



T.C.

ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ASANSÖR KAPI MEKANİZMASINDA KULLANILAN METAL KAŞIK
PARÇASININ POLİMER MALZEME KULLANILARAK ÜRETİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ulvi YUSİFLİ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Fatma AYDIN ÜNAL**

**ALANYA
2025**

T.C.
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ASANSÖR KAPI MEKANİZMASINDA KULLANILAN METAL KAŞIK
PARÇASININ POLİMER MALZEME KULLANILARAK ÜRETİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ulvi YUSİFLİ

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Program Adı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Fatma AYDIN ÜNAL

ALANYA

(2025)

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Ulvi YUSİFLİ

TEŞEKKÜR SAYFASI

Bu çalışma süresince bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini daima paylaşarak akademik gelişimime büyük katkı sağlayan; öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyduğum Dr. Öğr. Üyesi Fatma AYDIN ÜNAL hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, akademik gelişimimde emeği bulunan tüm hocalarıma ve Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi ailesine şükranlarımı sunarım.

Deneyisel sürecin yürütülmesi, test altyapısının kullanımı ve teknik kaynaklara erişim konularında değerli desteklerini sağlayan, bünyesinde bulunmaktan memnuniyet duyduğum AKE Asansör, Yürüyen Merdiven ve Engelli Sistemleri firmasına teşekkür ederim. Özellikle firmanın yönetimine, çalışmam süresince kaynaklarını benimle cömertçe paylaşmaları ve sundukları destek için minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Bu tezimi, hayatım boyunca bana koşulsuz sevgi ve destek sunan, her zaman yanımda olarak bugünlere ulaşmamı sağlayan kıymetli babam Efkân YUSİFOV'a ve annem Kemale YUSİFOVA'ya gönülden ithaf ediyorum.

ÖZET

ASANSÖR KAPI MEKANİZMASINDA KULLANILAN METAL KAŞIK PARÇASININ POLİMER MALZEME KULLANILARAK ÜRETİLMESİ

Ulvi YUSİFLİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos, 2025 (57 Sayfa)

Bu tez çalışmasında, asansör kapı mekanizmalarında yaygın olarak kullanılan metal malzemelerin yerine, polimer esaslı alternatif malzemelerin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada özellikle, MoS₂ katkılı PA 66 (molibden disülfür katkılı Poliamid 66) ve POM (Polioksümetilen) malzemelerinin tribolojik performansları değerlendirilmiş, bu amaçla özel olarak tasarlanmış ve gerçek asansör mekanizmasını modelleyen bir test düzeneği kullanılmıştır. Deneyler, farklı aç-kapa çevrim sayılarında gerçekleştirilmiş ve kütle kaybı ile yüzey sıcaklığı gibi parametreler sistematik olarak ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar, MoS₂ katkılı PA 66 malzemesinin, POM'a göre daha iyi aşınma davranışı sergilediğini ortaya koymuştur. Özellikle katkı maddesinin, sürtünme direncini artırdığı ve sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklı bir yapı sunduğu gözlenmiştir. Ayrıca, yüzey sıcaklığındaki artışın aşınma davranışı üzerindeki etkisi net bir şekilde ortaya konulmuş ve bu ilişki grafiksel olarak analiz edilmiştir.

Tez kapsamında, geleneksel olarak lazer kesim yöntemiyle çelikten üretilen kapı kaşık parçası, plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak polimer malzeme ile yeniden üretilmiştir. Bu üretim tekniği sayesinde üretim süresi azaltılmış, parça ağırlığının düşmesiyle birlikte asansör sisteminde enerji verimliliğinde kısmi bir artış sağlanmıştır. Bu dönüşüm, polimer malzemelerin hem mekanik hem de ekonomik açıdan endüstriyel uygulamalara uygun alternatifler sunabileceğini ortaya koymaktadır.

İlgili polimer parçalar plastik enjeksiyon yöntemiyle imal edilmiş olup, bu yöntem seri üretimde yüksek verimlilik sunmuştur. Zaman ve maliyet avantajı bakımından, metal üretim yöntemlerine kıyasla daha hızlı ve ekonomik bir üretim süreci elde edilmiştir.

Ayrıca, plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçaların geometrik toleranslarının daha hassas ve tekrarlanabilir olması, uygulamada önemli bir avantaj olarak öne çıkmaktadır.

Deneyisel çalışmalar kapsamında, kapı test mekanizması kullanılarak aşınma performansları analiz edilmiştir. Deney parametreleri, gerçek çalışma koşullarını yansıtacak şekilde belirlenmiş; yüzey basıncı, kayma hızı ve çevresel sıcaklık gibi faktörler sabitlenmiştir. Deney sırasında numuneler belirli aralıklarla kontrol edilerek, yüzey sıcaklığı ölçülmüş ve numunelerde meydana gelebilecek kütle kaybı hassas teraziler yardımıyla ölçülmüştür. Ayrıca, aşınma yüzeyleri optik mikroskop kullanılarak görüntülenmiş ve transfer filmi oluşumu detaylı olarak incelenmiştir.

Deneyler ortam sıcaklığı 20-26 °C ve nem oranı yaklaşık %60 olan laboratuvar koşullarında yürütülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre, MoS₂ katkılı PA 66 malzemesi, POM malzemesine kıyasla daha üstün aşınma performansı sergilemiştir. Katkılı PA 66'nın daha düşük sürtünme katsayısı ve daha yüksek PV (Basınç × Kayma Hızı) limiti sayesinde daha uzun ömürlü olduğu gözlenmiştir. POM malzemesi ise iyi bir performans göstermesine rağmen, katkılı PA 66 kadar yüksek aşınma dayanımı sergileyememiştir. Bu sonuçlar, metalden polimere geçişin hem mekanik performans hem de tribolojik dayanım açısından uygulanabilir ve avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle polimerlerin özellikle hareketli makine elemanlarında metal malzemelere alternatif olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Kapı mekanizması, Polimer malzeme, Molibden disülfür katkılı PA 66, Tribolojik özellikler, Metal-polimer dönüşümü

ABSTRACT

MANUFACTURING OF THE METAL SPOON COMPONENT IN ELEVATOR DOOR MECHANISMS USING POLYMER-BASED MATERIALS

Ulvi YUSİFLİ

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Graduate School of Alanya Alaaddin Keykubat University,

August, 2025

In this thesis study, the feasibility of using polymer-based alternative materials instead of conventional metallic materials commonly employed in elevator door mechanisms was investigated. Specifically, the tribological performances of MoS₂-reinforced PA 66 (molybdenum disulfide-filled polyamide 66) and POM (polyoxymethylene) materials were evaluated. For this purpose, a specially designed test apparatus that models a real elevator mechanism was utilized. The experiments were conducted under varying numbers of opening and closing cycles, and parameters such as mass loss and surface temperature were systematically measured.

The experimental results demonstrated that the MoS₂-reinforced PA 66 material exhibited superior wear resistance compared to POM. In particular, the additive material was observed to enhance friction resistance and provide a more robust structure against temperature variations. Furthermore, the effect of increasing surface temperature on wear behavior was clearly identified and graphically analyzed.

Within the scope of the thesis, the door spoon component, which is conventionally manufactured from steel using laser cutting technology, was re-engineered and produced using polymer materials through the plastic injection molding method. This change in production technique reduced the manufacturing time and, with the decreased component weight, contributed partially to improved energy efficiency in elevator systems. This transformation highlights that polymer materials can offer viable alternatives in industrial applications from both mechanical and economic perspectives.

The polymer components were fabricated using the plastic injection molding technique, which enabled high efficiency in mass production. Compared to metal processing methods, this approach provided a faster and more cost-effective

manufacturing process. Moreover, the ability to produce parts with more precise and repeatable geometric tolerances through injection molding has proven to be a significant advantage in practical applications.

As part of the experimental studies, the wear performances of the materials were analyzed using the door test mechanism. The test parameters were determined to reflect real working conditions, with factors such as surface pressure, sliding velocity, and ambient temperature kept constant. During the tests, the specimens were periodically monitored, their surface temperatures were measured, and any mass losses were determined using precision scales. Additionally, the worn surfaces were examined under an optical microscope, and the formation of transfer films was studied in detail. The experiments were conducted under laboratory conditions at an ambient temperature of 20–26 °C and a relative humidity of approximately 60%.

The experiments were conducted under laboratory conditions with an ambient temperature ranging from 20-26°C and a relative humidity of approximately 60%. According to the results, MoS₂-filled PA 66 exhibited superior wear performance compared to POM material. The filled PA 66 demonstrated a longer service life due to its lower coefficient of friction and higher PV (Pressure × Sliding Velocity) limit. While POM material showed good performance, it did not achieve the same high wear resistance as the MoS₂-filled PA 66. These results indicate that the transition from metal to polymer is both feasible and advantageous in terms of mechanical performance and tribological durability. Therefore, it has been demonstrated that polymers can be used as an alternative to metal materials, especially in moving machine components.

Keywords: Door mechanism, Polymer material, Molybdenum disulfide reinforced PA 66, Tribological properties, Metal-to-polymer transition

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK SAYFASI

ONAY SAYFASI	i
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	ii
TEŞEKKÜR SAYFASI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	5
2. LİTERATÜR	8
2.1 Polimerlerin Mekanik Özellikler	8
2.2. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi	8
2.3. Malzeme Bölgeleri	8
2.3.1. Elastik bölge	8
2.3.2. Akma bölgesi	9
2.3.3. Pekleşme bölgesi	9
2.3.4. Boyun verme bölgesi ve kırılma	9
2.4. Tokluk	10
2.5. Elastiklik Modülü	11
2.6. Eğilme Modülü	12
2.7. Mühendislik Malzemeleri	13
2.7.1. Kaynağına göre sınıflandırma	14
2.7.2. Yapısına göre sınıflandırma	14
2.7.3. POM'un özellikleri	16
2.7.4. Molibden disülfür (MoS ₂) katkılı PA 66'nın özellikleri	19
2.8 Tribolojik Testler	21
2.8.1 Tribolojik testlerin sınıflandırılması	22
2.8.2. Saha testi	23
2.8.3 Laboratuvar testi	23

2.8.4 Alt sistem testi	24
2.8.5 Parça testi.....	24
2.8.6 Basitleştirilmiş parça testi.....	24
2.8.7 Model testi	24
2.9 Plastik Enjeksiyon Kalıplama	26
2.9.1 Enjeksiyon döngüsü.....	27
2.9.2 Plastik enjeksiyon çevrim süresi.....	28
3. YÖNTEM	29
3.1 Deney Tesisatının Tanıtımı.....	29
3.2 Deney Numuneleri ve Deney Numunelerinin Üretimi	32
3.3 Deney Parametrelerinin Tayini	36
3.3.1 Sıcaklık ve nem.....	36
3.3.2 Yüzey pürüzlülük değerleri.....	37
3.3.3 Kayma hızı.....	37
3.3.4 Yük değerleri	38
3.4 Deneyin Yapılışı.....	42
4. BULGULAR.....	44
4.1 Isı ve Kütle Analizi	44
4.2 Ölçü Analizi	46
4.3 Kesit Görüntü Analizi	47
4.4 Üretim Yöntemlerinin Kıyaslanması	49
5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	52
6. KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Homopolimer'in Mekanik, Termal ve Kimyasal Özellikleri.....	18
Tablo 2.2 Kopolimer ve Homopolimer Polioksümetilenin Karşılaştırılması	18
Tablo 2.3 PA 66'nın Tribolojik Özellikleri.....	19
Tablo 2.4 Mos ₂ Katkılı PA 66'nın Mekanik Özellikleri	20
Tablo 2.5 Mos ₂ Katkılı PA 66'nın Termal Özellikleri.....	21
Tablo 2.6 Yaygın Termoplastik Malzemeler, Özellikleri ve Uygulama Alanları.....	26
Tablo 3.1 Disk Yüzey Pürüzlülüğü Değer Aralıkları.....	31
Tablo 3.2 Kapı Genişlikleri (Mm) İçin Karakteristik Kapı Açılma ve Kapanma Süreleri	38
Tablo 3.3 Literatürde Belirtilen Tipik PV Limiti Değerleri.....	40
Tablo 4.1 Açma-Kapama Sayısına Göre Deney Numunesinin Kütle Değişimi	44
Tablo 4.2 Açma-Kapama Sayısına Göre Deney Numunesinin Merkez Deliğinde Isı Değişimi.....	44
Tablo 4.3 Deney Numunelerinin Merkez Delik Çapının Değişimi	47
Tablo 4.4 Plastik Enjeksiyon Makinası ile Kaşık Üretim Süreleri	49
Tablo 4.5 Hammadde Maliyet Tablosu.....	50
Tablo 4.6 Plastik Enjeksiyon ve Lazer Kesim Enerji Tüketimi Karşılaştırma Tablosu..	51

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Arşimet Tarafından Tasarlanan Asansör	1
Şekil 1.2	Metal Kapı Kaşık Parçasının Görüntüsü	3
Şekil 2.1	Gerilme-Şekil Değiştirme, Malzeme Davranış Bölgeleri ve Terminolojisi.....	10
Şekil 2.2	Polimerlerin Gerilme-Şekil Değişimi Davranışı	10
Şekil 2.3	Tokluk	11
Şekil 2.4	Eğilme Modülü.....	12
Şekil 2.5	Polipropilenin Mühendislik Malzemeleri Sınıflandırmasındaki Yeri	13
Şekil 2.6	Polimerlerin Sınıflandırılması	15
Şekil 2.7	Termoplastikler Piramidi.....	16
Şekil 2.8	Tribolojik Testin Kapsamı.....	22
Şekil 2.9	Tribolojik Testlerin Gerçeklik Derecelerine Göre Sınıflandırılması.....	23
Şekil 2.10	Farklı Tipteki Model Testleri (A) Kapalı Sistemler, (B) Açık Sistemler.....	25
Şekil 2.11	Plastik Enjeksiyon Kalıplama Makinesinin Şematik Resmi	27
Şekil 3.1	Asansör Kapı Test Mekanizması Bileşenleri	29
Şekil 3.2	Asansör Kapı Test Mekanizmasının 3 Boyutlu Genel Görünümü.....	30
Şekil 3.3	Asansör Kapı Test Mekanizmasında Kullanılan Motorun Görüntüsü	31
Şekil 3.4	Poliasetal Numunesi Malzemesi İle Hazırlanan Deney Numunesi	33
Şekil 3.5	Molibden Disülfür Katkılı Poliamid 66 Malzemesi ile Hazırlanan Deney Numunesi	33
Şekil 3.6	Kapı Kaşık Parçasının Deney Düzeneginde ve Asansör Kapı Sistemindeki Açık Konumdaki Yerleşimi.....	34
Şekil 3.7	Kapı Kaşık Parçasının Deney Düzeneginde ve Asansör Kapı Sistemindeki Kapalı Konumdaki Yerleşimi	35
Şekil 3.8	AKE Asansör Ar-Ge Ekibinin Tasarladığı Prototip Plastik Enjeksiyon	36
Şekil 3.9	Kapı Kaşık Parçasına Kilit Sacı Tarafından Uygulanan Yükler	41
Şekil 3.10	Kapı Kaşık Parçasının Merkez Deliğine Uygulanan Yükler.....	42
Şekil 4.1	Açma-Kapama Sayısına Göre Deney Numunesinin Sıcaklık Değişim Grafiği	45
Şekil 4.2	Açma-Kapama Sayısına Göre Deney Numunesinin Sıcaklık Değişim Grafiği	46
Şekil 4.3	Test Mekanizmasının Açma-Kapama Sayısına Göre Deney Numunesinin Sıcaklık Değişim Grafiği	47

Şekil 4.4 Mos ₂ + PA 66 Hammaddesinden Üretilen Numunenin Test Sonrası Kesit Görüntüsü.....	48
Şekil 4.5 POM Hammaddesinden Üretilen Numunenin Test Sonrası Kesit Görüntüsü...	48



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

E	Birim deformasyon
σ	Gerilme (Von Mises)
E	Elastisite modülü
g	Gram
H	Yükseklik
M	Kütle
S	Saniye
mm	Milimetre
\$	Dolar
kg	Kilogram
MoS ₂	Molibden disülfür

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
APK	Alifatikpoliketon
DC	Doğru Akım
ICI	Imperial Kimya Endüstrisi
PA	Poliamid
PBTP	Polibütilenteraftalat
PI	Poliimid
POM	Polioksimetilen
PPS	Polifenilensülfid
PTFE	Politetrafloretilen

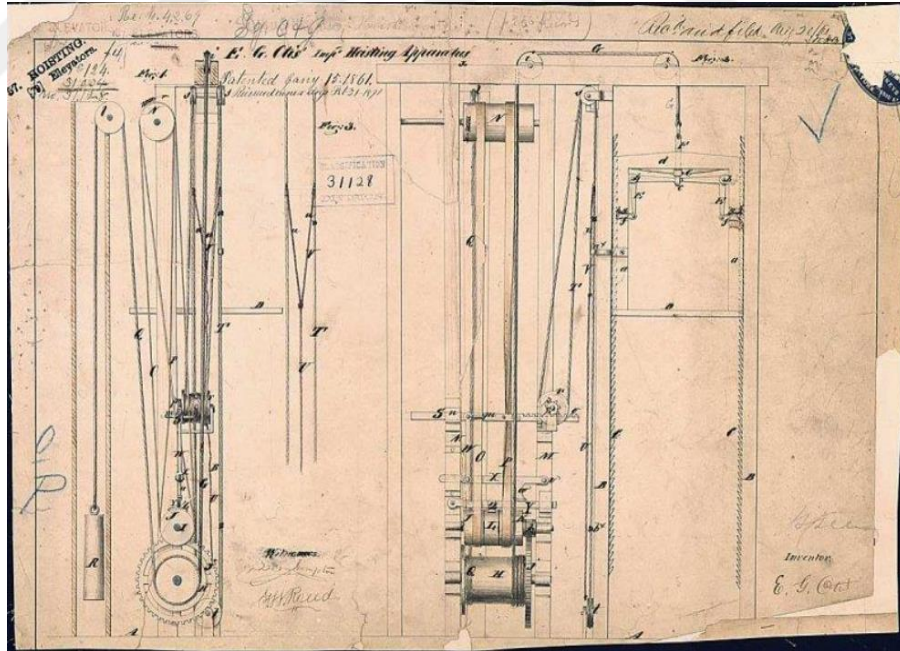
SEM	Elektron Tarama Mikroskobu
UHMWPE	Çok Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
OEM	Orijinal Ekipman Üreticisi
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
kWh	Kilowatt-saat



1. GİRİŞ

Asansörler, geçmişte lüks bir yapı elemanı olarak değerlendirilirken, günümüzde artan kentleşme, yüksek katlı yapıların yaygınlaşması ve yaşam standartlarındaki değişim ile birlikte zorunlu bir ulaşım aracı haline gelmiştir. Özellikle alışveriş merkezleri, hastaneler, eğitim kurumları ve iş merkezleri gibi yoğun insan sirkülasyonuna sahip alanlarda, asansörlerin etkin, güvenli ve kesintisiz çalışması büyük önem taşımaktadır [1].

Milattan önce 300'lü yıllarda yaşayan Arşimet tarafından ilk olarak insan gücüyle çalışan basit bir kaldıraç yapıldığı ve bunun Roma Saraylarında kullanıldığı tarih kitaplarında yer almaktadır. Arkeolojik araştırmalar sırasında yapılan kazılarda, Roma saraylarında, düşey kuyulara rastlanmıştır. Bu kuyuların, yük asansörleri görevi gören mekanizmaların çıkıp inme boşlukları olduğu tahmin edilmektedir. Bu dönemde kullanılan bu kendir halatlı tarz ilkel asansörler; insan, hayvan veya su gücü yardımıyla çalıştığı bilinmektedir [2]. Şekil 1.1'de Arşimet tarafından tasarlanan asansör sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Arşimet tarafından tasarlanan asansör [2]

Asansör kullanımının artışında birkaç temel faktör etkili olmuştur. Öncelikle, şehirlerde dikey büyümenin artmasıyla birlikte, insanların yüksek katlara daha hızlı ve konforlu erişim sağlaması gerekmiştir. Bu durum, sadece konutlarda değil, ticari ve

kamusal alanlarda da asansörleri vazgeçilmez bir hale getirmiştir. Özellikle yaşlı nüfusun artışı ve hareket kabiliyeti kısıtlı bireylerin toplumda daha aktif rol alması, erişilebilirlik açısından asansörlerin önemini artırmıştır. Engelliler için uygun tasarlanmış kabinler, sesli yönlendirme sistemleri ve düşük enerji tüketimine sahip akıllı asansörler, modern binaların ayrılmaz parçaları arasına girmiştir.

Asansörler, hastaneler, alışveriş merkezleri, iş yerleri ve yüksek katlı konutlar gibi yoğun kullanılan alanlarda temel bir ulaşım aracı olarak kabul edilmektedir. Bu sistemlerin beklenmedik şekilde arızalanması, kullanıcıların mağdur olmasına ve işleyişin aksamasına neden olmaktadır. Özellikle hastane ve acil müdahale gerektiren binalarda, asansörlerin sürekli çalışır durumda olması hayati bir gerekliliktir. Aynı zamanda, iş merkezleri ve alışveriş alanlarında yaşanabilecek asansör arızaları, hem verimliliği düşürmekte hem de işletmeler için ekonomik kayıplara yol açabilmektedir.

Asansör kullanımına duyulan ihtiyaç arttıkça, bu sistemlerin yalnızca sayıca artması değil, aynı zamanda kesintisiz çalışmasının sağlanması da önemli hale gelmiştir. Planlı bakım, güvenilir malzeme seçimi ve teknik izleme sistemleri ile asansörlerin sürekli olarak çalışması sağlanabilir. Böylece hem kullanıcı güvenliği artırılır hem de beklenmedik arızaların neden olduğu olumsuz etkiler en aza indirilebilir.

Asansörlerin sürekli çalışmasını engelleyen en büyük faktörlerden biri, mekanik sistemlerde meydana gelen arızalardır. Bu arızaların büyük bir kısmı ise otomatik kapı mekanizmalarından kaynaklanmaktadır. Asansör kapıları, günlük kullanımda en fazla hareket eden bileşenlerden biridir ve özellikle yoğun kullanılan alanlarda, günde ortalama 1000 defa yılda 600.000 defa açılıp kapanmaktadır [3]. Bu kadar sık çalışan bir sistemde, zamanla aşınmalar ve mekanik yorgunluk meydana gelmesi kaçınılmazdır.

Otomatik kapı sistemlerinde yaşanan arızalar, genellikle mekanik bileşenlerde meydana gelen deformasyonlardan kaynaklanmaktadır. Kapı rayları, motorlar, dişliler ve kapıyı hareket ettiren kasnak mekanizmaları, sürekli yük altında çalıştıkları için belirli bir süre sonra aşınma ve bozulmalara uğrar. Bu durum, kapıların tam olarak kapanmamasına, sıkışmasına veya tamamen çalışmaz hale gelmesine neden olabilir. Sensör sistemlerinde yaşanan sorunlar da kapının yanlış algılama yaparak gereksiz yere açılıp kapanmasına yol açabilir.

Mekanik aşınmaların yanı sıra, kullanıcı hataları da kapı mekanizmalarının daha hızlı bozulmasına neden olmaktadır. Kapı kapanırken zorla açmaya çalışmak, sert

darbelerle müdahale etmek veya ağır yüklerin kapıya çarpması gibi durumlar, mekanizmanın dengesini bozarak erken arızalanmasına yol açar. Özellikle alışveriş merkezleri, hastaneler ve iş yerleri gibi yoğun kullanılan binalarda, bu tür kullanıcı kaynaklı müdahaleler çok daha sık görülmektedir.

Asansörlerin kesintisiz çalışması, yalnızca motor ve kontrol sistemlerinin sağlıklı olmasına değil, en hareketli parçalar olan kapı mekanizmalarının da sorunsuz çalışmasına bağlıdır. Mekanik bileşenlerde meydana gelen aşınmalar ve deformasyonlar, asansörlerin arızalanmasına yol açan en büyük etkenlerden biridir. Bu nedenle, mekanizmalarda kullanılan malzemelerin kalitesi, düzenli bakım süreçleri ve kullanıcı bilinci, asansörlerin uzun ömürlü ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Asansör kapılarında en sık karşılaşılan arıza nedenlerinden biri kapı kaşık parçasıdır. Kapı kaşık parçası, asansör kapısının otomatik olarak kitlenmesini sağlayan kritik bir bileşendir. Bu parça, sürekli sürtünmeye maruz kaldığı için zamanla aşınmakta ve kapı kilidinin mekanizma dışına çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 1.2 Metal kapı kaşık parçasının görüntüsü

Kapı kaşık parçası, asansörün hareket ederken kapısının güvenli şekilde kilitlenmesini sağlayarak, yolcu güvenliğini temin eder. Ancak yoğun kullanım alanlarında, özellikle günde 1000 defa açılıp kapanan kapılarda, bu parçanın aşınma

süreci hızlanmaktadır. Aşınmanın ilerlemesiyle birlikte, kapının tam olarak kapanmaması, kitlenme mekanizmasının devreye girmemesi veya kilidin düzensiz çalışması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu durum, asansörün güvenlik sisteminin devreye girerek çalışmayı durdurmasına ve arızaya geçmesine yol açmaktadır. Kapı kaşık parçasının aşınması sonucu ortaya çıkan arızalar, kullanıcılar için ciddi mağduriyetlere yol açmaktadır. Kapının tam kapanmaması nedeniyle asansör, güvenlik protokolleri gereği hareket etmeyecek ve sistem arızaya geçecektir. Bu tür arızaların sık yaşanması, asansörün hizmet dışı kalmasına neden olarak kullanım verimliliğini düşürmektedir.

Son yıllarda, polimerler endüstride hızla artan bir ivmeyle, özellikle demir, çelik gibi metallerin yerini almaya başlamıştır. Düşük maliyet, hafiflik, kolay işlenebilme gibi özelliklerinden dolayı tercih edilen polimerlere, katkı maddeleri yardımıyla istenilen mekanik özellikler ve estetik görünüm kazandırılabilir. Günümüzde sabit veya hareketli işlevi olan birçok makine elemanı polimer malzemelerden imal edilebilmektedir. Özellikle hareketli makine elemanlarının imalatında kullanılan polimer malzemelerin tribolojik özelliklerinin uygunluğu çok önemlidir.

Asansör kapı kaşık parçası piyasada genellikle metal malzemeden üretilmektedir. Ancak metalin sürekli sürtünmeye maruz kalması, parçanın zamanla aşınmasına ve mekanizmanın sıradan çıkmasına sebep olmaktadır. Bu durum, kapı kaşık parçasının sık sık değiştirilmesini gerektirirken, aynı zamanda üretim maliyetlerini de artırmaktadır. Metal parçaların işlenmesi, şekillendirilmesi ve montaj süreci, hem maliyetli hem de zaman alıcıdır.

Bu çalışmada, kapı kaşık parçasının aşınmaya karşı daha dayanıklı ve maliyet açısından avantajlı bir alternatif olarak MoS₂ katkılı PA 66 ve POM gibi polimer malzemeler kullanılarak yeniden tasarlanmasını amaçlamıştır. Bu polimerler, yüksek mukavemet, darbe dayanımı ve aşınma direnci gibi özellikleriyle öne çıkmaktadır. Metal malzemeye kıyasla daha hafif olan bu polimerler, sürtünmeyi azaltarak parçanın ömrünü uzatarak maliyetleri düşürmüştür.

Tasarım sürecinde SolidWorks programı kullanılarak kapı kaşık parçasının üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Modelleme aşamasında, polimer malzemenin mekanik özelliklerine uygun olarak parçanın geometrisi optimize edilmiştir. Ardından, belirlenen malzemeler ile üretim süreci gerçekleştirilmiş ve prototip üzerinde testler yapılarak dayanıklılığı değerlendirilmiştir.

Bu çalışma, metal kapı kaşık parçalarının yerine polimer malzemeler kullanılarak üretim maliyetlerini düşürmeyi, aşınmayı minimize etmeyi ve bakım gereksinimlerini azaltmayı hedeflemektedir. Yapılacak analizler sonucunda, polimer malzemelerden üretilen kapı kaşık parçasının performansı değerlendirilerek, asansör sektörüne alternatif bir çözüm sunulması amaçlanmaktadır.

Tasarım ve üretim süreçlerinin tamamlanmasının ardından, kapı kaşık parçasının performansını değerlendirmek amacıyla test gerçekleştirilmiştir. Bu testler, parçanın asansör kapı mekanizmasındaki dayanıklılığını, uzun vadeli aşınma direncini ve farklı çevresel koşullara karşı gösterdiği tepkiyi analiz etmek için uygulanmıştır.

Özellikle, kapı kaşık parçasının sıcaklık değişimlerine karşı direncini ölçmek için sıcaklık değerleri gözlenmiştir. Bu testler kapsamında, üretilen polimer kapı kaşık parçaları farklı sıcaklık aralıklarında değerlendirilerek malzemenin ısı genleşme, mekanik dayanım ve aşınma davranışı gözlenmiştir. Düşük sıcaklık koşullarında pekleşme, yüksek sıcaklıkta yumuşama veya yapısal deformasyon gibi olası etkiler analiz edilerek, parçanın uzun süreli performansı test edilmiştir.

Parçaların asansör kapılarında gerçek kullanım senaryolarında çalışma döngüsü testleri uygulanarak, belirli bir kullanım süresi boyunca ürünlerin güvenilirliği gözlenmiştir. Kapıların ortalama günlük 1000 kez açılıp kapandığı göz önüne alındığında, üretilen polimer kaşık parçalarının bu yük altında ne kadar süre dayanabildiği test edilerek, metal malzeme ile karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

Gerçekleştirilecek testler sonucunda, polimer kapı kaşık parçalarının metal alternatiflerine kıyasla performans avantajları değerlendirilerek, asansör sektöründe kullanılabilirliği hakkında sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma, hem maliyet avantajı hem de dayanıklılık açısından polimer malzemelerin uygunluğunu belirlemeye yönelik önemli veriler sunulmuştur.

1.1 Literatür Araştırması

Polimer tribolojisi üzerine yapılan çalışmalar literatürde oldukça geniş bir yer tutmaktadır. Polimer tribolojisi alanında gerçekleştirilen tribolojik testlerin önemli bir kısmı, pim-disk tribotest cihazları kullanılarak yapılmıştır. Tez konusuyla doğrudan ilişkili olarak, özellikle polimer malzemenin tribolojik özelliklerini araştıran çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Mens ve Gee, katkısız altı farklı polimer ile bunların PTFE (Politetrafloretilen) ve PTFE+cam elyaf dolgulu türevlerini, çelik yüzeyler üzerinde hem hava hem de sulu ortamlarda tribolojik olarak incelemişlerdir. Özel tasarlanmış, sıcaklığı ayarlanabilir blok-ring tipi bir cihaz kullanarak yaptıkları deneyler sonucunda, hava ortamında PTFE dolgulu polimerlerin tribolojik performanslarının iyileştiği, ancak sulu ortamda bu etkinin kaybolduğu belirlenmiştir [4].

Holmberg ve Wickström, arasında Poliamid 66 (P66) ve molibden disülfür (MoS_2) katkılı Poliamid 66'nın da bulunduğu 22 farklı ticari polimerin sürtünme katsayıları ve aşınma oranlarını, pim-disk ve multi-pim silindir cihazları kullanarak değişken basınç, sıcaklık ve hız koşulları altında 1000 saat boyunca test etmişlerdir. 1 MPa yük ve 0.1 m/s kayma hızı altında gerçekleştirilen deneylerde, 22°C'de MoS_2 katkılı PA 66'nın sürtünme katsayısının katkısız PA 66'ya göre daha yüksek, -35°C'de ise farkın azaldığı görülmüştür. Ayrıca 5 MPa yük altında yapılan testlerde MoS_2 katkısının aşınmayı belirgin şekilde azalttığı gözlenmiştir [5].

Czichos, PA 66, PA 6, PI (Poliimid), PTFE, POM (Polioksimetilen) ve PBTP (Polibütilenteraftalat) gibi termoplastik polimerlerin tribolojik performanslarını hem polimer-polimer hem de polimer-çelik temasları için pim-disk ve optik transparan disk tribotest cihazlarıyla incelemiştir. Çevresel etkilerin aşınma davranışına etkisini de araştırmış ve PA 66'nın aşınma oranının nem artışıyla birlikte arttığını, buna karşılık UHMWPE (Çok Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen) malzemesinde nem artışıyla aşınmanın azaldığını rapor etmiştir [6].

Rhee ve Ludema, PA 66, UHMWPE, POM, PTFE dolgulu POM ve PA 11 polimerlerinin paslanmaz çelik ve kuvars yüzeylerde kaydırılması sırasında transfer film oluşumunu pim-disk tribotest cihazıyla incelemişlerdir. Yapılan testlerde düşük yüklerde transfer film oluşumunun düzensiz olduğu, yüksek yüklerde ise film oluşumunun belirginleştiği ve aşınmanın önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur [7].

Bolvari ve arkadaşları, farklı oranlarda aramid elyafı ve PTFE katkılı PA 66 kompozitlerin sürtünme katsayısı ve aşınma davranışını blok-ring tribotest cihazı kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, %10 PTFE ve %25 aramid elyafı içeren kompozitin en düşük aşınma oranını gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, SEM analizleriyle transfer film kalınlıklarını da incelemiş ve PTFE+aramid elyafı katkılı numunelerin transfer filmlerinin daha kalın olduğunu ortaya koymuşlardır [8].

Ünal, Şen ve Mimaroglu, endüstriyel polimerlerden PA 66, POM, UHMWPE, cam elyaf katkılı PPS (Polifenilensülfid) ve APK (Alifatikpoliketon)'nin çelik yüzeylerle kaydırılması sırasında oluşan sürtünme ve aşınma davranışlarını farklı basınç ve kayma hızlarında pim-disk tribotest cihazı kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışmalarında en düşük spesifik aşınma oranının PA 66'da, en yüksek spesifik aşınma oranının ise POM'da gerçekleştiği belirlenmiştir [9].

Watanabe ve Yamaguchi, poliamid malzemelerin aşınma davranışı üzerinde yük, kayma hızı ve sıcaklık gibi parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Elde edilen veriler, sürtünmeden kaynaklanan sıcaklık artışının, yük ve hızın aşınma oranı üzerindeki etkisinde belirleyici rol oynadığını göstermiştir [10].

Son olarak, Lhymn, kısa cam elyaf katkılı PA 66 kompozitlerin tribolojik davranışlarını tribomekanik testler ve mikroskopik analizlerle değerlendirmiştir. Pim-disk test düzenekleri kullanarak yaptığı deneylerde, düşük yüklerde kayma hızı arttıkça aşınma hızının azaldığını; yüksek yüklerde ise kayma hızındaki değişimin aşınma hızını anlamlı ölçüde etkilemediğini tespit etmiştir [11].

Buna ek olarak, Li ve arkadaşları, cam elyafı ile güçlendirilmiş PA 66 kompozitlerin farklı PV değerleri ve yağlama koşulları altındaki tribolojik performansını pim-disk testleri ile incelemiş ve gres yağlamanın sürtünme ve aşınmayı önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuşlardır [12].

2. LİTERATÜR

2.1 Polimerlerin Mekanik Özellikler

Polimer malzemeler, sahip oldukları geniş kimyasal yapı çeşitliliği sayesinde çok farklı mekanik özellikler sergileyebilmektedir. Bu özellikler, moleküler yapıya, zincir uzunluğuna, çapraz bağlanma derecesine, kristal oranına ve katkı maddelerine bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik gösterebilir. Genel olarak polimerlerin mekanik davranışı, elastikiyet, sertlik, darbe dayanımı, çekme ve eğilme mukavemeti gibi temel parametrelerle değerlendirilir.

2.2. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi

Mühendislik gerilme-şekil değiştirme davranışı, çekme testleri ile belirlenir. P , kesiti A_0 olan numuneye uygulanan yükü ifade eder. l , parçanın son uzunluğunu, l_0 ise başlangıçtaki uzunluğunu gösterir. Mühendislik gerilmesi, $\sigma = P / A_0$, şekil değişimine ise $\varepsilon = (l-l_0) / l_0$ olarak tanımlanır [13].

Yapısal mühendislik problemlerinin çözümünde genel kabul gören yaklaşım, gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin parça geometrisinden bağımsız olduğu yönündedir.

2.3. Malzeme Bölgeleri

Malzemelerin mekanik davranışı, uygulanan yük altında gösterdiği tepkiye göre belirlenir. Gerilme-şekil değişimine eğrisine göre malzeme farklı gerilme düzeylerinde farklı deformasyon bölgeleri sergiler. Bu bölgeler elastik bölge, akma bölgesi, pekleşme bölgesi ve boyun verme bölgesi olarak sınıflandırılabilir [14].

2.3.1. Elastik bölge

Elastik bölge, malzemenin uygulanan yük kaldırıldığında eski şekline dönebildiği bölgedir. Bu bölgede malzemenin geometrisi, yük uygulandığında ve kaldırıldığında aynı kalır. Elastik bölgede gerilme ve şekil değişimine arasındaki ilişki doğrusal olup Hooke Yasası ile ifade edilir. Bu doğrusal ilişkinin sona erdiği nokta orantı sınırı olarak adlandırılır. Orantı sınırının aşılmasıyla birlikte malzeme elastik davranıştan çıkarak plastik deformasyona geçer [14].

2.3.2. Akma bölgesi

Akma bölgesi, malzemenin elastik sınırı aştığı ve plastik deformasyonun başladığı bölgedir. Bu aşamada numune kalıcı olarak şekil değiştirir. Gerilme sabit kalsa bile malzeme uzamaya devam eder. Bu durum özellikle sünek malzemelerde belirgin olup, $l > l_0$ şartı sağlanır. Mühendislik açısından, plastik şekil verme işlemlerinde pekleşme dikkate alınması gereken önemli bir etkidir [13].

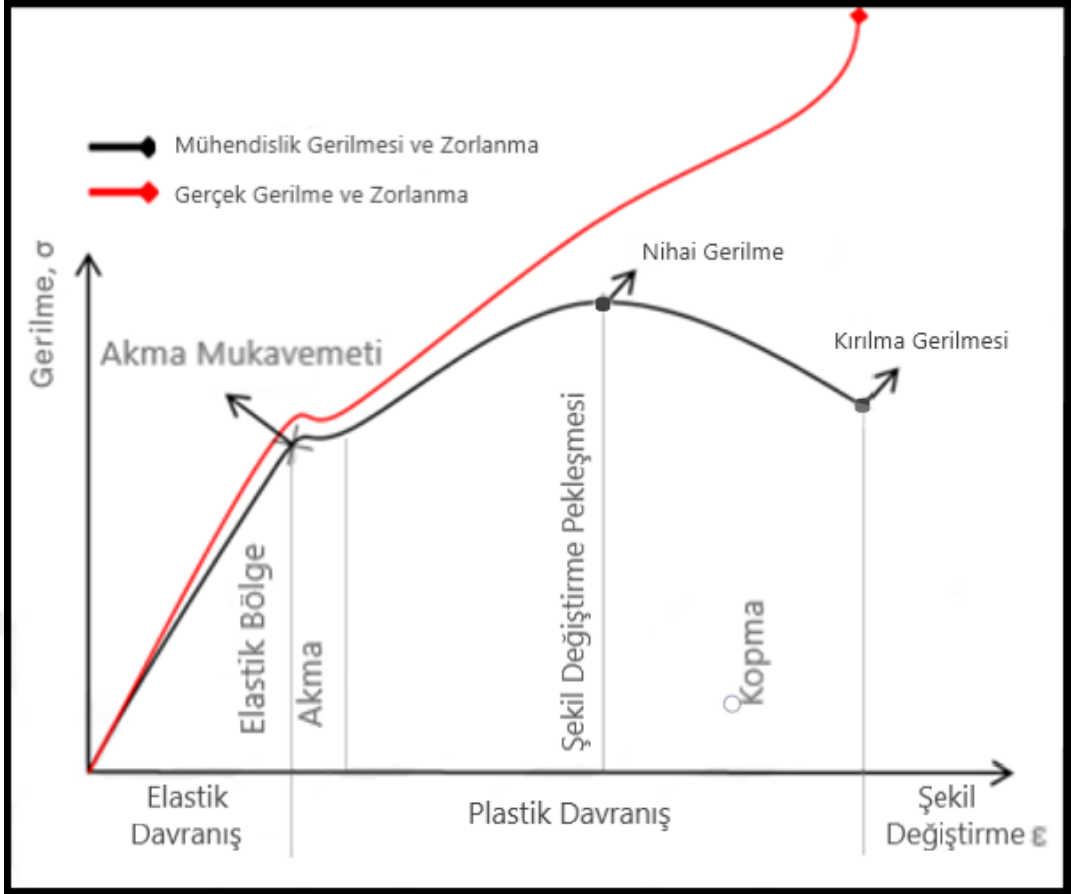
2.3.3. Pekleşme bölgesi

Pekleşme bölgesi, numunenin deformasyonla güçlendiği aşamadır. Bu bölgede malzemenin iç yapısında dislokasyon yoğunluğu artar ve malzeme daha fazla gerilme taşıyabilir hale gelir. Pekleşme bölgesi akma noktası ile maksimum gerilme arasında yer alır. Bu aşamada malzemenin sertliği ve dayanımı artarken sünekliği azalır. Mühendislik açısından, plastik şekil verme işlemlerinde pekleşme önemli bir faktördür [13].

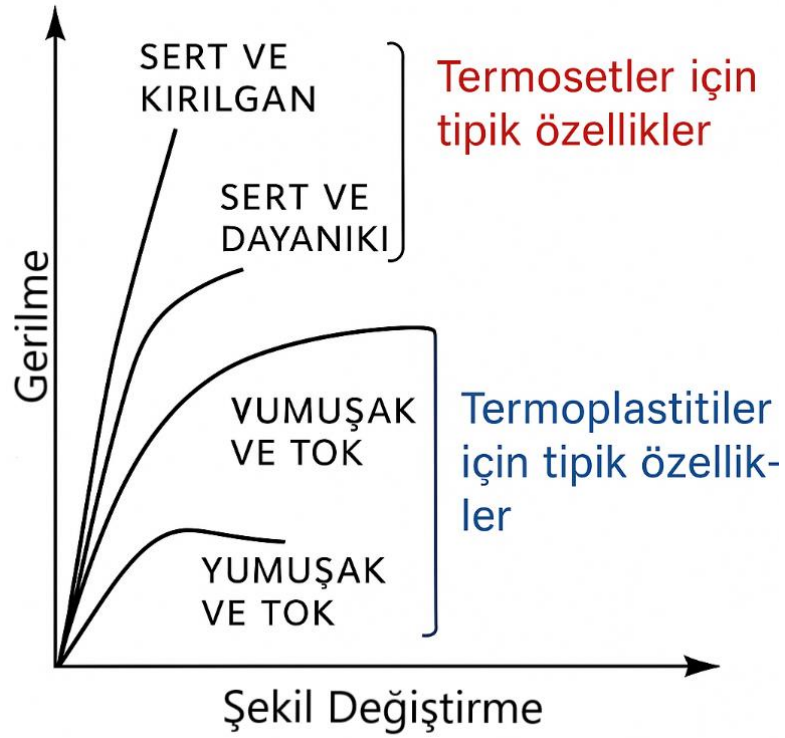
2.3.4. Boyun verme bölgesi ve kırılma

Boyun verme bölgesi, maksimum gerilme ile kırılma arasındaki şekil değişimi aralığını ifade eder. Bu aşamada, numunenin kesit alanı azalır ve malzeme, “boyun verme” (necking) olarak adlandırılan yerel bir daralma sergiler. Kesit alanındaki bu azalma nedeniyle, malzemenin taşıyabileceği gerilme düşer ve en sonunda kırılma meydana gelir. Kırılma gerilmesi, numune kopmadan önce maksimum uzamaya ulaştığında ortaya çıkar.

Gerilme-şekil değişirime eğrisi, malzeme davranış bölgeleri ve ilgili terminoloji Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu eğri genellikle metalik malzemeler için geçerlidir. Ancak, tüm malzemeler aynı gerilme-şekil değişirime eğrisini göstermez. Polimerler gibi bazı malzemelerde akma bölgesi veya pekleşme bölgesi belirgin olmayabilir [14]. Farklı malzeme türleri için tipik gerilme-şekil değişirime eğrileri Şekil 2.3'de sunulmaktadır.



Şekil 2.1 Gerilme-şekil değiştirme, malzeme davranış bölgeleri ve terminolojisi

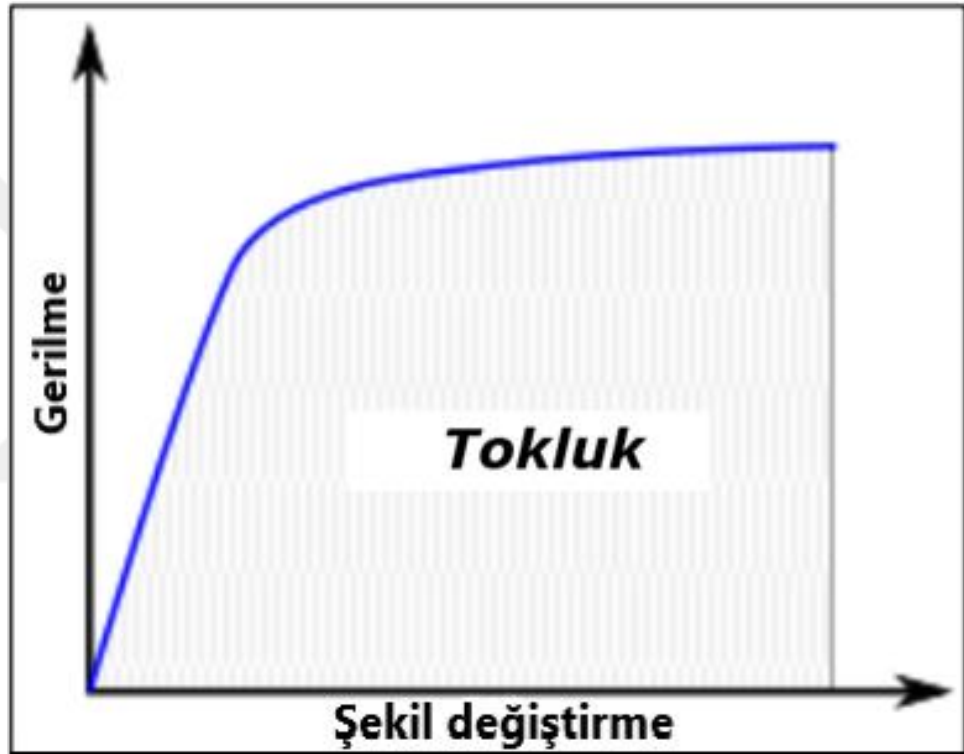


Şekil 2.2 Polimerlerin gerilme-şekil değişimi davranışı [17]

2.4. Tokluk

Tokluk, bir malzemenin kırılmadan önce birim hacim başına absorbe edebileceği toplam enerjinin bir ölçüsüdür. Geometrik olarak, gerilme-şekil değişirime eğrisinin altında kalan alan olarak ifade edilir. Elastik bölgede, eğer eğri akma bölgesine kadar integral alınırsa, bu değer süreklilik modülü (modulus of resilience) olarak adlandırılır [15].

Tokluk grafiği Şekil 2.3'de gösterilmektedir; Şekil 2.2'de ise polimerlerin gerilme-gerinim davranışı açıklanmaktadır.



Şekil 2.3 Tokluk [16]

$$enerji \frac{enerji}{hacim} = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon \quad (2.1)$$

Burada ϵ şekil değişimi (gerinim), ϵ_f kırılma anındaki şekil değişimi, σ ise gerilmedir.

2.5. Elastiklik Modülü

Elastiklik modülü (Young modülü), bir malzemenin elastik davranış gösterdiği doğrusal bölgede gerilme-şekil değişirme eğrisinin eğimini ifade eder. Şekil değişirme genellikle yüzde cinsinden verilir; bu nedenle elastiklik modülünün birimi genellikle MPa

(megapaskal) olarak kullanılır. Elastiklik modülü, çoğu durumda eğilme modülü ile benzerlik gösterir ve bu iki değer arasında yakın bir ilişki bulunabilir.

2.6. Eğilme Modülü

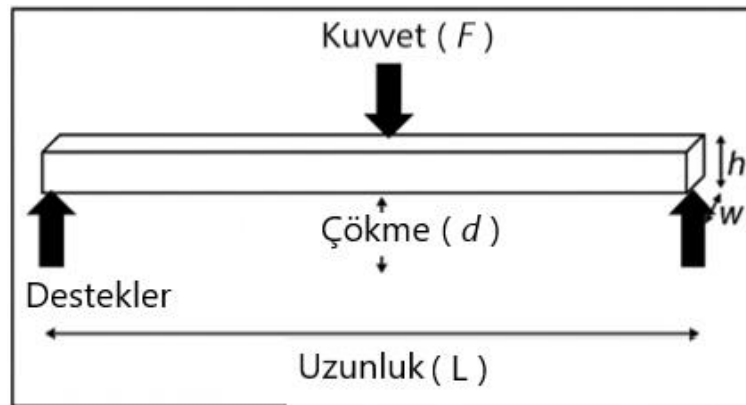
Eğilme modülü, kırılğan termoplastik veya termoset malzemelerin test edilmesinde yaygın olarak kullanılır. Bu tür malzemelere cam takviyeli polipropilen ve poliamid örnek verilebilir. Eğilme modülü değerleri, üç nokta testi ve dört nokta testi gibi düzeneklerle ölçülür. Homojen malzeme içeren dikdörtgen bir numunenin üç nokta testinde, eğilme modülü denklem 2.2'de verildiği gibi hesaplanır. Burada w ve h , kirişin genişliği ve yüksekliğidir, I , kirişin kesit alanının ikinci momentidir, L ise iki dış destek arasındaki mesafedir ve F uygulanan yükü temsil eder. Maksimum çökme (deflection), üç nokta testinde d , denklem 2.3'de verilmiştir. Burada d , yük yönündeki yer değiştirmeyi, h numunenin yük ile karşıt yönündeki dikey boyutunu, w ise numunenin yatay eksenindeki genişliğini ifade eder.

Eğilme testi, belirli bir yük altındaki maksimum çökme gereksinimlerini tahmin etmek için faydalıdır ve OEM (Original Ekipman Üreticisi) gereksinimlerine göre doğrusal-statik analizle, bir yük altında yer değiştirme miktarını sınırlayan analizler yapılır [18].

$$E_{eğilme} = \frac{L^3 F}{4wh^3 d} \quad (2.2)$$

$$d = \frac{L^3 F}{48IE} \quad (2.3)$$

Bükülme modülü şekli aşağıdaki Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Eğilme modülü [18]

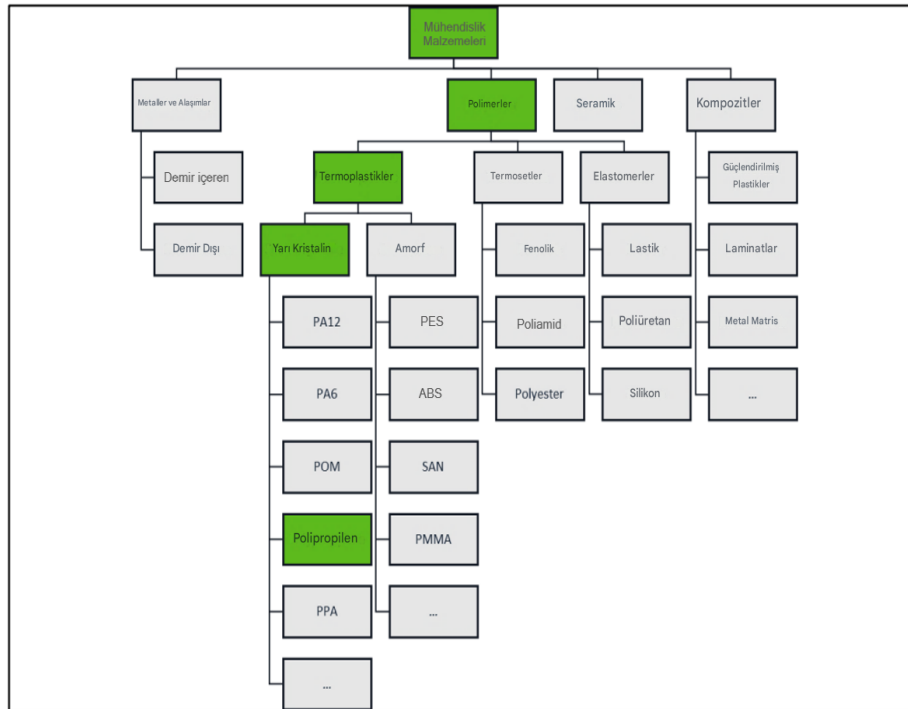
2.7. Mühendislik Malzemeleri

Mühendislik malzemeleri şu şekilde sınıflandırılır [19]:

- Metalik Malzemeler
- Polimerler
- Seramikler
- Kompozitler

Plastikler, uzun polimer zincirlerinden oluşur. Plastik malzemeler sentetik veya sentetik olarak şekillendirilebilen organik yapılardır.

Polimer, çok yüksek düzeydeki ağırlığa sahip bir kimyasal türdür ve düşük düzeydeki yoğun sayıda birimin kovalent olarak bağlanmasıyla oluşur. Bir polimer adı verilen bileşiğe (ve polimerin birimini oluşturan maddeye) monomer adı verilir. Örneğin; polietilen, birçok etilen monadından (CH_2) oluşur ve bu birimler kovalent olarak bağlanarak binlerce etilen biriminden oluşan uzun zincirli parçacıklar meydana gelir. "Polietilen" ismi, monomer olan "etilen" olduğuna, "çok" anlamına gelen "poli-" önekinin eklenmesiyle türetilmiştir.



Şekil 2.5 Polipropilenin mühendislik malzemeleri sınıflandırmasındaki yeri [19]

2.7.1. Kaynağına göre sınıflandırma

Polimerik özellikler, kaynaklara göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır [20]:

- Doğal Polimer
- Sentetik polimer
- Yarı sentetik polimer

Organik polimerler oksijen, azot atomları ve ağırlıklı olarak karbon içerir. İnorganik polimerler ise ana zincirde karbon yerine silikon, germanyum, bor, fosfor gibi elementler içerir. İnorganik polimerlerde, ana zincirdeki elementler arasındaki bağ paneli organik polimerlerdeki bağ enerjisinden daha yüksektir. Bu nedenle organik polimerler daha yaygın kullanımına rağmen, inorganik polimerler daha yüksek ısıya ve mekanik dayanıklılığa sahiptir [20].

Kauçuk, doğal polimerlere bir örnek iken; Lifleri, polietilen ve vulkanize kauçuk, laboratuvar koşullarında doğal polimerlerin yapay olarak değiştirilmesi nedeniyle yarı sentetik polimer ailesine dahildir.

2.7.2. Yapısına göre sınıflandırma

Polimerlerin yapısına göre üç gruba ayrılması mümkündür [20]:

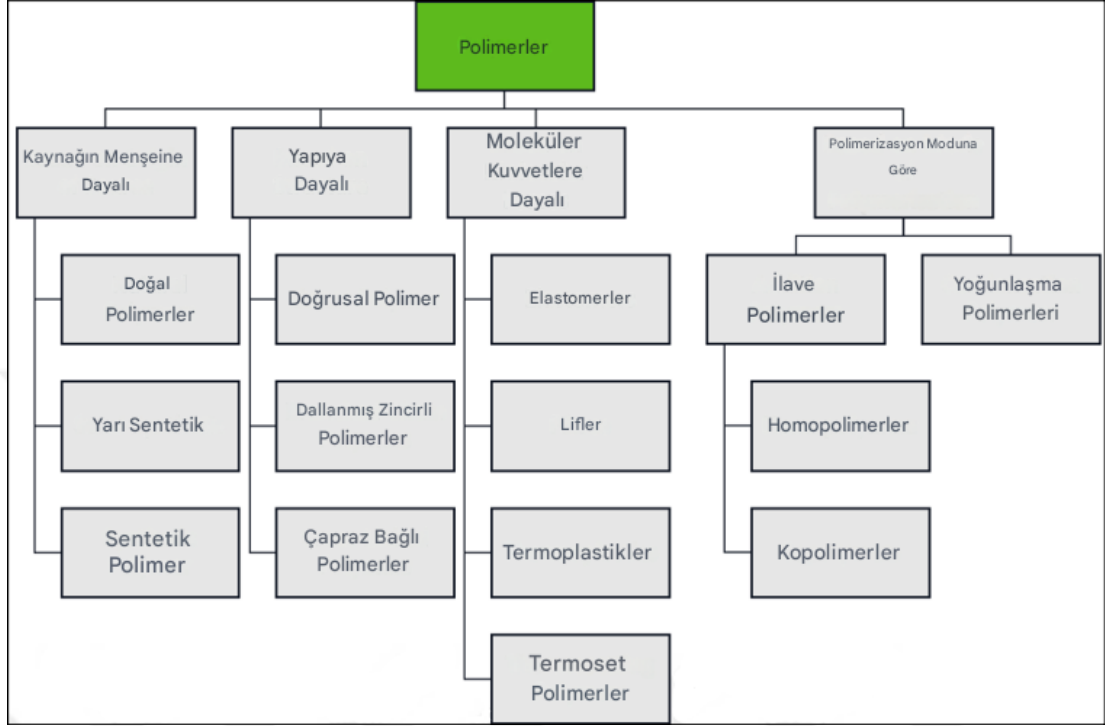
- Doğrusal (Doğrusal),
- Çapraz bağlı (Çapraz bağlı),
- Dallanmış zincir (Şube zinciri).

Doğrusal polimerler, birbirleriyle ilişkili ayırt edilemez bağlantılara sahip uzun düz bir zincire yapı olarak benzerdir. Bu gruptaki monomerler, uzun bir zincir oluşturmak için birbirine bağlanır. Bu polimerler yüksek derecede erime noktasına ve yüksek yoğunluğa sahiptir. Poli-vinil klorür (PVS), doğrusal polimerlere yaygın bir örnektir.

Çapraz bağlı polimerler, monomerlerin üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturacak şekilde birbirine bağlanmasıyla meydana gelir. Bu yapılar, yüksek gerilme mukavemeti sunar ancak düşük uzama kabiliyetine sahiptir. Melamin, çapraz bağlı polimerlere örnek gösterilebilir [21].

Dallanmış zincir polimerlerinin yapısı, tek bir düz zincirden başlayan ve rastgele dallar oluşturan bir yapıyı andırır. Monomerler, bazı uzunlukları değişken olan dallı

zincirlerle birlikte uzun bir düz zincir şekillendirecek şekilde birleşir. Bu dalların varlığından dolayı, polimerler birbirine sıkıca basılmamaktadır. Bu polimerlerin yoğunluğu ve erime noktası düşüktür. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), bu kategoriye örnek olarak verilebilir [21].



Şekil 2.6 Polimerlerin sınıflandırılması [20]

Termoplastikler, sertlik, yoğunluk, sıcaklık ve direnç gibi teknik özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Termoplastikler, aynı zamanda fiziksel yapılarına göre iki türde sınıflandırılabilir:

- Kristal olmayan(Amorf)
- Yarı kristal

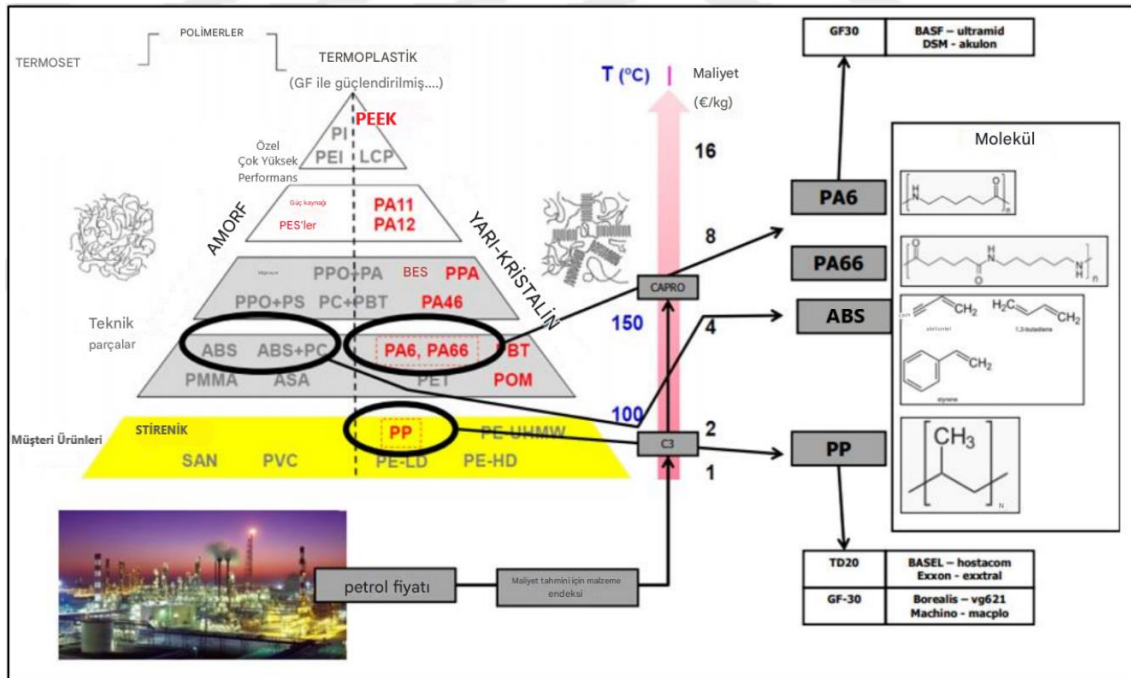
Şekil 2.7, plastiklerin fiziksel yapısına göre yaygın olarak kullanılan termoplastik sınıflandırmasını göstermektedir. Bu sınıflandırma yöntemi, esas olarak polimerlerin altındaki moleküler yapıya dayandığı için diğer sınıflandırma yöntemlerine kıyasla bir avantaja sahiptir.

Termoplastikler, ısıtıldıklarında sıvı hale gelebilirler. Sıvı durumda yüksek dereceli makromolekülün düzenlenmesi gerektiği için termoplastikler, soğutulduğunda kristalleşmezler. Kristalleşenler ise mükemmel kristal malzemeler oluşturmazlar, bunun yerine hem kristal hem de amorf bölgelerden oluşan yarı kristal malzemeler meydana

gelir. Bu tür polimerlerin kristal fazları, erime sıcaklıkları T_m ile tanımlanır. Erime sıcaklığının (T_m) üzerinde, polimerler geleneksel işleme yöntemleri ile biçimlendirilebilir. Bu yöntemler arasında ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama ve kompresyon kalıplama yer alır. Birçok termoplastik tamamen amorf ve hatta tavlama işlemi ile bile kristalleşmezler [20].

Camsı geçiş sıcaklığı T_g , bu polimerlerin cam (sert) halden lastik (yumuşak) hale dönüştüğü amorf polimerlere ait bir özelliktir. Camsı geçiş, zincir hareketinin başladığı noktaya karşılık gelir. Camsı geçişten önce, polimer zincirleri hareket edemez ve konumları kilitlenmiştir. Hem erime sıcaklığı hem de camsı geçiş sıcaklığı, zincir pekleşmesi ve moleküller arası çekim kuvvetlerinin artmasıyla birlikte yükselir.

PP (polipropilen) öncelikle maliyet avantajı nedeniyle kullanılır. Otomotivde geniş bir uygulama yelpazesi vardır, özellikle şekil değiştirebilir davranış nedeniyle tercih edilen ana malzemedir. Tipik olarak, termosetler, termoplastiklere kıyasla daha büyük bir dayanıklılığa sahipken, termoplastikler daha serttir. Termoplastik piramidi, aşağıdaki Şekil 2.7'de görülebilir [22].



Şekil 2.7 Termoplastikler piramidi [22]

2.7.3. POM'un özellikleri

Polioksümetilen (POM), yüksek kristallik derecesine sahip, termoplastik özellikli bir mühendislik polimeridir. Üstün boyutsal kararlılığı, yüksek mekanik dayanımı ve

gelişmiş tribolojik özellikleri sayesinde, metal yerine kullanılabilen en önemli polimer malzemelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Otomotiv, beyaz eşya, medikal cihazlar ve hassas mekanik parçalar başta olmak üzere, çok çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [23].

POM, üretim yöntemi bakımından iki ana yapıda ticari olarak sunulmaktadır: Homopolimer (POM-H) ve kopolimer (POM-C). Homopolimer, formaldehit monomerinin uygun koşullarda anyonik polimerizasyonu, kopolimer ise formaldehit ile birlikte kopolimerleşebilen diğer bileşiklerin katyonik polimerizasyonu ile elde edilir. Bu iki yapı arasındaki temel farklar; kristallik oranı, kimyasal direnç, termal stabilite ve mekanik performans gibi parametrelerde belirginleşmektedir [23].

Ticari anlamda POM-H; Derlin, Tecaform ve Tenac markalarıyla, POM-C ise Celcon, Duracon ve Ultraform markalarıyla pazarda yer almaktadır. Her iki tür de yüksek performanslı uygulamalarda kullanılmakla birlikte, uygulama koşulları ve tasarım gerekliliklerine göre tercih farklılıkları göstermektedir.

Homopolimer POM, yüksek kristallik oranı sayesinde daha sert ve aşınmaya karşı daha dayanıklıdır. Aynı zamanda düşük sürtünme katsayısı ile çalışan sistemlerde verimli performans sağlar [24].

Kopolimer POM ise, homopolimere kıyasla daha iyi kimyasal direnç göstermekte ve daha düşük sıcaklıklarda boyutsal kararlılığını koruyabilmektedir [24].

Homopolimer yapısındaki polioksimetilenin malzeme özellikleri Tablo 2.1’de, kopolimer ve homopolimer polioksimetilenin performans karşılaştırmasına ilişkin veriler ise Tablo 2.2’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 2.1 Homopolimer'in mekanik, termal ve kimyasal özellikleri [24]

Parametre	Değer	Birim	Norm
Çekme mukavemeti	80	MPa	DIN EN ISO 527-2
Elastikiyet modülü (çekme testi)	3600	MPa	DIN EN ISO 527-2
Akma mukavemeti	80	MPa	DIN EN ISO 527-2
Akma uzaması	5	%	DIN EN ISO 527-2
Kopmadaki uzama	43	%	DIN EN ISO 527-2
Eğilme mukavemeti	106	MPa	DIN EN ISO 178
Eğilme modülü (eğilme testi)	3600	MPa	DIN EN ISO 178
Sıkıştırma kuvveti	22/38/72	MPa	EN ISO 604
Sıkıştırma modülü	2800	MPa	EN ISO 604
Darbe dayanımı (Charpy)	kırılma yok	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eU
Çentikli darbe dayanımı (Charpy)	14	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eA
Shore sertlik	83	D	DIN EN ISO 868
Camsı geçiş sıcaklığı	-60	°C	DIN EN ISO 11357
Erime sıcaklığı	182	°C	DIN EN ISO 11357
Çalışma sıcaklığı (kısa dönem)	150	°C	
Çalışma sıcaklığı (uzun dönem)	110	°C	
Termal genleşme (CLTE) 23-60°C, boylamsal	11	10 ⁻⁵ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1;2
Termal genleşme (CLTE) 23-100°C, boylamsal	11	10 ⁻⁵ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1;2
Özgül ısı	1.3	J/(g*K)	ISO 22007-4:2008
Termal iletkenlik	0.43	W/(K*m)	ISO 22007-4:2008

Tablo 2.2 Kopolimer ve homopolimer polioksümetilenin karşılaştırılması [23]

Kopolimer	Homopolimer
İşlemesi daha kolay. Daha geniş işleme penceresi	Çeşitli viskozite aralıklarında mevcuttur
Uzun süreli iyi performans (sürünme direnci, yorgunluk, dayanıklılık, dayanıklılık)	Yapılarında daha fazla düzenlilik derecesi
Daha az gaz ve koku	Daha yüksek çekme mukavemeti
Ağır metal içermeyen renkler (Çevre için daha güvenli)	Doldurulmamış homopolimer daha sert ve daha güçlüdür
Daha iyi renk bakımı	Tekrarlanan darbe altında orta sertlik
Ultraviyole ışığa altında bulunabilme	Daha ince ve daha hafif parça tasarımına izin verir
Daha hızlı kalıplama döngüleri	Daha kısa kalıplama döngüleri
Daha az kalıp kalıntısı	Maliyet düşürme potansiyeli
Alkali ortamlarda stabil kalabilme	Daha iyi mekanik özellikler sağlar

Polioksümetilen (POM), sahip olduğu birçok avantaj sayesinde mühendislik polimerleri arasında öne çıkmaktadır. Ancak yapısal özellikleri gereği bazı sınırlayıcı durumları da beraberinde getirmektedir. Özellikle güçlü asitler, bazlar ve oksitleyici kimyasallar karşısında sınırlı kimyasal direnç göstermektedir. Ayrıca, yüksek oksijen içeriği nedeniyle kolay alevlebilir yapılardır.

Termal stabilitesi düşüktür ve UV ışınlarına karşı korumasızdır, bu da uzun süreli açık hava uygulamalarında renk değişimi gibi estetik ve performans sorunlarına yol açabilmektedir. POM malzemelerin yüzeylerine mekanik veya kimyasal işlem uygulamak çoğu zaman zorlayıcıdır.

2.7.4 Molibden disülfür (MoS₂) katkı PA 66'nın özellikleri

PA 66, kimyasal yapısında değişiklik olmadığı sürece ısı ile tekrar tekrar şekillendirilebilmesi sayesinde bir termoplastik polimer olarak sınıflandırılmaktadır. Bu polimer, hegzametilen diamin ile adipik asit arasında gerçekleşen polikondensasyon reaksiyonu sonucunda elde edilmektedir. Yüksek erime sıcaklığına (yaklaşık 269 °C) ve %50 civarında kristallik oranına sahip olan PA 66, bu yapısal özellikleri sayesinde yüksek mekanik dayanım, sertlik, termal kararlılık, kimyasal direnç ve aşınma direnci göstermektedir. Ayrıca, tekrarlayan mekanik zorlamalara karşı dirençli olması onu darbe ve titreşim altında çalışan uygulamalar için uygun hale getirmektedir [26].

Düşük erime viskozitesi ve hızlı kristalleşme özelliği, PA 66'yı enjeksiyon kalıplama ve benzeri işleme yöntemleri açısından avantajlı kılmaktadır. Ancak, nem alma oranının yüksek olması, bu malzemenin kalıplama öncesinde uygun şekilde kurutulmasını zorunlu hâle getirir. Yetersiz kurutma, ürün kalitesini olumsuz etkilerken; üretim sonrasında çevreden alınan nem, parçaların darbe dayanımını artırıcı bir etki yaratabilmektedir. PA 66'nın bazı temel tribolojik özellikleri ise Tablo 2.3'de özetlenmiştir [25].

Tablo 2.3 PA 66'nın tribolojik özellikleri [25]

Özellik	ASTM Metot	Birimler	Yağlanmış	MoS ₂	PTFE	%30 Grafit
Özgül Ağırlık	D792	-	1.15	1.18	1.23	1.47
Sertlik	D785	-	M60	M85	M65	R120
Statik Sürtünme	D1894	-	0.05	0.17	0.2	0.12
Dinamik Sürtünme	D1894	-	0.06	0.09	0.06	0.14
Aşınma Faktörü		m/s	14.7	12.6	6.3	3.8
PV Limit		MPa	48.3	51.7	34.5	138

Düşük sürtünme katsayısı, pürüzsüz ve sert yüzeyi sayesinde PA 66, özellikle aşınma riskinin yüksek olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu özelliklerin daha da iyileştirilmesi amacıyla, PA 66'ya katı yağlayıcılar olarak bilinen molibden disülfür (MoS₂), politetrafloroetilen (PTFE) ve grafit gibi katkı maddeleri ilave edilebilmektedir.

Bu katkılardan özellikle molibden disülfür, PA 66'nın tribolojik performansını artırmak amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. “Moly” olarak da adlandırılan bu madde, naylon malzemelerin kristal yapısını güçlendirerek, daha sert ve aşınmaya dayanıklı yüzeylerin oluşmasına katkı sağlar. MoS₂, polimer yapısındaki molekülleri doğrudan kristalleştirme yoluyla etkiler ve bu özelliği nedeniyle genellikle naylon sınıfı malzemelerle sınırlı kullanım alanına sahiptir. Ayrıca, metal yüzeylerle kimyasal olarak güçlü bir etkileşime girerek mikroskobik boşlukları doldurur ve yüzeyi kayganlaştırır. Bu da MoS₂'yi özellikle endüstriyel burçlar, kam bileşenleri ve metalle çalışan naylon parçalar için uygun hale getirir [25].

MoS₂ katkılı PA 66'nın piyasada bulunabilen ticari adı “TECAMID 66 MO BLACK” olup, deneylerde de bu ürün kullanılmıştır. MoS₂ katkılı PA 66'nın bazı temel malzeme özellikleri ise Tablo 2.4 ve 2.5’de özetlenmiştir [26].

Tablo 2.4 MoS₂ katkılı PA 66'nın mekanik özellikleri [26]

Parametre	Değer	Birim	Norm
Çekme mukavemeti	84	MPa	DIN EN ISO 527-2
Elastikiyet modülü (çekme testi)	3200	MPa	DIN EN ISO 527-2
Akma mukavemeti	83	MPa	DIN EN ISO 527-2
Akma uzaması	10	%	DIN EN ISO 527-2
Kopmadaki uzama	25	%	DIN EN ISO 527-2
Eğilme mukavemeti	114	MPa	DIN EN ISO 178
Eğilme modülü (eğilme testi)	3100	MPa	DIN EN ISO 178
Sıkıştırma kuvveti	20/38/86	MPa	EN ISO 604
Sıkıştırma modülü	2700	MPa	EN ISO 604
Darbe dayanımı (Charpy)	kırılma yok	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eU
Çentikli darbe dayanımı (Charpy)	5	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eA
Shore sertlik	81	D	DIN EN ISO 868

Enjeksiyon kalıplama sürecinde de MoS₂ katkısı, üretim verimliliğini artırır; daha kısa kalıplama döngüleri ve daha az deformasyon ile maliyet avantajı sağlar. Ancak, literatürde bu katkı maddesinin her zaman olumlu etkiler göstermediği; uygulama koşulları, oranı ve polimer tipi gibi değişkenlere bağlı olarak olumsuz sonuçlar da doğurabileceği ifade edilmektedir [27]. Bu nedenle, doğru oran ve uygun uygulama koşulları sağlandığında MoS₂ katkısının tribolojik performansı geliştirdiği bilinmektedir [27].

Tablo 2.5 MoS₂ katkılı PA 66'nın termal özellikleri [26]

Parametre	Değer	Birim	Norm
Camsı geçiş sıcaklığı	52	°C	DIN EN ISO 11357
Erime sıcaklığı	253	°C	DIN EN ISO 11357
Çalışma sıcaklığı (kısa dönem)	170	°C	
Çalışma sıcaklığı (uzun dönem)	100	°C	
Termal genleşme (CLTE) 23-60°C, boylamsal	10	10 ⁻⁵ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1;2
Termal genleşme (CLTE) 23-100°C, boylamsal	10	10 ⁻⁵ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1;2
Özgül ısı	1.5	J / (g*K)	ISO 22007-4:2008
Termal iletkenlik	0.36	W / (K*m)	ISO 22007-4:2008

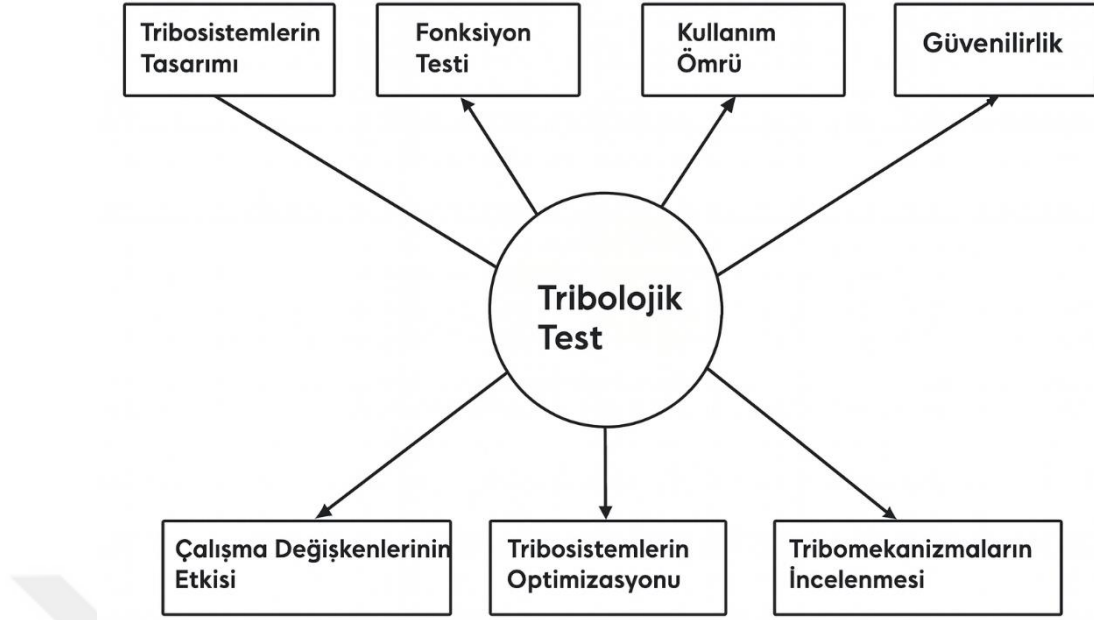
2.8 Tribolojik Testler

Triboloji, görelî hareket hâlindeki temas yüzeyleri arasında meydana gelen sürtünme, aşınma ve yağlama olaylarını inceleyen bilim dalı olarak tanımlanır. Günümüzde tribolojinin önemi oldukça kritiktir; çünkü çoğu mühendislik tasarımı, görelî hareket sonucu ortaya çıkan "aşınma ve yıpranma" süreçlerini içermektedir. Medalia (1980), sanayi sektöründe toplam maliyetin yaklaşık %63'ünün aşınmadan kaynaklandığını bildirmiştir.

Günlük yaşantımızda yürümek, yemek pişirmek, yazmak, araba sürmek gibi pek çok eylem tribolojiyle doğrudan ilişkilidir ve bu nedenle triboloji; fizik, makine mühendisliği, kimya ve malzeme bilimi gibi farklı disiplinleri kapsayan interdisipliner bir çalışma alanı olarak kabul edilir [28].

Bu tür testler, genellikle tribometre olarak adlandırılan özel test cihazlarıyla gerçekleştirilir. Tribometre kavramı, tarihsel olarak ilk kez 1774 yılında, yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetini ölçmek amacıyla geliştirilen düzenekler için kullanılmıştır. Günümüzde ise mühendislik uygulamalarında karşılaşılan çeşitli problemleri çözmek, yeni malzemeler geliştirmek ve mevcut sistemleri iyileştirmek amacıyla farklı çevresel ve mekanik koşullar altında malzemelerin tribolojik özelliklerinin incelenmesi gereklilik haline gelmiştir [29].

Tribolojik testler; sistem bileşenlerinin bakım aralıklarının belirlenmesinde, tahmini ömür hesaplarında ve genel güvenilirlik analizlerinde kritik veriler sağlamaktadır. Bu testlerin kapsamını genel hatlarıyla gösteren şematik bir yapı Şekil 2.8'de sunulmaktadır.



Şekil 2.8 Tribolojik testin kapsamı [29]

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen aşınma odaklı çalışmalar genellikle iki temel amaca hizmet etmektedir: Bunlardan ilki, aşınma mekanizmalarının temel nedenlerini ortaya koymak; diğeri ise uygulamalı senaryoları simüle ederek sürtünme katsayıları ve aşınma oranlarına dair pratik veriler üretmektir.

Her iki amaca yönelik yürütülen deneysel çalışmalarda, aşınma sürecini etkileyen tüm parametrelerin titizlikle ölçülmesi ve kontrol altına alınması büyük önem taşımaktadır. Özellikle aşınma oranı ile sürtünmenin, büyük oranda kayma koşullarına bağlı olarak şekillendiği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu noktada, deney ortamındaki küçük değişkenliklerin bile, baskın aşınma mekanizmasında ve genel aşınma hızında köklü farklılıklara neden olabileceği anlaşılmaktadır [30].

Bu nedenle, test sonuçlarının bilimsel geçerliliğe sahip olabilmesi ve gerçek sistem koşullarını temsil edebilmesi için deneysel süreçlerin yakından izlenmesi ve dikkatle kontrol edilmesi zorunludur [30].

2.8.1 Tribolojik testlerin sınıflandırılması

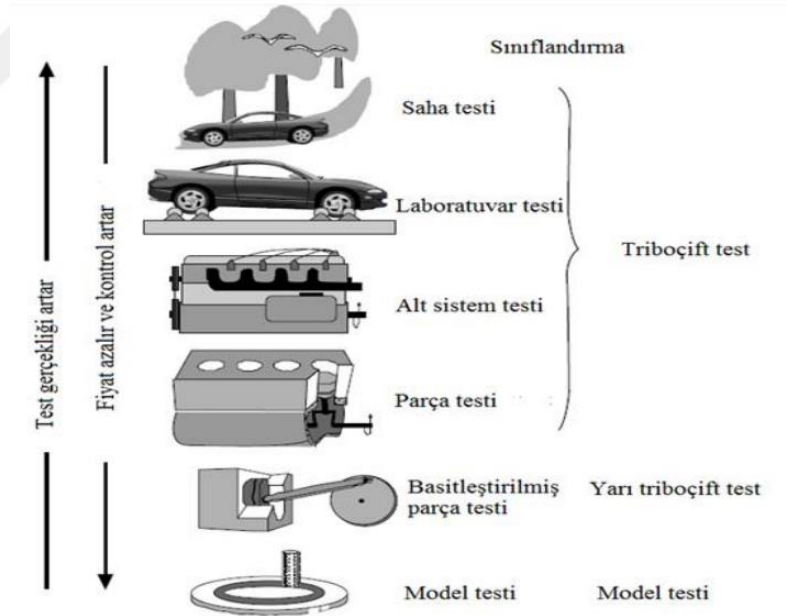
Triboloji alanında çok sayıda parametrenin etkili olması ve deneysel koşullarda meydana gelen küçük değişimlerin dahi test sonuçları üzerinde önemli farklılıklara yol açabilmesi, çeşitli türlerde tribolojik testlerin geliştirilmesini ve uygulanmasını zorunlu

kılmaktadır. Bu durum, tribotest cihazlarının sayıca artmasına ve farklı çalışma prensiplerine sahip sistemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Bu test sistemlerini belirli özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Sınıflandırma ölçütlerinden biri, testlerin gerçekleştirilme şekline ve elde edilen sonuçların gerçek sistem koşullarını ne ölçüde yansıttığına, yani testlerin gerçeklik derecesine dayanmaktadır.

2.8.2. Saha testi

Saha testleri, tribolojik test yöntemleri arasında gerçek çalışma koşullarına en yakın sonuçları sağlayan yöntemlerdir. Şekil 2.9'da da görüldüğü üzere, bu testler uygulama ortamında veya o ortama çok yakın şartlarda uzun süreli olarak gerçekleştirilir. Test parametreleri üzerinde müdahale imkânı oldukça sınırlıdır. Bu durum, test sürecinin esnekliğini azaltmakta ve maliyetin yüksek olmasına neden olmaktadır. Ancak buna karşılık elde edilen veriler, gerçek sistem davranışını temsil etme açısından büyük önem taşımaktadır [31].



Şekil 2.9 Tribolojik testlerin gerçeklik derecelerine göre sınıflandırılması [31]

2.8.3 Laboratuvar testi

Laboratuvar testleri, saha testlerine göre daha kontrollü ortamlarda gerçekleştirilen ve çevresel faktörlerin sadeleştirilerek simüle edildiği testlerdir. Bu tür deneylerde sıcaklık, yük, hız gibi parametreler daha kolay kontrol edilebilir ve deneyler

tekrarlanabilir niteliktedir. Gerçeklik düzeyi saha testlerine kıyasla daha düşüktür; ancak test süresi ve maliyeti bakımından daha avantajlıdır [32].

2.8.4 Alt sistem testi

Alt sistem testlerinde, incelenen sistemin yalnızca belirli bir bileşen grubu test edilir. Bu sayede sistem içerisindeki bileşenlerin birbirleriyle olan etkileşimleri azaltılır ve tribolojik davranış daha izole bir şekilde gözlemlenebilir. Laboratuvar testlerine göre çevresel koşullar ve çalışma parametreleri farklılık gösterebilir. Bu test türü, özgül bileşenlerin performansını detaylı biçimde incelemek için uygundur.

2.8.5 Parça testi

Parça testleri, özellikle malzemelerin ve yağlayıcıların uygun kombinasyonlarını değerlendirmek amacıyla uygulanır. Aynı zamanda farklı tasarım yaklaşımlarını doğrulamak, ya da tasarım, malzeme ve yağlayıcı seçimlerini optimize etmek için de kullanılmaktadır. Gerçek parçalar üzerinden yapılan bu testler, sistemin genel performansına ilişkin doğrudan veriler sunar [29].

2.8.6 Basitleştirilmiş parça testi

Bu test türü, parça testlerinin daha sadeleştirilmiş bir versiyonudur. Parametrelerin daha hassas biçimde kontrol edilebilmesi sayesinde, deneysel koşullar daha esnek bir şekilde belirlenebilir. Gerçeklik düzeyi nispeten daha düşüktür; ancak ön değerlendirme amacıyla yapılan çalışmalar için zaman ve maliyet açısından oldukça etkilidir.

2.8.7 Model testi

Model testleri, kısa süreli ve giderek artan yükleme ya da hız koşulları altında malzemelerin veya yağlayıcıların zorlu ortam koşullarındaki tribolojik davranışlarını değerlendirmek amacıyla uygulanır. Bu testlerde genellikle, etkileşimde bulunan tribo-elemanlar arasındaki gerçek temas alanının artırılmasıyla birlikte test süresi önemli ölçüde kısaltılabilir. Bu durum, yüzey basıncının yükseltilmesi ya da yağlama koşullarının sınırlandırılması yoluyla sağlanabilir. Örneğin, kullanılan numune geometrileri nedeniyle hidrodinamik yağlama etkisi azalabilir.

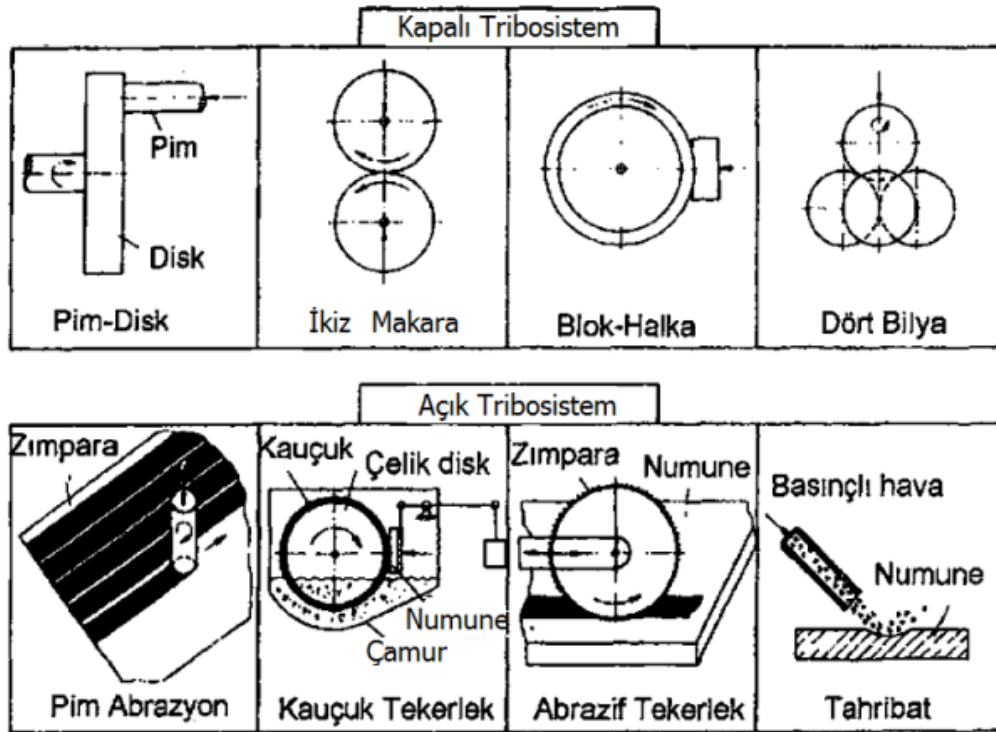
Ancak bu yaklaşımın bir sonucu olarak, test süresinin kısaltılması, deneysel verilerin gerçek servis koşullarına doğrudan aktarılabilirliğini belirsiz hale getirebilir. Model testlerinde yalnızca farklı aşınma oranları ortaya çıkmaz; aynı zamanda aşınma

mekanizmalarında da değişiklikler gözlemlenebilir ve bu durum, yorumlamayı karmaşıktırabilir.

Model testlerinden elde edilen tribolojik verilerin gerçek sistem koşullarına uyarlanabilirliği ancak test edilen sistem ile gerçek uygulama arasında belirli koşulların örtüşmesi durumunda mümkündür. Bu koşullar; yükleme profili, tribosistem bileşimi ve baskın aşınma mekanizmasının benzerliği olarak sıralanabilir.

Model testlerinin bilimsel çalışmalarda sıkça tercih edilmesinin temel nedenlerinden biri, test parametrelerinin kolaylıkla değiştirilebilmesi ve sonuçların yüksek tekrarlanabilirlik göstermesidir. Ayrıca bu testlerin uygulanması görece düşük maliyetli olması nedeniyle de avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, model testlerinden elde edilen bulguların pratik uygulamalara aktarılabilirliği, her bir tribosistem özelinde ayrı ayrı değerlendirilmelidir [29].

Model testleri genel olarak Şekil 2.10'da gösterildiği üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir.



Şekil 2.10 Farklı tipteki model testleri (a) kapalı sistemler, (b) açık sistemler [29]

2.9 Plastik Enjeksiyon Kalıplama

Plastik enjeksiyon kalıplama, ham polimer malzemelerin termoform ürünlere dönüştürülmesinde yaygın olarak bilinen yöntemlerden biridir. Bu yöntem, özellikle eritilip yeniden şekillendirilerek tek tek soğutulan termoplastik malzemeler için yaygın olarak kullanılır.

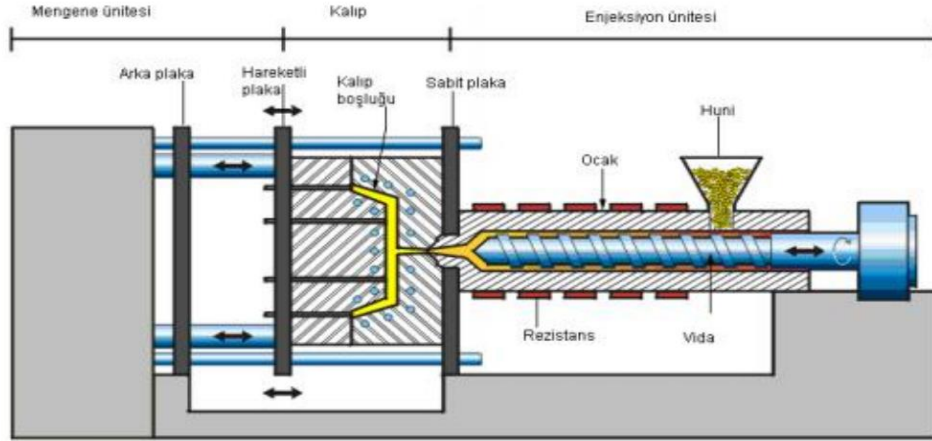
Günümüzde enjeksiyonla kalıplanmış ürünler; otomotiv, gıda ambalajı, şişe kapakları, tel makaraları, bilgisayar ve elektronik ekipmanlar gibi birçok üretim endüstrisinde kullanılabilmektedir. Bu işlevsel süreç sayesinde, yüksek kaliteli, basit veya karmaşık ürünler, yüksek hızda ve tamamen otomatik şekilde üretilabilmektedir. Bazı termoplastik ham maddeler ve kullanım alanları Tablo 2.6’da listelenmiştir.

Tablo 2.6 Yaygın termoplastik malzemeler, özellikleri ve uygulama alanları [33]

Malzeme	Kısaltma	Özellikler	Tipik Kullanım Alanları
Polipropilen	PP	İyi kimyasal direnç	Ambalaj, kaplar
Polietilen	PE	İyi kimyasal direnç, esnek veya yarı sert, hava koşullarına dayanıklı, düşük sıcaklıkta iyi performans	Kimyasal variller, gaz/su boruları ve bağlantı parçaları, mutfak eşyaları
PP Kopolimer	CPPP	İyi parlaklık, doku mümkün, düşük maliyet	Büyük otomotiv parçaları, çocuklar ve piknikler için tabaklar ve bardaklar
Polistiren	PS	Kırılgan, şeffaf. Zayıf UV kararlılığı. HIPS, GPPS'nin darbe dayanımının 7 katına kadar çıkabilir	Oyuncaklar, ambalaj, kozmetik ambalajı, TV kabinleri, buzdolabı içleri, klozet kapakları
Poliamid	PA	Sert, dayanıklı, aşınmaya dayanıklı	Dişli, yatak, otomotiv kaput altı parçalar
Polikarbonat	PC	Sert, şeffaf, mükemmel darbe dayanımı, iyi hava direnci, iyi boyutsal kararlılık	Kask vizörleri, vandalizme dayanıklı camlar, çevik kuvvet kalkanları, araba far lensleri, güvenlik kaskları

2.9.1 Enjeksiyon döngüsü

Plastik enjeksiyon kalıplama, yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirlik ile karmaşık ya da basit plastik parçaların üretimi için yaygın olarak kullanılan bir imalat yöntemidir. Günümüzde enjeksiyon makineleri, mikroişlemci kontrollü kapalı çevrim sistemlerle tamamen otomatik olarak çalışmakta olup, süreç oldukça verimli ve tutarlıdır.



Şekil 2.11 Plastik enjeksiyon kalıplama makinesinin şematik resmi [34]

İlk aşama kalıbın kapanmasıdır. Kalıp, plaka düzeneği içerisinde sıkıca kapatılır ve enjeksiyon sırasında erimiş plastiğin dışarı sızmasını önlemek amacıyla yeterli sıkma kuvveti uygulanır. Modern makinelerde bu kuvvet 150 kN ile 4000 kN arasında değişebilir. Sıkma sistemleri genellikle iki tiptir: hidrolik sistemler ve mafsallı kilitleme (toggle lock) sistemleri. Hidrolik sistemde, ana piston ya da yardımcı pistonlar yardımıyla kalıp sıkılırken, toggle lock sisteminde ise hareketli plakaya bağlı mekanik bir mafsal düzeneği küçük bir hidrolik silindir tarafından hareket ettirilerek sıkma kuvveti sağlanır [35].

Kalıp kapandıktan sonra enjeksiyon aşamasına geçilir. Helisel vida, ön ucunda erimiş polimerden oluşan bir miktar malzeme ile "geri çekilmiş" pozisyonundadır. Vida, aşınmaya dayanıklı bir iç yüzeye sahip silindir içinde döner. Seramik rezistanslar silindirin çevresine yerleştirilmiş olup, plastiğin ısınıp kontrol altında tutar. PID (Oransal-Türevsel-İntegral) kontrol sistemi ile sıcaklık hassas bir şekilde ayarlanır. Vida dönmeksizin ileriye doğru hareket eder ve eriyik malzemeyi silindirin ucundaki meme aracılığıyla kalıp boşluğuna iletir [35].

Enjeksiyon sonrasında tutma ve soğutma evresine geçilir. Vida, belirli bir süre ileri konumda tutularak kalıp içindeki katılaştıran malzeme üzerine baskı uygulanır. Bu

baskı, parça katılaştırken oluşan büzülmeyi telafi etmek için kalıba ek malzeme akışını sağlar. Tutma basıncı; enjeksiyon başlangıcından itibaren geçen süre, vida konumu ya da kalıptaki basınç transdüserinden alınan verilerle kontrol edilir. Tutma basıncının etkisi sona erdiğinde, artık iç gerilimleri azaltmak için bu basınç sıfırlanır. Kalıp, soğuma süresi boyunca kapalı kalır ve parça yeterince katılaştığında kalıptan çıkarılır. Parçanın, camısı geçiş sıcaklığının (T_g) altına inmesi gerekir ki bu da parçanın boyutsal kararlılığını korur [33]. Bu sırada vida, bir sonraki çevrim için yeniden malzeme alımı (dozajlama) aşamasına başlar. Vida dönerken, granül ya da toz halindeki plastik, hazneden alınarak silindire beslenir. Hazne boğazı genellikle ön erimeyi önlemek amacıyla su ile soğutulur. Malzeme vida boyunca ileriye taşınırken ısınır ve tamamen eriyip homojen hale gelir. Gerekli enjeksiyon hacmine ulaşıldığında, vida geri hareketi hidrolik akış sınırlandırmasıyla engellenir ve bu durum "geri basınç" olarak adlandırılır. Bu da eriyik homojenliğini artırır [35]. Soğutma tamamlandıktan sonra kalıp açılır ve parça dışarı çıkarılır. Bu genellikle hidrolik aktüatörle hareket eden itici pimlerle ya da kalıp yüzeyinde yer alan pnömatik valflerle sağlanır. Parça serbest düşüşle, bir toplama kutusuna, konveyör üzerine ya da robotik sistemle alınarak dışarı çıkarılabilir. Yarı otomatik modda, operatör parçayı manuel olarak kalıptan çıkarabilir. Parça tamamen kalıptan çıktıktan sonra çevrim yeniden başlatılır ve süreç sürekli olarak tekrarlanır. Bu bütünleşik süreç, polimer parçaların hassas şekilde kalıplanmasını sağlayarak; malzeme bilimi, ısı kontrolü ve mekanik otomasyonu bir araya getirmektedir.

2.9.2 Plastik enjeksiyon çevrim süresi

Plastik enjeksiyonda çevrim süresi, bir parçanın kalıba enjekte edilmesinden kalıptan çıkarılmasına kadar geçen üretim döngüsünün toplam süresidir. Bu süre, ürünün üretim verimliliği ve birim maliyeti açısından kritik bir parametre olarak değerlendirilir. Genel olarak çevrim süresi; kalıbın kapanmasından başlayarak, plastiğin kalıba enjekte edilmesi, soğutulması, kalıbın açılması ve parçanın çıkarılması aşamalarını kapsar. Başka bir ifadeyle, kalıbın kapanması ile parçanın kalıptan ayrılması arasında geçen toplam süre, çevrim süresi olarak tanımlanır [35].

3. YÖNTEM

3.1 Deney Tesisatının Tanıtımı

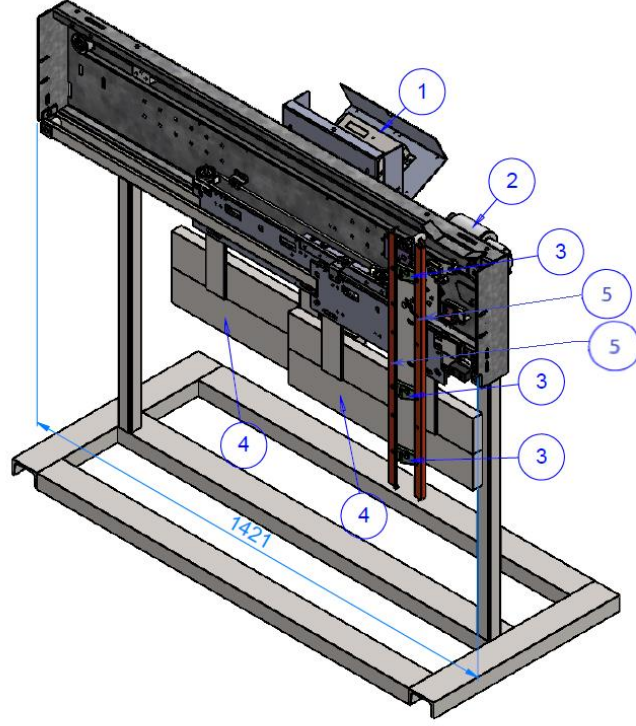
Bu çalışmada, molibden disülfür (MoS_2) katkılı Poliamid 66 ile poliasetal (POM) malzemelerden enjeksiyon yöntemiyle üretilmiş numunelerin, farklı yükler altındaki aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Araştırmanın temel amacı, asansör kapılarında kullanılan kapı kaşık parçasının polimer bileşenlerinin; farklı parametreler altında maruz kaldıkları aşınma miktarını belirlemek ve buna bağlı olarak oluşabilecek ömür kayıplarını analiz etmektir. Bu doğrultuda, hem malzeme dayanımının hem de mekanik sistemlerin uzun vadeli performansının anlaşılması amaçlanmıştır.

Bu hedef doğrultusunda, özgün bir kapı test mekanizması tasarlanarak geliştirilmiştir. Söz konusu mekanizma, asansör kapılarının gerçek çalışma koşullarını laboratuvar ortamında simüle edebilecek şekilde yapılandırılmıştır ve bu sayede güvenilir ve tekrarlanabilir aşınma testlerinin gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Gerçek dünya uygulamaları dikkate alınarak tasarlanan bu sistem, sektörde karşılaşılan problemlere doğrudan çözüm sunmayı hedeflemiştir.

Kapı test mekanizmasının şematik görünümü ve bileşenleri Şekil 3.1’de, genel görünümü ise Şekil 3.2’de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Testler sırasında uygulanan normal kuvvet, ağırlıklar aracılığıyla sağlanmıştır. Mekanizma, teleskopik yapısı sayesinde kolaylıkla açılıp kapanabilmekte olup, bu özellik farklı test senaryolarının hızlı ve pratik bir şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.1 Asansör kapı test mekanizması bileşenleri



1. Kontrol kartı 2. Motor 3. Kapı kaşık parçası 4. Ağırlıklar 5. Kilit sacı

Şekil 3.2 Asansör kapı test mekanizmasının 3 boyutlu genel görünümü

Uygulanan ağırlıklar, gerçek kullanım senaryolarını temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Ortalama bir asansör kapısının tek kanadının yaklaşık 25 kg ağırlığında olduğu tespit edilmiş ve bu doğrultuda, deneylerde uygulanan normal kuvvetin karşılığı olarak 25 kg'lık ağırlık kullanılmıştır. Bu tercih, elde edilen verilerin pratik uygulama koşullarıyla doğrudan ilişkilendirilebilmesini sağlamaktadır.

Test mekanizmasında kullanılacak olan kapı kaşık parçası, merkezinden S235JR kalite çelikten imal edilmiş bir pim ile sabitlenmiştir. Deney süresince oluşacak aşınma kuvvetlerinin aktarımında bu pim, kritik bir bağlantı elemanı olarak görev yapmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve işlem kalitesi gibi özellikler, pimin aşınma davranışları üzerindeki etkisini belirleyen önemli parametreler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, deney öncesinde pimin yüzey kalitesi detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Pimin yüzey pürüzlülüğü ve üretim hassasiyetine ilişkin veriler Tablo 3.1'de sunulmuştur. Bu veriler, polimer malzeme ile pim arasındaki sürtünme davranışını, temas yüzeyindeki etkileşimleri ve dolayısıyla aşınma performansını anlamada kritik öneme sahiptir. Ayrıca, deney sonuçlarının yalnızca malzeme kaynaklı farklılıkları yansıtmasını sağlamak amacıyla, pim üretiminde ve yüzey işleme süreçlerinde standartlaştırılmış ve tekrarlanabilir imalat prosedürleri uygulanmıştır.

Tablo 3.1 Disk yüzey pürüzlülüğü değer aralıkları

	Alt değer (μm)	Üst değer (μm)
Ra (ortalama pürüzsüzlük)	0.98	1.72
Rq (kare ortalama pürüzlülüğü)	1.23	2.11
Ry (en yüksek tepe ile en derin çukur farkı)	6.59	13.17
Rz (5 bölgede tepe-çukur fa)	5.6	9.18



Şekil 3.3 Asansör kapı test mekanizmasında kullanılan motorun görüntüsü

Mekanizmanın hareketini sağlamak amacıyla, 1/15 tahvil oranına sahip bir doğru akım (DC) motoru (Şekil 3.3) tercih edilmiştir. Bu tahvil oranı sayesinde mekanizmanın güvenli ve kontrollü bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Motorun kontrolü, gömülü yazılım aracılığıyla tasarlanmış bir kontrol kartı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sistem, deney süresince motorun hız ve tork değerlerinin hassas bir şekilde kontrol edilmesine olanak tanımıştır.

Deney ortamındaki sıcaklığın, polimer malzemelerin mekanik davranışı üzerinde önemli bir etkisi olduğu bilindiğinden sisteme bir termokupl da entegre edilmiştir. Termokupl yardımıyla, deney esnasında sıcaklık sürekli olarak ölçülerek kaydedilmiştir. Bu veri, aşınma davranışının sıcaklıkla olan ilişkisini değerlendirmek açısından kritik bir parametre olarak kullanılmıştır. Ayrıca, sıcaklık değişimlerinin polimer malzemelerin termomekanik özelliklerinde meydana getireceği etkiler de analiz edilmiştir.

3.2 Deney Numuneleri ve Deney Numunelerinin Üretimi

Bu çalışmada, aşınma performansları detaylı olarak incelenmek üzere, iki farklı polimer esaslı deney numunesi hazırlanmıştır. Deneylerde, molibden disülfür (MoS₂) katkılı Poliamid 66 ve homopolimer poliasetal (POM, polioksimetilen) kullanılmıştır. Bu malzemeler, mekanik dayanım, aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı ve üretim kolaylığı gibi kriterler göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Molibden disülfür katkılı Poliamid 66 numunesi, Şekil 3.4’de; poliasetal (POM) numunesi ise Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde, numunelerin geometrik benzerlik gösterdiği ve tümünün aynı üretim parametreleriyle hazırlandığı görülmektedir. Bu sayede, malzeme dışı parametrelerden kaynaklanabilecek sapmaların önüne geçmek ve tüm testlerin karşılaştırılabilir olması sağlanmıştır.

Tüm deney numuneleri, test süresi boyunca aynı yük, hız ve çevresel koşullar altında test edilmiştir. Deney esnasında meydana gelen aşınma, deformasyon ve yüzey morfolojisindeki değişiklikler dikkatlice izlenmiş ve kaydedilmiştir. Elde edilen bu veriler, farklı malzemelerin aşınma direnci ve uzun dönem performansları açısından karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlamıştır.

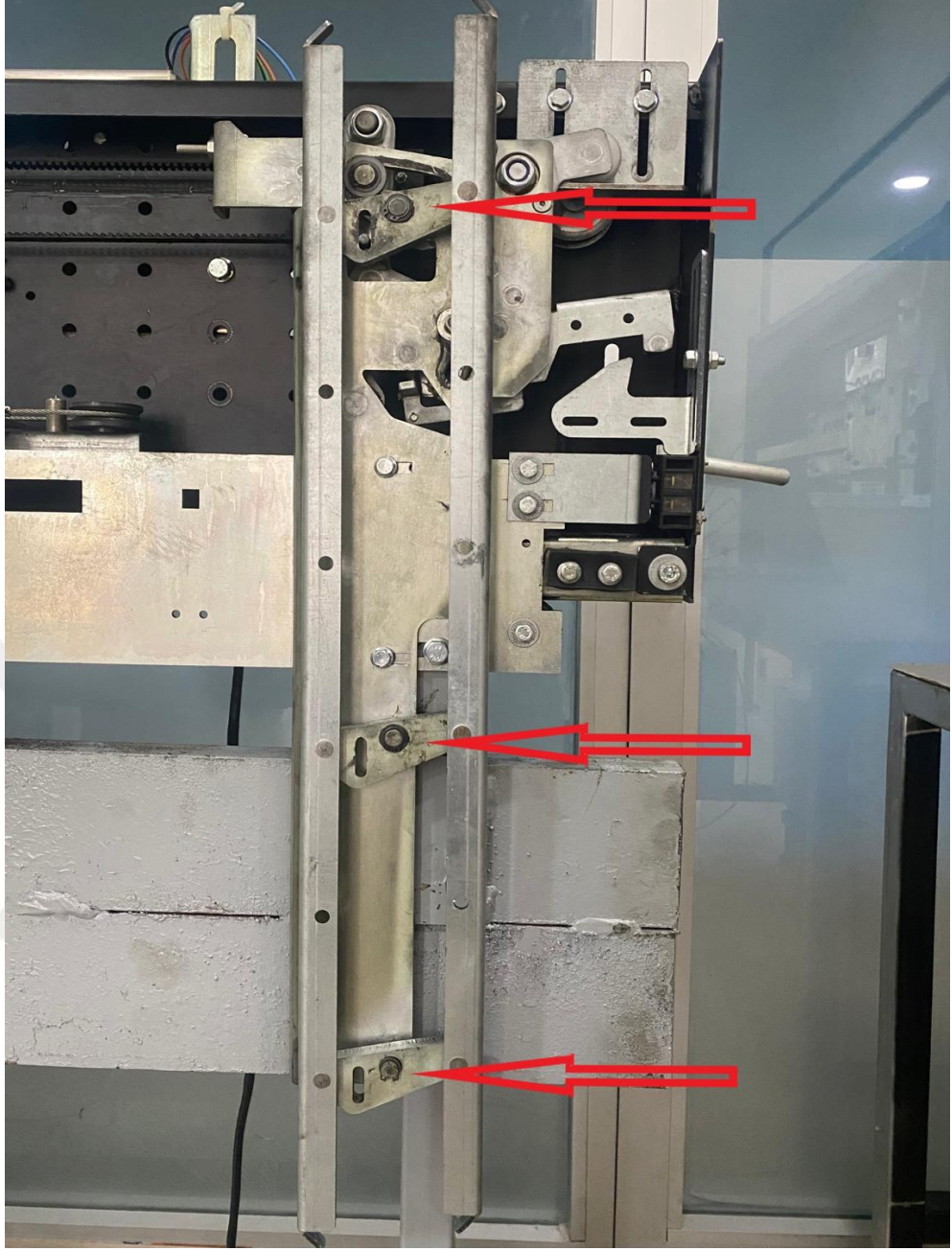
Test mekanizması, günümüzde asansör sistemlerinde kullanılan kapı mekanizmalarıyla birebir aynı prensip ve yapıya sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle, kapı kaşık parçası, gerçek kullanım yerini temsil edecek biçimde mekanizma üzerine entegre edilmiştir. Bu uygulama sayesinde, laboratuvar ortamındaki deney koşulları ile gerçek çalışma koşulları arasındaki benzerlik artmış ve elde edilen sonuçların pratikteki geçerliliği güçlendirilmiştir. Kapı kaşık parçasının asansör kapı sistemindeki konumlandırılması, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de detaylı olarak gösterilmiştir.



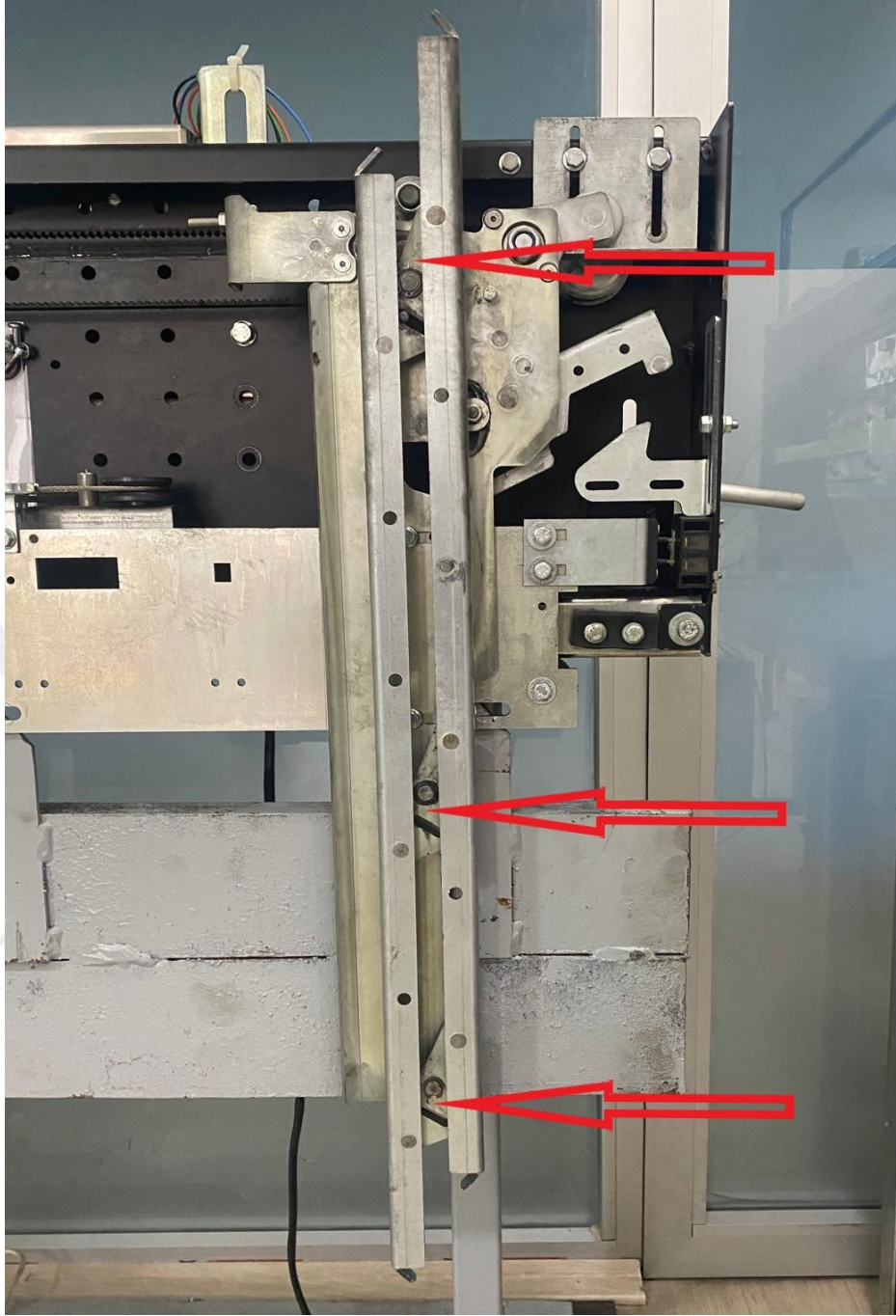
Şekil 3.4 Poliasetal numunesi malzemesi ile hazırlanan deney numunesi



Şekil 3.5 Molibden disülfür katkılı Poliamid 66 malzemesi ile hazırlanan deney numunesi

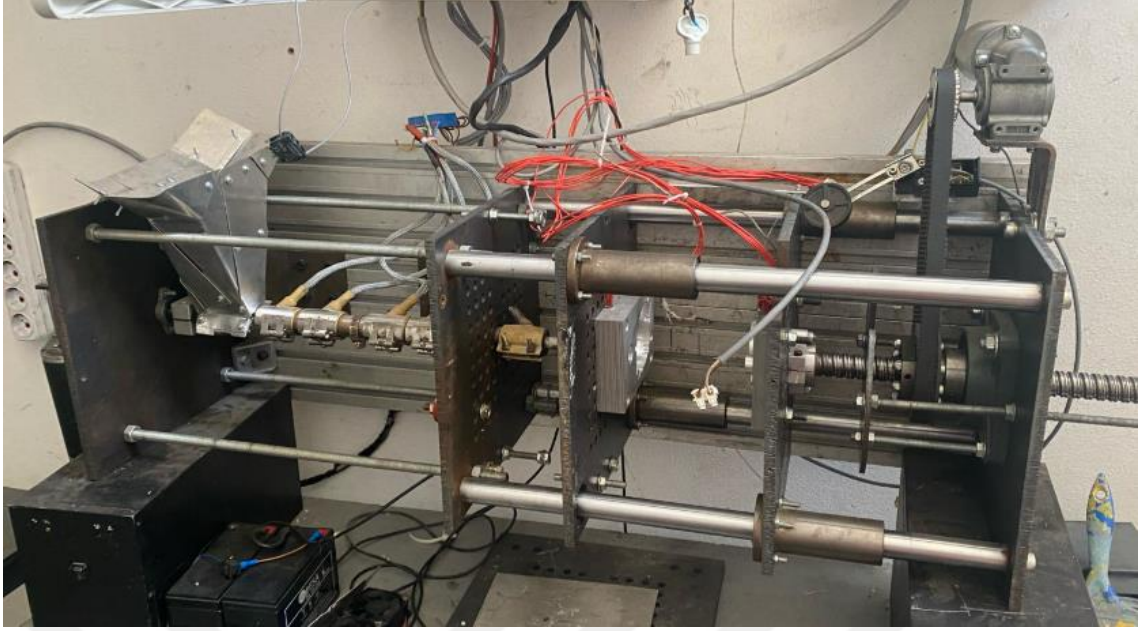


Şekil 3.6 Kapı kaşık parçasının deney düzeneğinde ve asansör kapı sistemindeki açık konumdaki yerleşimi



Şekil 3.7 Kapı kaşık parçasının deney düzeneğinde ve asansör kapı sistemindeki kapalı konumdaki yerleşimi

Deney numuneleri, AKE Asansör firmasının Ar-Ge ekibi tarafından prototip olarak geliştirilen elektrik motorlu mini plastik enjeksiyon makinesi ile üretilmiştir. Üretimde kullanılan enjeksiyon kalıbı, alüminyum 4045 serisi malzemeden imal edilmiştir. Plastik enjeksiyon makinesine ait genel görünüm Şekil 3.8’de sunulmuştur.



Şekil 3.8 AKE Asansör Ar-Ge ekibinin tasarladığı prototip plastik enjeksiyon

3.3 Deney Parametrelerinin Tayini

Kapı test mekanizması, tasarlanırken ve deneysel çalışmalar yürütülürken, sistemin performansını ve deney sonuçlarının doğruluğunu etkileyen çeşitli parametreler dikkatlice değerlendirilmiştir. Bu parametreler, test edilen malzemelerin aşınma davranışını doğrudan etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir.

Söz konusu parametreler; kayma-yuvarlanma hızı, uygulanan yük, ortam sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve nem oranıdır. Her bir parametre, hem deneyin gerçek kullanım koşullarını yansıtmalarını sağlamak hem de farklı senaryolar altında malzemelerin davranışını gözlemleyebilmek amacıyla seçilmiştir.

Deney parametreleri, modern asansör sistemlerinde karşılaşılan pratik çalışma koşulları temel alınarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, aşırı yükleme, çevresel değişimler ve uzun süreli kullanım gibi daha zorlu şartlar da dikkate alınarak, parametreler için geniş bir çalışma aralığı tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, sadece standart çalışma koşullarındaki performansın değil, aynı zamanda ekstrem durumlara karşı malzemelerin dayanımının da değerlendirilmesine olanak tanımıştır.

3.3.1 Sıcaklık ve nem

Çalışmalar süresince ortam sıcaklığı 23 ± 3 °C, bağıl nem oranı ise $\%60 \pm 5$ aralığında sabit tutulmuştur. Ortamın iklimlendirilmesi, otomatik sıcaklık ve nem

kontrolü sağlayan split klima sistemleri ile sağlanmıştır. Sıcaklık ve nem değerlerinin takibi ve doğrulanması için dijital higrometre cihazı kullanılmıştır.

3.3.2 Yüzey pürüzlülük değerleri

Piyasada yaygın olarak kullanılan pimler, standartlaştırılmamıştır ve bu nedenle yüzey pürüzlülükleri önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Farklı üreticiler tarafından üretilen pimler arasında, yüzey işleme yöntemleri, toleranslar ve yüzey kalitesi bakımından farklar bulunmakta, bu da uygulamada homojen bir yüzey standardının sağlanmasını güçleştirmektedir.

Bu çalışmada, kaşık parçasının merkezinde konumlandırılan pim, S235JR kalite çelik malzemeden imal edilmiş ve yüzeyine krom kaplama uygulanmıştır. Krom kaplama, yüzeyin aşınma direncini artırmak, sürtünme katsayısını düşürmek ve daha uzun süre stabil bir yüzey kalitesi sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Kullanılan krom kaplamalı pim yüzeyi, pratikte kullanılan pimlerin yüzey özelliklerine yakın olmakla birlikte, görece daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerine sahip olacak şekilde seçilmiştir. Bu seçim, deneylerde daha kontrollü ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilebilmesini mümkün kılmıştır.

Yüzey pürüzlülük değerleri, Tablo 3.1’de detaylı olarak sunulmuştur. Bu değerler, pim ile numune arasındaki temas yüzeyinin tribolojik davranışının analizinde önemli bir referans noktası olarak kullanılmıştır.

3.3.3 Kayma hızı

Kayma hızı tayininde, pratikte kullanılan asansör kapılarının kilidinin açılma ve kapanma hızları temel alınmıştır. Kapı kilidinin çalışma hızlarının belirlenmesi, çeşitli ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Avrupa standartları, hareketli bir kapıdaki mevcut enerjinin 9.5 J, ABD standartları ise 10 J Değerini aşmamasını şart koşturmaktadır. Bu enerji sınırlaması özellikle kapanma hareketi sırasında uygulanmakta olup, maksimum kapı hızlarını yaklaşık 0.3 mm/s seviyesinde sınırlandırmaktadır [1]. Bu sınırlama, kullanıcı güvenliği açısından önemli bir gereklilik olup, kapıların yolcuya temas etmesini önlemeyi amaçlamaktadır. Ancak, gelişmiş algılama sistemlerine sahip modern kapılarda (örneğin yolcu algılama sensörleri ve gelişmiş kapı kontrol sistemleri kullanılarak), bu hız sınırlamalarının üzerinde çalışma mümkündür. Bu sistemler, yolcu varlığını tespit ederek kapının temas etmesini önler ve

böylece daha yüksek kapı hızlarına izin verir. Bununla birlikte, bu tür sistemlerin uygulanması komplekslik ve maliyet açısından önemli faktörler doğurmaktadır [1].

Kapı açılma süresi, kapanma hareketindeki enerji sınırlamalarına tabi değildir ve teorik olarak daha yüksek hızlarda gerçekleştirilebilir. Bu da, özellikle yüksek kapasiteli asansör sistemlerinde kapı açılma sürelerinin optimize edilmesine olanak tanımaktadır. Ancak, parmak sıkışması gibi güvenlik risklerine karşı önlemler alınarak kapı hızlarının belirli sınırlar içinde kalması sağlanmaktadır [1].

Normal ve gelişmiş açılmalar için tipik kapı açılma ve kapanma süreleri Tablo 3.2’de sunulmuştur. Tabloda, iki farklı kapı tipi (yandan açılır ve merkezden açılır), iki farklı kapı genişliği (800 mm ve 1100 mm) ve her biri için gelişmiş ve normal açılma senaryolarına ait örnek hız değerleri verilmiştir. Bu değerler, standart kullanım koşullarında referans alınabilecek tipik hızlar olarak değerlendirilmiştir. Spesifik değerlerin mevcut olmadığı durumlarda bu veriler kullanılabilir [36].

Tablo 3.2 Kapı genişlikleri (mm) için karakteristik kapı açılma ve kapanma süreleri [36]

Kapı hareketi	Açılma (Gelişmiş)		Açılma (Normal)		Kapanma	
Kapı tipi	800	1100	800	1100	800	1100
Yandan açılır	1.0	1.5	2.5	3.0	3.0	4.0
Merkezden açılır	0.5	0.8	2.0	2.5	2.0	3.0

Yürütülen çalışmada, kapı mekanizmasının deneysel modellemesi sırasında hem pratik uygulamalar hem de hesaplama kolaylığı göz önünde bulundurularak 1 m/s kayma hızı tercih edilmiştir. Bu hız, standart kapı hızlarına yakın olmakla birlikte, aynı zamanda mekanizmanın güvenli çalışmasını ve aşınma davranışlarının etkin bir şekilde gözlemlenmesini sağlamıştır.

3.3.4 Yük değerleri

Pratikte kullanılan kapı kaşık parçasının bağlı olduğu kilit mekanizması sacı, üretici markalar arasında farklılık göstermektedir. Bu çeşitlilik, farklı tasarım yaklaşımları, maliyet optimizasyonları ve üretim proseslerindeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Çalışmada kullanılan deney düzeneğinde tercih edilen kilit sacının ağırlığı 500 gram olarak belirlenmiştir. Mekanizmada 2 adet kilit sacı kullanmasından kaynaklı kilit saclarının toplam ağırlıkları 1000 gram olarak değerlendirilmiştir. Bu ağırlık, tipik bir asansör kapı mekanizmasında karşılaşılan gerçekçi bir yükü temsil etmektedir.

Bununla birlikte, kapının toplam ağırlığının kapı kaşık parçasına doğrudan bir etkisi bulunmamaktadır. Kaşık parçası, kapının hareketi sırasında yalnızca yönlendirme ve kilitleme işlevi gördüğünden, kapı ağırlığından kaynaklanan statik yükler mekanizmanın diğer bileşenleri tarafından taşınmaktadır. Bu nedenle, kapı kaşık parçasına uygulanan yükler yalnızca mekanizmanın tasarımına ve deney sırasında uygulanan kontrollü kuvvetlere bağlı olarak tanımlanmıştır.

Birbirleriyle temas halinde bulunan ve izafi harekete sahip iki katı cisim söz konusu olduğunda, doğal olarak bir sürtünme ısısı meydana gelir. Bu sürtünme nedeniyle oluşan ısı, temas yüzeyindeki basınç (p), kayma hızı (v), sürtünme katsayısı (μ) ve temas alanı (A) parametrelerine bağlı olarak $PV\mu A$ ifadesiyle hesaplanabilir. Temas basıncı (p) ve kayma hızı (v) arttıkça, ortaya çıkan sıcaklık da orantılı olarak yükselmektedir.

Polimer malzemelerin sıcaklık dayanımları, metallere kıyasla oldukça düşüktür. Bu nedenle, temas yüzeyinde sıcaklık artışı polimerin mekanik özelliklerini hızla olumsuz etkileyebilir. Sıcaklık yükseldiğinde, polimer malzeme yüzeyinde meydana gelen yumuşama veya bozunma, sürtünme koşullarının değişmesine ve aşırı aşınmaya yol açabilir. Bu durum, malzemenin izafi hareketini sürekli olarak sürdüremeyeceği kritik bir sınır olan "PV limiti" veya "sınır PV değeri" kavramını ortaya çıkarmaktadır.

Sınır PV değeri aşıldığında, polimerin sürekli kayma hareketine dayanması mümkün olmamakta ve malzeme hızla işlev kaybına uğramaktadır. Bu nedenle, çalışmada kullanılan yük ve hız değerleri, polimer malzemelerin PV limitlerini aşmayacak ancak malzemelerin aşınma davranışlarını doğru şekilde gözlemlemeye olanak tanıyacak düzeyde seçilmiştir [37].

PV limitinin aşılması, polimer malzemenin mekanik özelliklerinde hızlı bir bozulmaya ve sonuç olarak aşırı aşınmaya yol açmaktadır [38][39]. Bu nedenle deney sırasında uygulanacak yük ve hız değerleri, seçilen polimerlerin PV limitleri dikkate alınarak tayin edilmiştir.

Molibden disülfür (MoS_2) katkılı PA 66 ve poliasetal (POM) malzemeleri için literatürde belirtilen tipik PV limiti değerleri Tablo 3.3'de sunulmuştur. MoS_2 katkılı PA 66 malzemesi, katkının sağladığı sürtünme katsayısını düşürme etkisi sayesinde yüksek PV değerlerine ulaşabilmektedir. Bu katkı, sürtünme kaynaklı ısı oluşumunu azaltarak malzemenin daha yüksek hız ve basınç koşullarına dayanmasını mümkün kılmaktadır.

POM ise kendi içerisinde düşük sürtünme katsayısına ve iyi aşınma direncine sahip olmakla birlikte, katkılı PA 66 kadar yüksek PV limitlerine erişememektedir.

Tablo 3.3 Literatürde belirtilen tipik PV limiti değerleri [38][39]

Malzeme	PV Limiti (MPa·m/s)
MoS ₂ katkılı PA 66	0.6 – 1.2
POM (Poliasetal)	0.3 – 0.5

PV değerlerinin üretici firmaya, katkı oranına ve üretim yöntemine bağlı olarak değişiklik gösterebileceği göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle hesaplamalarda literatür değerleri ile birlikte ortalama PV değerleri esas alınmıştır. POM için 0.4 MPa·m/s ve molibden disülfür katkılı PA 66 için 0.9 MPa·m/s değerleri dikkate alınmıştır.

Bu PV limitleri, deney parametrelerinin güvenli sınırlar içinde kalmasını sağlamak ve malzemelerin uzun vadeli performanslarını objektif bir şekilde değerlendirmek amacıyla dikkate alınmıştır.

Kapı kaşık parçasının merkez deliğinin çapı 10mm olması kabulü ile,

$$A = \pi \times (5 \text{ mm})^2 = 78.54 \text{ mm}^2 \quad (4.3)$$

Yüzey basıncı formülü [40]:

$$p = F/A \quad (4.1)$$

Burada:

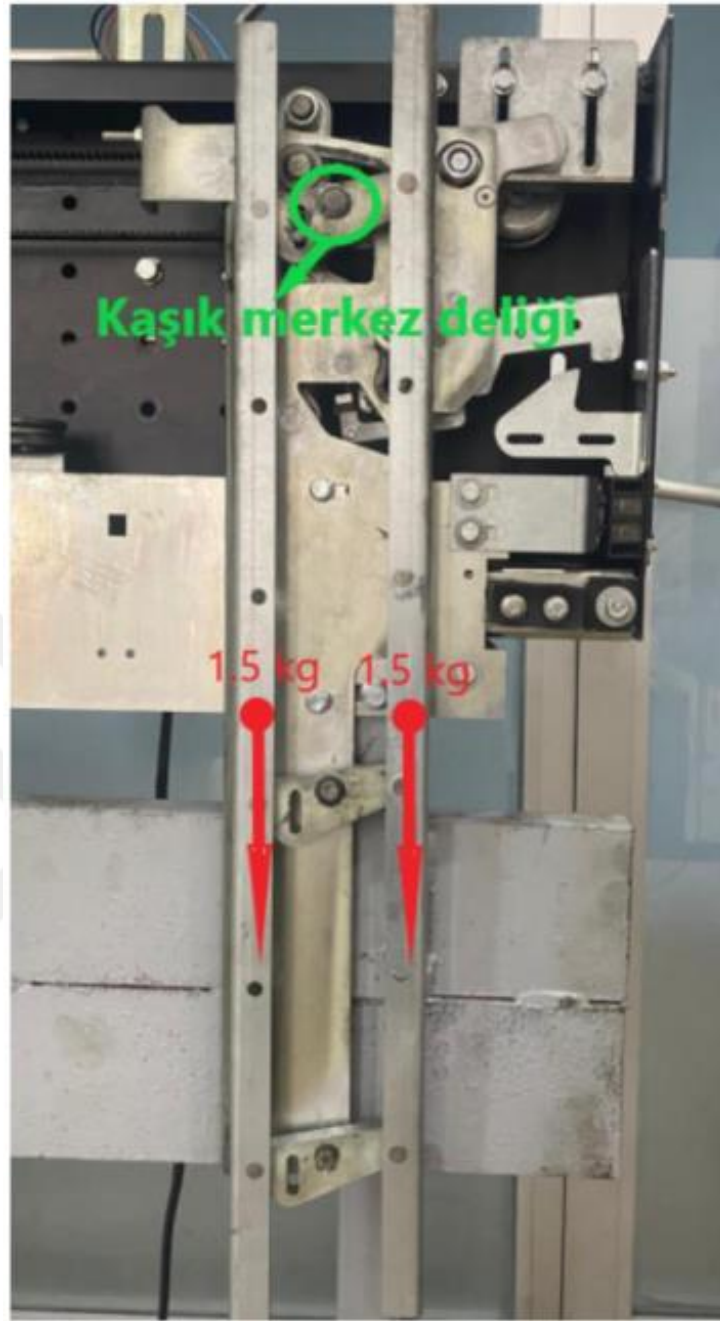
$$F = 1 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 9.81 \text{ N} \quad (4.2)$$

$$p = 9.81 \text{ N} / 78.54 \text{ mm}^2 = 0.125 \text{ MPa} \quad (4.4)$$

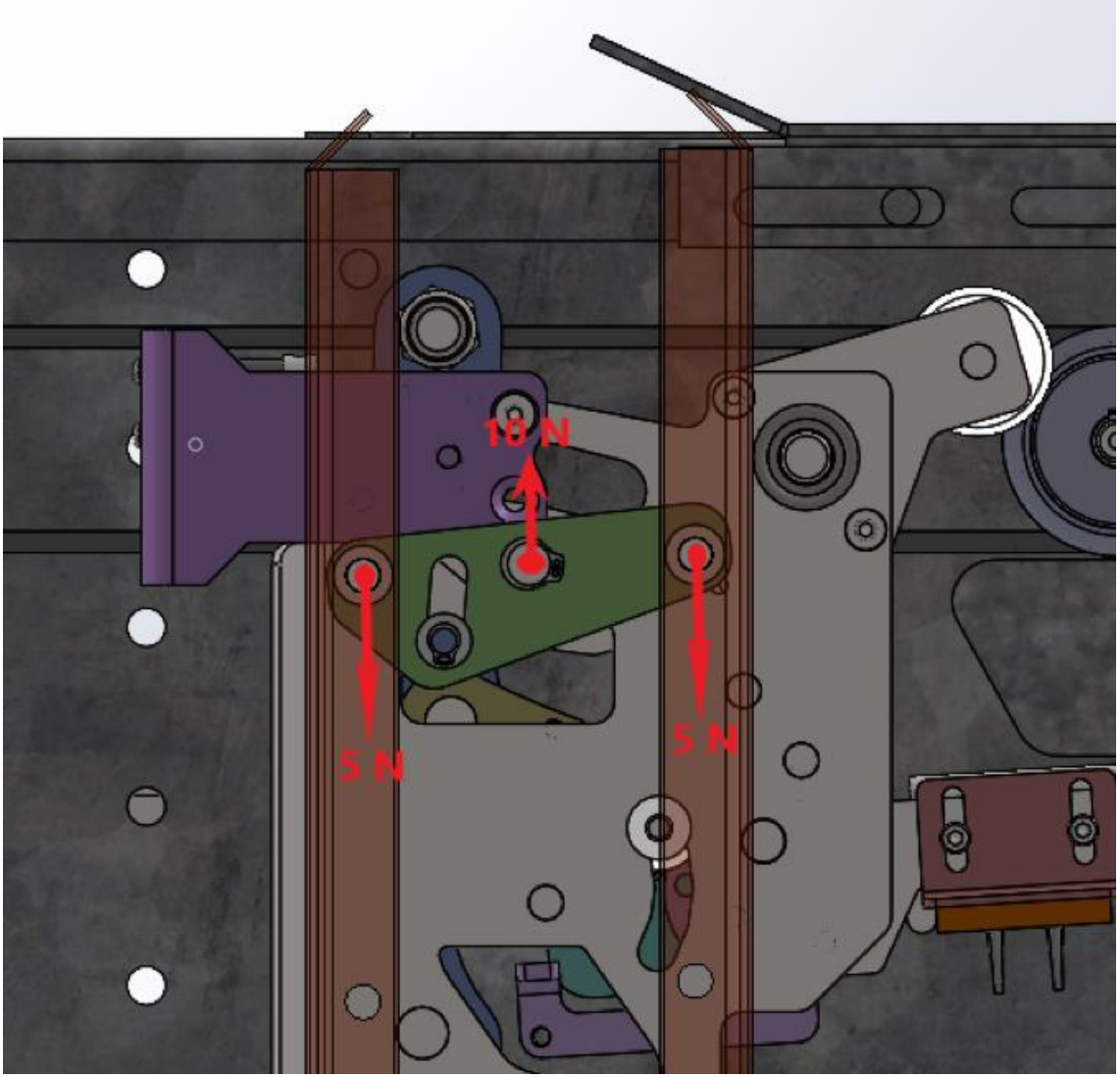
Yüzey basıncı 0.125 MPa değeri olarak hesaplanmıştır.

Kapı kaşık parçasına uygulanan yüklerin dağılımı incelenmiştir. Yapılan analizler; yüklerin büyük bir kısmının parça üzerindeki merkezde bulunan dairesel deliğe aktarıldığını göstermektedir. Bu durum, özellikle montaj sırasında pim veya vida ile birleşen bölgelerde yüksek temas kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Kaşık parçasına uygulanan yüklerin modellenmesi ve bu modellere ait görseller Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da sunulmuştur.



Şekil 3.9 Kapı kaşık parçasına kilit sacı tarafından uygulanan yükler



Şekil 3.10 Kapı kaşık parçasının merkez deliğine uygulanan yükler

3.4 Deneyin Yapılışı

Deneyler, yukarıda tanımlanan yük, hız ve çevresel parametreler doğrultusunda gerçekleştirildi.

Deney kapsamında, S235JR, MoS₂ katkılı PA 66 ve POM malzemelerinden üretilmiş parçalar için her birinden birer adet deney gerçekleştirilmiştir. POM malzemesi için 1 adet, MoS₂ katkılı PA 66 malzemesi için de 1 adet ve S235JR 1 adet olmak üzere toplamda 3 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Bu sayede, her bir malzeme grubunda yeterli sayıda tekrar sağlanarak istatistiksel anlamlılık elde edilmiştir.

Her bir deney serisi aşağıdaki adımlarla yürütülmüştür:

- Numunelerin test düzeneğine montajı: Kaşık parçaları ve pimler, tasarlanan test düzeneklerine yerleştirilmiş ve gerekli bağlantılar yapılmıştır.
- Deney parametrelerinin ayarlanması: Yük (1 kg), kayma hızı (0.8 m/s) ve çevresel sıcaklık/nem değerleri (23 ± 3 °C, bağıl nem oranı ise $\%60 \pm 5$ aralığında) sabitlenmiştir.
- Testin başlatılması: Motor sürücü kartı kullanılarak kapı mekanizmasının hareketi başlatılmıştır.
- Aşınma ve çevresel verilerin izlenmesi: Test süresince parça aşınması, sıcaklık ve ortam koşulları sürekli olarak izlenmiş ve kaydedilmiştir.
- Kapı test mekanizması, 20000 adet açma-kapama çevrimini tamamladıktan sonra test işlemi sonlandırılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Isı ve Kütle Analizi

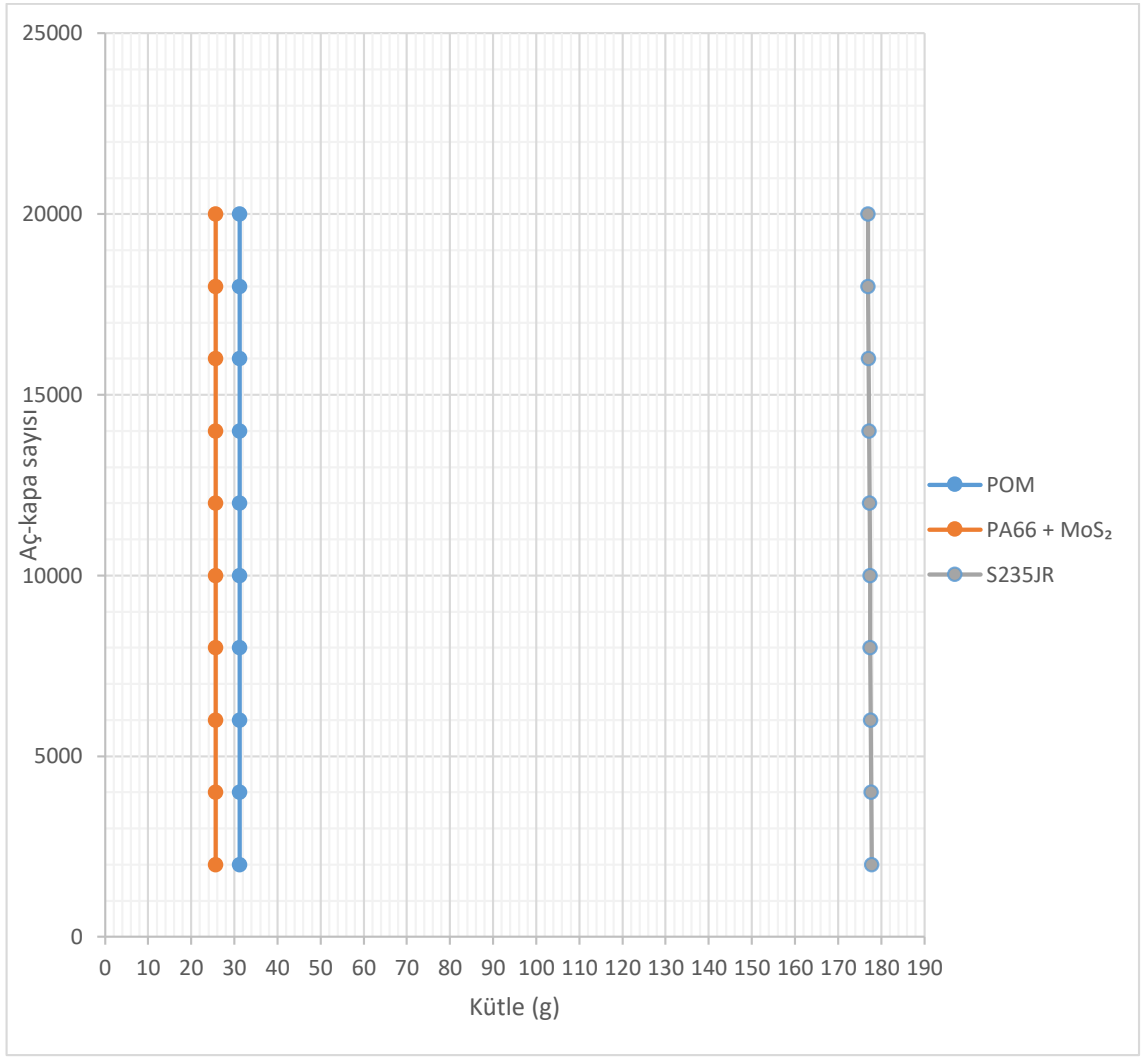
Numuneler, başlangıç aşamasında daha kısa aralıklarla olmak üzere, deney süresi boyunca belirli periyotlarla kontrol edilmiştir. Her kontrol aşamasında öncelikle ara yüzey sıcaklığı, temassız kızılötesi termometre yardımıyla ölçülmüş, ardından hassas terazi kullanılarak numunelerde meydana gelen kütle değişimleri tespit edilmiştir. Bu yöntemle, numunelerdeki aşınma miktarının sıcaklıkla ilişkilendirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen kütle değişimlerine ilişkin veriler Tablo 4.1’de sunulmuş, bu verilere ait grafiksel gösterim ise Şekil 4.1’de verilmiştir. Benzer şekilde, sıcaklık değişimlerine ait veriler Tablo 4.2’de yer almakta; bu değişimlerin grafiksel karşılığı ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Açma-kapama sayısına göre deney numunesinin kütle değişimi

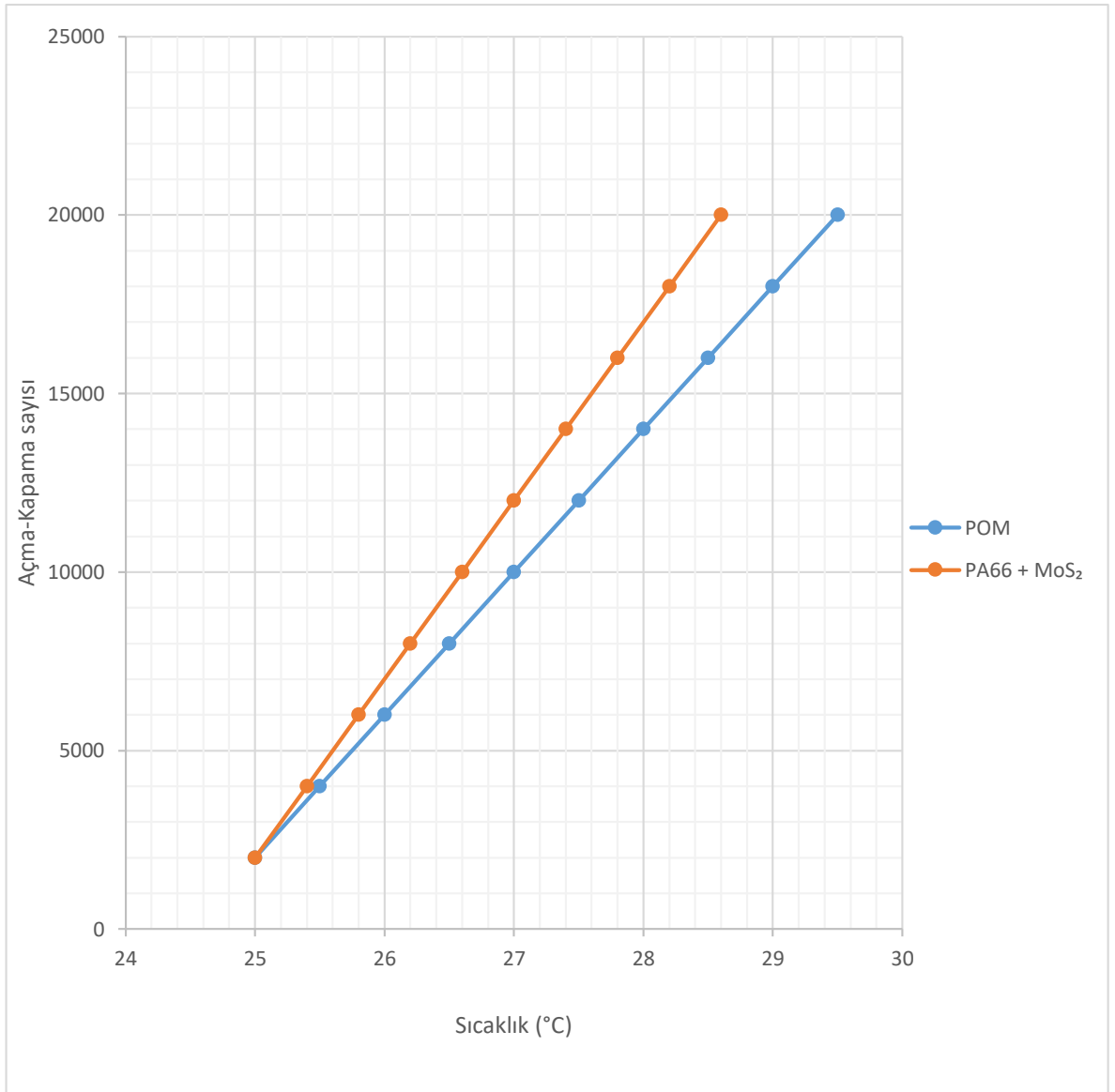
Aç-kapa sayısı (n)	POM’un kütlesi (g)	MoS ₂ +PA 66’nın kütlesi (g)	S235JR’nin kütlesi (g)
20000	31.29	25.71	176.9
18000	31.29	25.71	177
16000	31.29	25.71	177.1
14000	31.29	25.71	177.2
12000	31.29	25.71	177.3
10000	31.29	25.71	177.4
8000	31.29	25.71	177.5
6000	31.29	25.71	177.6
4000	31.29	25.71	177.7
2000	31.29	25.71	177.8

Tablo 4.2 Açma-kapama sayısına göre deney numunesinin merkez deliğinde ısı değişimi

Aç-kapa sayısı (n)	POM	MoS ₂ + PA 66	S235JR
20000	29.5	28.6	31.3
18000	29	28.2	30.6
16000	28.5	27.8	29.9
14000	28	27.4	29.2
12000	27.5	27	28.5
10000	27	26.6	27.8
8000	26.5	26.2	27.1
6000	26	25.8	26.4
4000	25.5	25.4	25.7
2000	25	25	25



Şekil 4.1 Açma-kapama sayısına göre deney numunesinin sıcaklık değişim grafiği



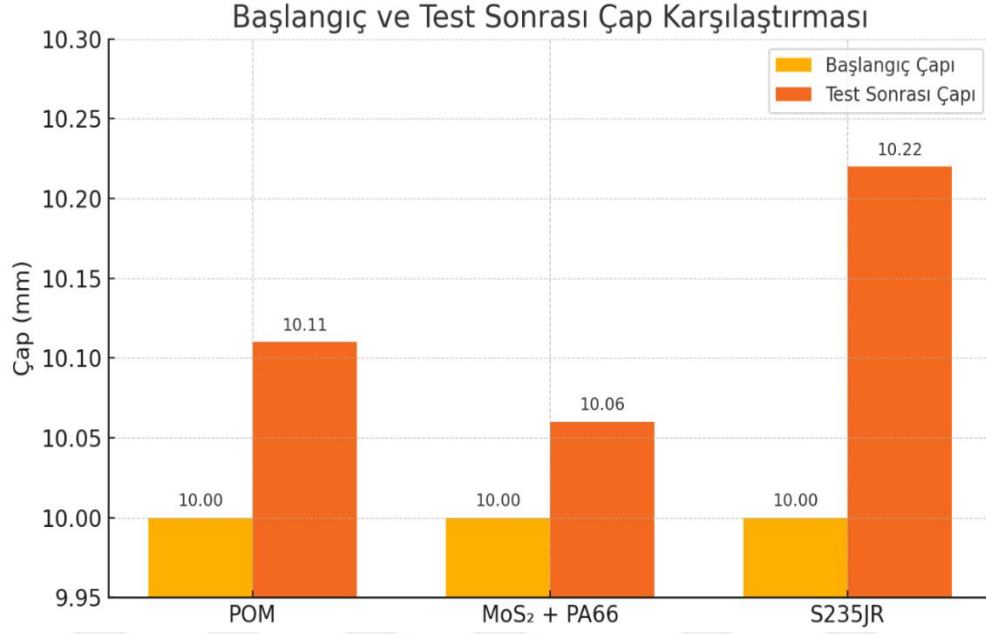
Şekil 4.2 Açma-kapama sayısına göre deney numunesinin sıcaklık değişim grafiği

4.2 Ölçü Analizi

Tüm deney numuneleri başlangıçta 10 mm sabit delik çapına sahip olacak biçimde hazırlanmıştır. Ancak gerçekleştirilen tribolojik testler sonucunda, sürtünmeye bağlı olarak oluşan aşınma ve şekil değişimleri, merkez delik çaplarında farklı oranlarda değişimlere yol açmıştır. Deneysel ölçümler sonucunda elde edilen çap değişimi değerleri Tablo 4.3'de sunulmakta; bu değişimlerin görsel karşılaştırması ise Şekil 4.3'de grafiksel olarak verilmiştir

Tablo 4.3 Deney numunelerinin merkez delik çapının değişimi

Numune	Başlangıç çap (mm)	Test sonrası çap (mm)
POM	10	10.11
MoS ₂ + PA 66	10	10.06
S235JR	10	10.22



Şekil 4.3 Test mekanizmasının açma-kapama sayısına göre deney numunesinin sıcaklık değişim grafiği

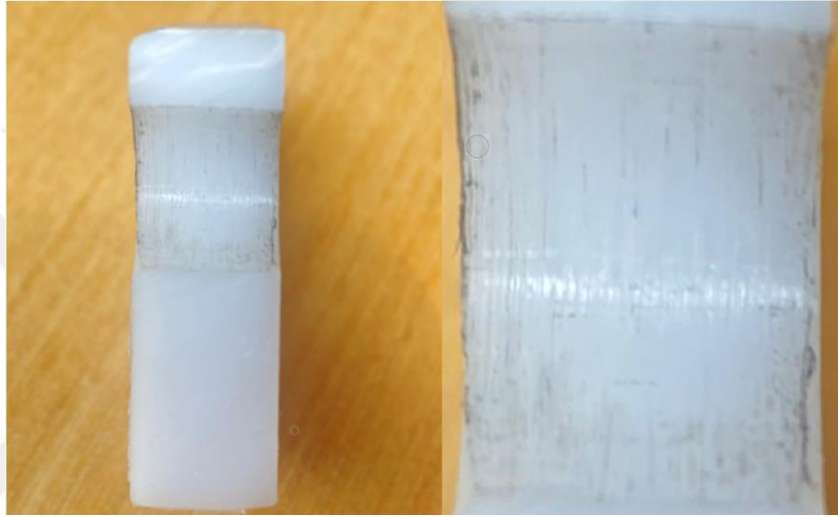
Deney süresince, disk yüzeyinin film oluşumunu ve gerçek aşınma davranışını etkilememesi amacıyla, yüzey temizliği deney sonuna kadar kasıtlı olarak yapılmamıştır. Bu yaklaşım, yüzeyde oluşabilecek transfer filmlerinin aşınma mekanizmasına etkisini gözlemlemek için tercih edilmiştir.

4.3 Kesit Görüntü Analizi

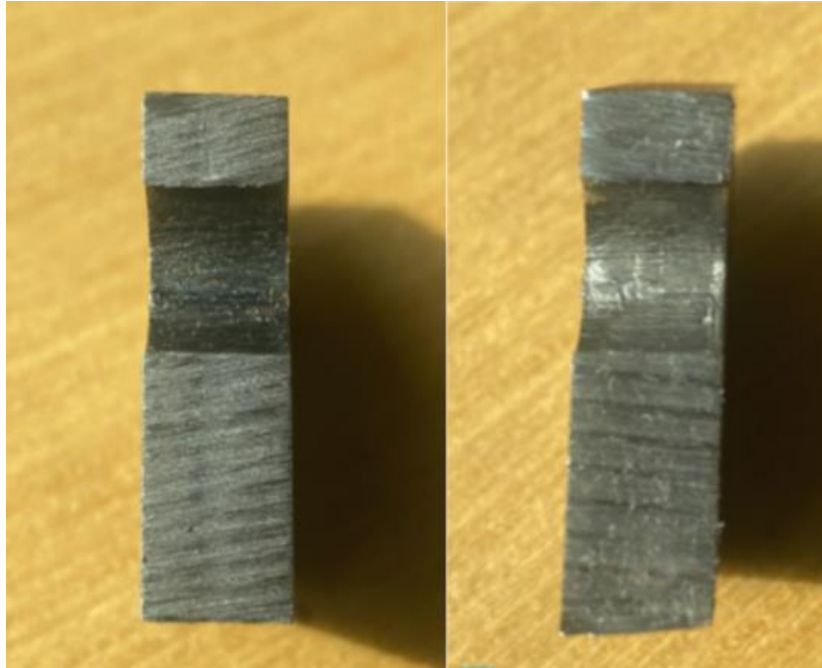
Deney sonunda parçaların yüzeyinde meydana gelen aşınmalar, optik kamera yardımıyla görüntülenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Kesit görüntüleri, malzeme transferinin aşınma davranışı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir. Metal malzeme için hem test öncesi hem de test sonrası kesit görüntüleri alınmış; polimer malzemeler için ise yalnızca test sonrası yüzey görüntüleri kaydedilmiştir. Deney parçalarının test sonrası yüzey görüntüleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da sunulmuştur



Şekil 4.4 MoS₂ + PA 66 hammaddesinden üretilen numunenin test sonrası kesit görüntüsü



Şekil 4.5 POM hammaddesinden üretilen numunenin test sonrası kesit görüntüsü



Şekil 4.6 S235JR hammaddesinden üretilen numunenin test sonrası kesit görüntüsü

MoS₂ katkılı PA 66 numunesinde yüzeyde kılcal çizikler tespit edilmiştir. Deliğin iç yüzeyinde bazı bölgelerde parlama, bazı bölgelerde ise matlaşma gözlenmiştir. POM numunesinde de benzer şekilde kılcal çizikler gözlemlenmiş, ancak bu çizikler MoS₂ katkılı PA 66 numunesine kıyasla daha derin ve belirgin olmuştur. Deliğin iç yüzeyinde matlaşma oranı POM numunesinde daha yüksek düzeyde kaydedilmiştir. Bununla birlikte, ısı etkisiyle delik kenarlarında lokal deformasyonlar meydana gelmiş; bu durum, POM'un test süresince ısı ve sürtünmeden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. S235JR çelik numunesi ise lazer kesim yöntemiyle üretildiğinden, kesit yüzeylerinde çentikli bir yapı gözlenmiştir. Testler sonrasında bu çentikli yapının yüzeyde aşındığı ve bazı bölgelerde tamamen yok olduğu belirlenmiştir.

4.4 Üretim Yöntemlerinin Kıyaslanması

Plastik enjeksiyon yöntemiyle gerçekleştirilen üretim süreçlerinde, çevrim süresi, kalıbın tam olarak kapanması, malzemenin kalıba enjekte edilmesi, soğuma süresi tamamlandıktan sonra kalıbın açılması ve ürünün çıkarılmasıyla tamamlanan toplam zaman aralığıdır. Bu süre; kalıp geometrisi, parça ağırlığı, enjeksiyon ve soğuma süresi, makine kapasitesi gibi birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Literatürde ve üretici kataloglarında yer alan verilere göre, ortalama 22.8–40.5 gram aralığındaki parçalarda çevrim süresi yaklaşık 45–55 saniye aralığında değişmektedir [41][42].

Bu çalışmada kullanılan kapı kaşık parçaları iki farklı malzeme ile üretilmiştir:

- MoS₂ katkılı PA 66 (TECAMID 66 MO BLACK): 25.71 gram/adet
- POM (Polioksimetilen): 31.29 gram/adet

Aşağıda, parça ağırlıkları göz önünde bulundurularak yapılan çevrim süresi hesaplamaları Tablo 4.4'de sunulmuştur.

Tablo 4.4 Plastik enjeksiyon makinası ile kaşık üretim süreleri

Malzeme Türü	Parça Ağırlığı (g)	Toplam Kalıp Yüğü (g)	Tahmini Çevrim Süresi (s)
MoS ₂ katkılı PA 66	25.71	154.26	50
POM	31.29	187.74	55

Metal S235JR çeliğinden üretilen kapı kaşık numunesi, sac plakadan kesilerek imal edilmiştir. Parçanın üretiminde talaş kaldırma veya toz metalurjisi gibi daha hassas

yüzey kalitesi sunan alternatif yöntemler tercih edilebilirdi. Ancak, sektörel uygulamalara uygunluk amacıyla, asansör sektöründe yaygın olarak kullanılan üretim yöntemi olan CNC lazer kesim tercih edilmiştir. Bu kapsamda, deney numunesi de aynı sektörde yaygın olarak kullanılan Trumpf TruLaser 3030 lazer kesim makinesi ile üretilmiştir.

Söz konusu CNC lazer kesim makinesi, kesim süresine ilişkin otomatik raporlama özelliğine sahiptir. Yapılan kesim işlemine ait makine verilerine göre, bir adet kaşık parçasının lazerle kesim süresi 295 saniye olarak kaydedilmiştir.

Her bir malzeme için 2025 yılına ait tedarikçi kataloglarından alınan kilogram başı fiyatlar ile parça başına ortalama hammadde tüketimi göz önünde bulundurularak, birim parça başına düşen hammadde maliyetleri hesaplanmıştır.

Ensinger firmasının 2025 yılına ait fiyat verilerine göre, MoS₂ katkılı PA 66 hammaddesinin kilogram başı fiyatı 40 Amerikan dolarıdır. Bu malzeme ile üretilen bir adet kapı kaşık parçası için ortalama 26 gram hammadde kullanıldığı dikkate alındığında, birim parça maliyeti yaklaşık 1.04 USD olmaktadır. POM hammaddesi için 2025 yılı tedarikçi kataloglarında kilogram başı fiyat 5 Amerikan doları olarak belirtilmiştir. POM ile üretilen bir kaşık parçası ortalama 32 gram hammadde gerektirdiğinden, bu malzeme için parça başına maliyet yaklaşık 0.16 USD olarak hesaplanmaktadır. Üçüncü malzeme olan S235JR yapı çeliği için, üretici katalog verilerine göre kilogram başına fiyat 0.80 Amerikan dolarıdır. Söz konusu çelik ile üretilen bir kapı kaşık parçası için yaklaşık 178 gram hammadde kullanılmakta olup, bu durumda parça başına maliyet yaklaşık 0.1424 USD'ye karşılık gelmektedir [44].

Tablo 4.5 Hammadde maliyet tablosu

Malzeme	Hammadde Tüketimi (gram/adet)	Birim Fiyat (USD/kg)	Parça Başına Maliyet (USD)
MoS ₂ katkılı PA 66	26	40	1.04
POM	32	5	0.16
S235JR Çeliği	178	0.8	0.1424

Enerji tüketimi, üretim süreçlerinin sürdürülebilirliği ve maliyeti açısından dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Çelik malzemenin lazer kesimi için kullanılan Trumpf TruLaser 3030 (L303) model CNC lazer kesim makinesinin maksimum gücü 3200 W (3.2 kW) olarak belirtilmiştir [43]. Parça üretiminde kullanılan çelik sacın 10 mm kalınlığında olması ve kesimin yüksek hassasiyetle gerçekleştirilmesi nedeniyle makinenin bu işlem sırasında maksimum gücünü kullandığı varsayılmıştır.

Yaklaşık 180 gram ağırlığındaki bir kapı kaşık parçasının kesimi için toplam kesim süresi 295 saniye (4.92 dakika $\approx$ 0.082 saat) olarak kaydedilmiştir. Bu süre ve güç değeri kullanılarak kesim işlemi sırasında tüketilen enerji aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [45]:

$$\text{Enerji (kWh)} = \text{Güç (kW)} \times \text{Zaman (saat)} \quad (4.1)$$

$$\text{Enerji} = 3.2 \times 0.082 = 0.2624 \text{ kWh} \quad (4.2)$$

Bu enerji tüketimi değeri, parçanın kütlesine oranlandığında ise spesifik enerji tüketimi elde edilir:

$$\text{Birim kütle başına enerji (kWh/kg)} = \text{Enerji (kWh)} / \text{Ağırlık (kg)} \quad (4.3)$$

$$\text{Birim enerji} = 0.2624 / 0.18 \approx 1.46 \text{ kWh/kg} \quad (4.4)$$

Plastik enjeksiyon kalıplama süreçleri için ise literatürde benzer geometrilere sahip parçalar üzerinde yapılan çalışmalarda spesifik enerji tüketiminin 2.13 kWh/kg ile 5.28 kWh/kg arasında değiştiği rapor edilmiştir [42]. Bu değerlerin ortalaması alındığında yaklaşık 3.705 kWh/kg'lık bir ortalama enerji tüketimi değeri elde edilmektedir. Bu durum, lazer kesim ile enjeksiyon kalıplama süreçlerinin enerji verimliliği bakımından karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Karşılaştırma çizelgesi Tablo 4.6'da sunulmuştur.

Tablo 4.6 Plastik enjeksiyon ve lazer kesim enerji tüketimi karşılaştırma tablosu

1 adet Çelik Kapı Kaşık Parçası CNC Lazer Kesim Makinası Enerji Tüketimi	1.46 kWh/kg
1 adet Polimer Kapı Kaşık parçası Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makinası Enerji Tüketimi	3.705 kWh/kg

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, asansör kapı mekanizmasında kullanılan geleneksel metal kapı kaşık parçası yerine, uygun tribolojik özelliklere sahip polimer esaslı alternatif malzemelerin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu doğrultuda, daha önce metal lazer kesim yöntemiyle imal edilen parça, plastik enjeksiyon yöntemiyle MoS₂ katkılı PA 66 ve POM malzemeleri kullanılarak yeniden üretilmiştir.

Polimer malzemenin enjeksiyon yöntemiyle kalıplanması, geometri açısından daha fazla tasarım esnekliği ve üretimde yüksek tekrarlanabilirlik imkânı sağlamıştır. Ancak bu malzemelerin, belirli mekanik yükler ve sıcaklık değerleri altındaki performanslarının değerlendirilmesi amacıyla, gerçek asansör sistemlerini modelleyen özel bir test düzeneği kullanılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, MoS₂ katkılı PA 66 malzemesinin, POM'a ve S235JR çeliğine kıyasla daha düşük kütle kaybı sergilediği ve daha kararlı bir aşınma davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, molibden disülfür katkısının tribolojik performansa olumlu etkisini ve sürtünmeye karşı direnci artırıcı rolünü ortaya koymaktadır. POM malzemesi MoS₂ katkılı PA 66 malzemesine nazaran yüksek sürtünme katsayısına sahip olmasına rağmen, yüksek çevrim sayılarında daha fazla kütle kaybı yaşandığı gözlemlenmiş ve bu durum, uzun süreli uygulamalar için sınırlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmiştir.

Deney süresince elde edilen veriler, malzeme yüzey sıcaklığı ile kütle kaybı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Yükselen sıcaklık, polimer yüzeylerde yumuşama ve deformasyona yol açarak aşınma mekanizmasını hızlandırmıştır. Bu bulgu, tribolojik deneylerde sıcaklık kontrolünün ne denli kritik olduğunu vurgulamakta ve deney düzeneğine entegre edilen sıcaklık ölçüm sisteminin önemini pekiştirmektedir.

Hammadde bazında yapılan değerlendirmede, MoS₂ katkılı PA 66 ile üretilen parçaların birim maliyeti 1.04 USD, POM malzemesi için 0.16 USD ve S235JR çelik malzemesi için ise yaklaşık 0.1424 USD olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, MoS₂ katkılı PA 66'nın üstün mekanik ve tribolojik özellikler sunmasına rağmen, maliyet açısından diğer malzemelere göre daha pahalı olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan POM ve çelik gibi malzemeler daha düşük maliyetle üretilebilmekte, bu nedenle yaygın endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir.

Enerji tüketimi açısından, CNC lazer kesim ile çelik parçanın kesim süresi yaklaşık 295 saniye (4.92 dakika) sürmüş ve bu süreçte maksimum 3200 W güce sahip lazer makinesi baz alınarak yaklaşık 0.26 kWh enerji tüketildiği hesaplanmıştır. Bu, kilogram başına yaklaşık 1.46 kWh enerji tüketimi anlamına gelmektedir. Buna karşılık, plastik enjeksiyon yöntemi ile benzer geometrilere sahip parçaların üretiminde literatürde 2.13 – 5.28 kWh/kg aralığında enerji tüketimleri rapor edilmiştir. Bu verilerden hareketle, ortalama 3.705 kWh/kg değeri temel alınarak enerji karşılaştırması yapılmış ve plastik enjeksiyonun daha fazla enerji tükettiği ancak üretim süresi ve otomasyon avantajı sunduğu görülmüştür.

Yapılan analizler sonucunda; MoS₂ katkılı PA 66 yüksek performanslı mühendislik uygulamaları için ideal bir seçenek olurken, POM daha ekonomik bir alternatif sunmakta, S235JR çeliği ise işlenebilirlik açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Üretim yöntemi seçiminde ise plastik enjeksiyon özellikle yüksek adetli ve hassas parça üretimi için tercih edilirken, CNC lazer kesim daha düşük enerji tüketimi ve malzeme sertliği gerektiren uygulamalarda öne çıkmaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı katkı maddeleri ile zenginleştirilmiş polimer kompozitlerin değerlendirilmesi, çevresel koşullara karşı dayanımın artırılması ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi yönünde optimizasyon çalışmalarına ağırlık verilmesi önerilmektedir. Bu sayede, polimer esaslı malzemelerin asansör sistemlerinde daha yaygın ve etkin bir şekilde kullanılmasının önü açılabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- [1] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, "Asansör periyodik kontrol raporu ve sektörel değerlendirme," 2020.
- [2] "Endoux Asansör," [Çevrimçi]. Mevcut: <http://www.endoux.com/asansor.php>. [Erişim: 13-Eylül-2022].
- [3] TKE Elevator, "Elevator performance and duty application guideline," Internal technical report, 2023.
- [4] J. W. M. Mens and A. W. J. De Gee, "Friction and wear behaviour of 18 polymers in contact with steel in environments of air and water," *Wear*, vol. 149, pp. 255-268, 1991.
- [5] K. Holmberg and G. Wickstrom, "Friction and wear tests of polymers," *Wear*, vol. 115, pp. 95-105, 1987.
- [6] H. Czichos, "Influence of adhesive and abrasive mechanisms on the tribological behaviour of thermoplastic polymers," *Wear*, vol. 88, pp. 27-43, 1983.
- [7] S. H. Rhee and K. C. Ludema, "Mechanisms of formation of polymeric transfer films," *Wear*, vol. 46, pp. 231-240, 1978.
- [8] A. Bolvari, S. Glenn, R. Janssen, and C. Ellis, "Wear and friction of aramid fiber and polytetrafluoroethylene filled composite," *Wear*, vol. 203-204, pp. 697-702, 1997.
- [9] H. Ünal, Ü. Şen, and A. Mimaroglu, "Dry sliding wear characteristics of some industrial polymers against steel counterface," *Tribology International*, vol. 37, pp. 727-732, 2004.
- [10] M. Watanabe and H. Yamaguchi, "The friction and wear properties of nylon," *Wear*, vol. 110, pp. 379-388, 1986.
- [11] C. Lhymn, "Effect of normal load on the specific wear rate of fibrous composite," *Wear*, vol. 120, pp. 1-27, 1987.
- [12] J. Li, S. Wang, et al., "Effect of fiber content and lubrication on tribological performance of PA 66 composites," *Tribology Letters*, vol. 72, p. 48, 2024.
- [13] S. Sittichai, "Advanced Mechanics of Materials," 1st ed., Suranaree University of Technology Publication, 2001.
- [14] K. N. Keith, R. B. Budynas, "Shigley's Mechanical Engineering Design," 10th ed., McGraw-Hill, 2015.

- [15] N. M. Patel, B. S. K. Byung, J. Renaud, and A. Tovar, "Crashworthiness Design Using Topology Optimization," *Journal of Mechanical Design*, vol. 131, no. 6, pp. 0610131-312, 2009.
- [16] Wikipedia, "Toughness," [Çevrimçi]. Mevcut: <https://en.wikipedia.org/wiki/Toughness>. [Erişim: 12-Aralık-2024].
- [17] Polymer Innovation Blog, "Characterization of Thermosets - Part 21: Tensile Testing Polymers and Molecular Interpretation," [Çevrimçi]. Mevcut: <https://polymerinnovationblog.com/characterization-thermosetspart-21-tensile-testing-polymers-molecular-interpretation>. [Erişim: 12-Aralık-2021].
- [18] C. Zweben, W. S. Smith, and M. W. Wardle, "Test methods for fiber tensile strength, composite flexural modulus, and properties of fabric-reinforced laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM International, pp. 228-235, 1979.
- [19] C. Tong, "Fundamentals of Materials and Their Characterization Methodologies for Energy Systems," in **Introduction to Materials for Advanced Energy Systems**, Springer, Cham, pp. 87-170, 2019.
- [20] H. A. Khalil, A. Banerjee, S. C. K. Saurabh, Y. Y. Tye, A. B. Suriani, A. Mohamed, "Biodegradable films for fruits and vegetables packaging application: preparation and properties," *Food Engineering Reviews*, vol. 10, pp. 139–153, 2018.
- [21] R. Wilson and W. Pfohl, "Study of cross-linking reactions of melamine/formaldehyde resin with hydroxyl functional polyester by generalized 2-D infrared spectroscopy1," *Vibrational Spectroscopy*, vol. 23, pp. 13-22, 2000.
- [22] Novares, "Training Document," 2012. [Çevrimçi]. Mevcut: -TRAINING-PP-PA-MATERIAL-CGYJFC-20191211.pdf.
- [23] SpecialChem, "Polyacetal Polyoxymethylene (POM) Plastic," [Çevrimçi]. Mevcut: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyacetal-polyoxymethylene-pom-plastic#POM>. [Erişim:16 Mart 2024].

- [24] M. P. "Polyoxymethylene Handbook: Structure, Properties, Applications and Their Nanocomposites," Chapter 8: Physical Properties of Polyoxymethylene, William Andrew Publishing, 2014.
- [25] M. I. Kohan, "Nylon Plastics Handbook," Hanser Publishers, Munich, 1995.
- [26] Ensinger Plastics, "PA66 Tecamid 66 MO Black," [Çevrimçi]. Mevcut: <https://www.ensingerplastics.com/tr-tr/yari-mamul/plastikler/pa66-tecamid-66-mo-black>. [Erişim: 2024].
- [27] L. W. McKeen, "Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers," Elsevier, Burlington, 2010.
- [28] B. Bhushan, "Introduction to Tribology", John Wiley & Sons, 2013.
- [29] K. H. Z. Gahr, "Microstructure and Wear of Materials," Elsevier, Amsterdam, 1987.
- [30] I. M. Hutchings, "Tribology", Edward Arnold, London, 1992.
- [31] B. Bhushan, "Modern Tribology Handbook", CRC Press, London, 2000.
- [32] G. W. Stachowiak and A. W. Batchelor, "Engineering Tribology", 4th ed., Elsevier, Amsterdam, 2013.
- [33] Rutland Plastics, "Plastic Materials," [Çevrimçi]. Mevcut: https://www.rutlandplastics.co.uk/advice/plastic_materials.html.
- [34] J. S. Colton, "Manufacturing Processes and Engineering," GIT, 2009.
- [35] AZoM, "Polymer Materials," [Çevrimçi]. Mevcut: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=265>.
- [36] G. C. Barney, "Elevator Traffic Handbook", Spon Press, New York and London, 2003.
- [37] Z. Parlar, "Poliamid malzemelerin sürtünme ve aşınma karakteristiğine sıcaklığın etkisinin deneysel olarak incelenmesi," Ph.D. Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2002.
- [38] Bayer, "Engineering Tribology," 4th ed., Stachowiak & Batchelor, 2014.
- [39] DuPont, "Delrin Design Guide," Mutoh, 2013.

- [40] P. A. Tipler, "Physics for Scientists and Engineers", 6th ed., Pearson Education, 2008.
- [41] FANUC, "Roboshot Brochure," 2023.
- [42] M. Şengüngör, "Plastik Enjeksiyon İmalatı Yapan Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde Enerji Verimliliğinin ve Çevresel Parametrelerin Optimizasyonu: Plastik Enjeksiyon Üretim Örneği," Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, 2021.



ÖZGEÇMİŞ

Adı - Soyadı: Ulvi YUSİFLİ

Eğitim ve Mesleki Geçmiş:

- Akdeniz Üniversitesi, Mustafa Sak Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Lisans Eğitimi /Antalya (09/2017-06/2022)
- Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans Eğitimi (09/2012-07/2025)
- Ake Asansör, Yürüyen Merdiven ve Engelli Sistemleri Firması, Ar-Ge Ekip Lideri (09/2022-devam etmektedir)