı sığasına sahiptir. Isı sığasındaki bu değişimi DSC ile ölçebildiğimiz için polimerlerin camsı geçiş sıcaklığını da bu sayede ölçebiliriz.

2.1.2.1.2 Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz, bir örneğin kütlesinde artan sıcaklık sonucu meydana gelen ağırlık değişimlerini kantitatif olarak veren bir tekniktir. Bir maddenin dehidrasyonu veya bozunması sırasındaki ağırlık değişimlerini zamana veya sıcaklığa bağlı olarak gözlemek mümkündür. Ağırlık değişimi yüksek sıcaklıklarda fiziksel veya kimyasal bağların kopması sonucunda meydana gelmektedir [23].

Analizler örneğin yükseltgenmesini engellemek amacıyla argon veya azot ortamında gerçekleştirilir. 5-20 mg aralığındaki örnek özel bir kroze içinde fırın bölmesine yerleştirilir. Örnek belirlenen bir sıcaklık programına göre ısıtılır. Isıtma süresince örneğin ağırlığı sürekli olarak kaydedilir.

Termogravimetrik yöntemlerin uygulamalarının yoğunlaştığı en önemli alan polimerler ile ilgili çalışmalar olarak gösterilebilir. Termogramlar, hazırlanan çeşitli polimer ürünleri için bozunma mekanizmaları hakkında bilgi verir. Bununla birlikte, bozunma şekilleri her bir polimer için karakteristik olduğundan, bunların tanınmalarında da kullanılabilmektedir.

2.1.2.1.3 Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

Bu teknik ile numunenin gerilime, sıcaklığa ve frekansa karşı gösterdiği tepki ölçülür. DMA yöntemi moleküllerin hareketlerinden kaynaklanan hal değişimlerini saptar. Viskoelastik malzemelerin mekanik özellikleri sıcaklık, frekans ve zamana göre belirlenebilir. Yapı - morfoloji ilişkisi hakkında da bilgi almak mümkündür. Polimerlerin moleküler yapı-özellik karakterizasyonu, camsı geçiş dönüşümleri,

kristalleşme, molekül kütlesi/moleküler bağlayıcılar, faz ayrımları, malzemede yaşlanma ve sünme gibi özellikler termosetlerde, termoplastiklerde, kauçuklarda, kompozitlerde ve biyomalzemelerde görülebilir [23].

2.1.3. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerleri ısı karşısında gösterdikleri dirence, fiziksel ve mekaniksel özelliklerine, kaynağına, kullanım amacı ve kullanım alanı vb. gibi çok farklı yöntemlere göre sınıflandırmak mümkündür. En yaygın olarak kullanılan sınıflandırma yöntemi polimerlerin ısı karşısında gösterdikleri davranışa göre; termoplastikler ve termosetler olarak sınıflandırılmasıdır [11].

Polimerler için kullanılan en yaygın sınıflandırma yöntemleri Tablo 2.1.'de gösterilmiştir:

Tablo 2.1. Polimerlerin sınıflandırılması [11]

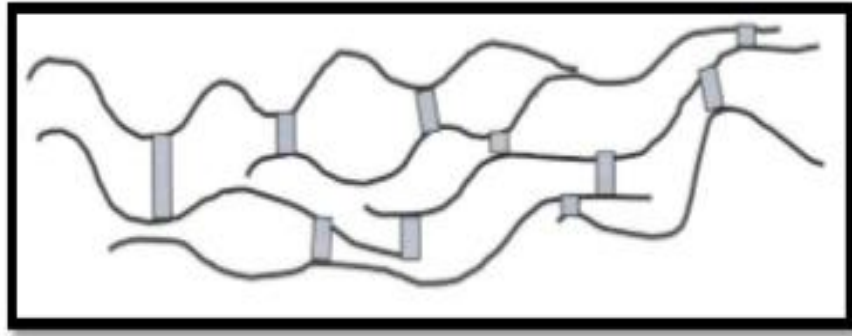
POLİMERLERİN SINIFLANDIRILMASI	
1- Isı Karşısında Gösterdikleri Dirence Göre	1.1- Termoplastikler
	1.2- Termosetler
	1.3- Elastomerler
2- Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Göre	2.1- Plastikler
	2.2- Fiberler
	2.3- Elastomerler
3- Kaynağına Göre	3.1- Doğal Polimerler
	3.2- Sentetik Polimerler
	3.3- Yarı Sentetik Polimerler
4- Monomerlerin Bileşimine Göre	4.1- Homopolimer
	4.2- Kopolimer
5- Zincir Yapısına Göre	5.1- Doğrusal Polimerler
	5.2- Dallanmış Polimerler
	5.3- Çapraz Bağlı Polimerler

2.1.3.1. Isı Karşısında Gösterdikleri Dirence Göre Polimerler

2.1.3.1.1 Termosetler

Termosetler yapısında oldukça fazla çapraz bağ içeren polimerlerdir. Yeniden ısıtıldıklarında yapıdaki ikincil bağlar ortadan kalkar ancak kovalent bağlar viskoz akışı engeller ve malzemenin ısıl işlemle yeniden şekillenmesine mani olur. Daha fazla ısıtmak ise malzemenin bozulmasına yani kimyasal ve yapısal çözünmeye neden olacağından dolayı şekil verme işlemi çapraz bağlar oluşmadan önce kalıba dökmeyle gerçekleştirilir [5].

Termoplastiklerin tersine Şekil 2.8.'de gösterildiği gibi yüksek oranda çapraz bağ yapısına sahip olan termosetler soğutulup ısıtıldıktan sonra tekrar şekillenemeyen sert ve kırılgan plastiklerdir.



Şekil 2.8. Termoset polimer zincirlerin çapraz bağlanması [12]

Termosetler özel sentetik reçinelerden yapılmışlardır. Bu maddeler ısıtıldıklarında yumuşar ve eriyik hale gelir ve basınç altında akarak kalıpları doldururlar. Bu esnada malzeme çapraz bağ reaksiyonları neticesinde sertleşir ve tekrar ergimez hale gelir. O yüzden bu maddeler bir defa kullanılırlar. Termosetlerin birçok türü bulunmaktadır. Kendilerine has özelliklerinden ötürü termoset polimerler tek başlarına kullanılmaz ancak diğer maddeler ile karıştırılarak kullanılırlar [13].

Termoset polimerlerin özellikleri şunlardır;

- Termoset malzemeler ısıtıldıkları zaman sıvı hale geçmeden bozunurlar. Ateş veya ısıyla herhangi bir erime olmadığı için koruyucu bir özellik sergileyebilir ve bu özellikten dolayı tercih edilir.
- 3 boyutlu yapı ve çapraz bağların varlığından ötürü ısı karşısında termosetlere göre daha karardır.
- Zincirler arası bağlar, makro moleküllerin yer değiştirmesine engel olduğu için genel sürünme özellikleri daha iyidir.
- Üretimde çevrim sürelerini arttıran çapraz bağlanmayı oluşturan kimyasal reaksiyonlar uzun zaman alır ve ek bir maliyet getiren ısıtma işlemi gerekir.
- Üretim sürecinin takibi termoplastik malzemelere göre zordur [14].

2.1.3.1.2 Elastomerler

Elastomerler de lineer zincirli diğer polimerlerdir. Ancak bu lineer zincirler arasına yaklaşık olarak her yüz monomerde bir çapraz bağ kasıtlı olarak eklenir. Böylelikle çapraz bağlanmalar malzemenin yaklaşık olarak % 300 oranında plastik deformasyona uğramadan uzamasını sağlar hem de yük kaldırıldığında orijinal boyutuna dönmesini sağlar. Oda sıcaklığında ikincil bağlar ortadan kalktığından dolayı malzeme lastik yapısındadır. Slikon, kauçuk, poliüretan elastomerlere örnek malzemelerdir [5].

2.1.3.1.3 Termoplastikler

Genel olarak termoplastikler uzun zincirleri arasında çapraz bağ bulunmayan düz zincirli polimer malzemeler olarak tanımlanırlar [5]. Yapıları genelde düz zincirli veya hafif dallanmış olup, üzerine ısı uygulandığında ergime dışında hiçbir özellik değişmesi göstermeyen, soğutulduğunda ise, tekrar aynı özellikleri gösteren maddelerdir. İstenildiği kadar ısıtma soğutma yapılabilen geri dönüşümlü olan plastiklerdir.

Eriyik halden soğutulan termoplastik polimerler kolaylıkla kristal yapıyı kuramazlar. Çünkü polimer zincirinin çokça kıvrılan ve büzülen yapısını, düzenli bir yapıya sokup, polimerin kristal oluşturması için yüksek enerjiye ihtiyaç vardır.

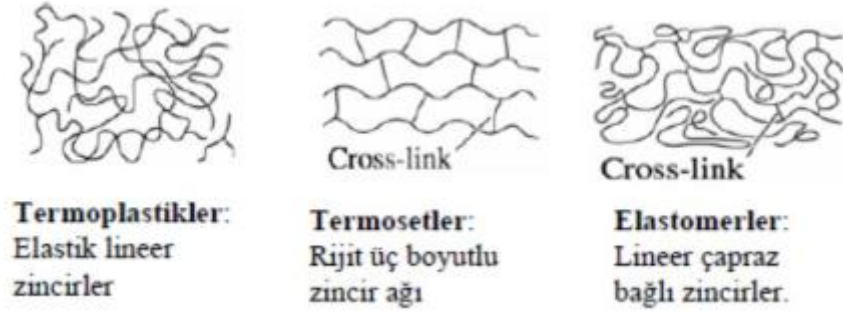
Termoplastikleri oluşturan kristalleşebilen zincirler ise tam anlamıyla mükemmel bir kristal yapı kuramaz. Bunun yerine hem amorf hem de kristal yapıyı barındıran yarı-kristaller oluştururlar. Yarı-kristalin içindeki amorf yapı elastikiyet sağlarken, kristal yapı da mukavemeti ve bükülmezliği sağlar.

Termoplastikler katılaştığı zaman iki tip moleküler yapıdan birine sahip olurlar: amorf veya yarı kristal yapı. Amorf polimerlerde, polimer zincirleri yapısal bir düzen göstermez. Moleküller arasında kendi kendini tekrar eden, düzenli boşluklar ve mesafeler yoktur. Amorf polimerler yeterince düşük sıcaklıklarda sert ve kırılındırlar. Isıtıldıklarında camsı geçiş sıcaklığı (T_g) denilen bir sıcaklıkta yumuşar ve kauçuk gibi özellikler gösterirler. Yarı kristal polimerlerin örgüsünde amorf ve kristal yapılar bir arada bulunur. Polietilen, Polipropilen, Poliamid, Poliester gibi plastikler yarı kristal yapıdadırlar. Bu polimerler camsı geçiş sıcaklıkları altında kırılındırlar. Camsı geçiş sıcaklığı üzerine çıktıklarında belli derecede yumuşaklık kazanmakla birlikte polimer örgüsü sıkıca bir arada durur. Bu malzemeler, soğutuldukları zaman moleküler yapıları yüksek oranda düzenlidir ve kristal yapıdadırlar. Kristal bölgelerin ölçüsü, zincirlerin yapısı ve soğutma hızına bağlıdır. Yarı-kristalin malzemeler, moleküler yeniden düzenlenme nedeniyle boyca çekerler.

Termoplastik malzemeler özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde yüksek sıcaklıklarda dahi yüksek performans düşük maliyet gibi gereksinimler için termoset kompozitlere oranla daha geniş yer almaktadır. Termoplastiklerin başlıca özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Hammadde olarak raf ömürleri uzundur.
- Geri dönüşüm kabiliyetleri bulunmaktadır.
- Yüksek süneklik oranına (%1-500) sahiptirler.
- Termoplastik malzemeler, işlem sonrası tekrar ısıtılıp şekillendirilebilirler.
- Bazı çeşitlerinin kompozit malzeme üretiminde matris olarak kullanılmaları zor ve maliyetleri yüksektir.
- Oda sıcaklığında işlenmeleri zordur.

- Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere ihtiyaç duyulur.
- Termoplastik hammaddeleri, termoset malzemelere göre daha pahalıdır [15].



Şekil 2.9. Plastik moleküllerinin dizilişi [16]

Yarı kristal termoplastikler (PP, PE, PA vb.) beyaz ve donuk bir görüntüye sahiptirler. Amorf termoplastikler (PC, PMMA, PS, PVC vb.) molekül yapısı şeffaflık bakımından cama benzeyen şekilsiz plastiklerdir. Sıkça kullanılan mühendislik termoplastikleri aşağıdaki gibidir:

Akrilonitril Butadien Stiren (ABS), Poliamid (PA – Naylon), Polietilen (PE), Düşük Yoğunluklu Polietilen (DYPE), Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Polikarbonat (PC), Polipropilen (PP), Polivinil Klorür (PVC), Polimetil Metakrilat (PMMA), Poliasetal (POM), Polisülfon (PSU), Polibütilen Tereftalat (PBT) [13].

Tablo 2.2. En çok kullanılan termoplastikler ve kullanım alanları

TERMOPLASTİKLER	UYGULAMALAR
Yüksek yoğunluklu Polietilen (YYPE)	Borular, Tanklar, Şişeler, Kasalar
Alçak yoğunluklu Polietilen (AYPE)	Sebze Çantaları, Oyuncaklar
Polipropilen (PP)	Şapkalar, Yoğurt kapları, Bavullar, Borular
Polistiren (PS)	Çoğunlukla saydam parçalar
Poliamid (PA)	Yataklar, Dişliler, Civatalar,
Polivinil Klorür (PVC)	Gıda paketleri, Ayakkabılar, Zemin

2.1.4. Poliamidler

Poliamidler amid grupları (CONH) ile tiplendirilir ve çok çeşitli malzeme tipleri (poliamid 6,6; poliamid 6,12; poliamid 4,6; poliamid 6; poliamid 12, vb.) kapsar ve çok geniş yelpazede mevcut özellikler sağlar. Poliamidler film ve elyaf üretiminde kullanılır, ancak aynı zamanda bir kaplama bileşiği olarak da mevcuttur.

Tablo 2.3. Poliamid örnekleri ve tekrarlama ünitesi

POLİAMİD (PA)	TEKRARLAMA ÜNİTESİ
6	
6,6	
6,1	
11	
12	

Poliamidlerin çoğu yarı kristalli olma eğilimi gösterirler. Termal ve kimyasal dirençleri yüksek çok sert malzemelerdir.

Poliamidler çevrelerinden gelen nemi emmeye eğilimlidir. Bu emilim, dengeye ulaşılan kadar devam eder ve boyutsal kararlılık üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Genel olarak, poliamidin darbe dayanımı ve esnekliği, nem içeriğiyle artma eğilimi gösterirken, camsı geçiş sıcaklığının (<50-80 °C) altında sertlik azalmaktadır. Nem içeriğinin derecesi sıcaklığa, kristallik ve parça kalınlığına bağlıdır.

Poliamidler çoğu kimyasal maddeye karşı iyi direnç gösterme eğilimindedir, ancak güçlü asitler, alkol ve alkaliler tarafından saldırıya uğrayabilirler.

Poliamidler yüksek sıcaklıklı ortamlarda kullanılabilir. Isı stabilize sistemler, 185 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda (güçlendirilmiş sistemler için) sürekli performans sağlar.

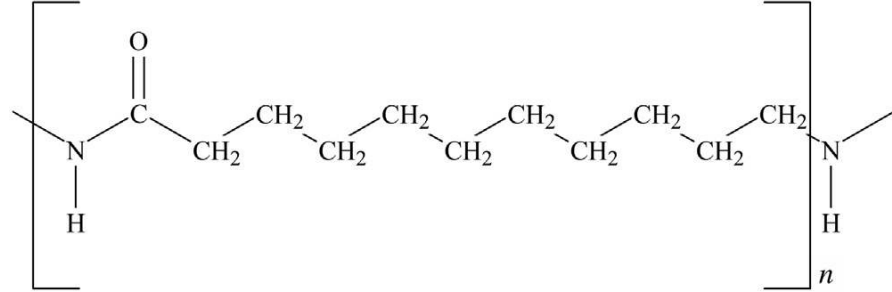
Tablo 2.4. Poliamidlerin fiziksel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Gerilme Mukavemeti (N/mm ²)	90-185
Çentik Darbe Dayanımı (Kj/m)	5-13
Yoğunluk (g/cm ³)	1,41

2.1.4.1. Poliamid 11 (PA11)

Poliamid 11 (PA 11), yenilenebilir hint yağından üretilen ve zincirler içindeki komşu amid grupları arasında on metilen birimden oluşan uzun sekanslar içeren, biyo bazlı yüksek performanslı bir polimerdir. PA 11'in tarihi 80 yıldan daha önce başlamıştır; ancak, üstün özellikleri ve dolayısıyla geniş bir uygulama yelpazesi nedeniyle gelişimi sürdürülebilir bir şekilde ilerlemektedir [17].

Poliamid 11'in yalnızca bir monomeri, aminoundekanoik asidi vardır. Bir uçta gerekli amin grubunu ve diğer uçta asit grubunu içerir. Amid gruplarının azotu arasında 11 karbon içeren poliamid üretmek için kendisiyle polimerize olur. Yapısı Şekil 2.10.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10. PA11'in kimyasal yapısı

Poliamid 11 (PA 11), dengeli özellik profili nedeniyle ve kısa vadeli yenilenebilir doğal kaynaklardan üretildiği için artan üretim hacmine sahip, yarı kristalli, yüksek performanslı bir termoplastik mühendislik polimeridir.[18]

PA 11 yaklaşık 40 ° C'ye kadar düşük sıcaklıkta ve yaklaşık 150 ° C'ye kadar olan sıcaklıklarda iyi bir termal stabilite gösterir. PA 11'in diğer poliamidlere kıyasla diğer bir üstün özelliği, düşük nem emilimidir ve iyi bir boyutsal stabilite sağlar. Bu nedenle, elektrik kablo kılıfı için ve yüksek ve düşük sıcaklık performansı ve çok çeşitli nemli ortamlarda uygulanabilirliği ile ilgili hidrolik ve pnömatik hortumlar olarak kullanılır.

PA11, deniz ve kara uygulamalarında yağ ve gaz boruları için, otomotivlerde transfer hatlar, hava freni sistemleri için, kimyasal ve çözücülere karşı iyi bir dirence sahiptir [18].

(PA11), 1,03 g /cm³ yoğunluğa sahiptir. Tasarımlarında ağırlığı azaltmanın yollarını arayan pek çok endüstriyel alan poliamid 11 ile uzun süreli dayanıklılık ve mukavemet sağlayarak metal kalitesini arttırmayı daha da mümkün kılmaktadır [17]. PA11, daha fazla mukavemet ve daha fazla ağırlık azaltma için kompozit tasarımlarda polimer matrisi olarak da kullanılabilir.

PA11 diğer mühendislik polimerleriyle karşılaştırıldığında, iyi aşınma ve çatlak yayılma direnci sergiler. Bu, büyük ölçüde, son derece düşük bir sürtünme katsayısını indükleyen pürüzsüz yüzey kaplamasından dolayıdır.

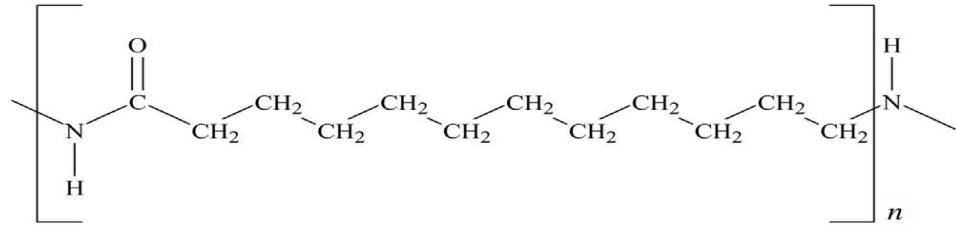
PA11 geniş sıcaklık aralığında mükemmel mekanik özellikler gösterirler. Kırılmada yüksek gerilme direncine sahiptir. En sağlam yüksek performans polimerlerinden biri olan PA11 oda sıcaklıkları yanı sıra çok düşük sıcaklıklarda da çok iyi darbe direnci göstermektedir.

(PA11) Temel özellikleri [17]:

1. Düşük yoğunluk, metal ve kauçuk yerine kullanılabilme,
2. Yakıt, yağlar, gazlar, su, çözücüler ve endüstriyel sıvılara karşı kimyasal dayanım,
3. Düşük nem çekme: boyutsal kararlılık, özelliklerin korunumu,
4. Mekanik dayanım: iyi darbe, uzama, aşınma direnci,
5. Esneklik, plastiklik ve elastik özellikleriyle özdeşleştirilmiş,
6. Yaşlanmaya karşı mükemmel direnç, dayanıklılık,
7. Geniş çalışma aralığı: -60°C'tan +150°C'ye kadar işleme,
8. Düşük yakıt, gaz geçirgenliği

2.1.4.2. Poliamid 12 (PA12)

Poliamid 12'nin yalnızca bir monomeri, aminolaurik asidi vardır. Bir ucunda gerekli amin grubu, diğer ucunda asit grubu vardır. 2 amid grubunun 2 azot atomu arasında 12 karbon içeren poliamid üretmek için kendisiyle polimerize olur.



Şekil 2.11. PA 12'nin kimyasal yapısı

Poliamid-12, sertliği, gerilme mukavemeti ve aşınmaya karşı direnci gibi mükemmel mekanik özellikleri, düşük su-duyarlılığı gibi diğer üstün özelliklerle birleştirir. Poliamid-12, tüm önemli poliamidler arasında en düşük erime noktasına sahiptir.

PA12, 1,01 g /cm³ yoğunluğa sahiptir. Bu sayede metal ve kauçuklar yerine kullanılabilir. PA12 geniş sıcaklık aralığında mükemmel mekanik özellikler gösterirler. En sağlam yüksek performans polimerlerinden biridir. PA12 oda sıcaklıkları yanı sıra çok düşük sıcaklıklarda da çok iyi darbe direnci göstermektedir.

Poliamid 12 (PA12) Temel Özellikleri [19]:

1. En düşük nem emme,
2. Donma noktasının altındaki sıcaklıklarda bile olağanüstü darbe ve çentikli darbe dayanımı,
3. Greslere, yağlara, yakıtlara, hidrolik sıvılara, çeşitli solventlere, tuz çözeltilerine ve diğer kimyasallara karşı mükemmel direnç,
4. Enjeksiyonla kalıplanmış veya gömülü metal parçalar da dahil olmak üzere, stres çatlamasına karşı mükemmel direnç,
5. Mükemmel aşınma direnci,
6. Düşük sürtünme katsayısı,
7. Gürültü ve titreşim sönümleme özellikleri,
8. Yüksek frekanslı çevrimsel yükleme koşulu altında iyi yorulma direnci
9. Yüksek işlenebilirlik

Tablo 2.5. PA11 ve PA12 özelliklerinin karşılaştırılması [20]

ÖZELLİKLER	BİRİM	PA 11	PA 12
MONOMER YAPISI	-	$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$
MONOMER CAS NUMARASI		2432-99-7	947-04-6
YOĞUNLUK	g cm^{-3}	1,026-1,06	1,01-1,02
ERİME SICAKLIĞI (DSC)	$^{\circ}\text{C}$	176-198	174-185
ISI İLETKENLİĞİ	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0,26	0,24
CAMSI GEÇİŞ SICAKLIĞI (TG)	$^{\circ}\text{C}$	35-46	55
SERTLİK (SHORE D)	-	70	77
SU EMME YÜZDESİ (14GÜN/23 $^{\circ}\text{C}$)	%	1,9	1,6

2.1.5. Polimer Kaplamalar

Polimerler üstün özellikleri nedeni ile kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. İyi bir kaplama için iyi bir yüzey elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için kaplanacak yüzeylere ön temizlik yapılmaktadır. Yüksek kaliteli bir kaplama elde etmek ve optimum performans elde etmek için polimer kaplama öncesi astar kullanılmaktadır. Koruyucu kaplamanın ömrü büyük ölçüde ön yüzey işleminin kalitesine bağlıdır. Metal parçanın doğası ve şekli maruz kalacağı sıcaklık kaplayıcı seçerken ve yüzey işleme seçiminde yol gösteren ana faktörlerdir. Bir astar, korunacak yüzey ile kaplama arasında güçlü bir yapışma sağlayan kimyasal bir bağ oluşturur. Ayrıca, kaplamanın hasar görmesi halinde korozyona karşı dayanıklı koruma sağlar.

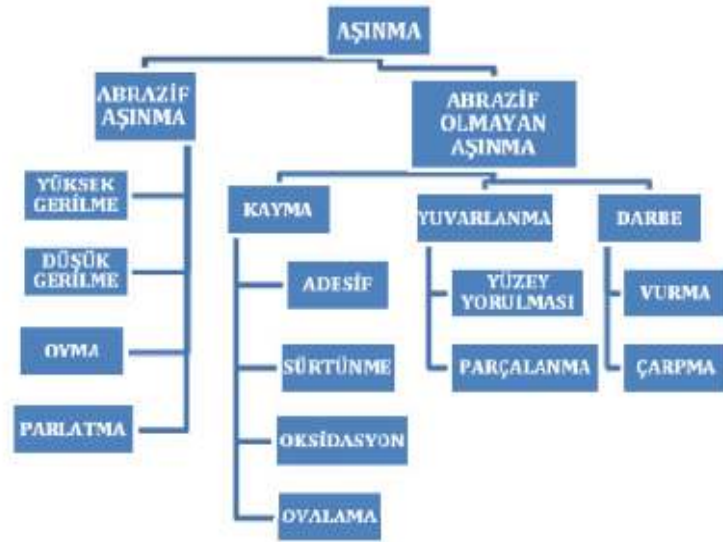
2.2. Aşınma

Aşınma temas eden yüzeylerden mekanik etkiler ile malzeme kaybı olarak tanımlanır. Aşınmanın sert ve yumuşak olmak üzere farklı şekli mevcuttur. Sert

parçacıkların olduğu ve aşınma çeşidi olarak abrazyon ve erozyonun görüldüğü durumlarda yüksek spesifik aşınma oranı olan “K” değeri elde edilir. Yağlanmamış kayma şartlarında ve sert parçacıkların aşınmasında meydana gelen “K” değeri pratik mühendislik uygulamalarında tolere edilemez. Çoğu tribolojik tasarım yağlamayla aşınma oranını azaltır ve aşınmanın azalmasıyla ömürde artış sağlanır [22].

2.2.1. Aşınma Mekanizmalarının Sınıflandırılması

Aşınmanın sınıflandırılması için birçok çalışma yapılmıştır. ASTM’ye göre aşınma abrazif ve abrazif olmayan olarak iki grupta incelenmektedir.



Şekil 2.12. Aşınmanın sınıflandırılması [21]

2.2.1.1. Abrazif Aşınma

İki yüzey arasında karşı yüzeyin sertliğinden daha fazla sertlikte pürüz veya parçacık içeren sistemlerden görülür. Abrazif olmayan aşınma, yağlanmış sistemlere denir. Bu terim ASTM tarafından ortaya koyulmuştur. Kırılma tokluğu yüksek olan yumuşak metaller, seramikler kayma esnasında sert parçacıklar tarafından plastik akışa uğratılır. Kırılma tokluğu düşük olan gevrek malzemeler de, yüzey pürüzlülüğü kırılması ile madde kaybına uğrarlar.

2.2.1.2. Adesif Aşınma

Adesif aşınma birbirine göre hareket eden mekanizmalar arasında adhezyonla malzeme transferi olarak tanımlanabilir. Genellikle aşınma mekanizmaları adesif aşınma ile başlar, abrazif hareket ile parlatma işlemi meydana gelir [22].

Adesif aşınmasında yükün etkisi altında pürüzlülük seviyesinde oluşan küçük temas alanlarında çok büyük basınçlar meydana gelmektedir. Bu temas alanlarında mikroskobik seviyede kaynak bağları oluşmaktadır. İzafî hareket sırasında bu bağlar kopar. Bağların kopması sırasında meydana gelen aşınma kaybı adesif aşınmasını ifade eder [24].

Adesif aşınma işlemini belirleyen ise Archard ilişkisi ile tanımlanmaktadır;

$$\gamma = \frac{k(N.V)}{H} \quad (2.1)$$

Burada; γ birim zamandaki aşınma hacmi; N uygulanan yük; V kayma hızı; H :sürtünen parça çiftinin yumuşak olan tarafının sertliği; k aşınma katsayısıdır. K değerleri literatürden elde edilmektedir.

Polimerler abrazif ve adhesiv aşınmaya maruz kalırlar. Metal üzerinde hareket eden polimerlerin davranışını, ikisi arasındaki adhesiv aşınma karakterize eder. Polimer-polimer sistemindeki aşınma, polimer-metal sistemindeki aşınmadan daha serttir. Polimer malzemelerde adezyon aşınması en çok PA6, PA6.6, PA66, PTFE gibi polimer malzemelerde sert katı yüzeye polimer malzemenin sıvanmasından sonra polimer-polimer sürtünmesinden meydana gelir [24].

Günümüzde sürtünme kuvvetleri, yük ve gerçek temas yüzeyleri ile ilgili pek çok teori geliştirilmiştir. Bu 3 parametrede gerçekleşen herhangi bir değişiklik aşınmayı büyük ölçüde etkiler. Malzemenin aşınma direnci kabiliyeti, bir aşındırıcı karşısında aşınmaya maruz kaldığında ağırlığındaki azalmanın ölçülmesi açısından en çok yapılan testlerdendir. Aşınma direnci, polimerik malzemelerin direnci, özellikleri, esnekliği, katkı maddelerinin miktarı gibi faktörlerden etkilenir.

Aşınma direncini arttırmak ve sürtünme katsayısını düşürmek için MoS, grafit, karbo siyahı, vaks, gibi katı yağlayıcılar kullanılmaktadır. Katı yağlayıcılar genellikle polimer-çelik çifti sisteminde çelik karşı yüzeyinde sürekli transfer film oluşturarak sürtünme katsayısının azalmasına katkı sağlamaktadır [26].

2.2.2. Aşınma Direncini Etkileyen Faktörler

2.2.2.1. Malzeme seçimi

Aşınma durumunda malzeme seçimi doğru yapılmadığında, beklenen performans ve dayanım elde edilemediği gibi ciddi maddi kayıplara da sebep olabilmektedir.

2.2.2.2. Sürtünme

Bazı metallerde sürtünme katsayısı düşük olmasına karşın büyük oranlarda aşınma oluşabilmektedir. Bunun sebebi yüzey pürüzlülüğünün fazla olup parçalar arası transferden kaynaklanmasıdır. Bununla birlikte sürtünme katsayısının yüksek olduğu bazı durumlarda aşınmanın çok az olduğu görülebilmektedir.

2.2.2.3. Yüzeye uygulanan yük

Yüzeye uygulanan yük ile aşınma genellikle doğru orantılı olarak artmaktadır. Deneysel çalışmalar bu teoriyi desteklemektedir.

2.2.2.4. Sürtünme mesafesi

Sürtünme mesafesinin artması ile birlikte aşınma miktarında zamana bağlı olarak artış gözlenmektedir.

2.2.2.5. Yüzey sertliği

Yüzey sertliği aşınmayı etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Yüzey sertliği artırılarak aşınma azaltılabilir veya aşınmadan kaynaklanan yüzey deformasyonu sabit tutulabilir.

2.2.2.6. Yağlama

Aşınmaya karşı alınan en önemli önleyici tedbir yağlamadır. Yağlama ile aşınma miktarı azaltılabilir.

2.2.3. Aşınma Testi ve Ölçüm Yöntemleri

Aşınma testi için birçok ölçüm yöntemleri mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanları ağırlık farkı methodu, kalınlık farkı metodu, iz değişim methodudur.

2.2.3.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybı, hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek de bulunabilir.

$$W_s = \frac{\Delta V}{F_n L} = \frac{\Delta m}{\rho F_n L} \quad (2.2)$$

Burada; W_s : Özgül aşınma miktarı, ΔV : Hacimsel malzeme kaybı, Δm : Ağırlık Kaybı, ρ : Yoğunluk, F_n : Uygulanan normal kuvvet, L : Kat edilen toplam yol uzunluğudur.

2.2.3.2. Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılması suretiyle elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır.

2.2.3.3. İz Değişim Metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile, geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun değişimi ölçülür. Uygulamada iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas Piramit veya bilyanın bıraktığı iz boyutlarındaki değişme mikroskopta ölçülerek belirlenir.

2.3. Sürtünme

Sürtünme özellikleri dişli çarklar, kaymalı ve yuvarlanmalı yataklar, kızaklar gibi elemanlarda büyük önem taşır. Temas halinde bulunan ve birbirine göre izafi harekette bulunan iki eleman arasındaki sürtünme harekete karşı direnç olarak ifade edilmektedir. Sürtünmeyi ifade eden denklem Eşitlik 3.'de verilmiştir [24].

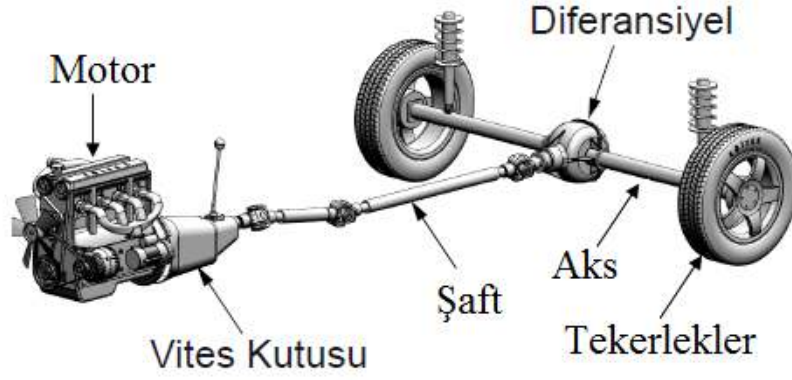
$$\mu = \frac{F_s}{F_n} \quad (2.3)$$

Burada; μ : sürtünme katsayısı, F_s : sürtünme kuvveti, F_n : yüzeye uygulanan yükür.

Sürtünme katsayısı bir malzemenin diğeri üzerinde ne kadar kolay kayacağını gösterir. Düşük sürtünme katsayısı genellikle aşınma direncinin en iyi göstergelerinden biridir [25].

2.4. Kardan Mili

Kardan mili, şanzımanı diferansiyele bağlayan parçadır. Mafsal ise kardan milini şanzımana ve diferansiyele bağlayan parçadır. Kardan mili, vites kutusunda oluşturulan döndürme momentini veya torku diferansiyele aktarır. Mafsallar sürüş açısına göre şafta gerekli esnekliği sağlarlar.



Şekil 2.13. Bir araca ait güç aktarma organları sistemi

2.4.1. Kardan Millerinin Sınıflandırılması

Kardan milleri genel olarak iki sınıfta incelenmektedir.

Tek Parçalı Kardan Milleri: Tek parça milden meydana gelmiştir. Günümüzde kamyon, otobüs vb. ağır hizmet araçlarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.14. Tek parçalı kardan mili

İki Parçalı Kardan Milleri: Ağırlık merkezinin yere daha yakın olduğu otomobil gibi taşıtlarda kullanılır.

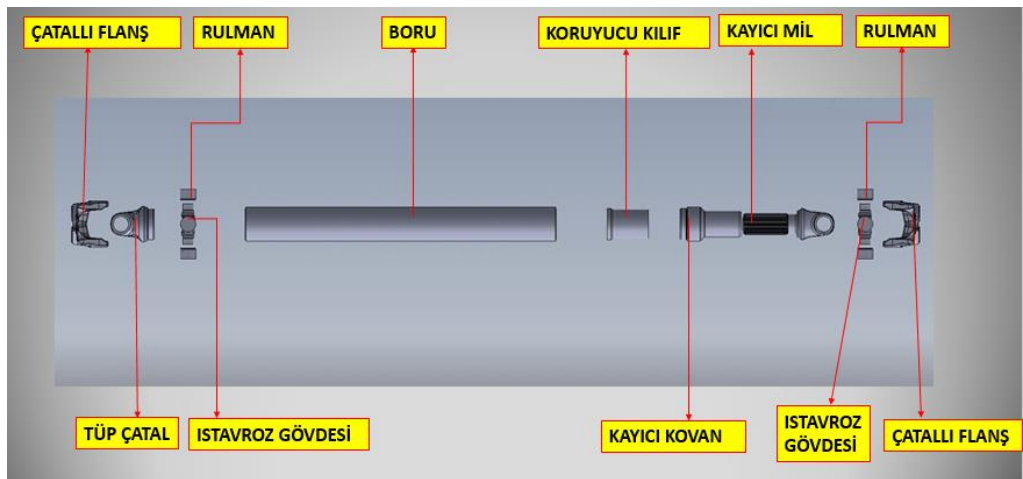


Şekil 2.15. İki parçalı kardan mili

2.4.2. Kardan Mili Komponentleri

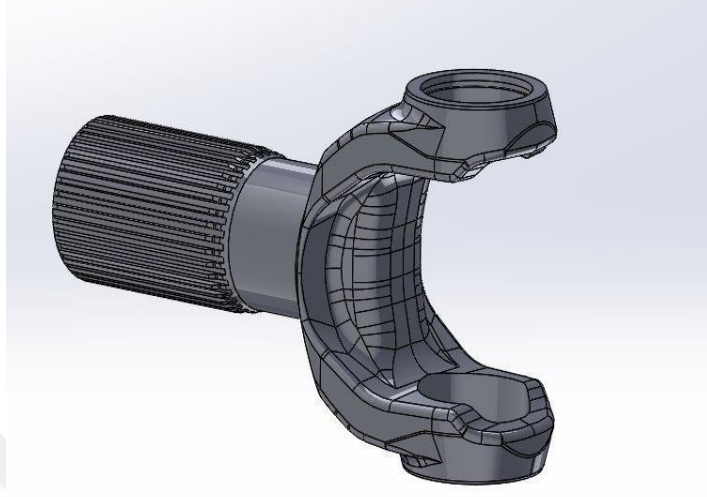
Tek parçalı bir kardan mili aşağıda belirtilen komponentlerden oluşmaktadır.

- Çatallı flanş
- Tüp çatal
- Istavroz gövdesi ve rulman
- Boru
- Koruyucu kılıf
- Kayıcı takımlar



Şekil 2.16. Kardan mili komponentleri

Kayıcı takımlar genel olarak kayıcı kovan-çatallı mil ve kayıcı çatal-kayıcı mil olarak iki ana takımdan oluşurlar. Kayıcı kovan ve kayıcı çatalar broş tezgahın da işlenmektedir. Kayıcı mil ve çatallı miller ise üzerindeki kanallar talaş kaldırmadan işlenmektedir.

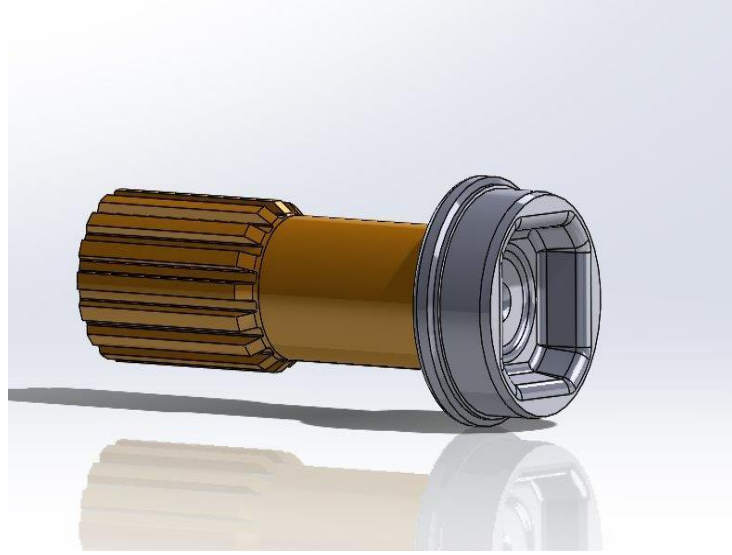


Şekil 2.18. Çatallı mil

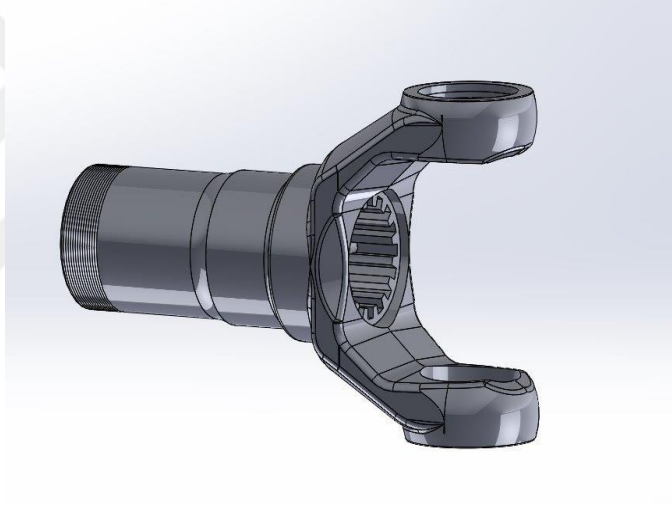


Şekil 2.19. Kayıcı kovan

Kayıcı takımlarda genellikle kaplama sonrası yapılacak kalibrasyonlar dikkate alınarak kayıcı kovan ve kayıcı mil kaplanmaktadır. Şekillerde gösterilen takımlarda, parçalar iç içe geçeceği için dişlilerin kaplama sonrası tekrar broş çekilerek kalibrasyonu yapılmaktadır. Dişliler arası boşluk oluşumu istenmez.



Şekil 2.20. Kayıcı mil



Şekil 2.21. Kayıcı çatal

Kayıcı kovan ve kayıcı millerde kaplanacak alan belirlerken çevresel faktörlerden korumak amaçlı takılan kılıflar ve kılıfların hareketi göz önünde bulundurulur.

Arkadan çekiçli araçlarda, seyir sırasında arka aks yoldan gelen etkiler nedeniyle aşağı yukarı hareket eder. Bu durum vites kutusu ile diferansiyel arasındaki mesafeyi sürekli değiştirir. Bu nedenle şaftın boyunun uzaması veya kısılması gereklidir. Ancak şaftlar elastiki bir malzemeden yapılmadıkları için uzama veya kısılma imkansızdır. Şaftın boyunda yol şartlarına göre değişim olmazsa araç

zıplayarak engelleri aşacaktır. Bu durumda içerideki yolcu rahatsız olacak veya taşınacak malzeme zarar görecektir.

Kayıcı takımlar zorlu şartlarda da çalışabilmelidir. Bu durum, sürekli şartlarda yağlayıcı maddenin bozulmadan korunması zorunluluğu getirdiği gibi, universal mafsal, kayıcı ünite, arayatak gibi hayati komponentlerin de bozulmadan görevlerini yerine getirebilmesini gerektirir. Bu kayıcı takım komponentleri üzerinde çoğunlukla elastomerden yapılan veya kısmi elastomer içeren sızdırmazlık elemanları bulunur. Bu elemanlara keçe denir. Keçeler, kayıcı takımları çevreleyen koruyucu kılıfların uç kısımlarına takılır. Bu keçeler, toz, kum, çamur ve diğer yabancı maddeler, sıcaklık, nem, tuz, ozon gibi zararlı ve tahrip edici çevre şartlarına dayanmalıdırlar.

2.5. Literatür Özeti

Uçar ve ark. [28], 2004 yılında ticari yük taşıtlarında kullanılan kardan kaplininin ara milinde bulunan eksenel kayar mafsalın ve taşıt askı sisteminin hareketlerini analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Moment iletimi esnasında eksenel kayar mafsalda oluşan sürtünme kuvvetinin incelenmesi gayesi ile yapılan deneysel çalışmada, sürtünme kuvvetinin iletilen torkla doğru orantılı olarak arttığını görmüşlerdir. Bu da doğrudan diferansiyel miline ve yatağına, taşıt şasisi üzerindeki ara destek yatağına ve vites kutusu çıkış miline yansımış olduğunu bulmuşlardır.

Yaptıkları deneysel çalışmada SAE 1 3/8"x16C tipi profilli eksenel kayar mafsal kullanmışlardır. Burada gres yağı ile yağlanmış poliamid 11 kaplanmış profillerin statik sürtünme katsayısını $\mu_s:0.078$, kaplamasız profillerin statik sürtünme katsayısını $\mu_s:0.127$ olarak tespit etmişlerdir. Yağsız şartlarda ise kaplamalı profillerin statik sürtünme katsayısını $\mu_s:0.081$, kaplamasız profillerin sürtünme katsayısını $\mu_s: 0.148$ olarak tespit etmişlerdir. Buradan kayar mafsalın eksenel hareketinden dolayı oluşan sürtünme kuvvetini asgariye çekmek için profil yüzeyleri sürtünme katsayısı düşük ve yüzey basınç ve aşınma mukavemeti yüksek malzemeler ile kaplanmasının daha uygun olacağını görmüşlerdir.

Bello ve ark. [29], 2003 yılında PA11 kaplı karbon çelik enjektör borularının özelliklerini tribolojik açıdan incelemiştir. 300-150-5 mm karbon çelik levha üzerine yaklaşık 270 µm kalınlığında PA11 kaplamışlardır. Aynı zamanda PA11 tozundan ürettikleri monolitik numune ile kaplamalı numuneyi karşılaştırmışlardır. Bu kaplamaların bir korozyon bariyeri görevi görmesinin yanı sıra, çarpma ve aşınmaya dayanması gerekir. Bu nedenle, termoplastik PA 11 bazlı bir kaplamanın tribolojik özelliklerini incelemek için bu çalışmada alternatif bir yöntem olan mikro aşınma testini uygulamışlardır. Yük, kayma mesafesi, kayma hızı, aşındırıcı morfoloji ve tip gibi test parametrelerinin kaplamanın aşınma oranını önemli ölçüde etkilediği bulmuşlardır. PA 11 kaplamanın aşınma oranının, monolitik PA 11'den daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Demirci [24], 2009 yılında bu çalışmada; 6 farklı polimer malzemeden (PA 66, PA 6.6, PA6.6 + %30 Cam elyaf, PA 66 + %20 Cam elyaf + %25 PTFE, PA 66 + %18 PTFE, PA 66 + % 25 Cam elyaf + % 3 MoS₂) imal edilmiş kaymalı yatakların sürtünme kuvvetleri, sürtünme katsayıları, aşınma miktarları ve yağlama özellikleri farklı 3 hız ve basınçta incelenerek aşınma performanslarını değerlendirmiştir.. Deneyleri kuru kaymalı yatak test düzeneğinde statik yük altında yapmıştır. Elde edilen veriler grafik olarak sunulmuş ve aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri yardımı ile 6 farklı polimer malzemelerden imal edilmiş kaymalı yataklar için, en uygun çalışma şartları ve kaymalı yataklardaki sıcaklık artışını belirlemiştir. Cam elyaf takviyesi kaymalı yataklarda termal iletkenlik, yük taşıma kapasitesi ve aşınma direncini sağlamıştır. Cam elyaf ve MoS₂ katkılı kaymalı yataklarda tüm çalışma şartlarında diğer numunelere göre daha düşük sürtünme katsayısı elde etmiştir. PTFE katkılı kaymalı yataklarda ise 0,5 m/s gibi düşük kayma hızlarında düşük sürtünme katsayısı elde etmiştir. Hızın artması ile sürtünme katsayısında yükselmeler gözlemlenmiştir. Kayma hızlarının artmasıyla (1m/s ve 1.5 m/s) kaymalı yatakların sürtünme katsayılarının arttığını tespit etmiştir.. Aynı zamanda kayma hızının artması, kaymalı yatakların aşındırıcıya temas eden yüzeylerinde sıcaklık artışına da neden olduğunu bulmuştur.

Bello ve ark. [30], 2005 yılında poliamid (PA11) bazlı kaplamaları araştırmıştır; iki tanesi farklı tipte katı dolgu maddeleri (TiO₂) farklı oranlarda

doldurulmuş ve iki tane dolgusuz kaplama, karbon çelik yüzeylere biriktirilmiştir. Testleri bir Phoenix Tribology TE99 mikro-aşınma test cihazı kullanılarak yapmışlardır. 25 mm çapında sertleştirilmiş bir karbon çelik bilya, numuneye karşı yüklenmiş ve 0.375 g / cm^3 katı konsantrasyonun da 5 μm 'lik bir silisyum karbür (SiC) aşındırıcı çamur varlığında döndürülmüştür. Dolguların genellikle PA11 kaplamaların aşınma direncini arttırmadığını gözlemlemişlerdir. TiO_2 ilave edilmesi mütevazı bir etkiye sahipken, TiO_2 ve dolomit ilave edilmesi gerilme ve stress değerlerini azalttığını, bununla birlikte, ikincil dolomit dolgu maddesinin mevcudiyetinin, TiO_2 dolgu kaplamaya kıyasla yaklaşık % 20 daha fazla aşınma direnci sağladığını bulmuşlardır.

Leong ve ark. [31], 1999 yılında iki tip termoplastik toz olan PA11 ve düşük yoğunluklu polietilen kullanılarak silindirik metal numunelerinin akışkan yataklı kaplaması üzerinde yapılan deneysel bir araştırma yapmışlardır. Daldırma süresi, ön ısıtma sıcaklığı ve parçacık boyutu dağılımının kaplama kalınlığı ve yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kaplama kalınlığı, her iki toz tipi için ön ısıtma sıcaklığı ile artar. Hem naylon-11 hem de polietilen tozlar için kabul edilebilir yüzey kalitesi elde etmek için 240°C ila 300°C arasındaki ön ısıtma sıcaklıkları gereklidir. Genel olarak, kaplama kalınlığının hassas kontrolünü sağlamak için, 2 saniyeden kısa daldırma süreleri önerilmez. Bu nedenle, sırasıyla poliamid 11 ve polietilen tozlarla 400 ve 600 mm'den daha küçük kaplama kalınlıklarına ulaşmak zor olduğunu tespit etmişleridir. Her bir tozun gerçek daldırma süresi, deneysel olarak elde edilen kaplama kalınlığı grafiklerinin kullanılmasıyla tahmin edilebilir sonucuna varmışlardır.

2.5.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında kardan millerinde kullanılan kayıcı takımların mevcutta kaplanan poliamid 11 polimer kaplaması yerine, maliyet açısından daha uygun, performans ve dayanım bakımından daha iyi olması hedeflenen poliamid 12 tozu ile kaplama çalışmaları yapılarak kullanılabilirliğinin tespiti, performanslarının karşılaştırılması ve iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Deneyisel çalışmalarda kaplama malzemesi olarak Arkema rilsan firmasından Poliamid 11 (PA11) tozu ve Pulron firmasından Poliamid 12 (PA12) tozu tedarik edilmiştir. Kaplama astarı olarak Arkema rilsan firmasından epoksi bazlı primgreen LAT 12035 tedarik edilmiştir. Kaplama yapılması için numuneler 42CrMoS4 çelikten kesilmiştir. PA11 ve PA12 mekanik ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. PA11 ve PA12 Mekanik ve fiziksel özellikleri

MEKANİK ÖZELLİKLER		PA11	PA12
ÖZELLİKLER	BİRİM	DEĞER	DEĞER
Akma Dayanımı	MPa	41	42
Gerilme Dayanımı	MPa	69	70
Uzama	%	24	15
Sertlik (Shore D)	-	75	77
KİMYASAL ÖZELLİKLER		PA11	PA12
ÖZELLİKLER	BİRİM	DEĞER	DEĞER
ERİME NOKTASI	°C	183	180
YOĞUNLUK (23 °C)	g/cm ³	1,03	1,01

3.2. Yöntem

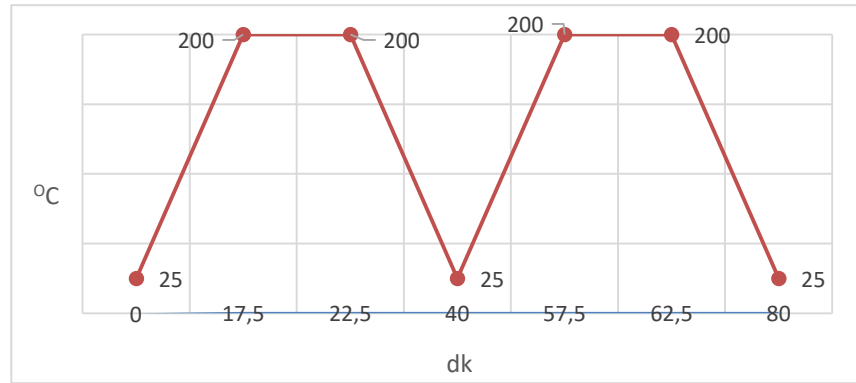
3.2.1. Diferansiyel Kimyasal Analiz (DSC)

DSC testleri, Şekil 3.1.'de gösterilen TA DS 250 marka cihazı kullanılarak, Manisa Celal Bayar Üniversitesi bünyesinde bulunan Deneyisel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde (DEFAM) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. DSC Cihazı

DSC testi için proses verileri Şekil 3.2.'de belirtilmiştir. PA11 ve PA12 için Tablo 3.2.'deki aynı proses verileri ile analiz yapılmıştır. Test sonucu numunelerin, erime sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı, hakkında bilgi edinilmiştir.



Şekil 3.2. DSC Proses verileri

Tablo 3.2. DSC Verileri analizi

PARAMETRE	BİRİM	10 C/dk	5 C/dk	10 C/dk	10 C/dk	5 C/dk	10 C/dk
DERECE	C	25	200	200	25	200	200
ZAMAN	dk	0	17,5	22,5	40	57,5	62,5

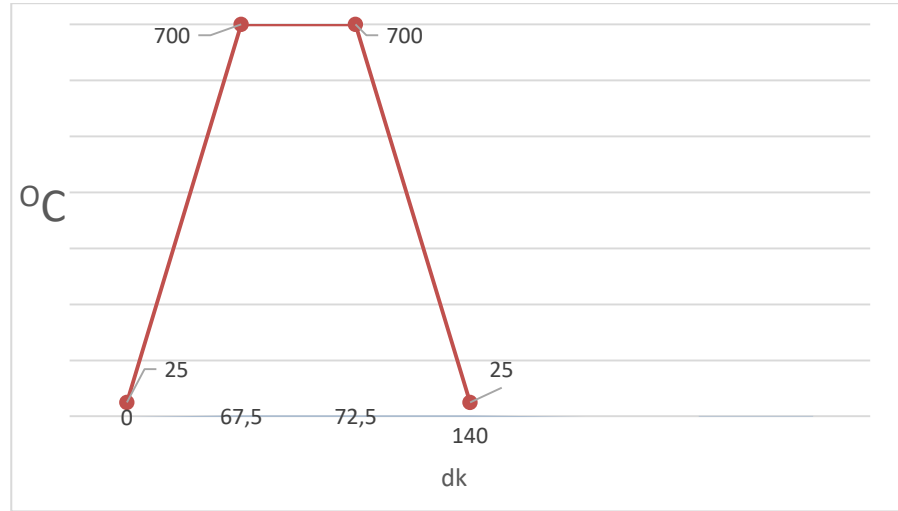
3.2.2. Termogravimetrik Analiz (TGA)

TGA testleri, Şekil 3.3’de gösterilen cihaz kullanılarak, Manisa Celal Bayar Üniversitesi bünyesinde bulunan Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde (DEFAM) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. TG Cihazı

TGA testi için proses verileri Şekil 3.4.’de belirtilmiştir. PA11 ve PA12 için Tablo 3.3.’deki aynı proses verileri ile analiz yapılmıştır. Azot ortamında analiz gerçekleştirilmiştir. PA11 ve PA12 tozlarının bozunma sıcaklıkları hakkında bilgi edinilmiştir.



Şekil 3.4. TGA proses verileri

Tablo 3.3. TG Verileri analizi

PARAMETRE	BİRİM	10 C/dk		5 dk	10 C/dk	
DERECE	C	25	→	700	→	25
ZAMAN	dk	0	→	67,5	→	140

3.2.3. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

DMA testleri, Şekil 3.4’de gösterilen Perkin Elmer Pyris Diamond marka cihazı kullanılarak, Orta Doğu teknik Üniversitesi bünyesinde bulunan Merkez Laboratuvarında (MERLAB) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. DMA Cihazı

DMA testi için proses verileri Tablo 3.4.'de verilmiş olup PA11 ve PA12 için aynı proses verileri ile analiz yapılmıştır. Test sonucu numunelerin camsı geçiş sıcaklıkları hakkında bilgi edinilmiştir.

Tablo 3.4. DMA proses verileri

	Birim	Parametre
Frekans	Hz	1
Tarama Hızı	mm/dk	3
Sıcaklık Aralığı	°C	25-400
Mode	-	single cantilever beam mode

3.2.4. Numunelerin Kaplama İşlemi

3.2.4.1. Numunelerin Hazırlanması

Kaplama yapılan parçaları aşınma testine tabi tutabilmek için aşınma cihazı yatağına uygun olarak Ø20mm / h:10mm ölçülerinde 42CrMoS4 çelikten numuneler kesilmiştir. Kullanılan çeliğin sertliği 300 HB'dir. Çelik numunenin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.5'de verilmiştir. Numune örneği Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. 42CrMoS4 kimyasal kompozisyonu

KİMYASAL KOMPOZİSYON %										
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Sn
0,41	0,23	0,81	0,011	0,026	1,03	0,18	0,1	0,028	0,18	0,01



Şekil 3.6. 42CrMoS4 çelik numunesi

20/10mm ölçülerinde kesilen numuneler kaplama işleminin yapılabilmesi için metrik 6x8mm ölçüsünde vidalar ile yanlarından tutturulmuştur.



Şekil 3.7. Vida ile aparatlanan numuneler

3.2.4.2. Numunelerin Kaplanması

- Hazırlanan numunelere kaplama öncesi astarın yüzeye iyi tutunabilmesi için ISO 8501-1 göre kumlama işlemi uygulanmıştır. Kumlama malzemesi olarak Çelik Grit GL-40 kumu kullanılmıştır. Çelik Grit GL-40 kumu özellikleri aşağıdaki Tablo 11.'de verilmiştir.

Tablo 3.6. Çelik Grit GL-40 kumu kimyasal analizi ve özellikleri

KİMYASAL ANALİZİ(%)				
C	Si	Mn	S	P
0,85-1,20	0,4	0,60-1,2	0,05	0,05
ÖZELLİKLER		BİRİM	FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLER	
Yoğunluk		g/cm ³	7,8	
Sertlik		HV	570-720	

- Numune parçaların kumlama işlemi bittikten sonra yüzeylerine astarın tutunabilmesi için dokunulmamalıdır.
- Kumlama sonrası numunelerin ağırlıkları 0,1 mg hassasiyetindeki terazide ölçülmüştür.



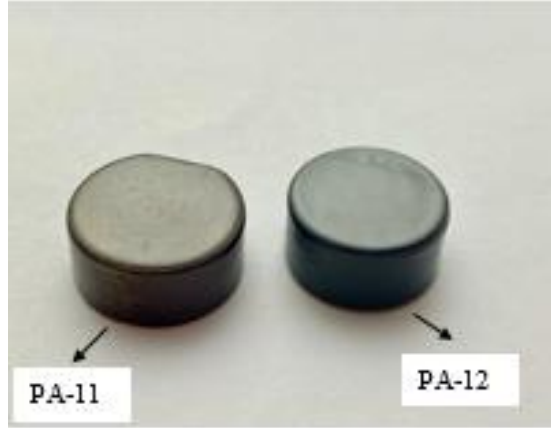
Şekil 3.8. Yüzeyi kumlanmış numune örneği

Tablo 3.7. Kaplama parametreleri

KAPLAMA PARAMETRELERİ		Numune Boyutu	Fırın Sıcaklığı	Fırında Bekleme Süresi	Poliamid Toz İçinde Bekletme Süresi
AŞINDIRICILAR	BİRİM	mm	°C	dk	sn
115CrV3	PA11-1.1	20/10	340	45	10
115CrV3	PA11-1.2	20/10	340	45	10
115CrV3	PA11-1.3	20/10	340	45	10
115CrV3	PA12-1.1	20/10	340	45	10
115CrV3	PA12-1.2	20/10	340	45	10
115CrV3	PA12-1.3	20/10	340	45	10
100Cr6	PA11-2.1	20/10	340	45	10
100Cr6	PA11-2.2	20/10	340	45	10
100Cr6	PA11-2.3	20/10	340	45	10
100Cr6	PA12-2.1	20/10	340	45	10
100Cr6	PA12-2.2	20/10	340	45	10
100Cr6	PA12-2.3	20/10	340	45	10

- Kumlanmış numuneler su bazlı primgreen epoksi astara daldırılır. İlk katman olarak bu astar pürüzlü yüzeylere tutunur. Kalınlığı ise 10-15 µm arasındadır.
- 340 °C'ye ısıtılan fırında astarlı numuneler 40-45 dakika boyunca bekletilir.
- Sırası ile poliamid tozlar alttan üfleli akışkan yataklı kazan içerisine doldurulur.
- Fırından çıkan numuneler akışkan yataklı kazana batırılarak 10 saniye bekletilir. Fırında astarın ısınmasıyla beraber kazan içerisindeki tozlar homojen olarak numune üzerine yapışarak kaplamayı oluşturur.
- Kaplama sonrası numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür.

Şekil 3.9 'da PA11 ve PA12 kaplanmış numuneler gösterilmiştir.



Şekil 3.9. PA11 Ve PA12 kaplamalı numune

3.2.5. Shore D Testi

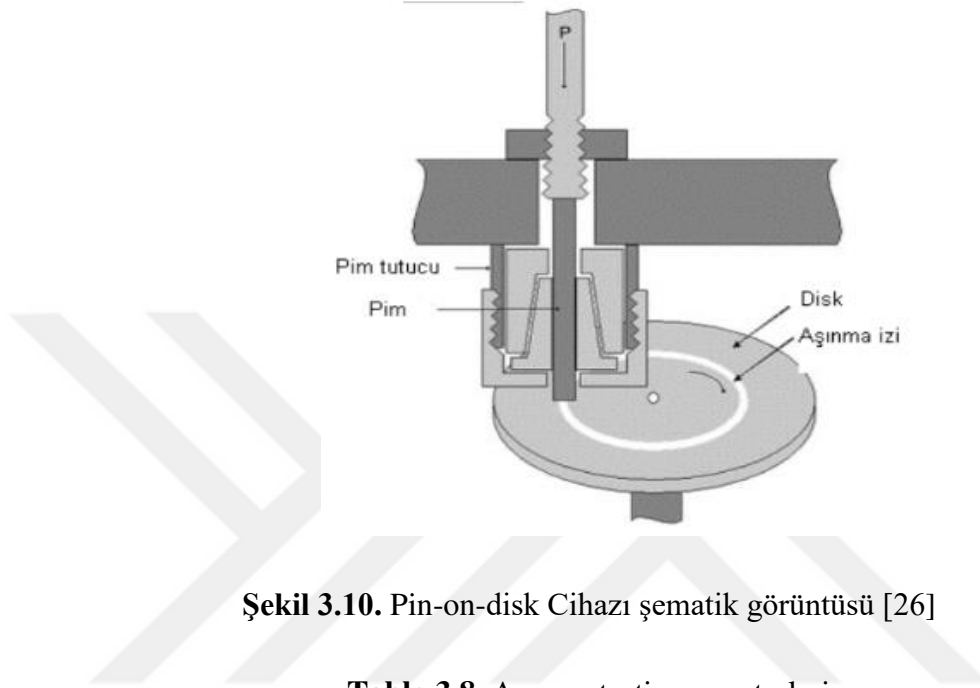
Numunelerin kaplamaları Manisa Celal Bayar Üniversitesi bünyesinde bulunan Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde (DEFAM) Shore D testi yapılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.6. Aşınma Testi

Aşınma deneyleri, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Metalografi laboratuvarında bulunan CSM Instruments Tribometer standart pin-on-disk tipi deney cihazında, kuru ortamda yapılmıştır. Pin-on-disk cihazı şematik görüntüsü şekil 33.'de verilmiştir. İki farklı aşındırıcı kullanımına göre, 6 adet PA11 ve 6 adet PA12 tozları ile kaplanmış numune yapılmıştır. Alkol ile yüzeyleri temizlenen numuneler 0,1 mg hassasiyetindeki terazide tartılmıştır. Aşındırıcı parça olarak sertlik değeri 250 HB olan 115CrV3 civa çeliği pim ve sertlik değeri 612 HB olan 100Cr6 bilya kullanılmıştır. İlk olarak 100Cr6 bilya ile numuneler aşınma testine tabi tutulmuştur. Kayıcı takımlarda yüzeysel bir aşınma söz konusu olduğu için sertlik açısından 42CrMoS4 malzemeye daha yakın olan 115CrV3 pim ile aşınma testi yapılmış ve değerler karşılaştırılmıştır. Aşınma testi parametreleri Tablo 3.8'de belirtilmiştir. Her iki kaplama için parametreler aynı tutulmuştur. Numune parça tutucu aynaya oturtulmuş ve su terazisi ile dengesine bakılmıştır. Aşınma

deneyi bittikten sonra numuneler yıkanıp kurutulmuş, yüzeyleri alkol ile temizlenmiş ve son ağırlıkları tespit edilmistir.

Deneyler, parametreler için 3 numune üzerinde tekrarlanıp ortalama değerler alınmıştır. Deney sonrasında aşınmış yüzeylerin görünümüleri SEM’de incelenmiştir.



Tablo 3.8. Aşınma testi parametreleri

AŞINMA TESTİ PARAMETRELERİ				
KAPLAMALAR	AŞINDIRICI	YÜK	HIZ	MESAFE
		N	cm/sn	m
PA11-1.1	115CrV3-pim	10	20	3000
PA11-1.2		10	20	3000
PA11-1.3		10	20	3000
PA12-1.1	115CrV3-pim	10	20	3000
PA12-1.2		10	20	3000
PA12-1.3		10	20	3000
PA11-2.1	100Cr6-bilya	10	20	3000
PA11-2.2		10	20	3000
PA11-2.3		10	20	3000
PA12-2.1	100Cr6-bilya	10	20	3000
PA12-2.2		10	20	3000
PA12-2.3		10	20	3000

3.2.7. Yüzey Pürüzlülük Testi (Profilometre Testi)

Profilometre testi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Kaynak Laboratuvarında bulunan Mitutoyo Surftest marka cihaz ile yapılmıştır. Test sonucunda Ra: Aritmetik ortalama sapma, Rz: 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması, Rq: Aritmetik ortalama sapmaların karakökü olan değerler elde edilmiştir. En önemli değer olan Ra değerleri karşılaştırılmıştır. Her bir numunenin dairesel olan aşınma izinin 4 farklı noktasından ölçüm yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

3.2.8. Aşınma Test Sonucu Hesaplaması

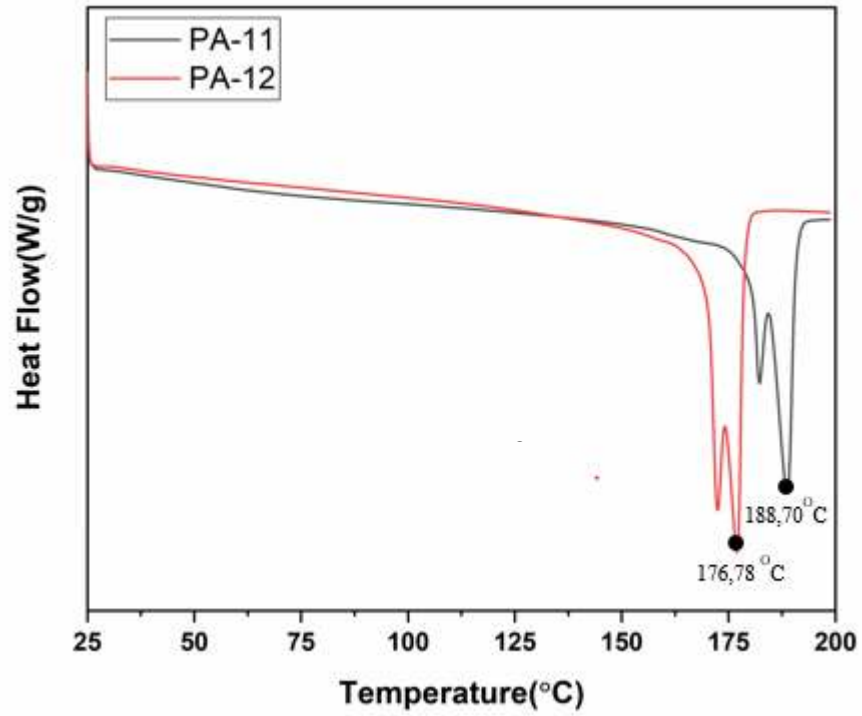
Numunelerin özgül aşınma miktarlarını hesaplamak için ağırlık farkı methodu kullanılmıştır. Özgül aşınma miktarı için deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek hesaplama yapılmıştır. Eşitlik 2.2. ve 4.2. kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

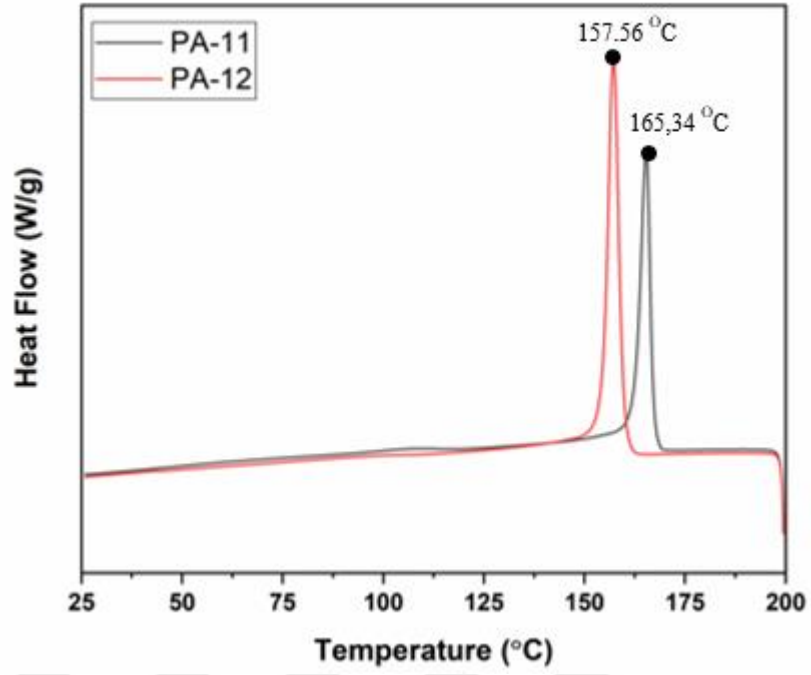
Tez çalışmasında numuneler iki farklı toz olan PA11 ve PA12 ile kaplanmış ve aşınma sonuçları ve tribolojik özellikleri karşılaştırılmıştır.

4.1. Diferansiyel Kimyasal Analiz Test Sonuçları (DSC)

DSC testi sonucu elde edilen PA11 ve PA12 tozlarının erime sıcaklıkları, kristallenme sıcaklıkları belirlenmiştir. Burada erime piki grafikleri çizilirken 1. Soğuma, kristallenme piklerine ait grafikler çizilirken 2.ısıtma değerleri baz alınmıştır.



Şekil 4.1. PA11 ve PA12 için erime sıcaklığı-ısı akışı grafiği



Şekil 4.2. PA11 ve PA12 için kristallenme sıcaklığı-ısı akışı grafiği

Kristallik derecesi 3.1. formülüne göre hesaplanmıştır.

$$X_c(\%) = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_\infty} \times 100 \quad (3.1)$$

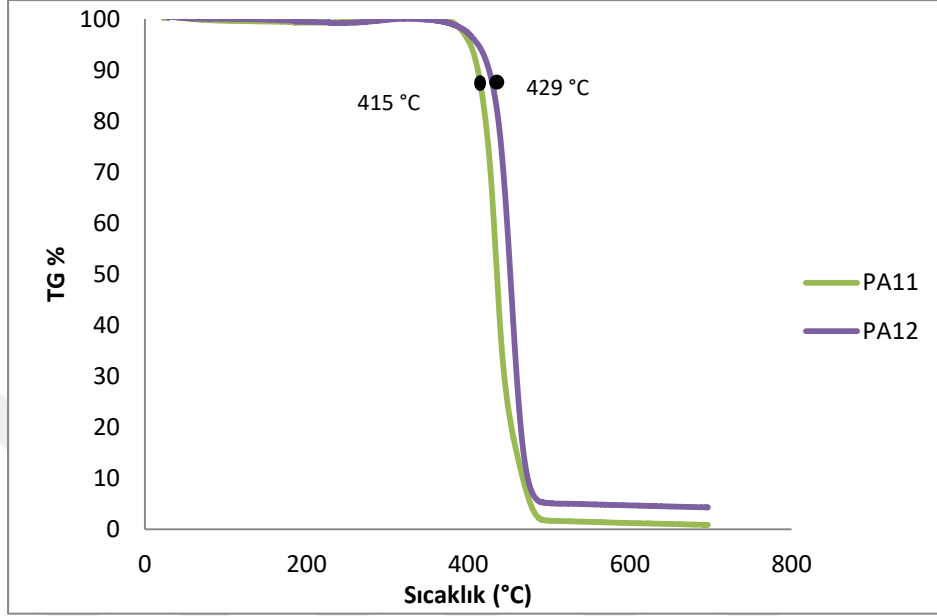
Burada; X_c : Kristallik derecesi, ΔH_m : Erime entalpisi, ΔH_∞ : Teorik erime entalpisidir. Teorik erime entalpisi PA11 için 244 J/g, PA12 için 245 J/g'dir [32].

Tablo 4.1. PA11 ve PA12 polimerlerine ait DSC analiz sonuçları

NUMUNE ADI	Erime Sıcaklığı (T_e)	Kristallenme Sıcaklığı (T_c)	X_c
	°C	°C	(%)
PA11	188,70	165,34	14,95
PA12	176,78	157,56	15,81

4.2. Termogravimetrik Analiz Test Sonuçları (TGA)

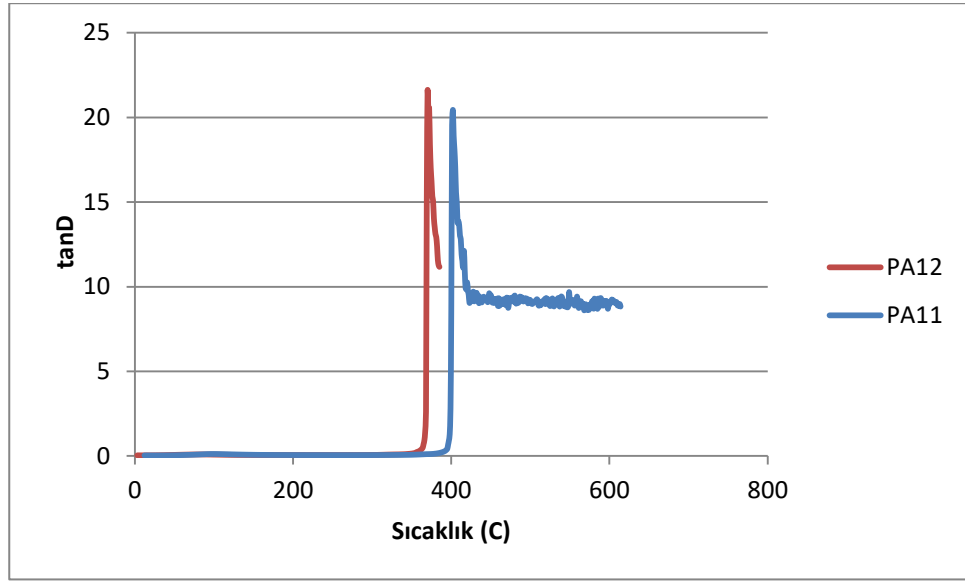
TGA test sonucuna göre PA11 bozunma sıcaklığı 415 °C'dir. PA12 bozunma sıcaklığı 429 °C'dir. Alternatif poliamid toz olan PA12 kaplamasının bozunma sıcaklığının daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. %TGA – Sıcaklık Grafiği

4.3. Dinamik Mekanik Analiz Test Sonuçları (DMA)

DMA testi sonucu elde edilen grafikler de PA11 ve PA12 için tanD-Sıcaklık değerleri Şekil 4.4.'te belirtilmiştir. Bu grafikten en yüksek tanD pik değerine karşılık gelen camsı geçiş sıcaklık (Tg) değeri bulunmuştur. PA11 ve PA12 için camsı geçiş sıcaklık değerleri (Tg) Tablo 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. tanD - Sıcaklık Grafiği

Tablo 4.2. PA11 ve PA12 tozlarının camı geçiş sıcaklıkları

NUMUNE ADI	CAMSI GEÇİŞ SICAKLIĞI (T _g)
	°C
PA11	184,53
PA12	174,08

25 °C' deki depolama modülü değerleri Tablo 4.3.'de belirtilmiştir. Burada 25 °C oda sıcaklığındaki poliamid 11 depolama modülü değeri poliamid 12 değerinden küçüktür.

Tablo 4.3. PA11 ve PA12 tozlarının 25 °C' deki depolama modülü

NUMUNE ADI	DEPOLAMA MODÜLÜ
	MPa - 25 °C
PA11	809,29
PA12	815,28

4.4. Kaplama İşlemi Proses Sonuçları

Kumlama işlemi sonrası numuneler 0,1 mg hassasiyetindeki terazide tartılmıştır. Kaplama öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Numunelerin kaplama öncesi ve sonrası ağırlıkları

NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	KAPLAMA ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	KAPLAMA SONRASI AĞIRLIK(g)
PA11-1.1	115CrV3-pim	21,9561	23,6971
PA11-1.2		22,7668	24,0078
PA11-1.3		23,1460	24,4352
PA12-1.1		22,1044	23,9630
PA12-1.2		23,2158	24,2488
PA12-1.3		20,6265	22,3515
PA11-2.1	100Cr6-bilya	23,5404	24,8524
PA11-2.2		21,9987	23,6722
PA11-2.3		23,8901	25,2511
PA12-2.1		23,3737	24,4757
PA12-2.2		22,2691	23,5919
PA12-2.3		18,4656	19,6686

Numunelerin fırından çıktığı andaki sıcaklıkları ölçülmüştür. Kaplama öncesi ve sonrası sıcaklıkları aşağıdaki Tablo 4.5.'de verilmiştir

Tablo 4.5. Numunelerin kaplama öncesi ve sonrası sıcaklıkları

NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	KAPLAMA ÖNCESİ SICAKLIK (°C)	KAPLAMA SONRASI SICAKLIK (°C)
PA11-1.1	115CrV3-pim	354	226
PA11-1.2		289	213
PA11-1.3		301	286
PA12-1.1		323	211
PA12-1.2		313	284
PA12-1.3		296	249
PA11-2.1	100Cr6-bilya	320	219
PA11-2.2		323	224
PA11-2.3		316	301
PA12-2.1		324	296
PA12-2.2		389	278
PA12-2.3		389	278

Kaplanan numunelerin Phynix Surfıx marka kalınlık ölçer cihazııle kalınlıkları ölçölmüştür. Eksenel olarak üç farklı noktadan ölçüm alınarak ortalamaları hesaplanmıştır. Kalınlık ölçüm sonuçları Tablo 4.6.'da verilmıştır.

Tablo 4.6. Numunelerin kaplama kalınlıkları

KAPLAMA KALINLIĞI(μm)					
NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	1.ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3.ÖLÇÜM	ORTALAMA
PA11-1.1	115CrV3-pim	390,00	473,00	511,00	458,00
PA11-1.2	115CrV3-pim	464,50	425,00	465,00	451,83
PA11-1.3	115CrV3-pim	312,00	239,00	323,00	321,30
PA12-1.1	115CrV3-pim	391,00	428,00	488,00	436,00
PA12-1.2	115CrV3-pim	427,00	442,00	430,00	433,00
PA12-1.3	115CrV3-pim	316,00	325,00	331,00	324,00
PA11-2.1	100Cr6-bilya	291,00	242,00	231,20	254,73
PA11-2.2	100Cr6-bilya	456,00	535,00	421,00	471,00
PA11-2.3	100Cr6-bilya	580,00	495,00	537,00	537,30
PA12-2.1	100Cr6-bilya	448,00	441,00	427,50	438,83
PA12-2.2	100Cr6-bilya	470,00	461,00	671,00	451,00
PA12-2.3	100Cr6-bilya	421,00	466,50	430,00	439,16

Kaplama el ile daldırma yöntemi ile yapılmasından dolayı, kaplama kalınlığı fazla olan numuneler olmuştur.

4.5. SHORE D Sertlik Ölçümü Sonuçları

İki farklı polimer toz ile kaplanan numunelerin Shore D sertlik değerleri Tablo 4.7.'de verilmiştir. Poliamid 12 kaplamasının sertliği, poliamid 11 kaplamasının sertliğinden daha büyüktür.

Tablo 4.7. Numunelerin Shore D sertlik değerleri

KAPLAMALAR	ÖLÇÜMLER				ORTALAMA
	1	2	3	4	
PA11	75	76	78	77	76,50
PA12	79	79	80	79	79,25

4.6. Aşınma Testi Sonuçları

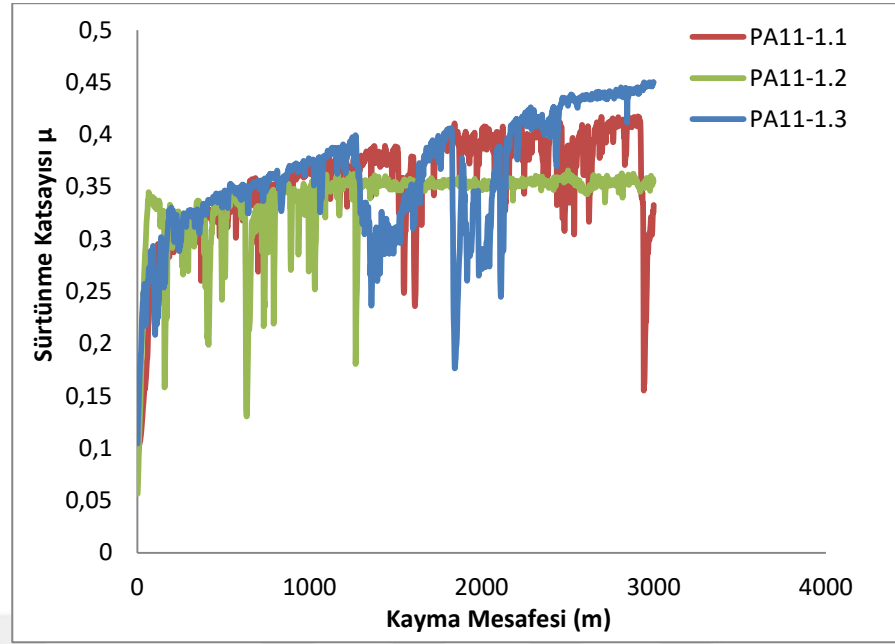
PA11 ve PA12 olmak üzere iki farklı toz ile kaplanan numuneler 10 N yük altında kuru ortamda iki farklı aşındırıcı ile yapılan pin-on-disk aşınma deneyleri sonucu elde edilen ağırlık kayıp değerleri Tablo 4.8.'de verilmiştir

Tablo 4.8. Aşınma testi sonucu numunelerin ağırlık farkları

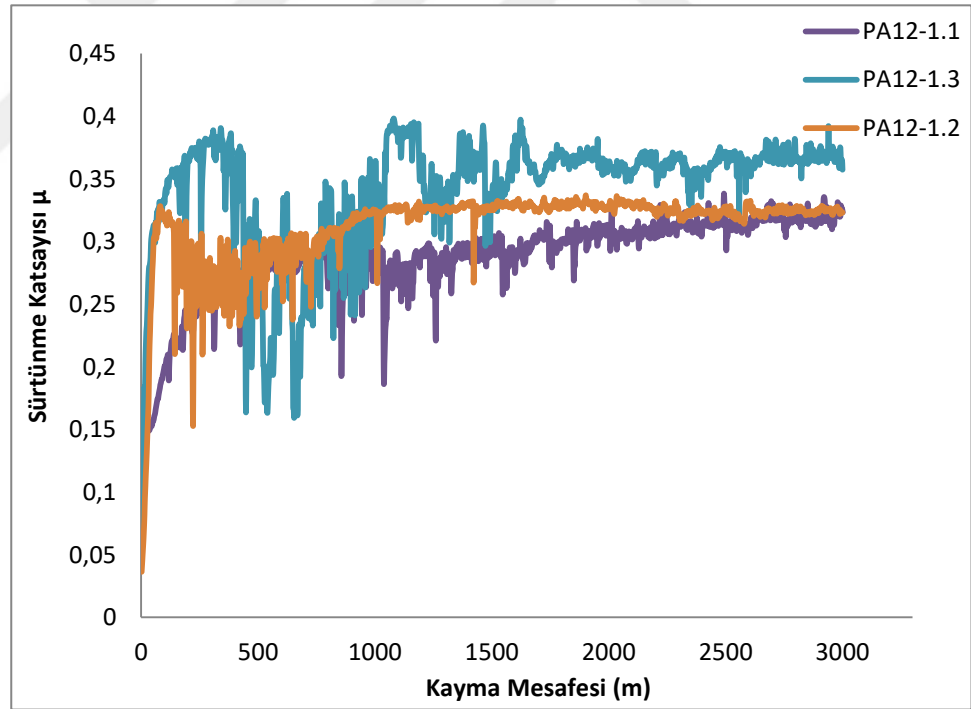
NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	İLK AĞIRLIK (g)	SON AĞIRLIK (g)	MALZEME KAYBI ($\times 10^{-3}$ g)
PA11-1.1	115CrV3-pim	22,821	22,814	7,30
PA11-1.2	115CrV3-pim	24,008	24,006	1,40
PA11-1.3	115CrV3-pim	24,435	24,435	0,70
PA12-1.1	115CrV3-pim	23,963	23,956	7,30
PA12-1.2	115CrV3-pim	24,249	24,249	0,00
PA12-1.3	115CrV3-pim	22,352	22,351	0,20
PA11-2.1	100Cr6-bilya	24,852	24,852	0,70
PA11-2.2	100Cr6-bilya	23,672	23,652	20,30
PA11-2.3	100Cr6-bilya	25,251	25,250	0,70
PA12-2.1	100Cr6-bilya	24,476	24,475	1,00
PA12-2.2	100Cr6-bilya	23,592	23,582	9,70
PA12-2.3	100Cr6-bilya	19,669	19,668	1,10

4.7. Sürtünme Testi Sonuçları

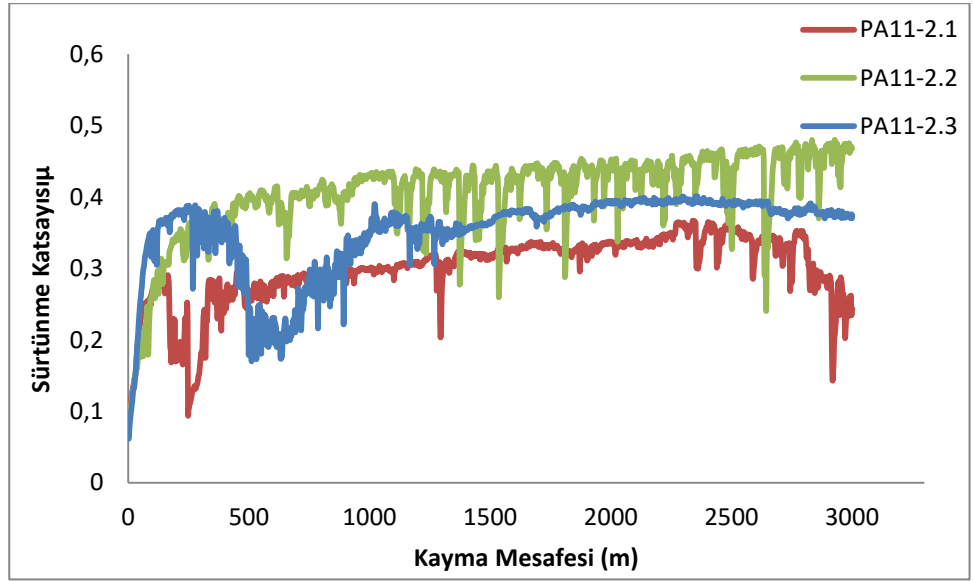
PA11 ve PA12 kaplanmış numuneler aşınma testine tabi tutulmuş ve bu test sonucunda Sürtünme katsayısı – Kayma mesafesi grafikleri elde edilmiştir. Her bir numune için aynı parametreler doğrultusunda 3 farklı numune için sürtünme katsayısı değeri hesaplanmış ve ortalamaları alınmıştır. Sürtünme katsayısı değeri hesaplanırken sürekli kayma şartlarına ulaştığı noktadan itibaren olan değerler alınarak aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Tablo 4.9.'da ortalama sürtünme katsayıları verilmiştir.



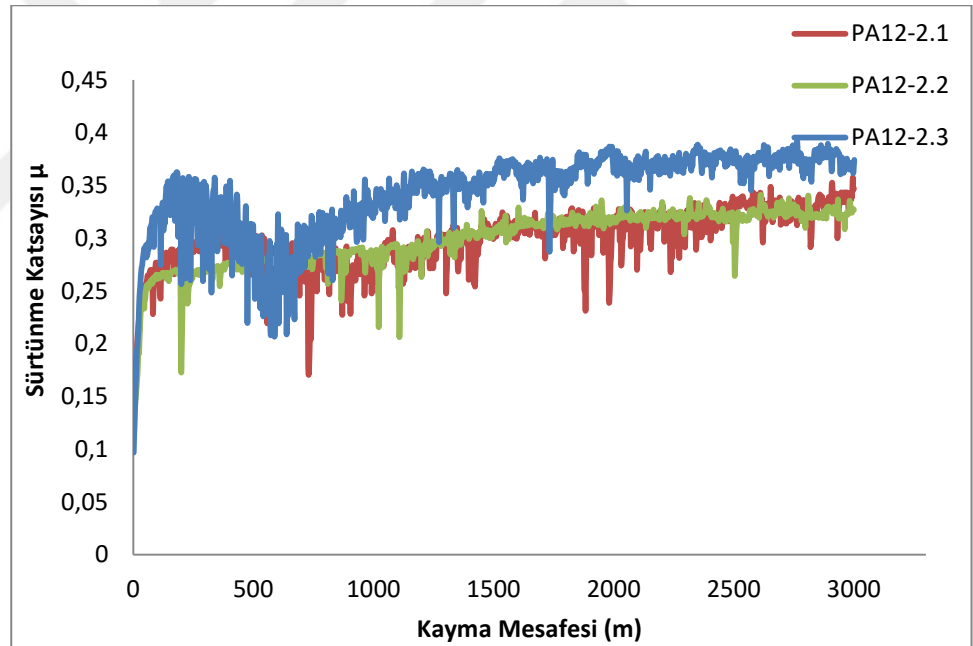
Şekil 4.5. PA11-115CrV3 pim ile aşındırılan numunelerin Sürtünme katsayısı-
Kayma mesafesi grafiği



Şekil 4.6. PA12-115CrV3 pim ile aşındırılan numunelerin Sürtünme katsayısı-
Kayma mesafesi grafiği



Şekil 4.7. PA11-100Cr6 bilya ile aşındırılan numunelerin Sürtünme katsayısı-Kayma mesafesi grafiği



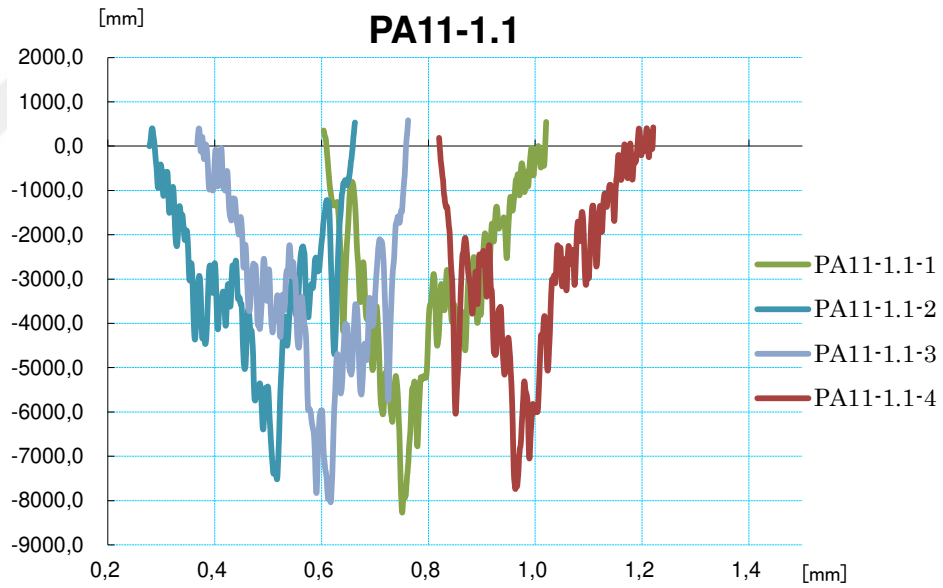
Şekil 4.8. PA12-100Cr6 bilya ile aşındırılan numunelerin Sürtünme katsayısı-Kayma mesafesi grafiği

Tablo 4.9. Metal, PA11 ve PA12 kaplamalı numunelerin aşınma testi sonucu
sürtünme katsayı değerleri

NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	SÜRTÜNME KATSAYISI
		μ
PA11	115CrV3-pim	0,3917
PA12	115CrV3-pim	0,3325
PA11	100Cr6-bilya	0,3798
PA12	100Cr6-bilya	0,3370

4.8. Yüzey Pürüzlülüğü (Profilometre) Sonuçları

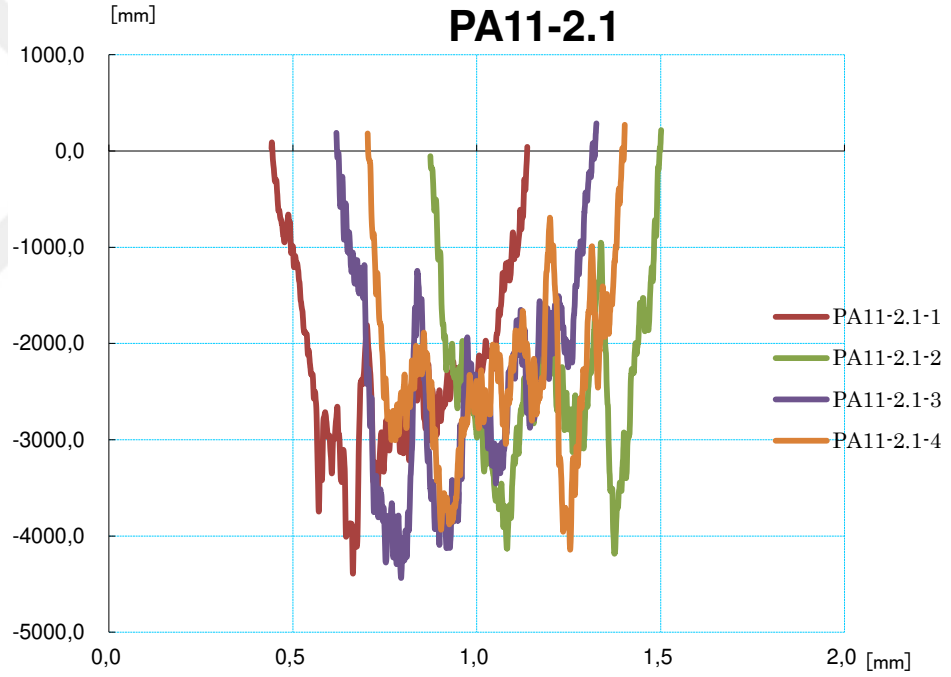
Aşınma oranını bulmak için numune üzerinde oluşan aşınma izinin 4 farklı bölgesinden ölçüm alınmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda çıkan datalar ile aşınma iz derinliği grafikleri incelenmiştir.



Şekil 4.9. PA11-1.1. için aşınma iz derinliği grafiği

Tablo 4.10. PA11-1.1-1 115CrV3 pim ile aşındırılan numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri

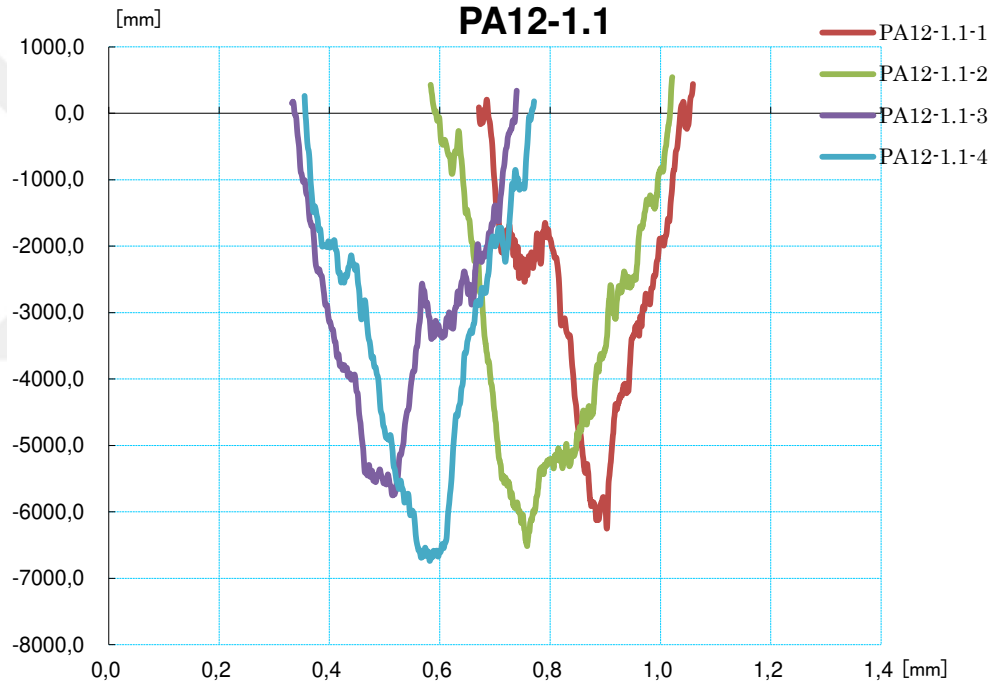
NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ (Ra)
		μm
PA11-1.1-1	115CrV3-pim	1,806
PA11-1.1-2	115CrV3-pim	1,54
PA11-1.1-3	115CrV3-pim	1,852
PA11-1.1-4	115CrV3-pim	1,804



Şekil 4.10. PA11-2.1 için aşınma iz derinliği grafiği

Tablo 4.11. PA11-2.1-1 100Cr6 pim ile aşındırılan numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri

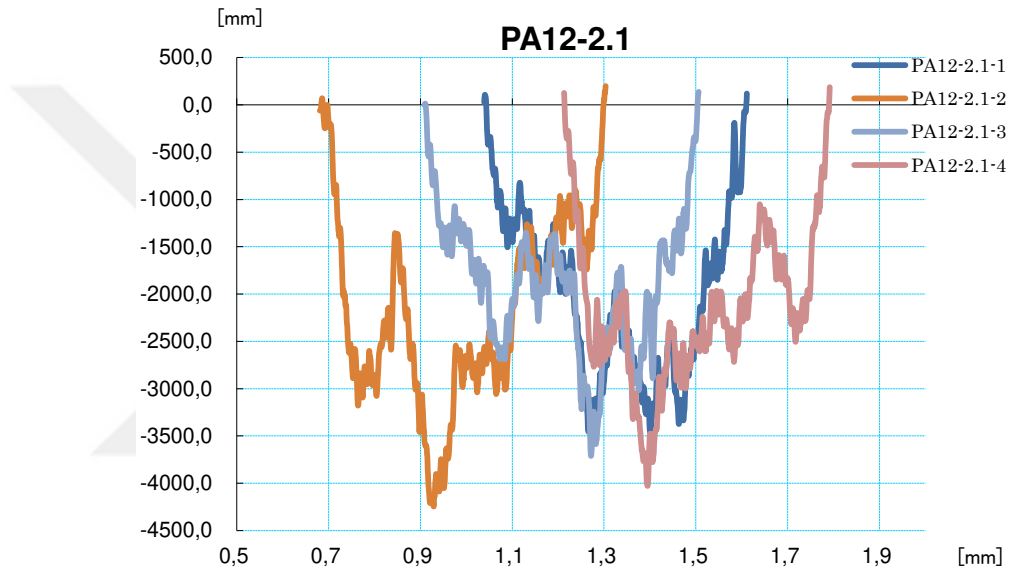
NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ (Ra)
		μm
PA11-2.1-1	100Cr6-bilya	1,41
PA11-2.1-2	100Cr6-bilya	1,248
PA11-2.1-3	100Cr6-bilya	1,612
PA11-2.1-4	100Cr6-bilya	1,606



Şekil 4.11. PA12-1.1 için aşınma iz derinliği grafiği

Tablo 4.12. PA12-1.1-1 115CrV3 pim ile aşındırılan numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri

NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ (Ra)
		μm
PA12-1.1-1	115CrV3-pim	1,465
PA12-1.1-2	115CrV3-pim	2
PA12-1.1-3	115CrV3-pim	1,836
PA12-1.1-4	115CrV3-pim	2,025



Şekil 4.12. PA12-2.1 için Aşınma İz Derinliği Grafiği

Tablo 4.13. PA12-2.1-1 100Cr6 pim ile aşındırılan numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri

NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ (Ra)
		μm
PA12-2.1-1	100Cr6-bilya	0,973
PA12-2.1-2	100Cr6-bilya	1,11
PA12-2.1-3	100Cr6-bilya	0,943
PA12-2.1-4	100Cr6-bilya	1,069

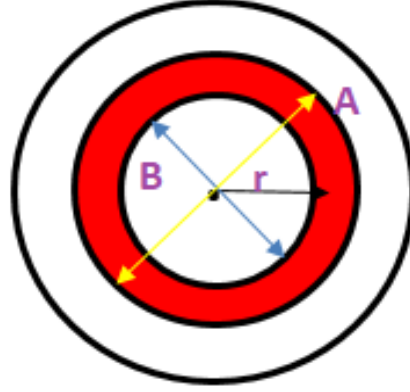
Her bir numune için alınan dört ölçümün ortalamaları alınarak hacimsel malzeme kaybı için alan hesabı yapılmıştır. Alan hesabında Origin programı kullanılmıştır. Numunelerin iz grafikleri üzerinden Origin programı ile bulunan alanları Tablo 4.14.'da verilmiştir.

Tablo 4.14. Numunelerin aşınma iz alan değerleri

NUMUN E ADI	AŞINDIRICI	AŞINMA İZİ ALANLARI (mm ²)			
		1	2	3	4
PA11-1.1	115CrV3-pim	1306,43	1183,15	1318,76	1136,20
PA11-1.2	115CrV3-pim	5397,24	7822,41	7286,53	7732,80
PA11-1.3	115CrV3-pim	9597,12	10139,57	10000,85	9622,46
PA12-1.1	115CrV3-pim	1052,89	1443,45	1257,90	1432,65
PA12-1.2	115CrV3-pim	8282,10	6926,10	6070,78	6916,45
PA12-1.3	115CrV3-pim	1421,54	1256,47	1519,28	1179,78
PA11-2.1	100Cr6-bilya	1597,66	1536,11	1727,65	1645,95
PA11-2.2	100Cr6-bilya	1757,46	1641,81	8364,00	1571,07
PA11-2.3	100Cr6-bilya	1842,61	1808,40	1648,88	1582,20
PA12-2.1	100Cr6-bilya	1155,51	1351,61	1135,06	1254,66
PA12-2.2	100Cr6-bilya	1126,12	1041,11	701,08	1311,59
PA12-2.3	100Cr6-bilya	1466,72	755,35	1337,76	1189,46

4.9. Özgül Aşınma Miktarı Hesabı

Aşınma oranı hesabı yapabilmek için numunelerin aşınma izi yarıçapları Eşitlik 4.1. kullanılarak hesaplanmıştır. A ve B değerleri steromikroskop ile ölçülmüştür.



Şekil 4.13. Numunelerin aşınma izlerinin çap ve yarıçap gösterimi

$$r = \frac{(A - B)}{4} + \frac{B}{2} \quad (4.1)$$

Burada; r: aşınma izinin yarıçapı, A: aşınma izinin dıştan dışa çap ölçüsü, B: aşınma izinin içten içe çap ölçüsüdür.

Yarıçap (r) değerleri kullanılarak hacimsel malzeme kaybı hesabı yapılmıştır. Hacimsel malzeme kaybı hesabı 4.2’de verilmiştir.

$$\Delta V = A \times 2\pi r \quad (4.2)$$

Burada; ΔV : hacimsel malzeme kaybı, A: Alan, r: yarıçap, değeridir.

Numunelerin hacimsel malzeme kayıp değerleri Tablo 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.15. Numunelerin hacimsel malzeme kaybı değerleri

NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	HACİMSEL MALZEME KAYBI			
		1	2	3	4
PA11-1.1	115CrV3-pim	12657,64	11463,16	12777,04	110008,31
PA11-1.2	115CrV3-pim	117851,65	170806,72	159105,42	168850,01
PA11-1.3	115CrV3-pim	247829,87	261837,27	258255,03	248483,63
PA12-1.1	115CrV3-pim	26197,24	35914,97	31299,77	35646,12
PA12-1.2	115CrV3-pim	209346,61	175070,94	153451,03	174827,12
PA12-1.3	115CrV3-pim	34816,43	30773,35	37210,01	28895,15
PA11-2.1	100Cr6-bilya	36721,66	35307,28	39709,78	37831,79
PA11-2.2	100Cr6-bilya	38427,63	30489,37	208389,98	37788,10
PA11-2.3	100Cr6-bilya	42814,90	42020,08	38313,49	36764,07
PA12-2.1	100Cr6-bilya	26559,18	31066,42	26089,12	28838,09
PA12-2.2	100Cr6-bilya	25671,38	23733,59	15981,99	29889,57
PA12-2.3	100Cr6-bilya	19428,28	10008,97	17726,40	15761,28

Numunelerin aşınma oranı için Eşitlik 2.1. kullanılmıştır. 4 farklı ölçüm için alınan değerlerin ortalamaları alınarak özgül aşınma miktarları hesaplanmıştır. Özgül aşınma miktarları Tablo 4.16.'da verilmiştir.

Tablo 4.16. Numunelerin özgül aşınma miktarları ortalama değerleri

NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	ÖZGÜL AŞINMA MİKTARI				ORTALAMA
		1	2	3	4	
PA11-1.1	115CrV3-pim	0,42	0,38	0,42	0,36	0,39
PA11-1.2	115CrV3-pim	3,92	5,69	5,3	5,62	5,13
PA11-1.3	115CrV3-pim	8,26	8,72	8,6	8,28	8,46
PA12-1.1	115CrV3-pim	0,87	1,19	1,04	1,18	1,07
PA12-1.2	115CrV3-pim	6,97	5,83	5,11	5,82	5,93
PA12-1.3	115CrV3-pim	1,16	1,02	1,24	0,96	1,09
PA11-2.1	100Cr6-bilya	1,22	1,17	1,32	1,26	1,24
PA11-2.2	100Cr6-bilya	1,28	1,31	6,94	1,25	2,69
PA11-2.3	100Cr6-bilya	1,42	1,4	1,27	1,22	1,32
PA12-2.1	100Cr6-bilya	0,88	1,03	0,86	0,96	0,93
PA12-2.2	100Cr6-bilya	0,85	0,79	0,53	0,99	0,79
PA12-2.3	100Cr6-bilya	0,64	0,33	0,59	0,52	0,52

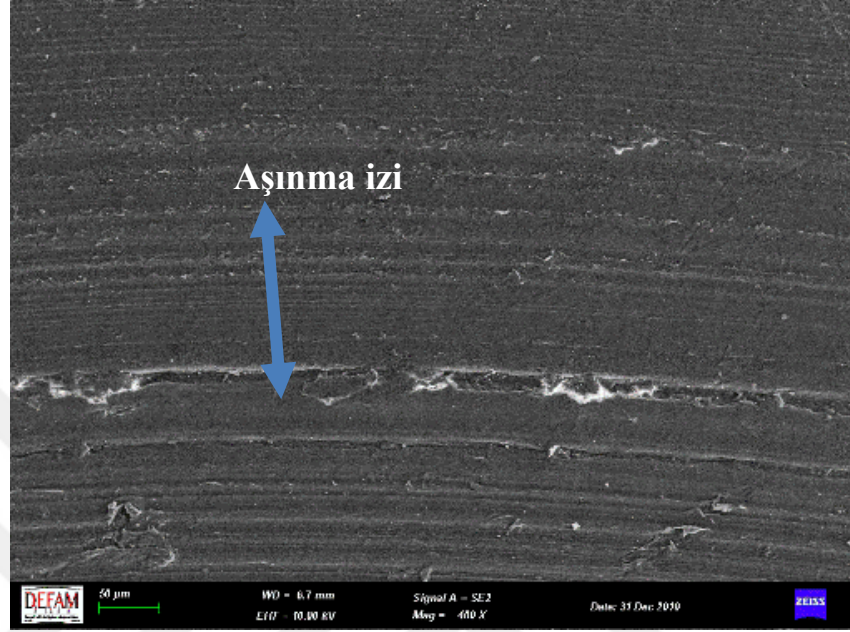
Yapılan testler sonucu iki farklı aşındırıcı ile metal numune ve PA11, PA12 numunelerinin ortalamaları sonucu özgül aşınma miktarları Tablo 4.17.'de verilmiştir.

Tablo 4.17. Numunelerin özgül aşınma miktarı değerleri

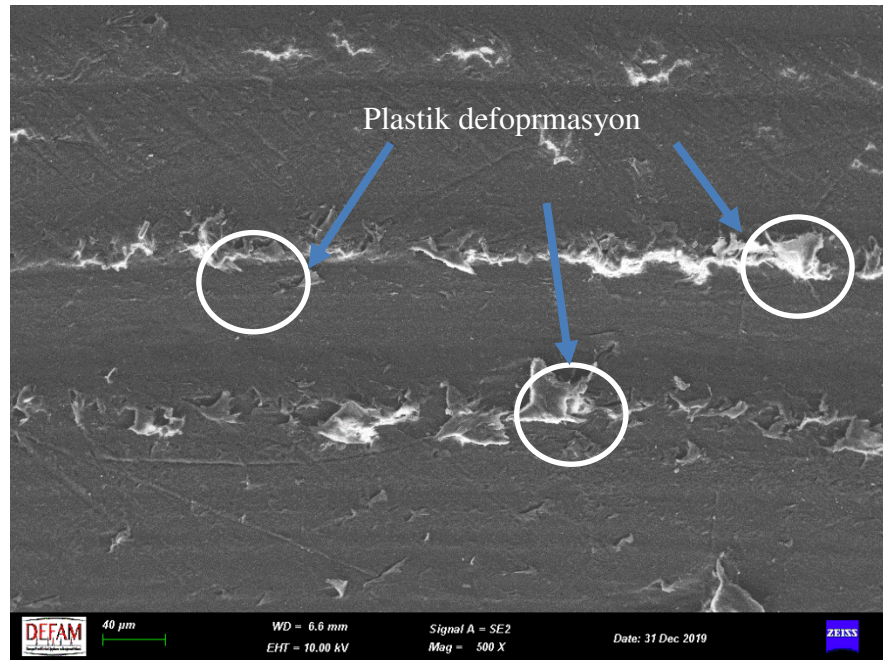
NUMUNE ADI	AŞINDIRICI	ÖZGÜL AŞINMA MİKTARI	STD. SAPMA
METAL	115CrV3-pim	0,2	0,053150729
PA11	115CrV3-pim	4,66	3,487310655
PA12	115CrV3-pim	2,69	2,423755382
METAL	100Cr6-bilya	0,87	0,154704018
PA11	100Cr6-bilya	1,75	1,447597867
PA12	100Cr6-bilya	0,74	0,366161557

4.10. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi Sonuçları

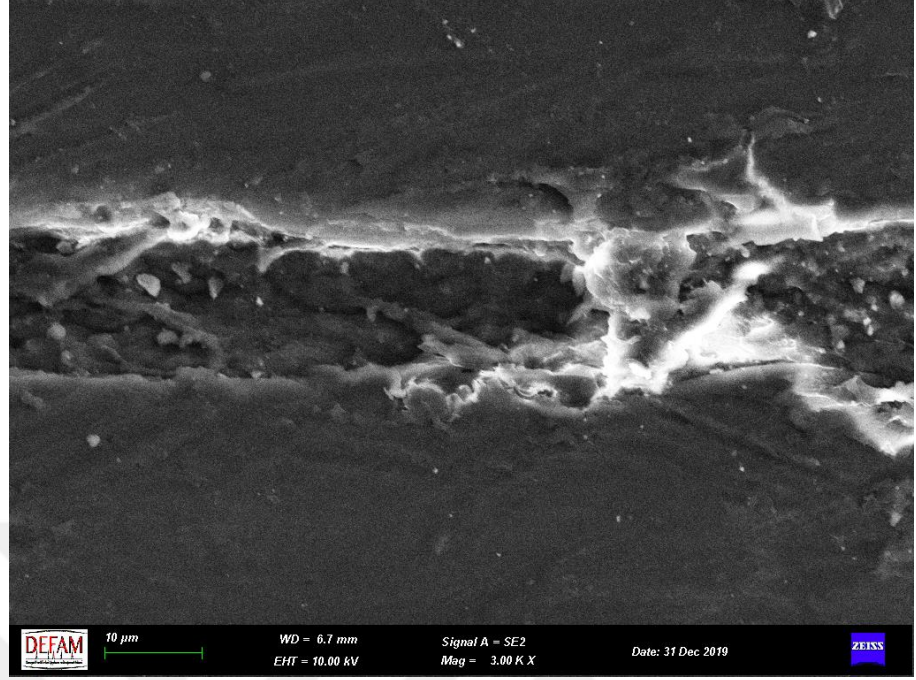
Aşınma testine tabi tutulmuş PA11 ve PA12 kaplamalarının aşınma izlerinin yüzey mikro yapıları SEM ile incelenmiştir. Görüntüler şekilde verilmiştir.



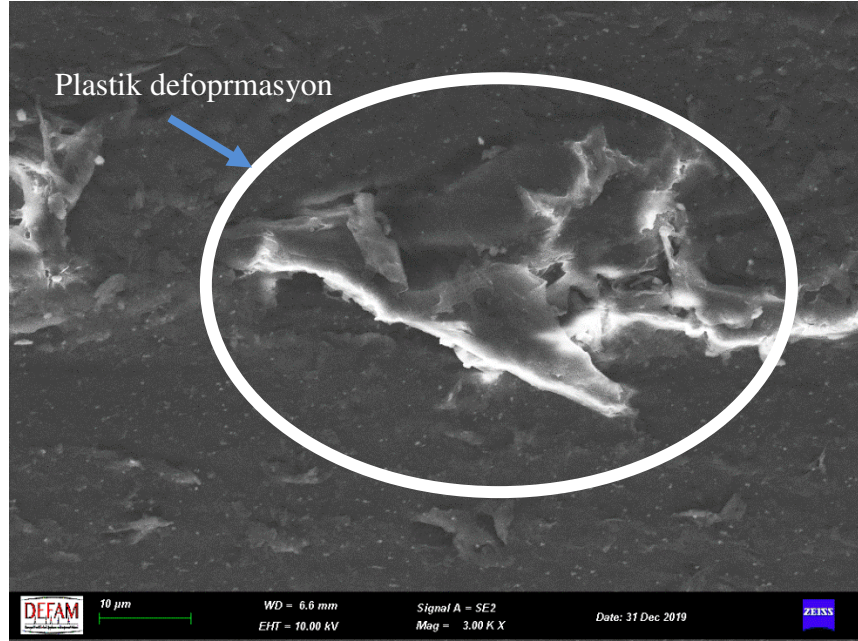
Şekil 4.14. PA11-115CrV3 pim ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (400X)



Şekil 4.15. PA12-115CrV3 pim ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (400X)

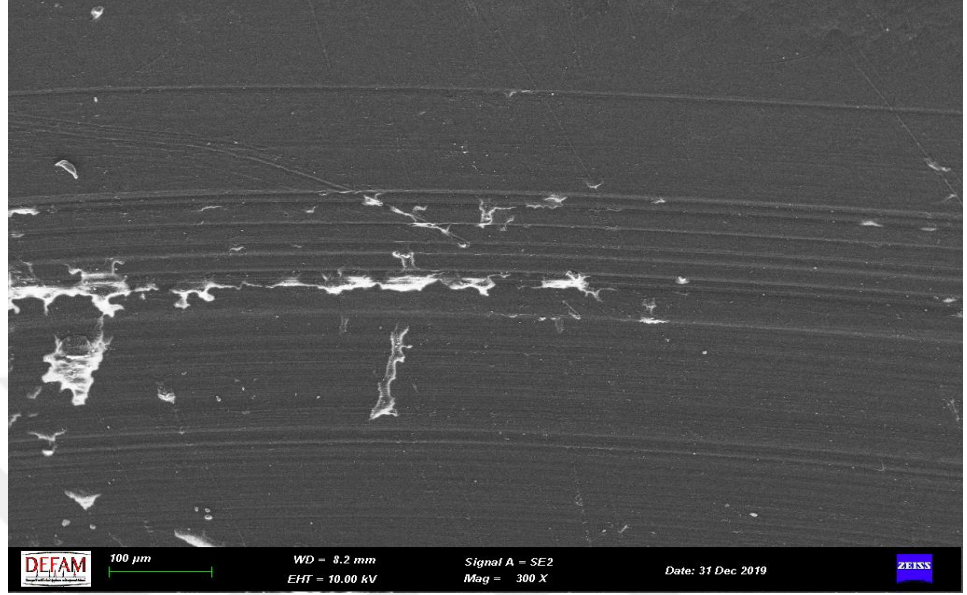


Şekil 4.16. PA11-115CrV3 pim ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (3.00KX)

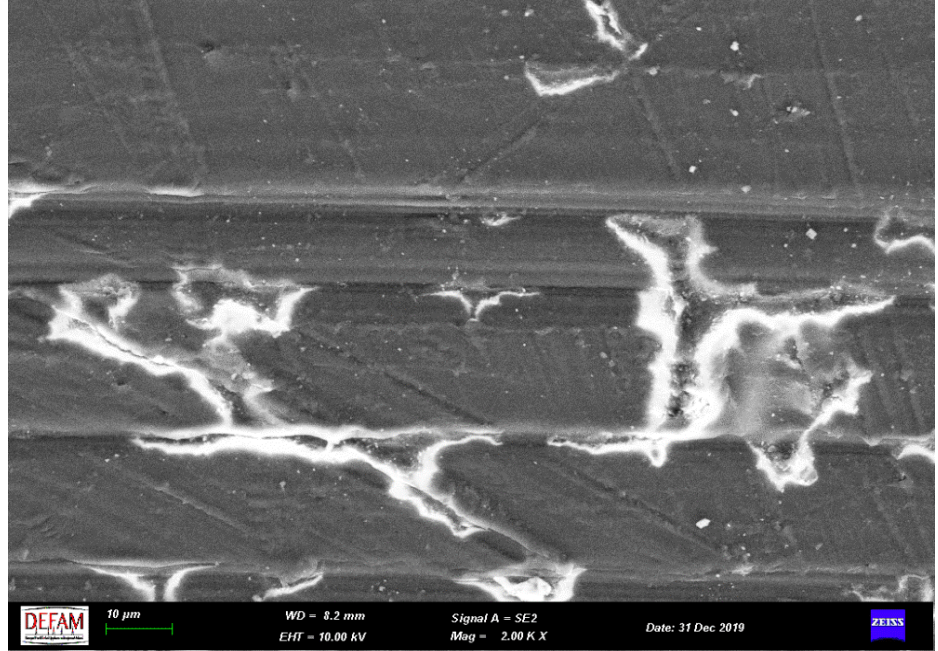


Şekil 4.17. PA12-115CrV3 pim ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (3.00KX)

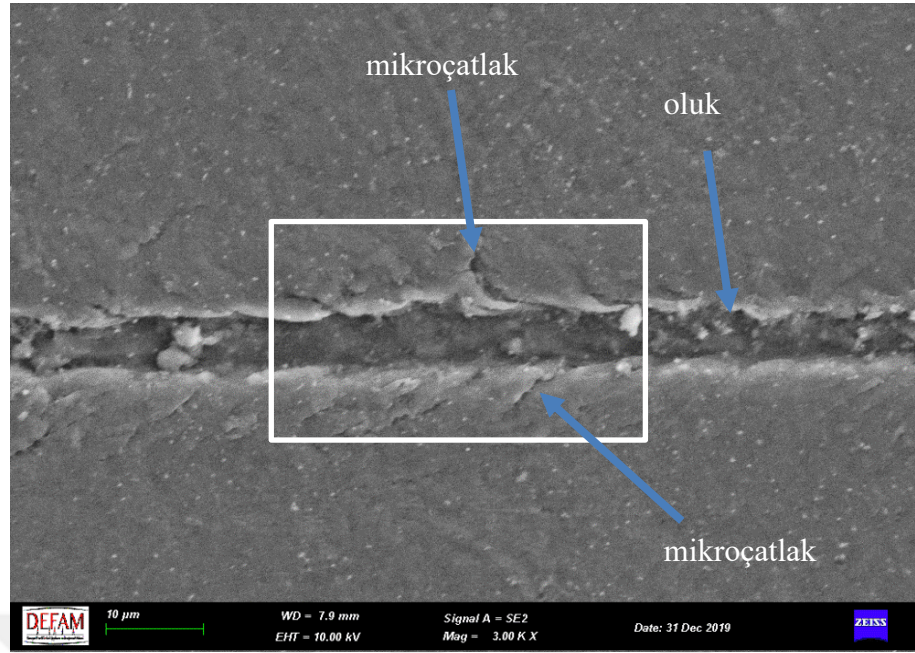
Şekil 4.16. ve Şekil 4.17.'de 115CrV3 pim ile aşınma yüzeylerinde belirgin bir abrasiv aşınma gözükmemektedir. Plastik deformasyon gözlemlenmiştir.



Şekil 4.18. PA11-100Cr6 bilya ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (300X)



Şekil 4.19. PA11-100Cr6 bilya ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (2.00KX)



Şekil 4.20. PA12-100Cr6 bilya ile aşındırılmış numunenin SEM görüntüsü (3.00KX)

Şekil 4.19’da PA11-100Cr6 bilya ile aşınma yüzeyinde, kaplamanın kendi yüzeyine sıvandığı görülmektedir. Aşınmadan kopan kaplama parçaları tekrar yüzeye transfer olmuştur.

Şekil 4.20’ de PA12-100Cr6 bilya ile aşınma yüzeyinde yırtılmalar ve aşınma kenarlarında yığılmalar gözlenmiştir. Abrasiv aşınmadan kaynaklı plastik deformasyon belirgin bir şekilde görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Poliamid 11 tozunun erime sıcaklığı poliamid 12 tozunun erime sıcaklığından yüksek çıkmıştır. Poliamid 12 tozu için kaplama şartlarında parça ısıtılıp toza daldırma işlemi yapıldığı için daha düşük sıcaklıklarda eriyeceği tespit edilmiştir. Bu sebep ile parçalar daha kısa sürede fırında tutulabilir ve zaman ve enerji bakımından optimizasyon sağlanabileceği kanısına varılmıştır.
2. PA11 tozunun camsı geçiş sıcaklığı PA12 tozundan % 0,05 daha fazla olduğu görülürken, depolama modülü değeri %0,007 daha düşük çıktığı tespit edilmiştir.
3. Kaplama kalınlık değerlerinde ve numunelerin yüzeylerinde dalgalanmalar görülmüştür. Bunun sebebi ise el ile daldırma yöntemi ile yapılmasından kaynaklı olmasıdır. Mevcut şartlarda kaplama işleminin robotik sistemler ile yapılmasından ve kayıcı kovanlara kaplama sonrası broş çekilmektedir. Dolayısıyla homojen bir kalınlık elde edildiği için bu durum göz ardı edilebilir sonucuna varılmıştır.
4. Sertlik değerleri PA11 kaplamasının PA12 kaplamasından %0,03 daha düşük olduğu hesaplanmıştır. Poliamid tozları astar ile birleşerek kaplamayı oluştururken sertliklerinde %0,05 artış gözlemlenmiştir.
5. Aşındırıcı olarak 100Cr6 bilyanın daha sert malzeme olması ve noktasal yük uygulaması ile aşındırma değerleri daha düşük çıkmıştır. 115CrV3 pim aşındırma değerlerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir ve kayıcı takımlarda yüzeysel bir aşınma durumu söz konusu olduğu için pim ile aşındırma testi uygulanmıştır.
6. Sürtünme katsayısı değerleri kıyaslandığında, PA11 sürtünme katsayısı değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Numunelerin sürekli kayma şartlarına ulaştığındaki sürtünme katsayısı değerlerine göre PA12'nin aşındırıcı üzerine transferi ile arada yağlayıcı görevi gördüğü ve sürtünme katsayısı değerini düşürdüğü yorumu yapılabilmektedir.
7. Yüzey pürüzlülük değerlerinde 115CrV3 pim aşınma yüzeylerinin pürüzlülüğü daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise 100Cr6 bilya yüzeyinin daha parlak olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. PA11 kaplamasının yüzeyleri PA12 kaplamasına göre daha pürüzlüdür.
8. Özgül aşınma miktarları kıyaslandığında PA11 kaplaması yerine alternatif olarak kullanılmak istenen PA12 tozunun aşınma miktarları bilya ile aşındırmada

%0,75, pim ile aşındırmada %0,3 daha düşüktür. Bu değerler karşılaştırıldığında maliyet ve temin kolaylığı göz önünde bulundurularak, ithal edilen ve maliyeti fazla olan PA11 tozu yerine PA12 tozu, kayıcı takımların kaplanması kullanılabilir.



6. KAYNAKLAR

- [1] Malzeme bilgisi, ARAN M., <https://web.itu.edu.tr/~arana/mal201.pdf>
- [2] Morris, J. T. Polymer Pioneers, 2nd Printing, Beckman Center for the History of Chemistry, Philadelphia, USA, 1990.
- [3] Polimerlerin Fiziksel Özellikleri, MEGEP, Ankara, 2006, 5-41s.
- [4] Nart, Ç., Plastik Boru Üretimi İçin Spiral Kanallı Radyal Ekstrüzyon Kalıbının Sistematik Tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2011, 11s., Yüksek Lisans Tezi.
- [5] Taşdelen, Y., Polimer Malzemelerin Sfero Döküm Karşısında Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 2007, 22-26s., Bilim Uzmanlığı Tezi.
- [6] Callister, W., Rethwisch, D., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (K. Genel, çev.). Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 2013, 570-575 s.
- [7] Arıcıoğlu, M.K., Mert, B., Soydan, Y., Polimer Malzemelerin Mekanik Analiz Yöntemleri, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2000, 4. Cilt (1. Ve 2. Sayı), 51-58.
- [8] Vlack L.H.V., Malzeme Bilimine Giriş, Michigan Üniversitesi, Çeviri.: Safoğlu R.A., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1990.
- [9] Baysal, B., Polimer Kimyası, Genişletilmiş 2.Baskı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1994.
- [10] Savaşçı, Ö.T., Uyanık, N., Akovalı, G., Ana Hatları İle Plastikler Ve Plastik Teknolojisi, Güncelleştirilmiş 2. Baskı, Pagev Yayınları, İstanbul, Türkiye, 2005.

- [11] Karagöz, İ., Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynak Özellikleri, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul,2014.
- [12] Biron, M., Thermoplastics and Thermoplastic Composites, Technical Information for Plastic Users, Butterwoth-Heinemann, Oxford, UK, 1999, 867 s.
- [13] Buckleitner, E. V., Plastics Mold Engineering Handbook, 5th Edition, USA, 1995, 688 s.
- [14] Marsoğlu, M., Plastik Malzemeler, Arpaz Matbaacılık, İstanbul, Türkiye, 1986, 445 s.
- [15] Çoban O., Polimer Matrisli Kompozitlerde Partikül Takviyesinin Malzeme İç Yapısına, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2011, 129 s., Doktora Tezi.
- [16] Yılmaz O., ,Polimer Malzemelerin Ekstrüzyonunun Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, İTÜ , Fen Bilimleri Enstitüsü, , İstanbul, 2007, Yüksek Lisans Tezi.
- [17] Arkema. Arkema Celebrates The 70th Birthday Of Its Flagship Rilsan® Poliamide 11 Brand [Internet]. <https://www.arkema.com/en/media/news/news-details/Arkema-celebratesthe-70th-Birthday-Of-Its-Flagship-Rilsan-Poliamide-11-Brand/>. Assessed, 2018.
- [18] Jariyavidyanont, K. Walter, F., Androsch, R., Thermal Properties of Biobased Poliamide 11, https://doi.org/10.1007/12_2019_47, Springer Nature Switzerland AG 2019.
- [19]Resinex, <https://www.resinex.com.tr/urunler/rilsamid.html>
- [20] Wypych, G., Handbok of Polymers,2nd Edtion, chrmttec publishing, 2016,Toronto,Canada.

- [21] Stachowiak, G.W., Wear-Materials, Mechanisms, and Practice. Southern Gate,458,USA., 2002.
- [22] Özkavak, H.V., Plazma ile Polimer Kaplanmış Metalik Malzemelerin Bazı (tribolojik) Özelliklerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2019, Doktora Tezi.
- [23] Polimerlerin Karakterizasyonu, <https://docplayer.biz.tr/74487945-Polimerlerin-karakterizasyonu.html>
- [24] Demirci, M.T.,Polimer Esaslı Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2009, Yüksek Lisans Tezi
- [25] Kaştan, A., Salman, S., Ünal, H., Grafit Katkılı Poliamid 6'nın Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 4 (sayı 2), 2016, 50-55.
- [26] Yetgin, S.H., Ünal, Ü., Poliamid 6 Polimeri ile Poliamid 6/Vaks Karışımının Kendi Üzerinde Çalışması Durumundaki Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 31, (sayı 2),2016, 457-463.
- [27] Uzunoğlu, B., Kardan Şaftının Geometrik Modellenmesi Ve Sonlu Elemanlar Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2006, Yüksek Lisans Tezi.
- [28] Uçar, M., Çınar, R., Merdane, H., Kardan Kaplinlerindeki Eksenel Kayar Mafsaldaki Sürtünme Kuvvetinin Şasi Ve Güç Aktarma Sistemlerinde Oluşturduğu Etkilerinin İncelenmesi, Politeknik Dergisi Cilt: 7(Sayı 4) s. 307-314, 2004.
- [29] J.O. Bello, R.J.K. Wood.Grooving Micro-Abrasion Of Poliamide 11 Coated Carbon Steel Tubulars For Downhole Application, Wear 255, 1157–1167,2003.

- [30] O. Bello, R.J.K. Wood,, Micro-Abrasion Of Filled And Unfilled Poliamide 11 Coatings,. Wear 258, 294–302, 2005.
- [31] Leong, K.C., Lu, G.Q., Rudolph, V., A Comparative Study Of The Fluidized-Bed Coating Of Cylindrical Metal Surfaces With Various Thermoplastic Polymer Powders, Journal of Materials Processing Technology, 89-90, 354-360,1999.
- [32] Roger, L., Polymer Heats of Fusion, TA Instruments,109 Lukens Drive, New Castle DE 19720, USA



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seli BAŞARAN

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1993

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : selinbsrn8@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : İzmir İnönü Lisesi, 2006-2010

Lisans: Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği, 2012-2016

Yüksek Lisans: Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği, 2017-2020

Mesleki Deneyim

Kurum bilgisi : Manisa Kardan Cemmer A.Ş. 2017-...(halen)